

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS

Autor: Enrique NAVARRO MONTES

Fecha: Julio 2008





Índice General

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>
I	Memoria Descriptiva Anexo 1-I
II	Memoria de Cálculos Anexo1-II
III	Planos
IV	Pliego de Condiciones
V	Presupuesto



DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE
EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA
UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Documento I :

Memoria Descriptiva

Índice de la Memoria Descriptiva

1.	Introducción.....	1
1.1	Peticionario.....	1
1.2	Propuesta del Proyecto Fin de Carrera.....	1
1.3	Antecedentes.....	2
2.	Objetivo y justificación.....	4
2.1	Objetivo del proyecto.....	4
2.3	Justificación.....	5
3.	Localización.....	7
4.	Disposiciones legales y normas aplicadas.....	9
5.	El zinc.....	10
5.1	Propiedades del zinc.....	10
5.2	Antecedentes históricos.....	11
5.3	Usos del zinc: la galvanización.....	13
5.4	El mercado actual del zinc.....	14
6.	Etapas de la galvanización en caliente.....	18
6.1	Introducción.....	18
6.2	Recepción del material.....	20
6.3	Etapas de acondicionamiento.....	20
6.3.1	Desengrase.....	20
6.3.2	Decapado.....	23
6.3.3	Enjuague (preflux).....	24
6.3.4	Mordentado (flux).....	24
6.3.5	Secado.....	26
6.4	Galvanizado.....	26

6.5	Enfriamiento.....	28
6.6	Pasivado.....	29
7.	Problemática en las líneas de galvanización en discontinuo.....	29
7.1	Desengrase.....	30
7.2	Decapado.....	30
7.3	Descincado.....	31
7.4	Mordentado.....	32
7.5	Enjuague.....	32
7.6	Inmersión en zinc fundido.....	32
7.7	Pasivado.....	35
7.8	Acabado.....	35
7.9	Conclusiones.....	35
8.	Técnicas a considerar en el tratamiento de los baños de mordentado y enjuague.....	35
8.1	Regeneración in situ.....	36
8.1.1	Eliminación de hierro mediante aireación y precipitación del hierro.....	36
8.1.2	Eliminación de hierro mediante oxidación con H ₂ O ₂	36
8.1.3	Renovación del hierro del baño mediante oxidación electrolítica.....	38
8.1.4	Eliminación de hierro mediante columnas de intercambio.....	40
8.2	Reutilización/regeneración externa del baño de mordentado agotado.....	40
9.	Justificación de la técnica elegida.....	41
10.	Descripción general de la planta.....	42
11.	Descripción técnica de los equipos y las conducciones.....	44
11.1	Selección de materiales.....	44

11.1.1	Recipientes sometidos a presión.....	44
11.1.2	Conducciones.....	45
11.2	Tanque de oxidación.....	46
11.2.1	Agitador.....	47
11.2.2	Solución de H ₂ O ₂	49
11.2.3	Sistema de aireación.....	50
11.2.4	Antiespumante.....	51
11.3	Tanque de neutralización.....	52
11.3.1	Agitador.....	53
11.3.2	Solución de NH ₃	54
11.4	Decantador.....	55
11.4.1	Floculante.....	57
11.5	Filtros prensa.....	57
11.6	Depósito de descarga de aguas claras.....	62
11.7	Conducciones.....	63
11.8	Bombas.....	67
12.	Sistemas de control e instrumentación.....	73
12.1	Elementos de control utilizados.....	73
12.2	Lazos de control de la planta.....	74
12.3	Sistema de control en el tanque de oxidación.....	75
12.3.1	Control redox.....	75
12.3.2	Control de nivel.....	75
12.4	Sistema de control en el tanque de neutralización.....	76
12.4.1	Control pH.....	76
12.4.2	Control de nivel.....	77
12.5	Sistema de control en el depósito de descarga.....	78

12.5.1	Control de nivel.....	78
12.6	Válvulas y accesorios.....	79
12.6.1	Válvulas.....	82
12.6.2	Accesorios.....	83
12.6.2.1	Codos.....	83
12.6.2.2	Tés.....	83
12.6.2.3	Flujómetro.....	84
12.6.2.4	Otros.....	84
13.	Estudio de Seguridad y Salud.....	85
13.1	Introducción.....	85
13.2	Análisis de riesgos.....	86
13.3	Medidas preventivas.....	87
13.4	Medidas de protección.....	88
13.5	Plan de autoprotección.....	93
13.5.1	Documento 1: Evaluación del riesgo.....	94
13.5.2	Documento 2: Medidas de protección.....	97
13.5.3	Documento 3: Plan de emergencia.....	101
13.5.4	Documento 4: Implantación.....	105
14.	Protección medioambiental.....	106
14.1	Reglamentación vigente.....	106
14.2	Identificación de la actuación.....	107
14.3	Previsible incidencia ambiental.....	107
14.4	Programa de seguimiento y control.....	108
15.	Bibliografía.....	109
15.1	Libros consultados.....	109
15.2	Artículos consultados.....	110

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

15.3 Páginas web.....111

1. Introducción

1.1 Peticionario

La Comisión de Proyectos Fin de Carrera de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz ha asignado el proyecto de título “Diseño de una planta depuradora de efluentes con alto contenido metálico para una empresa de galvanizados” al alumno Enrique Navarro Montes, siendo las tutoras del mismo la Dra. D^{ña}. M^a Dolores Gordillo Romero y la Dra. D^{ña}. M^a Rocío Rodríguez Barroso.

Este proyecto se realiza como requisito indispensable para la obtención del título de Ingeniero Químico por la Universidad de Cádiz.

1.2 Propuesta del Proyecto Fin de Carrera

El documento de propuesta del presente proyecto fin de carrera es el siguiente.

PROPUESTA DE PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO: *Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente.*

TÍTULO: *Diseño de una planta depuradora de efluentes con alto contenido metálico para una empresa de galvanizados.*

TUTOR(ES): *M^a Dolores Gordillo Romero y M^a Rocío Rodríguez Barroso*

DESCRIPCIÓN (Breve información sobre el objetivo del PFC)

El objetivo es el de diseñar una planta depuradora para los baños de flux y preflux en una empresa de galvanizados. El objetivo de la depuración será el de extraer el exceso de hierro contenido en el agua de esos baños mediante la oxidación con agua oxigenada y posterior neutralización con amoníaco para favorecer la precipitación del mismo. Por último, se utilizarán filtros prensa para compactar el óxido de hierro y facilitar su manipulación.

REQUISITOS (Capacidad, producción, energía, normativa, legislación....)

La normativa a aplicar está relacionada con la depuración de aguas residuales vigente en España y se relaciona a continuación:

- *Real Decreto-Ley 11/1995 de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas*
- *REAL DECRETO 509/1996 de 15/3/96, que desarrolla el REAL DECRETO-LEY 11/1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas*

La planta estará constituida, al menos, por dos reactores de tanque agitado, un decantador, un colector de aguas claras, un filtro prensa y dos tanques de almacenamiento de agua oxigenada y amoníaco. Aparte, las bombas utilizadas deberán ser centrífugas (para impulsar el agua que viene de los baños y la que se devuelve limpia) y de desplazamiento positivo (para impulsar la corriente rica en hierro que se filtrará).

El caudal a tratar será aproximadamente de 1000 L/h.

1.3 Antecedentes

El agua

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, *Agua para todos, agua para la vida* (marzo 2003). En 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzará los 1.170 km³ / año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km³ / año. El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. Más de un 80% de los residuos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en

las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles.

Estos datos aportan una idea de la importancia que tiene el tratamiento y la reutilización de aguas residuales en el sector industrial en el mundo, y más aún en países que saldan su balance de recursos hídricos con números rojos. Es el caso de España, la nación europea con mayor déficit hídrico.



Fig. 1. El ciclo del agua. Fuente: <www.atteg.com> (2007)

Según el Libro Blanco del Agua, el consumo en España es de 35.000 Hm³/año. Sin embargo, su uso presenta particularidades respecto a la media mundial, ya que el 68% se destina a regadío, el 18% a abastecimiento de población e industrial, y el 14% restante a sistemas de refrigeración de producción de energía.

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. No cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, demasiado a menudo la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye de la planificación la tercera pata del progreso, la protección del Medio Ambiente.

El adecuado tratamiento de aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria.

La comunidad internacional ha reconocido en múltiples foros el importante papel que juega el agua en un sistema sostenible de desarrollo industrial a largo plazo. La Agenda 21, surgida de las conversaciones de Río 92, concluye en el capítulo 30 que las políticas y operaciones comerciales e industriales pueden desempeñar un papel decisivo en la conservación medioambiental y el mantenimiento de los recursos si se incrementa la eficacia de los procesos de producción y se adoptan tecnologías y procedimientos limpios, reduciendo al mínimo, e incluso evitando los residuos.

Por su parte, el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002 alienta a la industria a desarrollar su función social estableciendo sistemas de ordenación ambiental, códigos de conducta, medidas de certificación y publicación de informes sobre cuestiones ambientales y sociales. Un año más tarde, la Declaración Ministerial del Tercer Foro Mundial del Agua reunido en Kyoto propone recaudar fondos siguiendo criterios de recuperación de costes que se adapten a las condiciones climáticas, medioambientales y sociales del lugar, así como el principio de *“el que contamina, paga”*.

En el ámbito europeo, la Directiva 2000 incorpora la calidad como objetivo de la política general del agua, lo que supone un impulso para las técnicas y tecnologías –presentes y futuras, gracias a la investigación – encaminadas a que el agua retorne a la Tierra, una vez utilizada, en condiciones que no sólo permitan la supervivencia, sino la regeneración de algunos de nuestros ecosistemas.[Fuente: CITME (2006)].

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en España el volumen de agua residual recogido en 2003 fue de 3.469 Hm³, de los que sólo se reutilizó un 4% (unos 170 Hm³). Aunque es difícil cuantificar el volumen de aguas residuales que pueden reutilizarse para distintos usos, todos los estudios que se han realizado sobre la materia confirman el enorme potencial de España en este campo. Entre los métodos más rigurosos para determinar la capacidad de reutilización de recursos hídricos se encuentra el elaborado por Hochstrat (2005). Según su modelo, España tiene un potencial de reciclado de 1.300 Hm³, un orden de magnitud muy superior al actual.

2. Objetivo y justificación

2.1 Objetivo del proyecto

El objeto del presente proyecto es el diseño de una planta depuradora de efluentes con alto contenido metálico, cuya función principal será extraer el exceso de hierro de los baños de proceso de una galvanizadora. Estos

baños serán el de mordentado y enjuague cuya composición y función dentro del proceso se tratará más adelante.

Para ello, en primer lugar, se procederá a valorar las diferentes técnicas y procesos existentes para este tipo de tratamientos. Estos procesos se valorarán de forma cualitativa, teniendo en cuenta factores como su simplicidad de construcción y mantenimiento, superficie ocupada, facilidad para su control,...etc. Por supuesto, sin dejar de considerar el aspecto económico ya que, en gran medida, este será el factor determinante.

Por otro lado, en el presente proyecto se procederá al dimensionamiento de todos los equipos de la planta, una vez elegido el proceso más adecuado.

La consecución del objetivo propuesto permitirá alargar la vida de los baños de mordentado y enjuague de la fábrica así como ahorrar gran cantidad de agua, que hoy en día y en la zona en la que se encuentra la planta es un problema de primer orden.

2.2 Justificación

La industria de la galvanización en caliente es una industria moderna y técnicamente avanzada, que se dedica a la protección frente a la corrosión de toda clase de piezas y artículos de hierro y acero mediante inmersión de los mismos en un crisol con zinc fundido. Los recubrimientos obtenidos de esta manera proporcionan una protección eficaz y duradera a las piezas que el ser humano fabrica, maneja o utiliza. Estos recubrimientos poseen también una adherencia muy superior a la de las pinturas, porque se alean con el acero base.

La industria de la galvanización es una industria potente, distribuida a todo lo largo y ancho de Europa, con muchas instalaciones que prestan servicio a nivel regional o local. En el conjunto de Europa Occidental existen unas 1.000 plantas de galvanización general en caliente, que compiten entre ellas en busca de oportunidades de negocio. Esta industria factura unos 1.500 millones de dólares USA al año y protege alrededor de unos 5 millones de toneladas de piezas de acero, para lo que se utilizan unas 400.000 t de zinc.

La galvanización en caliente precisa de una serie de baños como tratamiento previo al recubrimiento con zinc, y el componente principal de los mismos es el agua. En definitiva, esta industria es una gran consumidora de este líquido que, por otra parte, es también escaso en muchas zonas. Se hace necesario pues, emplear algún tratamiento o proceso que pueda alargar al máximo, si no indefinidamente, la vida de los baños.

El empleo de un tratamiento satisfactorio para alargar la vida de estos baños conlleva una serie de ventajas para la misma empresa que los aplica y para el medio ambiente:

- Evitaría tener que parar la producción para sustituir el baño agotado, con el consiguiente ahorro para la empresa.

- La empresa también puede ahorrarse lo que le costaría tener que contratar a otra empresa que se encargara de retirar esos baños agotados para su posterior tratamiento en otra planta.

- Ahorro de agua, ya que una vez realizado el tratamiento el líquido depurado volvería al baño.

- Valorización y reutilización de residuos de la planta. En el tratamiento que se propone en el presente proyecto, tiene cabida la utilización de residuos, tales como cenizas provenientes del crisol de zinc fundido acumuladas en los filtros manga de la chimenea.

Por todo lo anterior, la consecución de este proyecto se justifica tanto en sentido económico, pues la empresa ahorraría miles de euros anualmente, como medioambiental, ya que serviría para ahorrar agua y reutilizar residuos.[Fuente: BREF (2001)].

3. Localización

La ubicación de la planta que es objeto del presente proyecto estará en una empresa galvanizadora situada en el parque empresarial Ciudad del Transporte en el término municipal de Jerez de la Frontera (Cádiz).

La planta se sitúa orientada al sur lo más cerca posible de los baños a tratar. El acceso a la misma es fácil para las carretillas y camiones que deben retirar los lodos que en ella se producen. A continuación se presentan unas fotos satélite aclaratorias de la ubicación exacta de la planta.

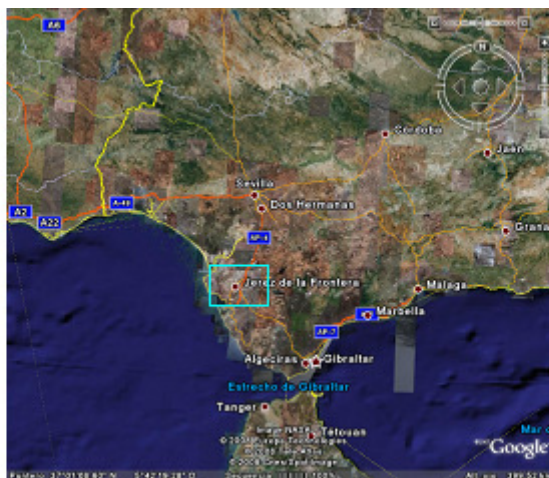


Fig. 2. Localización de Jerez de la Frontera.



Fig. 3. Jerez y situación del parque empresarial Ciudad del Transporte

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes



Fig. 4. Empresa galvanizadora

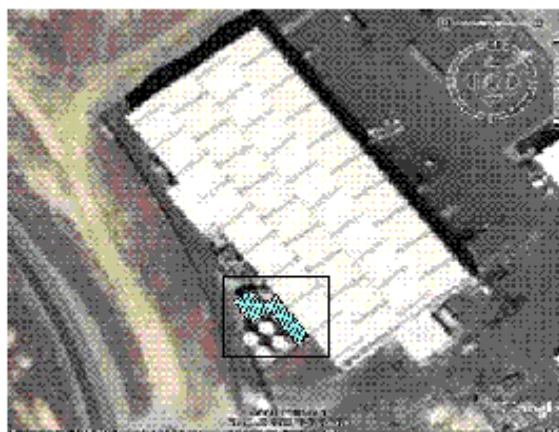


Fig. 5. La zona rayada es la ubicación exacta de la planta dentro de la galvanizadora.

4. Disposiciones legales y normas aplicadas

- Ley 21/1992 de Industria.
- Decreto 59/2005 por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos.
- Real Decreto 1244/1979, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión.
- Real Decreto 379/2001 por el que se aprueba el Reglamento para el Almacenamiento de Productos Químicos.
- Ley 7/1994 de Protección Ambiental de Andalucía.
- Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 2267/2004 por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra Incendios en los establecimientos industriales.
- Reglamento electrotécnico para Baja Tensión (RD 842/2002)
- Código ASME Sección VIII, División 1. Boiler and Pressure Vessel Code (2004).
- Código ASME Sección II. Materials (2004).
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas.
- Real Decreto-Ley 11/1995 de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 509/1996 de 15/3/96, que desarrolla el Real Decreto-Ley 11/1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

5. El zinc

5.1 Propiedades del zinc

Elemento químico de símbolo Zn, número atómico 30 y peso atómico 65.37. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos, cinco de los cuales son estables y tienen masas atómicas de 64, 66, 67, 68 y 70. Cerca de la mitad del zinc común se encuentra como isótopo de masa atómica 64.

El zinc es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005-0.02%. Ocupa el lugar 25 en orden de abundancia entre los elementos. Su principal mineral es la blenda, marmatita o esfalerita de zinc, ZnS. Es un elemento esencial para el desarrollo de muchas clases de organismos vegetales y animales. La deficiencia de zinc en la dieta humana deteriora el crecimiento y la madurez y produce también anemia. La insulina es una proteína que contiene zinc. El zinc está presente en la mayor parte de los alimentos, especialmente en los que son ricos en proteínas. En promedio, el cuerpo humano contiene cerca de dos gramos de zinc.

El zinc puro y recientemente pulido es de color blanco azulado, lustroso y moderadamente duro (2.5 en la escala de Mohs). El aire húmedo provoca su empañamiento superficial, haciendo que tenga color gris. El zinc puro es dúctil y maleable pudiéndose enrollar y tensar, pero cantidades pequeñas de otros metales como contaminantes pueden volverlo quebradizo. Se funde a 420 °C (788 °F), hierve a 907 °C (1665 °F) y su densidad es 7.13 kg/dm³.



Fig. 6. Trozo de zinc puro.
Fuente:<www.latiza.com>
(2007)

El zinc es buen conductor del calor y la electricidad. Como conductor del calor, tiene una cuarta parte de la eficiencia de la plata. A 0.91 K es un superconductor eléctrico. El zinc puro no es ferromagnético.

Es un metal químicamente activo. Puede encenderse con alguna dificultad produciendo una flama azul verdosa en el aire y liberando óxido

de zinc en forma de humo. El zinc metálico en soluciones ácidas reacciona liberando hidrógeno para formar iones zinc, Zn^{2+} . Se disuelve también en soluciones fuertemente alcalinas para formar iones dinegativos de tetrahidroxozincatos, $Zn(OH)_4^{2-}$, escrito algunas veces como ZnO_2^{2-} . en las fórmulas de los zincatos.

El zinc es siempre divalente en sus compuestos, excepto algunos cuando se une a otros metales, que se denominan aleaciones de zinc. Forma también muchos compuestos de coordinación. En la mayor parte de ellos la unidad estructural fundamental es un ión central de zinc, rodeado por cuatro grupos coordinados dispuestos espacialmente en las esquinas de un tetraedro regular. [Fuente: <www.latiza.com>(2007)]

5.2 Antecedentes históricos

El cinc metálico fue conocido probablemente por los pueblos antiguos. De hecho, hay referencias que parecen hablar del zinc, al que Strabos llamaba *plata falsa*, en Misia (Grecia), donde se encontraron depósitos de blenda y otros sulfuros. También se hallaron algunos objetos de zinc en diferentes lugares: una estatuilla en Transylvania y un frontal de fuente en las ruinas de Pompeya. Hay referencias romanas del 200 a. de C. en las que se puede probar el uso del latón por los romanos e incluso, en los tiempos de Augusto, se describe un procedimiento para fabricar latón reduciendo lentamente óxido de zinc en un crisol lleno de chatarra de cobre.

En la Edad Media, los alquimistas conocían procedimientos para transmutar el cobre en oro; realmente, la operación consistía en fabricar latón. Al parecer, la primera referencia sobre el zinc metal y sus propiedades se encuentra en la obra de Paracelso.

Un escritor chino del siglo VII habla del uso del zinc y de cómo hacerlo maleable para fabricar monedas y espejos. En la India hay referencias que dicen que, conocido desde antes, se fundía comercialmente en el siglo XIV. En Zawar aparecen multitud de restos metalúrgicos y mineros de metal; en particular, llaman la atención las retortas de barro cocido, las alargaderas y condensadores y los grandes escoriales y escombreras encontrados allí, lo cual denota una actividad minera y metalúrgica importante sobre centenares de miles de toneladas.

Durante los siglos XVII y XVIII se importaron de Asia cantidades importantes de zinc en placas llamadas *spelter*. A mediados del siglo XVIII los ingleses importaron de China la tecnología de fabricación de zinc y montaron en Bristol un horno similar a los utilizados para vidrio que podía alcanzar 1000 °C; también comienza en Silesia la obtención de zinc a finales del mencionado siglo en hornos de vidrio en los que se introducían las retortas, saliendo gases y vapores por la parte alta de la carga a un

condensador del que drenaba el metal a un plato. Los belgas desarrollaron un horno de reverbero con la posibilidad de cargar varias filas de retortas horizontales con sus correspondientes condensadores acoplados en la parte externa del horno. El proceso belga se instaló en Estados Unidos a mediados del siglo XIX.

La laminación de chapa de cinc se realizó en Lieja en 1812 y en América se implantó a mediados del mismo siglo. En esta segunda mitad del siglo XIX se consiguieron pocos avances que no sean la mejora de la calidad y durabilidad de las retortas, algunos ahorros de energía y mejoras en la condensación y recolección del metal. Por esta época, se puso a punto el proceso para la reoxidación del metal reducido a través de una parrilla perforada con el fin de fabricar óxido de zinc: proceso Wetherill.

A finales de siglo, se instalaron regeneradores en los hornos y se introdujo el calentamiento con gas. Los hornos evolucionaron hacia grandes túneles con varias filas de retortas para aumentar la capacidad. También en esta época se tostaba blenda para obtener ácido y el tostado (mal llamado *calcine*) se enviaba a las plantas para su reducción. También se comenzó a lixiviar el tostado para producir sulfato y se intentó electrolizar la disolución, aunque el proceso resultó un fracaso.

El descubrimiento de la flotación con espumas a principios del siglo XX revolucionó la industria del zinc, en particular cuando se puso en marcha la flotación diferencial.

La Primera Guerra Mundial hizo aumentar la producción de cinc y fue entonces cuando el proceso electrolítico se desarrolló de forma industrial.

La reducción vertical en continuo se desarrolló con los procesos New Jersey y St. Joseph; sin embargo, la reducción en horno eléctrico comenzó a principios de siglo en Suecia; no obstante, no fue hasta que el horno St. Joseph, para la producción de óxido de zinc, se puso en marcha en 1930 que se dispuso de una tecnología bien desarrollada. Una buena fabricación de sinter y la condensación del zinc mediante *salpiqueo* de metal fundido permitieron la obtención de metal, a escala comercial, en ambos procesos.

La elaboración de zinc en horno de cuba se desarrolló en Inglaterra en los años cincuenta al ponerse en marcha la tecnología del horno *Imperial Smelting*, que conlleva una sinterización distinta y un condensador de plomo fundido.

Hoy día, a comienzos del siglo XXI, hay que decir que la tecnología electrolítica es el desarrollo que más tonelaje de metal produce, por su economía y por la calidad del metal. Un hito importante, que hizo muy rentable la recuperación electrolítica, fue el descubrimiento español, en los años sesenta, de la precipitación jarosítica. Las precipitaciones goetítica y

hematítica supusieron nuevos avances que culminaron con en el proceso electrolítico asociado a la digestión a presión de la mena sulfurada, lo cual facilitó enormemente el problema de residuos. [Fuente: <www.latiza.com> (2007)].

5.3 Usos del zinc: la galvanización

Los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. También se utiliza en las placas de pilas (baterías) eléctricas secas y en las fundiciones a troquel. El óxido de zinc, conocido como zinc blando, se usa como pigmento en pinturas. Otro uso es como rellenedor en llantas de goma y como pomada antiséptica en medicina. El cloruro de zinc se usa para preservar la madera y como fluido soldador. El sulfuro de zinc es útil en aplicaciones relacionadas con la electroluminiscencia, la fotoconductividad, la semiconductividad y otros usos electrónicos; se utiliza en los tubos de las pantallas de televisores y en los recubrimientos fluorescentes.

Galvanización

Como ya se ha dicho, uno de los principales usos, si no el principal, es el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados, y esto puede hacerse según diferentes técnicas:

- Zincado por proyección
- Galvanización en caliente en discontinuo
- Galvanización en continuo
- Depósitos metálicos a partir de polvo de zinc (sherardización)
- Pinturas de polvo de zinc
- Zincado electrolítico
- Protección catódica

El galvanizado en caliente se utiliza desde hace más de 100 años para proteger el acero de la corrosión. El recubrimiento protector se produce al sumergir productos de acero en un baño de zinc fundido. La película de zinc que se forma sobre el acero lo protege de dos maneras, protección de barrera y protección galvánico (catódica). Es este último tipo de protección la que permite que productos de acero puedan permanecer sin corrosión durante décadas. Esto se explica porque en presencia de humedad el zinc actúa como ánodo y el acero como cátodo, de manera que el zinc se corroe en una acción de sacrificio y evita que el acero se oxide.

En el siguiente gráfico se resumen los principales usos del zinc actualmente.

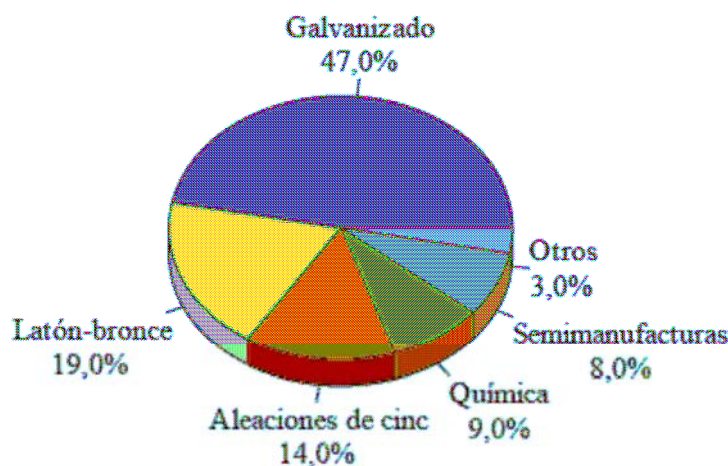


Fig. 7. Distribución del consumo de zinc por fuentes industriales. Fuente: International Lead and Zinc Study Group (2007).

Prácticamente la mitad del metal se usa en galvanización y en el recubrimiento del acero por las distintas tecnologías que incluyen el uso de aleaciones mixtas zinc-aluminio. A continuación se sitúa la fabricación de latones y bronce; después los compuestos químicos y los semimanufacturados.

En cuanto a los usos finales del zinc, la construcción consume el 45%, el transporte un 25%, maquinaria y equipo un 11%, infraestructuras públicas un 10% y baterías eléctricas y otros el 9% restante.

5.4 El mercado actual del zinc

En la siguiente figura se representan las producciones mundiales de mina y de metal refinado desde 1970 hasta 2003 así como la demanda de éste durante el mismo período de tiempo. La gráfica sigue una representación bastante típica con importantes incrementos tanto en las producciones mineras y de metal como en la demanda desde finales de los noventa hasta nuestros días.

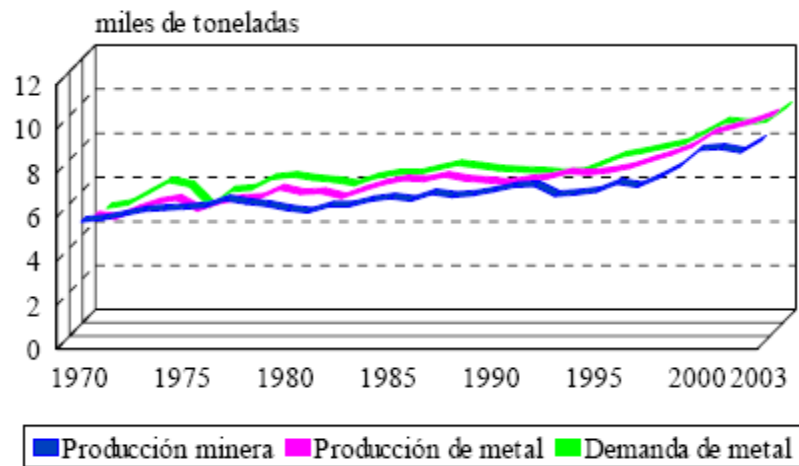


Fig. 8. Producción y demanda anual de zinc durante el período 1970 - 2003. Fuente: International Lead and Zinc Study Group (2007).

Por continentes, la producción mundial de zinc desde 2000 queda representada en la siguiente figura. Puede verse que el principal productor de zinc es Asia/Pacífico con un total de 63 fundiciones de zinc, seguido de Europa con 31 fundiciones, América con 18 y África con 2.

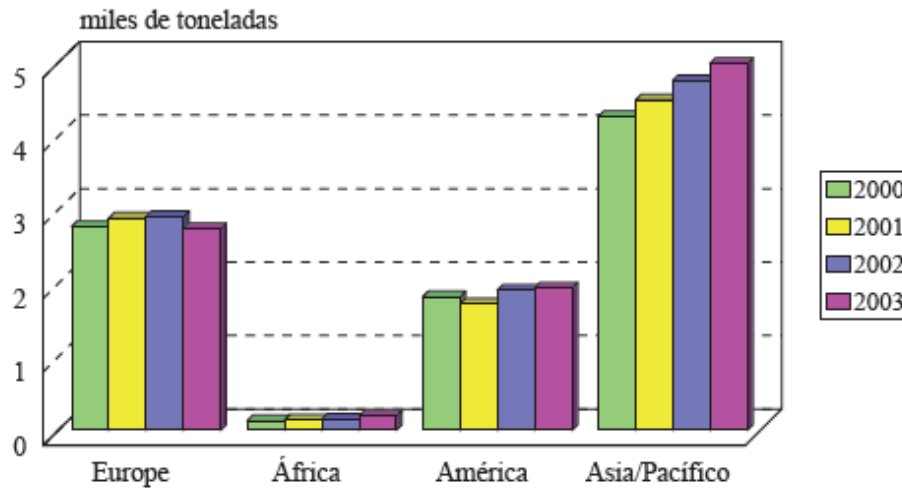


Fig. 9. Producción mundial de zinc (miles tm/año) por continentes durante el período 2000 - 2003. Fuente: International Lead and Zinc Study Group (2007).

En la siguiente tabla se recogen las principales fundiciones de zinc en Europa, su localización y producción anual en miles de toneladas de zinc refinado al año.

Localización	Fundición	Compañía	Capacidad Anual (miles de tm/año)
EUROPA			
Bélgica	Balen	Umicore	255
	Overpelt (S)	Umicore	40
	Zolder (S)	Rezinal	40
Bulgaria	Plovdiv	KCM	62
	Kardjali	Lead & Zinc Complex	30
Finlandia	Kokkola	Outokumpu Zinc	260
Francia	Auby	Umicore	245
Alemania	Duisburg	Sudamin Investment GmbH	100
	Nordenham	Metaleurop	135
	Datteln	Ruhr-Zink	120
	Dinslaken (S)	Metallwerk Dinslaken	10
Italia	Porto Vesme	Glencore	70
	Porto Vesme	Glencore	110
	Burago Molgora (S)	Capitelli	10
	S. Martino di Rio (S)	Metalsider	12
Macedonia	Titov Veles	MHK	66
Países Bajos	Budel Zink	Pasminco	220
Noruega	Norzink	Outokumpu	145
	Larvik (S)	Umicore	12
Polonia	Miasteczko	Huta Cynku "Miasteczko Slaskie"	75
	Bukowno	Zaklady Gorniczo-Hutnicze "Boleslaw"	73
	Katowice (S)	ZM "Silesia"	12
Rumania	Copsa-Mica	Sometra	66
Federación Rusa	Chelyabinsk	Chelyabinsk Zinc Refinery	200
	Vladikavkaz	Electrozinc Works	90
	Belovo	Belovsk Zinc Smelter	10
Serbia	Sabac	"Zorca" Obojena Metalurgija	30
	Kosovska Mitrovica	"Trepca" Metalurgija Cinka	45
España	Avilés	Asturiana del Zinc	460
	Cartagena	Española del Zinc	45
Ucrania	Konstantinovka	Konstantinovka State Plant "UKrzink"	25

(S) Fundición secundaria

Fig. 10. Principales fundiciones de zinc a nivel mundial. Fuente: International Lead and Zinc Study Group (2007).

El zinc que se utiliza en las plantas de galvanización continua en caliente viene, normalmente, en lingotes de una tonelada. El precio de estos lingotes ha experimentado una espectacular subida en los últimos años, entre otras razones por la demanda de China. La tendencia de estos precios en las últimas décadas queda reflejada en el siguiente gráfico.

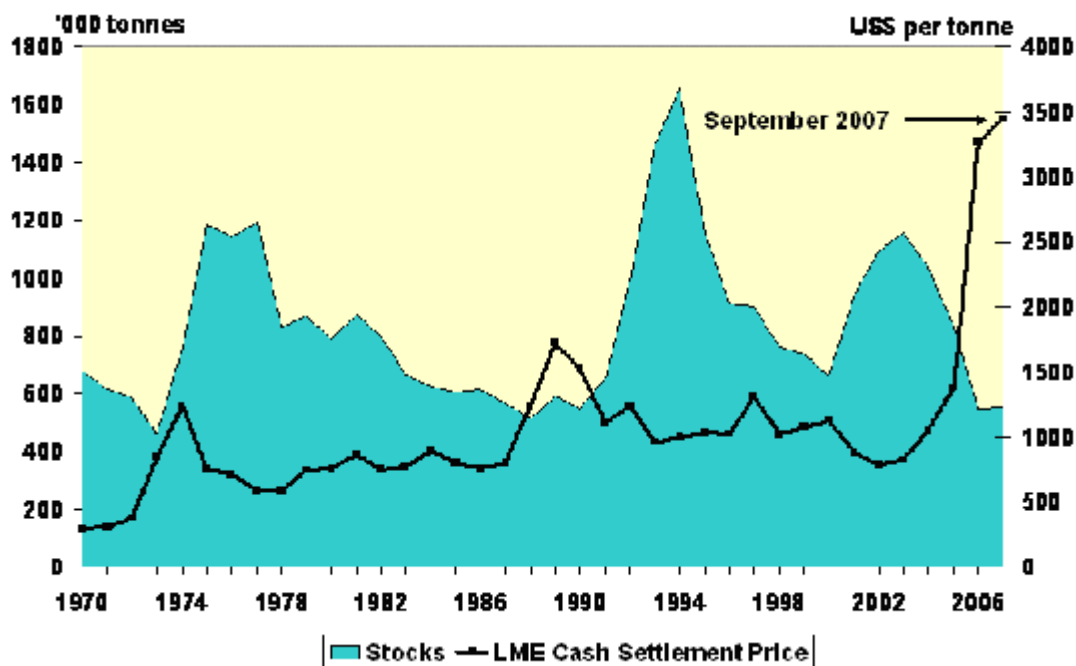


Fig. 11. Stocks de zinc en el mundo (en miles de toneladas) y precio de la tonelada de zinc (en dólares americanos) en el período 1970 - 2006. Fuente: International Lead and Zinc Study Group (2007).

Puede apreciarse, que en los últimos 5 años la subida del precio de la tonelada de zinc ha sido espectacular, alrededor del 450%. Mientras que en el año 2002 la tonelada de zinc costaba aproximadamente 750 US\$ (518 €), en 2006 el precio rondaba los 3400 US\$ (2343 €).

6. Etapas de la galvanización discontinua en caliente

6.1 Introducción

La galvanización en caliente en discontinuo es un proceso de protección anticorrosión por el que los productos de hierro y acero son protegidos contra la corrosión aplicándoles un recubrimiento de zinc. En la galvanización general en caliente en discontinuo predomina la galvanización por encargo – también denominada galvanización general – en la que se tratan gran variedad de materiales para distintos clientes. El tamaño, la cantidad y la naturaleza del material de entrada pueden variar significativamente. La galvanización de conductos o tubos, que se realiza en plantas de galvanización semi o totalmente automatizadas, no está normalmente englobada dentro del término de galvanización por encargo.

Los artículos a recubrir en las plantas de galvanización en discontinuo son fabricaciones de acero, como clavos, tornillos y otros artículos pequeños; rejas de celosía, piezas de construcción, componentes estructurales, postes ligeros y muchos otros. En ocasiones, los tubos también se galvanizan en plantas convencionales de galvanización en discontinuo. El acero galvanizado se emplea en construcción, transporte, agricultura, transmisión de energía y en cualquier aplicación en la que una buena protección contra la corrosión y una larga vida útil sean esenciales.

La siguiente figura muestra la secuencia de operaciones en la galvanización en discontinuo, que normalmente se compone de los siguientes pasos de proceso:

- Desengrase.
- Decapado.
- Mordentado (baño de sales).
- Galvanización
- Repasado.

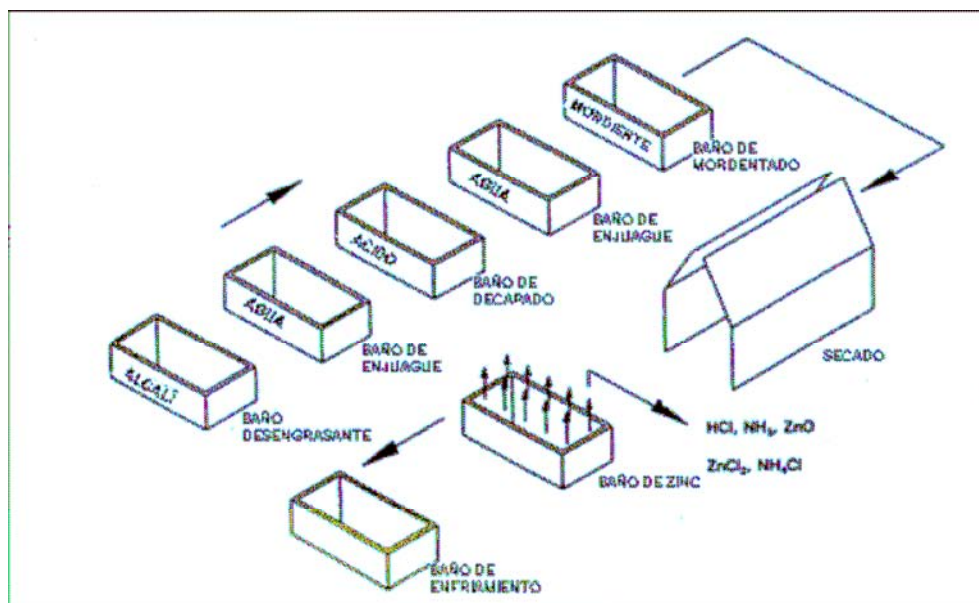


Fig. 12. Secuencia típica de procesos para una planta de galvanización en discontinuo. Fuente: www.latiza.com

Una planta de galvanización consiste esencialmente en una serie de baños de tratamiento o proceso. El acero pasa de unos tanques a otros y se sumerge en los baños con la ayuda de grúas.

Existen dos esquemas básicos de planta, que se distinguen por el diseño de la sección de pretratamiento.

Las plantas de galvanización con tratamiento preliminar abierto sitúan las cubas de pretratamiento y los demás procesos en una misma nave. En estos casos, los baños de decapado se utilizan a temperatura ambiente para evitar las emisiones al aire (vapores ácidos) y la corrosión asociada de las instalaciones.

Las plantas de galvanización con secciones de tratamiento preliminar especializadas en recintos cerrados están diseñadas para utilizar los baños de decapado a temperaturas elevadas y reducir así el número de cubas y el tiempo de decapado. Los vapores generados por las cubas de ácido se recogen y en algunos casos son limpiados con dispositivos de precipitación apropiados.

Para algunas aplicaciones especiales, el baño de galvanización puede operar a temperatura elevada, utilizando crisoles con revestimiento cerámico en lugar de crisoles de acero; esta variación del proceso se denomina "galvanización a alta temperatura".

Las instalaciones para la galvanización de tubos representan un tipo especial de planta de galvanización, en la que los tubos se recubren de forma casi continua. La manipulación de los tubos en estas plantas está parcial o totalmente automatizada.

Aunque los principios tecnológicos básicos han permanecido inalterados durante los últimos 150 años, se han producido algunos progresos principalmente encaminados a mejorar la calidad del recubrimiento de los aceros reactivos o de las piezas pequeñas. Se han realizado investigaciones para añadir V o Ti al baño de zinc fundido, así como al desarrollo de un recubrimiento de zinc-estaño. *Technigalva*, con la adición de entre 0,03 y 0,08 % de Ni al Zn, lleva ya un tiempo siendo aplicado a plena escala industrial. *Zinkopal*, un recubrimiento de zinc-aluminio para piezas pequeñas, ha sido desarrollado en Alemania, donde se utiliza en una planta.[Fuente: BREF (2001)].

6.2 Recepción del material

Los fabricados de acero se inspeccionan para asegurar que sean adecuados para su galvanización. Las piezas moldeadas de hierro y acero y algunos componentes con rosca son limpiados por granallado antes del decapado. Para la manipulación de los fabricados a lo largo del proceso de galvanización, se fijan a montajes o perchas mediante ganchos de alambre de acero. La tornillería y otros componentes pequeños se cargan en cestas perforadas, que se fijan a los montajes.

6.3 Etapas de acondicionamiento

6.3.1 Desengrase

Normalmente es necesario realizar un tratamiento de desengrase (por lo general alcalino) para eliminar los residuos de aceites y grasas, tales como aceites de corte procedentes de procesos de fabricación anteriores (laminado en frío, embutición, mecanizado,...).

No es recomendable la realización de un desengrase con disolventes ya que redistribuye el contaminante como una película fina continua de grasa sobre la pieza.

Un buen desengrase evita el arrastre de aceites y grasas a las fases de tratamiento posteriores, facilitando además la valorización de los residuos/subproductos obtenidos.

El desengrase de las piezas metálicas consiste, básicamente, en una operación de limpieza de las mismas. Tiene por objeto la eliminación de todo tipo de grasas que en general pueda presentar el metal en su superficie. El objeto del desengrase es preparar la superficie metálica para un posterior tratamiento.

Suele ser aconsejable realizar un lavado intermedio de las piezas antes de que éstas pasen al siguiente proceso de decapado, en caso

contrario, la solución de desengrase que arrastran las piezas contiene aceites y grasas y componentes del propio baño de desengrase que se incorporarían al baño posterior de decapado, acortando su vida. Además, la aparición de restos de aceites y grasas en los baños agotados de decapado dificulta su tratamiento y disminuye las posibilidades de minimización y reutilización.

En caso de que el desengrase no haya sido completamente eficaz y queden restos de aceites y grasas adheridos a las piezas, éstos se eliminarán al introducirse en el baño de zinc como gases que serán captados por el sistema de captación de humos presente en esta zona.

Los baños de desengrase tienen en su composición agentes tensoactivos que emulsionan los aceites y las grasas adheridos a la superficie de la pieza. La efectividad del baño de desengrase depende fundamentalmente de la concentración de los agentes desengrasantes, la temperatura del propio baño y duración del tratamiento.

En general se pueden encontrar tres tipos de baños de desengrase:

- Desengrase ácido
- Desengrase alcalino
- Desengrase decapante

Desengrase ácido

Los baños de desengrase ácido se componen de ácidos inorgánicos como el ácido clorhídrico y o-fosfórico, solubilizantes y agentes anticorrosivos. Este tipo de baños forman emulsiones de aceite estables, por lo que no es posible la separación de aceites y grasas para su eliminación periódica del baño. De la misma forma, tampoco son adecuadas las instalaciones de ultrafiltración, ya que

los agentes tensoactivos empleados en este caso, debido a su tamaño molecular, se separan junto con los aceites y grasas emulsionados, disminuyendo bastante la calidad del baño, siendo necesaria la adición de estos tensoactivos, por lo que la instalación no sería rentable.

Es recomendable realizar un lavado tras el desengrase ácido, ya que de esta forma se minimiza el arrastre de sustancias orgánicas al siguiente baño de decapado.

La temperatura de trabajo de los baños de desengrase de este tipo suele ser relativamente baja, entre 20 y 40 °C.

Desengrase alcalino

El proceso de desengrase más común y efectivo utilizado en el galvanizado es una solución alcalina a temperatura. Se distingue entre los desengrases alcalinos a alta temperatura (alrededor de 85 °C) y los de baja temperatura (a partir de 40 °C).

La composición básica de los baños de desengrase es el hidróxido sódico al que suelen añadirse otras sustancias con propiedades alcalinas como carbonato sódico, silicatos sódicos, fosfatos alcalinos, bórax, etc. Asimismo, se añaden agentes tensioactivos específicos (jabones), emulsionantes y dispersantes que facilitan la limpieza.

Este tipo de baño es más eficaz que el anterior, pero en este caso es necesaria la existencia de una etapa de lavado intermedia previa al proceso de decapado, para evitar la neutralización paulatina del baño de decapado debida al arrastre de solución del desengrase.

Los sistemas de desengrase alcalino pueden ajustarse para que se formen emulsiones menos estables. De esta forma, sería posible la separación de los aceites y grasas, mediante dispositivos especiales, prolongándose la vida del baño. Además, en este caso sí sería factible la utilización de instalaciones de ultrafiltración.

Desengrase decapante

La utilización de este tipo de baños está restringida a aquellos casos en los que las piezas a galvanizar tengan pequeñas cantidades de aceites y grasas adheridas a su superficie. En este caso se añaden al propio baño de decapado sustancias desengrasantes, teniendo lugar ambos procesos de forma simultánea. Su utilización suele ser problemática, tanto en lo que respecta a su eficacia, como a la hora de valorizar los baños, debido a la presencia de aceites y grasas emulsionados.

Al ser menor el poder de desengrase, pueden aparecer los aceites y grasas incluso en la etapa de galvanizado, en donde por efecto de las altas temperaturas serán captados por los sistemas de aspiración de humos, no siendo recomendable la aparición de compuestos orgánicos en este tipo de sistemas.

6.3.2 Decapado

Para eliminar la costra de moldeo, la cascarilla de laminación y las capas de óxido, las piezas se decapan en ácido clorhídrico diluido. Para ello, una planta de galvanización dispone normalmente de una serie de baños de decapado con distintas concentraciones de ácido que van del 2 al 16%, normalmente 12-16% cuando se preparan con ácido fresco. Para evitar un decapado excesivo de las piezas de acero, especialmente al decapar aceros de alta tenacidad, y para proteger las cubas de decapado de acero, se añaden inhibidores de decapado (hexametilentetramina) al baño.

Durante la operación, el contenido de hierro del baño de decapado aumenta, mientras que la cantidad de ácido libre disminuye, lo que hace necesario rellenar el baño ocasionalmente añadiendo ácido fresco. El cloruro ferroso tiene una solubilidad limitada en HCl. Cuando se alcanza este máximo, el decapado se hace imposible, pero normalmente el baño de decapado debe sustituirse incluso antes con concentraciones menores de FeCl_2 . Se han señalado concentraciones de desecho de 170 g FeCl_2/l (=75 g Fe^{2+}/l) y de 100 a 120 g Fe/l .

La elevación de la temperatura del baño de decapado puede permitir su uso a concentraciones relativamente elevadas de FeCl_2 , entre 175 y 200 g/l con el baño a 35 °C, con un cierto aumento en las emisiones.

En ocasiones se desengrasan las piezas con depósitos poco pesados de aceite en el tanque de decapado. Esta práctica puede aumentar el tiempo de decapado, produciendo mayor volumen de baño de decapado desechado por tonelada de producto y un mayor consumo de zinc. Esta práctica no puede considerarse como aceptable desde el punto de vista medioambiental.

El decapado en plantas con pretratamiento abierto se realiza normalmente a la temperatura ambiente; las plantas con pretratamiento cerrado operan en ocasiones con temperaturas de ácido más elevadas. Pueden producirse emisiones gaseosas del agente de decapado de los baños de decapado, según la concentración y temperatura del baño, y de las piezas decapadas.

Las burbujas de hidrógeno que se forman durante el proceso de decapado pueden también contener gotitas de ácido.

Algunas fuentes bibliográficas mencionan también la existencia de una etapa de descincado. En este proyecto, esta etapa se mencionará en el apartado 7 cuando se trate la problemática del proceso. No se ha incluido ahora porque esta etapa, en la mayoría

de los casos, se realiza en los mismos baños que la etapa de decapado.

6.3.3 Enjuague (preflux)

El enjuague es un paso muy importante en el proceso de galvanización, ya que prolonga la vida de los baños de tratamiento subsiguientes, reduce la producción de residuos y aumenta el reaprovechamiento de los subproductos. Tras el desengrase y el decapado, las piezas de acero se enjuagan / sumergen en baños de agua, que en ocasiones son calentados.

El arrastre de solución de un baño a otro depende del tipo de piezas (es decir, la capacidad de retención de líquido) y la forma en que se manipula, especialmente el tiempo de escurrido que se permite sobre un baño antes de mover la pieza. La cantidad de líquido arrastrado puede variar entre 5 y 20 l/Tm de acero negro. La transferencia de solución desengrasante a los baños de decapado produce eventualmente la neutralización del baño; el arrastre de ácidos y sales de hierro del decapado a los baños de mordentado y posteriormente al crisol de galvanización aumentaría tanto la generación de matas (escoria) como el consumo de zinc. Una transferencia de 1 g de hierro produce unos 25 g de matas.

El agua de enjuague puede usarse para preparar baños frescos de decapado o desengrase, como forma de reciclar agua y minimizar la evacuación de agua.

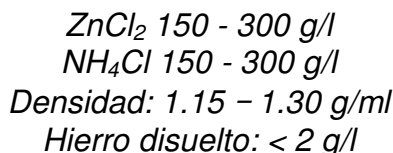
6.3.4 Mordentado (flux)

La finalidad del mordentado es permitir que el zinc líquido moje la superficie del acero, un requisito previo para la reacción de galvanización, y se realiza con agentes fundentes que contienen cloruro amónico para realizar un decapado adicional (limpieza de la superficie) durante la inmersión en el baño de zinc. A temperaturas de más de 200 °C, el cloruro amónico del agente de mordentado se descompone en NH_3 y HCl , lo que produce un efecto de decapado adicional.

El mordentado puede efectuarse por dos procedimientos: por vía seca y por vía húmeda.

En el mordentado por vía seca, el acero se sumerge en un baño de mordentado, normalmente una solución acuosa de cloruro de zinc y cloruro amónico, que normalmente se mantiene a 40 – 80 °C. El

mordentado en frío es posible pero reduce la capacidad de secado al aire de la pieza tras su extracción del baño de mordentado. Las características típicas del baño son:



El valor del pH de los baños de mordentado se ajusta normalmente a aproximadamente 4.5 para asegurar la precipitación de los iones férricos en forma de hidróxido férrico; sin embargo, el pH de los baños de mordentado puede estar en el rango de 1 a 5.0.

La concentración total de sal de mordentado (suma de cloruro de zinc y cloruro amónico) y la relación entre el cloruro de zinc y el cloruro amónico son ambas muy importantes. El cloruro amónico en una buena solución de mordiente representa a menudo el 40 - 60% del total de sal de mordentado.

El cloruro amónico facilita un rápido secado y una mejor eliminación de los óxidos de hierro de las superficies de las piezas, pero también causa más humo, cenizas y formación de matas durante el proceso de recubrimiento. Si el tratamiento preliminar de las piezas es insuficiente, se requiere más cloruro amónico. El cloruro de zinc evita la oxidación de las superficies de las piezas. Esto es particularmente importante cuando el tiempo de secado es largo. En conjunto, la concentración óptima de mordiente y su composición deben ajustarse a las circunstancias particulares.

Para reducir el impacto medioambiental del cloruro amónico durante el recubrimiento, algunos galvanizadores han cambiado a mordientes de bajo nivel de humo, en los que el cloruro amónico ha sido total o parcialmente sustituido por cloruro potásico.

Tras extraer las piezas de trabajo del baño de mordentado, parte del agua del líquido mordiente adherido se evapora. La cantidad de la evaporación depende de la temperatura del baño de mordentado y, si el baño está caliente, de la velocidad de extracción de las piezas del baño (una extracción lenta produce una mayor evaporación). En ocasiones se realiza un secado adicional en una unidad de secado especial. Los gases de escape de la caldera de galvanización pueden en ocasiones ser una útil fuente indirecta de calor para calentar esta unidad de secado, aunque muchas veces se utilizan también quemadores auxiliares. El secado de las piezas ayuda a reducir las salpicaduras y la expulsión de metal del baño del zinc al sumergir las piezas, una ventaja que aumenta si las piezas retienen

el calor tras abandonar la unidad de secado, es decir, si se aplica precalentamiento.

Una pequeña cantidad de talleres de galvanización, especialmente los que tienen requisitos de mordentado excepcionalmente exigentes para piezas complejas, utilizan un proceso alternativo, denominado mordentado por vía húmeda. En este proceso, los agentes de mordentado constituyen una capa de sal fundida sobre la superficie del baño de galvanización. Las piezas a galvanizar se introducen en el baño de zinc haciéndolas pasar a través de la capa de sal fundida. Luego, la capa de sal fundida es retirada de la superficie mediante un rastrillo, para permitir que las piezas de acero puedan extraerse del baño de galvanización sin ulterior contacto con el mordiente.

6.3.5 Secado

La etapa posterior al baño de mordentado consiste en un secado de las piezas. De esta forma se minimizan las salpicaduras de zinc que se producen por la inmediata evaporación del agua que las piezas puedan tener adheridas, al introducirlas en el baño de zinc fundido, a una temperatura de alrededor de 450 °C.

En ocasiones es posible el aprovechamiento del calor del baño de zinc para secar estas piezas.

6.4 Galvanizado

Las piezas de acero mordentadas se introducen lentamente en el baño de zinc fundido. Con piezas muy largas, que no caben en la caldera, debe aplicarse una doble inmersión con el fin de cubrir toda la superficie. El acero reacciona con el zinc para formar un recubrimiento consistente en una serie de capas de aleaciones de zinc-hierro sobre las que se forma una capa de zinc puro al extraer las piezas del baño. El período de inmersión va desde unos minutos para piezas de acero ligeras hasta 30 minutos para las piezas estructurales más pesadas.

El zinc fundido tiene una temperatura de 440 - 475 °C. Las dimensiones del crisol varían enormemente, según el mercado para el que se trabaja y el tipo de productos tratados. Las dimensiones típicas son 7 m de largo por 1,4 m de ancho y 2,6 m de profundidad, pero existen crisoles de hasta 20 m de longitud y 4 m de profundidad. El crisol enclaustrado dentro de la estructura del horno, se instala en un pozo o a nivel de suelo con plataformas de acceso. El crisol se calienta normalmente de forma externa, normalmente a gas o con quemadores alimentados con aceite. El calentamiento mediante quemadores de inmersión o calefactores de campana se utiliza cuando la

temperatura del zinc está por encima de unos 460 °C (y no puede usarse un crisol de acero) o cuando hay una superficie insuficiente en las paredes de la caldera para transferir el calor al material fundido. Cuando es económicamente viable, se utiliza calentamiento eléctrico, normalmente mediante radiación desde los lados o desde arriba, ocasionalmente también de tipo inductivo o resistivo.

Normalmente, el baño de zinc contiene asimismo cantidades muy pequeñas de otros metales, que bien son impurezas del zinc o se añaden como elementos de aleación. La composición típica de un baño es:

- Zinc 98,9 % en peso
- Plomo 1,0 % en peso
- Hierro 0,03 % en peso
- Aluminio 0,002 % en peso
- Cadmio 0,02 % en peso
- Trazas de otros metales (ej: estaño, cobre)

Se agrega aluminio y plomo debido a su influencia sobre el espesor y el aspecto del recubrimiento. La adición de plomo (entre 0,1 y 0,15%) tiene influencia sobre las propiedades físicas del zinc, especialmente sobre la viscosidad y la tensión superficial. Ayuda a mojar el acero durante la galvanización y facilita el escurrido del zinc de la superficie tras la galvanización. También puede usarse plomo para proteger la caldera. En este caso, el zinc fundido flota sobre una capa de plomo fundido en el fondo de la caldera. El espesor de las paredes de acero de la caldera se mide regularmente para evitar su perforación.

Cuando se utilizan crisoles de acero, es importante que el material de los mismos (normalmente acero bajo en carbono con mínimas adiciones de elementos reactivos como silicio) se escoja correctamente con el fin de reducir el efecto del ataque del zinc, y que estén fabricados para resistir las elevadas cargas hidrostáticas y tensiones térmicas generadas durante el calentamiento hasta la temperatura operativa. Pueden obtenerse crisoles de acero chapados interiormente para resistir el ataque del zinc, pero son considerablemente más caros.

Un pequeño número de plantas realizan “galvanización a alta temperatura” utilizando crisoles con forro refractario, que permiten operar el baño de zinc a temperaturas más elevadas, normalmente de unos 530 °C. Este proceso se requiere para tratar ciertas clases de acero (calidades) y tipos específicos de componentes.

El cloruro amónico, un componente del agente de mordentado, tiene una temperatura de sublimación por debajo de la temperatura del baño de zinc y esto, junto con las otras reacciones que se producen, hace que se generen humos durante el recubrimiento en caliente. Los crisoles de galvanización están normalmente cubiertos con campanas cerradas provistas de extractores, o disponen de un sistema de extracción de humos mediante

boquillas laterales. Normalmente, el aire de ventilación se limpia en filtros de mangas y el polvo precipitado es enviado al exterior de la planta para la recuperación de las sustancias valiosas, como el agente de mordentado. En algunos casos, el polvo precipitado se envía para su desecho en vertedero. Algunos productores aplican lavadores de Venturi y utilizan la purga de los lavadores para la confección de solución de mordentado.

Las reacciones del zinc con el acero, bien de las piezas que están siendo galvanizadas, bien de la caldera en sí, producen una acumulación de aleación de zinc-hierro en el baño, que se conoce como zinc duro o matas. Las matas pueden adherirse a las paredes del baño, pero se acumulan principalmente en el fondo, de donde son eliminadas periódicamente utilizando una cuchara o una pala. Un exceso de escoria puede interferir en la galvanización y puede causar un sobrecalentamiento de las calderas calentadas externamente. El material extraído se devuelve a la industria secundaria de zinc para la recuperación del contenido de zinc, o a la industria química del zinc para la fabricación de óxido de zinc.

En la superficie del baño de zinc se forma ceniza de zinc debido a la reacción del zinc con el oxígeno del aire y con el agente de mordentado. El material oxidado se extrae y se utiliza directamente en la planta o es devuelto a la industria secundaria del zinc para su recuperación.

6.5 Enfriamiento

Las piezas de acero son extraídas del baño de zinc; se elimina el exceso de zinc por escurrido o, en algunos casos, por agitación o vibración. A continuación, las piezas pueden dejarse enfriar al aire a temperatura ambiente, o ser enfriadas en un baño con agua. Este último proceso sobre todo es esencial para evitar que se manche la superficie por los residuos del mordentado, y más cuando las piezas se han extraído a través de una capa de mordentado (proceso húmedo).

El enfriamiento con agua también se utiliza cuando se quiere enfriar rápidamente la pieza, para “congelar” el recubrimiento, es decir, evitar que las capas de aleación continúen creciendo sobre la superficie reactiva de acero una vez que las piezas han sido extraídas del baño. Es de especial interés para piezas grandes de fundición que acumulan importantes cantidades de calor.

Para evitar el calentamiento de este baño al ir introduciendo las piezas, normalmente se hace uso de torres de refrigeración por aire situadas en el exterior de la planta. Si no existiera ningún sistema de este tipo, el baño se calentaría progresivamente y el agua se evaporaría rápidamente.

6.6 Pasivado

El baño de pasivado, habitualmente, está compuesto por una solución comercial de cromo cuya finalidad es proteger la capa de zinc de la acción de los óxidos.

También pueden emplearse otro tipo de métodos para proteger las piezas del óxido, como por ejemplo, cubrirlas con emulsiones de aceites.

7. Problemática en las líneas de galvanización en discontinuo

Muchos factores distintos influyen en la emisión de contaminantes y residuos en las plantas de galvanización en discontinuo. Las variaciones entre plantas están causadas por: variaciones en la naturaleza del material de entrada como tamaño, forma y especialmente limpieza; el tipo de crisol que se usa; los dispositivos de calentamiento; el flujo del proceso y el grado de regeneración y reutilización de los materiales en el proceso.

Los impactos medioambientales que cabe esperar de la galvanización en discontinuo son emisiones al aire y la generación de residuos, en la mayoría de casos clasificados como peligrosos. El agua residual y las emisiones al agua son un problema importante, aunque hoy en día, y gracias a plantas como la que es objeto de diseño en el presente proyecto, es posible operar plantas de galvanización casi sin agua residual.

Las fuentes de emisiones a la atmósfera son: la sección de pretratamiento, principalmente de las operaciones de decapado; la superficie del zinc fundido, especialmente durante el proceso de recubrimiento por inmersión, y los sistemas de encendido / combustión para el calentamiento del crisol de zinc y otras cubas de tratamiento.

Los residuos y subproductos derivados de la galvanización en discontinuo son las matas y cenizas con contenido de zinc, así como las soluciones de tratamiento consumidas y los lodos del mantenimiento de los baños. Durante el transporte de las piezas de un baño de tratamiento al siguiente, pueden caer líquidos (ácido, mordiente, etc.) de las piezas de trabajo. Estos vertidos son recogidos normalmente por platos de escurrido y pueden reciclarse o recogerse como residuo químico.

Los siguientes apartados dan información más detallada sobre las emisiones de los pasos de proceso característicos de la galvanización en discontinuo.

7.1 Desengrase

Los baños de desengrase se componen de agentes desengrasantes y agua. La energía requerida para calentar los baños a la temperatura operativa se suministra mediante aceite o gas, o en forma de energía eléctrica, según las condiciones locales de cada planta. En muchos casos los sistemas de desengrase son calentados mediante recuperación del calor residual e intercambiadores de calor.

El desengrase produce residuos químicos en forma de baños agotados y lodos. La cantidad de solución desengrasante a desechar depende de la cantidad de acero desengrasado y del grado de polución del mismo. Guarda correlación con la máxima vida útil de la solución desengrasante, que normalmente es de 1 - 2 años. Otras fuentes indican una vida útil máxima de los baños desengrasantes de hasta 7 años.

Los baños de desengrase alcalino consumidos contienen hidróxido sódico, carbonatos, fosfatos, silicatos, surfactantes y aceite y grasa libre y en emulsión. Los baños de desengrase ácido contienen, aparte de aceite y grasa libre y en emulsión, ácido clorhídrico y/o fosfórico diluido, emulsores e inhibidores de protección anticorrosiva.

Los baños de desengrase consumidos son tratados normalmente química y físicamente por contratistas especiales (empresas de tratamiento de residuos). La emulsión se separa en una fase rica en aceite y otra pobre en aceite. La fase acuosa, pobre en aceite, recibe un tratamiento posterior, mientras que la parte rica en aceite debe desecharse conforme a los reglamentos sobre desecho de residuos tóxicos y peligrosos.

7.2 Decapado

Los baños de decapado se confeccionan diluyendo HCl, que normalmente se suministra a una concentración de 28 - 32 % en peso (o aprox. 320 - 425 g/l HCl), a una concentración de trabajo normal 15% en peso (aprox. 160 g/l HCl). En algunos casos se agregan inhibidores de decapado. El consumo medio de ácido es de unos 20 kg por tonelada de producto, pero se ve afectado por la calidad del acero del material de entrada: pueden conseguirse índices de consumo muy bajos (inferiores a 10 kg/t) para piezas limpias, en contraste con índices de consumo muy altos (hasta 40 kg/t) para piezas con óxido. Los baños de decapado se utilizan normalmente a temperatura ambiente, por lo que no se requiere energía para su calentamiento. En caso de pretratamiento de decapado cubierto, la temperatura de la solución puede subir hasta unos 40 °C. En este caso, los baños pueden ser calentados. Del proceso de decapado se derivan otros consumos de energía, del funcionamiento de equipos auxiliares como bombas y grúas, aunque pueden considerarse despreciables.

Se registran emisiones de cloruro de hidrógeno de los baños de decapado en distintas cantidades, según la temperatura y la concentración del baño. Estos vapores ácidos son normalmente emisiones difusas. Generalmente no se aplican medidas de extracción (ej: extractores) ni lavado de los vapores, ya que la ventilación general de la planta mantiene la concentración de HCl en el aire del lugar de trabajo por debajo de los límites permitidos. Casos especiales son las plantas que utilizan secciones de pretratamiento cubiertas, que a veces trabajan con temperaturas más elevadas del ácido. Aquí se extrae el aire del conjunto y normalmente se lava el gas residual.

Los residuos generados en el decapado son solución de decapado agotados y lodos. La solución de ácido agotada se compone de ácido libre, cloruro ferroso (hasta 140 - 170 g Fe/t), cloruro de zinc, elementos de aleación del acero decapado y, en ocasiones, inhibidores de decapado. Si el descincado y el decapado se realizan en el mismo baño, se genera una solución de decapado mixta, con elevado contenido de zinc y hierro. Si el desengrase se realiza en el baño de decapado, también habrá presencia de aceite y grasa libre y en emulsión.

7.3 Descincado

La cantidad de piezas a descincar, las piezas galvanizadas rechazadas, los útiles donde se cuelgan las piezas y los artículos cuyos recubrimientos deben renovarse suponen un total del orden de 1 -15 kg/t.

El descincado de las piezas de trabajo se realiza con baños de ácido clorhídrico, normalmente con concentraciones menores y reactividades menores, similares a las requeridas para el decapado. Algunas plantas utilizan soluciones de decapado parcialmente agotadas o utilizan el baño de decapado para descincado pero ello comporta una serie de desventajas medioambientales.

La operación de descincado con ácido clorhídrico genera asimismo residuos ácidos, pero con una composición distinta a los generados por el decapado. Si el descincado se realiza en un baño ácido independiente de los baños de decapado, el baño de descincado produce cloruro de zinc relativamente no contaminado por cloruro de hierro. Esta solución puede reciclarse al baño de mordentado (cloruro de amonio y zinc).

Las soluciones que contienen cloruro de hierro y cloruro de zinc de las operaciones combinadas de decapado y descincado pueden usarse en la industria de fertilizantes, aunque debe prestarse atención a la adición de zinc a los suelos agrícolas y a no rebasar los límites establecidos por la legislación.

7.4 Mordentado

El baño de mordentado se compone del agente mordiente (normalmente $ZnCl_2$ y NH_4Cl) y una cierta cantidad de agua hasta obtener la concentración adecuada. En ocasiones, el agente mordiente se forma con KCl en lugar de una parte o todo el NH_4Cl . En la mayoría de casos, se necesita energía para calentar los baños de mordentado, para lo que algunas plantas utilizan calor recuperado.

Las emisiones a la atmósfera de los baños de mordentado se consideran despreciables, ya que el baño no contiene compuestos volátiles y las principales emisiones son de vapor de agua. En los residuos derivados de esta operación se incluyen la solución y los lodos de mordentado desechados.

Los baños de mordentado que no se regeneran continuamente aumentan su acidez y contenido de hierro a medida que se utilizan. Contienen (según el agente de mordentado) cloruro amónico, cloruro de zinc y/o cloruro potásico. El reciclaje discontinuo de la solución de mordentado es práctica común. En algunos casos, la solución se devuelve al productor de las sales mordientes de forma regular.

Los secadores situados a continuación del baño de mordentado consumen energía para calentar el aire de secado. Una parte o la totalidad de esta energía puede ser suministrada por los gases que salen del horno de galvanización. El aire húmedo que sale del secador a la atmósfera (dentro o fuera de la fábrica) lleva cloruros consigo. La solución de mordentado sobrante gotea desde las piezas al secador, donde se seca en forma cristalina y es eliminado periódicamente. Si se utilizan ventiladores grandes para soplar aire a través de los secadores, pueden requerir importantes cantidades de energía eléctrica y causar ruido.

7.5 Enjuague

Las plantas de galvanización en discontinuo consumen de 0 a 20 l/t de acero galvanizado para las operaciones de enjuague, lo que produce casi la misma cantidad de aguas residuales y lodos.

Las aguas residuales que generan son ácidas y los lodos están formados de hidróxido férrico principalmente, tal y como ocurre en el baño de mordentado.

7.6 Inmersión en zinc fundido

El principal aporte de materia prima para el proceso de recubrimiento es, por supuesto, el zinc del metal de recubrimiento. El consumo medio de zinc

para 1 t de acero galvanizado es de 75 kg. Las cifras extremas de consumo de zinc – alto o bajo – pueden atribuirse a la forma de las piezas de acero y a la calidad del recubrimiento. El consumo de zinc es, por supuesto, proporcional a la superficie recubierta y al espesor del recubrimiento.

La energía mediante gas, aceite o electricidad permite la fusión del zinc y el mantenimiento de la temperatura del baño de zinc.

El baño de galvanización es uno de los principales focos de emisiones a la atmósfera. Durante el recubrimiento por inmersión, del baño de zinc se desprenden vapor, gases y partículas contaminantes, que forman una nube blanca. Según los agentes mordientes, las emisiones pueden contener productos extremadamente finos de sublimación y vaporización, incluidos iones de cloro, amonio y zinc, así como compuestos de cloruro de zinc y cloruro amónico.

El tipo y la cantidad de emisiones dependen del consumo del agente mordiente, de su composición y de factores adicionales determinados por las piezas a galvanizar (tipo, número, superficie, calidad) y su pretratamiento (desengrase, decapado, enjuague, secado). Algunas fuentes indican que el tamaño de las partículas higroscópicas es muy pequeño, en general inferior a una micra. Otras fuentes señalan que el tamaño medio de las partículas es de 30 micras, y que sólo alrededor del 5% es inferior a 1 micra.

Según algunas investigaciones realizadas recientemente sobre la distribución de los tamaños de las partículas en las emisiones de partículas al aire del baño de galvanización durante la inmersión de las piezas, no hay riesgos para la salud por lo que respecta al tamaño de las partículas y la magnitud de las emisiones a las que pueden estar expuestos los operarios de galvanización durante el proceso de inmersión. La investigación mostró que los datos de control de exposición personal de los operarios son bajos en masa total, especialmente en el caso de los mordientes de bajo o reducido nivel de humos, y que la masa de las partículas pequeñas de menos de 1 micra de diámetro es idéntica para los mordientes normales y para los mordientes de bajo nivel de humos. Por consiguiente, no hay motivos de preocupación sanitaria entre los dos tipos de mordientes, ni por el tamaño de las partículas emitidas a la atmósfera en ninguno de ambos casos.[Fuente: BREF (2001)].

Menos de un 10% de la masa total, cuya densidad es de menos de 1,5 mg/m³, está compuesta por partículas de menos de 1 micra. En resumen, no hay motivo de preocupación en el aspecto de la salud laboral.

La cantidad de polvo emitido está estrechamente relacionada con el consumo de agente de mordentado. Algunas investigaciones han mostrado que, con un consumo de mordiente de 2 kg/t, la emisión de polvo está entre 0.2 y 0.3 kg/t, mientras que la emisión de polvo con un consumo de mordiente de 4 kg/t es de aproximadamente 1,2 kg/t de producto. La

concentración de polvo en el gas residual crudo de la galvanización por vía seca alcanza a menudo niveles de más de 100 mg/m^3 . En la galvanización por vía húmeda, las cifras son incluso superiores; un rango típico es de 80 a 180 mg/m^3 . Si, debido a un desajuste del proceso, la operación de desengrase es ineficaz, es posible que entre grasa o aceite en el baño de zinc y que se vean sometidos a combustión a baja temperatura. En este caso, el polvo de filtro puede contener hasta un 10% de grasa y pueden detectarse dioxinas.

El gas residual se trata en filtros de tejido, lo que produce polvo en los filtros, o se lava, lo que origina un efluente acuoso que normalmente se trata. Además del polvo, se emiten pequeños volúmenes de sustancias gaseosas como cloruro de hidrógeno y amoníaco, producidos por la descomposición del agente de mordentado y la recombinación del cloruro amónico como partícula aérea. Además, la combustión de combustibles para calentar el horno de galvanización produce la emisión de productos de combustión como CO , CO_2 y NO_x (también, con combustión de aceite, SO_x). Los ventiladores del aire de combustión y los quemadores pueden producir ruido.

En el baño de galvanización se originan subproductos sólidos que contienen zinc, como matas, cenizas y salpicaduras. Las matas (o escorias) se enriquecen en el baño de zinc durante la operación y tiene su origen en las piezas que se galvanizan, en las paredes de los crisoles (producto de reacción del hierro del acero con el zinc fundido), y de la reacción de las sales de hierro arrastradas del decapado y el mordentado. Debido a su mayor densidad, las matas se recogen en el fondo del crisol, de donde se extraen periódicamente. Debido al elevado contenido de zinc (95 a 98 %), las matas se venden a empresas de reciclaje para su recuperación. Las cenizas de zinc de menor densidad, que flotan en la superficie del baño de galvanización, están compuestas principalmente por óxido de zinc y cloruro de zinc, con algo de óxido de aluminio si está aleado con el baño de metal. La ceniza se separa por desespumado antes de extraer las piezas sumergidas, y normalmente llevan asimismo grandes cantidades de zinc. El contenido de zinc es del 40 al 90%, lo que hace que sean valiosas para reciclaje, bien directamente, bien por la industria secundaria del zinc.

De vez en cuando pequeñas cantidades de zinc metálico son expulsadas de la caldera, debido a la evaporación de la humedad de la superficie del acero. En su mayoría se adhieren al equipo de extracción de humos (si lo hay), del que se desprenden para la recuperación de su contenido en metal. Estas salpicaduras de zinc pueden refundirse directamente en el baño de galvanización o ser enviadas al exterior para su recuperación. Pueden contener óxido de zinc y/o estar contaminadas por su contacto con el suelo si la caldera no está cubierta.

7.7 Pasivado

El baño de pasivación está compuesto, generalmente, por una solución comercial de cromo. En el caso concreto de que en la fábrica no exista baño de enfriamiento, las piezas entrarán calientes en este baño pudiendo generar vapores de cromo, que son tóxicos para los empleados.

Para neutralizar las posibles emisiones de estos vapores, se coloca un sistema de captación de gases que los conducen a una torre de absorción donde se neutralizan antes de expulsarlos al exterior.

7.8 Acabado

La eliminación del exceso de zinc de la superficie por chorro de aire comprimido o de vapor produce emisiones de zinc y polvo con contenido de zinc. Los soplos de vapor a presión pueden también ser una fuente de ruido. Por consiguiente, la eliminación del exceso de zinc se realiza en recipientes de recogida insonorizados.

En los casos en los que el enfriamiento por inmersión de las piezas galvanizadas sea inevitable, el consumo de agua es de hasta 10 l/t de acero galvanizado. El agua se evapora parcialmente, y parte de la misma se reutiliza para la confección de baños de proceso.

7.9 Conclusiones

Una vez analizadas las posibles emisiones de cada una de las etapas, conviene recordar que el presente proyecto se va a centrar en la retirada del exceso de hierro que se acumula en los baños de mordentado y enjuague. Este exceso de hierro provoca que los baños queden inutilizados en poco tiempo y haya que sustituirlos, con el consiguiente gasto de dinero y tiempo.

Para retirar este exceso de hierro hay diferentes técnicas descritas en la bibliografía y que se describen en el apartado siguiente.

8. Técnicas a considerar en el tratamiento de los baños de mordentado y enjuague

Para compensar las pérdidas por arrastre y mantener constante la concentración de los baños de mordentado, se agregan agentes de mordentado y agua de forma regular. Para evitar el arrastre de cloruros de hierro de los baños de decapado, las piezas a galvanizar deben enjuagarse a fondo antes del mordentado. Es necesario un control estricto del contenido de hierro, ya que si se superan ciertos niveles el baño queda

inservible. No obstante, es inevitable una acumulación de hierro (II), ya sea en forma de cloruro o como hidróxido, por lo que la solución de mordentado debe cambiarse o regenerarse periódicamente.

Las técnicas que se describen a continuación, están referidas a la regeneración del baño de mordentado y del enjuague, y su finalidad es la reducción de residuos y evitar el desecho prematuro de los baños.

La opción de sustituir los baños agotados, hoy en día, sólo es aplicable si en la fábrica no hay espacio disponible donde instalar la planta de regeneración, ya que esta opción es más cara a largo plazo que la de regenerar in situ el baño.

8.1 Regeneración in situ

A continuación, se exponen las diferentes alternativas que existen para la regeneración in situ, es decir, dentro de la propia galvanizadora, de los baños de mordentado y enjuague.

8.1.1 Eliminación de hierro mediante aireación y precipitación del hierro

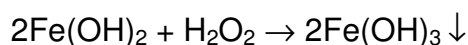
La solución de mordentado se introduce en un tanque provisto de un sistema de aireación, de esta forma se consigue la oxidación del hierro(II) a hierro(III). Este hierro(III) es muy insoluble y genera un lodo que hay que retirar mediante decantación. Por último, este lodo es recogido, normalmente, por un gestor autorizado para su posterior tratamiento.

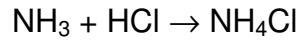
Esta operación tiene la ventaja de ser barata y reducir los niveles de hierro del baño, aunque esta reducción no es demasiado grande.

Su aplicación puede darse tanto en plantas de nueva construcción como en las ya existentes, siempre que haya espacio disponible.

8.1.2 Eliminación de hierro mediante oxidación con H₂O₂

Mediante la adición de amoníaco (para el ajuste del pH) y H₂O₂ (oxidante), el hierro se precipita en forma de Fe(OH)₃ y se produce NH₄Cl según las reacciones siguientes:





El lodo de hidróxido férrico precipitado se extrae y se desecha. A continuación en la figura 13 se muestra un esquema del proceso.

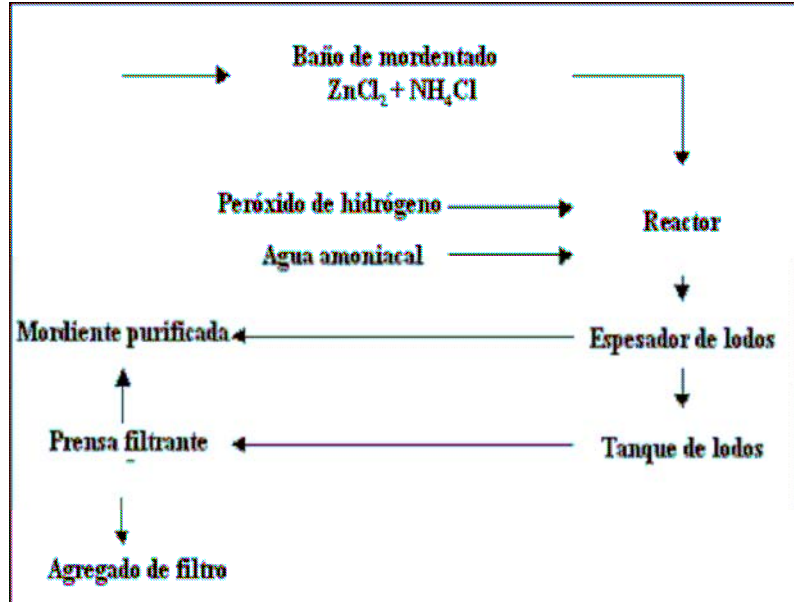


Fig. 13. Diagrama de flujo de la regeneración de mordiente. Fuente: BREF (2001).

En la figura 13.b se muestra el diagrama de solubilidad del $\text{Fe}(\text{OH})_3$ a 298K.

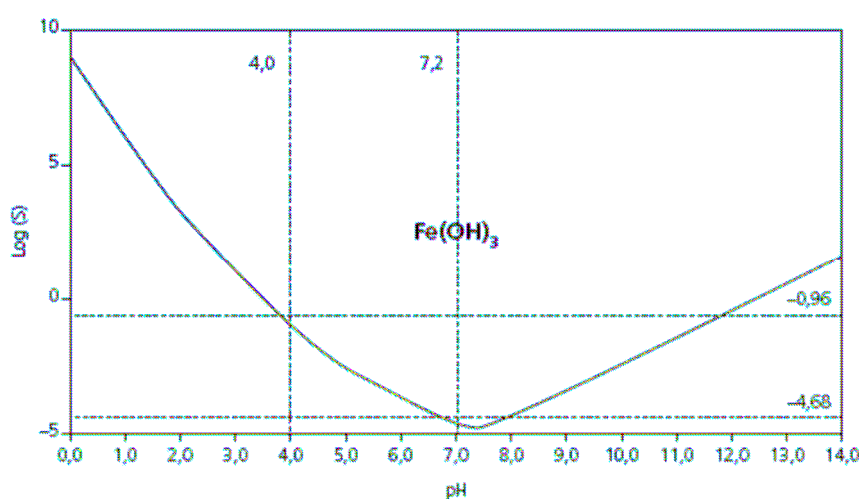


Fig.13.b. Diagrama de solubilidad del $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (298 k)

El zinc, presente inicialmente en la solución o introducido por las piezas de trabajo impregnadas de solución de los baños de enjuague o decapado, se mantiene como $ZnCl_2$.

Normalmente, la relación de $NH_4Cl/ZnCl_2$ producida es mayor que la relación requerida por la mayoría de galvanizadores, y la cantidad de sal producida es insuficiente para compensar el consumo de mordiente. Esto puede corregirse mediante la adición de solución consumida de decapado o descincado, que aumenta la producción de sales de mordentado. Otra forma de influir sobre la relación de $NH_4Cl/ZnCl_2$ en las sales producidas es hacer pre-reaccionar la solución consumida de decapado o descincado con escoria o ceniza de zinc, produciendo $ZnCl_2$ en lugar de NH_4Cl :



Los controles automatizados del pH y de redox permiten la precipitación selectiva del hierro (alrededor del 50% de hierro en los sólidos) y un bajo potencial de oxidación, lo que evita la destrucción de cualquier aditivo orgánico existente en el mordiente. Para obtener la máxima eficacia de espesamiento y filtración, se agrega un floculante selectivo a la pulpa del floculador, lo que produce una elevada velocidad de sedimentación de sólidos, una excelente claridad del rebose y mejores características de filtración del flujo inferior. Puede conseguirse un contenido sólido del aglomerado de la prensa filtrante de alrededor del 50%.

Es posible generar solución de mordentado con la composición requerida por el galvanizador. Para una composición óptima del mordiente, puede ser necesario agregar cloruro de zinc o cloruro amónico.

8.1.3 Renovación del hierro del baño mediante oxidación electrolítica

El proceso de oxidación electrolítica consiste en un módulo reactor o una serie de módulos de reacción para la oxidación electrolítica del hierro disuelto, y una serie de tanques de sedimentación para la eliminación del precipitado del caudal de proceso. En la figura 14 se muestra un esquema.

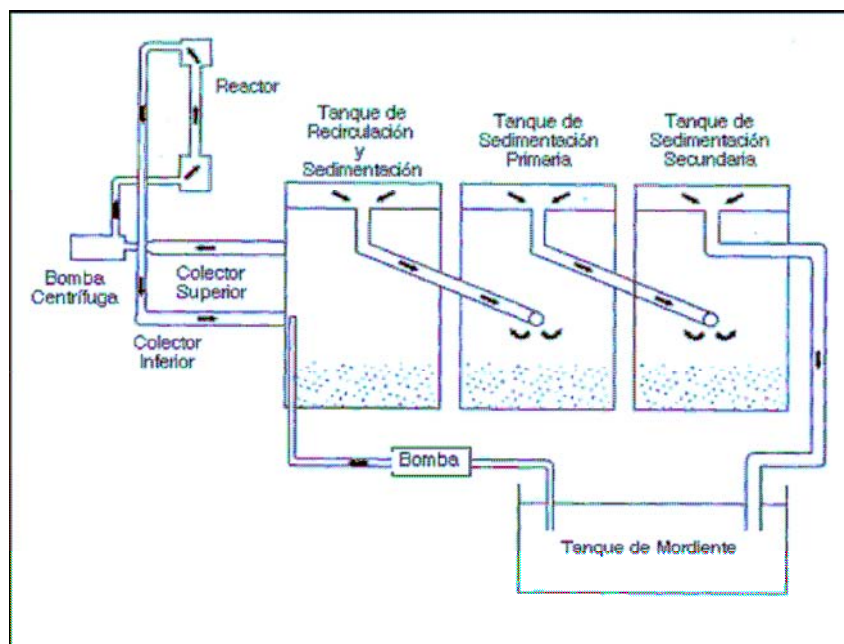


Fig. 14. Esquema del proceso de oxidación electrolítica. Fuente: BREF (2001).

Al pasar la solución de mordentado por el reactor, el ión ferroso (II) es oxidado a ión férrico (III). El ión férrico (III) precipita en forma de hidróxido. Esto viene acompañado de la producción de ácido. A consecuencia de estos cambios, las concentraciones de hierro disuelto y la capacidad ácida del caudal que sale del reactor son menores que en el caudal entrante. Debido a ello, y debido a que las piezas siguen importando agua de enjuague o solución de decapado al tanque de mordentado principal, la concentración de hierro y la capacidad ácida en el tanque de recirculación son menores que en el tanque de mordentado principal. La relación entre las concentraciones de hierro en los dos tanques depende de una serie de factores pero, en la práctica, la concentración en el tanque de recirculación puede reducirse hasta casi 0 gramos por litro, y pueden conseguirse fácilmente concentraciones constantes en el tanque principal de menos de 2 gramos por litro, pudiendo alcanzarse concentraciones de 1 gramo por litro o menos con una operación meticulosa.

Entre las ventajas que se pueden señalar de este proceso están:

- El sistema se basa en un equilibrio de cloruros, y todo el cloruro transferido desde el tanque de enjuague al tanque de mordentado se utiliza en la producción de cloruro amónico de zinc para compensar.
- El hierro se elimina.
- No es necesario ningún tratamiento de agua residual.
- El uso del agua de enjuague de los tanques de ácido permite un considerable ahorro en los costes de ácido.
- El aporte de agua y los costes se minimizan.

El problema que conlleva esta técnica es principalmente la obtención de piezas de recambio.

8.1.4 Eliminación de hierro mediante columnas de intercambio

El proceso de intercambio iónico utiliza resina para absorber el hierro. Dado que este proceso es sensible a las partículas sólidas, la solución de mordentado se filtra en primer lugar. Esto puede hacerse con un filtro de platos estándar. Agregando NaOH, el pH se ajusta al valor requerido. La unidad de neutralización tiene agitación continua para crear una solución homogénea. La solución es luego bombeada a través de la columna de intercambio iónico, en la que el hierro es absorbido por la resina.

Tras abandonar la columna, el líquido es devuelto al baño de enjuague/mordentado. Cuando la resina está saturada de hierro, debe desprenderse y regenerarse. La solución de desprendimiento/regeneración se bombea desde un depósito de almacenamiento a través de la columna, hasta otro depósito. En la columna se produce un intercambio de hierro y ácido. El hierro se disuelve en el HCl, mientras que el ácido es absorbido por la resina.

8.2 Reutilización/regeneración externa del baño de mordentado agotado

Las técnicas de regeneración *ex situ* suelen ser más caras que las anteriores, ya que exigen el transporte de la solución a una planta adecuada para su tratamiento. Básicamente se fundamentan en los mismos principios que las técnicas *in situ* aunque sus rendimientos son mayores, ya que los tratamientos los llevan a cabo empresas especializadas. No obstante, son técnicas a tener en cuenta si no existe espacio disponible en la planta ni posibilidad de acceder a un sistema *in situ*.

Las principales técnicas para regeneración *ex situ* son dos:

- Eliminación de NH_3 , precipitación y reutilización parcial para producción de mordiente nuevo
- Oxidación con H_2O_2 , reutilización total para la producción de mordiente nuevo

En el presente proyecto se ha optado finalmente por una técnica de regeneración *in situ*, por tanto, las técnicas *ex situ* simplemente se han nombrado y no se explicarán con más detalle.

Hay que señalar también, que todos estos procesos son aplicables al baño de enjuague, aunque las diferencias de concentración de hierro entre el enjuague y el mordentado pueden conllevar diferencias grandes de dimensionamiento para algunos de estos sistemas.

9. Justificación de la técnica elegida

La técnica que se ha elegido ha sido la *Eliminación de hierro mediante oxidación con H_2O_2* , los motivos que han llevado a su elección se exponen a continuación.

- Existe espacio disponible en la fábrica para ubicar un sistema de regeneración *in situ*.
- Es una técnica con un coste moderado y cuyos aditivos son baratos y fáciles de conseguir.
- Se trata de un proceso bastante simple y aplicable tanto al mordentado como al enjuague.
- Los equipos de los que constará la planta son muy usuales y existen gran variedad de proveedores de piezas de recambio.
- Es un proceso que depende casi exclusivamente de una sola variable, el pH. Existen múltiples tipos de controladores de pH y los demás controles necesarios (caudal, nivel, redox...) son muy usuales, por tanto, es un proceso que ofrece facilidad para su control.
- Además, este proceso es flexible a cambios de caudal y concentración, ya que mediante los pertinentes sistemas de control de pH, redox, nivel, etc. puede adaptarse perfectamente. Además, admite la adición de floculantes o la instalación de un sistema de aireación si fuera necesario.

10. Descripción general de la planta

La planta a la que se refiere el presente proyecto constará de un reactor para llevar a cabo la oxidación, otro reactor para la neutralización, un decantador, dos filtros prensa, un depósito de descarga de aguas claras y dos depósitos de almacenamiento de H_2O_2 y NH_3 . Un esquema de la planta es el que se presenta en la figura 15.

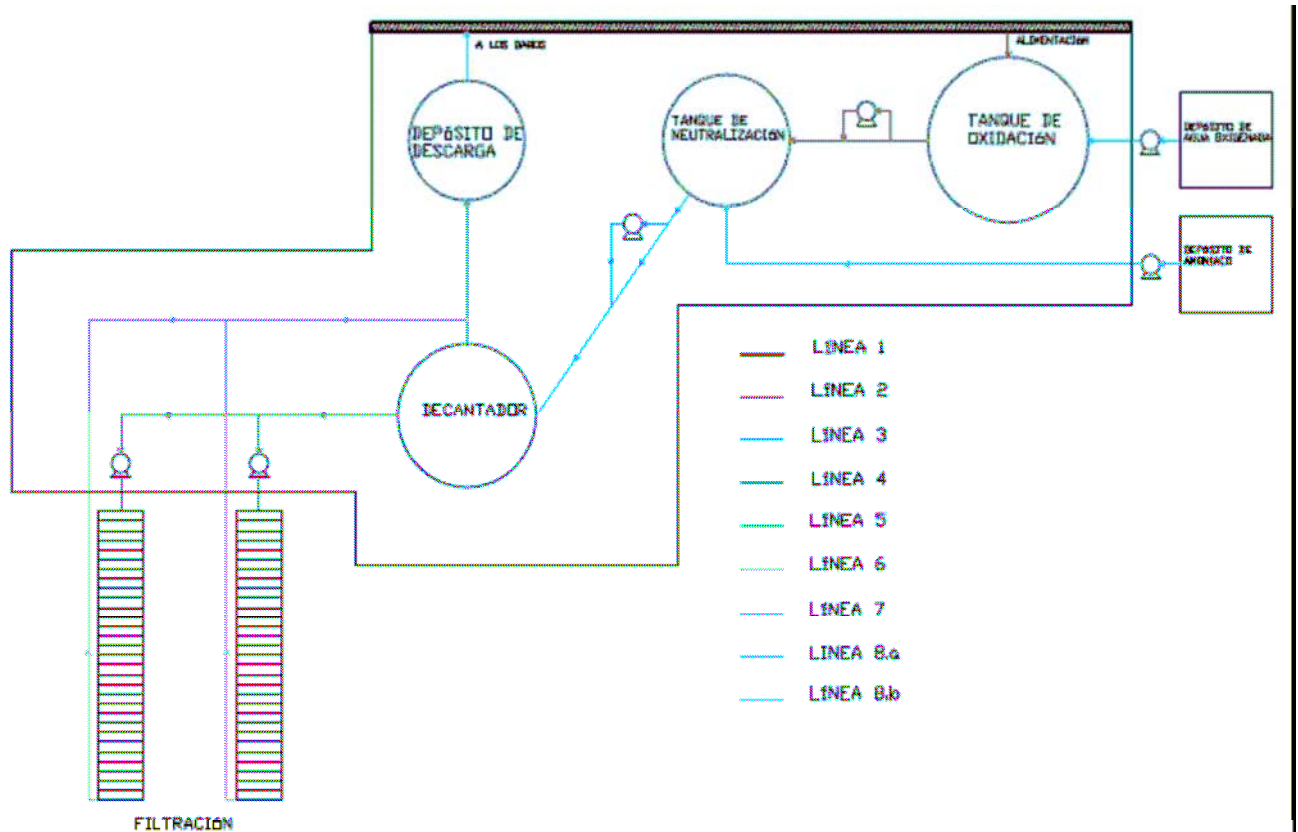


Fig. 15. Esquema de la planta industrial.

La distribución de la planta tiene forma de *L* ya que otras instalaciones en la fábrica obligan a disponerla así.

En la planta se tratarán dos alimentaciones diferentes, una proveniente del baño de mordentado y otra del enjuague. En todo momento el diseño de tuberías y equipos debe ser realizado para ambas corrientes, y la instalación de estos será siempre considerando el caso más desfavorable.

La planta estará dispuesta en dos pisos separados por una altura de 2 m aproximadamente.

Planta baja

En la planta baja estarán situadas las mitades inferiores de los reactores, por tanto, las bombas centrífugas, válvulas de retención, conducciones,...etc, también estarán aquí. Los depósitos de almacenamiento de H_2O_2 y NH_3 estarán emplazados aquí ya que se facilita así que puedan ser rellenados o sustituidos cuando se agoten.

También se sitúa en esta planta el sistema de recogida de lodos de los filtros prensa, estos lodos se recogen en depósitos plásticos de 1 m^3 de capacidad. La zona de recogida de lodos es la parte más externa de la planta donde las carretillas pueden acceder fácilmente a retirar estos depósitos y sustituirlos.

Con el fin de que las conducciones no entorpezcan el paso a los operarios que deben circular por aquí, se ha optado por disponerlas pegadas al techo, siempre y cuando sea posible y económicamente viable.

Aquí y situados junto a la pared de la fábrica se colocarán los autómatas de los sensores que hay en cada tanque.

En el suelo están dispuestas una serie de canaletas de desagüe para evitar el encharcamiento de la planta.

1ª planta

La 1ª planta es la zona alta, donde se encontrarán las mitades superiores de los reactores y los filtros prensa así como las bombas de desplazamiento positivo de que dispone cada filtro.

También se encuentran aquí todos los sensores de control (caudal, nivel, redox,...) salvo las válvulas, y los motores de los agitadores de los tanques.

Es en esta planta donde se lleva a cabo el control visual del proceso, ya que todos los tanques son abiertos, y la toma de muestras si fuera necesario.

El suelo de esta 1ª planta está hecho con mallas metálicas para impedir que se acumule agua.

Por último, toda la planta estará protegida parcialmente por una cubierta metálica, ya que los tanques abiertos podrían rebosar en caso de lluvia. Esta cubierta no es sólo un techo, también protege la planta lateralmente del viento, aunque lógicamente la protección no es total ya que debe haber

zonas abiertas en la cubierta que permitan el acceso para retirar lodos y rellenar o cambiar los depósitos de H_2O_2 y NH_3 agotados.

Asimismo, todo el perímetro estará rodeado por un muro de retención cuyo objetivo es evitar que posibles escapes puedan llegar al alcantarillado de la fábrica, es decir, la planta estará construida dentro de un cubeto de retención.

11. Descripción técnica de los equipos y las conducciones

11.1 Selección de materiales

11.1.1 Recipientes sometidos a presión

El material que se utilizará en la fabricación de los tanques de oxidación y neutralización, en el depósito de descarga y en el decantador, debe ser un metal que sea resistente a los agentes corrosivos que lleva la corriente de mordentado, resistente a la oxidación y debe poseer una buena resistencia mecánica.

Habitualmente en la industria, suelen emplearse mucho las aleaciones autoprotectoras, que son más económicas y en general tienen mejores características que los metales puros. Las aleaciones que más se usan son los aceros inoxidable y las aleaciones de níquel.

Los aceros inoxidable se clasifican en tres grupos según su constitución:

- *Aceros martensíticos*. Contienen 13 -17% de cromo y 0 – 2% de níquel, con porcentajes de carbono variable desde 0.08% al 0.6%. Estos aceros resisten la corrosión de ácidos débiles y la oxidación hasta 700 °C.
- *Aceros ferríticos*. Son aceros al cromo y lo contienen hasta en un 27%, resisten mejor la corrosión que los martensíticos y pueden calentarse sin oxidarse hasta 1150 °C.
- *Aceros austeníticos*. Son los más resistentes a la corrosión de los tres grupos. Contienen un 16 –26% de cromo y un 6 – 22% de níquel. El contenido de carbono es bajo (máximo 0.08%) para minimizar la precipitación de carburos. Se pueden fabricar por cualquier método estándar, sin embargo no son fáciles

de maquirar; se endurecen con el trabajado y se necesitan máquinas muy rígidas, cortes pesados y altas velocidades; sin embargo, las soldaduras se realizan con facilidad, aunque el calor de soldadura puede causar la precipitación del carburo de cromo, que agota el cromo disuelto en la aleación y reduce su resistencia a la corrosión en algunos ambientes específicos.

Para evitar la precipitación se han perfeccionado aceros inoxidables especiales estabilizados con titanio niobio o tántalo (tipos 321, 347, 348). Otra forma de abordar este problema es el empleo de aceros con bajo contenido en carbono, como son los tipos 304L y 316L, con un contenido máximo de carbono del 0.03%.

A la vista de esta clasificación se ha optado por utilizar para la fabricación de los tanques el acero inoxidable austenítico. Atendiendo a las condiciones que deben soportar los reactores se debe elegir un tipo de acero que resista bien la corrosión, por este motivo se decide finalmente que el acero más conveniente será del tipo AISI 316L incluido en SA-240.

11.1.2 Conducciones

A la hora de elegir el material más adecuado para la red de tuberías hay que tener en cuenta las corrientes que circularán por ellas. Como en el caso anterior, las corrientes serán las que provienen del baño de mordentado y del baño de enjuague, siendo la primera la que tiene carácter corrosivo al llevar iones cloruro.

Según la bibliografía, hay materiales no ferrosos que, según qué casos, tienen mejores propiedades anticorrosivas que el acero, por ejemplo los materiales plásticos como el PVC. Estos materiales son ya ampliamente utilizados en muchos campos industriales y además son más baratos que los aceros inoxidables. La desventaja que presentan con respecto al acero es que no toleran un rango tan amplio de temperaturas y su resistencia mecánica tampoco es mejor que la del acero (por esta razón no se tomó en cuenta para la fabricación de los tanques).

Teniendo en cuenta todas las características del material PVC, y conociendo que las condiciones de temperatura y presión en la planta son perfectamente asumibles por este material, se opta finalmente por fabricar la red de tuberías con PVC.

11.2 Tanque de oxidación

El tanque de oxidación tendrá un volumen útil de 4800 L aunque su volumen real será de 6000 L. Está compuesto por:

- Una envolvente o cuerpo cilíndrico de 7 mm de espesor, 2.26 m de altura y 1.72 m de diámetro interno. Su volumen es de 5.29 m³.
- Un fondo de forma toriesférica tipo Korbbogen, cuyo diámetro interno es igual al de la envolvente, su altura es de 0.45 m, su espesor es de 6 mm y su volumen es de 0.66 m³. Está unido a la envolvente por una pestaña de 21 mm de altura.
- Como accesorios el tanque cuenta con boquillas de conexión embridadas.

El tanque estará soportado por cuatro patas de perfil "L" y cuyas dimensiones son 100×100×14 cm. Estas patas irán atornilladas a placas cuadrangulares de 200 mm de lado y 10 mm de espesor y cuyos pernos tendrán 27 mm de diámetro.

A continuación, en la tabla 1 se presentan las dimensiones más importantes del tanque.

TANQUE DE OXIDACIÓN		
ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	7
	ALTURA (m)	2.26
	VOLUMEN (m ³)	5.29
FONDO	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.45
	VOLUMEN (m ³)	0.66
PESTAÑA	ESPESOR (mm)	7
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.048
VOLUMEN TOTAL (m ³)		6
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.73
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.720
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.734

Tabla 1. Dimensiones del tanque de oxidación.

(*) Altura total sin contar con las patas.

11.2.1 Agitador

Los líquidos se agitan con diversos fines, dependiendo de los objetivos de la etapa del proceso, entre ellos se pueden encontrar: suspensión de partículas sólidas, mezclado de líquidos miscibles, dispersión de un gas en un líquido, ...etc. Con frecuencia el agitador cubre varias finalidades al mismo tiempo.

En el caso concreto de este tanque, el sistema de agitación tiene como objetivo la mezcla de dos líquidos miscibles.

En general los sistemas de agitación se componen de:

- Rodete
- Eje
- Motor

Un esquema de un sistema de agitación genérico es el siguiente.

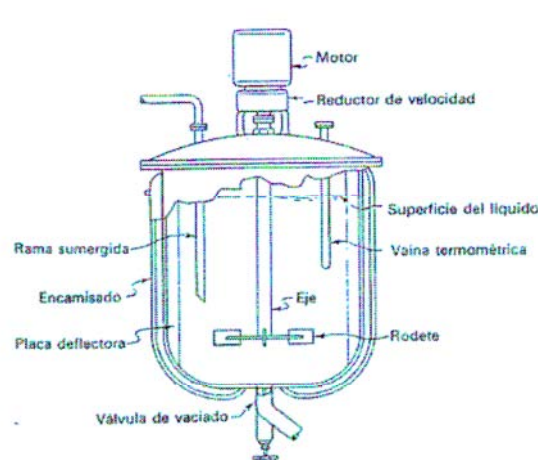


Fig. 16. Esquema de un reactor de tanque agitado. Fuente: "Operaciones unitarias en ingeniería" (McCabe/Smith).

En la figura 17 se representan los principales tipos de rodetes.

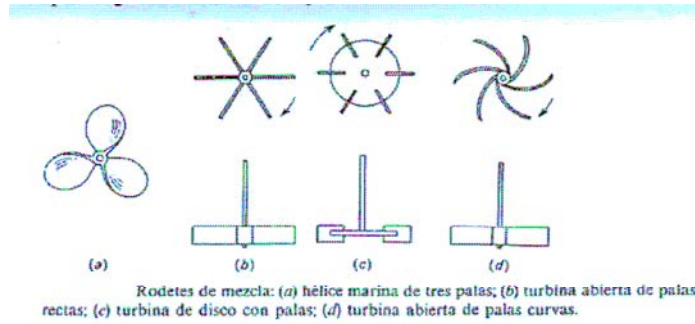


Fig. 17. Esquema de rodetes. Fuente: "Operaciones unitarias en ingeniería" (McCabe/Smith).

Se ha decidido que se colocará un rodete del tipo hélice marina de tres palas por las siguientes razones:

- El tanque no es muy grande
- Son muy eficaces
- Se utilizan para líquidos de baja viscosidad



Fig. 18. Hélice marina de tres palas. Fuente: <www.mavag.com> (2007).

El eje de agitación estará desplazado a un lado del eje del tanque para evitar el flujo circulatorio y los remolinos, ya que es un tanque de pequeño tamaño. Esto queda reflejado en la figura 19.

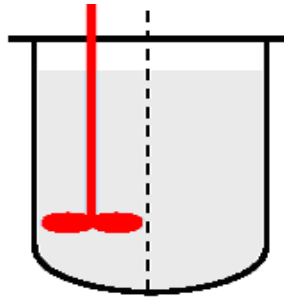


Fig. 19. Esquema de la disposición del eje de agitación en el tanque. Fuente: <www.mavag.com> (2007).

A continuación se resumen los datos más relevantes del sistema de agitación para el tanque de oxidación.

- *Diámetro de la hélice = 0.45 m*
- *Distancia hélice-fondo del tanque = 0.56 m*
- *Motor eléctrico de 318 W de potencia*

11.2.2 Solución de H₂O₂

La solución de H₂O₂ que se utilizará será una solución comercial al 35% que estará almacenada en un depósito plástico de 1 m³ de capacidad conectado a una bomba dosificadora del producto. Este depósito llevará también un controlador de nivel para evitar que se agote el producto durante el proceso.

A continuación se presenta un extracto de la hoja de seguridad del producto en el que se recogen sus propiedades físicas y otros datos de interés.

PEROXIDO DE HIDROGENO EN SOLUCION >60%

ICSC: 0164

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla suavemente o bajo la influencia de la luz, produciendo oxígeno que aumenta el peligro de incendio. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, causando peligro de incendio o explosión particularmente en presencia de metales. Ataca a muchas sustancias orgánicas, e.j., textiles y papel.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 ppm; 1.4 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones del vapor o la niebla puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar a los pulmones, dando lugar a una alteración del intercambio gaseoso.</p>
	PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición: 141°C (90%), 125°C (70%)°C Punto de fusión: -11°C (90%), -39°C (70%)°C Densidad relativa (agua = 1): 1.4 (90%), 1.3 (70%) Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 0.2 (90%), 0.1 (70%) Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1</p>

Fig. 20. Extracto de la Ficha de Seguridad del peróxido de hidrógeno en solución > 60%.

11.2.3 Sistema de aireación

El sistema de aireación es algo opcional y en ocasiones puede ser útil para hacer el proceso más flexible y rápido. En la Memoria de Cálculos no se ha hecho ningún diseño de este sistema porque en principio no es necesario para el buen funcionamiento de la planta, aunque se ha querido introducir en este apartado como un complemento al tratamiento que, en determinados momentos y según las variaciones de concentración, etc., puede ser beneficioso.

Su implantación no suele ser complicada ya que casi todas las fábricas poseen líneas de suministro de aire a presión, y las galvanizadoras especialmente casi siempre tienen líneas de este tipo que utilizan para agitar los baños y hacer que funcionen herramientas de repaso de material terminado que suelen ser neumáticas.

Para instalar un sistema de aireación, por tanto, bastará con colocar un difusor en el fondo del tanque y conectarlo a la línea de aire a presión con su correspondiente válvula de regulación.

La instalación de este tipo de sistemas lleva aparejada una serie de ventajas pero también algunos problemas, como es el caso de la formación de espuma. Es por eso que siempre que se conecte la aireación, el operario debe añadir también algún producto antiespumante para evitar que la espuma rebose del tanque.

11.2.4 Antiespumante

El antiespumante se utiliza para combatir la espuma en procesos industriales. Están compuestos, en su mayoría, por una emulsión de siliconas de gran estabilidad diluibles en agua, aunque también se pueden encontrar en polvo. Es un producto especialmente formulado para ser aplicado en todos los sistemas acuosos que producen espuma, y es efectivo ya sea en condiciones neutras, ácidas o alcalinas y estable en un intervalo amplio de pH (4-11).

En la mayoría de los casos se incorpora directamente en el medio a utilizar, requiriendo únicamente de agitación suficiente para lograr una dispersión completa y efectiva.

Cuando el sistema es de escasa o limitada agitación se recomienda la dilución del antiespumante con agua fría en una proporción de 1 parte de emulsión antiespumante por 9 partes de agua (máximo). Con esta forma de uso se obtiene una adecuada dispersión en el sistema y por lo tanto un mejor rendimiento del producto. La cantidad de antiespumante necesaria en cada caso depende del gradiente de espuma a eliminar, de la estabilidad de la

espuma en cuestión, y de las condiciones específicas del proceso. Se sugiere comenzar con una concentración de 50 a 100 ppm. (1:10000 a 20000).

Este producto no agrede a las personas, y al medio ambiente. Es biodegradable, no cáustico, no corrosivo, no abrasivo, no inflamable. Puede ser necesario remover suavemente la emulsión diluida si ha estado almacenada más de 24 horas.

Se recomienda ensayar el producto antes de su utilización.

Características físico-químicas			
Denominación	Antiespumante	Biodegradable	Según DIRECTIVAS 73/404/CEE
Solubilidad	Total en agua	Toxicidad	El producto no tiene la clasificación de tóxico según la reglamentación de envasado y etiquetado de sustancias y preparados peligrosos. Según directiva 92/32/CEE, DL50 > 2000 mg/Kg
Densidad(15°)	0,98 / 1,00.		
Color	blanco lechoso.		
pH 15°C(1%)	7		
Inflamabilidad	NO INFLAMABLE debajo del punto de ebullición		
Componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Siliconas • Emulsionantes • Alcohol 		

Fig. 21. Características físico-químicas del antiespumante.

Por experiencia, se sabe que en las plantas galvanizadoras puede utilizarse el polvo de zinc recogido en los filtros de las chimeneas a modo de antiespumante. No es tan eficaz como un antiespumante comercial pero no cuesta dinero y sus resultados son aceptables. Además se contribuye a reutilizar un residuo de la planta.

11.3 Tanque de neutralización

El tanque de neutralización tendrá un volumen de 4000 L y estará compuesto por:

- Una envolvente o cuerpo cilíndrico de 6 mm de espesor, 2.51 m de altura y 1.36 m de diámetro interno. Su volumen es de 3.65 m³.
- Un fondo de forma toriesférica tipo Korbogen, cuyo diámetro interno es igual al de la envolvente, su altura es de 0.35 m, su espesor es de 6 mm y su volumen es de 0.32 m³. Está unido a la envolvente por una pestaña de 21 mm de altura.
- Como accesorios el tanque cuenta con boquillas de conexión embridadas.

El soporte para este tanque será de cuatro patas de perfil "L" con dimensiones de 100×100×10. Estas patas irán atornilladas a placas cuadrangulares de 200 mm de lado y 10 mm de espesor y cuyos pernos tendrán 27 mm de diámetro.

En la tabla 2 se recogen las dimensiones del tanque.

TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN		
ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	2.51
	VOLUMEN (m ³)	3.65
FONDO	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.35
	VOLUMEN (m ³)	0.32
PESTAÑA	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.03
VOLUMEN TOTAL (m ³)		4
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.88
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.360
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.372

Tabla 2. Dimensiones del tanque de neutralización.

(*) Altura total sin contar con las patas.

11.3.1 Agitador

El sistema de agitación para este tanque también constará de un rodete tipo hélice marina tal y como se explicó para el tanque de oxidación.

En este caso la diferencia de viscosidad entre el mordentado y el enjuague una vez que precipita el hierro es notable, por lo que es de suponer que la potencia del motor de agitación será distinta al caso anterior. Se opta entonces por colocar el motor de mayor potencia, ya que sería el caso más desfavorable.

El eje de agitación también estará desplazado a un lado del eje del tanque para evitar el flujo circulatorio y los remolinos, ya que es un tanque de pequeño tamaño.

A continuación se resumen los datos más relevantes del sistema de agitación para el tanque de oxidación.

- *Diámetro de la hélice = 0.45 m*
- *Distancia hélice-fondo del tanque = 0.45 m*
- *Motor eléctrico de 509.8 W de potencia*

11.3.2 Solución de NH₃

La solución de NH₃ que se utilizará será una solución comercial al 25% que estará almacenada en un depósito plástico de 1 m³ de capacidad conectado a una bomba dosificadora del producto. Este depósito llevará también un controlador de nivel para evitar que se agote el producto en mitad del proceso.

A continuación se presenta un extracto de la hoja de seguridad del producto en el que se recogen sus propiedades físicas y otros datos importantes.

HIDROXIDO AMONICO (disolución 10-35%) ICSC: 0215

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Disolución incolora, muy volátil, de olor acre.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor o aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS Reacciona con muchos metales y sus sales dando lugar a la formación de compuestos explosivos. Ataca a muchos metales formando gas inflamable de hidrógeno. La disolución en agua es una base fuerte y reacciona violentamente con ácidos.	EFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar edema laringeal, inflamación del tracto respiratorio y neumonía. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido. MAK no establecido.	EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al vapor o aerosol.

PROPIEDADES FÍSICAS	Punto de ebullición: (25%) 38°C	Presión de vapor, kPa a 20°C: (25%) 48
	Punto de fusión: (25%) -58°C	Densidad relativa de vapor (aire = 1):
	Densidad relativa (agua = 1): (25%) 0.6-1.2	Densidad relativa de la mezcla
	0.9	vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.1 (25%),
	Solubilidad en agua: Miscible	1.2 (32%)

Fig. 22. Extracto de la Ficha de Seguridad del hidróxido amónico (disolución 10-35%).

11.4 Decantador

La decantación es el proceso unitario más utilizado para realizar la separación sólido líquido. Dentro del proceso de decantación podemos encontrarnos con equipos convencionales (dinámicos ó estáticos) ó bien rellenos parcial o totalmente de paquetes lamelares.

Teniendo en cuenta que el espacio en la planta es limitado, y que la concentración de sólidos es variable, se ha optado por escoger un equipo de decantación que pueda adaptarse a las necesidades de la planta en cada caso y que ocupe lo menos posible. En este caso un decantador troncocónico con paquetes lamelares es el más indicado.

El decantador elegido en este caso será un decantador de marca registrada Comby y suministrado por un proveedor italiano.

El decantador Comby está totalmente construido de fibra de vidrio. Aprovecha los sistemas de decantación gravitatoria de plano inclinado y centrífugo, poniendo a disposición una superficie útil hasta 10 veces superior a la superficie ocupada, sin órganos mecánicos en movimiento.

Está ensamblado con elementos modulares fácilmente desmontables para las operaciones de mantenimiento o para la eventual modificación y ampliación del paquete filtrante. Está constituido esencialmente por un recipiente de fondo cónico, apoyado en pies de hierro pintado, un pequeño ciclón en la entrada, que centrifuga el líquido que entra, separando las partículas más pesadas, y un paquete modular de elementos en forma de cono truncado superpuestos, con una superficie de trabajo diez veces mayor que la sección del recipiente; esto significa, en sustancia, que la maquinaria propuesta contiene, en un espacio diez veces menor, la capacidad filtrante de un decantador común.

El proceso de sedimentación comienza en la entrada, con la centrifugación del líquido realizada por el ciclón, que separa las partes más pesadas; el líquido, con las demás partículas aún en suspensión, es obligado a descender hacia el fondo del recipiente, para subir luego entre planos inclinados sucesivos -colocados a una distancia de aproximadamente 5 cm uno del otro- sufriendo una decantación laminar. Cuando las partículas depositadas sobre las superficies en forma de cono

truncado alcanzan un cierto peso, se deslizan hacia la parte inferior del depósito, donde se acumulan los lodos.

Un esquema detallado del decantador es el que muestra la figura 23.

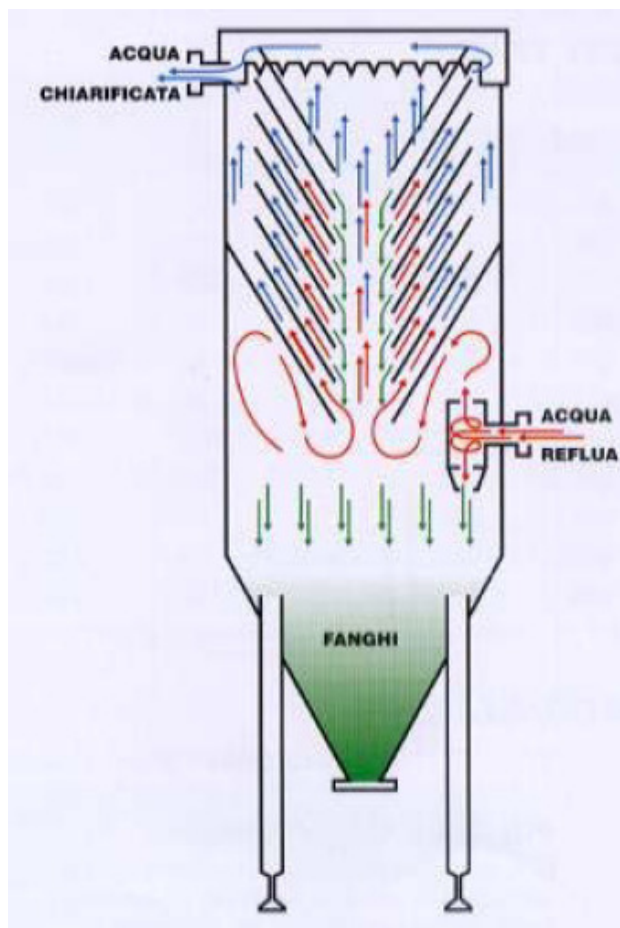


Fig. 23. Esquema del decantador tipo Comby.
Fuente: Grupo Maccabeo.

Las dimensiones del decantador se presentan en la tabla 3.

<i>Dimensiones del decantador</i>	
<i>Área horizontal (m²)</i>	1.8
<i>Volumen total (m³)</i>	3.6
<i>Altura total (m)</i>	2.66
<i>Diámetro (m)</i>	1.5

Tabla 3. Dimensiones del decantador.

11.4.1 Floculante

En determinadas ocasiones puede ser necesaria la utilización de algún tipo de floculante que acelere el proceso de decantación. En principio, el decantador ha sido diseñado para no necesitarlo pero ante la posibilidad de que algún cambio imprevisto pueda suceder en la corriente tratada sería adecuado contar con un aditivo de estas características.

El floculante que se recomienda es godofloc TT-231 ACH, este floculante está compuesto por un polielectrolito aniónico y es adecuado para usarlo en aguas industriales. Algunas de sus principales características vienen reflejadas en la siguiente tabla.

Forma	Polvo blanco Granulado
Viscosidad de la solución	400 – 550 cp
Carga eléctrica	Aniónico Fuerte
Tiempo de vida garantizado	12 meses
Monómero residual libre	< 250 mg/Kg

Fig. 24. Características del Floculante.
Fuente: Comercial Godó S.L.

11.5 Filtros prensa

La filtración es el método más utilizado en el tratamiento de lodos producidos en el tratamiento de las aguas residuales. Puede consistir en el drenaje en lechos de arena o puede ser mecánico por medios de aspiración o en condiciones de alta presión que requieren de procedimientos y equipos más sofisticados.

Los filtros prensa funcionan mediante la aplicación de altas condiciones de presión (desde 5 a 15 bares o más). La técnica de prensado es la más extendida a pesar de la operación intermitente y los altos costes de inversión.

Filtros prensa de placas

El filtro prensa contiene un conjunto alternado de marcos y huecos y placas entre los que se sitúa el medio filtrante, generalmente una tela o lona. Dichos elementos se colocan sobre un bastidor en el que se acoplan mediante una prensa. Los marcos y las placas tienen unas perforaciones en

sus esquinas, por lo que, una vez ensamblados, forman las conducciones de entrada de la suspensión por la parte superior y de salida del filtrado por la parte inferior, quedando el sólido retenido en la tela filtrante situada a ambos lados del marco. La filtración continúa hasta que no sale líquido o existe un aumento brusco de la presión. En ese momento, se procede al lavado del sólido, abriendo posteriormente la prensa para su descarga. Evidentemente, este tipo de filtro opera de forma discontinua.

En los filtros prensa el intervalo de presiones de trabajo oscila entre 3 y 10 atmósferas, siendo por lo tanto muy versátiles tanto en lo que se refiere a los cambios de alimentación como a la capacidad de tratamiento (pueden añadirse o quitarse placas y marcos según la necesidad), si bien el coste de la mano de obra (desmontaje del equipo, descarga de la torta y nuevo montaje) supone un capítulo importante dentro de los costes de operación. Las características señaladas hacen aconsejable su aplicación para el filtrado de líquidos con gran cantidad de sólidos, en filtraciones difíciles y cuando se van a tratar cantidades no muy elevadas. Se utilizan habitualmente en la tecnología de alimentos, particularmente en la industria de bebidas (fabricación de cerveza, vinos, producción de zumos, etc.).

En la figura 25 se presenta un esquema de un filtro prensa.

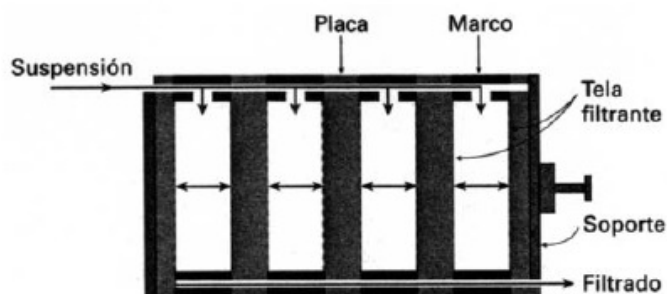


Fig. 25. Esquema de un filtro prensa.

Los filtros de prensa son sistemas de deshidratación intermitente. Cada operación de prensado supone los siguientes pasos:

- **Cerramiento de la prensa**: cuando el filtro está totalmente vacío, la cabeza móvil que es activado por el sistema hidráulico-neumático cierra las placas. La presión de cerramiento es autorregulada mediante la filtración.
- **Rellenado**: Durante esta fase corta la cámara se llena con lodos para su filtración. El tiempo de relleno depende del flujo de la bomba de alimentación. Para lodo con gran capacidad de filtración

es mejor rellenar el filtro rápidamente para evitar la formación de una pasta en la cámara primaria antes de que se haya rellenado del todo.

- **Filtración:** Una vez rellenada la cámara, la llegada de manera continua de lodo a tratar para ser desaguado provoca un aumento de la presión debido a la formación de una capa espesa de lodo en las membranas. Esta fase de filtración puede reducirse de manera manual, mediante un temporizador o un indicador del flujo que activa una alarma de parada cuando se alcanza el final de la capacidad de filtración. Cuando se ha parado la bomba de filtración, los circuitos de filtración y conductos centrales, que están todavía rellenos de lodo se les aplica aire comprimido para su purgado.
- **Apertura del filtro:** La cabeza movable se retira para desarmar la primera cámara de filtración. La pasta cae por su propio peso. Un sistema mecanizado tira de las placas una por una. La velocidad en la separación de las placas puede ajustarse teniendo en cuenta la textura de la pasta.
- **Limpieza:** La limpieza de las membranas puede llevarse a cabo entre 15-30 operaciones del proceso. Para unidades largas o medias esto tiene lugar en prensados usando spray de agua a altas presiones (80-100 bar). La limpieza está sincronizada con la separación de las placas.



Fig. 26. Filtro prensa industrial.

La capacidad de producción de un filtro de prensa es de entre 1.5 y 10 kg de sólidos por m² de superficie de filtración. para cada modelo de filtro

prensa el volumen de la cámara y la superficie de filtración depende del número de placas del filtro.

La filtración depende de:

- espesamiento de la pasta
- concentración de lodo
- resistencia específica
- coeficiente de compresibilidad

Una de las ventajas de los filtros prensa es que pueden aceptar lodo con distinta capacidad de filtración. Es recomendable espesar el lodo antes de la operación en el filtro de prensado. Si el lodo presenta gran capacidad de filtración permite capacidades de producción mayores, los filtros prensa aceptan igualmente lodo con condiciones poco precisas para su filtrado. Esta tolerancia significa que el sistema presenta condiciones de operabilidad seguras y con pocos riesgos.

El filtro prensa es adecuado para los siguientes tipos de lodos:

- *Lodo orgánico hidrófilo*: el acondicionamiento inorgánico es recomendado para conseguir una pasta satisfactoria que no se adhiera a las membranas del filtro.
- *Lodo inorgánico hidrófilo*: el filtro prensa generalmente requiere la adición de arcilla únicamente.
- *Lodo inorgánico hidrofóbico*: es muy denso e ideal para los filtros prensa. Es desaguado sin necesidad de acondicionamiento preliminar.
- *Lodo aceitoso*: el filtro prensa se puede utilizar para el tratamiento de lodo que contiene aceites ligeros, la presencia de grasas puede permitir una operación más suave del filtro aunque las membranas deben desengrasarse a intervalos frecuentes.

Los tamaños estándar para la fabricación de las placas filtrantes son:

- 250×250 mm
- 300×300 mm
- 500×500 mm
- 630×630 mm
- 800×800 mm
- 1000×1000 mm
- 1200×1200 mm
- 1500×1500 mm

Pueden ser construidos en acero al carbono St-37, o en acero inoxidable calidad AISI-304 o 316.

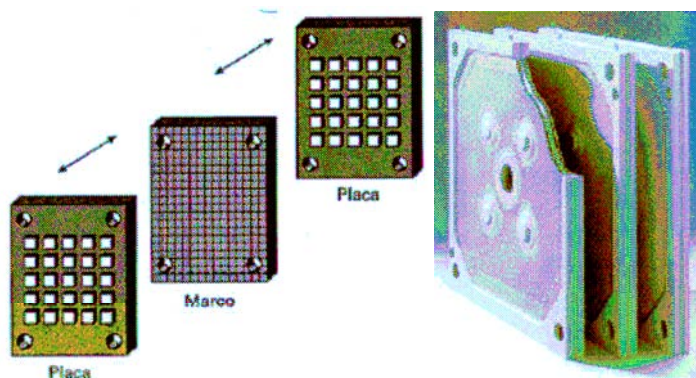


Fig. 27. Esquema de placas filtrantes y placas industriales.

El filtro que se ha elegido para la planta es un filtro prensa de la serie FP[®], cuyas medidas son 500×500 mm de placas y una longitud total de 3 m aproximadamente. El número de placas a instalar será de 40 – 50. En la siguiente figura se muestra la disposición del filtro seleccionado.



Fig. 28. Disposición del filtro prensa seleccionado.

11.6 Depósito de descarga de aguas claras

El depósito de descarga de aguas claras tendrá un volumen de 3000 L. Está compuesto por:

- Una envolvente o cuerpo cilíndrico de 6 mm de espesor, 2.25 m de altura y 1.24 m de diámetro interno. Su volumen es de 2.72 m³.
- Un fondo de forma toriesférica tipo Korbogen, cuyo diámetro interno es igual al de la envolvente, su altura es de 0.325 m, su espesor es de 6 mm y su volumen es de 0.25 m³. Está unido a la envolvente por una pestaña de 21 mm de altura.
- Como accesorios el tanque cuenta con boquillas de conexión embridadas.

El soporte para este tanque también será de cuatro patas de perfil “L” y cuyas dimensiones son 100×100×10. Estas patas irán atornilladas a placas cuadrangulares de 200 mm de lado y 10 mm de espesor y cuyos pernos tendrán 27 mm de diámetro.

En la tabla 4 se presentan las dimensiones del tanque.

DEPÓSITO DE DESCARGA		
ENVOLVENTE	ESPEJOR (mm)	6
	ALTURA (m)	2.25
	VOLUMEN (m ³)	2.72
FONDO	ESPEJOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.325
	VOLUMEN (m ³)	0.25
PESTAÑA	ESPEJOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.031
VOLUMEN TOTAL (m ³)		3
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.6
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.240
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.252

Tabla 4. Dimensiones del depósito de descarga.

(*) Altura total sin contar con las patas.

11.7 Conducciones

Para elegir las conducciones que se van a instalar y sus dimensiones se ha dividido la red de tuberías en tramos:

- Baños → T. Oxidación (tramo 1)
- T. Oxidación → T. Neutralización (tramo 2)
- T. Neutralización → Decantador (tramo 3)
- Decantador → Filtro (tramo 4)
- Decantador → Depósito de descarga (tramo 5)
- Filtro → Depósito de descarga (tramo 6)
- Depósito de descarga → Baños (tramo 7)

Además de estos tramos también están los que unen los depósitos de amoníaco y agua oxigenada con los tanques de neutralización y oxidación respectivamente.

- Depósito de agua oxigenada → T. Oxidación (tramo 8.a)
- Depósito de amoníaco → T. Neutralización (tramo 8.b)

A continuación se representan en tablas 5 a 13, las características más importantes de las conducciones en cada tramo.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Baños → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 5. Dimensiones normalizadas del tramo 1.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (T. Oxidación → T. Neutralización)	
Diámetro nominal (mm)	25

Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 6. Dimensiones normalizadas del tramo 2.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (T. Neutralización → Decantador)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 7. Dimensiones normalizadas del tramo 3.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Decantador → Filtro)	
Diámetro nominal (mm)	63
Presión Nominal (atm)	6
Diámetro exterior (mm)	63
Diámetro interior (mm)	59
Espesor (mm)	2

Tabla 8. Dimensiones normalizadas del tramo 4.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Decantador → Depósito de descarga)	
Diámetro nominal (mm)	25

Presión Nominal (atm)	16
Díámetro exterior (mm)	25
Díámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 9. Dimensiones normalizadas del tramo 5.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Filtro → Depósito de descarga)	
Díámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Díámetro exterior (mm)	25
Díámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 10. Dimensiones normalizadas del tramo 6.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de descarga → Baños)	
Díámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Díámetro exterior (mm)	25
Díámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 11. Dimensiones normalizadas del tramo 7.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de agua oxigenada → T. Oxidación)	
Díámetro nominal (mm)	25

Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

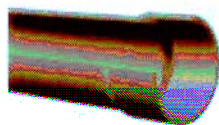
Tabla 12. Dimensiones normalizadas del tramo 8.a.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de amoníaco → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 13. Dimensiones normalizadas del tramo 8.b.

Las tablas anteriores están referidas a los tubos de PVC que nos puede suministrar el proveedor, por eso no se corresponden exactamente con los datos obtenidos en la memoria de cálculos. Como se puede ver en las tablas todas las conducciones serán de 25 mm de diámetro nominal salvo la del tramo 4 que tendrá 63 mm. Las tuberías no son elásticas por lo que irán encoladas en las uniones o roscadas. La figura 29 representa una tabla que fue suministrada por la empresa que va a encargarse de proveer los tubos, a partir de ella se ha hecho la selección prestando atención a la presión nominal y el precio.

TUBOS DE PVC PRESION - Serie ENCOLAR -



Norma UNE - EN 1452

Dn (mm)	PN 6			PN 10			PN 16			PN 20		
	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L
20	-	010022	-	-	010042	-	-	010062	-	1,9	0100801	2,80
25	-	010023	-	-	010043	-	1,9	010063	2,25	2,3	0100802	4,25
32	-	010024	-	-	010044	-	2,4	010064	3,62	2,9	0100803	6,75
40	-	010025	-	1,9	010045	3,55	3,0	010065	5,57	3,7	0100804	10,70
50	-	010026	2,42	2,4	010046	4,92	3,7	010066	7,88	4,6	0100805	15,30
63	2,0	010027	5,24	3,0	010047	7,59	4,7	010067	12,53	5,8	0100806	24,15
75	2,3	010028	7,23	3,6	010048	10,84	5,6	010068	17,71	6,8	0100807	33,70
90	2,8	010029	10,35	4,3	010049	15,50	6,7	010069	25,53	8,2	0100808	48,75
110	2,7	010030	11,75	4,2	010050	17,84	6,6	010070	29,72	8,1	0100809	60,10
125	3,1	010031	15,37	4,8	010051	22,95	7,4	010071	37,86	9,2	0100810	77,40
140	3,5	010032	19,27	5,4	010052	28,97	8,3	010072	47,49	10,3	0100811	96,90
160	4,0	010033	24,90	6,2	010053	37,92	9,5	010073	61,95	11,8	0100812	126,40
180	4,4	010034	30,96	6,9	010054	47,20	10,7	010074	78,32	13,3	0100813	160,40
200	4,9	010035	38,02	7,7	010055	58,49	11,9	010075	96,61	14,7	0100814	196,65
250	6,2	010036	60,19	9,6	010056	90,98	14,8	010076	150,06	18,4	0100815	307,45
315	7,7	010037	93,58	12,1	010057	144,39	18,7	010077	249,40	23,2	0100816	487,95

Los tubos de diámetros entre 20 mm. y 50 mm. tienen una longitud total de 5 metros. Los tubos de diámetros entre 63 mm. y 315 mm. tienen una longitud total de 6 metros.

Conforme a la norma UNE - EN 1452.

Los tubos de PVC PRESION SERIE ENCOLAR están certificados con marca de calidad de producto AENOR.

PN = Presión Nominal expresada en bar (1 bar = 0,1 MPa).

Fig. 29. Tabla de precios de tuberías de PVC.

11.8 Bombas

Las bombas que se van a colocar en la planta serán de diferentes tipos según la corriente que deban transportar. Para corrientes líquidas o líquidas con sólidos en suspensión se utilizarán bombas centrífugas; para corrientes pastosas se utilizarán bombas de desplazamiento positivo y para añadir amoníaco y peróxido de hidrógeno se utilizarán bombas centrífugas dosificadoras.

El número total de bombas a instalar será:

- Una bomba centrífuga para el transporte del líquido desde los baños a la planta.
- Una bomba centrífuga para el vaciado del tanque de oxidación.
- Una bomba centrífuga para el vaciado del tanque de neutralización.
- Dos bombas de desplazamiento positivo para el transporte de la pasta desde el decantador a los filtros.
- Dos bombas dosificadoras, una para el amoníaco y otra para el peróxido de hidrógeno.

En total serán cuatro bombas centrífugas, dos de desplazamiento positivo y dos dosificadoras.

Para las **bombas centrífugas** se ha optado por instalar electrobombas centrífugas autocebadoras de la serie ATM 175, cuyas características se presentan a continuación.

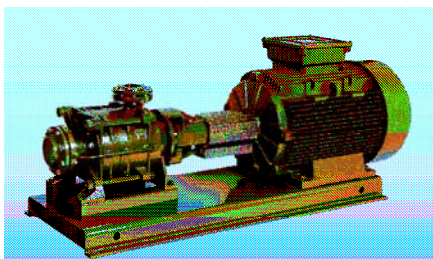


Fig. 30. Bomba centrífuga.

Generalidades

Las bombas de la serie TM son bombas centrífugas autocebadoras de un solo estadio. Este tipo de bombas puede aspirar líquidos claros o levemente turbios, así como mezclas de líquidos y gases.

Las bombas son de tipo monobloque, con eje horizontal, construidas totalmente de polipropileno, con rotor abierto de 6 palas, vaciado a presión; la solidez de su estructura, la seguridad del funcionamiento y la utilización de juntas especiales de diferentes tipos, permiten usar estas bombas en los más variados sectores.

Principio de funcionamiento

La principal ventaja de una bomba centrífuga autocebadora, con respecto a una bomba centrífuga tradicional, consiste en aspirar y transportar indistintamente líquidos, gases o mezclas de ambos.

La acción autocebadora se obtiene extrayendo el aire de la tubería de aspiración mediante una adecuada cantidad de líquido, contenida inicialmente en el cuerpo de la bomba. Durante el arranque este líquido es enviado a la cámara impelente; de este modo, el aire se separa del líquido y sale a través del envío de la bomba.

El líquido —sustancialmente desprovisto de aire— circula en la cámara impelente hasta la total eliminación del aire del tubo de aspiración; durante esta fase el líquido sube por el tubo de aspiración y entra en el cuerpo de la bomba que, a partir de este momento, funciona como una bomba centrífuga normal. La depresión producida durante la

aspiración puede alcanzar valores de aproximadamente el 70 – 80% por debajo de la presión atmosférica.

Construcción

El rotor, elemento esencial de la bomba, es de tipo abierto y gira en modo concéntrico en una cámara constituida por un disco aspirante. En el disco aspirante se encuentran las bocas de entrada y salida del líquido que, de la boca de entrada, pasa al canal de aspiración y es empujado por el rotor hacia el canal impelente y la boca de salida.

Como ya se dijo, la bomba está constituida básicamente por polipropileno: el rotor, los discos laterales del cuerpo y el distanciador (linterna); el eje o la alargadera del eje del motor son de acero AISI 316L.

La junta mecánica es de tipo externo, con muelle de acero AISI 316 y contracaras de grafito/cerámica, PTFE/cerámica o carburo de silicio.

Para las **bombas dosificadoras** de amoníaco y peróxido de hidrógeno se ha elegido el modelo de electrobomba dosificadora tipo MRB, cuyas características se presentan en la figura 31.



Fig. 31. Bomba dosificadora de membrana.

Generalidades

Las bombas dosificadoras de membrana mecánica de la serie MR son bombas con retorno de muelle, cuya membrana actúa sobre el líquido bombeado sin ayuda de aceite hidráulico y del correspondiente pistón.

Por lo tanto, todos los problemas relacionados con la pérdida de aceite y con la estanqueidad del pistón han sido eliminados. Estos resultados han sido obtenidos gracias a la particular estructura de la

membrana (patente depositada), que le permite soportar todo el empuje del líquido bombeado.

Además, los resultados obtenidos con la membrana mecánica OBL son muy cercanos a los de la bomba de pistón o de membrana hidráulica; en cuanto al caudal, el comportamiento de la bomba de membrana mecánica es igual al de la bomba de pistón.

Descripción de la bomba MR

La membrana mecánica (Pos. 32) es accionada, mediante la corredera (Pos. 102), por el excéntrico (Pos. 105). El empuje del excéntrico determina la fase de envío, mientras que el retorno (fase de aspiración) está determinado por la bomba (Pos. 103). La llave de regulación (Pos. 160) regula la carrera de la membrana, parcializando la fase de retorno del muelle.

Por lo tanto, con la varilla de regulación toda hacia delante (Pos. 111), el excéntrico gira en vacío, con la consecuente parada de la membrana; por el contrario, con la varilla toda hacia atrás, la membrana recorre la carrera máxima.

El excéntrico es movido por la rueda helicoidal acoplada en su eje; a su vez, la rueda helicoidal recibe el movimiento del tornillo sin fin acoplado directamente en el eje del motor.

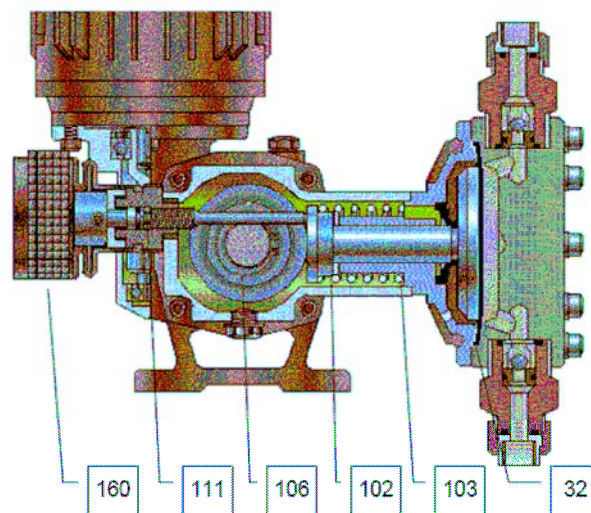


Fig. 32. Esquema de la bomba dosificadora de membrana.

Funcionamiento de la cabeza de bombeo

El movimiento alternativo de la membrana mecánica (Pos. 32) determina las dos fases de bombeo:

- Aspirante
- Impelente

- En la fase aspirante la membrana retrocede, determinando la apertura de las válvulas de aspiración y el cierre de las válvulas de envío, con la consecuente entrada de fluido en la cabeza.

- En la fase impelente se produce exactamente el proceso inverso: la membrana avanza, determinando el cierre de las válvulas de aspiración y la apertura de las válvulas de envío, con la consecuente salida de fluido de la cabeza.

Características del motor en relación con las dimensiones

Las versiones de dimensiones MRB están dotadas de motor Lafert, de 0,35 HP, 4 polos, dimensiones 63 con brida y eje especial. En estas versiones, el tornillo sin fin del par de reducción está acoplado directamente en el eje del motor. En las versiones de dimensiones MRC-MRD el motor instalado es estándar: dimensiones 71, 4 polos, forma B14, potencia 0,5 HP. En estas versiones, el tornillo sin fin es independiente del motor.

Las **bombas** dispuestas para el transporte del precipitado concentrado del decantador a los filtros serán **peristálticas** de la marca *Watson-Marlow* serie 800.

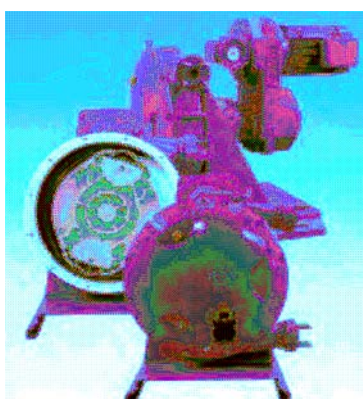


Fig. 33. Bomba peristáltica.

Las bombas peristálticas son el tipo de bomba más sencillo, al carecer de válvulas, juntas o casquillos susceptibles de obstrucción o corrosión. El fluido sólo entra en contacto con la pared interna de una manguera, eliminando el riesgo de que la bomba contamine el fluido o a la inversa. Las bombas peristálticas pueden funcionar en seco.

Cómo funcionan

Una manguera es comprimida por un rodillo contra una pista semicircular, creando una obturación en el punto de contacto. A medida que el rodillo avanza a lo largo de la manguera, la obturación también avanza. Una vez que el rodillo ha pasado, la manguera recupera su forma original, generando un vacío parcial que es llenado por el fluido aspirado procedente de la tubería de admisión. Antes de que el rodillo alcance el final de la pista, un segundo rodillo comprime la manguera al principio de la pista, aislando una bolsa de fluido entre ambos puntos de compresión. Cuando el primer rodillo abandona la pista, el segundo continúa avanzando, expulsando la bolsa de fluido a través de la tubería de descarga de la bomba. Al mismo tiempo, detrás del segundo rodillo se crea un nuevo vacío parcial, que aspira más fluido procedente de la tubería de admisión.

No se produce reflujo ni sifonaje, y la bomba sella efectivamente la manguera cuando está inactiva. No se necesitan válvulas.

Puede demostrarse este principio apretando una manguera blanda entre el pulgar y el índice y deslizándolos sobre la misma, de manera repetitiva: por un extremo de la manguera se expulsa fluido, mientras que por el otro se aspira más fluido. Los tractos digestivos de los animales y el hombre funcionan de forma muy similar.

Aplicaciones indicadas

Las bombas peristálticas son ideales para la mayoría de fluidos, incluidos los viscosos, sensibles al cizallamiento, corrosivos y abrasivos, así como aquellos que contienen sólidos en suspensión. También son indicadas para trasvase de productos abrasivos como: lechada de cal, barbotina cerámica, fangos, dióxido de titanio... Resultan especialmente útiles para aplicaciones de bombeo en las que sea importante la higiene.

Las bombas peristálticas funcionan según el principio del desplazamiento positivo. Están particularmente indicadas para aplicaciones de medición, dosificación y dispensación.

Estas bombas se caracterizan por su instalación sencilla, su fácil manejo y su mantenimiento económico.

Equipamiento opcional

Bypass de recirculación, sistema de anti marcha en seco, válvulas de seguridad, automatismos para filtro prensa, detector de rotura de tubos de peristálticas...Este equipamiento será también incluido en la instalación de las bombas en la planta.

12. Sistemas de control e instrumentación

Los sistemas de control de una planta química se hacen necesarios para evitar riesgos tales como fugas, sobrepresión, sobrecalentamiento, etc, que pudieran provocar daños personales, materiales o al medio ambiente. A la vez, y dependiendo de la planta, se puede lograr la automatización de la misma y la mínima intervención humana en el proceso.

Para lograr esa automatización del proceso es necesario localizar las variables más importantes y aplicar sobre ellas los pertinentes controles para hacer que el proceso sea estable y seguro.

En el presente proyecto, como se comentó en capítulos anteriores, la variable más importante es el pH, ya que de ella depende la precipitación del hierro (III). Esta variable, junto al nivel del líquido en los tanques serán las que se controlen en todo momento mediante sensores y controladores programables.

12.1 Elementos de control utilizados

En general, en cualquier sistema de control automático, se distinguirán varios elementos básicos que son los sensores, los controladores y los actuadores. A continuación, se exponen los empleados en la planta piloto objeto de esta memoria:

- **Sensores:** Son los instrumentos que miden las variables a controlar (directa o indirectamente) y las perturbaciones. La señal producida por el sensor suele ser utilizable directamente por el controlador. No obstante, en lo casos en que no se pueda, se recurrirá, además, a los transmisores, que convertirían la señal física en una señal estándar eléctrica de 4-20 mA o neumática de 3-15 psi. Los sensores que se emplearán en la planta serán:
 - Sensor de pH
 - Sensor redox
 - Sensores de nivel
- **Controladores:** Estos dispositivos serán los encargados de recibir la señal correspondiente a la variable medida, calculando

la acción de control de acuerdo con el algoritmo de control que se haya programado sobre él y el Set-Point, es decir, el valor que se desea tener de la variable medida. Así, ese cálculo se traducirá en un valor determinado de la señal de salida y se enviará al elemento final de control. Los controladores que se emplearán serán de tipo PID (control proporcional-integral-derivativo).

- **Convertidores:** estos dispositivos son los encargados de convertir las señales digitales con las que trabajan los controladores en señales estándar eléctricas, que serán transmitidas mediante hilos eléctricos, o neumáticas, cuyo medio de transmisión son pequeñas tuberías, para actuar sobre el elemento final de control. Estos convertidores pueden estar o no incluidos dentro del controlador.
- **Actuadores:** Estos elementos serán los encargados de manipular la variable del proceso en función de la acción calculada por el controlador, la cual llega en forma de señal estándar eléctrica o neumática. Los dispositivos finales de control empleados en esta planta son los siguientes:
 - Válvulas de retención (electroválvulas).
 - Interruptores

12.2 Lazos de control de la planta

Una vez se han mencionado los instrumentos de control que se van a utilizar, se procede a describir cada uno de los lazos de control dispuestos en la planta así como información sobre las variables significativas:

- **Variable medida/controlada:** es la que se mide mediante los sensores y se quiere mantener en un valor deseado.
- **Variable manipulada:** es la que se emplea para corregir o compensar el efecto de las perturbaciones.
- **Variable de perturbación:** es externa al sistema de control pero afecta a la variable controlada.
- **Tipo de lazo:** se indicará en cada caso si los lazos de control son abiertos, cerrados, en cascada o en adelanto según el caso que corresponda.

12.3 Sistema de control en el tanque de oxidación

En el tanque de oxidación se llevará a cabo la reacción principal de esta planta, es decir, la oxidación de hierro(II) a hierro(III). Para asegurar que todo el hierro (II) sea oxidado se necesitará instalar un sensor redox en el interior del tanque.

También se controlará el nivel del mismo para evitar posibles reboses.

12.3.1 Control redox

El pH del tanque debe mantenerse siempre por debajo de 4 ya que, de lo contrario, el hierro (III) comenzaría a precipitar. En este tanque, el objetivo es que el hierro (II) se oxide pero no que precipite. De todas formas, en algunos casos puede producirse precipitación, casi siempre cuando se trata la corriente de mordentado, ya que ésta suele llegar al tanque con un pH de 4 porque así lo exige el proceso de galvanización.

Variable controlada	Potencial de oxidación
Variable manipulada	Caudal de entrada de peróxido
Variable de perturbación	Caudal de entrada de la corriente a tratar
Tipo de lazo de control	Cerrado

El sistema de control de pH que se va a colocar será:

- Sensor redox modelo ORP para medir potencial de oxidación de una solución. Su rango de medición es de ± 999 mV, resolución 1mV y precisión ± 5 mV.
- Controlador redox de microprocesador pH 7685.
- Un actuador que activará la bomba del depósito de peróxido de hidrógeno.

12.3.2 Control de nivel

Se instalará un sistema para controlar el nivel del tanque y evitar que pueda rebosar en algún momento. Este sistema adquiere especial importancia si se airea el tanque, ya que al producirse espuma es muy probable que ésta rebose y se produzca un escape.

Variable controlada	Nivel
Variable manipulada	Caudal de entrada al tanque
Variable de perturbación	--
Tipo de lazo de control	Cerrado

El sistema de control de nivel constará:

- Sensor de nivel tipo flotador modelo SCN32 fabricado en polipropileno con cable de PVC de hasta 3 m. de longitud y que puede operar hasta una temperatura máxima de 70° C.
- Controlador de nivel modelo HI 7873, es un aparato compacto para el control del nivel a una distancia de hasta 300 metros. Es adecuado para muchas aplicaciones como el control del nivel en los tanques para el tratamiento de las aguas industriales y biológicas.
- Actuador sobre una electroválvula para regular el caudal de entrada.

12.4 Sistema de control en el tanque de neutralización

En este tanque la variable más importante también será el pH, ya que depende de esta variable que el hierro (III) precipite. Por tanto se instalará un sistema de control de pH, y otro de nivel.

12.4.1 Control pH

El pH del tanque debe mantenerse siempre por encima de 4 ya que, es a partir de este valor, cuando el hierro (III) comienza a precipitar. Para asegurar que el pH estará en el rango de valores entre 4 y 5 se programará el controlador con un punto de consigna de 4.5 .

Variable controlada	pH
Variable manipulada	Caudal de entrada de amoníaco
Variable de perturbación	Caudal de entrada de la corriente a tratar
Tipo de lazo de control	Cerrado

El sistema de control de pH que se va a colocar será:

- Sensor de pH de la marca DPF modelo SZ 171 con el cuerpo de cristal ya que debe soportar las condiciones corrosivas que provoca la presencia de NH_4Cl en la corriente de mordentado.
- Controlador pH modelo HI931700.
- Un actuador que activará la bomba del depósito de peróxido de hidrógeno.

12.4.2 Control de nivel

Se instalará un sistema para controlar el nivel del tanque y evitar que pueda rebosar en algún momento. Este control será similar al instalado en el tanque anterior.

Variable controlada	Nivel
Variable manipulada	Caudal de entrada al tanque
Variable de perturbación	--
Tipo de lazo de control	Cerrado

El sistema de control de nivel constará:

- Sensor de nivel tipo flotador modelo SCN32 fabricado en polipropileno con cable de PVC de hasta 3 m. de longitud y que puede operar hasta una temperatura máxima de 70° C.

- Controlador de nivel modelo HI 7873, es un aparato compacto para el control del nivel a una distancia de hasta 300 metros. Es adecuado para muchas aplicaciones como el control del nivel en los tanques para el tratamiento de las aguas industriales y biológicas.
- Actuador sobre una electroválvula para regular el caudal de entrada.

12.5 Sistema de control en el depósito de descarga

En este depósito no se llevará a cabo ninguna reacción química, simplemente es un depósito para recoger las corrientes de mordentado y enjuague una vez tratadas antes de devolverlas a sus respectivos baños. Por tanto, el único control necesario será uno de nivel, que descargue el tanque cuando éste esté lleno de cierta cantidad de líquido.

12.5.1 Control de nivel

Se instalará un sistema para controlar el nivel del tanque y evitar que pueda rebosar en algún momento. Este control será similar al instalado en los tanques anteriores.

Variable controlada	Nivel
Variable manipulada	Caudal de salida del tanque
Variable de perturbación	--
Tipo de lazo de control	Cerrado

El sistema de control de nivel constará:

- Sensor de nivel tipo flotador modelo SCN32 fabricado en polipropileno con cable de PVC de hasta 3 m. de longitud y que puede operar hasta una temperatura máxima de 70° C.
- Controlador de nivel modelo HI 7873, es un aparato compacto para el control del nivel a una distancia de hasta 300 metros. Es adecuado para muchas aplicaciones como el control del nivel en los tanques para el tratamiento de las aguas industriales y biológicas.
- Actuador sobre una electroválvula para regular el caudal salida.

12.6 Válvulas y accesorios

Las válvulas son elementos que estando instalados en una tubería pueden realizar algunas de las siguientes funciones, bien accionadas automáticamente o manualmente:

- Impedir totalmente la circulación de un fluido por una tubería, o bien permitirla sin oponer ningún obstáculo.
- Variar la pérdida de carga que sufre un fluido al atravesar la válvula con lo que se puede regular el caudal que circula por la tubería.
- Permitir la circulación de un fluido a través de la válvula en un único sentido.
- Permitir el paso de un fluido, únicamente cuando la diferencia de presión a un lado y otro de la misma, sobrepasa un cierto valor previamente establecido.
- Permitir el paso de un fluido cuando dicho fluido se presenta en forma líquida, pero no si se presenta en forma de gas o vapor, o viceversa.

Según sea la forma de unión de una válvula con las tuberías que con ella conectan, así serán los extremos de ésta. Según esto las válvulas pueden ser de extremos bridados, de extremos biselados para soldadura a tope, de extremos con un rebaje para soldadura a solape o de extremos roscados. Si las tuberías y válvulas son de PVC existe otro modo de unión entre ellas que sería encolando los extremos.

Los tipos principales de válvulas son:

- Válvulas de compuerta: Este tipo de válvula resulta poco recomendable para una regulación cuidadosa del flujo, aunque sí es muy adecuada para servicios que requieran frecuentes cierres o aperturas.

Estas válvulas no deben utilizarse de forma prolongada para regular el caudal del fluido que pasa por la tubería, pues se estropearían rápidamente, además la regulación sería muy inexacta.

Funcionan mediante una compuerta, cuya traslación se asegura por un vástago roscado que se desplaza verticalmente al flujo. La compuerta obtura la sección de paso del fluido al deslizarse entre dos aros fijos en el cuerpo.

Entre los diversos tipos de válvulas de compuerta que existen, las más comunes son las de husillo y puente.

- Válvulas de globo: Es recomendable para servicios de regulación del flujo y se utiliza también como elemento de cierre para las presiones muy altas. El movimiento del fluido queda interrumpido por un obturador, que cierra el paso entre los dos lados del cuerpo de la válvula.

La estanqueidad queda asegurada por el aro del cuerpo y del obturador. El cuerpo va cubierto por una tapa, roscada 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.

- Válvulas de retención: Su finalidad es evitar el retorno del fluido. Estas válvulas, al igual que las de asiento, tienen marcada siempre la dirección correcta del flujo en el cuerpo de la misma y deberán siempre instalarse con arreglo a dicha indicación.

Pueden ser de varios tipos.

De chapaleta o clapeta: El flujo mantiene abierto el cierre o bisagra y el flujo en sentido opuesto la cierra. Se utilizan sobre todo para líquidos y para grandes tamaños (mayores de 2"). Además pueden funcionar en posición horizontal pero con el flujo en sentido ascendente.

De pistón: Se utiliza normalmente en tuberías de pequeño diámetro. Generalmente esta válvula sólo puede utilizarse en posición horizontal. La circulación del fluido en el interior, es igual que en las de globo. El flujo levanta el pistón permitiendo el paso; el contraflujo y el peso hace que se cierre. Son especialmente indicadas para vapores y para flujo pulsante. Tienen la ventaja de que "el momento" que hay que aplicar para su operación es mucho menor que en las de macho. Ofrecen una excelente estanqueidad, posibilidad de regulación y pérdida de carga reducida cuando están totalmente abiertas.

De bola: Operan como las de pistón, con el pistón sustituido por una bola guiada. Se caracterizan porque detienen el contraflujo más rápidamente que los otros dos tipos. Es buena para operar con fluidos viscosos, cuyos depósitos perjudicarían la operación de los otros tipos.

Dentro de este tipo de válvulas de retención, que se utilizan generalmente en tamaños menores a 2", las hay de dos clases, que son: vertical y horizontal. Cada una de ellas sólo puede utilizarse en la posición que su nombre indica. No obstante, se deberá siempre consultar las instrucciones de cada fabricante.

- Válvulas de macho: Son válvulas de cierre, que se utilizan en algunos casos para regulación. Están constituidas por un cuerpo en el que un elemento cónico o esférico, llamado macho, que lleva una abertura, al girar obtura o descubre el paso del fluido.
- Válvulas de mariposa: Estas válvulas que son de construcción extremadamente simple tienen su aplicación fundamental en la regulación de caudal en tuberías de gran tamaño, y se prestan muy bien al accionamiento hidráulico, neumático,...etc.
- Válvulas de seguridad: Se utilizan para proteger los equipos o tuberías a los cuales van conectados, en un exceso de presión, para lo cual dichas válvulas, que están normalmente cerradas por la acción de un muelle, se abren cuando la diferencia de presión entre la entrada y salida de la válvula alcanza un cierto valor.
- Válvulas de control: Son válvulas automáticas que están diseñadas para ejercer un ajuste perfecto de regulación y monitoreo (registro) del flujo dentro de un sistema de tuberías. El tipo de válvula más utilizada para este control es la de globo, aunque se pueden utilizar otros tipos, la de globo resulta más efectiva.

Además de estos tipos existen otros cuya utilización es menos frecuente, como son las válvulas de aguja, de diafragma, ...etc.

Por otro lado están los accesorios de la planta, y cuya función principal es servir de enlace entre los diferentes segmentos de tuberías rectas de la planta, o bien pueden ser accesorios para medir el caudal, la presión en la línea,....etc.

Los accesorios más comunes y que sirven para enlazar las tuberías son los llamados codos, estos codos son pequeños tramos de tubería curvos, cuyo diámetro nominal debe coincidir con el de la tubería principal y que poseen diferentes ángulos de curvatura 90°, 45°, ...También existen otros accesorios que sirven para bifurcar las líneas, como son las llamadas té, y cuyo nombre viene dado por la forma que tienen parecida a una té. Estas té también pueden tener diferentes ángulos como los codos.

Otros accesorios, para hacer medidas en línea, pueden ser los medidores de caudal o flujómetros cuya misión es medir el caudal que pasa en cierto tramo de la tubería. Estos accesorios se colocan en la misma línea y dan una medida directa que puede leerse a simple vista en el mismo instrumento.

Todos estos accesorios pueden unirse a las tuberías de diferentes formas como las válvulas, mediante soldadura a tope o solape, roscados, o en el caso concreto de tubos de PVC también pueden ir encolados.

12.6.1 Válvulas

Las válvulas que se encontrarán instaladas en la planta serán de dos tipos:

- Válvulas de retención: Fabricadas con PVC, como las tuberías, y del tipo bola, ya que es buena para operar con fluidos viscosos, cuyos depósitos perjudicarían la operación de los otros tipos. Se utilizarán tanto las verticales como las horizontales y sus extremos irán roscados a la tubería. Serán de dos y tres vías según el tramo en el que se coloquen.

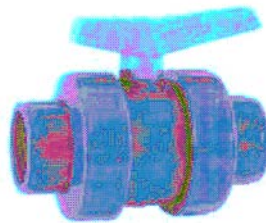


Fig. 34. Válvula de retención fabricada en PVC.

- Válvulas de seguridad: Irán instaladas en los filtros prensa, ya que puede ocurrir que el lodo atasque con mayor facilidad estas conducciones. Se colocarán con el fin de proteger las bombas peristálticas de los filtros, pues en caso de atasco estas bombas no se detienen y pueden provocar un aumento de presión que termine por inutilizar la bomba.

12.6.2 Accesorios

12.6.2.1 Codos

Los codos que se instalarán en la planta serán de 90° y 45°, roscados siempre que sea posible.

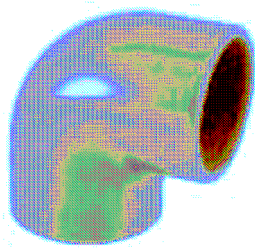


Fig. 35. Codo de 90°.



Fig. 36. Codo de 45°.

12.6.2.2 Tés

Las tés servirán para bifurcar las líneas, casi siempre irán debajo de los tanques donde, por un lado se sacará una línea que irá al siguiente proceso del tratamiento y por otro, una pequeña salida de emergencia que también puede servir como toma de muestras. Podrán ser de 90° o 45° según convenga en cada caso.

En los casos necesarios también se pueden instalar tés bridadas para hacer la conexión directamente al tanque.

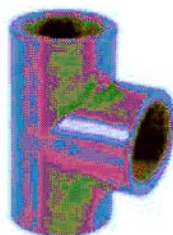


Fig. 37. Té de 90°.

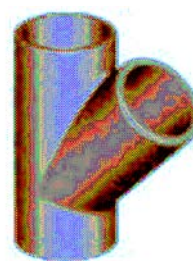


Fig. 38. Té de 45°.



Fig. 39. Té bridada.

12.6.2.3 Flujómetro

El medidor de caudal se instalará antes de la entrada de la corriente líquida al tanque de oxidación, para que el operario pueda mantener un control sobre el caudal de entrada a la planta y modificarlo si es necesario. Será del tipo rotámetro con los extremos encolados y roscados.

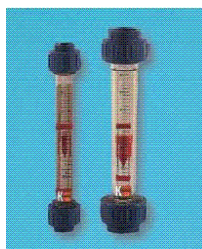


Fig. 40. Rotámetros.

12.6.2.4 Otros

Otros accesorios que se pueden encontrar en la planta serán bridas, uniones para tubos, juntas,...etc.



Fig. 41. Junta plana

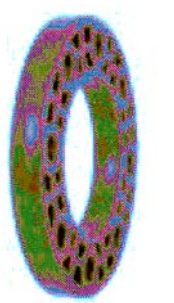


Fig. 42. Brida loca

13. Estudio de Seguridad y Salud

13.1 Introducción

La planta que es objeto de diseño en la presente memoria conlleva una serie de riesgos de naturaleza diversa debido a las sustancias que se emplean, las instalaciones, los equipos que se utilizan, etc. Por otro lado, la implantación de normas de aseguramiento de la calidad como la ISO 9000, lleva implícita una política de seguridad.

La información que aparece en este Estudio de Seguridad y Salud proviene del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). El INSHT es el órgano Científico-Técnico especializado de la Administración General del Estado que tiene como misión el análisis y estudio de las Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como la promoción y apoyo a la mejora de las mismas. Para ello establece la cooperación necesaria con los órganos de las Comunidades Autónomas en la materia. Entre las funciones que realiza este organismo están:

- Asesoramiento técnico en la elaboración de la normativa legal y en el desarrollo de la normalización, tanto a nivel nacional como internacional.
- Promoción y realización de actividades de formación, información, investigación, estudio y divulgación en materia de prevención de riesgos laborales, con la adecuada coordinación y colaboración, en su caso, con los órganos técnicos en materia preventiva de las Comunidades Autónomas en el ejercicio de sus funciones en esta materia.
- Apoyo técnico y colaboración con la Inspección de Trabajo y Seguridad Social en el cumplimiento de su función de vigilancia y control, prevista en el artículo 9 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, en el ámbito de las Administraciones Públicas.
- Colaboración con organismos internacionales y desarrollo de programas de cooperación internacional en este ámbito, facilitando la participación de las Comunidades Autónomas.
- Velar por la coordinación, apoyar el intercambio de información y las experiencias entre las distintas Administraciones Públicas y especialmente fomentar y prestar apoyo a la realización de actividades de promoción de la seguridad y de la salud por las Comunidades Autónomas.

- Prestar de acuerdo con las Administraciones competentes, apoyo técnico especializado en materia de certificación, ensayo y acreditación.
- Actuar como Centro de Referencia Nacional en relación con las Instituciones de la Unión Europea garantizando la coordinación y transmisión de la información que facilita a escala nacional, en particular respecto a la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo y su Red.
- Desempeñar la Secretaría de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo prestándole la asistencia técnica y científica necesaria para el desarrollo de sus competencias.
- Cualesquiera otras que sean necesarias para el cumplimiento de sus fines y le sean encomendadas en el ámbito de sus competencias, de acuerdo con la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo con la colaboración, en su caso, de los órganos técnicos de las Comunidades Autónomas con competencias en la materia.

Cumplir con la normativa vigente en materia de seguridad para preservar la integridad física de las personas que trabajarán en la planta es un objetivo ineludible, no sólo para respetar la ley sino también para proteger el activo más importante de cualquier empresa; sus empleados.

13.2 Análisis de riesgos

La planta que se proyecta en la presente memoria debe someterse a una evaluación inicial de riesgos y siempre que se produzca algún cambio que conlleve riesgo para la salud debe actualizarse. Aunque más adelante se detallará con más precisión esta evaluación, como guía pueden tomarse los siguientes factores de riesgo:

- Instalaciones en mal estado.
- Falta de preparación del personal a cargo.
- Procedimientos de trabajo intrínsecamente peligrosos.
- Empleo de herramientas en mal estado o inadecuadas.
- Falta de conocimiento de las sustancias que se emplean en la planta por parte del personal de mantenimiento.
- Señalización deficiente.
- Contaminación ambiental.

Por otro lado, existen riesgos inevitables y que son inherentes a cualquier planta de este tipo, entre ellos cabe destacar:

- Riesgo de cortocircuito.
- Riesgo de incendio.
- Riesgo de vertido y contaminación.

Existen riesgos que deben ser asumidos y minimizados en la medida de lo posible, y otros que pueden ser erradicados si se llevan a cabo los controles pertinentes y adecuados.

13.3 Medidas preventivas

Existen una serie de medidas cuyo objetivo es eliminar total o parcialmente los riesgos enumerados en el apartado anterior. Estas medidas están encaminadas a prevenir los posibles accidentes que puedan producirse y mantener así la seguridad de los empleados. Algunas de ellas son:

- Considerar los aspectos de seguridad referentes al diseño, la estructura y la distribución en la fase diseño de la planta.
- Promover la formación de los empleados en materia de seguridad, así como de otras materias que refuerzen sus conocimientos sobre la planta.
- Mantener hábitos de trabajo adecuados.
- Dotar a los empleados de herramientas adecuadas y equipos de protección individuales.
- Disponer de un manual con información referente a todos los elementos que intervienen en la planta, desde las sustancias químicas que se emplean hasta instrucciones de uso de equipos.
- Asegurar que todos los elementos estén debidamente señalizados.
- Adecuada ventilación.
- Llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo que asegure el buen estado de todos los equipos de la planta.

- Aislar la planta mediante un cubeto de retención que impida un posible vertido a la red de alcantarillado.
- Cumplir con la normativa vigente en materia de protección contra incendios.

13.4 Medidas de protección

Antes de comenzar, se debe diferenciar entre medidas de protección individuales y colectivas tal y como se especifica en la LPRL (Ley 31/1995, de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales).

Se entiende por *protección colectiva* aquella técnica de seguridad cuyo objetivo es la protección simultánea de varios trabajadores expuestos a un determinado riesgo.

El apartado *h* del artículo 15 de la LPRL, "*principios de la acción preventiva*", especifica que –dentro de las medidas a realizar respecto a la prevención de riesgos- hay que adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.

Una vez adoptadas tales medidas, y como complemento de éstas, se pueden utilizar medidas de *protección individual*; aquellas para uso exclusivo de una persona.

Protección colectiva

Algunos ejemplos de protección colectiva que se instalarán en planta son:

- Barandillas, escaleras y pasarelas.
- Carcasas para los cuadros de control de los autómatas.
- Extintores de incendios.
- Carcasas de protección de motores o piezas en continuo movimiento.
- Señalizaciones o indicativos.
- Orden y limpieza.

Tales medios están destinados a proteger a cualquier persona que acceda a la planta, aún sin ser empleado y sin tener conocimientos

específicos sobre ella. El criterio de clasificación a aplicar es el de protección a una colectividad.

Protección individual

Se entiende por **equipo de protección individual o EPI** *“cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin”* (R.D. 773/97). Se excluyen específicamente en esta definición:

- Ropa de trabajo corriente.
- Equipos de socorro y salvamento.
- EPIs de militares y policías.
- Material de autodefensa.
- Aparatos portátiles para medición de riesgos.

La protección personal tiene por objeto proteger al trabajador o trabajadora frente a peligros potenciales que se producen durante una actividad laboral determinada. Esta protección es la última barrera entre el hombre y el riesgo y debe considerarse como una técnica complementaria a la protección colectiva, ya que esta última se diseña y aplica con el fin de eliminar la situación de riesgo, mientras que la protección personal pretende eliminar, o en su defecto mitigar, las consecuencias que para la salud del trabajador se derivan de la situación de riesgo.

Los equipos de protección individual deben:

- Ser de uso individual.
- Ajustarse a las características anatómicas del usuario.
- Cada usuario debe ser instruido sobre las características de los equipos que se le entregan, de sus posibilidades y de sus limitaciones. Tales especificaciones deberán darse por escrito.
- Ser mantenidos y conservados correctamente.

Existen diferentes sistemas de clasificación de los EPIs, uno de ellos se basa en si la protección es total o parcial.

Medios parciales de protección: Son aquellos que protegen al individuo frente a riesgos que actúan preferentemente sobre partes o zonas concretas del cuerpo. Entre ellos se encuentran:

- Protección del cráneo: casco de seguridad.
- Protección de la cara y el aparato visual.
 - Pantallas faciales
 - Gafas
- Protección del aparato auditivo.
 - Orejeras
 - Tapones
- Protección de las extremidades inferiores.
 - Botas de seguridad
 - Plantillas de seguridad
- Protección de las extremidades superiores: guantes de látex, ignífugos,...etc.
- Protección de las vías respiratorias.
 - Máscaras
 - Mascarillas

Medios integrales de protección: Son aquellos que protegen al individuo frente a riesgos que no actúan preferentemente sobre partes o zonas concretas del cuerpo, proporcionando de esta forma una seguridad completa sobre todo el organismo. Entre ellos se encuentran:

- Ropa de trabajo.
 - Monos de trabajo
 - Monos ignífugos
- Prendas de señalización: chalecos reflectantes.
- Cinturones de seguridad anticaídas.

En apartados posteriores se detallarán cada uno de los elementos de protección individual que deben utilizar los operarios de la planta.

Protección contra incendios

La planta objeto de diseño en el presente proyecto, como se ha mencionado en apartados anteriores, se ubica junto a la planta de galvanizado pero es externa a ella. Por esta razón, se puede considerar que la actividad que se lleva a cabo es una actividad complementaria a la de galvanizado. Por tanto, la planta a la que se refiere esta memoria está dentro del ámbito de aplicación del Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales, aprobado por el R.D 2267/2004.

Atendiendo al Reglamento de Seguridad contra incendios, la planta debe caracterizarse con el fin de poder determinar los requisitos mínimos que ha de cumplir en materia de seguridad contra incendios. Las condiciones y requisitos que deben satisfacer los establecimientos industriales, en relación con su seguridad contra incendios, estarán determinados por su configuración y ubicación con relación a su entorno y su nivel de riesgo intrínseco.

Teniendo en cuenta la configuración y ubicación de la planta se concluye, atendiendo al Reglamento, que pertenece a un establecimiento de tipo D. Según este tipo, el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que puede estar totalmente cubierto, alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento lateral.

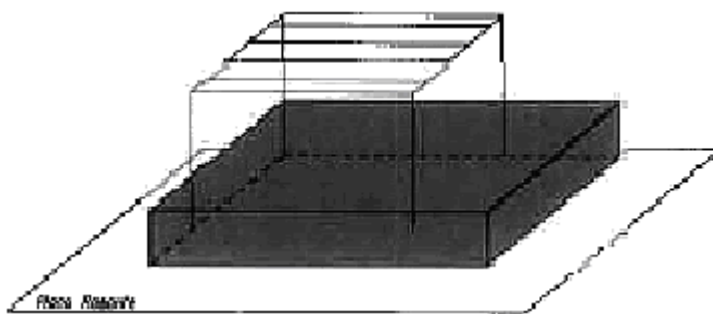


Fig. 43. Establecimiento industrial tipo D.

Para calcular el riesgo intrínseco que presenta la planta, deben enumerarse todas las sustancias combustibles que en ella se encuentran. Una vez localizadas estas sustancias, se debe hacer uso de la siguiente expresión que facilita el Reglamento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i G_i \cdot q_i \cdot C_i}{A} \cdot R_a (MJ / m^2) \text{ ó } (Mcal / m^2)$$

Donde:

Q_s = Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

G_i = Masa, en Kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles).

q_i = Poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

C_i = Coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

R_a = Coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.

Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el 10 por 100 de la superficie del sector o área de incendio.

A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m^2 .

El valor de q_i , C_i y R_a se obtiene mediante tablas que se encuentran en el citado Reglamento.

Según sea el valor de Q_s , el nivel de riesgo intrínseco se clasifica en bajo, medio y alto tal y como se muestra en la figura 44.

Nivel de riesgo intrínseco		Densidad de carga de fuego ponderada y corregida	
		Mcal/m ²	MJ/m ²
Bajo	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
Medio	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1.275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1.275 < Q_s \leq 1.700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1.700 < Q_s \leq 3.400$
Alto	6	$800 < Q_s \leq 1.600$	$3.400 < Q_s \leq 6.800$
	7	$1.600 < Q_s \leq 3.200$	$6.800 < Q_s \leq 13.600$
	8	$3.200 < Q_s$	$13.600 < Q_s$

Fig.44. Nivel de riesgo intrínseco según valores de densidad de carga de fuego ponderada y corregida.

Para el caso concreto de la planta a que se refiere esta memoria, no existe ninguna sustancia química que sea combustible, por esa razón no es posible encontrar en las tablas del Reglamento los valores de q_i y de R_a . Es por esto, que en este caso carece de sentido hablar del valor de la carga de fuego ponderada y corregida y por extensión del nivel de riesgo intrínseco.

A pesar de todo, y aunque el Reglamento no lo estipula, se ha decidido instalar extintores junto a los autómatas ya que puede existir riesgo de cortocircuito.

13.5 Plan de autoprotección

Todo plan de emergencia ante el riesgo químico debe contemplar dos tipos de actuaciones, unas encaminadas a controlar la situación de emergencia con el mínimo tiempo de intervención, para que los daños a personas y bienes sean mínimos, y otras para asegurar, cuando sea necesario, una correcta y rápida evacuación de las zonas afectadas.

Es preciso disponer de efectivos sistemas de detección de las posibles situaciones de emergencia, tanto técnicos como humanos y de comunicación (número de teléfono especial para emergencias, alarmas acústicas, etc.) para que las actuaciones se hagan con la rapidez necesaria y lograr que los medios de actuación existentes (instalaciones fijas contra incendios, señalización y alumbrado de emergencia, etc.) sean eficaces.

Los planes de emergencia deben estar establecidos por escrito y divulgados a todas las personas que pueden verse afectadas por los mismos. Sólo con simulacros periódicos podrá conseguirse que las actuaciones sean acordes a lo planificado.

En cuanto al marco legislativo, según se establece en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario, teniendo en cuenta el tamaño y la actividad de la empresa, debe analizar las posibles situaciones de emergencia y adoptar las medidas necesarias para evitar sus consecuencias, fundamentalmente en relación con los primeros auxilios, la lucha contra incendios y la evacuación de los trabajadores.

En general y como guía para el cumplimiento de esta exigencia, se puede seguir la Orden de 24/11/1984 por la que se aprueba el Manual de Autoprotección para el desarrollo del Plan de Emergencia contra incendios y de Evacuación en Locales y Edificios.

El Manual de Autoprotección tiene por objeto la preparación, redacción y aplicación del Plan de Emergencia, que comprende la organización de los medios humanos y materiales disponibles para la prevención del riesgo de incendio o de cualquier otro equivalente, así como para garantizar la evacuación y la intervención inmediata. El Plan de Emergencia propiamente

dicho entra dentro de un más amplio Plan de Autoprotección que consta de los siguientes documentos:

- Documento 1: Evaluación del riesgo
- Documento 2: Medidas de protección
- Documento 3: Plan de emergencia
- Documento 4: Implantación

Aparte del Manual de Autoprotección constituido por estos cuatro documentos se debería redactar un sencillo Manual de Emergencia para entregar a todo el personal, a fin de que tenga las instrucciones claras sobre las actuaciones que se deben seguir ante las diferentes situaciones de emergencia.

En los establecimientos industriales y en especial en los que se almacenen productos químicos peligrosos se exige la necesidad de disponer de un sistema de autoprotección dotados de sus propios recursos y del correspondiente plan de emergencia. Los establecimientos en los que estén presentes sustancias peligrosas están sujetos al R.D. 374/2001 y si se encuentran en cantidades superiores a determinados valores están sujetos al R.D. 1254/1999. Mediante el R.D. 1196/2003 se aprobó la Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas, que constituye el instrumento normativo técnico para el ejercicio de aquellas obligaciones, responsabilidades y competencias que el R.D. 1254/1999 asigna tanto a los titulares de establecimientos como a las Administraciones implicados en las labores y control de riesgos.

Ya que la planta que es objeto de diseño en el presente proyecto queda excluida de estos R.D. en los que pueden ocurrir accidentes graves, el Plan de Autoprotección contendrá los documentos señalados anteriormente y que a continuación se exponen:

13.5.1 Documento 1: Evaluación del riesgo

Aunque en el apartado 13.2 se hizo un análisis básico de los posibles riesgos presentes en la planta, ahora se analizan estos riesgos de forma más detallada.

- **Riesgo de incendio y explosión:** es un riesgo que se deriva del empleo de diferentes sustancias químicas en la planta. En la siguiente tabla se recoge la información más relevante de cada una de las sustancias respecto al peligro de incendio y explosión.

Sustancias	Peligros	
	Incendio	Explosión
NH₄OH (Agua amoniacal 10-35%)	No combustible.	El vapor de amoníaco es inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones.
H₂O₂	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	Riesgo de incendio y explosión en contacto con calor o catalizadores metálicos.
ZnCl₂	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	-
NH₄Cl	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	-
HCl	No combustible.	-

Tabla 14. Peligros de incendio y explosión de las sustancias que intervienen en el proceso.

Como se puede apreciar en la tabla no existe ninguna sustancia combustible y el único peligro de explosión se registra en los depósitos de amoníaco y peróxido bajo ciertas condiciones de calor. Controlando pues, la temperatura de los mismos se evita el riesgo de sobrepresión debida a la emisión de gases y por consiguiente el riesgo de explosión.

- **Riesgo de salpicaduras e inhalación:** los operarios de mantenimiento en el transcurso de su trabajo pueden sufrir salpicaduras en la piel o en los ojos así como inhalar alguna de las sustancias que allí se encuentran. En la siguiente tabla se muestran los efectos que cada sustancia puede ocasionar.

Sustancias	Peligros		
	Contacto con piel	Contacto con ojos	Inhalación
NH₄OH (Agua amoniacal 10-35%)	Enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves, dolor, ampollas.	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta.

H₂O₂	Corrosivo. Enrojecimiento, quemaduras cutáneas, dolor.	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves, ulceración de la cornea, perforación.	Corrosivo. Tos, vértigo, dolor de cabeza, dificultad respiratoria, náuseas, jadeo, dolor de garganta.
ZnCl₂	Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor.	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta.
NH₄Cl	Enrojecimiento.	Enrojecimiento.	Tos.
HCl	Corrosivo. Quemaduras cutáneas graves, dolor.	Corrosivo. Dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta.

Tabla 15. Peligro por inhalación y por contacto con la piel y los ojos que presentan los agentes químicos que intervienen en el proceso.

Las consecuencias que pueden provocar el cloruro de zinc, el cloruro amónico y el ácido clorhídrico son menos severas que las que aparecen en la tabla ya que todas están disueltas en agua.

- **Riesgo de vertido:** existe la posibilidad de que el caudal tratado se vierta al exterior. Esto puede producirse porque rebosen los tanques, porque se rompa alguna tubería o válvula, porque se produzcan fugas,... Si el vertido llega a la red de alcantarillado puede provocar consecuencias no deseables para el medio ambiente así como si penetra en el subsuelo. Por otro lado, puede provocar también la avería de equipos de la planta como bombas o sistemas de control.
- **Riesgo de electrocución:** en la planta se encuentran aparatos eléctricos tales como bombas y sistemas de control que pueden ocasionar este riesgo. La electrocución se produce cuando la persona, por contacto directo o indirecto, pasa a formar parte de un circuito eléctrico y es atravesado por una intensidad de corriente durante un período de tiempo. Aunque los equipos eléctricos vienen dispuestos con una serie de medidas de seguridad (tomas a tierra, carcasas de protección de elementos sensibles, etc.), el riesgo de electrocución no puede obviarse.

13.5.2 Documento 2: Medidas de protección

En este documento se realiza un inventario de todos los elementos de autoprotección de que se dispone en la planta. En este apartado, tal y como se hizo en el apartado 13.4, se dividirán los medios de protección clasificándolos en medios de protección colectiva e individual.

Elementos de protección colectiva

- **Barandillas y escaleras:** se instalará una escalera para comunicar los dos pisos que forman la planta. La escalera será fija y contará con barandillas a los lados. El suelo de la escalera y del piso alto de la planta estará hecho con malla de acero para impedir que se acumule agua de lluvia, etc. En los tanques no se instalarán barandillas de seguridad ya que la altura en que sobresalen en el piso de arriba es suficiente para asegurar que los operarios no caerán en su interior.
- **Carcasas protectoras:** tanto bombas como cuadros de control deben ir protegidos con carcasas. Por un lado, las carcasas de las bombas deben impedir que queden expuestas partes sensibles de las mismas como el motor, que puede entrañar un riesgo para los operarios y para el propio funcionamiento de la bomba. Por supuesto, si se realiza alguna revisión o arreglo que conlleve la apertura de esta carcasa, antes de poner la bomba en funcionamiento debe colocarse de nuevo la carcasa.
Por otro lado, los cuadros donde se controlan los equipos de medición deben estar protegidos también mediante carcasas. Estas carcasas deberán estar cerradas con llave y tan sólo el personal autorizado tendrá acceso a las mismas. Estas carcasas deben permitir al operario leer los valores significativos de las variables medidas sin necesidad de ser abiertos y su función principal será proteger los cuadros de control de posibles salpicaduras y manipulaciones incorrectas.
- **Señalizaciones o indicativos:** es importante que partes de la planta que puedan entrañar un riesgo específico sean señalizadas de forma correcta y visible. Por ejemplo, las líneas que van a ras de suelo deben ser bien visibles para impedir que alguien pueda tropezar y caer.
- **Orden y limpieza:** aunque no es un elemento físico para la autoprotección de los operarios, sí es un hábito que impide que pueda haber elementos tangibles tirados por el suelo o en lugares que pueden provocar accidentes. Trabajar con orden y limpieza reduce significativamente muchos riesgos.

- **Extintores:** a la hora de elegir el agente extintor ha de tenerse en cuenta la naturaleza del fuego a extinguir. Considerando que en la planta hay sustancias químicas de diferente naturaleza es imprescindible consultar las fichas de seguridad para conocer qué agente/s extintor/es serán los más convenientes. En la planta se colocarán los extintores que sean más adecuados para un mayor número de sustancias.



Fig 45. Extintor

En la tabla 16 se muestran los modos de extinción atendiendo a las diferentes sustancias presentes en la planta.

Sustancias	Modo de extinción	
	Incendio	Explosión
NH₄OH (Agua amoniacal 10-35%)	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
H₂O₂	En caso de incendio en el entorno: agua en grandes cantidades, agua pulverizada.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
ZnCl₂	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.	-
NH₄Cl	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.	-
HCl	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua pero no en contacto directo con agua.

Tabla 16. Modos de extinción de incendio y explosión para cada sustancia química.

Además de tener en cuenta los datos que nos ofrecen las fichas de seguridad, para elegir el agente extintor más adecuado se deben conocer las clases de fuego y los agentes extintores recomendados. En la figura 46 se presentan los tipos de extintores según las clases de fuego.

Clases de fuego	Agentes extintores						
	Agua chorro	Agua pulverizada	Espuma física	Polvo seco	Polvo polivalente	Nieve carbónica CO ₂	Halones
A SÓLIDOS	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
B LÍQUIDOS	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
C GASES	NO Extingue SI Limita propag.			SI	SI	SI	SI
D METALES	NO*	NO*	NO*	NO*	NO*	NO*	NO*
E ELÉCTRICOS	NO	SI HASTA 20.000 V	NO	SI	SI HASTA 1.000 V	SI	SI
CLAVES: SI Bueno SI Aceptable NO Inaceptable o Peligroso * REQUIERE AGENTES ESPECIALES							

Fig. 46. Tipos de extintores según clases de fuego. Fuente: INSHT.

A la vista de los datos los extintores que se van a instalar serán de CO₂ ya que son los más utilizados y no hay ninguna nota en las fichas de seguridad que lo contraindique.

- **Cubeto de retención:** existe el riesgo de vertido de los tanques, para evitar daños al medio la planta se rodeará de un cubeto de retención de 50 cm. de altura aproximadamente que evite que algún vertido salga al exterior.

Elementos de protección individual

Tal y como se hizo en el apartado 13.4, las medidas de protección individuales se dividirán en parciales e integrales, según protejan zonas determinadas del cuerpo o a la persona entera.

Medios parciales de protección

- **Casco de seguridad:** es un elemento imprescindible que evita los daños que se pueda producir un operario al darse un golpe fortuito. El casco, además, es de uso obligatorio en toda la planta de galvanizado.



Fig. 47. Casco de seguridad

- **Pantallas faciales o gafas:** en ocasiones pueden producirse salpicaduras cuando los operarios estén manipulando los sensores de los tanques ya que éstos están agitados. También existe la posibilidad de que se produzca cuando estén reparando o revisando las bombas o tuberías. En este sentido, es mejor que se utilicen las pantallas faciales ya que protegen cara y ojos.



Fig. 48. Pantalla facial



Fig. 49. Gafas de seguridad

- **Orejas o tapones:** para proteger a los operarios del ruido que provocan las bombas que hay instaladas se pueden utilizar tanto orejas como tapones. Sin duda los tapones son más prácticos ya que el operario lleva un casco puesto.



Fig. 50. Tapones de oídos

- **Botas de seguridad:** son muy importantes ya que aíslan al operario del suelo reduciendo el riesgo de electrocución y evitan daños por posibles golpes.



Fig. 51. Botas de seguridad

- **Gautes:** evitan que los operarios puedan sufrir heridas al manipular equipos mecánicos como bombas, evitan el contacto

directo con sustancias químicas y reducen el riesgo de electrocución. Los guantes deben ser más gruesos que los de látex.



Fig. 52. Guantes de seguridad

- **Mascarillas:** al existir riesgo de salpicaduras e inhalación los operarios deben disponer de mascarillas adecuadas.

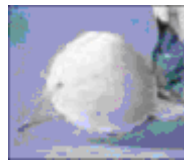


Fig. 53. Mascarilla

Medios integrales de protección

- **Ropa de trabajo:** los operarios deben entrar en la planta con una ropa de trabajo adecuada como, por ejemplo, un mono de trabajo.



Fig. 54. Mono de trabajo

13.5.3 Documento 3: Plan de emergencia

El objeto de este documento será definir la secuencia de acciones a desarrollar para el control inicial de las emergencias que puedan producirse, respondiendo a las preguntas:

- ¿Cuándo y cómo se hará?
- ¿Qué se hará?
- ¿Quién lo hará?

También se deben identificar los factores de riesgo más importantes que definen una situación de emergencia y que puedan precisar

diferentes acciones para su control. Ha de tenerse en cuenta la gravedad y la disponibilidad de medios humanos.

Las situaciones de emergencia pueden clasificarse según su gravedad en:

- **Conato de emergencia:** accidente que puede ser controlado por el personal y medios de protección del local.
- **Emergencia parcial:** accidente que requiere la actuación de los equipos especiales del sector. No afectará a otros sectores colindantes o a terceras personas.
- **Emergencia general:** accidente que requiere de la actuación de todos los equipos y medios de protección del establecimiento además de la ayuda de medios extintores. Comportará la evacuación de las personas.

El Plan de Emergencia debe contener tres documentos básicos:

- **Plan de alarma:** se inicia cuando se produce la detección de la emergencia (incendio, vertido, cortocircuito, etc.). Esta detección puede realizarse mediante medios técnicos (detección automática) o ser confiada a medios humanos, en cuyo caso se deberá prever la transmisión del hecho detectado a un punto fijo permanentemente ocupado. En la transmisión del hecho se deberá especificar como mínimo:
 - ✓ Lugar donde ha ocurrido el accidente
 - ✓ Tipo de accidente
 - ✓ Número y estado aparente de las víctimas
- **Plan de Extinción:** se inicia cuando se desencadena la alarma general. Este documento debe contener como mínimo:
 - ✓ Determinación de las personas que conforman los equipos de 1ª y 2ª intervención.
 - ✓ Instrucciones de actuación.
 - ✓ Instrucciones de uso de los medios de extinción.
- **Plan de Evacuación:** se inicia cuando se desencadena la alarma general. Este documento debe contener como mínimo:

- ✓ Especificación del medio de transmisión de la alarma general.
- ✓ Instrucciones generales de evacuación para todo el personal.
- ✓ Elaboración de carteles y planos con los itinerarios de evacuación para colocarlos en lugares estratégicos.
- ✓ Determinación de las personas que constituyen el equipo de ayuda a la evacuación e instrucciones particulares para las mismas.
- ✓ Responsable de la puesta en marcha del plan de evacuación.

De forma general, las actuaciones a seguir ante una señal de emergencia se recogen en la figura 55.

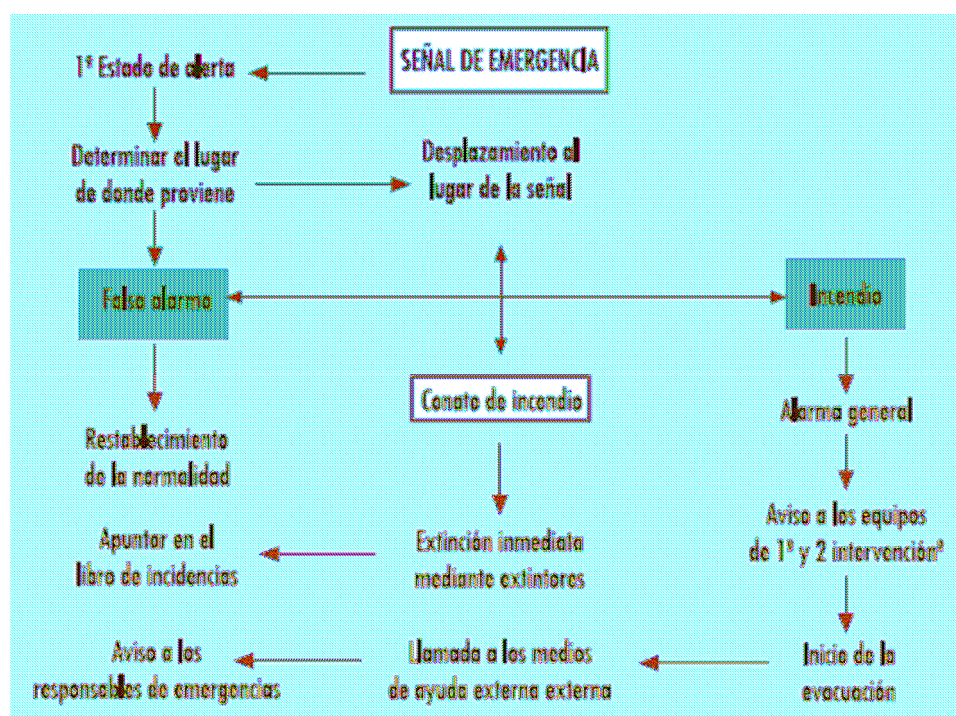


Fig. 55. Actuaciones a seguir ante una señal de emergencia. Fuente: INSHT.

A continuación se presenta la forma de actuar ante los posibles accidentes que pueden producirse en la planta.

1. Incendio

- Los extintores deben estar colocados en lugares visibles y siempre cerca de las zonas donde se presenten mayores posibilidades de iniciarse un incendio. Deben estar colocados sobre soportes verticales fijos y a una altura no superior a 1.70 m.
- Utilizar un agente extintor adecuado a la clase de fuego que se produzca. Para eso es necesario consultar la tabla 19 y la figura 37 de apartados anteriores.
- En caso de producirse un incendio el personal debe abandonar la planta y dar aviso a los equipos de emergencias.
- En caso de incendio, y siempre bajo condiciones de seguridad suficientes, se debe intentar enfriar los depósitos de amoníaco y peróxido mientras llegan los equipos de emergencias. Esto puede hacerse mediante mangueras rociando con agua de red los depósitos desde afuera de la planta.

2. Vertido

- Si el vertido proviene del caudal a tratar se deberá recoger y devolver al tanque de oxidación. Una vez recogido limpiar el suelo con abundante agua.
- Si el vertido es de lodo de hidróxido férrico se deberá recoger el lodo y devolverlo al depósito dispuesto debajo de los filtros prensa, que están diseñados para tal efecto. Lavar el suelo con agua abundante para diluir el lodo que haya quedado y devolver esa solución al tanque de oxidación.
- Si el vertido proviene de los tanques de amoníaco o peróxido se deberá neutralizar con abundante agua y, dependiendo de la cantidad vertida podría ser devuelto al baño de enjuague.

3. Salpicaduras

- Siempre que se produzcan salpicaduras se debe lavar la zona afectada con abundante agua.

- Desprenderse de la ropa mojada por el producto.
- No intentar neutralizar más que con agua.
- Ir al médico lo más rápido posible con la etiqueta o ficha de seguridad del producto.

4. Electrocutación

- Cortar el suministro eléctrico del equipo causante del accidente antes de atender a la víctima.
- Avisar a los equipos de emergencia y practicar la RCP sólo si se tienen conocimientos para ello.
- No dar de beber ni de comer a la víctima.

13.5.4 Documento 4: Implantación

La implantación del Manual de Autoprotección será responsabilidad del titular de la actividad, éste podrá delegar las actuaciones a realizar en un Jefe de Seguridad, quien podría asumir también las funciones de Jefe de Emergencia.

Todo el personal está obligado a participar en los Planes de Autoprotección. Las actuaciones necesarias para la puesta en marcha del Plan serán entre otras:

- Inventario de medios de autoprotección.
- Evaluación del riesgo existente.
- Confección de planos.
- Redacción del Manual de Emergencia y planes de actuación.
- Incorporación de los medios técnicos previstos para ser utilizados en los Planes de Actuación (alarmas, señales,...).
- Confección de planos "Usted está aquí".
- Reuniones informativas para todo el personal.
- Selección, formación y adiestramiento de los componentes del equipo de emergencia.

Además de estas actuaciones, para la correcta implantación del Plan de Autoprotección se deben establecer una serie de programas de mantenimiento anuales que comprendan:

- Cursos periódicos de formación y adiestramiento del personal.
- Mantenimiento de las instalaciones susceptibles de provocar un incendio.
- Mantenimiento de las instalaciones de detección, alarma y extinción de incendios.
- Inspecciones de seguridad.
- Simulacros de emergencia.
- Revisión del Plan para ser actualizado.

14. Protección medioambiental

El derecho de todos a disfrutar de un medio ambiente adecuado, así como el deber de protegerlo es un principio rector del ordenamiento jurídico español, recogido en el artículo 45 de la Constitución española de 1978. Dicho artículo impone a los poderes públicos la obligación de velar por la utilización racional de los recursos naturales, con el fin de proteger y defender el medio ambiente.

El grueso de competencias sustantivas en materia de medio ambiente reside en los Estados miembros de la Unión Europea. En España el grado de descentralización existente, obliga a distinguir cuidadosamente los ámbitos competenciales que en materia de medio ambiente corresponden a la Administración General del Estado, a las comunidades autónomas y a las corporaciones locales.

14.1 Reglamentación vigente

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de industria.
- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental.
- ORDEN de 27 de mayo de 2005, por la que se dictan normas de desarrollo del Decreto 59/2005, de 1 de marzo, para la tramitación de los expedientes de instalación, ampliación, traslado y puesta en

servicio de industrias e instalaciones relacionadas en su anexo y su control.

- DECRETO 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos.
- Decreto 153/1996, de 30 de abril de 1996, por el que se aprueba el reglamento de Informe Ambiental.
- Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos y las sucesivas normas que la desarrollan.
- R.D. 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la ley 20/1986.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

14.2 Identificación de la actuación

La planta objeto de diseño de la presente memoria constará de: un tanque de oxidación de 6 m³, un tanque de neutralización de 4 m³, un depósito de aguas claras de 3 m³, un decantador lamelar tipo Comby de 3.6 m³, dos filtros prensa, dos depósitos de almacenamiento de amoníaco y peróxido de hidrógeno de 1 m³ cada uno y de las bombas y red de tuberías necesarias.

Estará ubicada dentro del perímetro de la propia galvanizadora y rodeada por un cubeto de retención.

14.3 Previsible incidencia ambiental

Hay que distinguir entre dos fases posibles en las que se pueden producir efectos adversos para el medio. Por un lado, la fase de ejecución que conlleva la obra civil y la instalación de todos los equipos de la planta.

Por otro lado, la fase de ejecución en la que la planta se pone en funcionamiento.

En lo que concierne a la fase de ejecución, las incidencias ambientales que pueden darse son el ruido de las máquinas y grúas así como sus emisiones, posibles vertidos o escapes de cemento en las operaciones de encofrado y residuos que puedan dejar los operarios encargados de la obra.

Las medidas a adoptar para minimizar estos impactos son el orden y la limpieza así como extremar las precauciones en el momento de realizar los trabajos.

En fase de operación, las incidencias pueden ser el ruido de las bombas y los filtros, posibles escapes o vertidos e incluso posibles emisiones de amoníaco. Para evitar o minimizar estos efectos se pueden aislar las bombas, evitar que se caliente demasiado el tanque de amoníaco mediante rociado con agua e instalar un cubeto de retención que impida el vertido incontrolado de escapes que puedan producirse.

El impacto visual de la instalación no es una incidencia de importancia debido a que la planta está situada dentro del perímetro de la propia fábrica.

14.4 Programa de seguimiento y control

Además de las inspecciones y controles que se lleven a cabo por parte de la Agencia de Medio Ambiente, las medidas de control que se recomiendan son:

- Limpieza y mantenimiento de bombas según estipule el fabricante.
- Inspecciones de control al sistema de tuberías.
- Limpieza y mantenimiento periódica del cubeto teniendo en cuenta el drenaje que hay que realizar siempre que llueva.
- Inspección de control, mantenimiento y limpieza de los tanques.

Los datos recogidos después de cada inspección deberán quedar registrados y archivados para posibles auditorías e inspecciones por parte del organismo competente.

15. Bibliografía

15.1 Libros consultados

- “*Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Procesos de Metales Férricos*”. Documento BREF. Editado por el Ministerio de Medio Ambiente (2001).
- “*Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Galvanizado en caliente*”. Sociedad Pública de Gestión Medioambiental, IHOBES.A.
- “*Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*”. Informe realizado por el equipo de la Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME)(2006).
- “*Galvanización en caliente*”. J.R. Miguel, P. Molera. Cedel. Barcelona (1976).
- “*Manual de recipientes a presión: diseño y cálculo*”. Eugene F. Megyesy. Limusa. México (1989).
- “*Ingeniería de Control Moderna*”. Ogata, K. 2ª Ed. Prentice Hall. Madrid (1993).
- “*Introducción al Control e Instrumentación*”. Clement, J.M. Alhambra. Madrid (1970).
- “*Química general*”. Ralph H. Petrucci, William S. Harwood, F. Geoffrey Herring Edición 8ª ed. Publicac Madrid: Prentice Hall (2003).
- “*Química Inorgánica*”. D.F. Shriver, P.W. Atkins, C.H. Langford. Editorial Reverté, S.A. (1998).
- “*Gestión Integral de Residuos Sólidos*”. Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S.A. McGraw-Hill. Madrid (1994).
- “*Los residuos peligrosos: caracterización, tratamiento y gestión*”. Rodríguez Jiménez, J., Irabien Gulias, A. Ed. Síntesis. 1ª ed. (1999).
- “*Manual técnico del Agua*”. Degremont. (4ª Ed.) Degremont. Bilbao. (1979).
- “*Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*”. Metcalf & Eddy. (3ª Edición, revisada por G.

Tchobanoglous y F.L. Burton, Versión traducida de Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse por J. Trillo Montsoriu. McGraw-Hill, Inc., Nueva York (1991).

- *“Tratamiento de Aguas Residuales”*. Ramalho R.S. Ed. Reverté, Barcelona (1991)
- *“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”*, McCabe, W.L.; Smith, J.C.; Harriot, P. Ed. McGraw-Hill.
- *“Mecánica de Fluidos. Fundamento y Aplicaciones”*. Yunus A. Çengel; John M. Cimbala. Ed. McGraw-Hill Interamericana.
- *“Mecánica de fluidos con aplicaciones en ingeniería”*. Joseph B. Franzini, E. John Finnemore ; traducción, Balfour Lambert, M^a Victoria Hernando Alameda. McGraw Hill. Madrid (1999).
- *“Ingeniería de las Reacciones Químicas”*. Levenspiel, O. Ed. Limusa (2004).
- *“Handbook of Chemical Reactor Design, Optimization and Scale Up”*. Nauman, E. Ed. McGraw Hill (2001).
- *“Principios de operaciones unitarias”*. Alan S. Foust [et al.]. Cia. Editorial continental. México (1989).

15.2 Artículos consultados

- *“Composition, testing, and control of hot dip galvanizing flux”*. *Metal Finishing*, Volume 101, Issues 7-8, July-August 2003, Pages 22-35 Thomas H. Cook.
- *“Catalytic effects of high Fe(III) concentrations on Fe(II) oxidation”*. *Water Science and Technology*, Volume 34, Issues 7-8, 1996, Pages 389-396 N. Tüfekci and H.Z. Sarikaya.
- *“Influence of ageing on the catalytic activity of ferric sludge for oxidation of Fe(II)”*. *Water Science and Technology*, Volume 38, Issue 6, 1998, Pages 129-137 Nese Tufekci and Hasan Z. Sarikaya.
- *“An experimental study on iron removal with ferric sludge recycling”*. *Water Science and Technology*, Volume 42, No 1 – 2 pp 393 – 397 N. Tufekci, H.Z. Sarikaya and I. Ozturk.
- *“Effects of chloride and sulfate on the rate of oxidation of ferrous ion by H₂O₂”*. *Water Research*, Volume 38, Issue 9, May 2004, Pages

2384-2394 Giang Le Truong, J.DeJoseph De Laat and Bernard Legube.

- “*The Removal of Dissolved Metals by Hydroxysulphate Precipitates during Oxidation and Neutralization of Acid Mine Waters*”. Iberian Pyrite Belt. *Aquatic Geochemistry* (2006) 12: 269–298 J. Sánchez España, E. López Amo, E. Santofimia Pastor, J. Reyes Andrés and J.A. Martín Rubí.
- “*A review of classic Fenton’s peroxidation as an advanced oxidation technique*”. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 98, Issues 1-3, 17 March 2003, Pages 33-50 E. Neyens and J. Baeyens.
- “*Precipitación de hierro (III) utilizando óxido de magnesio en lecho fluidizado*”. *Revista de metalurgia (Madrid)*, Julio-Agosto, 270-278, 2006. P. A. Esteban Bocado y S. D. Ferreira Rocha.
- Patente “*Deferrizing flux salt composition for flux baths*”. Patente No: US6802912 B2 Fecha: Octubre 12, 2004.

15.3 Páginas web

- <http://www.atteg.es/> Página oficial de la Asociación Técnica Española de Galvanización (2007).
- <http://www.latiza.com/> Página oficial de la Asociación Latinoamericana de Zinc (2007).
- <http://www.ilzsg.org/> Página oficial del International Lead and Zinc Study Group (2007).
- <http://www.eper-es.es/> Página oficial del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (2007).
- <http://www.intrecl.com/> Página oficial de la empresa Intrec, que se dedica al tratamiento y depuración de aguas industriales (2007).
- <http://www.galesa.com/> Página oficial de la empresa Galvanizadora Valenciana S.A. (2008).
- <http://www.mtas.es/insht/> Página oficial del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, sección del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2008).

- <http://www.maccabeo.it/> Página oficial del Grupo Maccabeo, empresa italiana dedicada al montaje de plantas de galvanización en caliente (2007).







DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE
EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA
UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Anexo 1-I:

**Fichas de seguridad de sustancias
químicas**

HIDROXIDO AMONICO (disolución 10-35%)

ICSC: 0215

HIDROXIDO AMONICO (disolución 10-35%)
 Hidrato amónico (disolución 10-35%)
 Agua amoniacal (disolución 10-35%)
 NH_4OH
 Masa molecular: 35.1

Nº CAS 1336-21-6
 Nº RTECS BQ9625000
 Nº ICSC 0215
 Nº NU 2672
 Nº CE 007-001-01-2

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION	(Véanse Notas).		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡HIGIENE ESTRICTA!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria. Mantener los recipientes bien cerrados.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves, dolor, ampollas.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y

<p>D A T O S I M P O R T A N T E S</p>	<p>ESTADOFISICO; ASPECT O Disolución incolora, muy volátil, de olor acre.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Reacciona con muchos metales y sus sales dando lugar a la formación de compuestos explosivos. Ataca a muchos metales formando gas inflamable de hidrógeno. La disolución en agua es una base fuerte y reacciona violentamente con ácidos.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido. MAK no establecido.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor o aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar edema laríngeal, inflamación del tracto respiratorio y neumonía. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al vapor o aerosol.</p>
<p>PROPIEDADES FISICAS</p>	<p>Punto de ebullición: (25%) 38°C Punto de fusión: (25%) -58°C Densidad relativa (agua = 1): (25%) 0.9 Solubilidad en agua: Miscible</p>	<p>Presión de vapor, kPa a 20°C: (25%) 48 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.6-1.2 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.1 (25%), 1.2 (32%)</p>
<p>DATOS AMBIENTALES</p>	<p> La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.</p>	
<p style="text-align: center;">NOTAS</p>		
<p>Se puede desprender amoníaco a partir de dicho producto. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. NO llenar completamente las botellas con la sustancia. Las disoluciones de hidróxido amónico pueden generar presión, quitar los tapones de las botellas con cuidado. Otros números NU: NU 1005 Amoníaco anhidro licuado o amoníaco en disolución acuosa de densidad relativa inferior a 0.880 a 15 °C, con más del 50% de amoníaco; NU 2073: Amoníaco en disoluciones acuosas. El vapor de amoníaco es inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-219 Código NFPA: H 3; F 1; R 0;</p>		


DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

INFORMACION ADICIONAL	
FISQ: 4-134 HIDROXIDO AMONICO (disolución 10%-35%)	
ICSC: 0215	HIDROXIDO AMONICO (disolución 10-35%) © CCE, IFC & 1994

PEROXIDO DE HIDROGENO EN SOLUCION >60%

ICSC: 0164



PEROXIDO DE HIDROGENO EN SOLUCION >60%
 Agua oxigenada 60%
 Hidroperóxido
 Perhidrol
 H_2O_2
 Masa molecular: 34.0


Nº CAS 7722-84-1
 Nº RTECS MX0900000
 Nº ICSC 0164
 Nº NU 2015
 Nº CE 008-003-00-9

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con combustibles, agentes reductores o superficies calientes.	En caso de incendio en el entorno: agua en grandes cantidades, agua pulverizada.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con calor o catalizadores metálicos.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua. (Véanse Notas).
EXPOSICION		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Corosivo. Tos, vértigo, dolor de cabeza, dificultad respiratoria, náuseas, jadeo, dolor de garganta. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Corosivo. Enrojecimiento, quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada, aclarar de nuevo y proporcionar asistencia

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

• OJOS	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves, ulceración de la cornea, perforación.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, náuseas, dolor de garganta, vómitos, distensión abdominal.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Eliminar el líquido derramado con agua abundante, NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de sustancias combustibles y reductoras, bases fuertes y metales. Mantener en lugar fresco y oscuro. Almacenar en contenedor con un sistema de venteo. Almacenar solamente si está estabilizado.	 <p>Material especial. símbolo O símbolo C R: 8-34</p> <p>S: (1/2)-3-28-36/39-45 Nota: B, 4 Clasificación de Peligros NU: 5.1 Riesgos Subsidiarios NU: 8 Grupo de Envasado NU: I CE:</p>
VE ASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE		
ICSC: 0164	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia se descompone al calentarla suavemente o bajo la influencia de la luz, produciendo oxígeno que aumenta el peligro de incendio. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, causando peligro de incendio o explosión particularmente en presencia de metales. Ataca a muchas sustancias orgánicas, e.j., textiles y papel.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV (como TWA): 1 ppm; 1.4 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones del vapor o la niebla puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar a los pulmones, dando lugar a una alteración del intercambio gaseoso.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	<p>Punto de ebullición: 141°C (90%), 125°C (70%)°C Punto de fusión: -11°C (90%), -39°C (70%)°C Densidad relativa (agua = 1): 1.4 (90%), 1.3 (70%) Solubilidad en agua: Miscible</p>	<p>Presión de vapor, kPa a 20°C: 0.2 (90%), 0.1 (70%) Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.0 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -1.36</p>
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>EXPLOSION/PRIMEROS AUXILIOS: Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). Nombre comercial: Albore.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-44 Código NFPA: H 2; F 0; R 3; oxy</p>		

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

INFORMACION ADICIONAL	
FISQ: 3-171 PEROXIDO DE HIDROGENO EN SOLUCION>60%	
ICSC: 0164	PEROXIDO DE HIDROGENO EN SOLUCION> 60%
© CCE, IFC 1994	

CLORURO DE AMONIO

ICSC: 1051



CLORURO DE AMONIO

Cloruro amónico

Sal de amoníaco

NH_4Cl

Masa molecular: 53.5

Nº CAS 12125-02-9

Nº RTECSBP4550000

Nº ICSC 1051

Nº CE 017-014-00-8

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• INHALACION	Tos.	Ventilación (no si es polvo), extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes


• PIEL	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Náuseas, dolor de garganta, vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, guardar reposo y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas).	Separado de nitrato amónico, clorato potásico, ácidos, álcalis, sales de plata. Mantener en lugar seco.	 símbolo Xn R: 22-36 S: (2-)22 CE:
VE ASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE		
ICSC: 1051	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECT O Sólido entre incoloro y blanco, inodoro, higroscópico en diversas formas.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente o al arder, produciendo humos tóxicos e irritantes de óxidos de nitrógeno, amoníaco y cloruro de hidrógeno. La disolución en agua es un ácido débil. Reacciona violentamente con nitrato amónico y clorato potásico, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con concentrados de ácidos para formar cloruro de hidrógeno y bases fuertes para formar amoníaco. Reacciona con sales de plata para formar compuestos sensibles al choque. Ataca al cobre y compuestos.</p> <p>LIMITE S DE EXPOSICION TLV (como TWA): 10 mg/m³ (humos) (ACGIH 1995-1996). TLV (como STEL): 20 mg/m³ (humos) (ACGIH 1995-1996). MAK no establecido.</p>	<p>VIA S DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del polvo o humo y por ingestión.</p> <p>RIE SGO DE INHALACION La evaporación a 20° C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire.</p> <p>EFE CTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p> <p>EFE CTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
	<p>PROPIEDADE S FISICAS</p> <p>Punto de sublimación: 350°C Densidad relativa (agua = 1): 1.5 Solubilidad en agua, g/100 ml a 25° C: 28</p> <p>Solubilidad en agua: Elevada (28.3 g/100 ml at 25° C) Presión de vapor, kPa a 160°C: 0.13</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Código NFPA: H 1; F 0; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
FIS Q: 4-063 CLORURO DE AMONIO		
ICSC: 1051	CLORURO DE AMONIO	
© CCE, IPCS, 1994		

COLORURO DE CINC

ICSC: 1064




Dicloruro de cinc
ZnCl₂
Masa molecular: 136.3

Nº CAS 7646-85-7
Nº RTECS ZH1400000
Nº ICSC 1064
Nº NU 2331
Nº CE 030-003-00-2

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta. Síntomas no inmediatos (véanse Notas).	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor.	Guantes protectores.	Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

• INGESTION	Dolor abdominal Sensación de quemazón. Náuseas. Shock o colapso. Dolor de garganta. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	NO provocar el vómito. Dar a beber agua abundante. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente. Recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: respirador de filtro P3 contra partículas tóxicas).	Separado de bases fuertes, piensos y comida. Mantener en lugar seco. Bien cerrado.		
		No transportar con alimentos y piensos. NU (transporte): Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III CE: símbolo C símbolo N R: 34-50/53 S: 1/2-7/8-28-45-60-61	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 1064	Preparada en el Contexto de Cooperación entre elIPCS y la Comisión Europea © CE, IPSC, 2003		

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECT O Sólido blanco hidrocópio en diversas formas .</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente , produciendo humos tóxicos de cloruro de hidrógeno y óxidos de cinc. La disolución en agua es moderadamente ácida.</p> <p>LIMITE S DE EXPOSICION TLV (como gas): 1 mg/m³ (como TWA); 2 mg/m³ (como STEL) (ACGIH 2003). MAK no establecido.</p>	<p>VIA S DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIE SGO DE INHALACION La evaporación a 20° C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas dispersadas en el aire, especialmente en forma de polvo.</p> <p>EFE CTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva para los ojos y la piel El aerosol irrita el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del gas de esta sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La sustancia puede causar efectos en pancreas. La exposición aguda a altas concentraciones de humo de cloruro de cinc puede originar el Síndrome de Fallo Respiratorio, conduciendo a una fibrosis pulmonar y la muerte.</p>
	<p>PROPIEDADE S FISICAS</p> <p>Punto de ebullición: 732°C Punto de fusión: 290°C</p>	<p>Densidad: 2.9 g/cm³ Solubilidad en agua, g/100 ml a 25°C: muy elevada.</p>
<p>DATOS AMBIENTALES</p>	<p>La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.</p>	
NOTAS		
<p>Otro número NU: 1840, solución de cloruro de cinc; Clasificación de Peligro: 8. Los síntomas del edema pulmonar no se poren de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles .</p> <p>Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80GC2-II+III</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
<p>Los vabres LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm</p>	<p>Última revisión IPCS: 2002 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003 FISQ: 6-065</p>	
<p>ICSC: 1064</p>	<p>CLORURO DE CINCO</p>	
<p>© CE, IPCS, 2003</p>		

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes



DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE
EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA
UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Documento II :

Memoria de Cálculos

Índice de la Memoria de Cálculos

1. Introducción.....	1
2. Balance de materia al tanque de oxidación.....	2
2.1 Al tratar el baño de mordentado.....	4
2.2 Al tratar el baño de enjuague.....	6
3. Balance de materia al tanque de neutralización.....	8
3.1 Al tratar el baño de mordentado.....	9
3.2 Al tratar el baño de enjuague.....	10
4. Cálculo del volumen del tanque de oxidación.....	11
5. Cálculo del volumen del tanque de neutralización.....	14
6. Diseño de recipientes sometidos a presión.....	14
6.1 Introducción.....	14
6.2 Datos básicos para el diseño mecánico de los tanques.....	15
6.2.1 Presión de diseño (P)	15
6.2.2 Temperatura de diseño (T)	16
6.2.3 Tipo de material.....	16
6.2.4 Velocidad o presión del viento.....	16
6.2.5 Coeficiente sísmico.....	17
6.2.6 Espesor mínimo de pared.....	17
6.2.7 Corrosión máxima prevista para el elemento (c)	17
6.2.8 Eficiencia de soldadura (E) e inspección radiográfica.....	18
6.2.9 Código a utilizar para el diseño.....	19
6.2.10 Tensión máxima admisible (S)	19
7. Diseño del tanque de oxidación.....	21

7.1	Cálculo del espesor mínimo de la envolvente.....	21
7.1.1	Por especificación.....	21
7.1.2	Por tensión circunferencial.....	22
7.2	Cálculo del espesor del fondo.....	26
7.2.1	Por especificación.....	26
7.2.2	Por tensión circunferencial.....	26
7.3	Cálculo de la altura de pestaña (h)	28
7.4	Cálculo de las dimensiones reales del tanque de oxidación.....	28
7.5	Esfuerzos en recipientes sometidos a presión.....	30
7.5.1	Cálculo de la tensión longitudinal de la envolvente debida a la presión interna.....	30
7.5.2	Cálculo de pesos y tensiones.....	30
7.6	Cálculo del soporte.....	33
7.7	Cálculo de las tensiones admisibles.....	34
7.7.1	Tensión admisible a tracción.....	34
7.7.2	Tensión admisible a compresión.....	34
7.7.3	Tensión admisible a pandeo.....	34
7.7.4	Tensión admisible a prueba.....	35
7.8	Prueba hidráulica.....	35
8.	Diseño del tanque de neutralización.....	37
8.1	Cálculo del espesor mínimo de la envolvente.....	37
8.1.1	Por especificación.....	37
8.1.2	Por tensión circunferencial.....	38
8.2	Cálculo de los espesores de los fondos.....	39
8.2.1	Por especificación.....	39
8.2.2	Por tensión circunferencial.....	40

8.3	Cálculo de la altura de pestaña.....	41
8.4	Cálculo de las dimensiones reales del tanque de neutralización....	41
8.5	Esfuerzos en recipientes sometidos a presión.....	43
8.5.1	Cálculo de la tensión longitudinal de la envolvente debida a la presión interna.....	43
8.5.2	Cálculo de pesos y tensiones.....	43
8.6	Cálculo del soporte.....	46
8.7	Cálculo de las tensiones admisibles.....	46
8.7.1	Tensión admisible a tracción.....	46
8.7.2	Tensión admisible a compresión.....	46
8.7.3	Tensión admisible a pandeo.....	47
8.7.4	Tensión admisible a prueba.....	47
8.8	Prueba hidráulica.....	47
9.	Diseño del depósito de descarga.....	49
9.1	Cálculo del espesor mínimo de la envolvente.....	49
9.1.1	Por especificación.....	49
9.1.2	Por tensión circunferencial.....	50
9.2	Cálculo de los espesores de los fondos.....	51
9.2.1	Por especificación.....	51
9.2.2	Por tensión circunferencial.....	52
9.3	Cálculo de la altura de pestaña.....	53
9.4	Cálculo de las dimensiones reales del tanque de neutralización....	53
9.5	Esfuerzos en recipientes sometidos a presión.....	55
9.5.1	Cálculo de la tensión longitudinal de la envolvente debida a la presión interna.....	55
9.5.2	Cálculo de pesos y tensiones.....	55

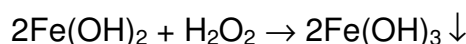
9.6 Cálculo del soporte.....	58
9.7 Cálculo de las tensiones admisibles.....	58
9.7.1 Tensión admisible a tracción.....	58
9.7.2 Tensión admisible a compresión.....	59
9.7.3 Tensión admisible a pandeo.....	59
9.7.4 Tensión admisible a prueba.....	59
9.8 Prueba hidráulica.....	59
10. Diseño del decantador.....	61
11. Diseño del sistema de filtración.....	64
11.1 Introducción.....	64
11.2 Fundamento teórico.....	65
11.3 Filtración a caudal constante.....	66
12. Diseño de los sistemas de agitación.....	67
12.1 Diseño del sistema de agitación del tanque de oxidación.....	69
12.2 Diseño del sistema de agitación del tanque de neutralización.....	73
13. Diseño y dimensionado de las conducciones	75
14. Cálculo y selección de bombas.....	90
14.1 Introducción a las pérdidas de carga.....	91
14.2 Cavitación en bombas.....	96
14.3 Cálculo y selección de bombas.....	99

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

1. Introducción

En la planta que es objeto de diseño en este proyecto se llevarán a cabo dos reacciones químicas principalmente. Por un lado, una oxidación mediante la adición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), cuya fórmula es la siguiente:



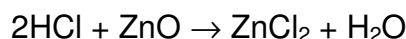
Esta reacción, relacionada con la llamada reacción de Fenton, es de segundo orden respecto al hidróxido ferroso y su constante cinética vale $K=5.68 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Por otro lado, una reacción de neutralización cuya fórmula es:



El producto de esta reacción es cloruro amónico que además es una de las sales que componen el baño de mordentado con lo que, en parte, se consigue la regeneración de la sal y en consecuencia alargar la vida del baño.

Aparte de estas reacciones, también existe otra que da como producto cloruro de zinc ($ZnCl_2$) que es, precisamente, la otra sal que compone principalmente el baño. Para conseguir esta reacción hay que añadir al tanque óxido de zinc (ZnO), que se prepara a partir de los polvos sacados del filtro de la chimenea del crisol. Esos polvos son de óxido de zinc y al añadirlos se produce la siguiente reacción:



La reacción más importante y en la que se basará el diseño de la planta es la de oxidación, ya que la planta tiene como función principal retirar el exceso de hierro de los baños para alargar su vida. Eso no quiere decir que las demás reacciones no sean importantes sólo que permanecerán en un segundo plano a efectos de diseño.

La variable fundamental para el control del proceso será el valor del pH. Este valor en el baño de mordentado se ajusta normalmente a 4.5 aproximadamente para asegurar así la precipitación de los iones férricos en forma de hidróxido férrico, sin embargo, el pH de este baño puede estar en el rango de 1 a 5, por eso la etapa de neutralización se hace necesaria. Además, el baño de enjuague tiene un pH inferior a 4 en condiciones normales de trabajo, con lo que poco a poco va acidificando el baño de mordentado.

En la figura 1 se muestra el diagrama de solubilidad del $Fe(OH)_3$ a 298 k.

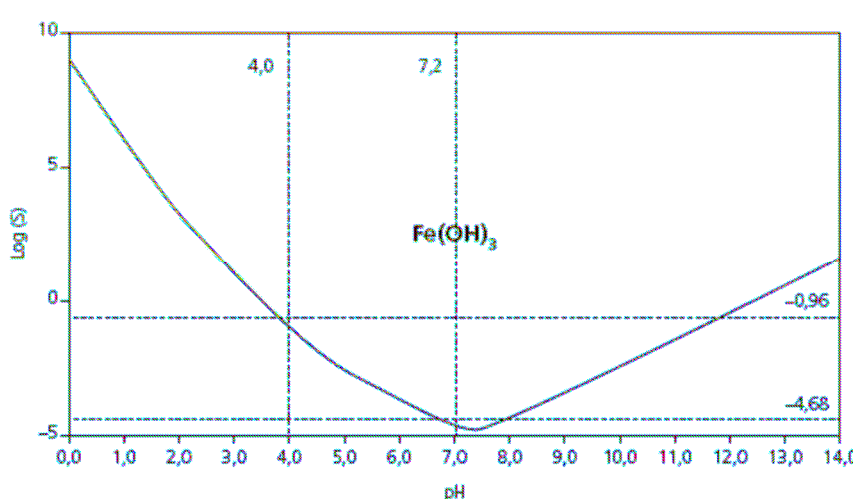


Fig.1. Diagrama de solubilidad del Fe(OH)₃ (298 k)

Las reacciones anteriores serán las que se producirán cuando se depure tanto el baño de mordentado como el baño de enjuague. La única diferencia será, que al depurar el enjuague, la reacción que produce el cloruro de zinc no tendrá lugar ya que no se añadirán en este caso los polvos de óxido de zinc.

2. Balance de materia al tanque de oxidación

Hay que hacer dos balances diferentes en este tanque ya que se van a tratar en él dos disoluciones con diferentes concentraciones de iones de hierro.

Al tratarse de un reactor de tanque agitado se considera que el volumen de control del mismo es el propio tanque en sí y que en su interior se mantiene uniformidad en el valor que adoptan cada una de las variables consideradas.

Por tanto, el balance de materia será de tipo macroscópico y sus características principales son:

- Considera el sistema como una *Caja Negra*
- Son enunciados matemáticos que relacionan variables exógenas o externas a la *Caja Negra* (entradas y salidas) con variables endógenas o internas (acumulación y generación o consumo).
- Su utilidad básica es para el cálculo
- No se obtiene una representación del sistema. No se consideran los mecanismos de transporte de propiedad en el interior de la *Caja Negra*.

La expresión general del balance macroscópico de materia es:

$$\left(\begin{array}{c} \text{VELOCIDAD} \\ \text{NETA DE} \\ \text{ACUMULACIÓN DE} \\ \text{MATERIA EN} \\ \text{EL ELEMENTO DE} \\ \text{VOLUMEN} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{CAUDAL NETO} \\ \text{DE ENTRADA} \\ \text{DE MATERIA} \\ \text{EN EL} \\ \text{ELEMENTO DE} \\ \text{VOLUMEN} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{VELOCIDAD} \\ \text{NETA DE} \\ \text{GENERACIÓN} \\ \text{DE MATERIA EN} \\ \text{EL ELEMENTO} \\ \text{DE VOLUMEN} \end{array} \right)$$

$$(A) = (E) - (S) + (G) - (C)$$

Siendo:

- (A) Velocidad neta de acumulación de materia en el elemento de volumen.
- (E) Caudal de entrada de materia en el elemento de volumen.
- (S) Caudal de salida de materia en el elemento de volumen.
- (G) Velocidad de generación de materia en el elemento de volumen.
- (C) Velocidad de consumo de materia en el elemento de volumen.

Esta expresión puede simplificarse según el caso concreto. En este caso se considera que la operación se lleva a cabo en condiciones de estado estacionario ya que el reactor trabajará en régimen continuo y las variables del proceso se suponen constantes en todo el tanque. Entonces, el término de acumulación se anula y la expresión anterior queda así:

$$\left(\begin{array}{c} \text{VELOCIDAD} \\ \text{NETA DE} \\ \text{ACUMULACIÓN DE} \\ \text{MATERIA EN} \\ \text{EL ELEMENTO DE} \\ \text{VOLUMEN} \end{array} \right) = 0$$

Por tanto:

$$\left(\begin{array}{c} \text{CAUDAL NETO} \\ \text{DE ENTRADA} \\ \text{DE MATERIA} \\ \text{EN EL} \\ \text{ELEMENTO DE} \\ \text{VOLUMEN} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{VELOCIDAD} \\ \text{NETA DE} \\ \text{GENERACIÓN} \\ \text{DE MATERIA EN} \\ \text{EL ELEMENTO} \\ \text{DE VOLUMEN} \end{array} \right) = 0$$

Una vez hecha esta pequeña introducción se procede a hacer los correspondientes balances de cada especie a las dos corrientes (mordentado y enjuague) que se van tratar.

2.1 Al tratar el baño de mordentado

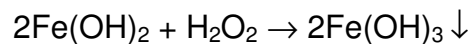
Composición inicial de la corriente de mordentado.

	g / L	kg / L
ZnCl ₂	240	0.240
NH ₄ Cl	160	0.160
HCl	0.012	1.2×10^{-5}
Fe(OH) ₂	≅ 2	0.002
H ₂ O	794.98	0.795

Tabla 1. Composición inicial de la corriente de mordentado en g/L y kg/L.

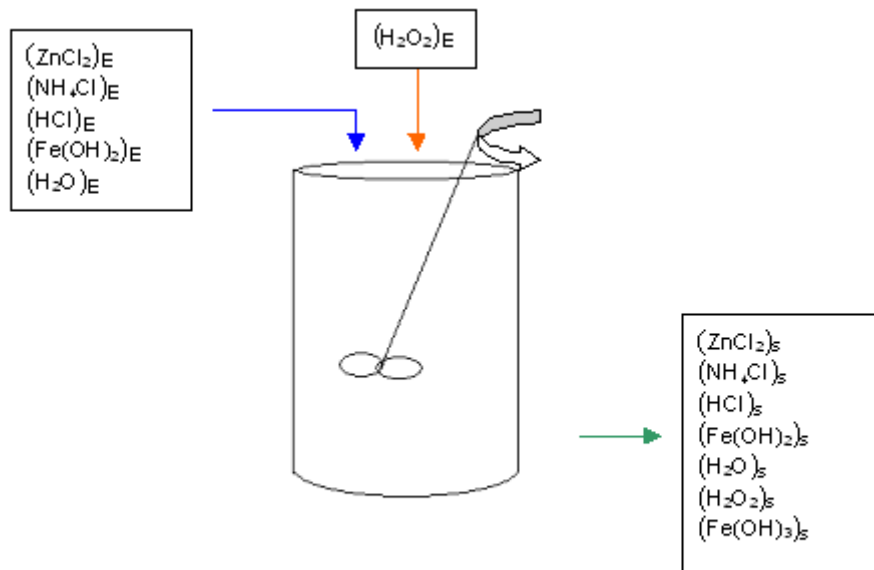
La temperatura del baño es de 35°C y su densidad es de 1197 g / L.

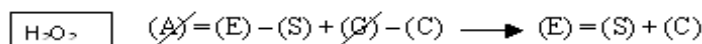
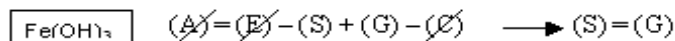
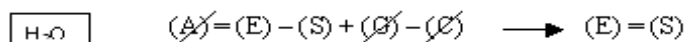
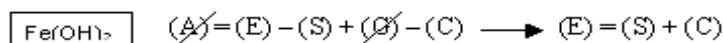
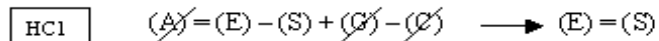
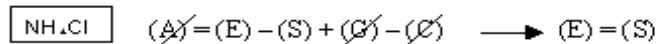
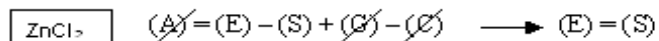
Recordando la reacción que tendrá lugar en este tanque y cuya conversión será del 96 % con respecto al hidróxido ferroso:



Se observa que la corriente de salida, además de contener todas las especies que entran en la corriente de entrada, contendrá también H₂O₂ y 2Fe(OH)₃. A continuación se muestra un esquema del tanque con las corrientes de entrada y salida.

Planteando los balances para cada especie con las correspondientes simplificaciones, las ecuaciones quedarán de la siguiente forma:





Los resultados obtenidos, resolviendo las ecuaciones y considerando una base de cálculo igual al caudal másico de entrada (1197 kg / h), se presentan en la tabla 2.

	(E)	(S)	(G)	(C)
ZnCl ₂	240	240	—	—
NH ₄ Cl	160	160	—	—
HCl	0.012	0.012	—	—
Fe(OH) ₂	2	0.08	—	1.92
H ₂ O	795	795	—	—
Fe(OH) ₃	—	2.28	2.28	—
H ₂ O ₂	0.378	—	—	0.378
TOTAL	1197.39	1197.39	2.28	2.28

Tabla 2. Resultados del balance de materia a las diferentes especies de la corriente de mordentado en el tanque de oxidación.

Todos los datos vienen expresados en kg / hora.

El lodo que se extrae no está compuesto únicamente por hidróxido férrico sino que también lleva H_2O y zinc. La composición en peso estimada de estos lodos es: 20% $Fe(OH)_3$; 60% H_2O ; 6.5% zinc.

Por tanto, el peso real de lodos que se extraen será de 10.25 kg/h aproximadamente.

Por otro lado, el H_2O_2 que se añade proviene de una solución comercial que está al 35% en peso y cuya densidad es aproximadamente de 1100 g / L. Entonces, el volumen necesario de la solución de H_2O_2 que hay que añadir será de 0.846 L/h.

2.2 Al tratar el baño de enjuague

En este caso, los cálculos son análogos al caso anterior y seguirá las mismas pautas, con la única diferencia de la composición en las corrientes de entrada y salida. La reacción que se produce también es la misma.

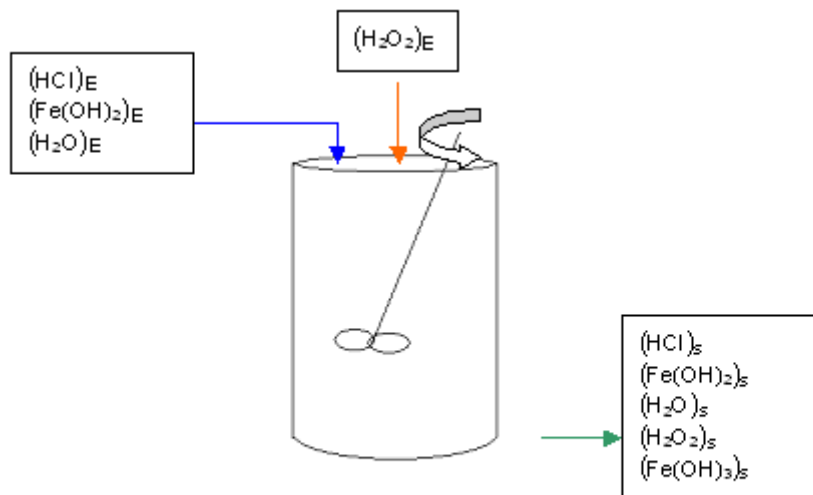
Composición inicial de la corriente de enjuague.

	g / L	kg / L
HCl	1.15	1.15×10^{-3}
$Fe(OH)_2$	$\cong 10$	0.01
H_2O	988.8	0.988

Tabla 3. Composición inicial de la corriente de enjuague.

La temperatura del baño es la temperatura ambiente y su densidad es de 1000 g / L aproximadamente.

Como en el caso anterior se presenta un esquema del tanque con las corrientes de entrada y salida.



Planteando los balances para cada especie con las correspondientes simplificaciones, las ecuaciones quedarán de la siguiente forma:

$$\boxed{\text{HCl}} \quad (\cancel{A}) = (\text{E}) - (\text{S}) + (\cancel{G}) - (\cancel{C}) \quad \longrightarrow \quad (\text{E}) = (\text{S})$$

$$\boxed{\text{Fe(OH)}_2} \quad (\cancel{A}) = (\text{E}) - (\text{S}) + (\cancel{G}) - (\text{C}) \quad \longrightarrow \quad (\text{E}) = (\text{S}) + (\text{C})$$

$$\boxed{\text{H}_2\text{O}} \quad (\cancel{A}) = (\text{E}) - (\text{S}) + (\cancel{G}) - (\cancel{C}) \quad \longrightarrow \quad (\text{E}) = (\text{S})$$

$$\boxed{\text{Fe(OH)}_3} \quad (\cancel{A}) = (\cancel{\text{E}}) - (\text{S}) + (\text{G}) - (\cancel{C}) \quad \longrightarrow \quad (\text{S}) = (\text{G})$$

$$\boxed{\text{H}_2\text{O}_2} \quad (\cancel{A}) = (\text{E}) - (\text{S}) + (\cancel{G}) - (\text{C}) \quad \longrightarrow \quad (\text{E}) = (\text{S}) + (\text{C})$$

Los resultados obtenidos, resolviendo las ecuaciones y considerando una base de cálculo igual al caudal másico de entrada (1000 kg / h), se presentan en la tabla 4.

	(E)	(S)	(G)	(C)
HCl	1.15	1.15	—	—
Fe(OH) ₂	10	0.4	—	9.6
H ₂ O	988	988	—	—
Fe(OH) ₃	—	11.41	11.41	—
H ₂ O ₂	1.89	—	—	1.89
TOTAL	1001.04	1001.04	11.41	11.41

Tabla 4. Resultados del balance de materia a las diferentes especies de la corriente de enjuague en el tanque de oxidación.

Todos los datos vienen expresados en kg / hora.

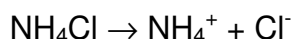
La cantidad de lodo producido será de aproximadamente 57.05 kg/h y la cantidad de solución de H₂O₂ consumida será de 3.08 L/h.

3. Balance de materia al tanque de neutralización

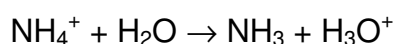
Las reacciones de neutralización son reacciones del tipo ácido-base, esto quiere decir, que son reacciones entre sustancias ácidas y sustancias básicas. Una definición más general sobre las sustancias ácidas y básicas fue propuesta por Gilbert Lewis quien describió que un ácido es una sustancia que puede aceptar un par de electrones y una base es aquella que puede donar ese par. De esta forma, la reacción de neutralización que tiene lugar es:



El NH₄Cl es una sal que se forma a partir de un ácido fuerte y una base débil por lo que, en disolución sufrirá hidrólisis. Esto es, que se separará en los iones que la forman de esta manera:



El ión cloruro no reaccionará con el agua pero el ión amonio sí, acidificando el medio.



Por tanto, es una sal con carácter ácido pero para saber si puede tener efecto sobre el pH del medio debemos mirar su concentración y su constante de hidrólisis o de acidez. Sabiendo que la concentración de HCl

varía de un baño a otro entre 3.3×10^{-4} M (0.012 g/L) y 0.031 M (1.15 g/L) es de suponer que para neutralizarlo hará falta poca cantidad de NH_3 , por lo que se puede considerar que la concentración no será un factor a tener en cuenta.

Por otro lado, su constante de acidez según fuentes bibliográficas es de 5.86×10^{-10} , que es un valor muy bajo. Por estas razones, no se tomará el efecto de hidrólisis de la sal como algo que pueda afectar al pH y se considerará que el pH viene determinado únicamente por la concentración de ácido en el medio.

Con respecto a las demás sustancias que componen los baños (especialmente el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que se forma), se considerará que tampoco afectan al pH ya que el exceso de H_2O_2 será muy pequeño y el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formado precipitará rápidamente.

3.1 Al tratar el baño de mordentado

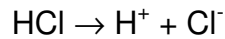
La composición de la corriente de entrada al tanque es la siguiente.

	kg / L
ZnCl_2	0.240
NH_4Cl	0.160
HCl	1.2×10^{-5}
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	8×10^{-5}
H_2O	795
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	2.28×10^{-3}
H_2O_2	—

Tabla 5. Composición de la corriente de mordentado a la entrada del tanque de neutralización.

Como se ha visto anteriormente, se considerará únicamente la concentración de ácido como responsable del pH del medio. El pH del baño de mordentado puede variar en un rango que va del 1 al 5 aunque lo normal es que se sitúe en el 4.5. Con este pH el hidróxido férrico precipita sin necesidad de añadirle amoníaco pero lo normal es que cuando el baño pasa a la planta de tratamiento el pH esté en un 3.5 aproximadamente.

El ácido clorhídrico es un ácido de carácter fuerte y por lo tanto en disolución acuosa se puede considerar que está completamente dissociado.



Por ésta razón se puede aproximar que $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{HCl}]$ y según el concepto de pH se puede calcular el valor del mismo. El pH viene definido de la siguiente manera:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Por lo que, si la concentración inicial de HCl era de 3.3×10^{-4} mol / L el valor de pH del medio será:

$$\text{pH} = -\log [3.3 \times 10^{-4}] = 3.48$$

Lo que se pretende es neutralizarlo hasta que el pH alcance un valor de 4.5. Para que el medio tenga este valor de pH la concentración de iones hidronio debe valer $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3.3 \times 10^{-5}$ mol / L. Por eso, y sabiendo que el amoníaco reacciona con el HCl en proporción 1:1, formando la sal de NH_4Cl que se puede concluir que:

$$3.3 \times 10^{-4} \quad - \quad 3.3 \times 10^{-5} \quad = \quad 2.97 \times 10^{-4}$$

$$\left(\begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ cuando} \\ \text{pH} = 3.5 \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ cuando} \\ \text{pH} = 4.5 \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ que hay} \\ \text{que neutralizar} \end{array} \right)$$

Como HCl y NH_3 reaccionan en proporción 1:1 se puede considerar que:

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{a neutralizar}} = [\text{NH}_3]_{\text{que se debe añadir}}$$

Entonces se deben añadir 3×10^{-4} moles de NH_3 por litro de disolución aproximadamente.

La solución amoniacal con la que se cuenta está al 25% y su densidad es de 900 g /L, luego, la cantidad de solución que hay que aportar por cada litro de mordentado tratado será de 2.26×10^{-5} L o lo que es lo mismo, 22 mL/h.

3.2 Al tratar el baño de enjuague

La composición de la corriente de entrada al tanque es la siguiente.

	kg / L
HCl	1.15×10^{-3}
Fe(OH) ₂	0.4×10^{-3}
H ₂ O	0.988
Fe(OH) ₃	0.114

Tabla 6. Composición de la corriente de enjuague a la entrada del tanque de neutralización.

Ahora el pH del medio a la entrada del tanque es de 1.5 y se pretende neutralizarlo hasta alcanzar un valor de 5. La reacción que tiene lugar es la misma que la vista en el apartado anterior. Entonces, la concentración de iones hidronio que habrá que neutralizar será:

$$0.031 - 1 \times 10^{-5} = 0.03099 \approx 0.031$$

$$\left([H_3O^+] \text{ cuando } pH = 1.5 \right) - \left([H_3O^+] \text{ cuando } pH = 5 \right) = \left([H_3O^+] \text{ que hay que neutralizar} \right)$$

Entonces se deben añadir 0.031 moles de NH₃ por litro de disolución aproximadamente. Esto es, 0.0023 L de disolución amoniacal, o si lo ponemos en base al caudal de entrada de 1000 L /h, la cantidad de solución amoniacal a añadir será de 2.34 L/h.

4. Cálculo del volumen del tanque de oxidación

Lo primero que hay que hacer es plantear el balance de materia al tanque.

$$\left(\begin{array}{l} \text{Cantidad de A que} \\ \text{entra en el} \\ \text{elemento de} \\ \text{volumen por} \\ \text{unidad de tiempo} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{A que sale} \\ \text{por unidad de} \\ \text{tiempo} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{A que} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{A} \end{array} \right)$$

$$\text{(ENTRA)} = \text{(SALE)} + \left(\begin{array}{l} \text{DESAPARECE} \\ \text{POR} \\ \text{REACCIÓN} \end{array} \right)$$

El reactivo A al que se refiere el balance es el $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y, como se hizo anteriormente, al estar trabajando en condiciones de estado estacionario el término de acumulación se anula. Si planteamos el balance según los caudales molares la expresión queda así:

$$F_{AE} = F_{AS} + (-r_A)V \quad (1)$$

Siendo: F_{AE} → caudal molar de entrada de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (mol/h)
 F_{AS} → caudal molar de salida de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (mol/h)
 $(-r_A)$ → velocidad de reacción ($\text{mol h}^{-1} \text{L}^{-1}$)
 V → volumen del recipiente (l)

Sabiendo que:

$$F_{AE} = F_{A0} (1 - X_{AE})$$

$$F_{AS} = F_{A0} (1 - X_{AS})$$

Sustituyendo estas expresiones en la ecuación (1) y agrupando términos, al final se obtiene la siguiente expresión.

$$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{X_{AS} - X_{AE}}{(-r_A)} \quad (2)$$

Considerando que la conversión a la entrada del tanque será cero ($X_{AE} = 0$) y que :

$$F_{A0} = Q_0 \cdot C_{A0}$$

$$\frac{V}{Q_0} = \tau$$

$$X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}}$$

Siendo: Q_0 → caudal volumétrico de entrada (L/h)
 C_{A0} → concentración inicial a la entrada de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (mol/L)
 C_A → concentración final a la salida de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (mol/L)

$\tau \rightarrow$ tiempo espacial (h)
 $X_A \rightarrow$ conversión (adimensional)

Al final, sustituyendo en la ecuación **(2)** llegamos a esta otra expresión:

$$\tau = \frac{C_{A0} - C_A}{(-r_A)} \quad (3)$$

Sabiendo que $(-r_A)$ es la velocidad de reacción y que la reacción es de segundo orden respecto al $\text{Fe}(\text{OH})_2$, entonces la ecuación cinética será la siguiente:

$$(-r_A) = K \cdot C_A^2$$

Si además $C_A = C_{A0} \cdot (1 - X_A)$

Sustituyendo en la ecuación **(3)** y despejando el tiempo espacial se obtiene:

$$\tau = \frac{X_A}{K \cdot C_{A0} (1 - X_A)^2} \quad (4)$$

Ésta, es la ecuación de diseño de un reactor de tanque agitado cuando el volumen permanece constante y se trabaja en estado estacionario. Mediante esta expresión se calculará el volumen necesario para llevar a cabo la reacción.

Los datos de los que se disponen son:

$C_{A0} = 0.022$ mol/L (concentración inicial del mordentado)
 $X_A = 0.96$
 $K = 5.68 \times 10^3$ L mol⁻¹ h⁻¹ (Fuente: Grupo Maccabeo).

Sustituyendo en la ecuación **(4)** y despejando el volumen se obtiene que $V = 4800$ L. Éste será el volumen útil que representa el 80% del volumen total, el otro 20% será un coeficiente de seguridad. Por tanto, el volumen real total será $V_r = 6000$ L.

5. Cálculo del volumen del tanque de neutralización

En apartados anteriores ya se hizo el balance de materia correspondiente a este tanque y se propuso que el único factor que afectaba al valor del pH era la concentración de ácido del medio.

En este sentido se puede afirmar que la reacción a partir de la cual se va a calcular el volumen del tanque será:



Esta reacción es prácticamente instantánea, es decir, su constante cinética es muy alta y por tanto el tiempo espacial pequeño. Por eso, el factor principal que va a marcar el cálculo será la mezcla perfecta que debe asegurarse que todo el volumen esté perfectamente agitado para que precipite todo el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y quede en suspensión.

Por otro lado, el caudal de salida debe ser tal que el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ pueda decantar completamente en la etapa siguiente.

Por estas razones, el volumen necesario dependerá del tiempo que se necesite para asegurar que todo el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipita, de la concentración del mismo en el medio y del tiempo necesario para que decante en la etapa siguiente.

Los datos bibliográficos sobre este tema son escasos y no demasiado esclarecedores, por eso se recurrió a consultar a una empresa galvanizadora que contaba con una planta de este tipo.

Según esta empresa, el volumen recomendado a la vista de los datos de concentración de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y caudal de entrada era de 3330 L. Se aplica posteriormente un coeficiente de seguridad del 20 %, como se hizo anteriormente, y entonces queda que el volumen real es $V_r = 4000$ L.

6. Diseño de recipientes sometidos a presión

6.1 Introducción

Los tanques que se diseñarán serán tres: el tanque de oxidación, el tanque de neutralización y el depósito de descarga.

Conociendo las capacidades de los tanques y considerando las relaciones H/D recomendadas según la bibliografía existente, se pueden

calcular las dimensiones de los mismos teniendo en cuenta las siguientes expresiones.

$$V = \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot H ; \frac{H}{D} = K \qquad V = \frac{D^3}{4} \cdot \pi \cdot K$$

Siendo: $V \rightarrow$ volumen real del tanque (m^3)
 $D \rightarrow$ diámetro del tanque (m)
 $H \rightarrow$ altura del tanque (m)
 $K \rightarrow$ relación H/D (adimensional)

A continuación, se representan los datos obtenidos en la tabla 7.

RECIPIENTE	H/D	V (m^3)	D (m)	H (m)
T. Oxidación	1.5	6	1.72	2.58
T. Neutralización	2	4	1.36	2.73
Depósito descarga	2	3	1.24	2.48

Tabla 7. Dimensiones de los tanques de la planta.

Las dimensiones de H y D de la tabla son orientativas ya que, para calcular H se ha supuesto que el tanque será un cilindro perfecto y, al calcular D no se ha tenido en cuenta el espesor de la chapa.

6.2 Datos básicos para el diseño mecánico de los tanques

6.2.1 Presión de diseño (P)

Esta presión debe ser en todo caso mayor a la máxima de operación o servicio. Su valor será el mayor de estos tres valores:

- $P \geq 1.1 \times$ Presión máxima de operación (kg/cm^2)
- $P \geq$ Presión máxima de operación + 2 (kg/cm^2)
- $P \geq 3.5$ (kg/cm^2)

En este caso, como los tanques son abiertos la presión de operación será igual a la presión atmosférica, por lo tanto la presión de diseño para todos los tanques será $3.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

6.2.2 Temperatura de diseño (T)

Debe ser superior a la máxima temperatura que se produzca durante la operación, y es habitual (a no ser que se especifique otro valor en las hojas de datos del recipiente) adoptar como temperatura de diseño el valor de:

$$T = \text{Máxima temperatura de operación} + 20^\circ \text{C}$$

La temperatura de diseño variará según se esté tratando el mordentado o el enjuague, ya que el mordentado está a 35°C y el baño de enjuague a temperatura ambiente. De todas formas, la temperatura del baño de enjuague se mantendrá a unos $20 - 25^\circ \text{C}$ todo el año ya que, en la zona que se encuentra estará afectado por el calor que desprende el horno y el propio mordentado. Por estas razones, se considerará que la temperatura máxima de operación para el tanque de oxidación será de 35°C y para los posteriores de 20°C . Así pues, las temperaturas de diseño para los diferentes tanques son:

$$T_{TO} = 55^\circ \text{C}$$

$$T_{TN} = 40^\circ \text{C}$$

$$T_{DD} = 40^\circ \text{C}$$

6.2.3 Tipo de material

El material elegido para todos los tanques será el acero inoxidable AISI 316L incluido en SA-240, ya que es el que mejor se adapta a las necesidades de la planta teniendo en cuenta que la disolución de mordentado tiene carácter corrosivo al llevar disueltos iones cloruro.

6.2.4 Velocidad o presión del viento

Al estar la planta parcialmente cubierta se considerará que la presión debida al viento no será significativa.

6.2.5 Coeficiente sísmico

La acción sísmica no es uniforme en el globo terrestre, existiendo diversa probabilidad de producirse movimiento sísmico en unas zonas u otras y una diferente intensidad de movimiento en caso de producirse. Por lo tanto, existen zonas en las que hay que tener en cuenta este factor a la hora de diseñar recipientes verticales y otras en las que no. En este caso concreto, no hay necesidad de tenerlo en cuenta.

6.2.6 Espesor mínimo de pared

Por norma o código, o por requerimientos del transporte, etc. Se debe fijar un valor mínimo del espesor de la envolvente. El espesor mínimo, excluido el sobreespesor por corrosión admisible de las envolventes y fondos, será el mayor de los siguientes valores:

- Exigido por el código ASME Sección VIII División 1 :

$$t_{\min} = 2.5 + c \text{ (mm)}$$

- Según la formula: $t_{\min} = D_0/1000 + 2.54 + c \text{ (mm)}$

$$t_{\min} = 5 + c \text{ (mm) Para aceros al carbono}$$

$$t_{\min} = 3 \text{ (mm) Para aceros inoxidables}$$

6.2.7 Corrosión máxima prevista para el elemento (c)

La corrosión es la destrucción gradual de un metal o aleación debida a procesos como la oxidación o la acción de un agente químico.

Los recipientes o partes de los mismos que estén sujetos a corrosión, erosión o abrasión mecánica deben tener un margen de espesor para lograr la vida deseada, aumentando convenientemente el espesor del material respecto al determinado por las fórmulas de diseño, o utilizando algún método adecuado de protección (Norma UG-25b).

MATERIAL	SOBRESPESOR NORMAL PARA CORROSIÓN (mm)
Acero al carbono	3
Acero baja aleación	3
Acero media aleación	1.5
Acero alta aleación	1.5
Material no férreo	0.5
Con recubrimiento interior	0

Tabla 8. Sobreespesor normal para corrosión según material. Fuente: "Manual de Recipientes a Presión" (Megyesy, 1989).

En este caso, el acero inoxidable se encuentra dentro de los aceros llamados de alta aleación, por tanto, el sobreespesor será de 1.5 mm.

6.2.8 Eficiencia de soldadura (E) e inspección radiográfica

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esta razón, junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida la zona próxima a la soldadura, dan pie a considerar la zona de soldadura como zona debilitada.

Teniendo en cuenta este hecho, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción en la tensión máxima admisible multiplicando ésta por un coeficiente denominado eficiencia de soldadura (E), cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella.

En este caso, para soldaduras tipo 1, es decir, juntas a tope hechos por doble cordón de soldadura, o por otro medio, con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre la superficie interior y exterior de la pieza el valor de E es:

$$E = 0.85 \text{ para radiografías por zonas o puntual}$$

6.2.9 Código a utilizar para el diseño

Para el diseño de todos los tanques se ha utilizado el Código A.S.M.E. (American Society for Testing and Materials), Sección VIII, División 1 que recoge los requerimientos para los recipientes a presión.

6.2.10 Tensión máxima admisible (S)

Los recipientes a presión se calculan con unos espesores de pared capaces de soportar sin deformación la presión a la que se verán sometidos, es decir, que la presión a la que trabaja el material sea inferior a la máxima tensión admisible del mismo.

Esta tensión máxima admisible depende de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de trabajo. Cada norma o código obtiene el valor de la tensión máxima admisible de forma diferente, aunque en general las variables que se barajan son casi siempre las mismas.

Según el código ASME VIII, División 1, la máxima tensión admisible (S) a la temperatura del proyecto o diseño es el mínimo de los siguientes valores:

$$S = \min \left[\frac{R'}{4}; \frac{5}{8} y; f_l; \frac{2}{3} f_r \right]$$

Siendo:

S : tensión máxima admisible a la temperatura de proyecto (kg/cm^2)

R' : carga de rotura a la temperatura ambiente (20°C) (kg/cm^2)

y : límite elástico o carga que produce una deformación premanente del 0.2 % a la temperatura de diseño o proyecto (kg/cm^2)

f_l : carga que produce un alargamiento del 1% en 100000 horas, por deformación viscosa, a la temperatura de diseño (kg/cm^2)

f_r : carga de rotura, por alargamiento en 100000 horas, a la temperatura de diseño (kg/cm^2)

Particularmente, para los materiales ASTM – ASME, el código ASME VIII, División 1, contiene unas tablas (UCS – 23) que muestran las tensiones máximas admisibles para cada material a las diferentes temperaturas.

A modo de resumen, se recogen en la tabla 9 todos los datos básicos de los tanques.

	Tanque Oxidación	Tanque Neutralización	Depósito de Descarga
Presión de operación (kg/cm ²)	1.03	1.03	1.03
Presión de diseño (kg/cm ²)	3.5	3.5	3.5
Temperatura de operación (° C)	35	20	20
Temperatura de diseño (° C)	55	40	40
Tipo de material	Acero inoxidable SA-240 316L	Acero inoxidable SA-240 316L	Acero inoxidable SA-240 316L
Carga de rotura ($\sigma_{rot.}$) (kg/cm ²)	5691.8	5691.8	5691.8
Límite elástico ($\sigma_{elas.}$) (kg/cm ²)	2386.9	2386.9	2386.9
Tensión máxima admisible (psi)	13300	13300	13300
Sobreespesor por corrosión (mm)	1.5		
Eficiencia de soldadura	0.85		
Inspección radiográfica	Por partes		

Tabla 9. Principales características de diseño de los tanques que forman la planta.

7. Diseño del tanque de oxidación

Las dimensiones del tanque serán:

$$V = 6 \text{ m}^3$$

$$H = 2580 \text{ mm}$$

$$D = 1720 \text{ mm}$$

$$T_{\text{máx. operación}} = 35^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 55^\circ \text{ C}$$

$$P_{\text{máx. operación}} = 1.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{diseño}} = 3.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_{(\text{acero 316L, placa SA - 240, } T = 131^\circ \text{ F})} = 13300 \text{ lb/pulg}^2 = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1.5 \text{ mm}$$

$$E = 0.85$$

7.1 Cálculo del espesor mínimo de la envolvente

Se hace de dos formas diferentes.

7.1.1 Por especificación

Se calculan dos espesores, uno que es el recomendado para aceros inoxidables y otro según fórmula vista en el apartado 6.2.6.

- $t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2.54 + c(\text{mm}) = \frac{1720}{1000} + 2.54 + 1.5 = 5.76 \text{ mm}$
- $t_{\min} = 3 \text{ mm}$ para aceros inoxidables

7.1.2 Por tensión circunferencial

- a) En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el máximo obtenido en el apartado anterior.

$$D_0 = D + 2 t_{min} = 1720 + 2 \times 5.76 = 1731.52 \text{ mm}$$

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2SE + 0.8P} + c = \frac{3.5 \cdot 1731.52}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 0.8 \cdot 3.5} + 1.5 = 5.30 \text{ mm}$$

- b) En función del diámetro interior.

$$t = \frac{P \cdot (D + 2c)}{2SE + 1.2P} + c = \frac{3.5 \cdot (1720 + 2 \cdot 1.5)}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 1.2 \cdot 3.5} + 1.5 = 5.28 \text{ mm}$$

Una vez realizados los cálculos, se toma como espesor mínimo el máximo de todos los calculados. En este caso, el máximo es el que viene impuesto por la expresión de especificación cuyo valor es 5.76 mm aunque al normalizarlo se tomará un espesor de 6 mm. Por tanto el diámetro exterior quedará así:

$$D_0 = 1720 + 2 \times 6 = 1732 \text{ mm}$$

El siguiente paso, es comprobar que el espesor mínimo obtenido realmente es el adecuado y podrá soportar la presión externa de diseño (P). Para eso hay que definir primero los parámetros que se utilizarán en las expresiones de cálculo:

- A : Factor función de las dimensiones del recipiente
- E : módulo elástico en función de la temperatura = 28×10^6 psi
- B : Factor determinado por las figuras del ASME VIII División 1
- D_0 : Diámetro exterior (mm)
- L : longitud total (mm)
- P : presión externa de diseño (kg/cm^2)
- P_a : valor calculado de la presión externa máxima de trabajo (kg/cm^2)
- t : espesor de la envolvente (mm)
- c : sobreespesor de corrosión (mm)
- L_{tt} : longitud de la envolvente (mm)

En este caso L será la distancia entre líneas de tangencia más un tercio de la altura del fondo.

$$L_{tt} = H_{ENV} = 2580 \text{ mm} \quad H_f = 0.26 \times D_0 = 450.32 \text{ mm}$$

$$L = L_{tt} + \frac{1}{3} H_f = 2580 + \frac{1}{3} \cdot 450.32 = 2730.1 \text{ mm}$$

Ahora, para obtener el valor de la máxima presión de trabajo admisible (P_a) que soporta una carcasa cilíndrica de relación $D_0 / t \geq 10$, se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_0} = \frac{2730.1}{1732} = 1.57$$

$$\frac{D_0}{t} = \frac{1732}{6} = 288.66$$

- ✓ Con las relaciones anteriores y con la gráfica de la figura 2 (Fig. 5 – UG 28.s/ASME VIII Div.1), se determina el valor de A.

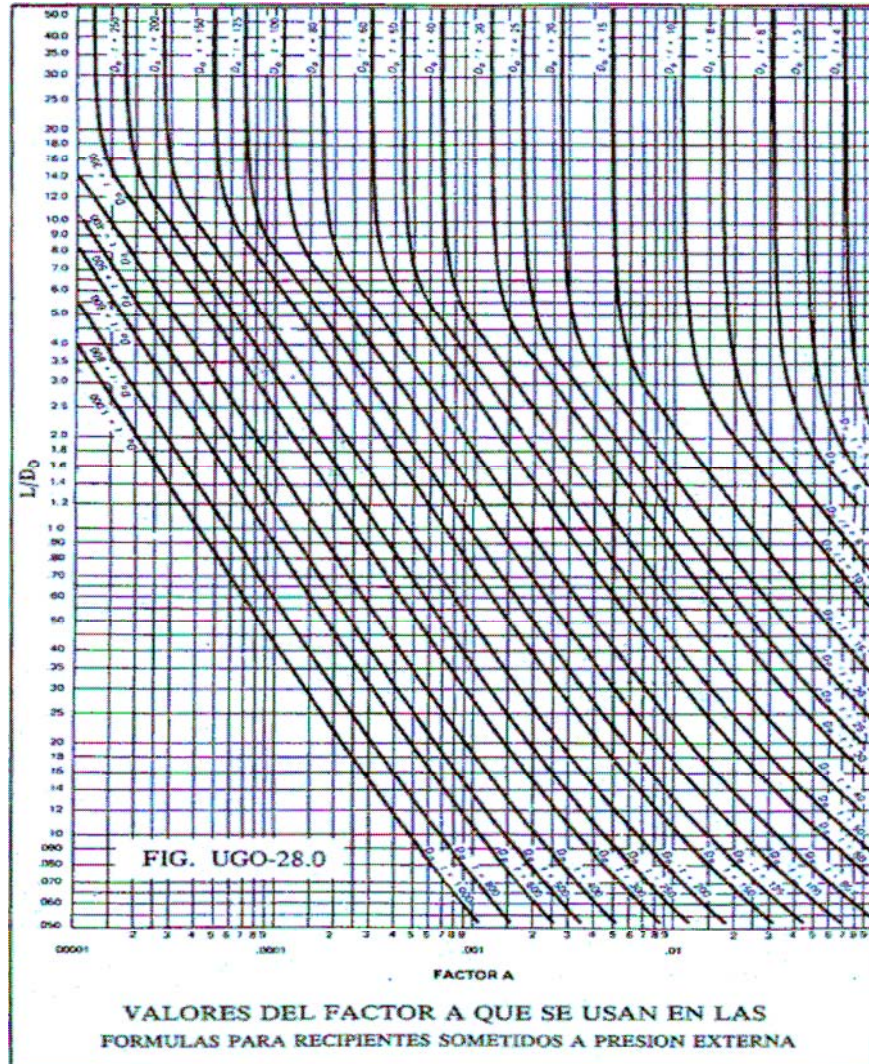


Fig. 2. Gráfico para el cálculo del valor del factor "A". Fuente: "Manual de Recipientes a Presión" (Megyesy, 1989).

$$A = 0.0002$$

- ✓ Con el valor de A, y utilizando la gráfica siguiente (Fig. 5 – UCS – 28.1s/ASME VIII Div.1) se calcula el valor de B en función de la temperatura de diseño.

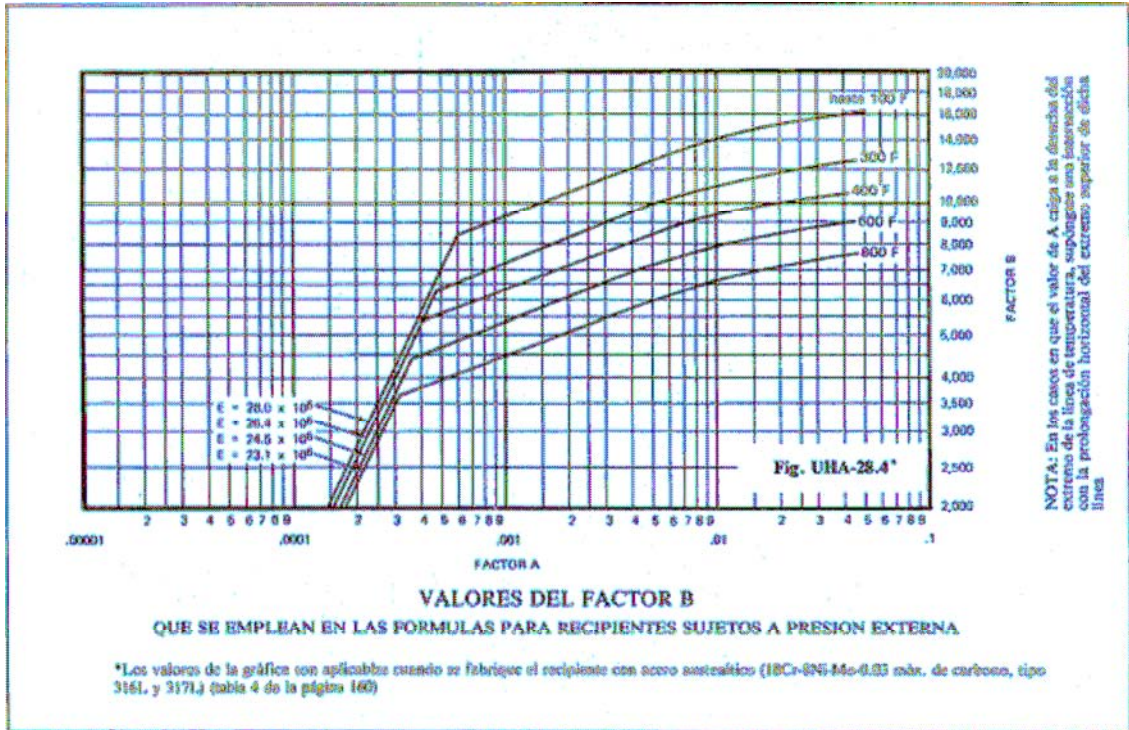


Fig. 3. Gráfico para el cálculo del valor del factor "B". Fuente: "Manual de Recipientes a Presión" (Megyesy, 1989).

Puesto que el valor de A queda a la izquierda de las gráficas material / temperatura se adopta como presión de trabajo la siguiente:

$$P_a = \frac{2AE}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = \frac{2 \cdot 0.0002 \cdot 28 \cdot 10^6 (psi)}{3 \cdot 288.66} = 12.93 psi = 0.90 kg / cm^2$$

Luego $P_a \geq P$ no se cumple por tanto, se debe suponer un valor mayor de espesor y rehacer los cálculos hasta que se cumpla la condición de que $P_a = P$.

Al suponer un valor de espesor de 7 mm resulta un valor de A que ya no queda fuera del rango de la gráfica material / temperatura, por lo tanto, se puede calcular B gráficamente. Una vez calculado B se introduce en la siguiente expresión para obtener P_a .

$$\text{Siendo: } A = 0.0003 ; B = 4500 ; t = 7 \text{ mm}$$

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = 24.25 \text{ psi} = 1.70 \text{ kg/cm}^2$$

Se cumple que $P_a \geq P$, por lo que el espesor válido es de 7 mm. Y el nuevo diámetro exterior, y el definitivo de aquí en adelante, $D_0 = 1734 \text{ mm}$.

7.2 Cálculo del espesor del fondo

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas (ya sean cabezas o fondos). Cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación y coste monetario. Todos los fondos ASME se construyen a partir de chapa, a la que mediante estampación se le da la forma deseada, salvo en los casos de fondos cónicos y planos.

Lo primero es elegir el tipo de fondo que se va a diseñar. El fondo elegido será toriesférico ya que son los más usados, principalmente hay dos tipos que son los más conocidos, los fondos Korbboegen Boden y los Klopper Boden. El elegido será el tipo Korbboegen ya que los Klopper necesitan un espesor mayor y, en consecuencia, mayor coste.

7.2.1 Por especificación

Ahora el diámetro exterior se toma en función del espesor calculado anteriormente.

$$D_0 = D + 2t = 1720 + 2 \times 7 = 1734 \text{ mm}$$

- $t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2.54 + c(\text{mm}) = \frac{1734}{1000} + 2.54 + 1.5 = 5.77 \text{ mm}$
- $t_{\min} = 3 \text{ mm}$ para aceros inoxidables

7.2.2 Por tensión circunferencial

a) En función del radio exterior. El radio exterior en este caso, un fondo Korbboegen, se calcula mediante las siguientes expresiones.

$$L = 0.8 \times D = 0.8 \times 1720 = 1376 \text{ mm}$$

$$L_0 = L + t = 1376 + 7 = 1383 \text{ mm}$$

$$t_f = \frac{1.32 \cdot P \cdot L_0}{2SE + 1.12P} + c = \frac{1.32 \cdot 3.5 \cdot 1383}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 1.12 \cdot 3.5} + 1.5 = 5.50 \text{ mm}$$

b) En función del radio interior.

$$t_f = \frac{1.3 \cdot P \cdot (L + c)}{2SE + 0.2P} + c = \frac{1.3 \cdot 3.5 \cdot (1376 + 1.5)}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 3.5} + 1.5 = 5.50 \text{ mm}$$

El mayor espesor de todos es el obtenido por especificación y su valor es 5.77 mm. Al normalizarlo tomaremos un valor de 6 mm.

Ahora se realiza la comprobación para ver si ese espesor es suficiente para soportar la presión externa de diseño (P). Se hace como en el apartado anterior mediante los parámetros A y B pero ahora el valor de A se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$A = \frac{0.125}{\frac{R_0}{t}} \quad R_0 \text{ (radio exterior)} = 1720/2 + 6 = 866 \text{ mm}$$

Por tanto, $A = 0.008$

Gráficamente obtenemos el valor de $B = 8800$

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = 40.64 \text{ psi} = 2.85 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow P_a \geq P$$

Por lo que, se puede concluir que el espesor es válido y su valor es de 6 mm.

7.3 Cálculo de la altura de la pestaña (h)

En todos los fondos se realiza la transición de una figura bombeada a otra cilíndrica, que es la carcasa. Esta línea de transición, denominada justamente línea de tangencia, se encuentra sometida a grandes tensiones axiales que se traducen en fuertes tensiones locales, y éste resulta ser el

punto más débil de todo el recipiente. Por esta razón no es aconsejable realizar la soldadura de unión fondo – carcasa a lo largo de esta línea. Para evitar esta coincidencia, los fondos bombeados (y algunos cónicos) se construyen con una parte cilíndrica, denominada pestaña o faldilla, cuya altura mínima “h” varía según la Norma o Código de cálculo utilizado, pero en general deberá ser no menor que el mayor de los siguientes valores:

- $h \geq 0.3\sqrt{D_0 \cdot t_f}$
- $h \geq 3 \cdot t_f$
- $h \geq 25 \text{ mm}$

Siendo D_0 el diámetro exterior de la carcasa y t_f el espesor del fondo calculado antes.

En este caso, para un fondo Korboggen existe una expresión concreta para calcular la altura mínima de pestaña: $h = 3.5 t_f = 21 \text{ mm}$.

7.4 Cálculo de las dimensiones reales del tanque de oxidación

El volumen total del tanque será:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDO} + V_{PESTAÑA}$$

Ya se conoce el volumen total que se calculó en el apartado 4 y su valor es de 6 m^3 . A partir de este dato, se calcularán las dimensiones del tanque.

Para un fondo tipo Korboggen:

$$V_{FONDO} = 0.13 \cdot D^3 = 0.13 \cdot 1.72^3 = 0.66 \text{ m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = 0.048 \text{ m}^3$$

Por tanto, sustituyendo los valores se obtiene:

$$V_{ENVOLVENTE} = 5.29 \text{ m}^3 \qquad V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H$$

$$H_{ENVOLVENTE} = 2.26 \text{ m}$$

Conocidos los volúmenes se pueden calcular las alturas de cada pieza que compone el tanque.

$$H_{FONDO} = 0.26 \times D_0 = 0.26 \times 1.734 = 0.45 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + H_{FONDO} + h = 2.73 \text{ m}$$

En tabla 10 se presentan a modo de resumen, las dimensiones reales del tanque de oxidación.

TANQUE DE OXIDACIÓN		
ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	7
	ALTURA (m)	2.26
	VOLUMEN (m ³)	5.29
FONDO	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.45
	VOLUMEN (m ³)	0.66
PESTAÑA	ESPESOR (mm)	7
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.048
VOLUMEN TOTAL (m ³)		6
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.73
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.720
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.734

^(*) Altura total sin contar con las patas.

Tabla 10. Dimensiones reales del tanque de oxidación.

7.5 Esfuerzos en recipientes sometidos a presión

En los recipientes a presión resulta imprescindible llevar a cabo un estudio en profundidad de los diferentes casos de cargas posibles a lo largo de la vida útil del equipo, producidas por la coincidencia o no de circunstancias que producen esfuerzos en los recipientes. El tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Las cargas en este caso son:

- Presión interna
- Peso del recipiente y su contenido
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar

Los esfuerzos debidos a movimientos sísmicos no se tendrán en cuenta, ya que la planta no se instalará en una zona en la que este factor sea relevante; y los esfuerzos debidos al viento tampoco serán tenidos en consideración, ya que la planta estará parcialmente cubierta.

7.5.1 Cálculo de la tensión longitudinal de la envolvente debida a la presión interna

7.5.2 Cálculo de pesos y tensiones

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión al que hay que añadirle el peso de la columna de líquido. A continuación, se evalúan los casos más comunes para calcular el total de estos esfuerzos.

1 EQUIPO MONTADO PERO NO EN OPERACIÓN

En este caso se calcula el peso propio de la envolvente, es decir, sin líquido en su interior, y el esfuerzo que provoca.

- ✓ Peso de la envolvente:

$$D_0 = 1.734 \text{ m} ; \rho_{\text{MATERIAL}} = 7.85 \text{ kg/dm}^3 \text{ (densidad)} ; D = 1.72 \text{ m}$$

Con los datos anteriores se puede aplicar la expresión que dará el valor del peso.

$$P_{envolvente} = \frac{\pi \cdot (D_0^2 - D^2)}{4} \cdot H_{envolvente} \cdot \rho_{material} \cdot 1000 = 673.78 \text{ kg}$$

✓ Tensión producida por el peso de la envolvente

$$\sigma_{envolvente} = \frac{4 \cdot P_{envolvente} \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)} = 2.25 \text{ kg / cm}^2$$

2 EQUIPO EN OPERACIÓN

Ahora se tendrá en cuenta el peso del líquido, el de los fondos y el de las tuberías conectadas al tanque.

2.a) Peso de la envolvente: $P_{envolvente} = 673.78 \text{ kg}$

2.b) Peso del líquido en la envolvente.

En este tanque se tratarán dos corrientes diferentes, con diferentes densidades. Para hacer el cálculo del peso de la columna de líquido se hará en base a la corriente cuya densidad es mayor. En este caso, la densidad de la corriente de mordentado es mayor que la de enjuague, por tanto éste será el valor de densidad utilizado para el cálculo.

$$\rho_{mordentado} = 1197 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{l\acute{i}q.} = V_{l\acute{i}q.} \cdot \rho_{mordentado} ; \quad V_{l\acute{i}q.} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H_{envolvente}$$

$$V_{l\acute{i}q.} = 5.25 \text{ m}^3$$

$$P_{l\acute{i}q.} = 6284.25 \text{ kg}$$

2.c) Peso del líquido en el fondo.

El valor de la densidad será el mismo que se tomó en el caso anterior por la misma razón. Hay que tener en cuenta que el fondo es de tipo Korboggen y las expresiones a utilizar son:

$$P_{\text{líqu.}} = V_{\text{líqu.}} \cdot \rho_{\text{mordentado}} \quad V_{\text{líqu.}} = 0.13 \cdot D^3$$

$$V_{\text{líqu.}} = 0.66 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{líqu.}} = 790.02 \text{ kg}$$

2.d) Peso del fondo

El peso del fondo tipo Korboggen se calculará aplicando las siguientes expresiones.

$$P_{\text{fondo}} = V_{\text{fondo}} \times \rho_{\text{acero}} ; \quad V_{\text{fondo}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_d^2 \cdot 8 \cdot t_f ;$$

$$D_d = 1.174 D_0 + 1.7 \cdot h$$

Siendo: D_d : diámetro de disco para un fondo Korboggen (m)

t_f : espesor del fondo (mm)

h : altura de pestaña (m)

En este cálculo, el volumen del fondo se refiere al volumen de acero que lo compone y no al volumen de líquido que puede albergar.

$$D_d = 2.07 \text{ m}$$

$$V_{\text{fondo}} = 0.161 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{fondo}} = 1256 \text{ kg}$$

2.e) Peso de las tuberías

Si la relación H/D es menor que 10 el peso de las tuberías será el 5% del peso de la envolvente más el peso del fondo.

$$P_{\text{tuberías}} = 0.05 \times (P_{\text{envolvente}} + P_{\text{fondo}}) = 96.5 \text{ kg}$$

2.f) Peso total

$$W_j = \sum_{i=1} P_i = P_{\text{envolvente}} + P_{\text{líquido envolvente}} + P_{\text{fondo}} + P_{\text{líquido fondo}} + P_{\text{tuberías}} = 9100.55 \text{ kg}$$

La tensión que produce el peso total será:

$$\sigma_{W_j} = \frac{4 \cdot W_j \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)} = 30.47 \text{ kg / cm}^2$$

7.6 Cálculo del soporte

El tamaño del tanque que se ha diseñado no es demasiado grande por lo que, en principio y según el código es probable que la mejor opción sea la instalación de patas en vez de faldón. De todas formas, siguiendo el siguiente esquema se obtendrá el mejor soporte, sus dimensiones y su número.

Φ exterior del recipiente (mm)	Patas soporte (cm)			Placas (mm)		Φ situación de los taladros (mm)	"A" (mm)	Φ pernos (mm)	Φ taladros (mm)	Carga máxima (kg)		
	Nº	Tipo	Dimensiones	Lado	Espesor							
Hasta 750	3	L	70x70x10	120	10	Φ exterior del recipiente - 50	40	20	26	15400		
750 - 1050												
1050 - 1350			4	L	80x80x10		150	12	45	27	33	22500
1350 - 1650					200		10	100x100x10	65	33	62500	
1650 - 1950			100x100x14	82000								
1950 - 2260			250	12	150x150x16		90	27	33	62500		
2260 - 2565										82000		
2565 - 2870			6	I	200x90		Ver plano			—		
2870 - 3200	280x119	150000										
> 3200	FALDÓN											

Tabla 11. Tabla para el cálculo del soporte de un tanque.
Φ: diámetro

Según la tabla, los soportes que se van a instalar serán cuatro patas de perfil "L" y cuyas dimensiones son 100×100×14. Esta patas irán atornilladas a placas cuadrangulares de 200 mm de lado y 10 mm de espesor y cuyos pernos tendrán 27 mm de diámetro. El parámetro "A" de la tabla, se refiere a la distancia que habrá desde el centro del taladro hasta el final de la placa. Por último, hay que comprobar que las dimensiones de los soportes aguantarán el peso del tanque al completo, para eso se comprueba en la última columna de la tabla que estos soportes pueden aguantar una carga de hasta 48500 kg, un valor muy superior a lo que pesa el tanque que es 9100.55 kg.

7.7 Cálculo de las tensiones admisibles

7.7.1 Tensión admisible a tracción

Nunca podrá ser mayor que la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, 55° C, afectada por el coeficiente de soldadura (E = 0.85).

$$S = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{tracción}} = S \times E = 794.84 \text{ kg/cm}^2$$

7.7.2 Tensión admisible a compresión

La máxima tensión a compresión será el menor de los siguientes valores.

- ✓ Tensión admisible a tracción cuando E = 1

$$\sigma_{\text{compresión}} = S \times E = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

- ✓ El valor del parámetro B calculado en el apartado 7.1.2.

$$B = 4500 \text{ psi} = 316.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Por lo tanto, } \sigma_{\text{compresión}} = 316.4 \text{ kg/cm}^2$$

7.7.3 Tensión admisible a pandeo

Será el menor de los siguientes valores.

$$\checkmark \frac{1}{3} \cdot \sigma_{elástico} = \frac{1}{3} \cdot 2386.9 = 795.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\checkmark 1.05 \cdot 10^5 \cdot \frac{(t-c)}{R_0} = 1.05 \cdot 10^5 \cdot \frac{(7-1.5)}{868.5} = 664.93 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Así pues, } \sigma_{pandeo} = 664.93 \text{ kg/cm}^2$$

7.7.4 Tensión admisible a prueba

Será el menor de los siguientes valores.

$$\checkmark 0.9 \cdot \sigma_{elástico} = 0.9 \cdot 2386.9 = 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\checkmark 0.495 \cdot \sigma_{rotura} = 0.495 \cdot 5691.8 = 2817.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luego, } \sigma_{pandeo} = 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

7.8 Prueba hidráulica

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. La comprobación consiste en ensayos no destructivos, tales como radiografiados, comprobación con líquidos penetrantes y partículas magnéticas de las soldaduras, y una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Los valores mínimos de la presión de prueba hidráulica varían según los códigos de diseño; así, para el código ASME VIII División 1, la presión de prueba es:

$$P_{Hm} = 1.5 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S}$$

Siendo: P_{Hm} : Presión hidráulica mínima (kg/cm²)

P : Presión de diseño (kg/cm²)

S : Tensión admisible a temperatura de diseño (kg/cm²)

S_a : Tensión admisible a temperatura ambiente (kg/cm²)

En este caso, conviene recordar que $S_a = S$. Por tanto:

$$P_{Hm} = 5.25 \text{ kg/cm}^2$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba inicial, otra periódica cuya presión vendrá dada por la siguiente expresión:

$$P_{Hm} = 1.3 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S} = 4.55 \text{ kg / cm}^2$$

Se ha de verificar en todos los casos que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superen el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deberá aumentar el espesor de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deberá tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido.

La tensión producida en las paredes viene expresada como:

$$\sigma_i = \frac{D \cdot (P_{Hm} + H_i \cdot 10^{-4})}{4 \cdot t} = \frac{172 \cdot (5.25 + 273 \cdot 10^{-4})}{4 \cdot 0.7} = 324.17 \text{ kg / cm}^2$$

Siendo H_i la altura total del tanque sin contar las patas expresada en cm.

Como además la norma exige que si la prueba se realiza en vertical hay que tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido, se procede a calcularla.

$$\sigma_{líq.} = \frac{4 \cdot P_{líq.} \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)}$$

$$P_{líq.} = V_{líq.} \cdot \rho_{líq.} = (V_{envolvente} + V_{fondo}) \cdot \rho_{líq.} = (5.29 + 0.66) \cdot 1197 = 7122.15 \text{ kg}$$

Por tanto, sustituyendo el peso del líquido queda: $\sigma_{líq.} = 23.84 \text{ kg/cm}^2$

Ahora se debe comprobar que la suma de las dos tensiones no superan el 90% del límite elástico. Ese valor, ya ha sido calculado en el apartado 7.7.4 de tensiones admisibles, por tanto:

$$\sigma_i + \sigma_{liq.} = 348.01 \text{ kg/cm}^2 < 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

Luego, se cumple la condición.

8. Diseño del tanque de neutralización

Las dimensiones del tanque serán:

$$V = 4 \text{ m}^3$$

$$H = 2730 \text{ mm}$$

$$D = 1360 \text{ mm}$$

$$T_{\text{máx. operación}} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 40^\circ \text{ C}$$

$$P_{\text{máx. operación}} = 1.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{diseño}} = 3.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{(\text{acero 316L, placa SA - 240, } T = 104^\circ \text{ F})} = 13300 \text{ lb/pulg}^2 = 9353.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1.5 \text{ mm}$$

$$E = 0.85$$

8.1 Cálculo del espesor mínimo de la envolvente

El esquema seguido para el cálculo del espesor es el mismo que en el apartado anterior

8.1.1 Por especificación

- $t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2.54 + c(\text{mm}) = \frac{1360}{1000} + 2.54 + 1.5 = 5.40 \text{ mm}$
- $t_{\min} = 3 \text{ mm}$ para aceros inoxidables

8.1.2 Por tensión circunferencial

- c) En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el máximo obtenido en el apartado anterior.

$$D_0 = D + 2 t_{min} = 1360 + 2 \times 5.40 = 1370.80 \text{ mm}$$

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2SE + 0.8P} + c = \frac{3.5 \cdot 1370.8}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 0.8 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.51 \text{ mm}$$

- d) En función del diámetro interior.

$$t = \frac{P \cdot (D + 2c)}{2SE + 1.2P} + c = \frac{3.5 \cdot (1360 + 2 \cdot 1.5)}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 1.2 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.48 \text{ mm}$$

Una vez realizados los cálculos, se toma como espesor mínimo el máximo de todos los calculados. En este caso, el máximo es el que viene impuesto por la expresión de especificación cuyo valor es 5.40 mm aunque al normalizarlo se tomará un espesor de 6 mm.

Por tanto el diámetro exterior quedará así:

$$D_0 = 1360 + 2 \times 6 = 1372 \text{ mm}$$

El siguiente paso, es comprobar que el espesor mínimo obtenido realmente es el adecuado y podrá soportar la presión externa de diseño (P). Tal y como se hizo para el tanque de oxidación.

En este caso, como en el anterior, L será la distancia entre líneas de tangencia más un tercio de la altura del fondo.

$$L_{tt} = H_{ENV} = 2730 \text{ mm} \quad H_f = 0.26 \times D_0 = 356.72 \text{ mm}$$

$$L = L_{tt} + \frac{1}{3} H_f = 2730 + \frac{1}{3} \cdot 356.72 = 2848.9 \text{ mm}$$

Ahora, para obtener el valor de la máxima presión de trabajo admisible (Pa) que soporta una carcasa cilíndrica de relación $D_0 / t \geq 10$, se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_0} = \frac{2848.9}{1372} = 2.07$$

$$\frac{D_0}{t} = \frac{1372}{6} = 228.66$$

- ✓ Con las relaciones anteriores y con la gráfica de la que se hizo uso en el apartado 7.1.2 (Fig. 5 – UG 28.s/ASME VIII Div.1), se determina el valor de A.

$$A = 0.0002$$

- ✓ Con el valor de A, y utilizando la gráfica siguiente (Fig. 5 – UCS – 28.1s/ASME VIII Div.1) se calcula el valor de B en función de la temperatura de diseño.

Puesto que el valor de A queda a la izquierda de las gráficas material / temperatura se adopta como presión de trabajo la siguiente:

$$P_a = \frac{2AE}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = \frac{2 \cdot 0.0002 \cdot 28 \cdot 10^6 (psi)}{3 \cdot 228.66} = 16.32 psi = 1.14 kg / cm^2$$

Se cumple que $P_a \geq P$, por lo que el espesor es válido.

8.2 Cálculo del espesor del fondo

Para este tanque también se ha elegido un fondo tipo Korbbogen como se hizo anteriormente.

8.2.1 Por especificación

Ahora el diámetro exterior se toma en función del espesor calculado anteriormente.

$$D_0 = D + 2t = 1360 + 2 \times 6 = 1372 \text{ mm}$$

- $t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2.54 + c(\text{mm}) = \frac{1372}{1000} + 2.54 + 1.5 = 5.41 \text{ mm}$
- $t_{\min} = 3 \text{ mm}$ para aceros inoxidables

8.2.2 Por tensión circunferencial

c) En función del radio exterior. El radio exterior en este caso, un fondo Korbogen, se calcula mediante las siguientes expresiones.

$$L = 0.8 \times D = 0.8 \times 1360 = 1088 \text{ mm}$$

$$L_0 = L + t = 1088 + 6 = 1094 \text{ mm}$$

$$t_f = \frac{1.32 \cdot P \cdot L_0}{2SE + 1.12P} + c = \frac{1.32 \cdot 3.5 \cdot 1094}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 1.12 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.67 \text{ mm}$$

d) En función del radio interior.

$$t_f = \frac{1.3 \cdot P \cdot (L + c)}{2SE + 0.2P} + c = \frac{1.3 \cdot 3.5 \cdot (1088 + 1.5)}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.61 \text{ mm}$$

El mayor espesor de todos es el obtenido por especificación y su valor es 5.41 mm. Al normalizarlo tomaremos un valor de 6 mm.

Ahora se realiza la comprobación para ver si ese espesor es suficiente para soportar la presión externa de diseño (P). Se hace como en el apartado anterior mediante los parámetros A y B pero ahora el valor de A se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$A = \frac{0.125}{\frac{R_0}{t}} \quad R_0 \text{ (radio exterior)} = 1372/2 + 6 = 692 \text{ mm}$$

Por tanto, $A = 0.001$

Gráficamente obtenemos el valor de $B = 9200$

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = 53.64 \text{ psi} = 3.77 \text{ Kg / cm}^2 \Rightarrow P_a \geq P$$

Por lo que, se puede concluir que el espesor es válido y su valor es de 6 mm.

8.3 Cálculo de la altura de la pestaña (h)

Al igual que en el apartado 7.3, el fondo es del mismo tipo y por tanto la expresión para calcular la altura de pestaña será idéntica.

$$h = 3.5 t_f = 21 \text{ mm}$$

8.4 Cálculo de las dimensiones reales del tanque de neutralización

El volumen total del tanque será:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDO} + V_{PESTAÑA}$$

Ya se conoce el volumen total que se calculó en el apartado 4 y su valor es de 4 m^3 . A partir de este dato, se calcularán las dimensiones del tanque.

Para un fondo tipo Korbbogen:

$$V_{FONDO} = 0.13 \cdot D^3 = 0.13 \cdot 1.36^3 = 0.32 \text{ m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = 0.03 \text{ m}^3$$

Por tanto, sustituyendo los valores se obtiene:

$$V_{ENVOLVENTE} = 3.65 \text{ m}^3 \quad V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H$$

$$H_{ENVOLVENTE} = 2.51 \text{ m}$$

Conocidos los volúmenes se pueden calcular las alturas de cada pieza que compone el tanque.

$$H_{FONDO} = 0.26 \times D_0 = 0.26 \times 1.372 = 0.35 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + H_{FONDO} + h = 2.88 \text{ m}$$

En la tabla 12 se presentan a modo de resumen, los datos de espesor, altura y volumen para cada una de las partes del tanque.

TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN		
ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	2.51
	VOLUMEN (m ³)	3.65
FONDO	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.35
	VOLUMEN (m ³)	0.32
PESTAÑA	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.03
VOLUMEN TOTAL (m ³)		4
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.88
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.360
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.372

^(*) Altura total sin contar con las patas.

Tabla 12. Dimensiones reales del tanque de neutralización.

8.5 Esfuerzos en recipientes sometidos a presión

Las cargas a las que está sometido el tanque son:

- Presión interna
- Peso del recipiente y su contenido
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar

Ni las cargas debidas a viento ni las debidas a movimientos sísmicos serán incluidas por las razones que se expusieron en el apartado 7.5.

8.5.1 Cálculo de la tensión longitudinal de la envolvente debida a la presión interna

8.5.2 Cálculo de pesos y tensiones

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión al que hay que añadirle el peso de la columna de líquido. A continuación, se evalúan los casos más comunes para calcular el total de estos esfuerzos.

1 EQUIPO MONTADO PERO NO EN OPERACIÓN

En este caso se calcula el peso propio de la envolvente, es decir, sin líquido en su interior, y el esfuerzo que provoca.

- ✓ Peso de la envolvente:

$$D_0 = 1.372 \text{ m} ; \rho_{\text{MATERIAL}} = 7.85 \text{ Kg/dm}^3 \text{ (densidad)} ; D = 1.360 \text{ m}$$

Con los datos anteriores se puede aplicar la expresión que dará el valor del peso.

$$P_{\text{envolvente}} = \frac{\pi \cdot (D_0^2 - D^2)}{4} \cdot H_{\text{envolvente}} \cdot \rho_{\text{material}} \cdot 1000 = 507.33 \text{ kg}$$

- ✓ Tensión producida por el peso de la envolvente

$$\sigma_{envolvente} = \frac{4 \cdot P_{envolvente} \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)} = 2.62 \text{ kg / cm}^2$$

2 EQUIPO EN OPERACIÓN

Ahora se tendrá en cuenta el peso del líquido, el de los fondos y el de las tuberías conectadas al tanque.

2.a) Peso de la envolvente: $P_{envolvente} = 507.33 \text{ kg}$

2.b) Peso del líquido en la envolvente.

En este tanque se tratarán también dos corrientes diferentes, con diferentes densidades. Para hacer el cálculo del peso de la columna de líquido se hará en base a la corriente cuya densidad es mayor. En este caso, la densidad de la corriente de mordentado es mayor que la de enjuague, por tanto éste será el valor de densidad utilizado para el cálculo.

$$\rho_{mordentado} = 1197 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{líq.} = V_{líq.} \cdot \rho_{mordentado} ; \quad V_{líq.} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H_{envolvente}$$

$$V_{líq.} = 3.64 \text{ m}^3$$

$$P_{líq.} = 4357.08 \text{ Kg}$$

2.c) Peso del líquido en el fondo.

El valor de la densidad será el mismo que se tomó en el caso anterior por la misma razón. Hay que tener en cuenta que el fondo es de tipo Korbogen y las expresiones a utilizar son:

$$P_{líq.} = V_{líq.} \cdot \rho_{mordentado} \quad ; \quad V_{líq.} = 0.13 \cdot D^3$$

$$V_{líq.} = 0.32 \text{ m}^3$$

$$P_{líq.} = 383.04 \text{ Kg}$$

2.d) Peso del fondo

El peso del fondo tipo Korboggen se calculará aplicando las siguientes expresiones.

$$P_{fondo} = V_{fondo} \times \rho_{acero} \quad V_{fondo} = \frac{\pi}{4} \cdot D_d^2 \cdot 8 \cdot t_f \quad D_d = 1.174 D_0 + 1.7 \cdot h$$

Siendo: D_d : diámetro de disco para un fondo Korboggen (m)

t_f : espesor del fondo (mm)

h : altura de pestaña (m)

$$D_d = 1.646 \text{ m}$$

$$V_{fondo} = 0.1 \text{ m}^3$$

$$P_{fondo} = 785 \text{ Kg}$$

2.e) Peso de las tuberías

$$P_{tuberías} = 0.05 \times (P_{envolvente} + P_{fondo}) = 64.61 \text{ Kg}$$

2.f) Peso total

$$W_j = \sum_{i=1} P_i = P_{envolvente} + P_{líq. envolvente} + P_{fondo} + P_{líq. fondo} + P_{tuberías} = 6097 \text{ kg}$$

La tensión que produce el peso total será:

$$\sigma_{w_j} = \frac{4 \cdot W_j \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)} = 31.53 \text{ kg / cm}^2$$

8.6 Cálculo del soporte

Con la misma tabla que se utilizó en el apartado 7.6, se obtiene que el soporte para este tanque también será de cuatro patas de perfil "L" y cuyas dimensiones son 100×100×10. Estas patas irán atornilladas a placas cuadrangulares de 200 mm de lado y 10 mm de espesor y cuyos pernos tendrán 27 mm de diámetro.

8.7 Cálculo de las tensiones admisibles

8.7.1 Tensión admisible a tracción

Nunca podrá ser mayor que la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, 40° C, afectada por el coeficiente de soldadura (E = 0.85).

$$S = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{tracción} = S \times E = 794.84 \text{ kg/cm}^2$$

8.7.2 Tensión admisible a compresión

La máxima tensión a compresión será el menor de los siguientes valores.

- ✓ Tensión admisible a tracción cuando E = 1

$$\sigma_{compresión} = S \times E = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

- ✓ El valor del parámetro B. En este caso no se pudo calcular ese valor por tanto se tomará el valor de S.

$$\text{Por lo tanto, } \sigma_{compresión} = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

8.7.3 Tensión admisible a pandeo

Será el menor de los siguientes valores.

$$\checkmark \frac{1}{3} \cdot \sigma_{elástico} = \frac{1}{3} \cdot 2386.9 = 795.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\checkmark 1.05 \cdot 10^5 \cdot \frac{(t-c)}{R_0} = 1.05 \cdot 10^5 \cdot \frac{(6-1.5)}{692} = 682.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Así pues, } \sigma_{pandeo} = 682.8 \text{ kg/cm}^2$$

8.7.4 Tensión admisible a prueba

Será el menor de los siguientes valores.

$$\checkmark 0.9 \cdot \sigma_{elástico} = 0.9 \cdot 2386.9 = 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\checkmark 0.495 \cdot \sigma_{rotura} = 0.495 \cdot 5691.8 = 2817.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luego, } \sigma_{pandeo} = 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

8.8 Prueba hidráulica

Se siguen las mismas pautas que para el tanque de oxidación. Para la prueba inicial se utiliza la expresión:

$$P_{Hm} = 1.5 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S} \quad S_a = S$$

Siendo: P_{Hm} : Presión hidráulica mínima (kg/cm²)

P : Presión de diseño (kg/cm²)

S : Tensión admisible a temperatura de diseño (kg/cm²)

S_a : Tensión admisible a temperatura ambiente (kg/cm^2)

Por tanto:

$$P_{Hm} = 5.25 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

Para la prueba periódica:

$$P_{Hm} = 1.3 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S} = 4.55 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

Se ha de verificar en todos los casos que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superen el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deberá aumentar el espesor de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deberá tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido.

La tensión producida en las paredes viene expresada como:

$$\sigma_i = \frac{D \cdot (P_{Hm} + H_t \cdot 10^{-4})}{4 \cdot t} = \frac{136 \cdot (5.25 + 288 \cdot 10^{-4})}{4 \cdot 0.6} = 299.13 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

Siendo H_t la altura total del tanque sin contar las patas expresada en cm.

Como además la norma exige que si la prueba se realiza en vertical hay que tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido, se procede a calcularla.

$$\sigma_{líq.} = \frac{4 \cdot P_{líq.} \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)}$$

$$P_{líq.} = V_{líq.} \cdot \rho_{líq.} = (V_{envolvente} + V_{fondo}) \cdot \rho_{líq.} = (3.65 + 0.32) \cdot 1197 = 4752.1 \text{ kg}$$

Por tanto, sustituyendo el peso del líquido queda: $\sigma_{líq.} = 24.58 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Ahora se debe comprobar que la suma de las dos tensiones no superan el 90% del límite elástico. Ese valor, ya ha sido calculado en el apartado 8.7.4 de tensiones admisibles, por tanto:

$$\sigma_i + \sigma_{líq.} = 323.71 \text{ kg}/\text{cm}^2 < 2148.21 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

Por tanto, la condición se cumple.

9. Diseño del depósito de descarga

Las dimensiones del tanque serán:

$$V = 3 \text{ m}^3$$

$$H = 2480 \text{ mm}$$

$$D = 1240 \text{ mm}$$

$$T_{\text{máx. operación}} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 40^\circ \text{ C}$$

$$P_{\text{máx. operación}} = 1.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{diseño}} = 3.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{(\text{acero } 316L, \text{ placa } SA - 240, T = 104^\circ F)} = 13300 \text{ lb/pulg}^2 = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1.5 \text{ mm}$$

$$E = 0.85$$

9.1 Cálculo del espesor mínimo de la envolvente

El esquema seguido para el cálculo del espesor es el mismo que en el apartado anterior

9.1.1 Por especificación

- $t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2.54 + c(\text{mm}) = \frac{1240}{1000} + 2.54 + 1.5 = 5.28 \text{ mm}$
- $t_{\min} = 3 \text{ mm}$ para aceros inoxidables

9.1.2 Por tensión circunferencial

- e) En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el máximo obtenido en el apartado anterior.

$$D_0 = D + 2 t_{min} = 1240 + 2 \times 5.28 = 1350.56 \text{ mm}$$

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2SE + 0.8P} + c = \frac{3.5 \cdot 1350.56}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 0.8 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.47 \text{ mm}$$

- f) En función del diámetro interior.

$$t = \frac{P \cdot (D + 2c)}{2SE + 1.2P} + c = \frac{3.5 \cdot (1240 + 2 \cdot 1.5)}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 1.2 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.23 \text{ mm}$$

Una vez realizados los cálculos, se toma como espesor mínimo el máximo de todos los calculados. En este caso, el máximo es el que viene impuesto por la expresión de especificación cuyo valor es 5.28 mm aunque al normalizarlo se tomará un espesor de 6 mm.

Por tanto el diámetro exterior quedará así:

$$D_0 = 1240 + 2 \times 6 = 1252 \text{ mm}$$

El siguiente paso, es comprobar que el espesor mínimo obtenido realmente es el adecuado y podrá soportar la presión externa de diseño (P). Tal y como se hizo para el tanque de oxidación.

En este caso, como en el anterior, L será la distancia entre líneas de tangencia más un tercio de la altura del fondo.

$$L_{tt} = H_{ENV} = 2480 \text{ mm} \quad H_f = 0.26 \times D_0 = 325.52 \text{ mm}$$

$$L = L_{tt} + \frac{1}{3} H_f = 2480 + \frac{1}{3} \cdot 325.52 = 2588.5 \text{ mm}$$

Ahora, para obtener el valor de la máxima presión de trabajo admisible (Pa) que soporta una carcasa cilíndrica de relación $D_0 / t \geq 10$, se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_0} = \frac{2588.5}{1252} = 2.06$$

$$\frac{D_0}{t} = \frac{1252}{6} = 208.66$$

- ✓ Con las relaciones anteriores y con la gráfica de la que se hizo uso en el apartado 7.1.2 (Fig. 5 – UG 28.s/ASME VIII Div.1), se determina el valor de A.

$$A = 0.00025$$

- ✓ Con el valor de A, y utilizando la gráfica siguiente (Fig. 5 – UCS – 28.1s/ASME VIII Div.1) se calcula el valor de B en función de la temperatura de diseño.

Puesto que el valor de A queda a la izquierda de las gráficas material / temperatura se adopta como presión de trabajo la siguiente:

$$P_a = \frac{2AE}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = \frac{2 \cdot 0.00025 \cdot 28 \cdot 10^6 (psi)}{3 \cdot 208.66} = 22.36 psi = 1.57 kg/cm^2$$

Se cumple que $P_a \geq P$, por lo que el espesor es válido.

9.2 Cálculo del espesor del fondo

Para este tanque también se ha elegido un fondo tipo Korbogen como se hizo anteriormente.

9.2.1 Por especificación

Ahora el diámetro exterior se toma en función del espesor calculado anteriormente.

$$D_0 = D + 2t = 1240 + 2 \times 6 = 1252 \text{ mm}$$

- $t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2.54 + c(mm) = \frac{1252}{1000} + 2.54 + 1.5 = 5.29mm$
- $t_{\min} = 3 mm$ para aceros inoxidables

9.2.2 Por tensión circunferencial

e) En función del radio exterior. El radio exterior en este caso, un fondo Korbogen, se calcula mediante las siguientes expresiones.

$$L = 0.8 \times D = 0.8 \times 1240 = 992 mm$$

$$L_0 = L + t = 1088 + 6 = 998 mm$$

$$t_f = \frac{1.32 \cdot P \cdot L_0}{2SE + 1.12P} + c = \frac{1.32 \cdot 3.5 \cdot 998}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 1.12 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.39mm$$

f) En función del radio interior.

$$t_f = \frac{1.3 \cdot P \cdot (L + c)}{2SE + 0.2P} + c = \frac{1.3 \cdot 3.5 \cdot (992 + 1.5)}{2 \cdot 935.1 \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 3.5} + 1.5 = 4.34mm$$

El mayor espesor de todos es el obtenido por especificación y su valor es 5.29 mm. Al normalizarlo tomaremos un valor de 6 mm.

Ahora se realiza la comprobación para ver si ese espesor es suficiente para soportar la presión externa de diseño (P). Se hace como en el apartado anterior mediante los parámetros A y B pero ahora el valor de A se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$A = \frac{0.125}{\frac{R_0}{t}} \quad R_0 \text{ (radio exterior)} = 1252/2 + 6 = 632 \text{ mm}$$

Por tanto, $A = 0.0012$

Gráficamente obtenemos el valor de $B = 9500$

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = 60.70 \text{ psi} = 4.26 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow P_a \geq P$$

Por lo que, se puede concluir que el espesor es válido y su valor es de 6 mm.

9.3 Cálculo de la altura de la pestaña (h)

Al igual que en el apartado 7.3, el fondo es del mismo tipo y por tanto la expresión para calcular la altura de pestaña será idéntica.

$$h = 3.5 t_f = 21 \text{ mm}$$

9.4 Cálculo de las dimensiones reales del depósito de descarga

El volumen total del tanque será:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDO} + V_{PESTAÑA}$$

Ya se conoce el volumen total que se calculó en el apartado 6.1 y su valor es de 3 m^3 . A partir de este dato, se calcularán las dimensiones del tanque.

Para un fondo tipo Korbogen:

$$V_{FONDO} = 0.13 \cdot D^3 = 0.13 \cdot 1.24^3 = 0.25 \text{ m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = 0.031 \text{ m}^3$$

Por tanto, sustituyendo los valores se obtiene:

$$V_{ENVOLVENTE} = 2.72 \text{ m}^3 \quad V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H$$

$$H_{ENVOLVENTE} = 2.25 \text{ m}$$

Conocidos los volúmenes se pueden calcular las alturas de cada pieza que compone el tanque.

$$H_{FONDO} = 0.26 \times D_0 = 0.26 \times 1.252 = 0.325 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + H_{FONDO} + h = 2.6 \text{ m}$$

En la tabla 13 se presentan a modo de resumen, los datos de espesor, altura y volumen para cada una de las partes del tanque.

DEPÓSITO DE DESCARGA		
ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	2.25
	VOLUMEN (m ³)	2.72
FONDO	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.325
	VOLUMEN (m ³)	0.25
PESTAÑA	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.031
VOLUMEN TOTAL (m ³)		3
ALTURA TOTAL (*) (m)		2.6
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.240
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.252

(*) Altura total sin contar con las patas.

Tabla 13. Dimensiones reales del depósito de descarga.

9.5 Esfuerzos en recipientes sometidos a presión

Las cargas a las que está sometido el tanque son:

- Presión interna
- Peso del recipiente y su contenido
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar

Ni las cargas debidas a viento ni las debidas a movimientos sísmicos serán incluidas por las razones que se expusieron en el apartado 7.5.

9.5.1 Cálculo de la tensión longitudinal de la envolvente debida a la presión interna

9.5.2 Cálculo de pesos y tensiones debidas a los esfuerzos

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión al que hay que añadirle el peso de la columna de líquido. A continuación, se evalúan los casos más comunes para calcular el total de estos esfuerzos.

1 EQUIPO MONTADO PERO NO EN OPERACIÓN

En este caso se calcula el peso propio de la envolvente, es decir, sin líquido en su interior, y el esfuerzo que provoca.

- ✓ Peso de la envolvente:

$$D_0 = 1.252 \text{ m} ; \rho_{\text{MATERIAL}} = 7.85 \text{ Kg/dm}^3 \text{ (densidad)} ; D = 1.240 \text{ m}$$

Con los datos anteriores se puede aplicar la expresión que dará el valor del peso.

$$P_{\text{envolvente}} = \frac{\pi \cdot (D_0^2 - D^2)}{4} \cdot H_{\text{envolvente}} \cdot \rho_{\text{material}} \cdot 1000 = 414.83 \text{ kg}$$

- ✓ Tensión producida por el peso de la envolvente

$$\sigma_{envolvente} = \frac{4 \cdot P_{envolvente} \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)} = 2.35 \text{ kg / cm}^2$$

2 EQUIPO EN OPERACIÓN

Ahora se tendrá en cuenta el peso del líquido, el de los fondos y el de las tuberías conectadas al tanque.

2.a) Peso de la envolvente: $P_{envolvente} = 414.83 \text{ kg}$

2.b) Peso del líquido en la envolvente.

En este tanque sólo entrará la corriente limpia de hierro tanto de mordentado como de agua proveniente del enjuague. Por esto, como en los casos anteriores se tomará la densidad del mordentado para hacer los cálculos.

$$\rho_{mordentado} = 1197 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{líq.} = V_{líq.} \cdot \rho_{mordentado} ; \quad V_{líq.} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H_{envolvente}$$

$$V_{líq.} = 2.72 \text{ m}^3$$

$$P_{líq.} = 3255.84 \text{ kg}$$

2.c) Peso del líquido en el fondo.

El valor de la densidad será el mismo que se tomó en el caso anterior por la misma razón. Hay que tener en cuenta que el fondo es de tipo Korbogen y las expresiones a utilizar son:

$$P_{líq.} = V_{líq.} \cdot \rho_{mordentado} \quad V_{líq.} = 0.13 \cdot D^3$$

$$V_{líq.} = 0.25 \text{ m}^3$$

$$P_{líq.} = 299.25 \text{ Kg}$$

2.d) Peso del fondo

El peso del fondo tipo Korboggen se calculará aplicando las siguientes expresiones.

$$P_{fondo} = V_{fondo} \times \rho_{acero} \quad V_{fondo} = \frac{\pi}{4} \cdot D_d^2 \cdot 8 \cdot t_f$$

$$D_d = 1.174 D_0 + 1.7 \cdot h$$

Siendo: D_d : diámetro de disco para un fondo Korboggen (m)

t_f : espesor del fondo (mm)

h : altura de pestaña (m)

$$D_d = 1.505 \text{ m}$$

$$V_{fondo} = 0.085 \text{ m}^3$$

$$P_{fondo} = 667.25 \text{ kg}$$

2.e) Peso de las tuberías

$$P_{tuberías} = 0.05 \times (P_{envolvente} + P_{fondo}) = 54.1 \text{ kg}$$

2.f) Peso total

$$W_j = \sum_{i=1} P_i = P_{envolvente} + P_{líq.envolvente} + P_{fondo} + P_{líq.fondo} + P_{tuberías} = 4691.27 \text{ kg}$$

La tensión que produce el peso total será:

$$\sigma_{w_j} = \frac{4 \cdot W_j \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)} = 26.6 \text{ kg / cm}^2$$

9.6 Cálculo del soporte

Con la misma tabla que se utilizó en el apartado 7.6, se obtiene que el soporte para este tanque también será de cuatro patas de perfil "L" y cuyas dimensiones son 100×100×10. Estas patas irán atornilladas a placas cuadrangulares de 200 mm de lado y 10 mm de espesor y cuyos pernos tendrán 27 mm de diámetro.

9.7 Cálculo de las tensiones admisibles

9.7.1 Tensión admisible a tracción

Nunca podrá ser mayor que la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, 40° C, afectada por el coeficiente de soldadura (E = 0.85).

$$S = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{tracción} = S \times E = 794.84 \text{ kg/cm}^2$$

9.7.2 Tensión admisible a compresión

La máxima tensión a compresión será el menor de los siguientes valores.

- ✓ Tensión admisible a tracción cuando E = 1

$$\sigma_{compresión} = S \times E = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

- ✓ El valor del parámetro B. En este caso no se pudo calcular ese valor por tanto se tomará el valor de S.

$$B = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Por lo tanto, } \sigma_{compresión} = 935.1 \text{ kg/cm}^2$$

9.7.3 Tensión admisible a pandeo

Será el menor de los siguientes valores.

$$\checkmark \frac{1}{3} \cdot \sigma_{elástico} = \frac{1}{3} \cdot 2386.9 = 795.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\checkmark 1.05 \cdot 10^5 \cdot \frac{(t-c)}{R_0} = 1.05 \cdot 10^5 \cdot \frac{(6-1.5)}{626} = 754.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Así pues, } \sigma_{pandeo} = 754.8 \text{ kg/cm}^2$$

9.7.4 Tensión admisible a prueba

Será el menor de los siguientes valores.

$$\checkmark 0.9 \cdot \sigma_{elástico} = 0.9 \cdot 2386.9 = 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\checkmark 0.495 \cdot \sigma_{rotura} = 0.495 \cdot 5691.8 = 2817.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luego, } \sigma_{pandeo} = 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

9.8 Prueba hidráulica

Se siguen las mismas pautas que para el tanque de oxidación y el de neutralización. Para la prueba inicial se utiliza la expresión:

$$P_{Hm} = 1.5 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S} \quad S_a = S$$

Siendo: P_{Hm} : Presión hidráulica mínima (kg/cm²)

P : Presión de diseño (kg/cm²)

S : Tensión admisible a temperatura de diseño (kg/cm²)

S_a : Tensión admisible a temperatura ambiente (kg/cm²)

Por tanto:

$$P_{Hm} = 5.25 \text{ kg/cm}^2$$

Para la prueba periódica:

$$P_{Hm} = 1.3 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S} = 4.55 \text{ kg/cm}^2$$

Se ha de verificar en todos los casos que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superen el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deberá aumentar el espesor de las paredes

de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deberá tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido.

La tensión producida en las paredes viene expresada como:

$$\sigma_i = \frac{D \cdot (P_{Hm} + H_t \cdot 10^{-4})}{4 \cdot t} = \frac{124 \cdot (5.25 + 260 \cdot 10^{-4})}{4 \cdot 0.6} = 272.6 \text{ kg/cm}^2$$

Siendo H_t la altura total del tanque sin contar las patas expresada en cm.

Como además la norma exige que si la prueba se realiza en vertical hay que tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido, se procede a calcularla.

$$\sigma_{líq.} = \frac{4 \cdot P_{líq.} \cdot 10^2}{\pi \cdot (D_0^2 - (D + 2c)^2)}$$

$$P_{líq.} = V_{líq.} \cdot \rho_{líq.} = (V_{envolvente} + V_{fondo}) \cdot \rho_{líq.} = (2.72 + 0.25) \cdot 1197 = 3555.09 \text{ kg}$$

Por tanto, sustituyendo el peso del líquido queda: $\sigma_{líq.} = 20.15 \text{ kg/cm}^2$

Ahora se debe comprobar que la suma de las dos tensiones no superan el 90% del límite elástico. Ese valor, ya ha sido calculado en el apartado 8.7.4 de tensiones admisibles, por tanto:

$$\sigma_i + \sigma_{liq.} = 292.76 \text{ kg/cm}^2 < 2148.21 \text{ kg/cm}^2$$

Por tanto, la condición se cumple.

10. Diseño del decantador

La decantación es el proceso unitario más utilizado para realizar la separación sólido líquido. Dentro del proceso de decantación podemos encontrarnos con equipos convencionales (dinámicos ó estáticos) ó bien rellenos parcial o totalmente de paquetes lamelares.

Teniendo en cuenta que el espacio en la planta es limitado, y que la concentración de sólidos es variable, se ha optado por escoger un equipo de decantación que pueda adaptarse a las necesidades de la planta en cada caso y que ocupe lo menos posible. En este caso un decantador con paquetes lamelares es el más indicado.

La aplicación de la teoría de sedimentación laminar permite obtener decantadores económicos, altamente eficientes y fáciles de operar y mantener. La eficiencia de remoción de los decantadores laminares fluctúa entre 95% y 99%.

El decantador que se colocará será de tipo troncocónico, el tiempo de retención será de 3 h y sus dimensiones se calcularán con las siguientes expresiones.

- Área horizontal del decantador

$$A_s = \frac{Q}{v_s}$$

Siendo: A_s : área horizontal del decantador (m^2)

Q : caudal de entrada (m^3/s)

v_s : velocidad de sedimentación de las partículas (m/s)

- Volumen

$$V = t_r \cdot Q$$

Siendo: t_r : tiempo de residencia (h)
 V : volumen del decantador (m^3)

- Altura

$$h = \frac{V}{A_s}$$

Siendo: h : altura del decantador (m)

- Radio del decantador

$$r = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}}$$

Ya que Q y v_s son datos conocidos, $0.00027 m^3/s$ y $0.00015 m/s$ respectivamente las dimensiones del decantador quedan reflejadas en la siguiente tabla.

Dimensiones del decantador	
Área (m^2)	1.8
Volumen (m^3)	3
Altura (m)	1.66
Diámetro (m)	1.5

Tabla 14.a. Dimensiones aproximadas del decantador.

Estas dimensiones son aproximadas, ya que al ser un decantador troncocónico cuenta en la parte inferior con una tolva cónica para recoger el lodo y enviarlo a la unidad de filtración. Esta tolva tendrá 1 m de altura aproximadamente, su diámetro será el mismo que el del decantador y su volumen será de $0.6 m^3$.

Por otro lado, este decantador llevará instalados unos paquetes de lamelas de forma cónica con el fin de aumentar la eficacia de la operación. Estas lamelas tendrán forma cónica, serán paralelas y estarán separadas entre sí 5 cm. El ángulo que formarán las lamelas con la horizontal será de

60° ya que así lo recomienda la bibliografía. Con la instalación de estos paquetes de láminas se espera aumentar la superficie de decantación hasta diez veces. Por último, el rebosadero estará situado a unos 10 cm por encima del paquete lamelar.

En la figura 4 se muestra la sección de un decantador con estas características.

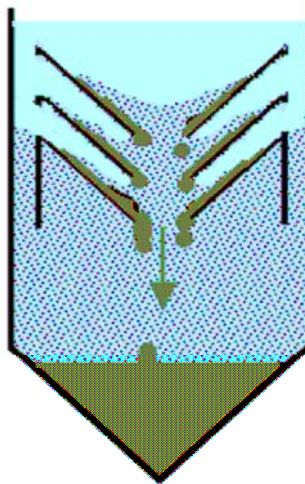


Fig. 4. Esquema de la sección de un decantador troncocónico lamelar.

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones definitivas del decantador.

Dimensiones del decantador	
Área horizontal (m²)	1.8
Volumen total (m³)	3.6
Altura total (m)	2.66
Diámetro (m)	1.5

Tabla 14.b. Dimensiones reales del decantador.

11. Diseño del sistema de filtración

11.1 Introducción

La filtración es una operación básica de la Ingeniería Química que puede considerarse como un caso especial del flujo de fluidos a través de lechos porosos fijos.

La filtración es la separación de partículas sólidas existentes en una suspensión, líquida o gaseosa, haciéndola pasar a través de un medio filtrante (tela filtrante, placa perforada, lecho de partículas inertes, etc.). El fluido atraviesa los huecos del medio filtrante, y se conoce como filtrado mientras que las partículas sólidas quedan retenidas.

Las partículas sólidas que se someten a la filtración pueden tener tamaños muy diversos, variando desde partículas micrométricas a partículas de varios milímetros. Los poros del medio filtrante pueden ser algo mayores que las partículas que deben separarse, sin que se dificulte la operación, ya que al comienzo de la filtración algunas partículas penetran en los poros del medio filtrante, quedando posteriormente retenidas sobre su superficie formando un lecho o torta de espesor progresivamente creciente. La figura 5 recoge el principio de la filtración, donde la torta formada pasa a ser la responsable de la filtración y no el medio filtrante que actúa como soporte de la misma.

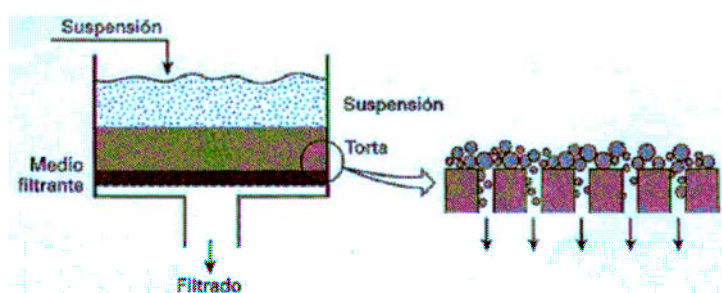


Fig. 5. Esquema de la operación de filtración

Asimismo, según sea el tipo de operación, los filtros pueden clasificarse en continuos y discontinuos. A su vez, el producto principal puede ser el líquido filtrado, el sólido retenido en el filtro o ambos.

En función de la concentración de sólidos, los filtros actúan de diferentes formas. Así, cuando la cantidad de sólidos en la suspensión es elevada, la mayor parte de las partículas quedan retenidas en la torta filtrante (filtración por torta) que se separa posteriormente. Si la proporción de sólidos es pequeña, éstos penetrarán una profundidad mayor dentro del medio filtrante antes de quedar fijados dentro de los canales de flujo, no observándose generalmente la formación de una capa de sólidos sobre la superficie del medio filtrante (filtración en profundidad o filtros clarificadores). En estos

casos, el filtro puede operar durante mayores períodos de tiempo antes de que haya que interrumpir la operación para su limpieza.

11.2 Fundamento teórico

La filtración es un ejemplo claro de circulación de un fluido a través de un lecho poroso que crece de espesor de manera uniforme, por lo que si la presión de trabajo permanece constante, la velocidad de flujo -y por tanto el caudal de líquido filtrado- disminuirá paulatinamente. En caso de que se pretenda mantener constante la velocidad de filtración será preciso un aumento gradual de la presión.

Así pues, en este proceso de separación los principales factores de los que depende la velocidad de filtración son la diferencia de presión entre ambos lados del filtro (ΔP), la superficie transversal del filtro (S), la resistencia de la torta (R_T) y la resistencia del medio filtrante (R_F), según se recoge en la siguiente figura. El caudal de filtrado por unidad de área de la superficie filtrante se podrá expresar como cociente entre la fuerza impulsora (diferencia de presión) y la resistencia a la filtración, de acuerdo con el concepto de ley cinética, pudiendo escribirse:

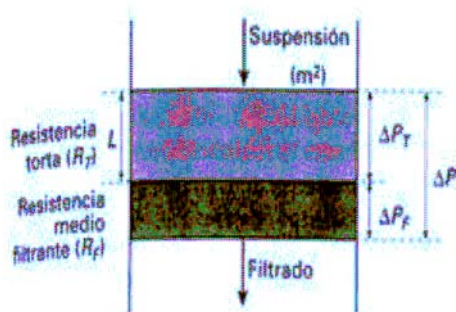


Fig. 6. Pérdida de carga a través de un filtro.

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\text{Fuerza impulsora}}{\text{Resistencia}} = \frac{\Delta P}{R_T + R_F} = \frac{\Delta P_T}{R_T} = \frac{\Delta P_F}{R_F}$$

donde dv es el volumen de filtrado recogido en el tiempo dt .

A partir de esta ecuación y combinando otras expresiones como la ecuación de Kozeny y otras, se puede obtener la ecuación general para la filtración que a continuación se presenta.

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\Delta P}{\frac{\mu \cdot \alpha \cdot w}{S} \cdot (v + v_e)}$$

donde: μ → viscosidad del filtrado
 α → resistencia específica de la torta (m/Kg)
 w → retención de la torta (Kg/m³)
 v → volumen filtrado
 v_e → volumen necesario para saturar el sistema filtrante

Esta ecuación sirve para las dos posibles formas de operar: a presión constante y a caudal constante. En la planta a que se refiere el presente proyecto, al trabajar en continuo, la forma de operar que se va a utilizar será a caudal constante.

11.3 Filtración a caudal constante

Si se desea mantener constante el caudal de líquido filtrado con el tiempo, deberá aumentarse de forma paulatina la presión aplicada en el filtro, para vencer la resistencia que genera la torta, que va creciendo en espesor.

Si escribimos la ecuación general de filtración despejando la caída de presión total tendremos:

$$P_0 - P_L = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot w}{S^2} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot (v + v_e)$$

Como el caudal es constante, la velocidad lineal deberá serlo también $\frac{dv}{dt} = cte$. Por tanto la ecuación anterior puede expresarse como sigue.

$$P_0 - P_L = K_1(v + v_e) = K_1v + K_2$$

Los valores de k_1 y k_2 se han de calcular mediante experimentos directos, por tanto son datos que se deberán consultar con alguna empresa que pueda facilitarlos.

Se consultó con una empresa galvanizadora y ésta, aunque no facilitó esos datos, recomendó la utilización de filtros prensa capaces de ejercer presiones de más de 5 bares y placas filtrantes de 500×500 mm.

12. Diseño de los sistemas de agitación

Los líquidos se agitan con diversos fines, dependiendo de los objetivos de la etapa del proceso, entre ellos se pueden encontrar: suspensión de partículas sólidas, mezclado de líquidos miscibles, dispersión de un gas en un líquido, ...etc. Con frecuencia el agitador cubre varias finalidades al mismo tiempo.

Equipo de agitación

Los líquidos se agitan con más frecuencia en tanques o recipientes, generalmente de forma cilíndrica y provistos de un eje vertical. La parte superior del recipiente puede estar abierta al aire o cerrada. Las proporciones del tanque varían bastante dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Sin embargo, en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado como el que se muestra en la figura 7.

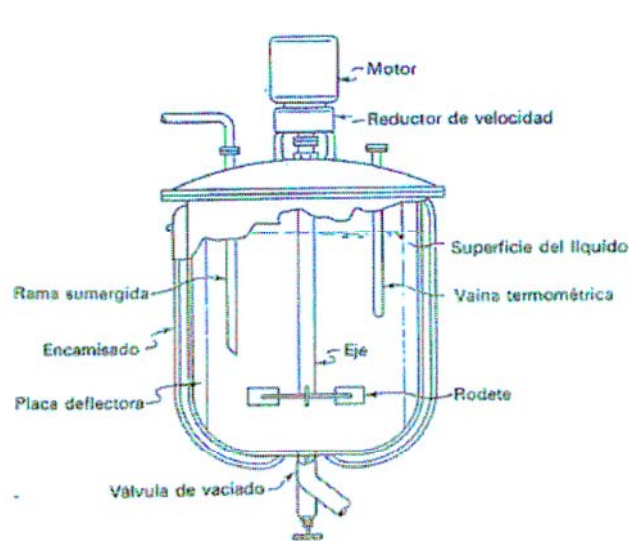


Fig. 7. Esquema estándar de un reactor de tanque agitado.

El fondo del tanque es redondeado con el fin de eliminar los rincones escarpados o regiones en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. El rodete va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje soportado en la parte superior. El eje está accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero más frecuentemente acoplado al eje a través de una caja reductora de velocidad. Generalmente lleva incorporados una serie de accesorios tales como tubuladuras de entrada y salida, serpentines, encamisados,...etc. A continuación se van a describir los principales componentes del sistema de agitación de un tanque cualquiera.

- **Rodetes.** Los agitadores de rodete, como es el caso, se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del rodete, y aquellos que generan corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros reciben el nombre de *rodetes de flujo axial*, y los segundos *rodetes de flujo radial*.

Los tres principales tipos de rodetes son hélices, palas y turbinas. Cada uno de ellos comprende muchas variantes y subtipos que no se considerarán aquí.

- **Hélice.** Una hélice es un rodete con flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad que el motor, entre 1150 y 1750 rpm; las grandes giran entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que salen del rodete continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del tanque. La columna, altamente turbulenta, de remolinos de líquido que abandona el rodete, arrastra al moverse líquido estancado, probablemente en mayor proporción que lo haría una columna equivalente procedente de una boquilla estacionaria. Las placas de un rodete cortan o cizallan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces en tanques muy grandes. Las principales características se presentan en la tabla 15.

Descripción	<ul style="list-style-type: none"> - 3 álabes (generalmente) - ángulo de inclinación del aspa constante
Campo de flujo generado	axial
Régimen alcanzado	turbulento
Velocidad tangencial	3 - 15 m/s
Viscosidad del medio	$< 8 \text{ Pa} \times \text{s}$
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - homogeneizar - suspender - favorecer el intercambio de calor

Tabla 15. Características de un rodete tipo hélice.

Una hélice giratoria traza una hélice en el fluido y, si no hubiese deslizamiento entre el fluido y la hélice, una revolución completa provocaría el desplazamiento longitudinal del líquido una distancia fija, dependiendo del ángulo de inclinación de las palas de la hélice. La relación entre esta distancia y el diámetro de la hélice se conoce como *paso* de hélice. Una hélice con un paso de 1 se dice que tiene paso cuadrado.

En la figura 8 se representan los principales tipos de rodetes.

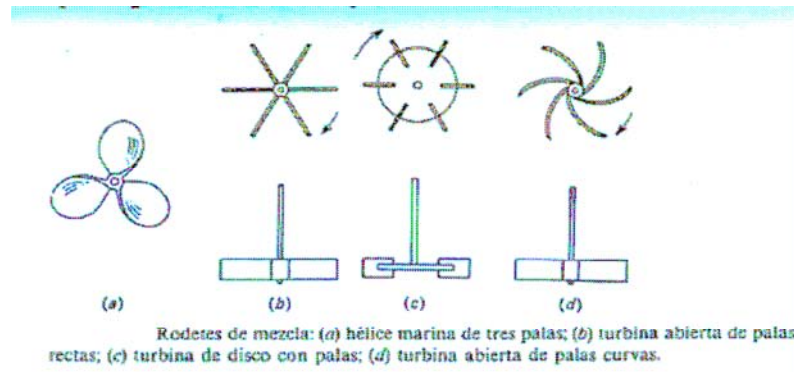


Fig. 8. Principales tipos de rodetes.

Las hélices más frecuentes son las hélices marinas de tres palas con paso cuadrado. Las hélices raramente superan las 18 pulgadas de diámetro, con independencia del tamaño del tanque.

12.1 Diseño del sistema de agitación del tanque de oxidación

A la vista de lo expuesto anteriormente, se ha decidido que se colocará un rodete del tipo hélice marina de tres palas por las siguientes razones:

- Los tanques no son muy grandes
- Son muy eficaces
- Se utilizan para líquidos de baja viscosidad

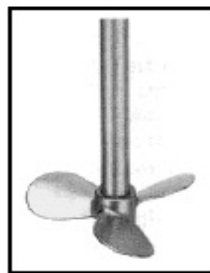


Fig. 9. Hélice marina de tres palas

Para evitar el flujo circulatorio y los remolinos, al ser tanques de pequeño tamaño, se opta por disponer el rodete separado del centro del tanque tal y como se representa en la figura 10.

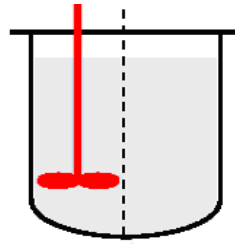


Fig. 10. Disposición del sistema de agitación en el tanque.

De esta forma, no será necesario instalar placas deflectoras.

Las proporciones típicas de un agitador de hélice son:


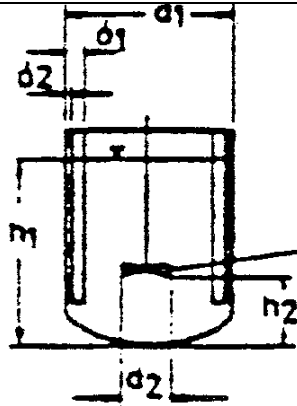
DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	GEOMETRIA
Agitador de hélice		 <p> $h_1 / d_1 = 1,0$ $d_2 / d_1 = 0,33$ $h_2 / d_1 = 0,33$ $\alpha = 25^\circ$ $\delta_1 / d_1 = 0,1$ $\delta_2 / d_1 = 0,02$ </p>

Fig. 11. Proporciones típicas de un agitador de hélice.

Según este esquema, la hélice que se instalará tendrá las siguientes dimensiones típicas.

Diámetro de la hélice (d_2) = 0.45 m

Distancia hélice-fondo del tanque (h_2) = 0.56 m

Potencia necesaria

Para calcular la potencia necesaria, lo primero es calcular el número de Reynolds.

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

Siendo: D_a : diámetro del impulsor (*pies*)

n : velocidad de agitación (r/s)
 ρ : densidad del fluido (lb/pie³)
 μ : viscosidad (lb/pie \times s)

Suponiendo que la velocidad de agitación sea de 400 rpm aproximadamente, el número de Reynolds en este caso será:

$$N_{Re} = \frac{1.47^2 \cdot 6.65 \cdot 62.42}{6.72 \cdot 10^{-4}} = 1.33 \cdot 10^6$$

Es superior a 10000 (régimen turbulento) y además el tanque no tiene placas deflectoras, por tanto para calcular la potencia consumida es necesario utilizar la gráfica de la figura 12.

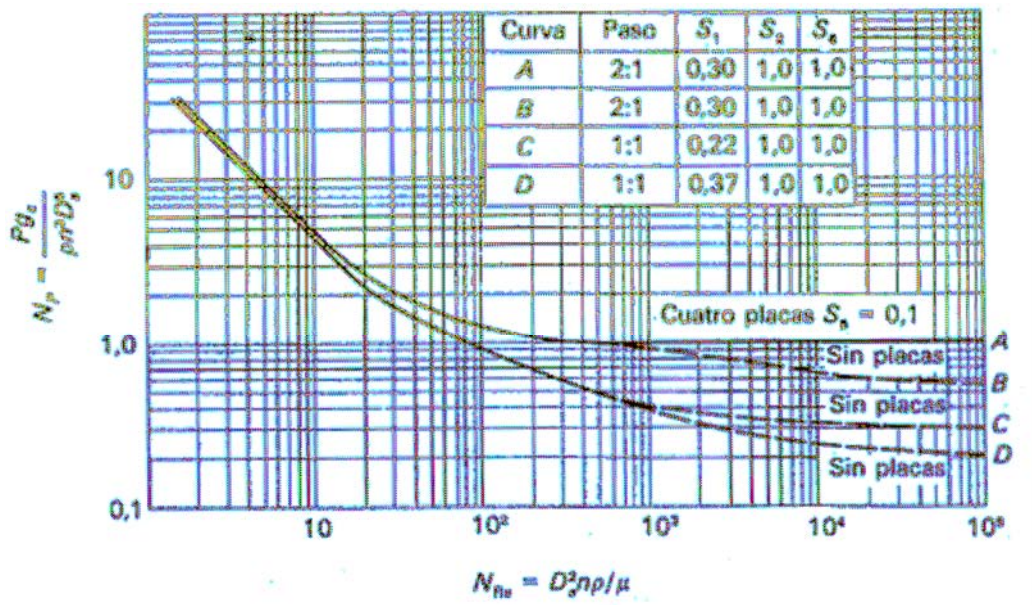


Fig. 12. Número de potencia N_P frente a N_{Re} para rodetes de tres palas. Fuente: "Operaciones unitarias en ingeniería química" (McCabe-Smith).

Mediante el N_{Re} y sabiendo que la curva que le corresponde será la D se obtiene el N_P , que está directamente relacionado con la potencia consumida mediante esta expresión.

$$P = \frac{N_P \cdot n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho}{g}$$

Al ser el N_{Re} muy elevado, en este caso adquiere importancia otro número adimensional, el número de Froude (N_{Fr}), cuya expresión es:

$$N_{Fr} = \frac{D_a \cdot n^2}{g}$$

Este número está relacionado con el N_P mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{N_P}{N_{Fr}^m} = \psi(N_{Re}, S_1, S_2, \dots, S_n)$$

El exponente m de la ecuación para un conjunto dado de factores de forma (S_1, S_2, \dots, S_n) está empíricamente relacionado con el N_{Re} por la siguiente ecuación:

$$m = \frac{a - \log_{10} N_{Re}}{b} \quad (*)$$

Donde a y b son constantes que vienen tabuladas en la figura 13.

Figura	Línea	a	b
9.13	D	1,0	40,0
9.14	B	1,7	18,0
9.14	C	0	18,0
9.14	D	2,3	18,0

Fig. 13. Valores de las constantes a y b de la ecuación (*). Fuente: "Operaciones unitarias en ingeniería química" (McCabe-Smith).

Una vez hechas estas aclaraciones, y sabiendo que el valor que se obtenga de N_P a partir de la gráfica habrá que multiplicarlo por N_{Fr}^m antes de introducirlo en la expresión de consumo de potencia, ya se puede proceder a calcular la potencia que será necesaria para el agitador.

$$N_P = 0.07$$

$$N_{Fr} = 2.02$$

$$m = \frac{a - \log_{10} N_{Re}}{b} = \frac{2.3 - 6.12}{18} = -0.212$$

$$N_{Fr}^m = 0.86 \Rightarrow N_P \cdot N_{Fr}^m = 0.06$$

Con este valor corregido de N_P obtenemos la potencia consumida:

$$P = \frac{0.06 \cdot 6.65^3 \cdot 1.47^5 \cdot 62.42}{32.17} = 235 \text{ pies} \cdot \text{lb}_f / \text{s} = 318 \text{ W} = 0.318 \text{ kW}$$

12.2 Diseño del sistema de agitación del tanque de neutralización

En este caso, la viscosidad en el tanque será diferente para el mordentado y el enjuague, debido a la diferencia que existe entre las cantidades hidróxido férrico que precipitan.

Se procederá a hacer el cálculo de la potencia siguiendo el esquema anterior pero ahora se hará dos veces, una con la viscosidad del mordentado y otra con la del enjuague. Al final, el agitador será el mayor potencia de los dos.

Lo primero es calcular las dimensiones de la hélice:

$$\text{Diámetro de la hélice } (d_2) = 0.45 \text{ m}$$

$$\text{Distancia hélice-fondo del tanque } (h_2) = 0.45 \text{ m}$$

Ahora la potencia necesaria:

✓ *Al tratar el mordentado*

En este caso la viscosidad es de $0.002 \text{ Pa} \times \text{s}$.

$$N_{Re} = 4.5 \cdot 10^5$$

$$N_P \cdot N_{Fr}^m = 0.087$$

$$P = 340 \text{ pies} \cdot \text{lb}_f / \text{s} = 460.97 \text{ W} = 0.461 \text{ kW}$$

✓ *Al tratar el enjuague*

En este caso la viscosidad es de $0.003 \text{ Pa} \times \text{s}$.

$$N_{\text{Re}} = 3 \cdot 10^5$$

$$N_P \cdot N_{Fr}^m = 0.096$$

$$P = 376 \text{ pies} \cdot \text{lb}_f / \text{s} = 509.8 \text{ W} = 0.51 \text{ kW}$$

El líquido que presenta mayor viscosidad requiere también mayor potencia de agitación como es lógico. Luego, el agitador que se instalará tendrá una potencia de 0.51 kW .

13. Diseño y dimensionado de las conducciones

En primer lugar, se debe prestar atención a las propiedades físicas y químicas del fluido antes de comenzar a realizar los cálculos de las tuberías. De esta forma, se podrán hacer las divisiones necesarias en

tramos para optimizar las pérdidas de carga y los costes. A continuación, se presentan en las tablas 16 y 17 las propiedades físicas de los fluidos antes y después de someterse a las operaciones de la planta (oxidación, neutralización, decantación y filtración).

Mordentado	Entrada	Salida
T. Oxidación	La corriente de mordentado es una disolución de sales con una densidad ligeramente superior a la del agua. Se puede asumir que sus propiedades físicas no diferirán demasiado a las de ésta.	Aparece el hidróxido férrico. En muchas ocasiones precipita en parte ya que el pH puede tener valores superiores a 4. La viscosidad aumentará aunque no demasiado ya que la cantidad de lodo no es mucha.
T. Neutralización	El hidróxido férrico se encuentra en disolución o parcialmente precipitado.	Todo el lodo ha precipitado. La viscosidad debe ser mayor. Atención a las posibles obturaciones.
Decantación	Llega la corriente con todo el lodo precipitado.	Por un lado sale el agua clarificada. Propiedades físicas similares a las de ésta. Por otro lado sale el lodo espesado cuya viscosidad será bastante alta y por tanto tendrá una velocidad de circulación baja.
Filtración	Fluido muy espeso.	Sale el agua clarificada.

Tabla 16. Características de la corriente de mordentado antes y después de someterse a cada una de las operaciones de la planta.

En la tabla 16 no se ha considerado el efecto de la temperatura en la viscosidad del fluido, ya que se ha supuesto que el líquido pierde el calor en el trayecto entre el baño y el tanque de oxidación.

Este supuesto no coincide con el que se realizó en apartados anteriores para el diseño de los recipientes a presión, la razón es que para el diseño de los tanques se optó por asumir las peores condiciones para calcular la temperatura de diseño, y así asegurar el buen comportamiento mecánico de la instalación en condiciones extremas.

Estos mismos datos pero cuando se trata el enjuague se presentan en la tabla 17.

Enjuague	Entrada	Salida
T. Oxidación	La corriente de enjuague es prácticamente agua ácida.	Aparece el hidróxido férrico. Pero en este caso al ser el pH inferior a 4 siempre, el hidróxido permanece en disolución. Por tanto se pueden asumir las propiedades del agua.
T. Neutralización	El hidróxido férrico se encuentra en disolución.	Todo el lodo ha precipitado. La viscosidad debe ser mayor. Atención a las posibles obturaciones.
Decantación	Llega la corriente con todo el lodo precipitado.	Por un lado sale el agua clarificada. Propiedades físicas similares a las de ésta. Por otro lado sale el lodo espesado cuya viscosidad será bastante alta y por tanto tendrá una velocidad de circulación baja.
Filtración	Fluido muy espeso.	Sale el agua clarificada.

Tabla 17. Características de la corriente de enjuague antes y después de someterse a cada una de las operaciones de la planta.

Básicamente las diferencias se encuentran en la cantidad de lodo que se forma según se trate una u otra corriente. Como la cantidad de lodo que produce el enjuague es mucho mayor que la del mordentado, se tomarán las propiedades físicas al tratar ésta para el diseño de las conducciones. Así, se pueden dividir las conducciones en los siguientes tramos:

- Baños → T. Oxidación (tramo1)
- T. Oxidación → T. Neutralización (tramo2)
- T. Neutralización → Decantador (tramo3)
- Decantador → Filtro (tramo4)
- Decantador → Depósito de descarga (tramo5)
- Filtro → Depósito de descarga (tramo6)
- Depósito de descarga → Baños (tramo7)

Además de estos tramos también están los que unen los depósitos de amoníaco y agua oxigenada con los tanques de neutralización y oxidación respectivamente.

- Depósito de agua oxigenada → T. Oxidación (tramo8.a)
- Depósito de amoníaco → T. Neutralización (tramo8.b)

Por otro lado, se deben tener en cuenta también las propiedades químicas del líquido a tratar. Serán dos corrientes diferentes las que se tratarán en la planta, como ya se ha dicho a lo largo de todo el proyecto:

- Por una parte, la corriente que proviene del baño de mordentado. Contiene, principalmente, dos sales diluidas que son NH_4Cl (cloruro de amonio) y ZnCl_2 (cloruro de zinc). La primera tiene propiedades corrosivas por lo que habrá que tenerlo en cuenta en la elección del material de las tuberías.

- Por otra, la corriente que viene del baño de enjuague. Esta corriente es, en su mayoría, agua aunque su pH es ácido.

Una vez analizadas todas las propiedades de los fluidos a tratar, se puede valorar qué material sería el más idóneo para fabricar el entramado de conducciones. En principio, se puede optar, como se hizo para el diseño de los tanques, por un acero inoxidable AISI 316L. Lo que ocurre en este caso, es que las tuberías no estarán sometidas a tantos esfuerzos como los tanques, y además existen otros materiales mejor adaptados para tratar fluidos corrosivos. En definitiva, el mejor material para diseñar las conducciones es el cloruro de polivinilo (PVC) ya que ofrece gran resistencia a la corrosión y sus propiedades mecánicas también son buenas. En la tabla 18 se muestran algunas de estas propiedades.

Gran resistencia a la corrosión	Bajo coeficiente de fricción
Alta resistencia química	Bajo peso
Alta resistencia al envejecimiento	Facilidad de instalación
Bajo coeficiente de elasticidad	Gran resistencia al golpe de ariete

Tabla 18. Propiedades de las tuberías de PVC.

Además de estas ventajas también es más barato que las tuberías convencionales de acero.

Una vez elegido el material, se procede a diseñar cada uno de los tramos en que se ha dividido la planta.

✓ **Tramo 1: Baños → T. Oxidación**

Para comenzar el diseño de las conducciones, lo primero es estimar un diámetro nominal a partir de la expresión siguiente.

$$Q = v \times S \Rightarrow Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Siendo: Q : Caudal de líquido (m³/s)
 v : velocidad lineal del líquido (m/s)
 S : sección de la conducción (m²)
 D : diámetro de la tubería (m)

Se necesita conocer la velocidad lineal del líquido para estimar el diámetro interno, en general, se recomienda no exceder velocidades de diseño en tubos de PVC superiores a 1.5 m/s, ni inferiores a 0.02m/s cuando se trabaja con agua con sólidos en suspensión. Puesto que en este tramo los líquidos que vamos a tratar se parecen bastante al agua en cuanto a sus propiedades físicas, y que en la bibliografía se encuentra que la velocidad media del agua en servicios normales está en el rango de 1.2 – 1.8 m/s, se puede asumir que una velocidad del fluido de 1.2 m/s sería adecuada ya que se encuentra dentro de ambos rangos. Así, se puede continuar el cálculo y se obtiene que:

$$D = 0.0171 \text{ m} = 17.1 \text{ mm}$$

Con este dato y con la siguiente tabla, se puede obtener el diámetro de una tubería normalizada y la presión que ésta es capaz de aguantar. Hay que recordar que la presión de trabajo será de 1.03 kg/cm² y la de diseño de 3.5 kg/cm².

El dato del diámetro obtenido se introduce en la tabla 19 y para saber qué diámetro nominal tendrá la conducción se escogerá el que esté justamente por encima y cumpla la condición que la presión sea menor que la nominal que viene incluida en la tabla.

Diámetro Nominal (mm)	Espesor de los Tubos (mm)				
	PN = 4 Atm	PN = 6 Atm	PN = 10 Atm	PN = 16 Atm	PN = 25 Atm

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

10	-	-	-	1	1,2
12	-	-	-	1	1,4
16	-	-	-	1,2	1,8
20	-	-	-	1,5	2,3
25	-	-	1,5	1,9	2,8
32	-	-	1,8	2,4	3,6
40	-	1,8	1,9	3	4,5
50	-	1,8	2,4	3,7	5,6
63	1,8	1,9	3	4,7	7
75	1,8	2,2	3,6	5,6	8,4
90	1,8	2,7	4,3	6,7	10
110	2,2	3,2	5,3	8,2	12,3
125	2,5	3,7	6	9,3	13,9
140	2,8	4,1	6,7	10,4	15,6
160	3,2	4,7	7,7	11,9	17,8
180	3,6	5,3	8,6	13,4	20
200	4	5,9	9,6	14,9	22,3
225	4,5	6,6	10,8	16,7	25
250	4,9	7,3	11,9	18,6	27,8
280	5,5	8,2	13,4	20,8	-
315	6,2	9,2	15	23,4	-
355	7	10,4	16,9	26,3	-
400	7,9	11,7	19,1	29,7	-
450	8,9	13,1	21,5	-	-
500	9,8	14,6	23,9	-	-
560	11	16,4	26,7	-	-
630	12,4	18,4	30	-	-
710	14	20,7	-	-	-
800	15,7	23,3	-	-	-
900	17,7	26,3	-	-	-
1000	19,7	29,2	-	-	-

Tabla 19. Diámetro nominal y espesor para tubos de PVC.

La conducción, por tanto, a la vista de los datos de la tabla será de 20 mm de diámetro nominal y su espesor será de 1.5 mm. En la tabla 20 se especifican los datos de la tubería.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Baños → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	20
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	20
Diámetro interior (mm)	17
Espesor (mm)	1.5

Tabla 20. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 1.

✓ **Tramo 2: T. Oxidación → T. Neutralización**

En este caso, cuando se trata la corriente que viene del baño de enjuague por esta línea circulará el líquido con todo el hidróxido férrico disuelto con lo que se puede asumir que sus propiedades físicas serán muy parecidas a las del agua. Sin embargo, al tratar la corriente que proviene del mordentado por esta línea puede circular el líquido con parte de ese hidróxido férrico precipitado, y , aunque no sea mucho hay que poner especial atención en que pueden producirse acumulaciones de hidróxido en codos y provocar la obturación de la línea, con todo lo que eso supone.

Por esta razón, esta línea se va a diseñar igual que la línea que va desde el tanque de neutralización al decantador, ya que éste sería el caso más extremo que puede ocurrir. De esta forma, la línea será más ancha que la del tramo anterior y evitaremos posibles problemas de atascos.

El cálculo es exactamente igual que para el anterior tramo, por lo que lo primero en determinar será el diámetro mínimo requerido por la tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

En este caso, la velocidad del fluido será menor que la anterior ya que el líquido será más espeso, por eso, se decide utilizar como velocidad del fluido $v = 0.7$ m/s. Así se obtiene:

$$D = 0.0225 \text{ m} = 22.5 \text{ mm}$$

A la vista de este diámetro y con la tabla 19 que se utilizó anteriormente la tubería de este tramo tendrá las características recogidas en la tabla 21.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (T. Oxidación → T. Neutralización)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	10
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	22
Espesor (mm)	1.5

Tabla 21. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 2.

✓ **Tramo 3: T. Neutralización → Decantador**

Para este tramo, ya se especificó en el cálculo del tramo anterior, las condiciones del fluido serán idénticas que para el tramo 2, es por eso, que las medidas de las tuberías normalizadas serán las mismas.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (T. Neutralización → Decantador)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	10
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	22
Espesor (mm)	1.5

Tabla 22. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 3.

✓ **Tramo 4: Decantador → Filtro**

En este caso, el fluido es muy espeso y el caudal se ha reducido. Los nuevos valores son:

$$v = 0.02 \text{ m/s} \quad Q = 0.114 \text{ m}^3/\text{h}$$

Estos datos se refieren a la corriente de enjuague, ya que será ésta la que tenga un caudal de lodos mayor, y por tanto será el caso más extremo. Los datos obtenidos se aplican igual cuando se trate la corriente de mordentado.

Aplicando la misma ecuación que en los casos anteriores.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \Rightarrow D = 0.044 \text{ m} = 44 \text{ mm}$$

Haciendo uso de la tabla 19, se obtienen las medidas de la conducción normalizada.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Decantador → Filtro)	
Diámetro nominal (mm)	50
Presión Nominal (atm)	6
Diámetro exterior (mm)	50
Diámetro interior (mm)	46.4
Espesor (mm)	1.8

Tabla 23. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 4.

✓ **Tramo 5: Decantador → Depósito de descarga**

El líquido que circulará por esta línea estará libre de lodo y sus propiedades físicas se parecerán a las del agua. Sus valores de velocidad y caudal serán:

$$v = 1.2 \text{ m/s} \quad Q = 0.773 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \Rightarrow D = 0.0151 \text{ m} = 15.1 \text{ mm}$$

A continuación, la tabla 24 donde vienen reflejadas las medidas de la conducción normalizada para este tramo.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Decantador → Depósito de descarga)	
Diámetro nominal (mm)	16
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	16
Diámetro interior (mm)	13.6
Espesor (mm)	1.2

Tabla 24. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 5.

✓ **Tramo6: Filtro → Depósito de descarga**

El líquido que circulará por esta línea también estará libre de lodo y sus propiedades físicas se parecerán a las del agua. Sus valores de velocidad y caudal serán:

$$v = 1.2 \text{ m/s} \quad Q = 0.171 \text{ m}^3/\text{h}$$

Estos datos pertenecen a la corriente de enjuague ya que será la que mayor caudal aportará a esta línea.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \Rightarrow D = 0.0071 \text{ m} = 7.1 \text{ mm}$$

La conducción normalizada será la siguiente.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Filtro → Depósito de descarga)	
Diámetro nominal (mm)	10
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	10
Diámetro interior (mm)	8
Espesor (mm)	1

Tabla 25. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 6.

✓ **Tramo7: Depósito de descarga → Baños**

Se aplican las mismas condiciones que para el tramo 5 pero en este caso el caudal varía entre $Q = 0.966 \text{ m}^3/\text{h}$ (del mordentado) y $Q = 0.942 \text{ m}^3/\text{h}$ (del enjuague). Se opta por elegir el mayor caudal de los dos y el diámetro obtenido es:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \Rightarrow D = 0.0168 \text{ m} = 16.8 \text{ mm}$$

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de descarga → Baños)	
Diámetro nominal (mm)	20
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	20
Diámetro interior (mm)	17
Espesor (mm)	1.5

Tabla 26. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 7.

✓ **Tramo8.a : Depósito de agua oxigenada → T. Oxidación**

Los datos que se necesitan son:

$$v = 1.2 \text{ m/s} \quad Q = 0.00308 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \Rightarrow D = 0.00095 \text{ m} = 0.95 \text{ mm}$$

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de agua oxigenada → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	10
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	10
Diámetro interior (mm)	8
Espesor (mm)	1

Tabla 27. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 8.a.

✓ **Tramo 8.b: Depósito de amoníaco → T. Neutralización**

Los datos que se necesitan son:

$$v = 1.2 \text{ m/s} \quad Q = 0.00000065 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \Rightarrow D = 0.000014 \text{ m} = 0.014 \text{ mm}$$

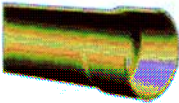
CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de amoníaco → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	10
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	10
Diámetro interior (mm)	8
Espesor (mm)	1

Tabla 28. Dimensiones de la conducción normalizada del tramo 8.b

Tanto en el tramo 8.a como 8.b los diámetros calculados son muy pequeños, entonces se ha escogido el tubo de PVC con el diámetro más parecido.

Por otro lado, estas conducciones normalizadas están referidas a la tabla 19, aunque realmente el proveedor elegido ha facilitado la tabla de la figura 23 de conducciones de las que dispone con su precio correspondiente.

TUBOS DE PVC PRESION - Serie ENCOLAR -



Norma UNE - EN 1452

Dn (mm)	PN 6			PN 10			PN 16			PN 20		
	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.l.	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.l.	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.l.	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.l.
20	—	010022	—	—	010042	—	—	010062	—	1,9	0100801	2,80
25	—	010023	—	—	010043	—	1,9	010063	2,25	2,3	0100802	4,25
32	—	010024	—	—	010044	—	2,4	010064	3,62	2,9	0100803	6,75
40	—	010025	—	1,9	010045	3,55	3,0	010065	5,57	3,7	0100804	10,70
50	—	010026	2,42	2,4	010046	4,92	3,7	010066	7,88	4,6	0100805	15,30
63	2,0	010027	5,24	3,0	010047	7,59	4,7	010067	12,53	5,8	0100806	24,15
75	2,3	010028	7,23	3,6	010048	10,94	5,6	010068	17,71	6,8	0100807	33,70
90	2,8	010029	10,35	4,3	010049	15,50	6,7	010069	25,53	8,2	0100808	48,75
110	2,7	010030	11,75	4,2	010050	17,84	6,6	010070	29,72	8,1	0100809	60,10
125	3,1	010031	15,37	4,8	010051	22,95	7,4	010071	37,86	9,2	0100810	77,40
140	3,5	010032	19,27	5,4	010052	28,97	8,3	010072	47,49	10,3	0100811	96,90
160	4,0	010033	24,90	6,2	010053	37,92	9,5	010073	61,95	11,8	0100812	126,40
180	4,4	010034	30,96	6,9	010054	47,20	10,7	010074	78,32	13,3	0100813	160,40
200	4,9	010035	38,02	7,7	010055	58,49	11,9	010075	96,61	14,7	0100814	196,65
250	6,2	010036	60,19	9,6	010056	90,98	14,8	010076	150,06	18,4	0100815	307,45
315	7,7	010037	93,58	12,1	010057	144,38	18,7	010077	249,40	23,2	0100816	487,95

Los tubos de diámetros entre 20 mm. y 50 mm. tienen una longitud total de 5 metros. Los tubos de diámetros entre 63 mm. y 315 mm. tienen una longitud total de 6 metros.

Conforme a la norma UNE - EN 1452.

Los tubos de PVC PRESION SERIE ENCOLAR están certificados con marca de calidad de producto AENOR.

PN = Presión Nominal expresada en bar (1 bar = 0,1 MPa).

Fig. 13. Precios de tubos de PVC según su diámetro nominal y presión nominal.

Atendiendo a la figura 23, se fijan las nuevas características de las conducciones que se instalarán realmente en la planta.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Baños → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 29. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 1.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (T. Oxidación → T. Neutralización)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 30. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 2.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (T. Neutralización → Decantador)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 31. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 3.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Decantador → Filtro)	
Diámetro nominal (mm)	63
Presión Nominal (atm)	6
Diámetro exterior (mm)	63
Diámetro interior (mm)	59
Espesor (mm)	2

Tabla 32. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 4.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Decantador → Depósito de descarga)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 33. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 5.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Filtro → Depósito de descarga)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 34. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 6.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de descarga → Baños)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 35. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 7.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de agua oxigenada → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 36. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 8.a.

CONDUCCIÓN NORMALIZADA (Depósito de amoníaco → T. Oxidación)	
Diámetro nominal (mm)	25
Presión Nominal (atm)	16
Diámetro exterior (mm)	25
Diámetro interior (mm)	21.2
Espesor (mm)	1.9

Tabla 37. Dimensiones reales de la conducción normalizada del tramo 8.b.

Como se puede ver en las tablas todas las conducciones serán de 25 mm de diámetro nominal salvo la del tramo 4 que tendrá 63 mm. Las tuberías no son elásticas por lo que irán encoladas en las uniones o roscadas.

14. Cálculo y selección de bombas

En este apartado, se procederá a calcular y especificar tanto la presión mínima de cada una de las bombas como sus propiedades, con el objeto de elegir, posteriormente en un catálogo, la que mejor se ajuste a los datos obtenidos.

Las bombas que manejan líquidos pueden clasificarse de manera general y de acuerdo con su principio de funcionamiento en dos grandes grupos:

- Bombas centrífugas o hidrodinámicas (rotodinámicas).
- Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas.

En la tabla 38 se ofrecen las características generales de cada una.

	Bombas Centrífugas	Bombas desplazamiento positivo
Líquidos que manejan	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas limpias y sucias, grises y negras • Aguas con sólidos en suspensión 	<ul style="list-style-type: none"> • Líquidos viscosos: aceite,... • Líquidos pastosos
Presiones de trabajo	Bajas	Altas
Caudales	Grandes	Pequeños
Aspiración	No aspiran. Necesario cebado	Autoaspirantes
Característica	El caudal que entrega la bomba depende de la presión de trabajo.	La bomba da un caudal constante, independiente de la presión de trabajo.
Válvula de seguridad o recirculación	No es necesaria	Obligatoria
Consumos eléctricos	Tanto mayor cuanto menor sea la presión de trabajo.	Tanto mayor cuanto mayor sea la presión de trabajo.
Pulsaciones	Muy uniformes.	Muy pulsantes.
Tamaño	Todas las potencias: 0.5 – 1000 CV	Potencias pequeñas: 0.5 – 100 CV

Tabla 38. Características generales de bombas centrífugas y de desplazamiento positivo.

A la vista de esta tabla, se puede observar que en la planta que es objeto de diseño se utilizarán bombas de ambos tipos, ya que los líquidos a bombear son: disoluciones, líquidos con sólidos en suspensión y líquidos pastosos. En función de las propiedades del líquido a bombear se elegirá el tipo de bomba más adecuado.

14.1 Introducción a las pérdidas de carga

La ecuación fundamental que se aplica para calcular la presión que ha de aportar una bomba al transportar un fluido de un punto A a otro B, es la ecuación de Bernouilli. Esta ecuación viene expresada como sigue.

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + \Delta z + h_f = \eta \cdot \Delta h$$

Siendo: $\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \Rightarrow$ Incremento de la carga de presión entre los puntos A y B.

$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} \Rightarrow$ Incremento de la carga de velocidad entre los puntos A y B.

$\Delta z \Rightarrow$ Diferencia de altura entre los puntos A y B.

$h_f \Rightarrow$ Pérdida de carga producida por la fricción en la tubería y los accesorios. Viene expresada en metros de columna de líquido.

$\eta \cdot \Delta h \Rightarrow$ Carga mecánica aportada por la bomba.

A su vez, la pérdida de carga que produce la tubería recta se obtiene mediante la ecuación de Fanning:

$$h_{f_{tubería}} = (4f) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

El factor $(4f)$ es el llamado factor de fricción, y su valor depende del régimen de flujo imperante en el sistema. Para conocer el régimen de flujo del sistema se utiliza el número adimensional de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu}$$

Donde: ρ : densidad del fluido (Kg/m^3)
 μ : viscosidad del fluido ($Kg/m \cdot s$)
 D : diámetro de la conducción (m)
 v : velocidad del fluido (m/s)

Según el valor de Re el régimen de flujo será:

- $Re < 2000 \Rightarrow$ Régimen laminar

- $2000 < Re < 3500 \Rightarrow$ Régimen indeterminado (suponer turbulento)
- $Re > 3500 \Rightarrow$ Régimen turbulento

Una vez se conozca el régimen de flujo se procederá a obtener el valor del coeficiente de fricción. Las expresiones que se utilizarán serán:

- Cuando el régimen es laminar $\Rightarrow (4f) = \frac{64}{Re}$

- Régimen turbulento: Hay dos opciones

$$\frac{1}{\sqrt{(4f)}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{(4f)}} \right]$$

Gráfica de Moody (necesita conocer ε/D)

Como se puede observar, cuando el régimen es turbulento hay dos opciones para calcular $(4f)$, bien utilizando la ecuación empírica de Colebrook, bien utilizando el gráfico de Moody. Tanto para utilizar uno como otro se debe conocer el valor de ε/D , es decir, el término de *rugosidad relativa*.

En la figura 14 se muestra la gráfica de Moody para calcular el factor de fricción.

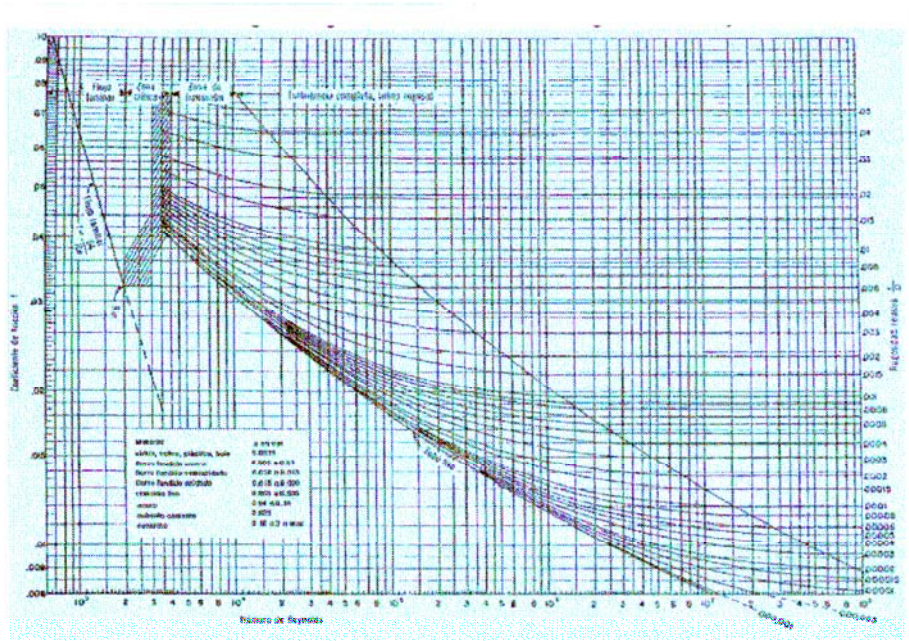


Fig. 14. Gráfica de Moody.

Para calcular el término de rugosidad relativa hay que conocer el material del que está hecho la conducción y su diámetro nominal, y utilizar este otro gráfico que muestra la figura 15.

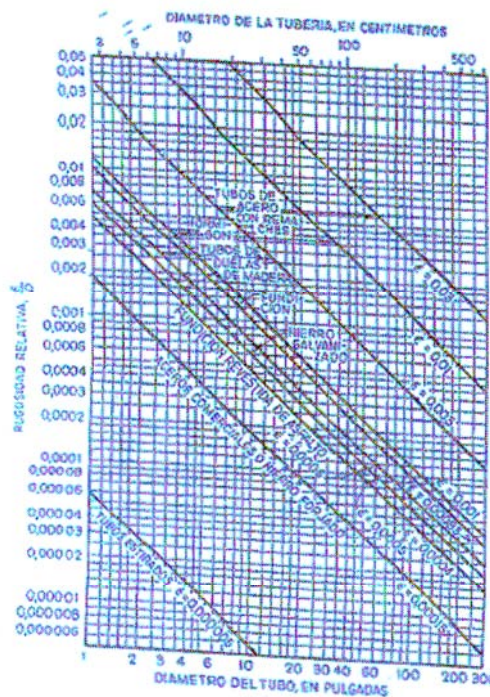


Fig. 15. Gráfico para el cálculo de la rugosidad relativa.

Todos estos cálculos son necesarios para conocer la pérdida de carga producida por la tubería recta. Por otro lado, para conocer las pérdidas de carga producidas por los accesorios pueden emplearse dos métodos:

- **Método gráfico:** se calcula mediante una gráfica la longitud equivalente del accesorio en cuestión en función del diámetro de la tubería. Esta longitud equivalente se suma a la longitud de tubo recto de la ecuación de Fanning (L) y se resuelve. La pérdida de carga que se obtiene entonces es la total, es decir, la suma de las pérdidas por accesorios y las producidas por la tubería recta. Este método puede encontrarse en la bibliografía resuelto en forma de tablas como la que muestra la figura 16.

Tipo	Pase								Pase													
	Pase								Pase													
	Milímetros	600	500	450	400	350	300	250	200	150	125	100	80	65	50	40	32	25	20	15	10	
	Pulgadas	24"	20"	18"	16"	14"	12"	10"	8"	6"	5"	4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	1"	3/4"	1/2"	1/4"	
COMPUERTA																						
Totalmente abierta	7,8	6,5	5,85	5,2	4,55	3,9	3,25	2,6	1,95	1,62	1,3	1,04	0,845	0,65	0,52	0,416	0,325	0,26	0,195	0,13		
3/4 abierta	21	17,5	15,75	14	12,25	10,5	8,75	32	5,25	4,37	3,5	2,8	2,27	1,75	1,4	1,12	0,87	0,7	0,52	0,35		
1/2 abierta	36	30	27	24	21	18	15	180	135	112,5	90	72	58,5	42	36	28,8	22,5	18	13,5	9		
1/4 abierta	540	450	405	360	315	270	225															
ACCESORIO																						
De tapón o blind	204	170	153	136	119	102	85	68	51	42,5	34	27,2	22,1	17	13,6	10,88	8,5	6,8	5,1	3,4		
Codo guías	270	225	202,5	180	157,5	135	112,5	90	67,5	56,25	45	36	28	28	19	15	12	9,6	7,2	5,4		
Flanjo inclinado 90°	105	87,5	78,75	70	61,25	52,5	43,75	40	30	24,37	19,5	14	11,25	8,75	7	5,6	4,37	3,5	2,62	1,75		
De ángulo	180	150	135	120	105	90	75	60	45	36	28	22,4	17,6	13,6	10,88	8,5	6,8	5,1	3,4			
REDUCCION																						
De diámetro oscilante	81	67,5	60,75	54	47,25	40,5	33,75	27	20,25	16,81	13,5	10,8	8,77	6,75	5,4	4,32	3,375	2,7	2,02	1,35		
De planta	270	225	202,5	180	157,5	135	112,5	90	67,5	56,25	45	36	28,1	17	13,6	10,9	8,5	6,8	5,1	3,4		
MANIFOLD																						
Totalmente abierta	19,5	16,25	13	9,75	8,125	6,5	5,2	4,22	3,25	2,6	2,06	1,62	1,3	0,975	0,65	0,6	0,47	0,43	0,25			
GIRO																						
De dos vías	10,8	9	8,1	7,2	6,3	5,4	4,5	3,6	2,7	2,25	1,8	1,44	1,17	0,9	0,72	0,57	0,45	0,36	0,27	0,18		
Tres vías, paso recto	26,4	22	19,8	17,6	15,4	13,2	11	8,8	6,6	5,4	4,4	3,52	2,86	2,2	1,76	1,4	1,1	0,83	0,66	0,44		
Tres vías, paso angular	84	70	63	56	49	42	35	28	21	17,5	14	11,2	9,1	7	5,6	4,48	3,5	2,8	2,1	1,4		
DE PIE																						
Obturador doble ascendente	252	210	189	168	147	126	105	84	63	52,5	42	33,6	27,3	21	16,8	13,44	10,5	8,4	6,3	4,2		
Obturador oscilante	45	37,5	33,75	30	26,25	22,5	18,75	15	11,25	9,37	7,5	6	4,87	3,75	3	2,4	1,87	1,32	1,15	0,75		
ACCESORIOS																						
Codo a 90°	18	15	13,5	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3,75	3	2,4	1,95	1,5	1,2	0,96	0,75	0,6	0,45	0,3		
Codo a 45°	9,6	8	7,2	6,4	5,6	4,8	4,0	3,2	2,4	1,95	1,5	1,2	0,96	0,75	0,6	0,48	0,36	0,28	0,2			
T. plano recto	12	10	9	8	7,0	6	5	4	3	2,5	2,0	1,6	1,3	1	0,8	0,64	0,5	0,4	0,3	0,2		
T. plano angular	36	30	27	24	21	18	15	12	9	7,5	6	4,8	3,9	3	2,4	1,92	1,5	1,2	0,9	0,6		
T. fondo a 180°	30	25	22,5	20	17,5	15	12,5	10	7,5	6,25	5	4	3,25	2,5	2,0	1,6	1,25	1,0	0,75	0,5		

Las pérdidas de carga están dadas en longitud equivalente en metros de tubería.

Fig. 16. Tabla para el cálculo de las pérdidas de carga por válvulas y accesorios según el método gráfico.

- Método analítico: se empleará la expresión siguiente.

$$h_{f_{\text{accesorio}}} = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

En esta expresión, K es un valor que depende del accesorio del que se trate. Los valores de K también se encuentran tabulados, como se muestra en la tabla 39.

Accesorio	K
Codo 45°	0.35
Codo 90°	0.75
Té	1.0
Unión	0.04
Retorno en U	1.5
Válvula compuerta	0.17
Válvula globo	6.0
Válvula de retención	70.0
Válvula de 3 vías	0.15
Medidor de caudal	15.0

Tabla 39. Valores de K para accesorios.

14.2 Cavitación en bombas

La cavitación es un fenómeno que se produce siempre que la presión en algún punto de un líquido desciende por debajo de un valor admisible. Este valor es la presión de vapor, que es la presión a la cual un líquido se evapora, es decir, pasa a estado gaseoso.

En el caso de una bomba, si la presión en la aspiración es menor que la presión de vaporización, parte del líquido que se aspira se evapora produciéndose burbujas, cavidades, que al llegar a zonas con mayor presión vuelven al estado líquido de forma súbita, produciéndose una condensación violenta con una reducción brusca de volumen y con una elevación local de la presión que produce un impacto brusco en el contorno.

Este efecto, puede ser muy perjudicial para los sistemas de impulsión de fluidos como las bombas, ya que los rodets quedan como carcomidos, erosionados, aumenta considerablemente el nivel de ruido y disminuye la eficacia de la bomba. La presión crítica a la que aparece la cavitación depende de numerosos factores: naturaleza del líquido, temperatura, presiones, etc.

Concepto de NPSH

En la aspiración de la bomba la presión de la bomba nunca debe estar por debajo de la presión de vapor para evitar que se produzca cavitación.

La energía disponible para que el agua circule por la tubería de aspiración y que entre a la bomba es siempre la altura de aspiración menos la presión de vapor a la temperatura de bombeo, y suele expresarse en metros de columna de líquido. Este concepto es lo que se llama NPSH (altura de aspiración neta positiva, Net Positive Suction Head).

Puede interpretarse como la altura de equilibrio de presión que nos dice cuántos metros debe tener la altura de presión en la línea de aspiración por encima de la presión de vapor del líquido para que no pueda producirse la vaporización del mismo, asegurándose así el perfecto funcionamiento de la bomba.

Este concepto de NPSH se expresa en metros y se pueden distinguir dos NPSH diferentes:

- $NPSH_r$: Es el NPSH requerido por la bomba, y es el valor mínimo de la presión a la cual puede funcionar la bomba sin cavitación. Es un dato característico de cada bomba, de su proyecto y lo suministra el fabricante, que lo obtiene por ensayos.
- $NPSH_d$: Es el NPSH disponible, y es la energía que tiene un líquido en la toma de aspiración de la bomba (independientemente del tipo de bomba), por encima de la energía del líquido, debido a su presión de vapor. Es un dato que depende de la instalación de la bomba y es por tanto calculable.

Para que no exista cavitación y la bomba funcione correctamente ha de cumplirse la siguiente condición:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Para calcular el $NPSH_d$ se utiliza la siguiente expresión:

$$NPSH_d = \frac{P_a - P_{vapor}}{\rho \cdot g} \pm H_a - H_{f_{aspiración}}$$

siendo:

- P_a : Presión en el punto inicial de aspiración
- P_{vapor} : Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo
- H_a : Altura geométrica de aspiración. Esta altura será positiva si el líquido a aspirar está por encima del nivel de la bomba, siendo negativa en caso contrario.
- $H_{f_{aspiración}}$: Pérdida de carga en la aspiración del líquido.

Otra forma de expresar el $NPSH_d$ es:

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Donde:

- h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) aplicada al fluido, expresada en metros de líquido.
- h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito hacia la entrada de la bomba, expresada en metros.
 - ✓ Si la bomba está debajo del depósito, h_s es positiva.
 - ✓ Si la bomba está por encima del depósito, h_s es negativa.
- h_f : Pérdida de carga por fricción en la tubería de succión, en metros.
- h_{vp} : Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, en metros.

Este fenómeno se produce normalmente en bombas del tipo centrífugas, aunque, excepcionalmente, puede darse en bombas de desplazamiento positivo.

14.3 Cálculo y selección de bombas

Una vez hechas las aclaraciones anteriores, se puede comenzar a calcular las pérdidas de carga en cada tramo de tubería así como la potencia que deberá suministrar cada bomba que se coloque. Para hacerlo se dividirá en tramos la red de tuberías tal y como se hizo en el apartado 13.

➤ **Tramo1: Baños → T. Oxidación**

En este tramo se harán dos divisiones ya que son dos líneas realmente, la que va del baño de mordentado al tanque y la que va del enjuague al tanque.

Se identificarán de la siguiente forma:

- Tramo 1.a : la que unirá el baño de enjuague con el tanque de oxidación.
- Tramo 1.b : la que unirá el baño de mordentado con el tanque de oxidación.

La diferencia entre los dos tramos será que el 1.b tendrá más longitud de tubería recta y algún accesorio más pero por lo demás son iguales.

- Tramo 1.a.: Enjuague → T. Oxidación

Calculando las pérdidas de carga tal y como se explicó anteriormente los datos obtenidos se resumen en las siguientes tablas.

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (<i>Q</i>)	0.00027
Diámetro tubería (m) (<i>D</i>)	0.025
Sección (m ²) (<i>S</i>)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (<i>v</i>)	0.55 ⁽¹⁾
Densidad (Kg/m ³) (<i>ρ</i>)	1000
Viscosidad (Kg/m s) (<i>μ</i>)	0.001

⁽¹⁾ velocidad del fluido recalculada a partir del diámetro real de la tubería.

Con estos datos se obtiene, aplicando Re , el régimen de flujo y posteriormente, el factor de fricción. En la siguiente tabla se representa el valor de Re obtenido, el del factor de fricción y el de la rugosidad relativa, ya que en este caso el régimen es turbulento.

Re	13750.95
$(4f)$	0.025
ε/D	0.0007

Una vez obtenido el valor de $(4f)$, se procede a representar en la siguiente tabla las pérdidas de carga debidas a la tubería recta.

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	27.38
$h_{ftubería}$ (m)	0.422

En esta tabla se presentan los valores obtenidos en las pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{faccesorio}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	0.0023
Codo 90°	5	0.75	0.0578
Válvula regulación	1	70	1.079
Medidor de caudal	1	15	0.231
TOTAL			1.370

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernoulli para obtener la carga mecánica que debe aplicar la bomba. Lo primero será calcular los valores de presión, velocidad y altura en los puntos A y B. El punto A estará colocado a 1.5 m por debajo del nivel de líquido del baño y el punto B estará en la superficie del líquido en el tanque de oxidación.

$$P_A = P_{atm} + \rho \times g \times Q = 116015 \text{ Pa}$$

$$P_B = P_{atm} = 101300 \text{ Pa}$$

$$v_A = 0.55 \text{ m/s}$$

$v_B = 0 \Rightarrow$ ya que el diámetro del tanque es mucho mayor que el de la tubería

$$z_A = 1.5 \text{ m}$$

$$z_B = 5.68 \text{ m}$$

$$h_{fTOTAL} = 1.14 + 0.42 = 1.792 \text{ m}$$

Con estos datos ya se puede resolver Bernouilli:

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + \Delta z + h_{fTOTAL} = \eta \cdot \Delta h$$

$$\eta \cdot \Delta h = 4.44 \text{ m}$$

Si se supone un rendimiento 60%, la altura que la bomba debe aportar será:

$$\Delta h = \frac{4.44}{0.6} = 7.408 \text{ m}$$

Se calcula ahora la potencia que debe aportar la bomba utilizando la siguiente expresión.

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 19.62 \text{ W}$$

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_d$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

La expresión mediante la que se va a calcular el $NPSH_d$ es la siguiente:

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Donde:

- h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) aplicada al fluido, expresada en metros de líquido.
- h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito hacia la entrada de la bomba, expresada en metros.
 - ✓ Si la bomba está debajo del depósito, h_s es positiva.
 - ✓ Si la bomba está por encima del depósito, h_s es negativa.
- h_f : Pérdida de carga por fricción en la tubería de succión, en metros.
- h_{vp} : Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, en metros.

Los datos de los que se dispone se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1.5 m
h_f	0.014 m
h_{vp}	0.238 m ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Presión de vapor del agua pura a 20° C.

A continuación se resuelve la ecuación anterior con estos datos y se obtiene el siguiente resultado.

$$NPSH_d = 11.58 \text{ m}$$

El dato de $NPSH_r$ lo facilita el fabricante, para este caso y los demás en los que se vayan a utilizar bombas centrífugas se tomará $NPSH_r = 2 \text{ m}$. Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.

- Tramo 1.b.: Mordentado → T. Oxidación

El cálculo se hará exactamente igual que el anterior, variando las propiedades del fluido, los accesorios, etc. Una vez se obtenga la potencia que deberá suministrar la bomba, se comparará con la del tramo 1.b y se elegirá la que sea mayor, ya que con una válvula de tres vías uniremos ambas líneas para hacer una sola y así reducir costes.

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (<i>Q</i>)	0.00027
Diámetro tubería (m) (<i>D</i>)	0.025
Sección (m ²) (<i>S</i>)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (<i>v</i>)	0.55
Densidad (Kg/m ³) (<i>ρ</i>)	1197
Viscosidad (Kg/m s) (<i>μ</i>)	0.001

Con estos datos se procede a calcular *Re* y el factor de fricción (*4f*).

<i>Re</i>	16459.89
(<i>4f</i>)	0.023
$\frac{\epsilon}{D}$	0.0007

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (<i>L</i>)	30.38
<i>h</i> _{tubería} (m)	0.431

Las pérdidas de carga debida a los accesorios son:

Accesorio	Unidades	K	$h_{f\text{accesorio}}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	0.0023
Codo 90°	6	0.75	0.0693
Válvula regulación	1	70	1.079
Medidor de caudal	1	15	0.231
TOTAL			1.382

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli tal y como se hizo anteriormente. Los resultados obtenidos son los siguientes.

$$\eta \cdot \Delta h = 7.52 \text{ m} \Rightarrow \Delta h = \frac{7.52}{0.6} = 12.53 \text{ m}$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 39.74 \text{ W}$$

La potencia de la bomba en este caso debe ser mayor que el doble que para el tramo 1.a. Por este motivo, se decide colocar una única bomba de 38.52 W de potencia que sirva para transportar ambos líquidos en una misma línea.

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_d$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

La expresión mediante la que se va a calcular el $NPSH_d$ es la misma que en el caso anterior y será la que se utilizará en todos los casos posteriores.

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Los datos de los que se dispone, para este caso, se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1.5 m
h_f	0.025 m
h_{vp}	0.016 m

A continuación se resuelve la ecuación anterior con estos datos y se obtiene el siguiente resultado.

$$NPSH_d = 11.78 \text{ m}$$

$$NPSH_r = 2 \text{ m}$$

Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.

➤ **Tramo2: T. Oxidación → T. Neutralización**

Análogamente al caso anterior, se realizarán los cálculos cuando la corriente líquida sea la proveniente del baño de enjuague y cuando sea la del mordentado. La bomba de mayor potencia será la que se colocará finalmente en la instalación.

✓ Al tratar el enjuague

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (<i>Q</i>)	0.00027
Diámetro tubería (m) (<i>D</i>)	0.025
Sección (m ²) (<i>S</i>)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (<i>v</i>)	0.55
Densidad (Kg/m ³) (<i>ρ</i>)	1000
Viscosidad (Kg/m s) (<i>μ</i>)	0.001

Con estos datos se obtiene, aplicando *Re*, el régimen de flujo y posteriormente, el factor de fricción.

<i>Re</i>	13750.95
(4 <i>f</i>)	0.025
$\frac{\epsilon}{D}$	0.0007

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (<i>L</i>)	5.36
<i>h</i> _{tubería} (m)	0.082

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{\text{accesorio}} \text{ (m)}$
Válvula 3 vías	1	0.15	0.0023
Codo 90°	2	0.75	0.0231
Válvula regulación	1	70	1.08
Té	2	1	0.03
TOTAL			1.135

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = 0.89 \text{ m} \Rightarrow \Delta h = \frac{0.89}{0.6} = 1.49 \text{ m}$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 3.93 \text{ W}$$

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_a$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

Los datos de los que se dispone, para este caso, se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1 m
h_f	0.03 m
h_{vp}	0.238 m

$$NPSH_d = 11.06 \text{ m}$$

$$NPSH_r = 2 \text{ m}$$

Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.

✓ *Al tratar el mordentado*

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (<i>Q</i>)	0.00027
Diámetro tubería (m) (<i>D</i>)	0.025
Sección (m ²) (<i>S</i>)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (<i>v</i>)	0.55
Densidad (Kg/m ³) (<i>ρ</i>)	1197
Viscosidad (Kg/m s) (<i>μ</i>)	0.001

Con estos datos se procede a calcular *Re* y el factor de fricción (*4f*).

<i>Re</i>	16459.893
(<i>4f</i>)	0.023
$\frac{\epsilon}{D}$	0.0007

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	5.36
$h_{ftubería}$ (m)	0.076

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{faccesorio}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	0.0023
Codo 90°	2	0.75	0.0231
Válvula regulación	1	70	1.08
Té	2	1	0.03
TOTAL			1.135

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = 0.883 \text{ m} \Rightarrow \Delta h = \frac{0.883}{0.6} = 1.472 \text{ m}$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 4.67 \text{ W}$$

Por tanto, la bomba que se instalará será la de mayor potencia, es decir, la de 4.67 W.

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_d$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

Los datos de los que se dispone, para este caso, se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1 m
h_f	0.03 m
h_{vp}	0.016 m

$$NPSH_d = 11.28 \text{ m}$$

$$NPSH_r = 2 \text{ m}$$

Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.

➤ **Tramo3: T. Neutralización → Decantación**

✓ *Al tratar el enjuague*

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (Q)	0.00027
Diámetro tubería (m) (D)	0.025
Sección (m ²) (S)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (v)	0.55
Densidad (Kg/m ³) (ρ)	1000
Viscosidad (Kg/m s) (μ)	0.003

Re	4583.65
$(4f)$	0.04
ε/D	0.0007

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	5.05
$h_{tubería}$ (m)	0.124

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{faccesorio}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	0.0023
Codo 90°	2	0.75	0.0231
Válvula regulación	2	70	2.158
Té	2	1	0.03
TOTAL			2.215

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = 1.36 m \Rightarrow \Delta h = \frac{1.36}{0.6} = 2.26 m$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 6W$$

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_d$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

Los datos de los que se dispone, para este caso, se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1 m
h_f	0.03 m
h_{vp}	0.238 m

$$NPSH_d = 11.06 \text{ m}$$

$$NPSH_r = 2 \text{ m}$$

Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.

✓ Al tratar el mordentado

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (<i>Q</i>)	0.00027
Diámetro tubería (m) (<i>D</i>)	0.025
Sección (m ²) (<i>S</i>)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (<i>v</i>)	0.55
Densidad (Kg/m ³) (<i>ρ</i>)	1197
Viscosidad (Kg/m s) (<i>μ</i>)	0.002

<i>Re</i>	8229.94
(<i>4f</i>)	0.032
$\frac{\epsilon}{D}$	0.0007

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (<i>L</i>)	5.05
<i>h</i> _{tubería} (m)	0.105

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{f\text{accesorio}}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	0.0023
Codo 90°	2	0.75	0.0231
Válvula regulación	2	70	2.158
Té	2	1	0.03
TOTAL			2.215

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = 1.341 \text{ m} \Rightarrow \Delta h = \frac{1.341}{0.6} = 2.235 \text{ m}$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 7.086 \text{ W}$$

Por tanto, la bomba que se instalará será la de mayor potencia, es decir, la de 7.086 W.

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_d$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

Los datos de los que se dispone, para este caso, se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1 m
h_f	0.03 m
h_{vp}	0.016 m

$$NPSH_d = 11.28 \text{ m}$$

$$NPSH_r = 2 \text{ m}$$

Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.

➤ **Tramo4: Decantador → Filtro**

La planta está dotada de dos filtros prensa, esto quiere decir que la línea que une el decantador con los filtros se bifurcará en un punto y formará dos líneas que irán a cada decantador. Estas dos líneas serán exactamente iguales, por tanto bastará con analizar una para conocer las pérdidas en la otra. Esto evitará que se tenga que hacer una división como se hizo para el tramo 1.

Además, en este tramo se va a transportar el lodo, cuya composición es prácticamente la misma tanto para el que proviene del enjuague como el del mordentado, es por esto, que en este caso no tendremos que analizar ambos casos por separado.

✓ *Al tratar el enjuague*

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (<i>Q</i>)	0.0000316
Diámetro tubería (m) (<i>D</i>)	0.063
Sección (m ²) (<i>S</i>)	0.00311
Velocidad del fluido (m/s) (<i>v</i>)	0.026
Densidad (Kg/m ³) (<i>ρ</i>)	2000
Viscosidad (Kg/m s) (<i>μ</i>)	50

Re	0.024
$(4f)$	2638.944

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	5.60
$h_{tubería}$ (m)	1.107

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{faccesorio}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	7.08×10^{-7}
Codo 90°	3	0.75	1.06×10^{-5}
Válvula regulación	1	70	0.00033
Té	1	1	4.72×10^{-6}
TOTAL			0.00035

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = 42.9m \Rightarrow \Delta h = \frac{42.9}{0.6} = 71.5m$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 42.08 W$$

En este caso no se harán los cálculos correspondientes a la posible cavitación de la bomba ya que, en bombas de este tipo, la cavitación es muy improbable.

➤ **Tramo5: Decantador → Depósito de descarga**

En este caso, no hará falta colocar bomba alguna ya que se instalará una línea que irá directamente del rebosadero del decantador al depósito de descarga con una ligera pendiente para que líquido caiga por gravedad. La línea será de aproximadamente 1.5 m de largo.

➤ **Tramo6: Filtro → Depósito de descarga**

Cada filtro tiene su propia línea de descarga, aunque en un punto se unirán para ir a parar al depósito de descarga. De forma análoga al caso anterior, no se instalará ninguna bomba ya que el punto de descarga estará situado por debajo del filtro prensa y la longitud de tubo no será excesiva.

➤ **Tramo7: Depósito de descarga → Baños**

Esta línea será común para ambas corrientes hasta llegar a un punto donde mediante una válvula de tres vías se bifurcará en dos líneas, una que irá al baño de mordentado y la otra al baño de enjuague. Las líneas serán 7.a y 7.b respectivamente. Para calcular las pérdidas de carga se utilizará el mismo esquema que se ha ido siguiendo en apartados anteriores, haciendo los cálculos por separado para el enjuague y el mordentado.

El caudal elegido será el mismo que se eligió al calcular la línea del tramo 7 en el apartado 13.

- Tramo 7.a.: D. Descarga → Baño mordentado

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (<i>Q</i>)	0.00026
Diámetro tubería (m) (<i>D</i>)	0.025
Sección (m ²) (<i>S</i>)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (<i>v</i>)	0.53
Densidad (Kg/m ³) (<i>ρ</i>)	1197
Viscosidad (Kg/m s) (<i>μ</i>)	0.001

Re	15850.26
$(4f)$	0.024
ε/D	0.0007

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	9.66
$h_{tubería}$ (m)	0.132

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{faccesorio}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	0.00214
Codo 90°	2	0.75	0.0214
Válvula regulación	1	70	1
Té	1	1	0.0143
TOTAL			1.038

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = -1.48 m \Rightarrow \Delta h = \frac{-1.48}{0.6} = -2.47 m$$

En este caso, como Δh tiene un valor negativo, se puede concluir que no haría falta instalar ninguna bomba. El líquido se devuelve al baño mediante la acción de la gravedad.

- Tramo 7.b.: D. Descarga → Baño enjuague

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m^3/s) (Q)	0.00026
Diámetro tubería (m) (D)	0.025
Sección (m^2) (S)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (v)	0.53
Densidad (Kg/m^3) (ρ)	1000
Viscosidad ($Kg/m\ s$) (μ)	0.001

Re	13241.66
$(4f)$	0.025
ε/D	0.0007

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	8
$h_{tubería}$ (m)	0.114

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{\text{accesorio}}$ (m)
Válvula 3 vías	1	0.15	0.0022
Codo 90°	2	0.75	0.022
Válvula regulación	1	70	1
Té	1	1	0.0143
TOTAL			1.04

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = -1.5m \Rightarrow \Delta h = \frac{-1.5}{0.6} = -2.5m$$

Ocurre lo mismo que en el caso anterior, por tanto se puede concluir que no hace falta instalar bomba alguna en este tramo.

➤ **Tramo 8.a : Depósito de agua oxigenada → T. Oxidación**

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (Q)	0.00000135
Diámetro tubería (m) (D)	0.025
Sección (m ²) (S)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (v)	0.00275
Densidad (Kg/m ³) (ρ)	1000
Viscosidad (Kg/m s) (μ)	0.001

Re	68.75
$(4f)$	0.93

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	5.08
$h_{tubería}$ (m)	7.3×10^{-5}

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{accesorio}$ (m)
Codo 90°	3	0.75	8.67×10^{-7}
Válvula regulación	1	70	2.7×10^{-5}
TOTAL			2.78×10^{-5}

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = 1m \Rightarrow \Delta h = \frac{1}{0.6} = 1.67 m$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 0.022 W$$

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_d$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

Los datos de los que se dispone, para este caso, se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1 m
h_f	3.88×10^{-7} m
h_{vp}	0.12 m

$$NPSH_d = 11.21 \text{ m}$$

$$NPSH_r = 2 \text{ m}$$

Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.

➤ **Tramo 8.b : Depósito de amoníaco → T. Neutralización**

DATOS DE PARTIDA	
Caudal (m ³ /s) (Q)	0.000000162
Diámetro tubería (m) (D)	0.025
Sección (m ²) (S)	0.00049
Velocidad del fluido (m/s) (v)	0.00033
Densidad (Kg/m ³) (ρ)	900
Viscosidad (Kg/m s) (μ)	0.001

Re	7.425
$(4f)$	8.618

PÉRDIDAS DE CARGA DEBIDAS A LA TUBERÍA RECTA	
Longitud tubería recta (m) (L)	7.95
$h_{ftubería}$ (m)	1.52×10^{-5}

Pérdidas de carga debidas a los accesorios.

Accesorio	Unidades	K	$h_{faccesorio}$ (m)
Codo 90°	3	0.75	1.25×10^{-8}
Válvula regulación	1	70	3.89×10^{-7}
TOTAL			4.01×10^{-7}

Ahora se procede a resolver la ecuación de Bernouilli.

$$\eta \cdot \Delta h = 0.9m \Rightarrow \Delta h = \frac{0.9}{0.6} = 1.5m$$

$$W = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot Q \Rightarrow W = 0.0021 W$$

Cavitación

Ahora se procederá a calcular el $NPSH_d$ y compararlo con en el $NPSH_r$ para asegurar que la bomba no sufrirá cavitación.

Los datos de los que se dispone, para este caso, se adjuntan en la siguiente tabla.

h_{sp}	10.33 m
h_s	1 m
h_f	3.88×10^{-7} m
h_{vp}	4.9 m

$$NPSH_d = 6.43m$$

$$NPSH_r = 2 m$$

Por tanto, queda comprobado que:

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

Se puede afirmar que la bomba no sufrirá cavitación.



DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE
EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA
UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Anexo 1-II:
Tablas y figuras

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

MATERIAL	SOBRESPEJOR NORMAL PARA CORROSIÓN (mm)
Acero al carbono	3
Acero baja aleación	3
Acero media aleación	1.5
Acero alta aleación	1.5
Material no férreo	0.5
Con recubrimiento interior	0

Tabla 8. Sobreespesor normal para corrosión según material.
Fuente: "Manual de Recipientes a Presión" (Megyesy).

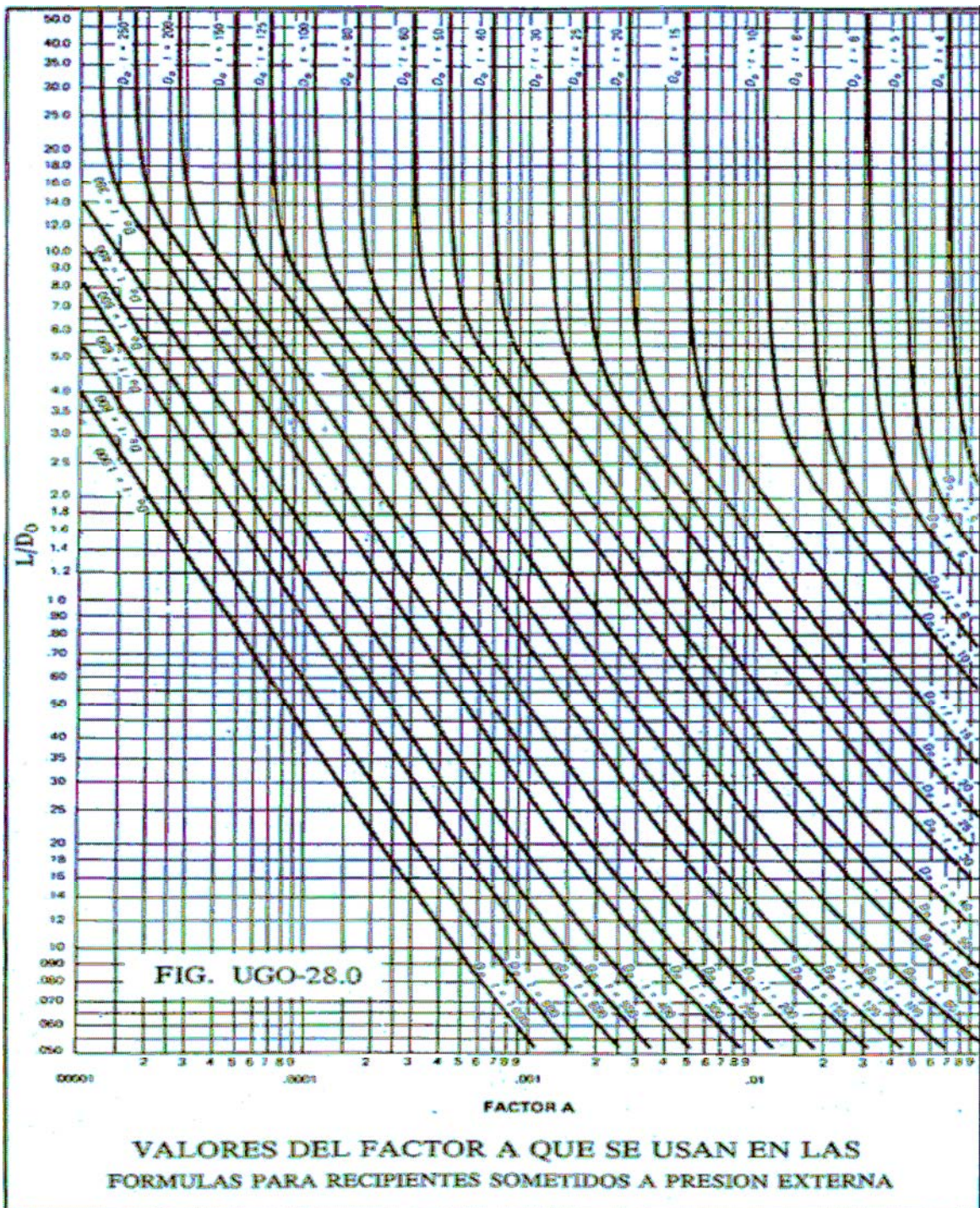


Fig. 1. Gráfico para el cálculo del valor del factor "A". Fuente: "Manual de Recipientes a Presión" (Megyesy).

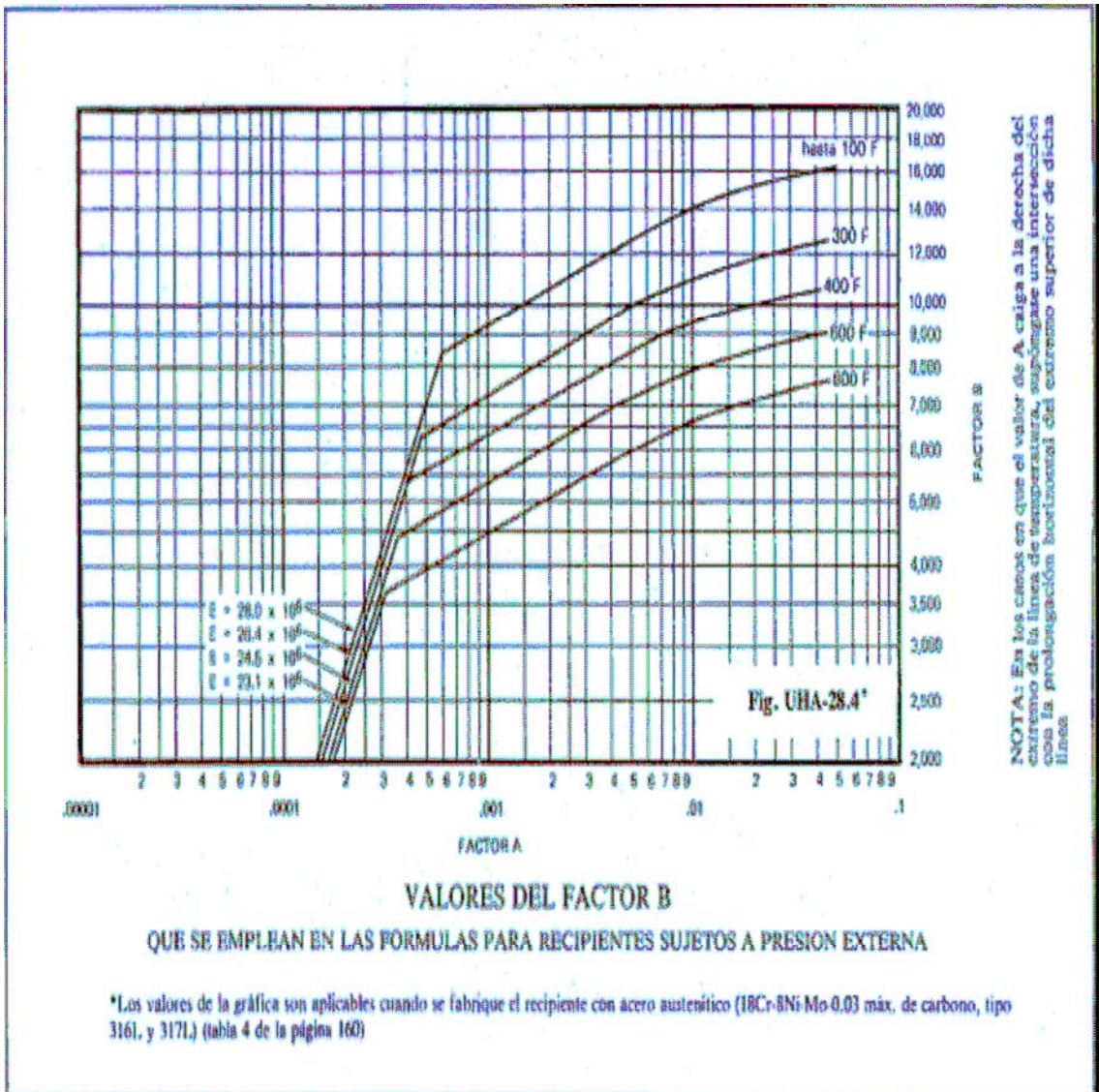


Fig. 2. Gráfico para el cálculo del valor del factor "B". Fuente: "Manual de Recipientes a Presión" (Megyesy).

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

TANQUE DE OXIDACIÓN		
ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	7
	ALTURA (m)	2.26
	VOLUMEN (m ³)	5.29
FONDO	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.45
	VOLUMEN (m ³)	0.66
PESTAÑA	ESPESOR (mm)	7
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.048
VOLUMEN TOTAL (m ³)		6
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.73
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.720
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.734

Tabla 10. Dimensiones reales del tanque de oxidación.

(*) Altura total sin contar las patas.

Φ exterior del recipiente (mm)	Patas soporte (cm)			Placas (mm)		Φ situación de los taladros (mm)	"A" (mm)	Φ pernos (mm)	Φ taladros (mm)	Carga máxima (Kg)			
	Nº	Tipo	Dimensiones	Lado	Espesor								
Hasta 750	3	L	70×70×10	120	10	Φ exterior del recipiente - 50	40	20	26	15400			
750 - 1050													
1050 - 1350			4	L	80×80×10		150	12	45		27	33	22500
1350 - 1650													200
1650 - 1950			250	12	90		62500						
1950 - 2260								250	12		90	82000	
2260 - 2565			6	I	200×90		280×119						Ver plano
2565 - 2870								150000					
2870 - 3200	6	I	200×90	280×119	Ver plano	—	27		33	85000			
> 3200								FALDÓN					

Tabla 11. Tabla para el cálculo del soporte de un tanque.

TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN		
ENVOLVENTE	ESPELOR (mm)	6
	ALTURA (m)	2.51
	VOLUMEN (m ³)	3.65
FONDO	ESPELOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.35
	VOLUMEN (m ³)	0.32
PESTAÑA	ESPELOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.03
VOLUMEN TOTAL (m ³)		4
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.88
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.360
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.372

Tabla 12. Dimensiones reales del tanque de neutralización.

(*) Altura total sin contar las patas.

DEPÓSITO DE DESCARGA		
ENVOLVENTE	ESPELOR (mm)	6
	ALTURA (m)	2.25
	VOLUMEN (m ³)	2.72
FONDO	ESPELOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.325
	VOLUMEN (m ³)	0.25
PESTAÑA	ESPELOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0.021
	VOLUMEN (m ³)	0.031
VOLUMEN TOTAL (m ³)		3
ALTURA TOTAL ^(*) (m)		2.6
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1.240
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1.252

Tabla 13. Dimensiones reales del depósito de descarga.

(*) Altura total sin contar las patas.

Dimensiones del decantador	
Área horizontal (m ²)	1.8
Volumen total (m ³)	3.6
Altura total (m)	2.66
Diámetro (m)	1.5

Tabla 14. Dimensiones reales del decantador.

Descripción	<ul style="list-style-type: none"> - 3 álabes (generalmente) - ángulo de inclinación del aspa constante
Campo de flujo generado	axial
Régimen alcanzado	turbulento
Velocidad tangencial	3 - 15 m/s
Viscosidad del medio	< 8 Pa × s
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - homogeneizar - suspender - favorecer el intercambio de calor

Tabla 15. Características de un rodete tipo hélice.

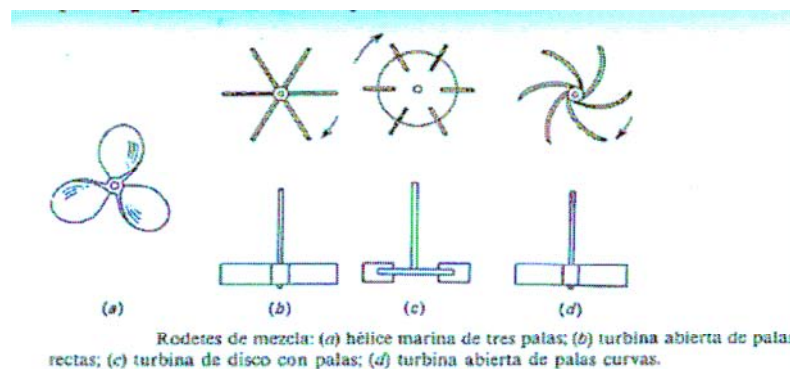


Fig. 7. Principales tipos de rodetes.


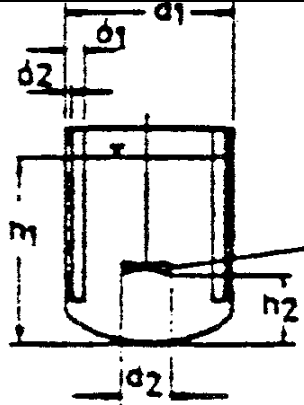
DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	GEOMETRIA
Agitador de hélice		 <p> $h_1 / d_1 = 1,0$ $d_2 / d_1 = 0,33$ $h_2 / d_1 = 0,33$ $\alpha = 25^\circ$ $\delta_1 / d_1 = 0,1$ $\delta_2 / d_1 = 0,02$ </p>

Fig. 10. Proporciones típicas de un agitador de hélice.

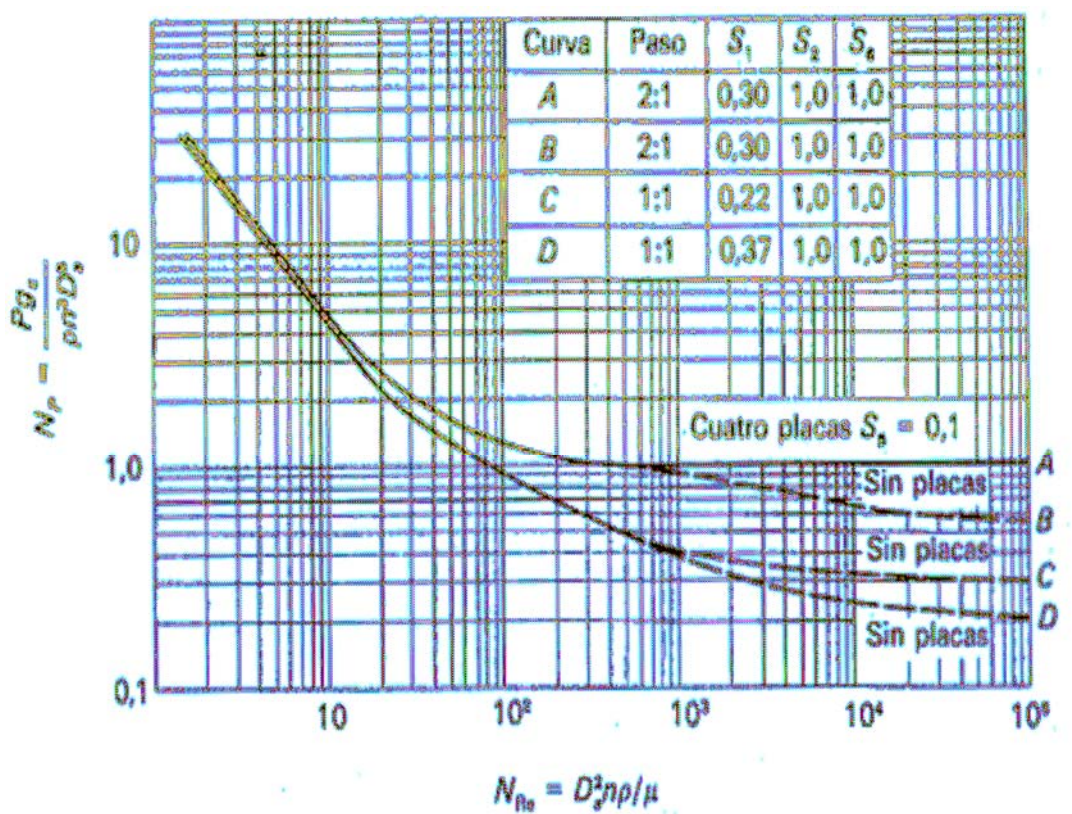
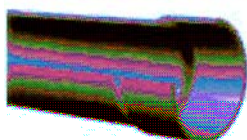


Fig. 11. Número de potencia N_P frente a N_{Re} para rodetes de tres palas. Fuente: "Operaciones unitarias en ingeniería química" (McCabe-Smith).

Figura	Línea	a	b
9.13	D	1,0	40,0
9.14	B	1,7	18,0
9.14	C	0	18,0
9.14	D	2,3	18,0

Fig. 12. Valores de las constantes a y b. Fuente: : "Operaciones unitarias en ingeniería química" (McCabe-Smith).

TUBOS DE PVC PRESION - Serie ENCOLAR -



Norma UNE - EN 1452

Dn (mm)	PN 6			PN 10			PN 16			PN 20		
	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L.	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L.	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L.	e (mm)	Referencia	PRECIO €/m.L.
20	-	010022	-	-	010042	-	-	010062	-	1,9	0100801	2,80
25	-	010023	-	-	010043	-	1,9	010063	2,25	2,3	0100802	4,25
32	-	010024	-	-	010044	-	2,4	010064	3,62	2,9	0100803	6,75
40	-	010025	-	1,9	010045	3,55	3,0	010065	5,57	3,7	0100804	10,70
50	-	010026	2,42	2,4	010046	4,92	3,7	010066	7,88	4,6	0100805	15,30
63	2,0	010027	5,24	3,0	010047	7,59	4,7	010067	12,53	5,8	0100806	24,15
75	2,3	010028	7,23	3,6	010048	10,84	5,6	010068	17,71	6,8	0100807	33,70
90	2,8	010029	10,35	4,3	010049	15,50	6,7	010069	25,53	8,2	0100808	48,75
110	2,7	010030	11,75	4,2	010050	17,84	6,6	010070	29,72	8,1	0100809	60,10
125	3,1	010031	15,37	4,8	010051	22,95	7,4	010071	37,86	9,2	0100810	77,40
140	3,5	010032	19,27	5,4	010052	28,97	8,3	010072	47,49	10,3	0100811	96,90
160	4,0	010033	24,90	6,2	010053	37,92	9,5	010073	61,95	11,8	0100812	126,40
180	4,4	010034	30,96	6,9	010054	47,20	10,7	010074	78,32	13,3	0100813	160,40
200	4,9	010035	38,02	7,7	010055	58,49	11,9	010075	96,61	14,7	0100814	196,65
250	6,2	010036	60,19	9,6	010056	90,98	14,8	010076	150,06	18,4	0100815	307,45
315	7,7	010037	93,58	12,1	010057	144,39	18,7	010077	249,40	23,2	0100816	487,95

Los tubos de diámetros entre 20 mm. y 50 mm. tienen una longitud total de 5 metros. Los tubos de diámetros entre 63 mm. y 315 mm. tienen una longitud total de 6 metros.

Conforme a la norma UNE - EN 1452.

Los tubos de PVC PRESION SERIE ENCOLAR están certificados con marca de calidad de producto AENOR.

PN = Presión Nominal expresada en bar (1 bar = 0,1 MPa).

Fig. 13. Precios de tubos de PVC según su diámetro nominal y presión nominal.

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

Enrique Navarro Montes

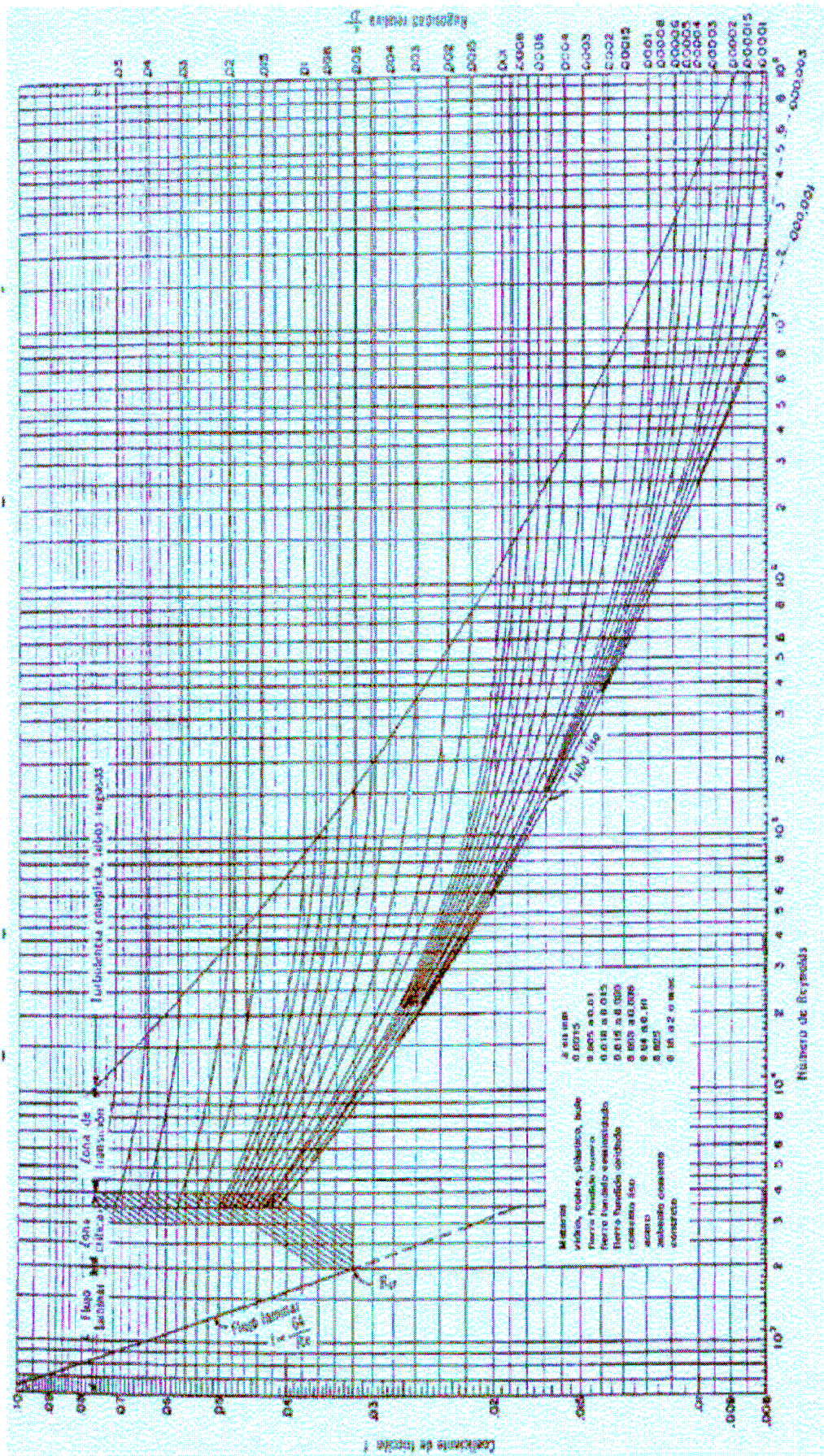


Fig. 14. Gráfica de Moody.

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

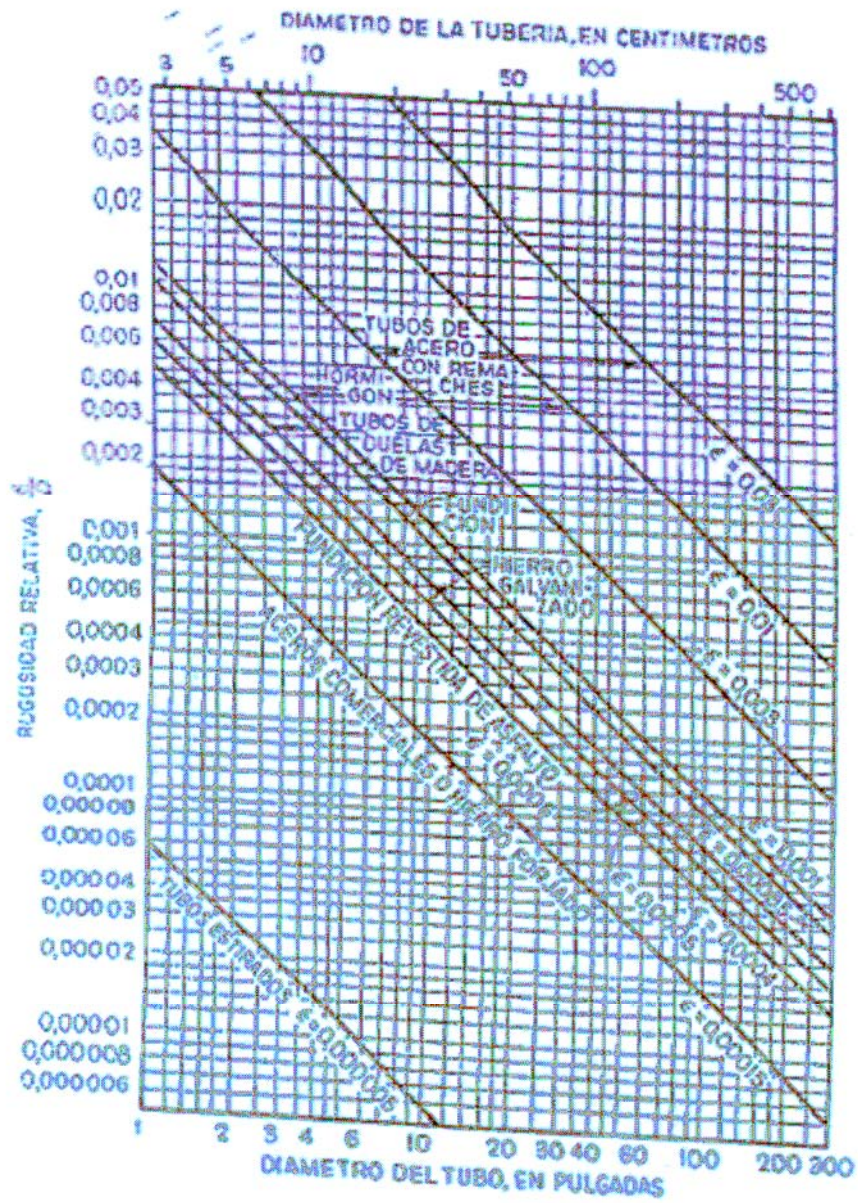


Fig. 15. Gráfico para el cálculo de la rugosidad relativa.

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

Enrique Navarro Montes

Pérdidas de carga por válvulas y accesorios								Paso																
		600	500	450	400	350	300	250	200	150	125	100	80	65	50	40	32	25	20	15	10			
		24"	20"	18"	16"	14"	12"	10"	8"	6"	5"	4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1 1/4"	1"	3/4"	3/4"	3/4"			
		Millímetros																						
		Pulgadas																						
Tipo																								
COMPUERTA																								
Totally abierta	7,8	6,5	5,85	5,2	4,55	3,9	3,25	2,6	1,95	1,62	1,3	1,04	0,845	0,65	0,52	0,416	0,325	0,26	0,195	0,13				
3/4 abierta	21	17,5	15,75	14	12,25	10,3	8,75	7	5,25	4,37	3,5	2,8	2,27	1,75	1,4	1,12	0,87	0,7	0,52	0,35				
1/2 abierta	96	80	72	64	56	48	40	32	24	20	16	12,8	10,4	8	6,4	5,12	4	3,2	2,4	1,6				
1/4 abierta	540	450	405	360	315	270	225	180	135	112,5	90	72	58,5	42	36	28,8	22,5	18	13,5	9				
ASIENTO																								
De tapón o bisel	204	170	153	136	119	102	85	68	51	42,5	34	27,2	22,1	17	13,6	10,88	8,5	6,8	5,1	3,4				
Con guías	270	225	202,5	180	157,5	135	112,5	90	67,5	56,25	45	36	28	28	19	15	12	8,8	6,7	4,8				
Husillo inclinado 60°	105	87,5	78,75	70	61,25	52,5	43,75	35	26,25	21,87	17,5	14	11,375	8,75	7	5,6	4,37	3,5	2,62	1,75				
De ángulo	120	100	90	80	70	60	50	40	30	25	20	16	14	9,42	7,25	5,8	4,64	3,62	2,9	2,17	1,45			
RETENCIÓN																								
De clapeta oscilante	81	67,5	60,75	54	47,25	40,5	33,75	27	20,25	16,81	13,5	10,8	8,77	6,75	5,4	4,32	3,375	2,7	2,02	1,35				
De pistón	270	225	202,5	180	157,5	135	112,5	90	67,5	56,25	45	36	22,1	17	13,6	10,9	8,5	6,8	5,1	3,4				
MARIPOSA																								
Totally abierta	19,5	16,25	13	9,75	8,125	6,5	5,2	4,22	3,25	2,6	2,08	1,62	1,3	0,975	0,65	0,6	0,57	0,43	0,25	—				
GRIFOS																								
De dos vías	10,8	9	8,1	7,2	6,3	5,4	4,5	3,6	2,7	2,25	1,8	1,44	1,17	0,9	0,72	0,57	0,45	0,36	0,27	0,18				
Tres vías, paso recto	26,4	22	19,8	17,6	15,4	13,2	11	8,8	6,6	5,5	4,4	3,52	2,86	2,2	1,76	1,4	1,1	0,83	0,66	0,44				
Tres vías, paso angular	84	70	63	56	49	42	35	28	21	17,5	14	11,2	9,1	7	5,6	4,48	3,5	2,8	2,1	1,4				
DE PIE																								
Obturador doble ascendente	252	210	189	168	147	126	105	84	63	52,5	42	33,6	27,3	21	16,8	13,44	10,5	8,4	6,3	4,2				
Obturador oscilante	45	37,5	33,75	30	26,25	22,5	18,75	15	11,25	9,37	7,5	6	4,87	3,75	3	2,4	1,87	1,12	1,15	0,75				
ACCESORIOS																								
Codo a 90°	18	15	13,5	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3,75	3	2,4	1,95	1,5	1,2	0,96	0,75	0,6	0,45	0,3				
Codo a 45°	9,6	8	7,2	6,4	5,6	4,8	4,0	3,2	2,4	2,0	1,6	1,28	1,04	0,8	0,64	0,51	0,4	0,32	0,24	0,16				
T. paso recto	12	10	9	8	7,0	6	5	4	3,0	2,5	2,0	1,6	1,3	1	0,8	0,64	0,5	0,4	0,3	0,2				
T. paso angular	36	30	27	24	21	18	15	12	9	7,5	6	4,8	3,9	3	2,4	1,92	1,5	1,2	0,9	0,6				
U (codo a 180°)	30	25	22,5	20	17,5	15	12,5	10	7,5	6,25	5	4	3,25	2,5	2,0	1,6	1,25	1,0	0,75	0,5				

Las pérdidas de carga están dadas en longitud equivalente en metros de tubería.

Fig. 16. Tabla para el cálculo de las pérdidas de carga por válvulas y accesorios según el método gráfico.

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

Accesorio	K
Codo 45°	0.35
Codo 90°	0.75
Té	1
Unión	0.04
Retorno en U	1.5
Válvula compuerta	0.17
Válvula globo	6
Válvula de retención	70
Válvula de 3 vías	0.15

Tabla 39. Valores de K para accesorios.



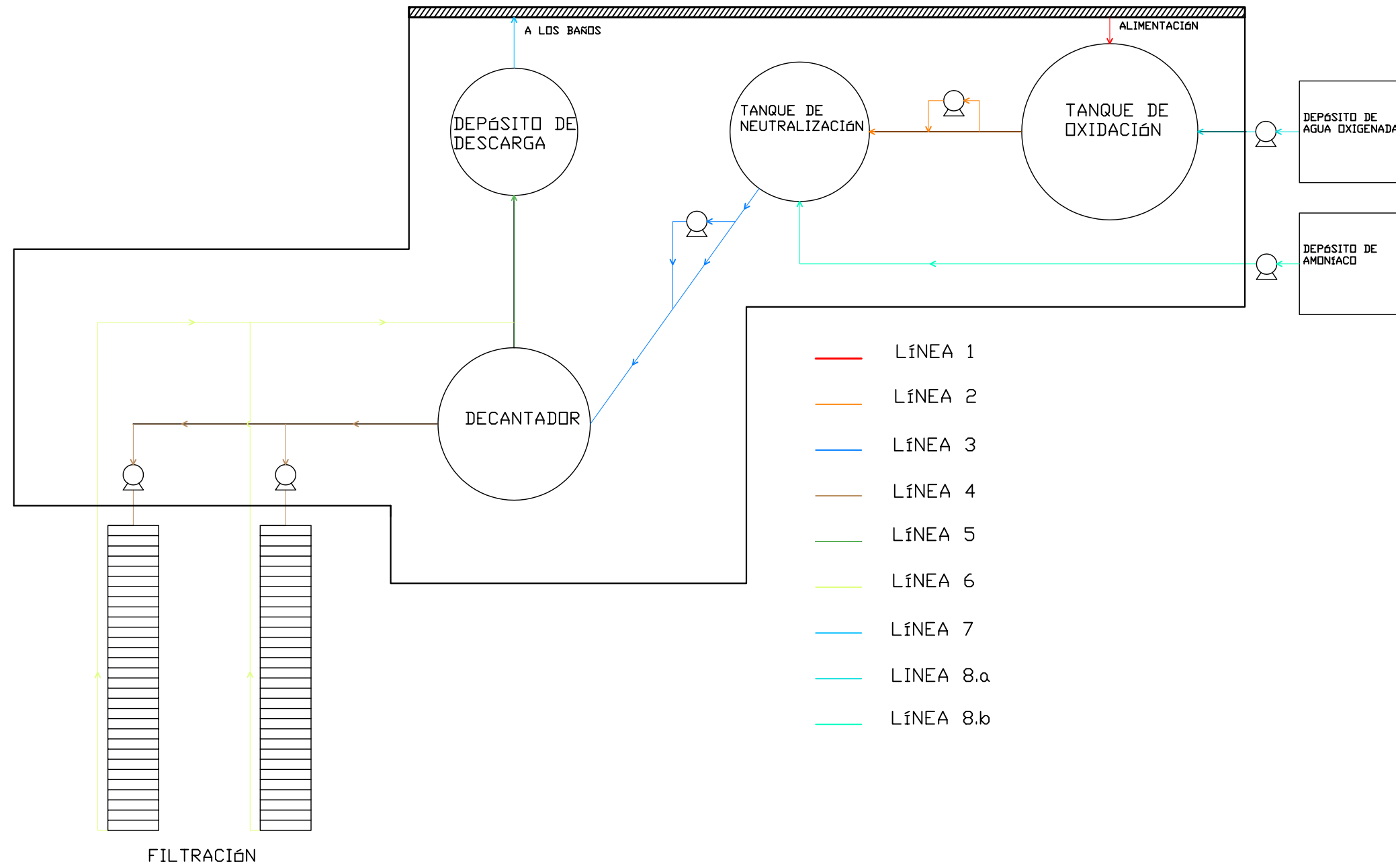
DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE
EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA
UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Documento III :

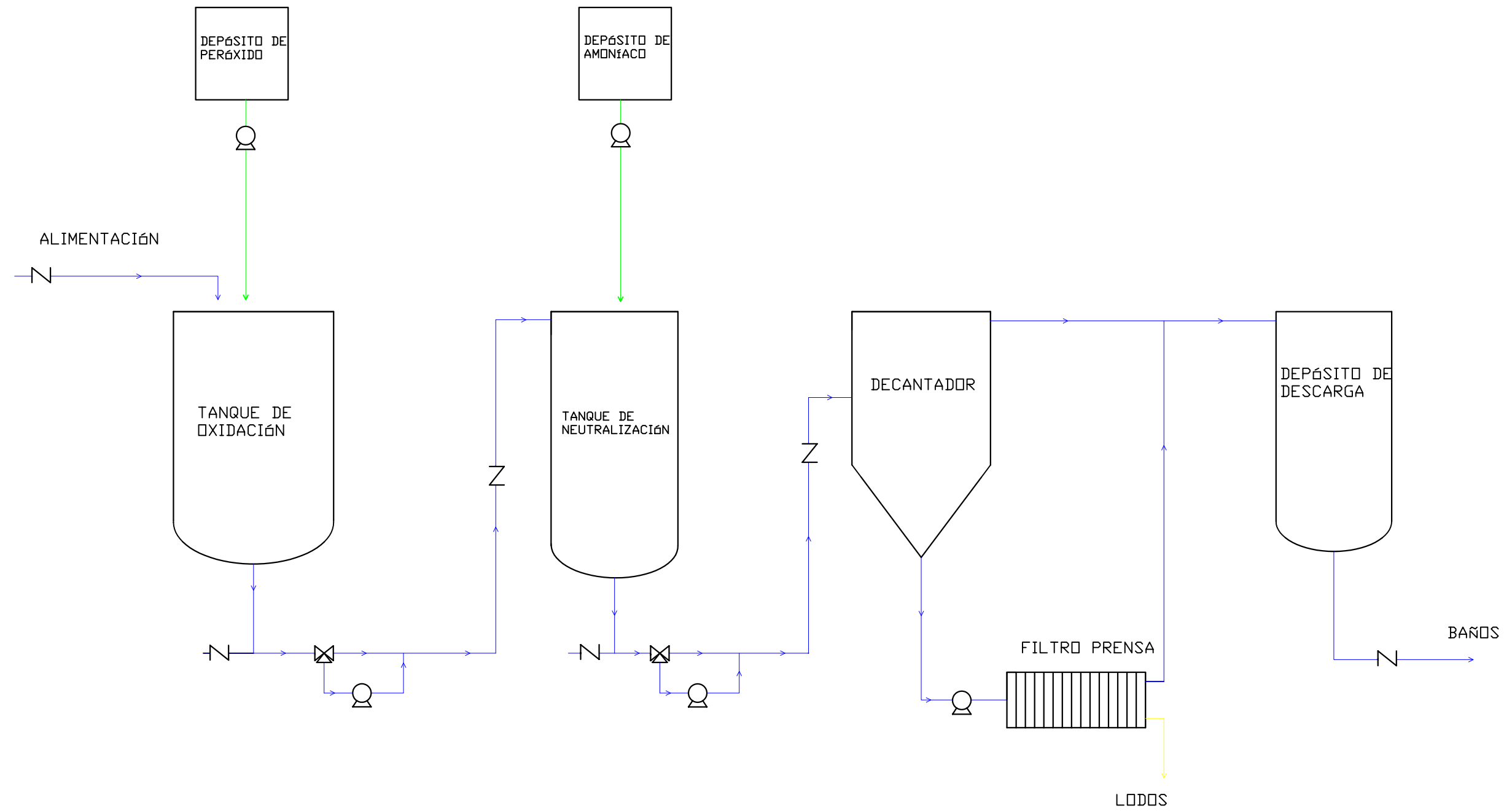
Planos

Índice de los planos

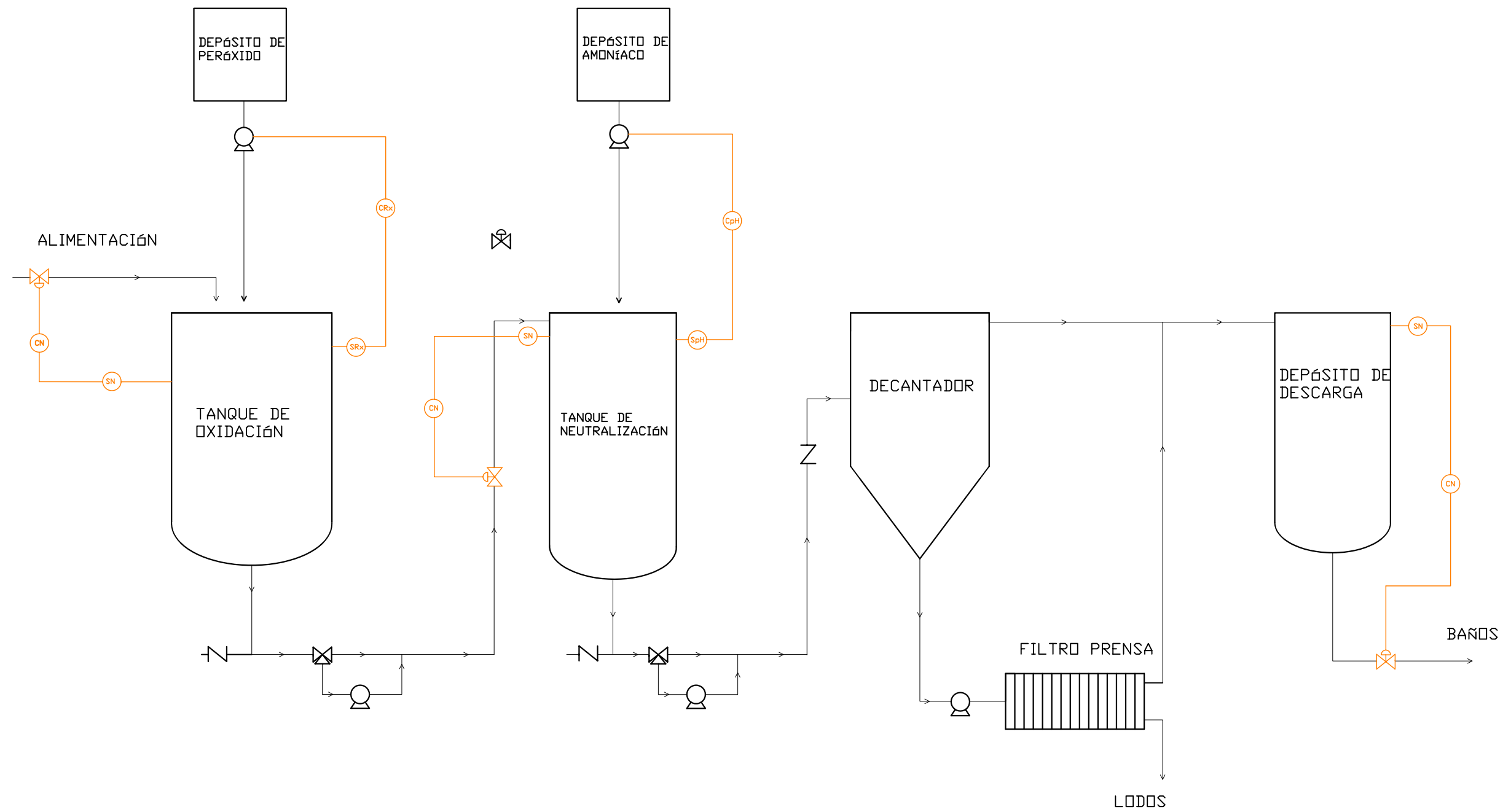
1. Planta industrial.....	1
2. Diagrama de flujo.....	2
3. Diagrama de control e instrumentación.....	3
4. Tanque de oxidación.....	4
5. Decantador.....	5
6. Tanque de neutralización.....	6
7. Depósito de descarga.....	7
8. Baños de enjuague y mordentado.....	8



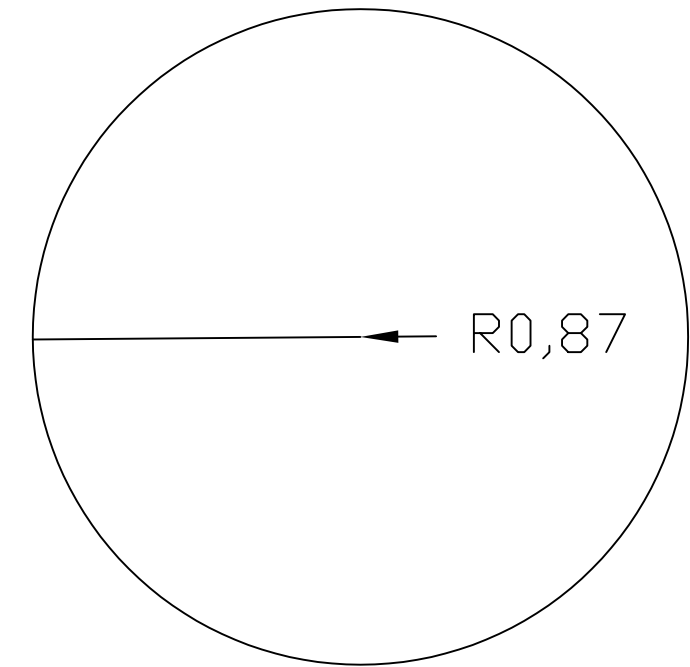
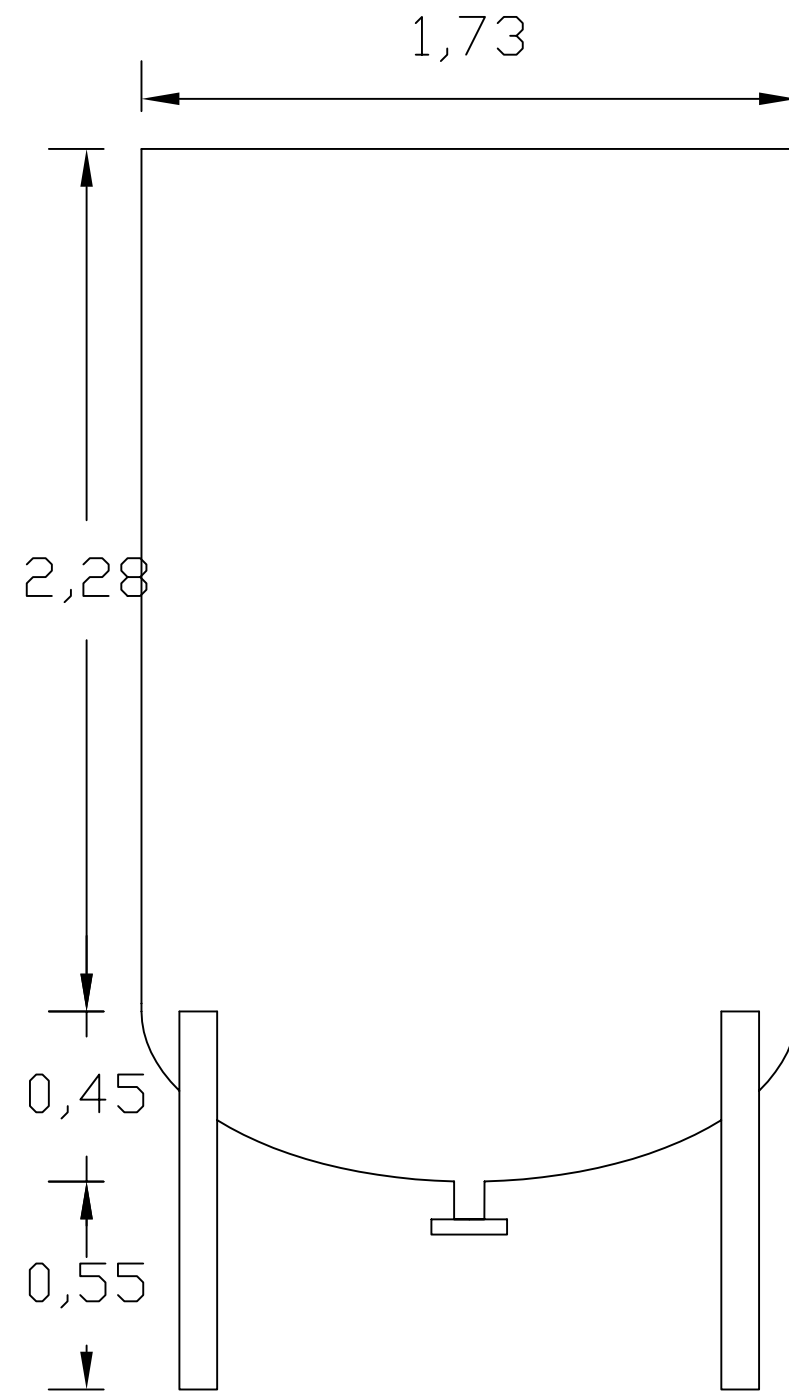
PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS	Fecha JUNIO 2008	Escala 1/50
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	PLANTA INDUSTRIAL	01



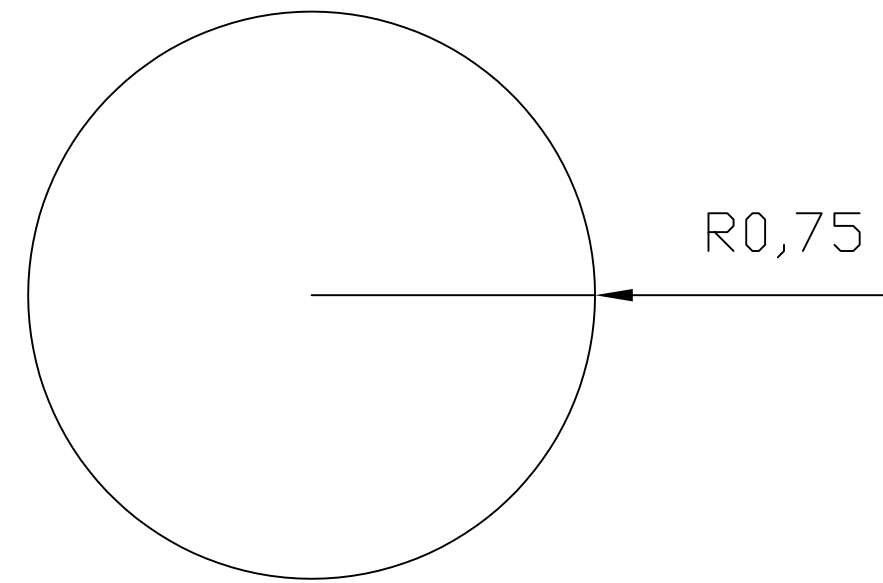
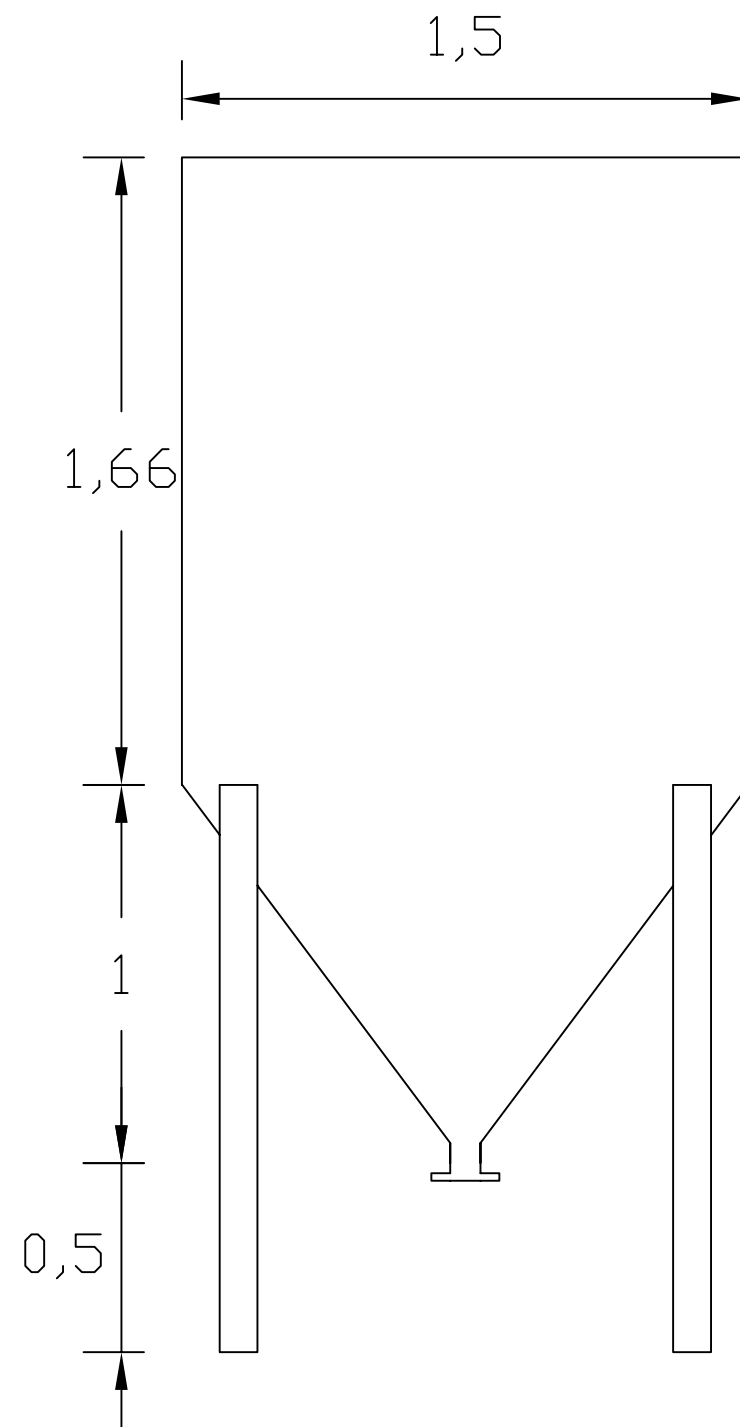
PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS	Fecha JUNIO 2008	Escala 1/50
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	DIAGRAMA DE FLUJO	02



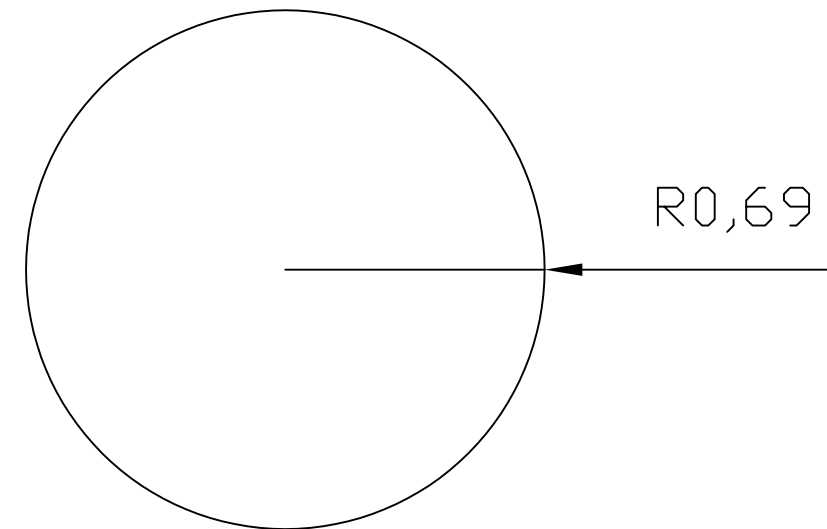
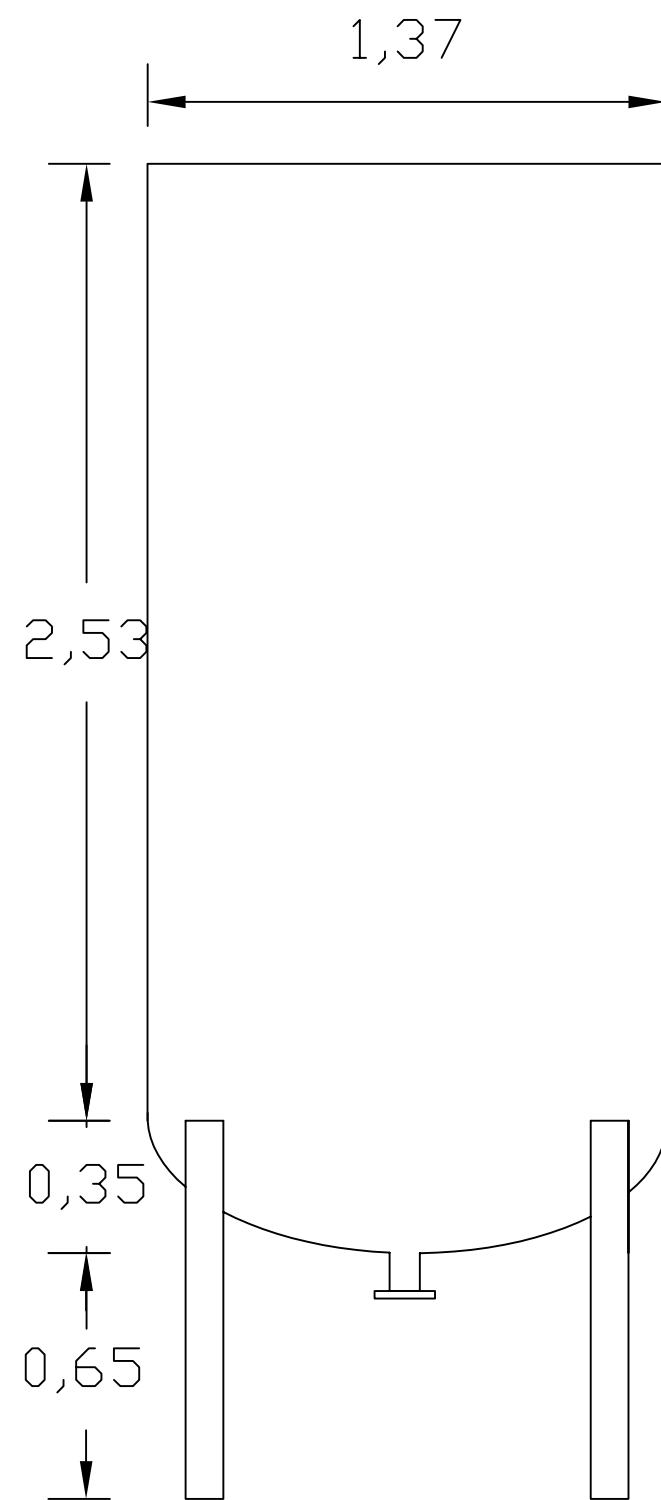
PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS	Fecha JUNIO 2008	Escala 1/50
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	DIAGRAMA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN 03	



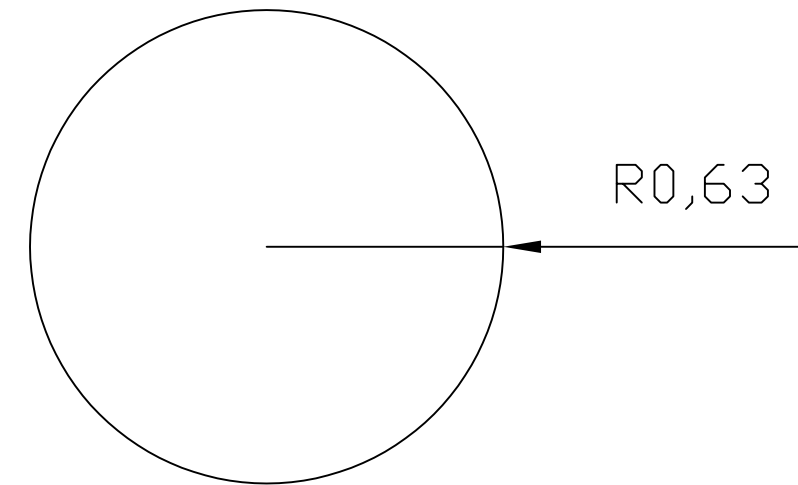
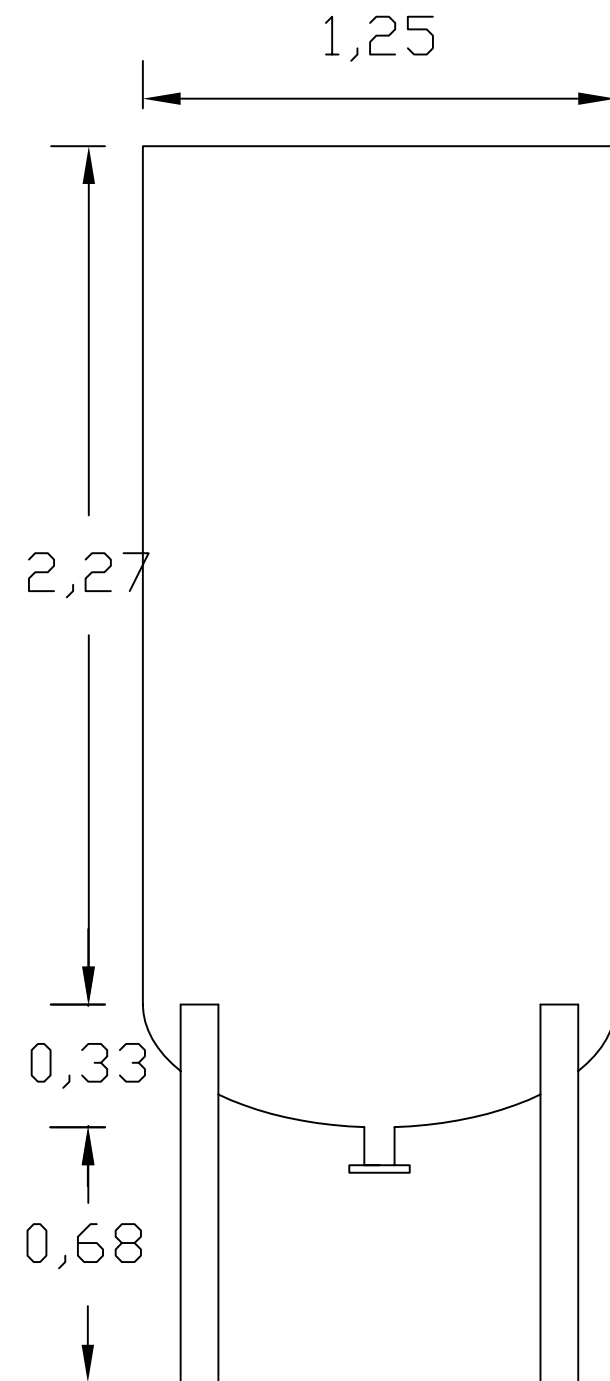
PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS	Fecha JUNIO 2008	Escala S/E
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	TANQUE DE OXIDACIÓN	04



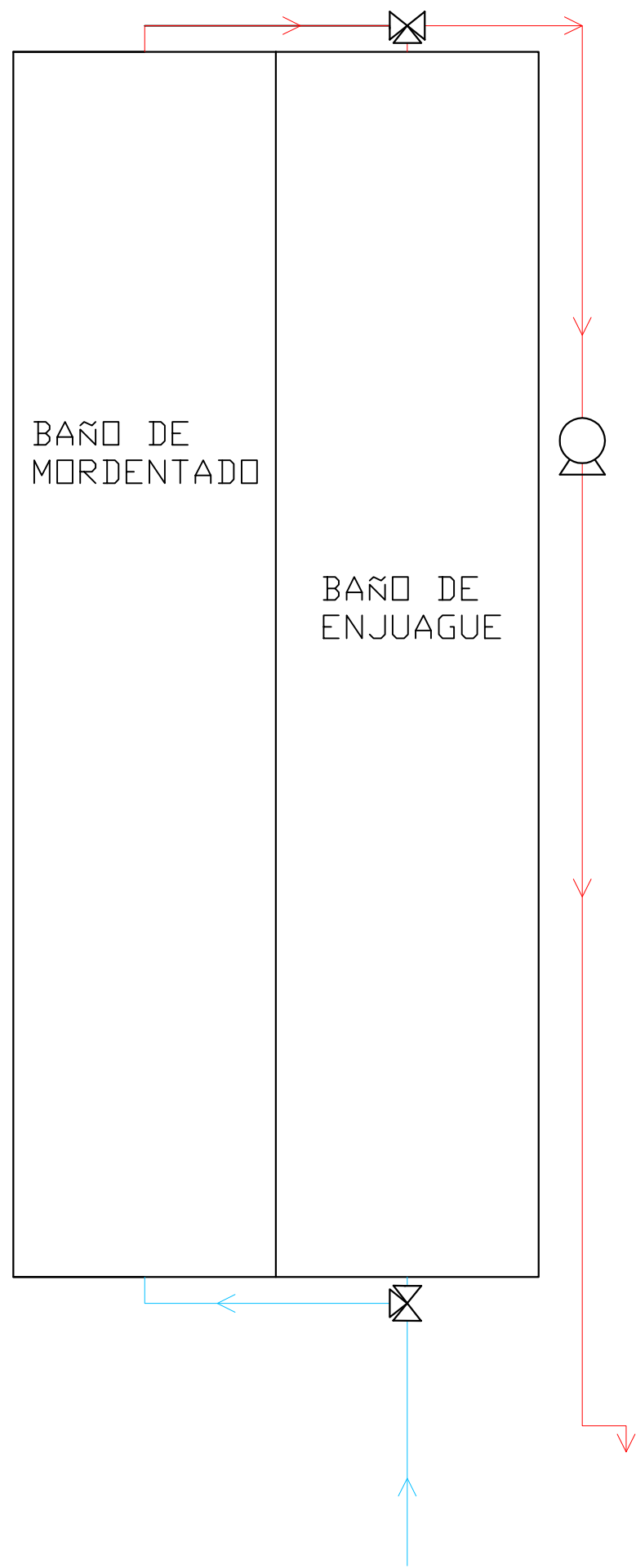
PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS	Fecha JUNIO 2008	Escala S/E
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	DECANTADOR	05



PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS	Fecha JUNIO 2008	Escala S/E
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN	06



PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS	Fecha JUNIO 2008	Escala S/E
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	DEPÓSITO DE DESCARGA	07



— LÍNEA 1
 — LÍNEA 7

A LA PLANTA

CORRIENTE TRATADA

PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS		Fecha JUNIO 2008	Escala 1/70
Diseñado por: ENRIQUE NAVARRO MONTES	BAÑOS DE ENJUAGUE Y MORDENTADO		08



DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE
EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA
UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Documento IV :

Pliego de Condiciones

Índice del Pliego de Condiciones

1. Pliego de Condiciones Generales.....	1
1.1 Condiciones generales.....	1
1.1.1 Objeto del pliego.....	1
1.1.2 Descripción de la obra.....	1
1.1.3 Instrucciones, normas y descripciones aplicables.....	2
1.1.4 Documentos que definen las obras.....	3
1.1.5 Director de la obra.....	3
1.2 Condiciones facultativas.....	4
1.2.1 Contrato.....	4
1.2.2 Obligaciones del contratista.....	4
1.2.3 Derechos del contratista.....	6
1.2.4 Facultades de la dirección de obra.....	6
1.2.5 Libro de órdenes.....	6
1.2.6 Contradicciones, omisiones o errores.....	7
1.2.7 Replanteo y preparación de las obras.....	7
1.2.7.1 Comprobación del replanteo.....	7
1.2.7.2 Fijación de los puntos de replanteo.....	8
1.2.7.3 Programación de los trabajos.....	8
1.2.8 Desarrollo y control de los trabajos.....	9
1.2.8.1 Equipos y maquinaria.....	9
1.2.8.2 Control de calidad y ensayos.....	9
1.2.8.3 Materiales.....	10
1.2.8.3.1 Manipulación de materiales.....	10
1.2.8.3.2 Inspección de la planta.....	10
1.2.8.3.3 Inspección de materiales.....	11
1.2.8.3.4 Materiales defectuosos.....	11

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

1.2.8.4	Acopios.....	11
1.2.8.5	Accidentes de trabajo.....	12
1.2.8.6	Descanso en días festivos.....	13
1.2.8.7	Trabajos defectuosos.....	13
1.2.8.8	Señalización de las obras.....	13
1.2.8.9	Precauciones especiales.....	13
1.2.8.9.1	Lluvias.....	13
1.2.8.9.2	Incendio.....	14
1.2.8.10	Personal técnico.....	14
1.2.9	Plazo de comienzo y ejecución.....	15
1.2.10	Partidas alzadas.....	15
1.2.11	Gastos de cuenta del contratista.....	15
1.2.12	Recepciones, garantías y obligaciones del contratista.....	16
1.2.12.1	Recepción provisional.....	16
1.2.12.2	Plazo de garantía.....	17
1.2.12.3	Recepción definitiva.....	18
1.2.12.4	Prescripciones particulares.....	18
1.3	Condiciones económicas.....	18
1.3.1	Fianza.....	18
1.3.2	Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.....	19
1.3.3	Devolución de la fianza.....	19
1.3.4	Composición de precios unitarios de ejecución material y por contrata....	19
1.3.5	Precios contradictorios.....	20
1.3.6	Gastos a cuenta del Contratista.....	20
1.3.7	Gastos a cuenta de la propiedad.....	21
1.3.8	Revisiones de precios.....	22
1.3.9	Medición y abono de las obras.....	22

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

1.3.9.1	Mediciones y valoraciones.....	22
1.3.9.2	Condiciones económicas.....	22
1.3.9.3	Condiciones de índole legal.....	22
1.3.10	Penalizaciones.....	23
1.3.11	Seguros y conservación de la obra.....	23
1.4	Condiciones legales.....	24
1.4.1	Contratista.....	24
1.4.2	Contrato.....	24
1.4.2.1	Formalización del contrato.....	25
1.4.2.2	Garantía de cumplimiento de contrato.....	25
1.4.2.3	Constancias previas.....	25
1.4.2.4	Documentos del contrato.....	25
1.4.2.5	Sellado del contrato.....	25
1.4.2.6	Incomparecencia del contratista.....	26
1.4.2.7	Aprobación y vigencia del contrato.....	26
1.4.2.8	Cesión del contrato.....	26
1.4.3	Adjudicación.....	27
1.4.4	Indemnizaciones por parte del Contratista.....	27
1.4.5	Representantes de la Propiedad y del Contratista.....	27
1.4.6	Responsabilidades del contratista.....	27
1.4.7	Subcontratas.....	28
1.4.8	Facilidades para la inspección.....	28
1.4.9	Impuestos.....	28
1.4.10	Causas de rescisión del contrato.....	28
2.	Pliego de Condiciones Particulares.....	29
2.1	Introducción.....	29
2.2	Instaladores.....	29

2.3 Condiciones que deben cumplir los materiales.....	30
2.3.1 Condiciones generales para materiales.....	30
2.3.2 Aguas.....	30
2.3.3 Arenas.....	31
2.3.4 Cementos utilizables.....	31
2.3.5 Yeso.....	32
2.3.6 Hormigones.....	32
2.3.7 Ladrillos.....	33
2.3.8 Pinturas y barnices.....	33
2.3.9 Tubos para saneamiento.....	34
2.3.10 Paneles de chapa plegada para fachadas y cubiertas.....	34
2.3.11 Materiales no consignados en este pliego.....	35
2.4 Condiciones que deben cumplir los equipos y accesorios.....	35
2.4.1 Tanques.....	35
2.4.2 Decantador.....	35
2.4.3 Filtros prensa.....	36
2.4.4 Tuberías	36
2.4.5 Bidas.....	36
2.4.6 Válvulas.....	36
2.4.7 Juntas.....	37
2.4.8 Soldaduras.....	37
2.4.9 Sensores.....	37
2.4.10 Bombas.....	38

1. Pliego de Condiciones Generales

1.1 Condiciones generales

1.1.1 Objeto del pliego

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables para el desarrollo del proyecto del que forma parte: *DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS*. En él se especificarán las condiciones facultativas, técnicas, económicas y de seguridad e higiene que se han de observar en la recepción, montaje y funcionamiento de la instalación proyectada, así como las condiciones generales que regirán en la remodelación de la sala destinada al montaje del laboratorio objeto de este proyecto.

Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto. El pliego de condiciones constituye el documento más importante desde el punto de vista contractual.

No se podrán alterar estas condiciones si no están aceptadas de forma escrita y autorizadas por la representación legal de la sociedad para la que se ha confeccionado el proyecto.

1.1.2 Descripción de la obra

Se consideran sujetas a este pliego todas las obras destinadas a la remodelación de la sala original, necesarias para dejar completamente terminadas las instalaciones con arreglo a los planos y documentos adjuntos.

Se entiende por obras accesorias, aquellas que por su naturaleza no puedan ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos.

Las obras accesorias se realizarán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando la importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule el Director de Obra.

Las principales actuaciones a las que se refiere este Proyecto, consisten fundamentalmente en la ejecución de los siguientes trabajos:

- Demoliciones de soleras existentes en la zona de actuación con carga sobre camión y transporte a vertedero autorizado de los escombros producido por estas demoliciones.
- Excavaciones tanto para conseguir la plataforma de trabajo como las cotas de cimentación de las zapatas, y hasta alcanzar la cota de apoyo. Parte de la sobreexcavación realizada necesaria para conseguir los niveles deseados se rellenarán con hormigón en masa.
- Fabricación, suministro y montaje de estructura metálica soporte.

1.1.3 Instrucciones, normas y descripciones aplicables

Además del presente Pliego de Condiciones, y subsidiariamente con respecto a él, será de aplicación la siguiente normativa:

- Instrucción de Hormigón Estructural EHE, (R.D. 2661/1998 de 11 de Diciembre de 1998).
- Norma Básica de la Edificación NBE-EA-95, "Estructuras de acero en la Edificación" (R.D. 1829/1995) de 10 de Nov. de 1995.
- Norma Básica de la Edificación del Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo NBE-AE-88 "Acciones en la Especificación".
- Norma de construcción sismorresistente. Parte General y Edificación, NCSE-02.
- Instalaciones de fontanería: Abastecimiento (FA).
- Instalaciones de salubridad: Alcantarillado (IZA).
- Instalaciones de electricidad: Alumbrado exterior (ICE).
- Instalaciones de electricidad: Red exterior (IR).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e instrucciones reglamentarias. Decreto del 9 de Octubre de 1975.
- Instalaciones de electricidad: Puesta a tierra (JET).

- Real Decreto 1627/1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

1.1.4 Documentos que definen las obras

Los documentos que definen las obras son los que la propiedad entrega al contratista, y pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los planos, el pliego de condiciones y los cuadros de precios y presupuestos que se incluyan en el presente proyecto.

Cualquier cambio en el planteamiento de la obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la dirección para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

1.1.5 Director de la obra

El ingeniero director de las obras será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato, y asumirá la representación de la administración o de la entidad pertinente frente al contratista.

Las funciones del ingeniero director de obras serán las siguientes:

- Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente pliego de condiciones se dejen a su decisión.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones de contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los

problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.

- Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en caso de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforma a las normas legales establecidas.

El contratista está obligado a prestar su colaboración al ingeniero director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

1.2 Condiciones facultativas

1.2.1 Contrato

Las instalaciones se contratarán totalmente terminadas y se ajustarán en todo momento a los planos recogidos en este proyecto.

A petición de cualquiera de las partes interesadas, se formalizará el contrato en la Escritura Pública. Los gastos que ocasione esta formalización correrán a cargo de la empresa constructora.

El Contratista puede realizar trabajos en régimen de Administración bajo su responsabilidad. No podrá hacer uso de la documentación del Proyecto para cualquier otro fin diferente al desarrollo del mismo. Cuando el Pliego se refiere al Contratista, se refiere al Contratista general de la obra y no a las subcontrataciones que éste haya podido a su vez realizar.

1.2.2 Obligaciones del contratista

Toda la obra se ejecutará con estricta sujeción al proyecto que sirve de base a la Contrata, a este Pliego de Condiciones y a las órdenes e instrucciones que se dicten por el Ingeniero Director o ayudantes delegados. El orden de los trabajos será fijado por ellos, señalándose los plazos prudenciales para la buena marcha de las obras.

El Contratista habilitará por su cuenta los caminos, vías de acceso, etc... así como una caseta en la obra donde figuren en las debidas condiciones los documentos esenciales del proyecto, para poder ser examinados en cualquier momento. Igualmente permanecerá en la obra bajo custodia del Contratista un "*libro de órdenes*", para cuando lo juzgue conveniente la Dirección dictar las que hayan de extenderse, y firmarse el "*enterado*" de las mismas por el Jefe de obra. El hecho de que en dicho libro no figuren redactadas las ordenes que preceptoramente tiene la obligación de cumplir el Contratista, de acuerdo con lo establecido en el "*Pliego de Condiciones*" de la Edificación, no supone eximente ni atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista.

Por la Contrata se facilitará todos los medios auxiliares que se precisen, y locales para almacenes adecuados, pudiendo adquirir los materiales dentro de las condiciones exigidas en el lugar y sitio que tenga por conveniente, pero reservándose el propietario, siempre por sí o por intermedio de sus técnicos, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido sus compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, e igualmente, lo relativo a las cargas en material social, especialmente al aprobar las liquidaciones o recepciones de obras.

La Dirección Técnica y con cualquier parte de la obra ejecutada que no esté de acuerdo con el presente Pliego de Condiciones o con las instrucciones dadas durante su marcha, podrá ordenar su inmediata demolición o su sustitución hasta quedar, a su juicio, en las debidas condiciones, o alternativamente, aceptar la obra con la depreciación que estime oportuna, en su valoración.

Igualmente se obliga a la Contrata a demoler aquellas partes en que se aprecie la existencia de vicios ocultos, aunque se hubieran recibido provisionalmente.

Son obligaciones generales del Contratista las siguientes:

- Verificar las operaciones de replanteo y nivelación, previa entrega de las referencias por la Dirección de la Obra.
- Firmar las actas de replanteo y recepciones.
- Presenciar las operaciones de medición y liquidaciones, haciendo las observaciones que estime justas, sin perjuicio del derecho que le asiste para examinar y comprobar dicha liquidación.
- Ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aunque no esté expresamente estipulado en este pliego.

- El Contratista no podrá subcontratar la obra total o parcialmente, sin autorización escrita de la Dirección, no reconociéndose otra personalidad que la del Contratista o su apoderado.
- El Contratista se obliga, asimismo, a tomar a su cargo cuanto personal necesario a juicio de la Dirección Facultativa.
- El Contratista no podrá, sin previo aviso, y sin consentimiento de la Propiedad y Dirección Facultativa, ceder ni traspasar sus derechos y obligaciones a otra persona o entidad.
- El Contratista se obliga a conocer y cumplir las leyes vigentes.

1.2.3 Derechos del contratista

Los derechos del Contratista son los siguientes:

- Tener un ejemplar del proyecto completo.
- Recibir los suministros de la propiedad en forma y plazo.
- Recibir solución de problemas técnicos no previstos con prontitud.

1.2.4 Facultades de la dirección de obra

Conjuntamente con la interpretación técnica del proyecto, que corresponde a la Dirección Facultativa, es misión suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen, y ello con autoridad técnica legal completa sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de las obras, e instalaciones anejas, se lleven a cabo, si considera que adoptar esta resolución es útil y necesaria para la buena marcha de las obras.

El Contratista no podrá recibir otras órdenes relativas a la ejecución de la obra, que las que provengan del Director de Obra o de las personas por él delegadas.

1.2.5 Libro de órdenes

El contratista dispondrá del Libro de Órdenes, en el que se anotarán las que el Ingeniero Director de la Obra precise dar en el transcurso de la misma.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho libro, es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

1.2.6 Contradicciones, omisiones o errores

El presente Pliego de Condiciones ha sido redactado de acuerdo con las disposiciones oficiales vigentes. En casos excepcionales se justifican posibles discrepancias, prevaleciendo lo incluido en el Pliego sobre cualquier otra disposición.

Las omisiones en Planos y Pliego de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de obra que deban ser subsanados, para que pueda llevarse a cabo en espíritu o intención expuesto en los Planos y el Pliego de condiciones o que, por uso y costumbres, deban ser realizados, no sólo no exime al Contratista de la obligación de ejecutar estos detalles u obra omitidos erróneamente sino que por el contrario, deberán ser ejecutados como si se hubiera completado y correctamente especificado en los Planos y Pliego de Condiciones.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos por el Director o Contratista deberán reflejarse en un acta de comprobación.

1.2.7 Replanteo y preparación de las obras

Los trabajos preparatorios para el inicio de las obras consistirán en:

- Comprobación de replanteo
- Fijación y conservación de los puntos de replanteo
- Programación de los trabajos

1.2.7.1 Comprobación del replanteo

En el plazo de quince días a partir de la adjudicación definitiva se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El acta de conformación del replanteo reflejará la conformidad o la disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier

punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación del replanteo refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

1.2.7.2 Fijación de los puntos de replanteo

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su desaparición.

Los datos, cotas y puntos fijados se anotarán en el anexo al acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista.

El contratista se responsabilizará de la conservación de las señales de los puntos que hayan sido entregados.

1.2.7.3 Programación de los trabajos

El Contratista deberá someter a la aprobación de la Dirección Técnica antes del comienzo de las obras un programa con especificaciones de plazos parciales y fechas de terminación de las distintas unidades de obra, compatibles con el plazo total de ejecución. Este plan, una vez aprobado por la Propiedad, se incorporará al Pliego de Condiciones y adquirirá, por tanto, carácter contractual. Dicho programa de trabajo incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales).
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades en un gráfico de barras o en un diagrama espacio – tiempo.

- Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de la obras, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

La aceptación del plan de obra no implica exención alguna de responsabilidades para el Contratista en caso de incumplimiento de los plazos parciales o totales convenidos.

1.2.8 Desarrollo y control de los trabajos

Para el mejor desarrollo y control de los trabajos, el adjudicatario seguirá las normas que se indican en los apartados siguientes.

1.2.8.1 Equipos y maquinaria

El Contratista quedará obligado a situar en la obra los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

1.2.8.2 Control de calidad y ensayos

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el ingeniero director, y se efectuarán con arreglo a las normas afectantes a cada unidad de obra, o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el director.

El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, que no podrán superar el 1% del presupuesto de adjudicación.

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométrico en general, así como el de calidad, mediante ensayos materiales, densidades de compactación, etc. Se entiende que no se comunicará a la dirección de obra que una unidad de obra está terminada a juicio del contratista para su comprobación hasta que el mismo contratista, mediante su personal

facultativo para el caso, haya hecho sus propias comprobaciones y ensayos y se haya asegurado de cumplir las especificaciones.

Así, el contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para dichas mediciones y ensayos.

1.2.8.3 Materiales

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establecen en el pliego de condiciones, pudiendo ser rechazados en caso contrario por el ingeniero director. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del Contratista y, eventualmente, con el control de Dirección de Obra.

Cuando la procedencia de los materiales no esté fijada en el pliego de prescripciones técnicas, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que éste estime oportuno.

El contratista notificará al director, con la suficiente antelación, los materiales que se propone utilizar y su procedencia, aportando cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere en su cantidad como a su calidad.

El no rechazo de un material no implica su aceptación. El no rechazo o la aceptación de una procedencia no impide el posterior rechazo de cualquier partida de material de ella que no cumpla las prescripciones, ni incluso la eventual prohibición de dicha procedencia.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el director.

1.2.8.3.1 Manipulación de materiales

Todos los materiales se manipularán con cuidado, y de tal modo que se mantengan su calidad y aptitud para la obra.

1.2.8.3.2 Inspección de la planta

Si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la

inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

1.2.8.3.3 Inspección de materiales

Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista notificará al ingeniero con dos semanas como mínimo de antelación a la entrega.

1.2.8.3.4 Materiales defectuosos

Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del pliego de condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el ingeniero ordene lo contrario.

Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido substancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

El ingeniero dará orden al Contratista de sustituir los materiales y aparatos defectuosos por otros que satisfagan las condiciones de calidad exigidas en el presente Pliego de Condiciones.

1.2.8.4 Acopios

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza, sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director.

Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, maquinaria, escombros o cualquier otro elemento no deseable, en las siguientes zonas:

- Áreas de proceso adyacentes o limítrofes con la zona donde se realizan los trabajos.
- Desagües y zonas de trabajo en general.
- Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y puntos de situación de extintores.

- Calles y vías de circulación interior, tanto de la zona de construcción, como de áreas de procesos adyacentes a ésta.
- En general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales, herramientas o utensilios pueda entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse de forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

1.2.8.5 Accidentes de trabajo

De conformidad con lo establecido en el artículo 71 del Reglamento de la Ley de Accidentes de Trabajo, el Contratista está obligado a contratar, para su personal, el seguro contra riesgo por accidentes de trabajo.

El Contratista y la Dirección de Obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente proyecto, así como las pruebas, ensayos, inspecciones y verificaciones necesarias, que en cualquier caso deberán ser, como mínimo las prescritas por los reglamentos actuales vigentes.

No obstante, en aquellos casos en que el Contratista o la Dirección consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el Contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo los equipos necesarios para que éste trabaje en las condiciones de seguridad adecuadas, tales como cascos, caretas, botas reforzadas, gafas de protección, etc.

Asimismo, serán responsabilidad del Contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra dentro del horario establecido de trabajo, así como de los accidentes personales que puedan ocurrir.

1.2.8.6 Descanso en días festivos

En los trabajos concedidos a la contrata se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, del modo que se señale en las disposiciones vigentes.

En casos excepcionales, en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá como indican las citadas disposiciones.

1.2.8.7 Trabajos defectuosos

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el Contratista y reconstruidos en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de obras, podrá ser recibida provisionalmente, y definitivamente, en su caso quedando el adjudicatario obligado a conformarse, sin derecho a reclamación, con la rebaja económica que el ingeniero director estime, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga de acuerdo a las condiciones del contrato.

Los constructores e instaladores deberán emplear materiales que cumplan las condiciones exigidas en las condiciones técnicas generales y particulares del pliego de condiciones y realizar los trabajos de acuerdo con lo especificado en el pliego. Hasta la recepción definitiva de la obra son los responsables de la ejecución y de los defectos derivados de una mala ejecución.

1.2.8.8 Señalización de las obras

El Contratista queda obligado a señalar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

1.2.8.9 Precauciones especiales

1.2.8.9.1 Lluvias

Durante las fases de remodelación de la sala, montaje e instalación de los equipos, estos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje.

El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de la misma. Se protegerá el equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.

1.2.8.9.2 Incendio

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios, y a las recomendaciones u órdenes que reciba del director.

En todo caso adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de los que se requieran para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se puedan producir.

No obstante, el contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que lo estime conveniente, y, particularmente, en aquellos en los que el riesgo de producción de incendio sea más elevado (soldadura, corte con soplete, etc.).

1.2.8.10 Personal técnico

El Contratista está obligado a dedicar a los trabajos (tanto de obra civil como de montaje e instalación de líneas y equipos) el personal técnico a que se compromete en la licitación. A pie de las obras, y al frente de las mismas, deberá haber un ingeniero superior.

El personal así designado no será asignado a otras obligaciones mientras duren los trabajos.

Por otra parte, el personal a cargo del contratista deberá estar lo suficientemente cualificado para la realización de los trabajos. Es responsabilidad del contratista, por lo tanto, cualquier retraso derivado de la incompetencia o ignorancia del personal su cargo.

El director podrá prohibir la presencia en la zona de trabajos de determinado personal del contratista por motivo de falta de obediencia o respeto, o por causa de actos que comprometan o perturben, a su juicio, la seguridad, integridad o marcha de los trabajos.

El contratista podrá recurrir, si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

1.2.9 Plazo de comienzo y ejecución

Las obras se iniciarán dentro de los 30 días siguientes al de la fecha de la firma del Acta de Replanteo. Deberán descontarse en dichos plazos los días de parada debidos a fuerza mayor que impidan el normal desarrollo de los trabajos, siempre que así lo adecúe la Dirección de Obras.

1.2.10 Partidas alzadas

Las partidas alzadas a justificar se abonarán consignando las unidades de obra que comprenden los precios del contrato, o los precios aprobados si se trata de nuevas unidades.

1.2.11 Gastos de cuenta del contratista

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de maquinaria y materiales.
- Los gastos de protección de acopios y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basuras.
- Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro del agua y la energía eléctrica necesaria para las obras.
- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.
- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas

1.2.12 Recepciones, garantías y obligaciones del contratista

El adjudicatario deberá obtener a su costa todos los permisos y licencias para la ejecución de las obras. Del mismo modo serán de su cuenta los gastos derivados de los permisos y tasas.

La recepción, garantías y obligaciones del contratista serán las siguientes:

- Recepción provisional
- Plazo de garantía
- Recepción definitiva

1.2.12.1 Recepción provisional

Una vez terminada la totalidad de las obras, se procederá al examen global por parte del director, el cual, si los considera aptos para ser recibidos, extenderá un acta donde así lo haga constar. Una vez realizado el examen global, se procederá a la recepción provisional, para la cual será necesaria la asistencia de un representante de la Propiedad, de los Ingenieros Directores de las obras y del Contratista o su representante. Del resultado de la recepción se extenderá un acta por triplicado, firmada por los tres asistentes legales antes indicados.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía de un año.

En ningún caso la recepción provisional tendrá lugar antes de las siguientes operaciones:

- Inspección visual de todos los equipos y líneas, así como de todos los equipos auxiliares.
- Lavado del equipo.
- Comprobación de servicios auxiliares.

Si el ingeniero director apreciase en las obras defectos de calidad u otras imperfecciones que, a su juicio, pudieran resultar perjudiciales o poco convenientes, el contratista deberá reparar o sustituir, a su costa, dichas partes o elementos no satisfactorios.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se especificarán en la misma los defectos observados, así como las instrucciones al Contratista, que la Dirección Técnica considere necesarias para remediar los efectos observados, fijándose un plazo para subsanarlo, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder de nuevo a la recepción provisional de la obra.

Si el Contratista no hubiese cumplido, se considerará rescindida la Contrata con pérdidas de fianza, a no ser que se estime conveniente se le conceda un nuevo e improrrogable plazo.

Será condición indispensable para proceder a la recepción provisional la entrega por parte de la Contrata a la Dirección Facultativa de la totalidad de los planos de obra generales y de las instalaciones realmente ejecutadas, así como sus permisos de uso correspondientes.

1.2.12.2 Plazo de garantía

El plazo de garantía de las obras terminadas será de un año, contando a partir de la fecha de recepción provisional, salvo indicación contraria expresa en el pliego de contratación de la obra. Transcurrido este período se efectuará la recepción definitiva de las obras, que, de resolverse favorablemente, relevará al Constructor de toda responsabilidad de conservación, reforma o reparación.

Durante dicho período, las posibles obras de reparación, conservación y sustitución serán por cuenta del contratista, siendo este responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al Contratista el que el director o subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido sus materiales o hecho su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observan vicios o imperfecciones antes de efectuarse la recepción, se dispondrá que el contratista demuela y reconstruya, o bien repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

La Dirección Técnica concederá un plazo prudencial para que sean subsanadas y si a la expiración del mismo resultase que aún el Constructor no hubiese cumplido su compromiso, se rescindirá el contrato, con pérdida de la fianza, ejecutando la Propiedad las reformas necesarias con cargo a la citada fianza.

1.2.12.3 Recepción definitiva

Finalizado el plazo de garantía se procederá a la recepción definitiva, con las mismas formalidades de la provisional. Si se encontraran las obras en perfecto estado de uso y conservación, se darán por recibidas definitivamente y quedará el Contratista relevado de toda responsabilidad administrativa quedando subsistente la responsabilidad civil según establece la Ley.

En caso contrario se procederá de idéntica forma que la preceptuada para la recepción provisional, sin que el Contratista tenga derecho a percepción de cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía y siendo obligación suya hacerse cargo de los gastos de conservación hasta que la obra haya sido recibida definitivamente.

1.2.12.4 Prescripciones particulares

En todos aquellos casos en que, a juicio del director de las obras, se haga aconsejable para la ejecución de los trabajos previstos la fijación de determinadas condiciones específicas, se procederá a la redacción por éste del oportuno pliego de prescripciones particulares, que ha de ser aceptado por el contratista, quedando obligado a su cumplimiento.

1.3 Condiciones económicas

En este apartado se describen y regulan las relaciones económicas entre la propiedad y la contrata, así como la dirección de control de la dirección facultativa.

Todos los intervinientes en el proceso de montaje tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractuales establecidas. La propiedad y los contratistas pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

1.3.1 Fianza

La fianza es el porcentaje del valor total de las obras que debe depositar la contrata como garantía a la firma del contrato.

Los contratistas presentarán las siguientes fianzas:

- Depósito en metálico o aval bancario por importe del 4 por 100 del precio total de contrata, salvo especificación contraria en el contrato.
- Retención de un 5% en las certificaciones parciales o pagos que se van librando.

1.3.2 Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Con cargo a la fianza se aplican las penalizaciones por demoras y las reparaciones con cargo a la contrata.

1.3.3 Devolución de la fianza

La fianza será devuelta a los contratistas en un plazo inferior a treinta días después de firmada el acta de recepción definitiva de la obra. La propiedad podrá exigir que los contratistas acrediten la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la misma.

1.3.4 Composición de precios unitarios de ejecución material y por contrata

El cálculo de los precios es el resultado de sumar los costes, los gastos generales y el beneficio industrial.

Los costes son:

- Mano de obra.
- Los materiales.
- Equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene.

Los gastos generales son:

- Gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales, tasas de la administración. También se fija como un porcentaje, en este caso de la suma de costes directos e indirectos (en la administración pública es del 13 al 17 por 100).

El beneficio industrial:

- El beneficio del contratista se establece en un 6 por 100 sobre la suma de las anteriores partidas.

Precio de ejecución material:

- El resultado obtenido por la suma de las anteriores partidas exceptuando el beneficio industrial.

Precio de contrata:

- Es la suma de costes directos, indirectos, gastos generales y beneficio industrial. El IVA se aplica a este precio pero no lo integra.

1.3.5 Precios contradictorios

Cuando la propiedad, mediante el ingeniero, introduce unidades o cambios de calidad en alguna de las unidades previstas o bien es necesario afrontar situaciones imprevistas, los contratistas están obligados a efectuar los cambios. El precio se resolverá entre los contratistas y el ingeniero antes de comenzar la ejecución de los trabajos.

1.3.6 Gastos a cuenta del Contratista

Se entiende como tales los gastos de cualquier clase ocasionados por la comprobación del replanteo de obra, los ensayos de materiales que debe realizar por su cuenta el Contratista, los de montaje y retirada de las construcciones auxiliares, oficinas, almacenes y cobertizos pertenecientes al Contratista; los correspondientes a los caminos de servicio, señales provisionales para vías en las que se dificulte el tránsito, así como de los equipos necesarios para controlar accidentes de cualquier clase; los de protección de materiales y la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los reglamentos vigentes para el almacenamiento de explosivos y combustibles; los de limpieza de los espacios exteriores e interiores; los de construcción y conservación de pasos, caminos provisionales y alcantarillas, tuberías, cables eléctricos y, en general, de cualquier instalación que sea necesario modificar para las instalaciones necesarias provisionales y de limpieza de los lugares ocupados por los mismos; los de retirada al fin de la obra de instalaciones, herramientas, materiales, etc... y limpieza general de la obra.

Será de cuenta del Contratista el acometer, conservar y retirar las instalaciones para el suministro de agua y de la energía eléctrica necesaria para las obras y la adquisición de dichas aguas y energía.

Serán de cuenta del Contratista los gastos ocasionados por la retirada de la obra de materiales rechazados y materiales para las mediciones periódicas, para la redacción de certificaciones y los ocasionados por la medición final; las de pruebas, ensayos, reconocimientos y tomas de muestras para las recepciones parciales y totales, provisionales y definitivas, de las obras; la corrección de las deficiencias observadas en las pruebas, ensayos, etc, y los gastos derivados de las averías, accidentes o daños que se produzcan durante estas pruebas y la reparación y conservación de las obras durante el plazo de garantía.

Además, serán por cuenta del Contratista los ensayos que realice directamente con los materiales suministrados por sus proveedores antes de su adquisición e incorporación a la obra y que en su momento serán controlados por la Propiedad para aceptación definitiva. Serán así mismo de su cuenta aquellos ensayos que el Contratista los crea oportuno realizar durante la ejecución de los trabajos para su propio control.

Correrán también por cuenta del Contratista los gastos asociados a los seguros necesarios para la consecución del Proyecto.

El Contratista o las personas de cada gremio en que el primero delegue realizarán todos los trabajos de su especialidad para lograr la completa construcción del Proyecto, siempre de acuerdo con los Planos y detalles complementarios, siguiendo el Pliego de Condiciones y las instrucciones que reciban en obra de la Dirección Técnica.

1.3.7 Gastos a cuenta de la Propiedad

Los gastos ocasionados por la inspección de las obras del personal de la Propiedad o contratado para ese fin, correrán a cuenta de la Propiedad así como la comprobación o revisión de las certificaciones, la toma de muestras y ensayos de laboratorio para la comprobación periódica de calidad de materiales y obras realizadas y el transporte de los materiales suministrados por la Propiedad, hasta el almacén de obra, sin incluir descarga ni gastos de paralización de vehículos por retraso de la misma.

Asimismo, serán a cargo de la Propiedad los gastos de primera instalación, conservación y mantenimiento de sus oficinas de obra, botiquines, laboratorios, y cualquier edificio o instalación que pertenezca a la Propiedad y utilizadas por el personal empleado de esta empresa, encargado de la Dirección Técnica y vigilancia de las obras.

1.3.8 Revisiones de precios

Para poder en un momento dado discernir con la mayor aproximación acerca de las posibles revisiones de precios que puedan presentarse durante las obras como consecuencia de aumento oficial autorizado, o en el caso de una posible rescisión de la contrata, los Contratistas de los distintos gremios presentarán juntamente con su presupuesto de unidades de obra otra hoja firmada con los siguientes datos:

- Porcentaje de mano de obra, de materias, de gastos generales y de beneficio industrial que suponen estos conceptos con relación al importe total del presupuesto de contrata de cada gremio.
- Los precios de las distintas unidades de cada tramo y su descomposición con el fin de aclarar cualquier deuda que pudiera surgir en el caso de una liquidación parcial de obra o de revisión de precios.
- Plazo de ejecución de obra contratada.

1.3.9 Medición y abono de las obras

1.3.9.1 Mediciones y valoraciones

Las mediciones de las obras concluidas se harán por el tipo de unidad fijada en el "presupuesto". La valoración deberá obtenerse igualmente, aplicando a las unidades de obra el precio que tuviesen asignado en el "presupuesto".

La valoración de las partidas no expresadas se verificará aplicando a cada una de ellas la medida más apropiada, en la forma y condiciones que estime el director de obra, multiplicando el resultado final de la medición por el precio correspondiente.

1.3.9.2 Condiciones económicas

El pago de los trabajos lo efectuará la Propiedad mediante liquidaciones parciales, como entrega a cuenta, que no implicarán la aceptación definida de la liquidación parcial que se trate.

1.3.9.3 Condiciones de índole legal

Regirán las condiciones contenidas en el anuncio de subasta y contrata de ejecución, las cuales se ajustarán a las establecidas por la Leyes Generales del Estado.

1.3.10 Penalizaciones

Si el Contratista incurriese en incumplimientos o cometiera infracciones a cualquiera de las disposiciones contenidas en las normas legales de aplicación, pliego, documentación contractual y/o instrucciones impartidas por la Dirección Técnica, se hará plausible a la aplicación de una multa por cada infracción que cometa o incumplimiento en que incurra, siempre que no se trate de casos cuya penalidad esté explícitamente contemplada en otros artículos.

Estas multas podrán ser reiteradas diariamente hasta el cese de la infracción o el cumplimiento de lo requerido.

No podrá aplicarse más de una multa por el mismo hecho sancionable. La reiteración continuada de hechos sancionables con multas, podrá dar lugar a la rescisión del contrato, a exclusivo juicio del promotor.

1.3.11 Seguros y conservación de la obra

El contratista será responsable de cualquier accidente que ocurra al personal profesional, técnico, obrero o administrativo, que realice o inspeccione trabajos para aquella, en el lugar o en tránsito, correspondiéndole en consecuencia, las obligaciones que establecen la Leyes nacionales y europeas.

A los efectos precedentemente indicados, el contratista deberá mantener en vigencia y cancelar a su cargo todos los seguros especificados posteriormente.

Se considerará falta grave del contratista tener sin cobertura cualquiera de los riesgos indicados, por lo que deberá presentar las correspondientes renovaciones con sus recibos de cancelaciones con diez (10) días de anticipación a su vencimiento y en las mismas condiciones indicadas.

En caso de incumplimiento, el promotor podrá proceder a la contratación de los seguros con cargo al contratista, independientemente de la aplicación de las sanciones que pudieran corresponder.

La comisión deberá aprobar las pólizas y la entidad aseguradora ofrecida, previo a que aquellas entren en vigencia, para lo cual el contratista deberá someterlas a su consideración, previo a suscribir los contratos de seguros respectivos.

La Compañía de Seguros propuesta debe estar autorizada y tener representación, oficina o sucursal establecida en la ciudad de Jerez de

la Frontera.

Todas las pólizas deben contener cláusulas de ajuste automático de las sumas aseguradas. Los montantes deben estar permanentemente actualizados. También deberán contener una cláusula por la cual la entidad aseguradora asume el compromiso de no reducir ni alterar las condiciones de cobertura sin consentimiento previo y fehaciente del promotor.

Cuando corresponda, dichas pólizas deberán ser endosadas a favor del promotor.

Los seguros que la contratista deberá tomar a su cargo cubrirán los siguientes riesgos :

- Responsabilidad del contratista como empleador.
- Muerte e incapacidad permanente, total o parcial, de todo el personal afectado a los fines del contrato, en un todo de acuerdo a las obligaciones emergentes de la normativa legal vigente.
- La indemnización prevista en de la Ley de Contrato de Trabajo.
- Seguro contra terceros de los vehículos afectados por el contratista a los trabajos.

1.4 Condiciones legales

1.4.1 Contratista

Los contratistas son responsables de la ejecución de los trabajos en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos del proyecto. Por tanto, están obligados a subsanar, asumiendo el gasto, de todo trabajo mal ejecutado. Asimismo se obliga a lo establecido en la ley de contratos de trabajo y dispuesto en la de accidentes de trabajo, subsidio familiar y seguros sociales.

1.4.2 Contrato

El contrato que se establece entre Propiedad o promotor y Contratista será por unidades de obra. La cantidad estipulada para las obras dependerá del volumen de las mismas.

1.4.2.1 Formalización del contrato

Una vez resuelta la adjudicación del contrato, el Contratista deberá comparecer ante el promotor dentro de los cinco días hábiles, para suscribir el pertinente contrato, sin opción a prórroga.

1.4.2.2 Garantía de cumplimiento de contrato

La garantía de cumplimiento del contrato se constituirá por un montante equivalente al cinco por ciento (5%) del monto total de la obra, dentro de los tres (3) días hábiles de notificado el decreto de adjudicación.

1.4.2.3 Constancias previas

Previo a suscribir el contrato, el adjudicatario deberá acreditar:

- Haber constituido la garantía de cumplimiento del contrato, de acuerdo a lo estipulado en el artículo precedente.
- Encontrarse inscrito para el cumplimiento integral de las obligaciones tributarias y previsionales con la Hacienda Pública.
- Haber tomado a su cargo los seguros que se detallan en el pliego, conforme a las coberturas y condiciones indicadas en el mismo.
- Haber cumplimentado lo dispuesto en el artículo siguiente.

1.4.2.4 Documentos del contrato

Formarán parte integrante del contrato:

- El contrato firmado por las partes.
- El pliego de condiciones.
- Los planos pertenecientes al proyecto.

1.4.2.5 Sellado del contrato

Será por cuenta exclusiva del adjudicatario (Contratista) la parte que le corresponda del sellado del contrato, de acuerdo a las normas vigentes en el momento de su suscripción.

1.4.2.6 Incomparecencia del contratista

Si el Adjudicatario no compareciera a suscribir el contrato, o no constituyera la garantía de cumplimiento del mismo ni cumpliera con las demás obligaciones exigidas dentro del plazo establecido, se dejará sin efecto la adjudicación.

Si el promotor desistiera de suscribir el contrato, tal situación no creará derecho alguno a favor del adjudicatario.

1.4.2.7 Aprobación y vigencia del contrato

El contrato será aprobado mediante resolución del promotor, adquiriendo plena validez y eficacia jurídica a partir de su notificación fehaciente al adjudicatario, sin perjuicio de la fecha de comienzo efectivo de las prestaciones.

1.4.2.8 Cesión del contrato

No se admitirá la cesión total del contrato ni la asociación por decisión unilateral del Contratista con terceros, con posterioridad a la adjudicación o a la firma del contrato, bajo pena de quedar sin efecto aquella o de rescindir el contrato, según corresponda, y en todos los casos con las consecuencias legales que ello implique.

Solamente podrá admitirse la cesión total del contrato, cuando concurren, a exclusivo criterio del promotor, causas que lo justifiquen; debiendo en tales casos aprobarlo él mismo mediante resolución.

Si el promotor autorizare la cesión total del contrato, lo que en tal caso sería hasta completar el plazo contractual, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

- El cesionario deberá acreditar todos y cada uno de los requisitos exigidos al cedente, conforme a las disposiciones de la documentación contractual original.
- Se suscribirá un convenio entre el promotor y el cesionario, con el acuerdo de la cedente, por el cual se transfieren todos los derechos y obligaciones emergentes del contrato, manteniendo plena validez todos los documentos del contrato original, incluidos el pliego y todas las modificaciones y condiciones eventualmente acordadas entre las partes con posterioridad a aquél.
- El cesionario deberá constituir las garantías en idénticas condiciones y con iguales características a la garantía de

cumplimiento del contrato.

- Subsistirá la responsabilidad solidaria del cedente por todas las obligaciones inherentes al contrato.
- El cedente, previo a la cesión, deberá abonar al promotor un derecho que se denomina "Derecho de Cesión", el que será equivalente al cincuenta por ciento (50%) del montante de la garantía de cumplimiento del contrato.

A fin de asegurar la homogeneidad, coherencia, correlación y unidad conceptual de las tareas a ejecutar por el contratista, no se admitirá, bajo ningún concepto, la cesión parcial del contrato.

1.4.3 Adjudicación

Por tratarse de una obra realizada por una entidad privada se hará por adjudicación directa, basada en la seriedad y solvencia de la contrata.

1.4.4 Indemnizaciones por parte del Contratista

El Contratista tiene la obligación de reparar cualquier daño ocasionado por sus instalaciones, construcciones auxiliares y demás operaciones realizadas para la realización de la obra en propiedades particulares.

1.4.5 Representantes de la Propiedad y del Contratista

La Dirección Técnica será designada por la Propiedad, a la que el Contratista comunicará por escrito el nombre del Contratista o jefe de obra para su aprobación.

1.4.6 Responsabilidades del contratista

Son de exclusiva responsabilidad del Contratista, además de las expresadas las de:

- Todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sucedan a los operarios, tanto en la construcción como en los andamios, debiendo atenderse a lo dispuesto en la legislación vigente sobre accidentes de trabajo y demás preceptos, relacionados con la construcción, régimen laboral, seguros, subsidiarios, etc...

- El cumplimiento de las Ordenanzas y disposiciones Municipales en vigor. Y en general será responsable de la correcta ejecución de las obras que haya contratado, sin derecho a indemnización por el mayor precio que pudieran costarle los materiales o por erradas maniobras que cometiera, siendo de su cuenta y riesgo los perjuicios que pudieran ocasionarse.

1.4.7 Subcontratas

El Contratista tiene derecho a subcontratar cuantos trabajos crea oportunos siempre que la Dirección Técnica lo apruebe.

La subcontratación no exime de responsabilidad al Contratista que, ante el promotor y a efectos legales, seguirá siendo el responsable de cuantas obras se realicen.

1.4.8 Facilidades para la inspección

El Contratista facilita toda la información necesaria para el replanteo, reconocimiento, mediciones, pruebas materiales e inspecciones visuales de la ejecución de todas las unidades de obra para comprobar el cumplimiento de las condiciones exigidas en el presente Pliego.

1.4.9 Impuestos

El Contratista es el responsable del pago de cualquier tipo de impuesto relacionado con la ejecución del proyecto.

1.4.10 Causas de rescisión del contrato

Cuando, a juicio de la propiedad, el incumplimiento por parte del Contratista de alguna de las cláusulas establecidas pudiera ocasionar trastornos en la realización de las obras, en el cumplimiento de los plazos, o en su aspecto económico, la Propiedad podrá decidir la resolución de las obras, con las generalidades a que hubiera lugar. Podrá proceder con la pérdida de la fianza y de garantía suplementaria si la hubiera, en los siguientes casos:

- Sustitución por parte del Contratista de maquinaria sin autorización o no haberse realizado el montaje en el plazo previsto con un margen del 25%.
- No haberse alcanzado un 50% del programa aprobado de obra en un período de tres meses consecutivos.
- Insolvencia económica del Contratista.

- Disolución, por cualquier causa, de la sociedad.
- Falta de ejecución del 20% de presupuesto de obra al final del plazo de las obras.
- La rescisión se producirá sin pérdida de fianza si la obra se suspende por causas ajenas al Contratista.

2. Pliego de Condiciones Particulares

2.1 Introducción

Como se explicaba en la memoria descriptiva de este proyecto, la planta proyectada se instalará junto a la planta de galvanización lo más cerca posible de los baños a tratar.

Tal y como se refleja en los planos que se adjuntan al proyecto, el espacio disponible es suficiente y la planta irá instalada en la cara suroeste de la galvanizadora.

La obra necesitará primero de una cimentación previa, instalación de zapatas para los tanques y la construcción de un cubeto de retención alrededor.

En este Pliego de Condiciones Particulares se regulan las especificaciones a tener en cuenta para cubrir las necesidades de materiales y equipamiento que presenta la planta.

2.2 Instaladores

Todos los instaladores que se contraten para el montaje de esta planta, han de estar autorizados para ello por las autoridades competentes y estar inscritos en algún registro de oficial de instaladores.

El instalador deberá abstenerse de instalar equipos, aparatos u otros componentes de las instalaciones que no cumplan con las disposiciones vigentes que le son aplicables, poniendo los hechos en conocimiento del comprador o usuario de los mismos. No se reanudarán los trabajos hasta que sean corregidas las deficiencias advertidas.

Una vez concluida la instalación, el instalador facilitará al comprador o usuario de la misma la documentación e instrucciones de mantenimiento peculiares de la instalación, necesarias para su buen uso y conservación así como un certificado que indique que la instalación se puede utilizar por parte del consumidor con todas las garantías legales y de seguridad.

2.3 Condiciones que deben cumplir los materiales

2.3.1 Condiciones generales para materiales

Todos los materiales tendrán las condiciones técnicas que dictan las normas UNE y cuantas normas estime la Dirección Técnica que también deben cumplir.

Las características de los mismos serán las expresadas en los subapartados que siguen, pudiendo la dirección técnica desechar aquellos que a su juicio no las reúnan.

No podrán ser en ningún caso distintos en sus características a los tipos proyectados. Si hubiese que variar la clase de algunos inicialmente aprobados, los nuevos no podrán ser instalados sin la previa autorización de la dirección de obra, la cual podrá someterlos a cuantas pruebas estime oportunas.

2.3.2 Aguas

En general podrán ser utilizadas, tanto para el amasado como para el curado de hormigón en obra, todas las aguas mencionadas como aceptables por la práctica.

Cuando no se posean antecedentes de su utilización o en caso de duda, deberán analizarse las aguas y, salvo justificación especial de que no alteren perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán rechazarse todas las que tengan un PH inferior a 5. Las que posean un total de sustancias disueltas superior a los 15 gr. por litro (15.000 ppm); aquellas cuyo contenido en sulfatos, expresado en SO₄, rebase 14 gr. por litro (1.000 ppm); las que contengan ión cloro en proporción superior a 6 gr. por litro (6.000 ppm); las aguas en las que se aprecia la presencia de hidratos de carbono y, finalmente las que contengan sustancias orgánicas solubles en éter, en cantidad igual o superior a 15 gr. por litro (15.000 ppm).

La toma de muestras y los análisis anteriormente prescritos, deberán realizarse en la forma indicada en los métodos de ensayo UNE 72,36, UNE 72,34, UNE 7130, UNE 7131, UNE 7178, UNE 7132 y UNE 7235.

Aquellas que se empleen para la confección de hormigones en estructura cumplirán las condiciones que se exigen en la Instrucción EH-88/91.

2.3.3 Arenas

La cantidad de sustancias perjudiciales que pueda presentar la arena o árido fino no excederá de los límites que se indican en el cuadro que a continuación se detalla.

	Cantidad máxima en % del peso total de la muestra
Terrones de arcilla.....	1,00
Determinados con arreglo al método ensayo UNE 7133.....	--
Material retenido por el tamiz 0,063 UNE 7050 y que flota en un líquido de peso específico 2.....	0,50
Determinado con arreglo al método de ensayo UNE-7244.....	--
Compuestos de azufre, expresados en SO y referidos al árido seco	4
Determinados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 83.120	0,4

2.3.4 Cementos utilizables

El cemento empleado podrá ser cualquiera de los que se definen en el vigente Pliego de Condiciones para la recepción de Conglomerados Hidráulicos, con tal de que sea de una categoría no inferior a la de 250 y satisfaga las condiciones que en dicho Pliego se prescriben. Además el cemento deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las cualidades que a éste se exigen en el artículo 10º de la Instrucción EH-88/91.

El empleo de cemento aluminoso deberá ser objeto en cada caso, de justificación especial, fijándose por la Dirección Facultativa los controles a los que deberá ser sometido.

En los documentos de origen figurarán el tipo, clase y categoría a que pertenece el conglomerante. Conviene que en dichos documentos se incluyan, asimismo, los resultados de los ensayos que previene el citado Pliego, obtenidos en un Laboratorio Oficial.

2.3.5 Yeso

El yeso negro estará bien cocido y molido, limpio de tierras y no contendrá más del 7 y medio por 100 de granzas. Absorberá al amasarlo una cantidad de agua igual a su volumen y su aumento al fraguar no excederá de una quinta parte. El coeficiente de rotura por aplastamiento de la papilla de yeso fraguado no será inferior a 80 kg./cm² a los veintiocho días.

Se ajustarán a las condiciones fijadas para el yeso en sus distintas designaciones, en el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Yesos y Escayolas en las obras de Construcción.

2.3.6 Hormigones

Los hormigones se ajustarán totalmente a las dosificaciones que se fijen en el correspondiente presupuesto y su docilidad será la necesaria para que no puedan quedar coqueas en la masa del hormigón sin perjuicio de su resistencia.

Durante la ejecución de la obra se sacarán probetas de la misma masa de hormigón que se emplee de acuerdo con las condiciones del control de calidad previsto, observándose en su confección análogas características de apisonado y curado que en la obra. Dichas probetas se romperán a los siete y veintiocho días de su fabricación, siendo válidos los resultados de este último plazo a los efectos de aceptación de la resistencia.

Si las cargas medias de rotura fueran inferiores a las previstas podrá ser rechazada la parte de obra correspondiente, salvo en el caso de que las probetas sacadas directamente de la misma obra den una resistencia superior a la de las probetas de ensayo. Si la obra viene a ser considerada defectuosa, vendrá obligado el Contratista a demoler la parte de la obra que se le indique por parte de la Dirección Facultativa, rechazándola a su costa y sin que ello sea motivo para prorrogar el plazo de ejecución. Todos estos gastos de ensayos, ejecución y rotura de probetas serán por cuenta del Contratista.

Durante el fraguado y primer período de endurecimiento del hormigón se precisa mantener su humedad, mediante el curado, que se realizará durante un plazo mínimo de siete días, durante los cuales se mantendrán húmedas las superficies del hormigón, regándolas directamente, o después de abrirlas con un material como arpillera, etc... que mantenga la humedad y evite la evaporación rápida.

2.3.7 Ladrillos

El ladrillo tendrá las dimensiones, color y forma definidos en las unidades de obra, siendo en cualquier caso bien moldeado, y deberá ajustarse en cuanto a calidad, grado de cochura, tolerancias de dimensiones, etc... a la norma UNE-41004.

La fractura será de grano fino, compacta y homogénea sin caliches, piedras ni cuerpos extraños, golpeados con un martillo producirán un sonido campanil agudo y su color se ofrecerá en todos ellos lo más uniforme posible.

El Contratista deberá presentar a la Dirección Facultativa certificado de garantía del fabricante, para cada clase de ladrillo, de su resistencia a compresión, ajustada a uno de los valores siguientes, dados en kg./cm².

- Ladrillos macizos: 100, 150, 200, 300
- Ladrillos perforados: 150, 200, 300
- Ladrillos huecos: 50, 70, 100, 150, 200

No se admitirán ladrillos con resistencia inferior a los siguientes:

- Ladrillos macizo: 100 kg./cm².
- Ladrillos perforados: 150 kg./cm².
- Ladrillos huecos: 50 kg./cm².

2.3.8 Pinturas y barnices

Todas las sustancias de uso en pintura serán de superior calidad. Los colores preparados reunirán las condiciones siguientes:

- Facilidad de extenderse y cubrir las superficies a que se apliquen.
- Fijeza en la tinta o tono.
- Insolubilidad del agua.
- Facilidad de incorporarse y mezclarse en proporciones cuales quiera con aceites, colas, etc...
- Inalterabilidad a la acción de otros colores, esmaltes o barnices.
- Los aceites y barnices, a su vez, responderán a la calidad siguiente:

- Serán inalterables a la acción de los agentes atmosféricos.
- Conservarán y protegerán la fijeza de los colores.
- Acusarán transparencia y brillo perfectos, siendo rápido su secado.

Los materiales de origen industrial deberán cumplir las condiciones funcionales y de calidad fijadas en la NTE-Pinturas, y las normas UNE que en ella se indican, así como otras disposiciones urgentes, relativas a la fabricación y control industrial.

2.3.9 Tubos para saneamiento

En general, los tubos empleados para la ejecución de saneamiento deberán satisfacer las condiciones mínimas siguientes:

- Serán perfectamente lisos, circulares, de generatriz recta y bien calibrados. No se admitirán los que tengan ondulaciones o desigualdades mayores de cinco milímetros, ni rugosidades de mas de un milímetro de espesor.
- Deberán poder resistir como mínimo una presión hidrostática de prueba de dos atmósferas, sin presentar exudaciones, poros o quebras de ninguna clase.
- En los tubos de hormigón centrifugado los distintos materiales que entran en su fabricación deberán cumplir las prescripciones que para ellos se indicaban en los apartados correspondientes.
- Los tubos de gres deberán ser absolutamente impermeables y su uso quedará supeditado a su facilidad o resistencia al resquebrajamiento como consecuencia de asentos y dilataciones. La cocción de tubos y piezas de gres será perfecta, sin que se produzcan deformaciones o caliches, y su sección en fractura será vítrea, homogénea, compacta y exenta de oquedades. Serán inalterables, por la acción de los ácidos, y la absorción de agua no será superior al 5% de su peso. A efectos de pruebas de ensayo, cumplirán lo especificado en las Normas UNE-41009 y 41010 a 41015 inclusive.

2.3.10 Paneles de chapa plegada para fachadas y cubiertas

El material base será acero laminado en frío y proceso continuo, y galvanizado por el procedimiento SENDZIMIR, que garantice la resistencia a la corrosión y asegure su inalterabilidad a las más fuertes

deformaciones. Los tratamientos de pintura y plastificado se realizarán por procesos tecnológicos que mantengan sus características o las mejoren.

Tendrán preferencia en su aceptación aquellos que estén en posesión del Documento de Idoneidad Técnica.

El Contratista deberá presentar Certificado de Garantía en el que se haga constar por el fabricante el cumplimiento de estas condiciones y los métodos de ensayo seguidos para su constatación.

2.3.11 Materiales no consignados en este pliego

Cualquier material que no se hubiese consignado o descrito en el presente Pliego y fuese necesario utilizar, reunirá las cualidades que requieran para su función a juicio de la Dirección Técnica de la Obra y de conformidad con el Pliego de Condiciones de la Obra. Asimismo serán de preferente aceptación aquellos que estén en posesión del Documento de Idoneidad Técnica.

2.4 Condiciones que deben cumplir los equipos y accesorios

2.4.1 Tanques

Los tanques serán de sección circular, de espesor uniforme (según se especificó en la Memoria Descriptiva) y sus costuras serán mediante soldadura a solape.

Estarán exentos de fisuras, grietas, poros, impurezas, deformaciones o falta de homogeneidad, así como de otros defectos que pudieran disminuir su resistencia y apartar su comportamiento del esperado por sus características.

2.4.2 Decantador

El decantador de la serie Comby tendrá un volumen total de 3.6 m³ y estará formado por un cuerpo cilíndrico y otro troncocónico inferior y de igual diámetro.

Este equipo debe adquirirse con su correspondiente certificado de garantía y ser instalado por personal capacitado.

Si el Contratista decide cambiar de modelo debe informar por escrito a la Dirección Técnica que valorará la decisión y la aceptará si lo estima conveniente. Si no es así, la desinstalación y posterior instalación de un

decantador aceptado por el Ingeniero director correrá a cuenta del Contratista.

2.4.3 Filtros prensa

Los filtros prensa deben ser adquiridos con sus certificados de garantía y serán instalados por personal especializado que comprobarán, una vez instalados, su correcto funcionamiento.

Si el Contratista decide cambiar de modelo debe informar por escrito a la Dirección Técnica que valorará la decisión y la aceptará si lo estima conveniente. Si no es así, la desinstalación y posterior instalación de un filtro aceptado por el Ingeniero director correrá a cuenta del Contratista.

2.4.4 Tuberías

Las tuberías serán de sección circular, de espesor uniforme y sin costura. El material será PVC.

Estarán exentas de fisuras, grietas, poros, impurezas, deformaciones o falta de homogeneidad, así como de otros defectos que pudieran disminuir su resistencia y apartar su comportamiento del esperado por sus características.

2.4.5 Bridas

Estarán libres de defectos, irregularidades, rebabas, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso. Las bridas habrán de ser planas y paralelas, o presentar rigidez suficiente contra deformaciones debidas a la presión de los espárragos.

2.4.6 Válvulas

Las válvulas serán del tipo que la dirección de la obra estime el más adecuado de cara a la línea y servicio en que vayan a ser instaladas.

Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

2.4.7 Juntas

Las juntas estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

2.4.8 Soldaduras

En las partes de la instalación en que deban llevarse a cabo procesos de soldadura a tope, se instalarán durante el proceso de soldado anillos de protección, y se evitará en todo momento que penetren en el interior de las partes a soldar cascarillas y salpicaduras de soldadura.

La soldadura se hará mediante cordones finos, limpiando e inspeccionando después de cada cordón, evitando así que los defectos de un cordón puedan ser enmascarados por el siguiente.

2.4.9 Sensores

Los sensores serán de los tipos especificados en la Memoria, el Contratista debe presentar a la Dirección Técnica los certificados de garantía y personal especializado deberá proceder a su instalación.

El Contratista además, debe incluir un manual de instrucciones de cada equipo que presentará a la Dirección de Obra.

2.4.10 Bombas

Las bombas de las que consta la planta serán de tres tipos:

- Centrífugas
- Dosificadoras de membrana
- Peristálticas

En la Memoria se incluyen los modelos concretos para cada bomba. Si el Contratista decide cambiar de modelo debe informar por escrito a la Dirección Técnica que valorará la decisión y la aceptará si lo estima conveniente. Si no es así, la desinstalación y posterior instalación de bombas aceptadas por el Ingeniero director correrá a cuenta del Contratista

Las bombas se suministran con la correspondiente bancada, sobre la que se montará el conjunto bomba-motor.

DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Enrique Navarro Montes

El contratista presentará al ingeniero los planos y memorias descriptivas de las bombas a emplear, acompañados de los correspondientes certificados de pruebas de sobrecarga, rodaje, etc., efectuadas en el taller del fabricante.



DISEÑO DE UNA PLANTA DEPURADORA DE
EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO METÁLICO PARA
UNA EMPRESA DE GALVANIZADOS.

Documento V :

Presupuesto

Índice del presupuesto

1. Coste del inmovilizado principal.....	1
1.1 Recipientes sometidos a presión.....	1
1.2 Decantador.....	1
1.3 Filtros prensa.....	1
1.4 Reactivos.....	2
1.5 Sistemas de control.....	2
1.6 Sistemas de agitación y mezcla.....	3
1.7 Tuberías.....	3
1.8 Bombas de impulsión.....	3
1.9 Válvulas y accesorios.....	4
2. Coste total de la planta.....	5

1. Coste del inmovilizado principal

1.1 Recipientes sometidos a presión

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
111	Depósito realizado en acero AISI 316L, de 6 m ³ de capacidad.	1	12455	12455
112	Depósito realizado en acero AISI 316L, de 4 m ³ de capacidad.	1	8302	8302
113	Depósito de descarga realizado en acero AISI 316L, de 3 m ³ de capacidad.	1	6226	6226
TOTAL				26983

1.2 Decantador

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
121	Decantador lamelar tipo Comby de 3.6 m ³ de capacidad.	1	9256	9256
TOTAL				9256

1.3 Filtros prensa

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
131	Filtro prensa de la serie FP ®, cuyas medidas son 500×500 mm de placas.	2	6500	13000
TOTAL				13000

1.4 Reactivos

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
141	Depósito de 1000L de solución de peróxido de hidrógeno al 35%.	1	3000	3000
142	Depósito de 1000L de solución solución de hirdóxido amónico al 29%.	1	5950	5950
TOTAL				8950

1.5 Sistemas de control

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
151	Sensor de nivel tipo flotador modelo SCN32 fabricado en polipropileno con cable de PVC.	3	350	1050
152	Controlador de nivel modelo HI 7873.	3	250	750
153	Sensor de pH de la marca DPF modelo SZ 171 con el cuerpo de cristal.	1	2500	2500
154	Controlador de pH Hanna Instruments modelo 931700.	1	300	300
155	Sensor redox modelo ORP serie industrial.	1	2500	2500
156	Controlador redox de microprocesador pH 7685.	1	500	500
157	Electrovalvula Corzan® CPVC serie industrial.	3	350	1050
TOTAL				8650

1.6 Sistemas de agitación y mezcla

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
161	Agitador tipo VT 1000.	2	1200	2400
			TOTAL	2400

1.7 Tuberías

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
171	Tubería PVC de DN 25 mm y PN 16 atm.	63.48 m	2.25 €/m	142.83
172	Tubería PVC de DN 63 mm y PN 6 atm.	5.6 m	5.24 €/m	29.34
			TOTAL	172.17

1.8 Bombas de impulsión

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
181	Electrobomba centrífuga autocebadora de la serie ATM 175	3	188.94	566.82
182	Electrobomba dosificadora de membrana tipo MRB	2	460.32	920.64
183	Bomba peristáltica de la marca Watson-Marlow serie 800.	2	1918.90	3837.80
			TOTAL	5325.26

1.9 Válvulas y accesorios

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario(€)	Importe(€)
191	Válvula de bola en PVC serie Estándar de DN 25 mm.	4	17.86	71.44
192	Válvula de bola en PVC serie Estándar de DN 63 mm.	1	49.35	49.35
193	Válvula de bola en PVC serie 3 Vías de DN 25 mm.	4	45.90	183.60
194	Válvula de bola en PVC serie 3 Vías de DN 63 mm.	1	55.82	55.82
195	Codos de 90º en PVC para encolar de DN 25 mm.	18	0.59	10.62
196	Codos de 90º en PVC para encolar de DN 63 mm.	3	2.77	8.31
197	Té de 90º en PVC para encolar de DN 25 mm.	5	0.74	3.70
198	Té de 90º en PVC para encolar de DN 63 mm.	1	3.56	3.56
199	Caudalímetro Trogamid T® de 100-1000 L/h.	1	169.82	169.82
1910	Brida en PVC de DN 25 mm.	3	4.54	13.62
1911	Brida en PVC de DN 63 mm.	1	10.36	10.36
TOTAL				1631.58

El coste total del inmovilizado principal (I_P) asciende a:

$$I_P = 76368.01 \text{ €}$$

2. Coste total de la planta

Aparte del coste del inmovilizado hay otros gastos que se derivan de la mano de obra, la instalación eléctrica, etc. Estos gastos se pueden clasificar en directos e indirectos y pueden estimarse siguiendo diferentes métodos que se encuentran detallados en la bibliografía.

Uno de estos métodos es el método de estimación factorial de Lang, que ofrece un porcentaje sobre el coste total de inmovilizado para cada elemento que se considere. Según este método los costes totales directos e indirectos vienen definidos como:

$$Coste_{directo} = (1 + \sum f_D) \cdot I_P$$

$$Coste_{indirecto} = (1 + \sum f_D) \cdot \sum f_i \cdot I_P$$

Siendo: $f_D \rightarrow$ Factor de coste directo

$f_i \rightarrow$ Factor de coste indirecto

A continuación se detallan estos costes en dos tablas.

Costes Directos	f_D
Mano de obra	0.15
Estructuras	0.05
Protección contra incendios	0.1
Pintura y limpieza	0.08
Instalación eléctrica	0.1
$\sum f_D$	0.48

Costes Indirectos	f_i
Gastos generales	0.3
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería	0.13
Imprevistos	0.13
$\sum f_i$	0.56

Por tanto, aplicando las expresiones de los costes directos e indirectos se obtiene:

$$Coste_{directo} = (1 + \sum f_D) \cdot I_P = 113024.65\text{€}$$

$$Coste_{indirecto} = (1 + \sum f_D) \cdot \sum f_i \cdot I_P = 63293.8\text{€}$$

El presupuesto total de ejecución del proyecto “Diseño de una planta depuradora de efluentes con alto contenido metálico para una empresa de galvanizados” asciende a:

176.319 €

Ciento setenta y seis mil trescientos diecinueve euros.

Puerto Real, Junio de 2008

Fdo.

Enrique Navarro Montes

