

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una unidad de proceso para el tratamiento superficial (cromado y niquelado) de piezas de acero para automoción

Autor: Alberto GONZÁLEZ DE PRADO

Fecha: Junio 2012





ÍNDICE

1. MEMORIA DESCRIPTIVA	2
2. ANEXOS DE LA MEMORIA	124
3. PLANOS	310
4. PLIEGO DE CONDICIONES.....	317
5. PRESUPUESTO Y MEDICIONES	355

INDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

1.	Introduccion y objeto del proyecto.....	5
1.1	Introduccion	5
1.2	Antecedentes.....	5
1.3	Problemática.....	6
1.3.1	Delimitación del problema y elaboración de un plan de acción.....	6
1.3.2	Fuente u origen de vertido	7
1.3.3	Compuestos químicos indeseables en las aguas residuales.	8
1.4	Objeto del proyecto	8
1.5	Localización.....	9
2.	La desmineralizacion industrial	10
2.1	Alternativas tecnológicas existentes	10
3.	Descripcion del sistema.....	12
3.1	Sistema de produccion.....	12
3.2	Sistema de regeneracion	20
4.	Descripcion de la cadena de tratamiento superficial de piezas de automocion.	23
4.1	Estructura de la cadena de tratamiento superficial	23
4.2	Características de los diferentes baños que componen la cadena	23
4.3	Residuos y efluentes generados.....	24
4.4	Baño de cromado	24
4.5	Baño de níquelado	28
4.6	Baños de lavado inmersión-spray.....	30
5.	Descripcion de los sistemas de filtracion	31
5.1	Definición adsorcion	31
5.2	Filtros de arena.....	32
5.3	Filtros de carbones activos	34
6.	Descripcion del sistema desmineralizador.....	36
6.1	Fundamentos del intercambio ionico	36
6.1.1	Historia del intercambiador iónico.....	36
6.1.2	Clasificación de los intercambiadores iónicos.....	38
6.1.3	Funcionamiento de los intercambiadores iónicos	44
6.1.4	Descripción del fenómeno de intercambio iónico.....	48
6.1.5	Aplicaciones de los intercambiadores iónicos en la industria	49
6.2	Proceso de desmineralizacion	52
6.2.1	Variable del proceso	54
6.2.1	Selección del tipo de resinas	54

6.3	Descripción de las columnas de intercambio	59
6.4	Regeneración de las resinas.....	60
6.4.1	Alternativas tecnológica del proceso de regeneración.....	61
6.4.2	Selección del sistema de regeneración.....	63
6.4.3	Descripción de la tecnología upcore	64
6.4.4	Etapas del proceso de regeneración.....	65
7.	Descripción de equipos e instalaciones	72
7.1	Columnas de intercambio iónico.....	72
7.1.1	Tipo de recipiente.....	72
7.1.2	Material de diseño.....	72
7.1.3	Variables de diseño.....	72
7.1.4	Diseño mecánico de las columnas de intercambio iónico	73
7.1.5	Equipamiento mecánico de las columnas	73
7.2	Sistemas de filtración	76
7.2.1	Tipo de recipiente.....	76
7.2.2	Material de diseño.....	76
7.2.3	Diseño mecánico.....	77
7.2.4	Equipamiento mecánico de los filtros	78
7.3	Depósitos de dilución de regenerantes	79
7.3.1	Material de diseño.....	79
7.3.2	Diseño mecánico de los depósitos	80
7.3.3	Equipamiento de los depósitos.....	80
7.4	Depósito de regenerantes.....	83
7.4.1	Diseño mecánico de los depósitos de regenerante	83
7.5	Depósito de agua desmineralizada.....	84
7.5.1	Tipo de recipiente.....	84
7.5.2	Material de diseño.....	85
7.5.3	Diseño mecánico del depósito de agua desmineralizada.....	85
7.5.4	Equipamiento del depósito.....	86
7.6	Tuberías.....	87
7.6.1	Material de diseño de las tuberías.....	87
7.6.2	Selección de tuberías	87
7.6.3	Líneas de tuberías y dimensionamiento de estas.....	88
7.7	Bombas.....	91
7.8	otros equipos e instalaciones.....	92
7.8.1	arquetas	92
8.	materiales	95

8.1	Acero inoxidable	95
8.2	Plásticos reforzados con fibra de vidrio	97
8.3	PVC.....	99
9.	Distribución en planta	100
9.1	Distancias en la instalación	100
9.2	Distancia entre recipientes.....	101
10.	Control de procesos.....	102
11.	Seguridad en planta.....	108
11.1	Manejo de reactivos	108
11.1.1	Manipulación del ácido sulfúrico	108
11.1.2	Primeros auxilios y actuación con ácido sulfúrico.....	109
11.1.3	Manipulación de la sosa líquida.....	110
11.1.4	Primeros auxilios y actuación con sosa.....	110
11.1.5	Actuación en caso de derrames	112
11.1.6	Elementos de seguridad requeridos.....	113
11.2	Seguridad específica en los equipos	114
11.3	Prevención de riesgos laborales	115
12.	Mantenimiento en planta	117
12.1	Introducción	117
12.2	Mantenimiento general.....	118
12.3	Mantenimiento específico	119
12.3.1	Depósitos	119
12.3.2	Sistemas de filtración.....	119
12.3.3	Columnas de intercambio iónico.....	119
12.3.4	Bombas y compresores	120
13.	Impacto ambiental	121
14.	Bibliografía	122
14.1	Libros de texto	122
14.2	Páginas web	122

1. INTRODUCCION Y OBJETO DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCION

Se presenta el problema de abastecer de agua desmineralizada a un proceso de una cadena de tratamientos superficiales de piezas de acero para el sector automoción, usando para tal fin la propia agua residual generada en dicho proceso.

El proyecto da solución a la necesidad de una planta de tratamiento de esas aguas residual para su posterior uso en el proceso de lavado de piezas.

1.2 ANTECEDENTES

El tratamiento superficial de piezas de acero es un proceso muy utilizado en la industria de la automoción. El proceso consiste en una cadena de baños de tratamientos superficiales con sus respectivos baños de lavado.

El lavado de las piezas se realiza tanto por inmersión como por pulverización de agua a presión, por lo que hablaremos de un lavado por inmersión-spray.

La finalidad de estos baños es impedir que cada baño se contamine con la composición del baño anterior, así como detener la reacción química producida en este mismo baño.

Después de cada inmersión, las piezas se mantiene suspendidas un tiempo determinado, este proceso se denomina escurrido donde el agua de escurrido pasa al baño de lavado.

En el presente proyecto se intenta abordar la problemática de la contaminación de las aguas de lavado, las piezas al ser lavadas desprenden una película adherida en el baño de tratamiento superficial que será recogida por el agua de lavado.

Por lo tanto, este agua está contaminada de todos los reactivos que la pieza ha arrastrado durante el proceso de tratamiento superficial.

La calidad del agua de lavado tiene que tener unas características muy específicas y exigentes, teniendo especial hincapié en los sólidos disueltos y concentración de iones y cationes. Cuando este límite se sobrepasa es preciso renovar el agua de enjuague y adicionar agua desmineralizada nueva, suponiendo un consumo de agua de grandes volúmenes anualmente.

1.3 PROBLEMÁTICA

Nuestra empresa de fabricación de piezas de automoción debe vigilar continuamente la calidad del agua que vierten en su planta, estimulando e interesándose por los programas encaminados a controlar o a resolver situaciones particulares.

Las fases de cualquier programa para el control total de la contaminación son las siguientes:

- 1º. Delimitación del problema y elaboración de un plan de acción.
- 2º. Estudio detallado de ingeniería.
- 3º. Instalación del equipo y puesta en funcionamiento del mismo.

Cada una de estas fases se divide en una serie de etapas, así la primera fase comprende:

- a) Investigación de hechos y datos.
- b) Análisis de los datos.
- c) Experimentación diseñada a disminuir los problemas existentes.
- d) Elaboración de un informe sobre las acciones a emprender.

Esta primera fase supone un porcentaje pequeño de la inversión potencial que puede ser necesaria, y es conveniente que se inicie inmediatamente de forma que se disponga de tiempo para obtener de ella el máximo beneficio.

La segunda fase comprende dos etapas que son:

- a) Diseño del proceso y valoración del mismo.
- b) Estudio definitivo de ingeniería.

La tercera fase comprende cinco etapas que son:

- a) Aprovisionamiento de material de construcción y planificación.
- b) Montaje y prueba de las instalaciones.
- c) Entrenamiento de los operadores.
- d) Puesta en funcionamiento de la planta de tratamiento.
- e) Supervisión del funcionamiento de la planta de tratamiento.

1.3.1 Delimitación del problema y elaboración de un plan de acción

La problemática de vertidos de la cadena de tratamiento superficial de piezas de automoción que se plantea, se resumen en dos apartados:

- Efluentes generados por los lavados realizados en las distintas cadenas, cuyas características son: elevado caudal y muy pequeñas concentraciones de sustancias contaminantes.
- Baños concentrados agotados o contaminados, los cuales con una cierta periodicidad deben ser evacuados.

Para los afluentes generados por los lavados se ha estimado adecuado instalar en la factoría una planta de tratamiento, de unas características tales que permita el tratamiento depurativo de los afluentes generados atendiendo a sus diferentes características.

Para los baños concentrados agotados o contaminados, dado que su tratamiento 'in situ' supondría convertir la factoría en una planta de tratamiento de residuos industriales, se ha previsto su envío a una planta de tratamiento de residuos industriales.

El problema de la eliminación de la contaminación de las aguas residuales de lavado procedentes de las diferentes cadenas de tratamiento se ha abordado desde la perspectiva de no sólo eliminar los contaminantes contenidos en dichas aguas, sino tratar de depurarlas hasta el punto de que puedan ser reutilizadas en el proceso.

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se ha abordado considerando como dato básico de diseño la cantidad de agua residual generada por la factoría.

1.3.2 Fuente u origen de vertido

Agua de lavado contaminada.

El tratamiento de los residuos relacionados con los procesos de tratamiento trata de eliminar los componentes tóxicos del agua residual del lavado. La industria en la que se realiza un tratamiento superficial de pieza metálicas, exigen cantidades copiosas de agua para limpiar la película química que queda sobre la superficie de la pieza al retirarla de la solución del proceso al que se ha sometido antes de someterla al proceso siguiente. La razón es que el agua es el disolvente común para el remanente de películas químicas adheridas a las piezas que están siendo elaboradas.

La película química que se ha formado durante un proceso y que permanece adherida a la superficie puede reaccionar con la solución del proceso siguiente, con lo que se puede producir la precipitación sobre la superficie del metal de sales insolubles que dificultan la buena adhesión de otro metal en la subsiguiente operación, afectando todo ello al brillo y al aspecto del acabado, porque aparecerán manchas, asperezas, etc.

Las sustancias químicas que pasan de un proceso a otro podrán provocar la contaminación de la disolución del último proceso debido a la acumulación lenta de las impurezas y de los componentes químicos que provienen del proceso previo.

El agua residual de lavado que sale de una planta de tratamiento superficial puede arrastrar en disolución los distintos sólidos originalmente contenidos en la película o en las gotas adheridas a la superficie de la pieza al salir de los distintos procesos químicos habidos en las operaciones de acabado.

Mientras que la concentración total de las sales disueltas en el agua puede no haberse incrementado apreciablemente, el líquido residual contiene, bien como sólidos en disolución o como sólidos en suspensión, las diversas sales metálicas, los compuestos derivados de los detergentes y los aniones de los ácidos utilizados y, posiblemente, una pequeña cantidad de los aceites y grasas que se separaron al principio de las superficies trabajadas gracias a los detergentes.

1.3.3 Compuestos químicos indeseables que aparecen en las aguas residuales.

Las disoluciones limpiadoras, de decapado, así como las de otros procesos, pueden contener una gran variedad de compuestos químicos la mayor parte de los cuales pueden resultar tóxicos para la vida acuática incluso a concentraciones muy bajas.

Dichos compuestos de naturaleza química diferente pueden agruparse en:

- Aniones
- Cationes
- Nitratos y fosfatos
- Disolventes, aceites y grasas
- Acidez y alcalinidad
- Sólidos en suspensión
- Jabones y detergentes

1.4 OBJETO DEL PROYECTO

Nuestro proyecto se centrará en la desmineralización continua de aguas residuales de lavado para su posterior reutilización en estos baños de tratamiento superficial de piezas de acero para automoción. Concretamente se centrará en tratar un número máximo de 300000 piezas anuales, 75 piezas diarias. Tratando un volumen máximo de 16 m³/h de agua residual procedente de los baños de tratamiento superficial de piezas de acero.

La planta constará de dos cadenas, en la que cada una de ellas dispondrá de una unidad de filtro de arena, una unidad de filtro de carbón activo, una unidad de intercambio catiónico y otra de intercambio aniónico con sus respectivos sistemas de regeneración.

1.5 LOCALIZACIÓN

La planta de tratamiento superficial de piezas de automoción se ubica en el polígono industrial Itziar, en Deba (Guipúzcoa), España.

El lugar de dicha planta es la parcela nº1 A, calle de Erronda de dicho polígono. A continuación se muestra su localización.



2. LA DESMINERALIZACION INDUSTRIAL

2.1 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES

En el mercado actual podemos encontrar varias alternativas para la eliminación de los iones del agua. Entre ellas las más habituales son la destilación, la osmosis inversa y el intercambio iónico. En función de la composición de entrada, la calidad requerida y la economía del proceso escogeremos uno de los sistemas de desmineralización anteriores.

- **Destilación:** La destilación es un método para separar los componentes de una solución, este depende de la distribución de las sustancias entre las fases gaseosa y líquida y es aplicable a los casos donde todos los componentes se hallan presentes en ambas fases. En lugar de introducir una nueva sustancia a la mezcla, para lograr una segunda fase como se hace en la absorción o desorción gaseosa, la nueva fase se crea en la solución original por evaporación o por condensación. Este sistema presenta un elevado consumo de energía para producir la separación.

- **Osmosis inversa:** La Osmosis Inversa consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable. Es una tecnología recientemente empleada en la industria y proporciona excelentes resultados. Su desventaja reside en el alto coste de inmovilizado que requiere, además los costes de consumo de energía también son elevados.

- **Intercambio iónico:** Es el sistema más extendido en la industria para la desmineralización de aguas, ya que proporciona un efluente de excelente calidad con un coste menos que las otras alternativas existentes.

Comparación entre el intercambio iónico y la ósmosis inversa.

	Intercambio iónico	Ósmosis inversa
Elimina los iones	SI	SI
Elimina las bacterias	NO	SI
Elimina los virus	NO	SI
Elimina los compuestos orgánicos	NO	SI
Se desperdicia agua como rechazo	Solo en regeneración	SI
Conductividad del agua obtenida	Aprox. 10% de la entrada	Aprox. 10% de la entrada
Costes energéticos	BAJOS	MEDIOS
Coste de mantenimiento	BAJO	MEDIO

NOTA: tabla obtenida de www.desmineralizadores.com

Realizando un estudio funcional-económico de las distintas posible operaciones se estableció que, en función de las necesidades y características de nuestra planta de tratamiento, escogeremos la opción del intercambiador iónico suponiendo un ahorro tanto energético como de mantenimiento.

3. DESCRIPCION DEL SISTEMA

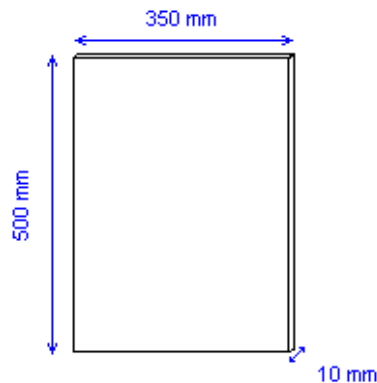
En este capítulo se describe el proceso de producción de agua desmineralizada. A modo descriptivo distinguiremos entre producción de agua desmineralizada y el sistema de regeneración.

El sistema de producción que desarrollamos es elástico, está diseñado para un caudal de alimentación de diseño correspondiente a $16 \text{ m}^3/\text{h}$, máximo caudal de trabajo posible para la planta, y para una duración mínima de ciclo de operación de 120 horas, aunque puede trabajar a caudales menores según las necesidades de la planta de tratamientos superficiales de piezas de acero

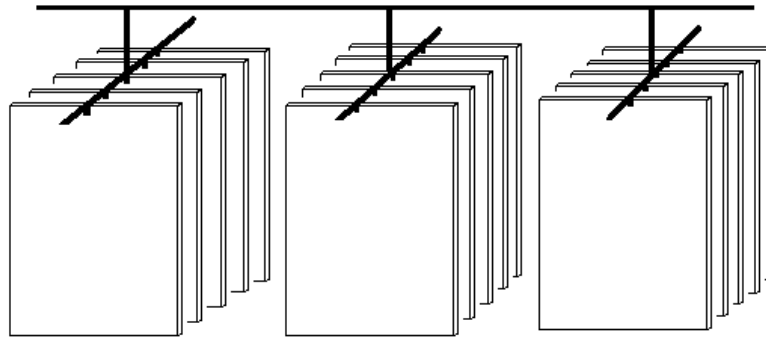
Por el contrario, el sistema de regeneración es rígido, esto es que los caudales de regenerantes y los tiempos estimados de duración de cada etapa no se adecuaran a la variación del caudal de alimentación debido a que el volumen de resina permanecerá constante.

3.1 SISTEMA DE PRODUCCION

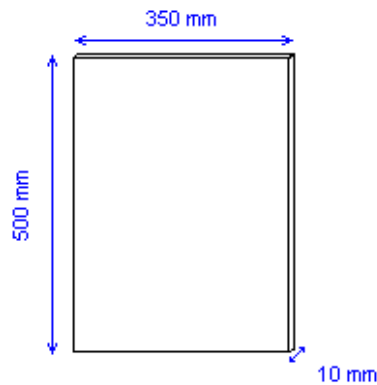
En el presente proyecto se efectuara el tratamiento superficial de 75 planchas de acero por hora, con unas dimensiones de **500x350x10 (mm)**.



La medida de inmersión en los baños, tanto metálicos como de lavado, será mediante estructuras metálicas con una disposición en forma de percha donde se podrán pinzar las 75 planchas en 3 columnas de 25 planchas en cada una, un posible esquema sería:



El volumen de los baños se diseñara en función del número de planchas que se vayan a tratar superficialmente, por lo que el volumen de los baños se calculara en función de las dimensiones de las planchas y el número de estas:



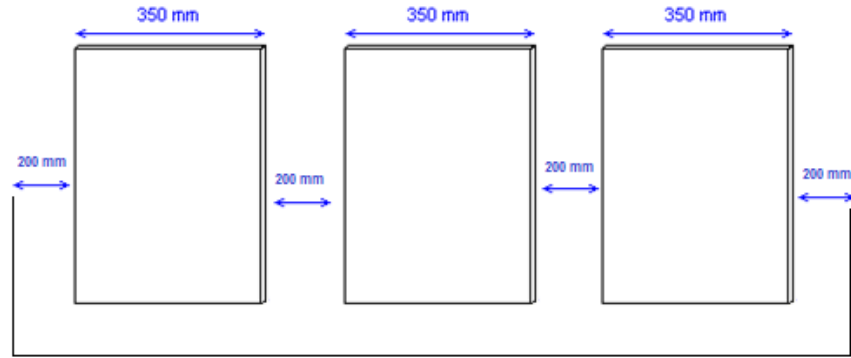
$$\text{Volumen plancha} = 500\text{mm} \times 350\text{mm} \times 10\text{mm}$$

$$\text{Volumen plancha} = 1750000\text{mm}^3 \rightarrow 1,75 \text{ L}$$

Se realiza un estudio barajando las posibles disposiciones de introducción de las placas de acero en los baños para minimizar el volumen y por lo tanto el coste de estos.

ALTERNATIVAS

a) 3 columnas, con 25 planchas por cada una. Distancia entre planchas en la columna 100mm

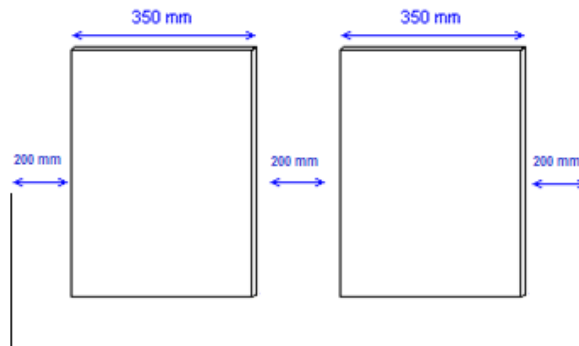


$$\text{Ancho} = (350\text{mm} \times 3) + (200\text{mm} \times 4) = \mathbf{1850\text{mm}}$$

$$\text{Largo} = (10\text{mm} \times 25) + (100\text{mm} \times 26) = \mathbf{2850\text{mm}}$$

$$\text{Alto} = \mathbf{1500\text{mm}}$$

b) 2 columnas, con 38 planchas cada una. Distancia entre planchas en la columna de 100mm

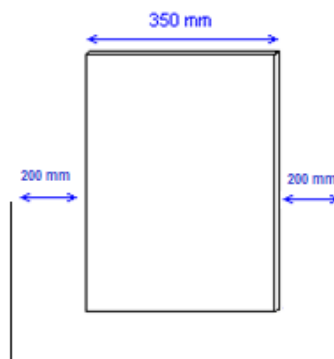


$$\text{Ancho} = (350\text{mm} \times 2) + (200\text{mm} \times 3) = \mathbf{1300\text{mm}}$$

$$\text{Largo} = (10\text{mm} \times 38) + (100\text{mm} \times 39) = \mathbf{4280\text{mm}}$$

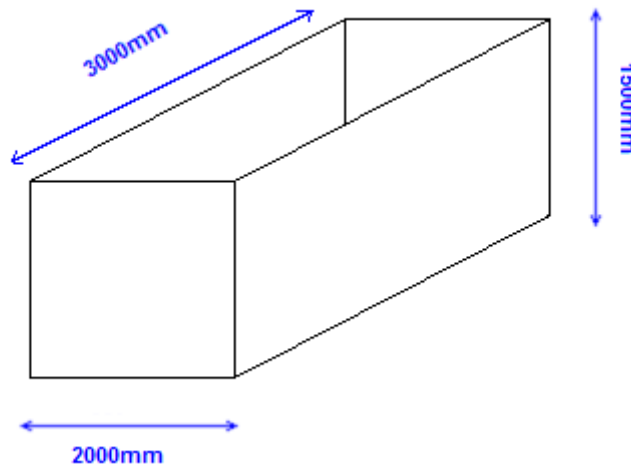
$$\text{Alto} = \mathbf{1500\text{mm}}$$

c) 1 columna, con 75 planchas. Distancia entre planchas en la columna de 100mm



$$\begin{aligned} \text{Ancho} &= 350\text{mm} + (200\text{mm} \times 2) = \mathbf{750\text{mm}} \\ \text{Largo} &= (10\text{mm} \times 75) + (100\text{mm} \times 76) = \mathbf{8350\text{mm}} \\ \text{Alto} &= \mathbf{1500\text{mm}} \end{aligned}$$

Comprobando las diferentes posibilidades, elegimos la primera propuesta como la más adecuada para el diseño de los baños, por lo tanto el dimensionamiento de los baños serán:



$$\text{Volumen plancha} = 3000\text{mm} \times 2000\text{mm} \times 1500\text{mm}$$

$$\text{Volumen plancha} = \mathbf{9 \times 10^9 \text{mm}^3 \rightarrow 9000 \text{L}}$$

- Volumen de agua en los baños

Para evitar posibles riesgos y evitar una mala manipulación, los baños no se llenarán por completo, por lo que se dejara 200 mm vacíos, según especificaciones técnicas.

$$\text{Volumen liquido} = 3000\text{mm} \times 2000\text{mm} \times (1500\text{mm} - 200\text{mm})$$

$$\text{Volumen plancha} = \mathbf{7,8 \times 10^9 \text{mm}^3 \rightarrow 7800\text{L}}$$

Por lo tanto el caudal real máximo de entrada a la planta de tratamiento de agua es de 15,6 m³/h, suponiendo un valor de riesgo, escogeremos 16 m³/h de agua procedente del proceso de tratamiento superficial de piezas de acero (baño de cromado y niquelado), el cual se ha de tratar.

Los elementos principales del sistema de desmineralización son los siguientes:

- Una arqueta de recepción de agua de alimentación procedente de la cadena de tratamiento superficial de acero, tendrá capacidad para almacenar 30 min de caudal máximo de entrada, o lo que es lo mismo 8000 litros de agua a tratar. Realizaremos una sobredimensión por seguridad hasta los 10000 litros
- Dos bombas de alimentación centrifugas monobloc de fundición.
- Dos columnas de filtración sobre arena.
- Dos columnas de filtración sobre carbón activo.
- Dos columnas de intercambio catiónico.
- Dos columnas de intercambio aniónico.
- Un equipo de dosificación de ácido, compuesto por un depósito de almacenamiento de regenerante y un depósito de dilución de estos.
- Un equipo de dosificación de sosa, compuesto por un depósito de almacenamiento de regenerante y un depósito de dilución de estos.
- Un depósito de almacenamiento de agua desmineralizada de 25 m³ de capacidad.
- Multitud de válvulas de 3 y 4 vías.

El agua entra en la planta y se recoge en una arqueta de recepción de agua de tratamiento (AAR) para su posterior aspiración e impulsión por la planta gracias a una de las bombas de alimentación del proceso, la cual es capaz de impulsar el caudal de alimentación a la altura necesaria para vencer las pérdidas de carga a través del sistema provocada por las diversas tuberías, accesorios, columnas, etc., y bombear el agua hasta el depósito de almacenamiento de agua desmineralizada.

La razón de instalar dos bombas en paralelo que funcionaran alternativamente es por cuestiones de seguridad y mantenimiento de estas, ya que el proceso de producción de agua desmineralizada es continuo.

Una vez impulsada el agua desde la arqueta de agua de tratamiento por la bomba de alimentación, la corriente entra en una de las columnas de filtración de arena (FA1, FA2), donde se realizara una primera filtración del agua. Una válvula de 3 vías dirige al flujo hacia una de las dos líneas de filtración, aquella que se encuentre en fase de producción.

Seguidamente la corriente entra en una columna de filtración de carbón activo (FCA1, FCA2), se empleara este equipo debido a que el agua de alimentación contiene sólidos en suspensión que tienen que ser extraídos. Esta columna permitirá alargar la vida útil de las columnas de intercambio iónico. Una válvula de 4 vías dirige al flujo hacia una de las dos líneas de intercambio iónico, aquella que se encuentre en fase de producción.

Posteriormente la corriente de agua filtrada entra en un sistema de intercambio iónico. Existen dos líneas de intercambio iónico compuestas cada una por dos columnas, una de intercambio catiónico y otra de intercambio aniónico, mientras una línea está en fase de producción, la otra está bien en fase de regeneración ó bien en reposo tras la regeneración de su puesta en marcha.

El agua entra en la columna de intercambio catiónico por la parte superior (CC1, CC2), atraviesa el lecho de resina y la abandona por la parte inferior. En esta columna los cationes de agua son remplazados por cationes H^+ , por lo que la corriente de salida de la columna tiene un carácter fuertemente ácido, con un pH que ronda la unidad.

La velocidad lineal del caudal que atraviesa la columna es de 6,3 m/h, este valor se encuentra dentro de los rangos de velocidades facilitados por la empresa fabricante de la resina, existiendo por lo tanto un buen contacto liquido-resina.

Después de la columna de intercambio catiónico el agua bruta se conduce hacia las columna de intercambio aniónico (CA1, CA2) a una velocidad lineal de 5,09m/h, por la parte superior atraviesa el lecho de arriba abajo y sale por la parte inferior.

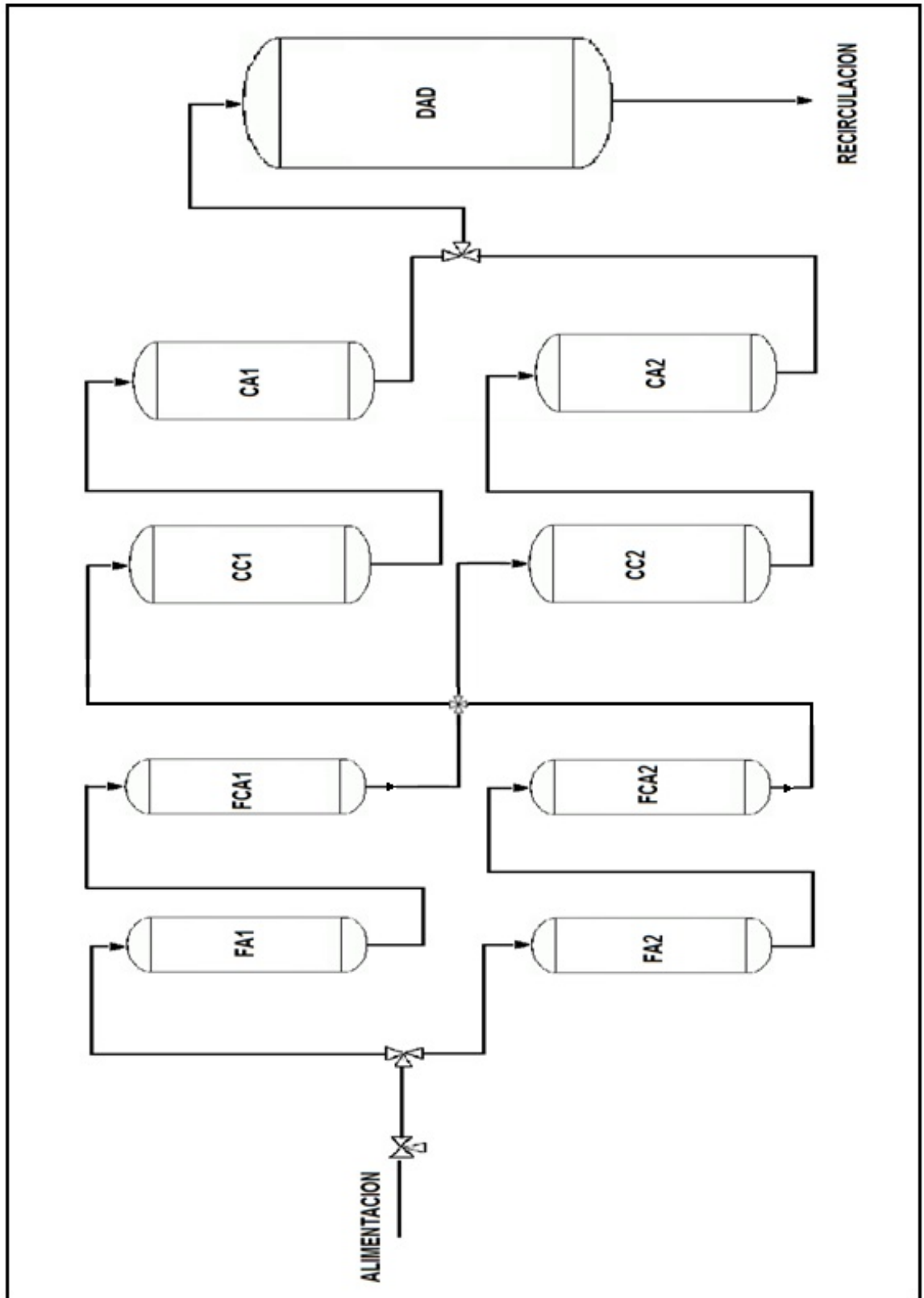
En esta columna, los aniones de agua son remplazados por aniones de OH^- , con lo que el pH del agua de salida de la columna presenta un valor aproximadamente igual al agua de entrada a la planta.

Finalmente, el agua llega al depósito de almacenamiento de agua desmineralizada (DAD) a través de otra válvula de 3 vías que une las dos salidas de los cambiadores de aniones. Esta agua desmineralizada se usará para la regeneración de las resinas de intercambio, como se verá más adelante.

Con esta agua se satisfacen las necesidades de la planta de tratamiento superficial que requiere agua de alta calidad para realizar la limpieza de las planchas de acero tras su tratamiento.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE PRODUCCION

El diagrama de flujo del sistema de producción se describe en el siguiente esquema.



3.2 SISTEMA DE REGENERACION

Las columnas de intercambio han sido diseñadas de modo que se agoten simultáneamente. Una vez que tal hecho se produce, la línea en cuestión entra en proceso regenerativo el cual describiremos a continuación. Los elementos principales que interviene en el sistema de regeneración son los siguientes:

- Un depósito de dilución de regenerante ácido concentrado (DDA) de $0,62\text{m}^3$ de capacidad.
- Un depósito de dilución de regenerante básico concentrado (DDS) de $0,34\text{m}^3$ de capacidad.
- Un depósito de almacenamiento de regenerante ácido concentrado (DA) de $0,39\text{m}^3$ de capacidad.
- Un depósito de almacenamiento de regenerante básico concentrado (DS) de $1,56\text{m}^3$ de capacidad.
- Una bomba de impulsión de regenerantes centrífuga monobloc de acero AISI 316.
- Una bomba de impulsión del agua desmineralizada centrífuga monobloc de fundición.
- Un depósito de almacenamiento de agua desmineralizada (DAD) de 25m^3 de capacidad.
- Varias válvulas de 3 y 4 vías.
- Una arqueta de retención de agua de la red (ARAR) con una capacidad de 22m^3

La regeneración es una secuencia de operaciones realizadas en serie, en la que un sistema de control actúa sobre una serie de válvulas y bombas. Durante la regeneración, la línea regenerada permanecerá aislada del sistema de producción mediante la modificación de la configuración de las válvulas correspondientes.

Antes de proceder a realizar la regeneración de las resinas en sí, se han de diluir los regenerantes concentrados a su concentración adecuada para el posterior proceso, esto constara de dos etapas:

- **Dilución del regenerante ácido.** Se descarga el ácido sulfúrico al 98% del depósito de almacenamiento de regenerante ácido concentrado (DA) al depósito de dilución de regenerante ácido (DDA) para posteriormente diluirlo con agua desmineralizada procedente del depósito de almacenamiento de agua desmineralizada (DAD). El caudal de descarga de regenerante ácido concentrado, al realizarse por gravedad, es función de la altura de regenerante ácido concentrado.

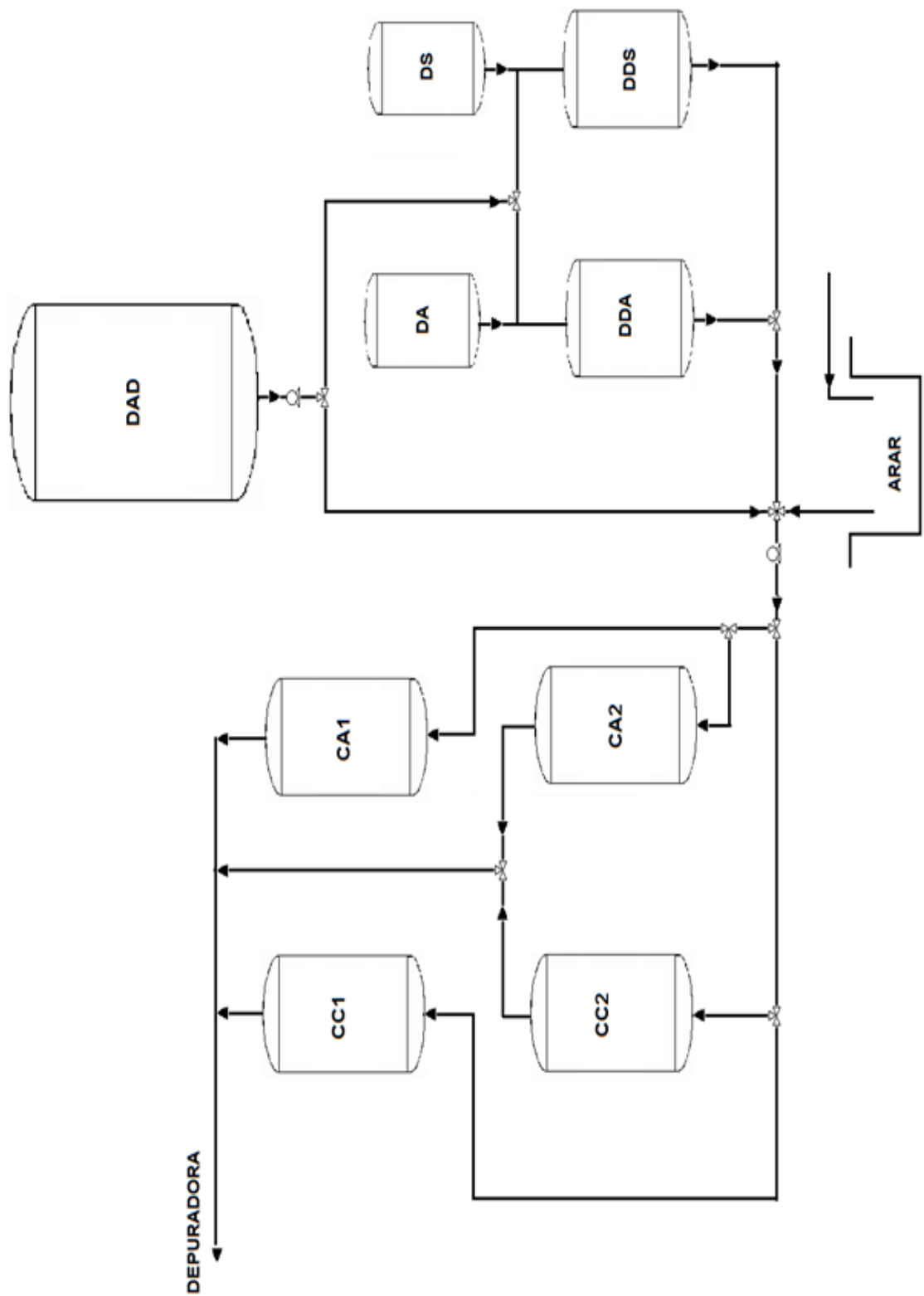
- **Dilución del regenerante básico.** Se descarga la sosa al 50% del depósito de almacenamiento de regenerante básico concentrado (DS) al depósito de dilución de regenerante básico (DDS) para posteriormente diluirlo con agua desmineralizada procedente del depósito de almacenamiento de agua desmineralizada (DAD).

Una vez dispuestos estos volúmenes de regenerantes diluidos ya podemos acometer la etapa de regeneración en sí, cuyas etapas (posteriormente serán definidas) son:

- ❖ Compactación de la resina catiónica
- ❖ Regeneración de la resina catiónica
- ❖ Lavado de la resina catiónica
- ❖ Compactación de la resina aniónica
- ❖ Regeneración de la resina aniónica
- ❖ Lavado de la resina aniónica

DIAGRAMA DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN

El diagrama de flujo del sistema de regeneración se describe en el siguiente esquema.



4. DESCRIPCIÓN DE LA CADENA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE PIEZAS DE AUTOMOCIÓN.

4.1 ESTRUCTURA DE LA CADENA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Los tratamientos de superficie, referidos fundamentalmente a piezas metálicas, tienen por objeto protegerlos contra los ataques de la corrosión, modificar sus características físicas superficiales, mejorar su aspecto exterior o reparar los defectos que se puedan encontrar en sus superficies.

La preparación de las superficies, así como los tratamientos propiamente dichos, requieren la inmersión sucesiva de las piezas en varios baños (cromado, niquelado, cadmiado, desniquelado, etc.), en los que tiene lugar reacciones químicas o electrolíticas.

Al salir de cada baño, las piezas, por su forma geométrica y, debido a los fenómenos de tensión superficial, retienen un volumen no despreciable de líquido. Antes de pasar a la etapa siguiente de tratamiento debe procederse, a un aclarado abundante.

La cadena de baños de tratamiento superficial para las piezas de acero que se propone en el presente proyecto consta de una serie de baños en los que se realizan diferentes tratamientos y cuya ordenación espacial estimada es:

- Cromado
- Lavado inmersión-spray
- Niquelado
- Lavado inmersión-spray

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES BAÑOS QUE COMPONEN LA CADENA

- Baño de cromado
 - *Composición:* Dicromato Sódico 160/180 gr/l. Fluoruro Cálcico saturado. Agua desmineralizada.
 - *Temperatura:* Ebullición continúa.
- Baño de lavado inmersión-spray (1º)
 - Este baño genera vertidos que serán sometidos a tratamiento

- Baño de niquelado
 - *Composición:* Sulfato de Níquel 200-300 g/l, ácido bórico 20-40 g/l, agente anticipativo, níquel metal 60-90 g/l.
 - *Temperatura:* 38/60 °C

- Baño de lavado inmersión-spray (2º)
 - Este baño genera vertidos que será sometidos a tratamiento

4.3 RESIDUOS Y EFLUENTES GENERADOS

Los residuos que se generan en el tratamiento superficial de las piezas de acero, son baños fundamentalmente agotados, desconociéndose el periodo de vida útil de cada baño "vida estimada". Una vez agotados serán tratados y eliminados.

Los vertidos objeto de tratamiento son los procedentes de los baños de lavado, los cuales contienen, aunque a pequeñas concentraciones, iones que pueden plantear problemas de contaminación de aguas.

Los iones presentes en las aguas procedentes de los baños de lavado son:

- 1º lavado : Cr^{VI} , F^-

- 2º lavado: Ácidos, Ni^{2+}

4.4 BAÑO DE CROMADO

DEFINICION

El cromo es un metal muy difícil de trabajar en frío porque es muy duro y quebradizo, en caliente es igual de difícil porque se oxida con una capa de óxido de cromo dura e infusible. Por estas razones el cromo no se suele emplear como metal puro salvo en ocasiones muy raras aunque forma parte de muchas aleaciones.

Debido a las dificultades de la metalurgia de cromo cuando es necesario aplicarlo se emplean básicamente dos procedimientos, sputtering y recubrimiento electrolítico. El recubrimiento electrolítico con cromo es extensivamente usado en la industria para proteger metales de la corrosión y mejorar su aspecto. También se emplea para restaurar piezas metálicas o conseguir superficies muy duraderas y con bajo coeficiente de rozamiento (cromo duro).

El llamado cromo duro son depósitos electrolíticos de espesores relativamente grandes (0,1 mm) que se depositan en piezas que deben soportar grandes esfuerzos de desgaste. Generalmente la capa de cromo depositada no es totalmente uniforme por lo cual se da espesor mayor del necesario y después se rectifican las piezas para conseguir las dimensiones y acabado adecuados.

El cromo tiene poco poder cubriente, menos aún si las capas que se depositan son tan finas como una micra. Por ello las superficies a cubrir deben estar bien pulidas, brillantes y desengrasadas ya que el cromo no va a tapar ninguna imperfección.

Para conseguir un baño electrolítico de cromo se disuelve ácido crómico en agua en una proporción de 300 gramos por litro y se añade 2 gramos por litro de ácido sulfúrico. Se emplea como ánodo un electrodo de plomo o grafito. El plomo sirve como ánodo porque se forma una placa de óxido de plomo que es conductor pero que impide que se siga corroyendo por oxidación anódica. Con el uso el cromo se va agotando y hay que reponerlo añadiendo más ácido crómico.

El ácido crómico se descompone por la corriente eléctrica en cromo metálico que se deposita en el cátodo y oxígeno que se desprende en el ánodo. El ácido crómico contiene aproximadamente un 50% en cromo metálico, esto significa que para que un litro de baño pierda solo un 10 % de concentración tienen que haberse depositado 15 gramos de cromo. Lo cual equivale a recubrir una superficie de aproximadamente dos metros cuadrado con una capa de cromo de 1 micras

Ánodos.

Los ánodos se fabrican en plomo o mejor en una aleación de plomo-antimonio. También se pueden realizar en grafito. Es conveniente aunque no imprescindible que el ánodo tenga al menos diez veces más superficie que la de la pieza a recubrir, Para el recubrimiento en cromo duro, cuanto más cerca este el ánodo del cátodo más uniforme es la distribución del cromo. Se recomienda que ambos estén separados entre 2 y 3 cm. Un ánodo que esté trabajando bien debe tener un color grisáceo de óxido de plomo. Si el ánodo tiene un color amarillento es que se ha formado una capa de cromato de plomo debido a que hay poca densidad de corriente. Conviene sacar los ánodos del electrolito cuando no esté en operación.

Corriente.

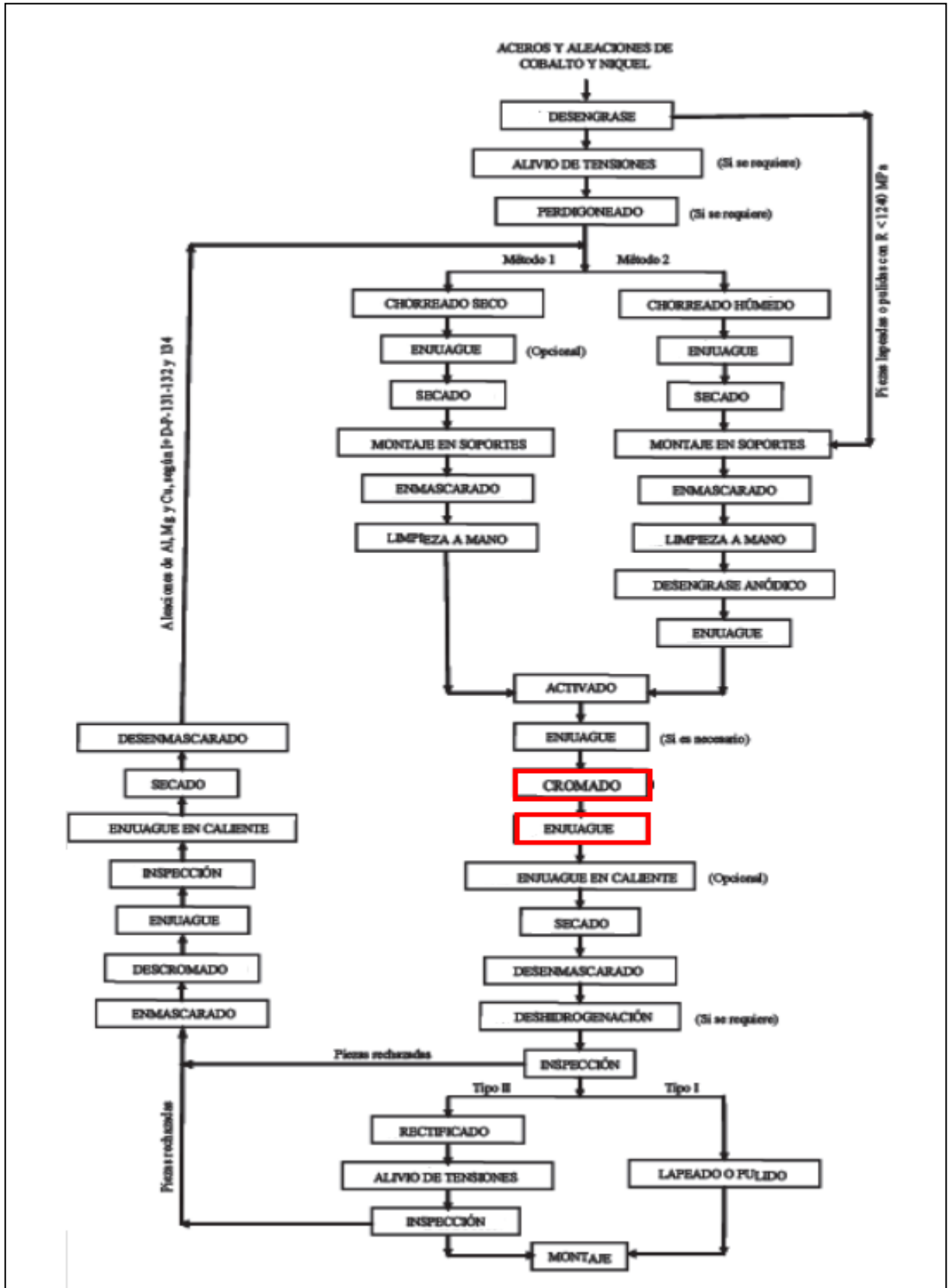
Para la electrólisis del cromo es conveniente emplear corriente continua filtrada. No es conveniente emplear corriente rectificada de media onda sin filtrar ya que en los momentos en que la tensión es nula el ácido crómico ataca al cromo pasivándolo.

Voltaje.

El voltaje está determinado por la configuración de la cuba y los electrodos. Lo que hay que controlar es la intensidad. De cualquier manera el voltaje suele estar por debajo de los 7 voltios.

Esquema general del proceso

Todas las operaciones del proceso de cromado, así como el orden en que deben realizarse, se muestran gráficamente en la figura.



Condiciones para la correcta ejecución del cromado

- Una vez concluidas las operaciones preliminares, las piezas montadas en sus soportes se introducen en el baño cromado, asegurándose de que hagan un buen contacto con la barra catódica. Durante esta operación debe estar conectada la corriente. Las piezas de acero activadas en este baño sólo necesitan una inversión de corriente.
- La uniformidad de los depósitos de cromo depende de la adecuada distancia de las piezas a los ánodos, la cual no debe ser inferior a 10 cm.
- Para mantener la efectividad del baño de cromo es necesario que los ánodos, incluidos los auxiliares, estén constantemente limpios.

REQUERIMIENTOS DE LAS PELICULAS DE CROMO

Aspecto

Los recubrimientos de cromo serán lisos, adherentes, de grano fino y de apariencia uniforme, y estarán libres de arañazos, ampollas, picaduras, nódulos, excesiva formación de aristas u otros defectos. Un acabado áspero y más oscuro en los bordes es característico de quemaduras por exceso de corriente. Son admisibles manchas superficiales como consecuencia de los enjuagues, o ligera decoloración, originada por el tratamiento térmico de deshidrogenación, de alivio de tensiones o de restauración de la resistencia a la fatiga.

Espesor

El espesor de las películas de cromo, estará comprendido entre 50 y 100 μm sobre aceros resistentes a la corrosión, 75 a 100 μm sobre aceros no resistentes a la corrosión y entre 50 y 200 μm sobre el resto de aleaciones salvo excepciones indicadas en los planos

4.5 BAÑO DE NIQUELADO

Definición

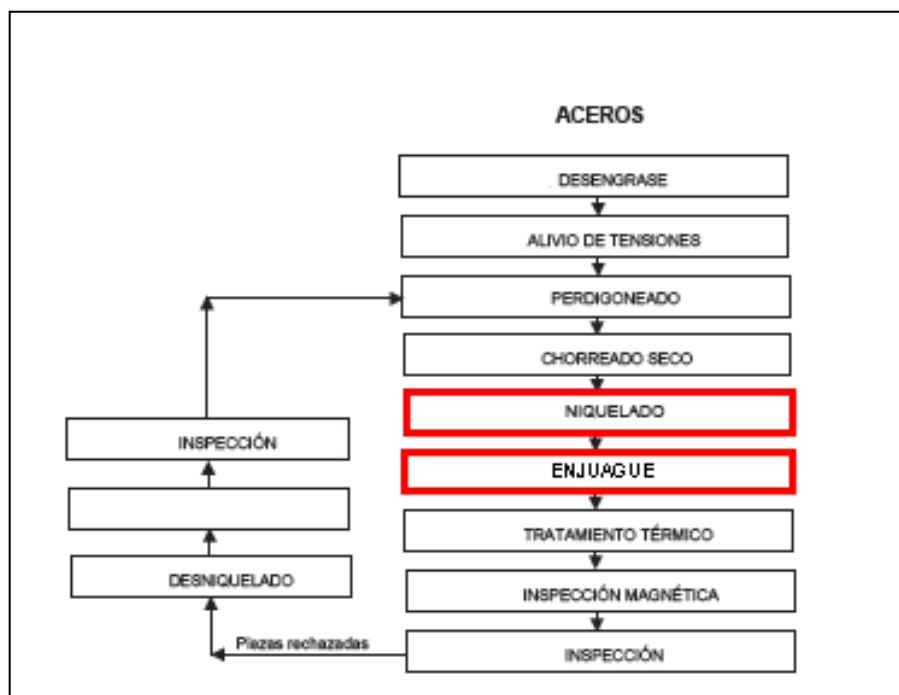
El níquel es un metal muy parecido al hierro, de hecho químicamente se estudian juntos y forman un grupo. Es dúctil y maleable y resiste bastante bien a la corrosión. Es de color parecido al hierro pero un poco más amarillento y menos gris.

Los recubrimientos de níquel se emplean para proporcionar superficies lisas y duras que protegen al metal base contra la corrosión y el desgaste.

El niquelado es un proceso por inmersión en el que no interviene la corriente eléctrica. Está basado en la reducción, en fase acuosa y caliente, de una sal de níquel mediante un hipofosfato alcalino. Dicha reducción requiere, en medio ácido, la presencia de un catalizador que inicialmente es el metal a recubrir y después el níquel depositado.

El espesor de película que se obtiene es uniforme sobre toda la superficie de la pieza, independientemente de su tamaño y configuración.

Todas las operaciones generales del proceso de niquelado químico, así como el orden en que deben realizarse, se muestran gráficamente en la figura.



Condiciones para la correcta ejecución del niquelado químico

- Una vez concluidas las operaciones preliminares, las piezas, montadas en sus soportes o colocadas en cestos, se sumergirán completamente en el baño de niquelado.
- La velocidad de deposición del níquel depende de las concentraciones del sulfato de níquel y del hipofosfito sódico, así como de la temperatura y pH de la disolución. Al incrementar la temperatura aumenta la velocidad de deposición, pero no deben sobrepasarse los límites establecidos pues se descompondría rápidamente la disolución.

4.6 BAÑOS DE LAVADO INMERSION-SPRAY

Estos baños tienen como finalidad la de eliminar de la superficie de las piezas los restos de disolución de los baños anteriores para evitar la contaminación de los baños siguientes.

Se realiza el lavado tanto por inversión como por "spray" con agua desmineralizada de resistividad mínima de 50.000 ohmios/cm a 30°C, una alcalinidad no mayor de 1 ppm, contenido en cloruro inferior a 15 ppm, contenido en sílice inferior a 4 ppm y contenido en sólidos totales inferior a 10 ppm.

5. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN

5.1 DEFINICIÓN ADSORCIÓN

La adsorción: es un proceso de separación, en el cual algunos de los componentes presentes en una mezcla gaseosa o líquida son selectivamente transferidos a la superficie de un sólido, donde los componentes son mantenidos reversiblemente o irreversiblemente.

Las moléculas adsorbidas son el adsorbato y el material retenedor es el adsorbente.

Cuando la unión del adsorbente con el adsorbato se realiza químicamente, el proceso es irreversible, siendo prácticamente imposible la regeneración o recuperación del adsorbente.

La adsorción se caracteriza por dos factores:

- A. INTENSIDAD DE ADSORCIÓN:** que es la fuerza con la cual el absorbido es retenido por el adsorbente.
- B. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN:** que viene expresada en gramos de sustancia adsorbida por cada 100 gramos de adsorbente y es la cantidad que puede captarse en determinadas condiciones de temperatura, concentraciones, humedad del aire y velocidad de paso.
 - 1º. Temperatura: cuanto menor es la temperatura, mayor es la tasa de adsorción.
 - 2º. Concentración: influye directamente sobre la tasa de retención, en cuanto mayor sea la cantidad de sustancia a adsorber, mayor será la cantidad de adsorbente necesario para el tratamiento.
 - 3º. Humedad: en general la humedad relativa H.R. aconsejable es de 70-75%.
 - 4º. Velocidad de paso: es la velocidad con la cual se hace pasar el aire a depurar a través del adsorbente, cuanto menor es la velocidad de paso, la retención es mayor.



Los adsorbentes pueden ser productos naturales como la bentonita ó artificiales como el carbón activo, geles inorgánicos ó adsorbentes sintéticos.

Dentro de los factores que favorecen la adsorción, el más importante es la concentración y el más desfavorable la temperatura, siendo muy importante la estructura de la molécula a adsorber. Por otra parte cabe señalar la selectividad de cada absorbente hacia ciertos absorbatos, habiendo dado lugar este hecho a la aparición en el mercado de adsorbentes específicos para determinados compuestos.

En el presente proyecto se llevara a cabo el diseño de dos sistemas de filtración:

- Filtros de arena
- Filtros de carbón activo

5.2 FILTROS DE ARENA

- **Aplicación**

Se sabe que los filtros de arena son indicados para reducir:

- Partículas en suspensión
- Sólidos en suspensión
- Materia orgánica presente en el agua
- Organismos patógenos presentes en el agua

La filtración en arena consiste en el paso de agua a tratar a través de un medio granular (arena) de manera que las impurezas que lleva el agua queden retenidas en dicho medio hasta su posterior limpieza. Este proceso se lleva a cabo mediante distintos mecanismos que son los que se explicaran a continuación.

El mecanismo más evidente es el de retención de las partículas con un diámetro superior a los espacios que deja vacío el conjunto de granos de arena (el diámetro de la arena se considera entre 0,06 mm y 2 mm según norma UNE y entre 0,074 mm y 4,76mm según norma ASTM.). Se considera que las partículas que se verán atrapadas son las de diámetro inferior a siete veces el diámetro medio de la arena. Si consideramos que el diámetro medio de la arena es de 150 μm , las partículas más grandes de 20 μm se verán retenidas por ver impedido su paso físicamente.

Otro mecanismo es la sedimentación en la capa superior del lecho de arena, acumulación de partículas entre los granos mediante el fenómeno de la difusión y las partículas más pequeñas quedan retenidas por fuerzas de atracción.

- **Ventajas de los filtros de arena**
 1. Único método que consigue un tratamiento del agua tan efectivo sin tratamiento físico o químico.
 2. Sencillo diseño y bajo coste en los materiales.
 3. El mantenimiento es sencillo pero una tarea imprescindible que se debe hacer para que el filtro funcione correctamente.
 4. No existe la posibilidad de contaminar, ya que no se utilizan elementos químicos. Además los lodos se pueden usar como fertilizantes naturales para los cultivos.

Cálculos

Considerando que el agua circula en régimen laminar en la filtración y la presión se mantiene constante del agua de entrada podemos utilizar la ley de Darcy que en su forma más general es la siguiente:

$$q = -k\nabla h$$

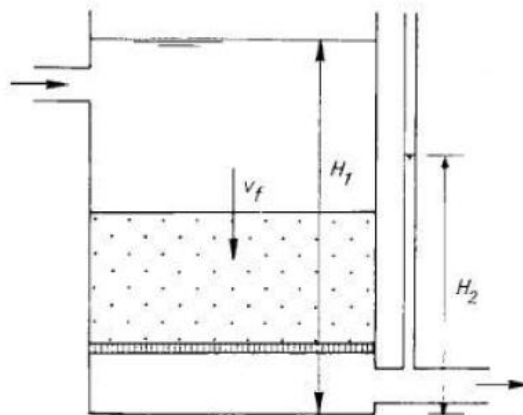
Por otro lado sabemos que el flujo de agua que va a pasar por el filtro viene controlado por:

- Altura superior del agua H_1
- Altura inferior del agua H_2
- La velocidad de filtración, v_f

Si adaptamos la ley de Darcy a un filtro genérico obtenemos la siguiente ecuación:

$$(H_1 - H_2) = \frac{v_f}{k} \times L$$

Donde L es el grosor de la capa de arena, k es el coeficiente de permeabilidad H_1 es el pelo de agua cruda, H_2 es el pelo de agua tratada y v_f es la velocidad de filtración en el lecho de arena.



A medida que pase el tiempo, la velocidad de filtración va disminuir debido a la acumulación de partículas en la arena, disminuyendo el valor de la permeabilidad. Por este motivo es más que recomendable asegurar una altura de agua cruda constante encima del lecho de arena (es decir $H_1 = cte$) y controlar la velocidad de filtración en la salida del agua tratada (H_2 variable).

De esta forma podremos saber cuando la permeabilidad del filtro es tan baja (filtro colmatado) que debemos efectuar el mantenimiento del lecho de arena.

A medida que pasa el tiempo el agua va a tardar más en recorrer el mismo camino (L), ya que las impurezas que lleve el agua cruda van a quedar retenidas en el lecho de arena. Para evitar este fenómeno se coloca un vertedero a la altura del lecho de arena garantizando que el nivel de agua filtrada nunca sea inferior a la parte superior del lecho de arena.

5.3 FILTROS DE CARBONES ACTIVOS

De entre todos los adsorbentes posibles, el carbón activo es con mucho el más empleado.

Con el término de carbón activo se entiende un tipo de carbón que, con técnicas particulares, es activado. Hay un amplio espectro de carbones activos, que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna, (poros y superficie de los mismos) y granulometría. Con la activación el carbón obtiene una elevada porosidad que permite aumentar su superficie interna (hasta 1300 m²/g de carbón activo) y como consecuencia su poder de retención. Los carbones activos se comportan de manera selectiva en relación con algunas sustancias adsorbidas; es decir, las sustancias que entran en el carbón pueden mover o desplazar a las sustancias que habían sido retenidas precedentemente. El comportamiento de un carbón activo puede definirse:

- Cuanto mayor es el peso y las dimensiones moleculares de una misma serie homogénea, mayor es el poder de retención.
- La intensidad de retención aumenta con el número de sustituciones de una sustancia.
- La adsorción aumenta con la introducción de oxígeno, nitrógeno o nitrato unido a un segundo grupo.
- Los gases o vapores que tienen un peso molecular y un punto de ebullición elevados son generalmente bien adsorbidos.

El carbón activo se presenta en forma granular y en polvo.



El carbón activo granular, de tamaño de partícula superior a 1 mm se utiliza en pequeñas instalaciones de lecho fijo (en contenedores en forma de columna, a través de las cuales se hace circular el agua que vamos a tratar), siendo relativamente fácil su regeneración, sobre todo térmicamente, siendo en estos casos necesario disponer de dos columnas (una en servicio y otra en reserva para su regeneración).

El carbón activo en polvo, con tamaño inferior al granular, se emplea en grandes instalaciones y trabaja mezclándose íntimamente en un reactor agitado y es separado posteriormente por floculación o filtración, siendo en este caso mucho más difícil su manipulación y manejo.

La economía del proceso, depende fundamentalmente en la mayor parte de los casos, de la capacidad de regeneración, debiendo tener en cuenta que en cada regeneración hay una pérdida entre el 5 y el 10% del carbón activo, así como de su capacidad de adsorción.

Las principales aplicaciones del carbón activo son la eliminación de color de las aguas residuales, así como de ciertos compuestos como fenoles, en plantas petroquímicas y refinerías.

Las ventajas del filtro de carbón activo son su buena escalabilidad y la baja demanda de espacio, por eso es empleado en los laboratorios, en vitrinas, campanas, armarios de seguridad para productos químicos, construidos en aglomerado hidrófugo y revestidos de laminado plástico ignífugo, en máscaras antigases y en innumerables tratamientos del aire y del agua.

6. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DESMINERALIZADOR

6.1 FUNDAMENTOS DEL INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Se produce la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. La eficacia del proceso depende del equilibrio sólido-fluido y de la velocidad de transferencia de materia. Entre los sólidos predominan los de tipo polimérico basado en resinas sintéticas.

Una resina de intercambio iónico puede considerarse como una estructura de cadenas hidrocarbonadas a las que se encuentran unidos de forma rígida grupos iónicos libres.

Estas cadenas se encuentran unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que proporciona rigidez a la resina y donde el entrecruzamiento determina la estructura porosa interna. Como los iones deben difundirse en el interior de la resina para que ocurra el intercambio, la selección del grado de reticulación puede limitar la movilidad de los iones participantes.

Las cargas de los grupos iónicos inmóviles se equilibran con las de otros iones, de signo opuesto, denominados contraiones, que están libres y que son los que se intercambian realmente con los del electrolito disuelto.

Cuando dichos iones son cationes, los cambiadores iónicos se denominan catiónicos y cuando son aniones se denominan aniónicos.

Hay 2 tipos básicos de resinas- intercambio de cationes e intercambio de aniones. Resinas del intercambio de cationes emiten iones Hidrógeno (H^+) u otros iones como intercambio por cationes impuros presentes en el agua. Resina de intercambio de Aniones despedirá iones de hidróxidos (OH^-) por los iones impuros que están presentes en el agua.

6.1.1 Historia del intercambiador iónico

La ciencia de intercambiar un ión por otro, empleando una matriz, es una metodología antigua. Ya en la Biblia, Moisés emplea la corteza de un árbol para obtener agua potable a partir de agua salobre (Éxodo 15,23-25) y Aristóteles menciona que haciendo pasar agua de mar a través de un recipiente de cera se obtiene agua dulce (Meteorología, libro II, Parte 3).

Las propiedades como intercambiadores iónicos de algunas arcillas y minerales se conocen desde el siglo XIX y se atribuye la primera observación del fenómeno a Thompson y Way, cuyos estudios con distintas muestras de suelos agrícolas fueron publicados en 1850. En sus experimentos pasaron una disolución de abono (sulfato o nitrato amónico) a través de diversas muestras de arcilla procedente de suelos agrícolas, observando que el filtrado obtenido contenía iones calcio en lugar de iones amonio. La importancia de estos resultados en cuanto al fenómeno de intercambio iónico, no fue comprendida en su totalidad hasta que Henneberg y Stohmann y Eichhorn, demostraron la reversibilidad del proceso en 1858.

Más adelante, en 1870, los estudios de Lemberg sobre la capacidad intercambiadora de las zeolitas ampliaron los conocimientos en estos procesos de intercambio.

En 1905 el Químico alemán Gans obtuvo zeolitas sintéticas, que fueron obtenidas por reacción de la mezcla de silicato de sodio o aluminato de sodio, o mezcla de ambas, con sulfato de aluminio. Fueron utilizados durante cerca de catorce años y luego se abandono su uso debido a sus limitaciones.

A partir de 1934 se utilizaron materiales catiónicos producidos por sulfonación de carbón. Este material presentaba un grupo funcional capaz de intercambiar cationes de modo reversible y además operaba en un rango de pH mayor que los silicatos de aluminio, de 1 a 10, por lo que resultaba ser aplicable a un número mayor de procesos industriales. El inconveniente del carbón sulfonado era que su capacidad de intercambio era aun menor que la de los silicatos.

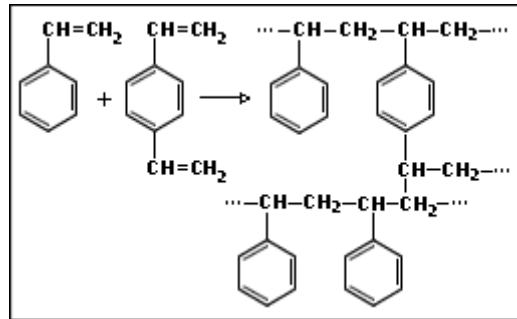
La aportación más importante al desarrollo del intercambio iónico fue la síntesis de resinas orgánicas, realizada en 1935 por los Químicos Basil Adams y Eric Colmes, del Departamento de Investigación Científica e Industrial (Reino Unido), quienes desarrollaron polímeros orgánicos que imitaban a las zeolitas, mediante la reacción de condensación entre el fenol y el formaldehído. Posteriormente, Holmes produjo una resina catiónica fuerte a partir del ácido fenolsulfónico. Las primeras resinas Amberlita (Rohm and Hass) y Dowex (Dow Chemical Co.) se basaban en esta reacción química.

Como resultado de obtener resinas de intercambio catiónico y aniónico, se establecieron procesos para la producción de agua muy pura, constituyendo una alternativa al agua destilada y a precios mucho más baratos.

Gaetano D'Alelio fue quién incorporó grupos de ácido sulfónico a un polímero de estireno, entrecruzado con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno), dando lugar a las resinas catiónicas de ácido fuerte. Unos años más tarde, en 1947,

Mc Burney produjo las resinas aniónicas de base fuerte, cuyo grupo funcional era un amino cuaternario.

El uso del copolímero estireno-divinilbenceno como matriz para enlazar grupos con capacidad de intercambio, supuso una tremenda expansión en los procesos de intercambio iónico. De hecho, la mayoría de las resinas que se emplean actualmente tienen como matriz este copolímero.



En los copolímeros de estireno y divinil benceno, las cadenas de estireno se enlazan mediante el divinil benceno y el contenido de este último está relacionado con la resistencia mecánica e inversamente proporcional con la porosidad. Las resinas modernas tienen mayor estabilidad química y mejoras en la capacidad de intercambio iónico.

En 1948, Skogseid produce la primera resina específica para un metal, potasio, y a partir de este momento los investigadores basaron sus esfuerzos en incorporar a la matriz de la resina distintos grupos funcionales que aumentasen su selectividad por un determinado compuesto, desarrollando así las resinas quelantes.

Desde entonces se ha continuado la investigación y el desarrollo en nuevas estructuras poliméricas (macroporosas, poliacrílicas, tipo gel) dando lugar a una serie de modernas resinas de intercambio iónico, cuyo empleo en el campo de las aplicaciones industriales ha sido enorme.

6.1.2 Clasificación de los intercambiadores iónicos

Los intercambiadores iónicos forman un grupo de materiales muy heterogéneo, cuya única característica común es que contienen una carga eléctrica fija capaz de enlazar a iones de carga opuesta. Se clasifican en dos grandes grupos intercambiadores orgánicos e intercambiadores inorgánicos. Ambos grupos incluyen materiales sintéticos y naturales.

1) Intercambiadores iónicos inorgánicos

- **Naturales:** Son aluminosilicatos como zeolitas, arcillas minerales y feldspatos.
- **Sintéticos:** Generalmente se pueden subdividir en las siguientes categorías:
 - Óxidos metálicos hidratados, Ej. óxido de titanio hidratado, ácido poliantimónico.
 - Sales insolubles de metales polivalentes, Ej. fosfato de titanio.
 - Sales insolubles de heteropoliácidos, ej. molibdofosfato amónico.
 - Sales complejas basadas en hexacianoferratos insolubles.
 - Zeolitas sintéticas.

Las zeolitas y las arcillas son minerales de aluminosilicatos ampliamente distribuidos por la corteza terrestre. Algunas proceden de la erosión de las rocas, otras aparecen como depósitos sedimentarios y, por último, algunas tienen origen volcánico.

Las zeolitas son sólidos microporosos con una estructura cristalina bien definida. La unidad constructora básica es el tetraedro TO_4 (donde $T=Si, Al, B, Ga, Ge, P...$) cuya unión tridimensional a través de los átomos de oxígeno da lugar a la estructura poliédrica típica de las zeolitas. Esta estructura tridimensional presenta pequeños poros y canales en los que se alojan los iones intercambiables y donde tiene lugar la reacción de intercambio iónico.

Las unidades TO_4 más comunes son SiO_4^{-4} y AlO_4^{-5} . La fórmula general de las zeolitas se puede escribir como.



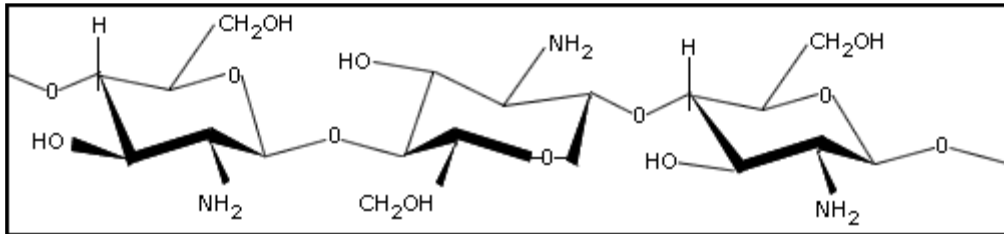
Las arcillas minerales son aluminosilicatos estructurados en capas bidimensionales. Están formadas por una capa resultado de combinar tetraedros de SiO_4 y otra capa resultado de combinar octaedros de Al unido a seis oxígenos o a seis grupos OH. Ambas capas se unen entre sí compartiendo oxígenos. La capacidad de intercambiar cationes es resultado de la sustitución del Si^{4+} por el Al^{3+} en la capa tetraédrica, lo cual supone un exceso de carga negativa que es contrarrestado por cationes susceptibles de ser reemplazados.

Las zeolitas tienen una estructura de poro rígida, mientras que las estructuras en capa de las arcillas minerales tienen cierta elasticidad dependiendo de en qué forma iónica se encuentre el mineral. En ambas, zeolitas y arcillas, las propiedades de intercambio iónico se basan principalmente en la densidad de carga y en el tamaño de poro.

2) Intercambiadores iónicos orgánicos

➤ Resinas orgánicas naturales

Existen varios polímeros naturales que actúan como intercambiadores iónicos, como celulosa, ácido alginico, chitina, chitosan, dextrano y agarosa, y también derivados de éstos.

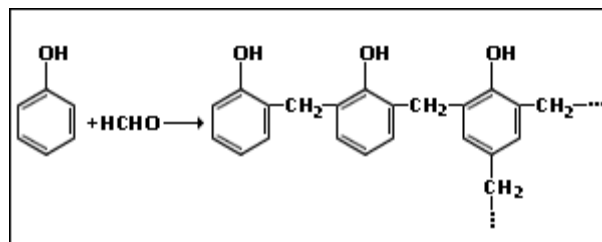


Estructura del chitosan

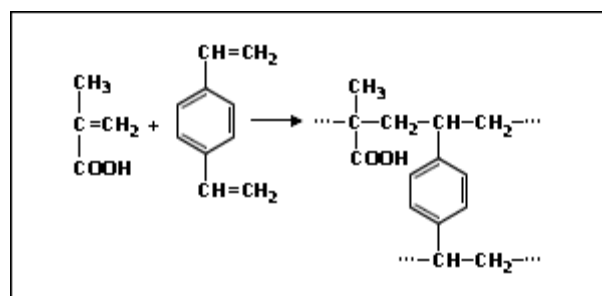
➤ Resinas orgánicas sintéticas

Las resinas sintéticas de intercambio iónico consisten en una matriz polimérica reticulada por la acción de un agente entrecruzante y derivatizada con grupos inorgánicos que actúan como grupos funcionales. Son los materiales más habituales en las aplicaciones de intercambio iónico en la industria.

La mayoría de las resinas comerciales están basadas en la estructura estireno-divinilbenceno, debido a su buena resistencia química y física y a su estabilidad en todo el rango de pH y a la temperatura. También se emplean matrices poliméricas basadas en el ácido acrílico o metacrílico.



Policondensación entre fenol y formaldehído



Polimerización entre el divinilbenceno y el ácido metacrílico

En el proceso de fabricación de la matriz polimérica, estireno y divinilbenceno, que son insolubles en agua, se mezclan mediante un agitador a una velocidad que rompe la mezcla en pequeñas esferas.

Estas esferas a medida que transcurre la reacción se endurecen formando perlas esféricas, que es la forma en la que se suelen presentar estas resinas.

El hinchado del polímero se produce cuando el disolvente penetra en los poros de la estructura polimérica, ensanchándolos y abriendo, por tanto, la estructura. A simple vista, se observa un aumento en el volumen que ocupa la resina. Como inconveniente, el aumento de tamaño de la resina puede dar problemas de exceso de presión si la resina está empaquetada en una columna y también, que la resina sufra procesos de hinchado y deshinchado puede, con el tiempo, afectar a la estabilidad mecánica del polímero.

Hay dos formas de obtener una resina de intercambio iónico funcionalizada:

1. Incorporar el grupo funcional durante la polimerización, por ejemplo empleando monómeros ya funcionalizados.
2. Primero se lleva a cabo el proceso de polimerización y después se introducen los grupos funcionales sobre la matriz polimérica mediante las reacciones químicas oportunas, como sulfonación o cloración-aminación.

Las resinas pueden clasificarse en función de: la estructura de la red polimérica o en función del tipo de grupo funcional

Tipos de resinas de intercambio iónico según su estructura de red

- **Tipo gel:** También conocidas como resinas microporosas ya que presentan tamaños de poro relativamente pequeños. Estas resinas se hinchan en mayor o menor medida en función del porcentaje de agente entrecruzante empleado durante la polimerización y del disolvente en el que se encuentre la resina. Por ejemplo, una resina con baja proporción de divinilbenceno se hinchará mucho en disolución acuosa, abriendo ampliamente su estructura, lo cual permitirá la difusión de iones de gran tamaño.
- **Resinas macroporosas:** También llamadas macroreticulares. Las perlas tienen una relación área/volumen mayor que las resinas tipo gel, y por tanto, mayor capacidad de intercambio. La estructura macroreticular favorece la difusión de los iones, mejorando por tanto la cinética de intercambio.

- **Resinas isoporosas:** Se caracterizan por tener un tamaño de poro uniforme, con lo que aumenta la permeabilidad de los iones en el interior de la red. Son resinas de alta capacidad, regeneración eficiente y de coste más bajo que las resinas macroporosas.

Tipos de resinas de intercambio iónico según el grupo funcional

- **Resinas catiónicas de ácido fuerte:** El grupo funcional es el ácido sulfónico. Estos intercambiadores catiónicos de ácido fuerte funcionan a cualquier nivel de pH, dividen todas las sales, y requieren una cantidad sustancial de regenerante. Esta es la resina que se escoge para casi todas las aplicaciones de suavizado y como primera unidad en un desmineralizador de dos lechos, o como componente catiónico de un lecho mixto.
- **Resinas catiónicas de ácido débil:** El grupo funcional es un ácido carboxílico -COOH. Las resinas catiónicas débilmente ácidas contienen grupos carboxílicos como sitios de intercambio. La resina es altamente eficiente, ya que es regenerada con casi 100% de la cantidad estequiométrica de ácido, comparado con el 200% a 300% requerido para los cationes de ácido fuerte.

Se utilizan muy efectivamente en combinación con una resina catiónica de ácido fuerte que funciona en forma de hidrógeno, ya sea en configuración de lecho separado o lecho estratificado.

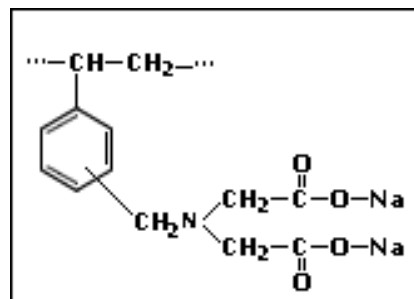
- **Resinas aniónicas de base fuerte:** Se obtienen a partir de la reacción de copolímeros de estireno-divinilbenceno clorometilados con aminas terciarias. El grupo funcional es una sal de amonio cuaternario, R_4N^+ . Las resinas aniónicas de basicidad fuerte derivan su funcionalidad de los sitios de intercambio de amonio cuaternario. Los dos grupos principales de resinas aniónicas de base fuerte son las de Tipo 1 y Tipo 2, dependiendo del tipo de amina que se utiliza durante el proceso de activación química.

Las resinas de Tipo 1 son adecuadas para la eliminación total de aniones en todas las aguas. Son más difíciles de regenerar y se hinchan más al pasar de la forma de cloruro a la de hidróxido que las de Tipo 2. Son más resistentes a altas temperaturas y deben ser usadas en aguas de alta alcalinidad y alto contenido de silicio.

Las resinas de Tipo 2 también presentan la eliminación de todos los aniones, pero pueden ser menos efectivas en eliminar el silicio y dióxido de carbono de las aguas. Los aniones de Tipo 2 brindan mejores resultados en aguas que contienen predominantemente ácidos de minerales libres.

- **Resinas aniónicas de base débil:** Resinas funcionalizadas con grupos de amina primaria, $-NH_2$, secundaria, $-NHR$, y terciaria, $-NR_2$. Suelen aplicarse a la adsorción de ácidos fuertes con buena capacidad, pero su cinética es lenta. Esta resina débilmente ionizada es regenerada por cantidades de base casi de hidróxido de sodio que restauran los sitios de intercambio a la forma de base libre. Las resinas aniónicas débiles suelen ser usadas en aguas con niveles elevados de sulfatos o cloruros, o donde no se requiera la eliminación de la alcalinidad y del silicio.
- **Resinas quelatantes:** En estas resinas el grupo funcional tiene las propiedades de un reactivo específico, ya que forman quelatos selectivamente con algunos iones metálicos. Los átomos más frecuentes son azufre, nitrógeno, oxígeno y fósforo, que forman enlaces de coordinación con los metales. Sus ventajas sobre las demás es la selectividad que muestran hacia metales de transición y que el carácter de ácido débil del grupo funcional facilita la regeneración de la resina con un ácido mineral.

No obstante son poco utilizadas en la industria por ser más caras que las anteriores y por tener una cinética de absorción más lenta. La resina quelatante más conocida tiene como grupo funcional el ácido iminodiacético, cuya fórmula puede verse en la siguiente figura.



➤ Resinas impregnadas

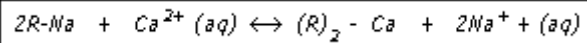
Constan de un soporte polimérico que se impregna con una disolución orgánica que contiene a un extractante selectivo a un metal en concreto. Estas resinas tienen un grave inconveniente que es la pérdida de disolvente durante su uso, lo cual reduce su aplicabilidad.

6.1.3 Funcionamiento de los intercambiadores iónicos

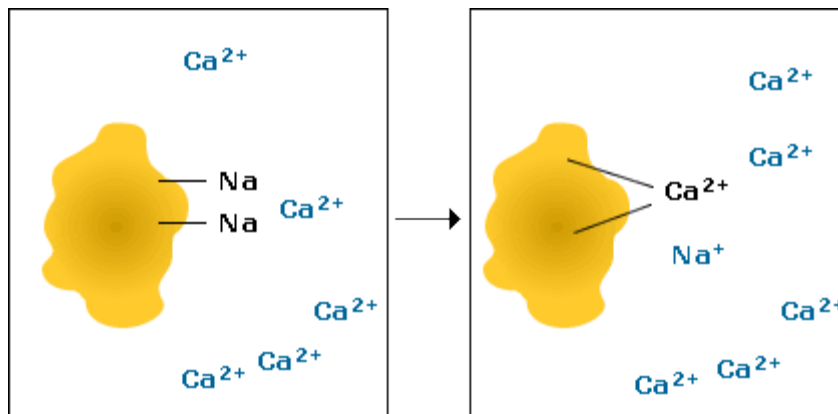
➤ Reacción de intercambio iónico

Los intercambiadores iónicos son matrices sólidas que contienen sitios activos (también llamados grupos ionogénicos) con carga electrostática, positiva o negativa, neutralizada por un ion de carga opuesta (contraion). En estos sitios activos tiene lugar la reacción de intercambio iónico.

Esta reacción se puede ilustrar con la siguiente ecuación tomando como ejemplo el intercambio entre el ion sodio, Na^+ , que se encuentra en los sitios activos de la matriz R, y el ion calcio, Ca^{2+} , presente en la disolución que contacta dicha matriz.

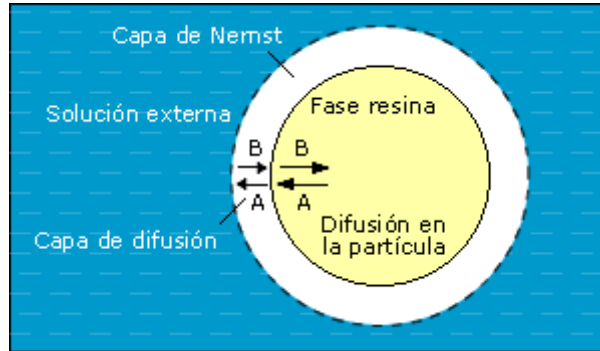


Una representación simplificada de lo que está sucediendo en los sitios activos de la resina se puede ver en esta figura.



A medida que la disolución pasa a través de la resina, los iones presentes en dicha disolución desplazan a los que estaban originariamente en los sitios activos. La eficiencia de este proceso depende de factores como la afinidad de la resina por un ion en particular, el pH de la disolución si el grupo activo tiene carácter ácido y básico, la concentración de iones o la temperatura.

El movimiento en el proceso de intercambio iónico se denomina difusión. La difusión de un ion está en función de su dimensión, carga electrostática, la temperatura y también está influenciada por la estructura y tamaño de poro de la matriz). El proceso de difusión tiene lugar entre zonas de distinta concentración de iones, de más concentrado a menos, hasta que tengan la misma concentración.



➤ Parámetros característicos de los intercambiadores iónicos

Se definirán una serie de parámetros para el estudio de los intercambiadores iónico:

- **Capacidad de intercambio:** Es la cantidad de iones que una resina puede intercambiar en determinadas condiciones experimentales. Depende del tipo de grupo activo y del grado de entrecruzamiento de la matriz y se expresa en equivalentes por litro de resina, o por gramo
- **Capacidad específica teórica:** Es el número máximo de sitios activos del intercambiador por gramo. Este valor suele ser mayor que la capacidad de intercambio, ya que no todos los sitios activos son accesibles a los iones en disolución.
- **Selectividad:** Propiedad de los intercambiadores iónicos por la que un intercambiador muestra mayor afinidad por un ion que por otro. La selectividad de una resina por un ion determinado se mide con el coeficiente de selectividad, K.

➤ Técnicas generales

El tratamiento de una disolución con un intercambiador iónico se puede llevar a cabo mediante dos configuraciones distintas, en discontinuo o en columna.

○ **Intercambio iónico en discontinuo**

En las operaciones en discontinuo, se mezcla el intercambiador y la disolución en un recipiente hasta que el intercambio de iones alcanza el equilibrio. Esta configuración no puede aplicarse para devolver el intercambiador a su forma iónica original, ya que el proceso de regeneración en discontinuo no es químicamente eficiente. Es necesario recuperar el intercambiador por decantación y transferirlo a una columna para proceder a su regeneración. Este método, a pesar de ser muy eficiente, tiene pocas aplicaciones industriales.

- **Intercambio iónico en columna**

Esta configuración es la que se emplea más a menudo en los procesos de intercambio iónico. El intercambiador se coloca en el interior de una columna vertical, a través de la cual fluye la disolución a tratar. El proceso global consta de varias etapas que a continuación describiremos brevemente.

- Etapas del proceso de intercambio iónico en columna

- **Empaquetamiento de la columna:** Consiste en introducir el intercambiador en el interior de la columna evitando la formación de bolsas de aire entre sus partículas para así obtener un lecho uniforme. Esta operación se realiza habitualmente lavando el intercambiador con agua destilada, que además resulta útil para eliminar posibles impurezas.
- **Acondicionamiento del intercambiador:** En la etapa de acondicionamiento se procede a cambiar el contraión de la resina poniéndola en contacto con una disolución concentrada del ion que se desea tener. Una vez se ha conseguido este objetivo y la resina está en la forma iónica deseada, debe eliminarse el exceso de esta disolución lavando la resina con agua destilada.
- **Etapas de carga:** En esta etapa tiene lugar el intercambio de iones entre la disolución a tratar y el intercambiador. La disolución a tratar se introduce en la columna y fluye gradualmente a través del intercambiador. Las condiciones de operación (velocidad de flujo, pH de la disolución etc) dependerán del tipo de intercambiador utilizado, y es importante optimizarlas para obtener un buen rendimiento en cuanto a capacidad y selectividad.

Una vez la concentración de los iones en la disolución de salida sea igual a la de la concentración de entrada, el intercambiador ha agotado toda su capacidad de intercambio en las condiciones de operación.

- **Etapas de regeneración:** La etapa de regeneración consiste en devolver el intercambiador saturado a su forma iónica inicial, empleando una disolución concentrada en el ion originariamente asociado al intercambiador (por ejemplo, un ácido mineral para una resina ácida fuerte). Esta etapa es muy importante en el proceso de intercambio iónico ya que el buen funcionamiento del intercambiador en sucesivos procesos de carga depende de una regeneración eficiente.

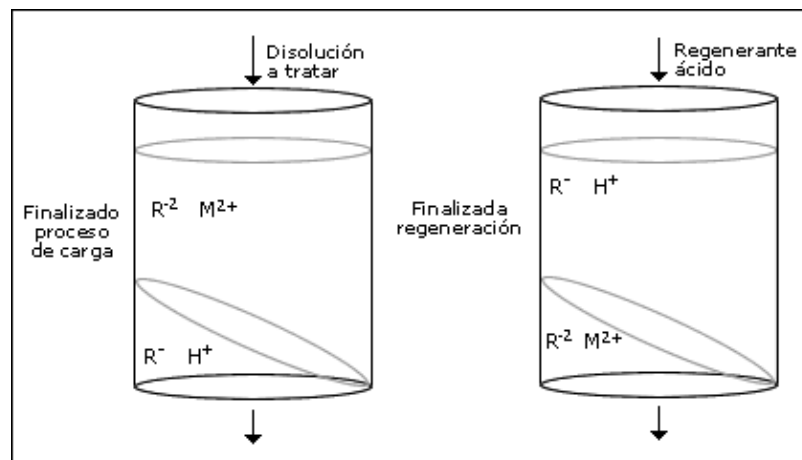
La regeneración tiene dos inconvenientes importantes:

- El gasto económico en regenerante. Puede reducirse reutilizándolo hasta que pierda su eficiencia aunque esta opción tampoco es del todo económica ya que implica establecer unas condiciones para su almacenaje.
- La generación de residuos, ya que después de regenerar el intercambiador se obtienen disoluciones altamente ácidas o básicas generalmente muy concentradas en metales que deben ser tratadas o eliminadas

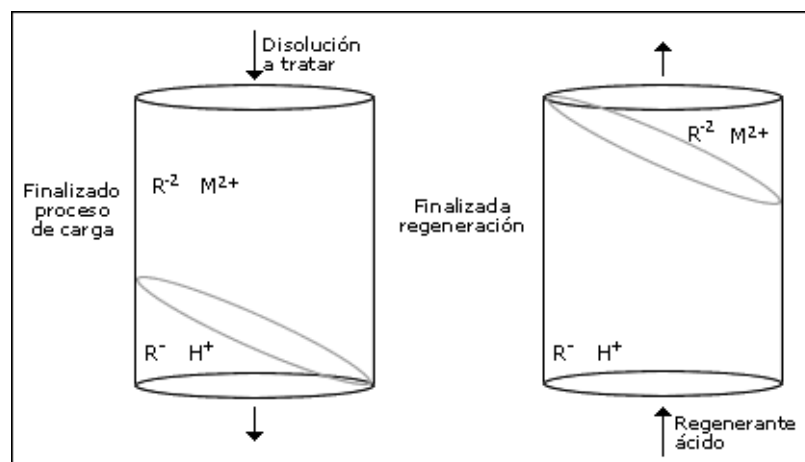
➤ Modos de operación en el intercambio iónico en columna

En los procesos de intercambio iónico en columna se puede trabajar de dos modos:

- 1) Las disoluciones de carga y de regeneración se introducen siempre por la parte superior de la columna.



- 2) El regenerante se introduce en dirección opuesta a la disolución de carga, es decir, por la parte inferior de la columna. Este proceso se denomina proceso en contracorriente



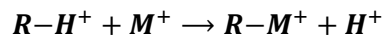
El procedimiento más habitual es el primero, ya que supone un equipamiento más barato que el segundo. No obstante, este modo de operación utiliza el regenerante menos eficientemente que el proceso en contracorriente. En éste, al pasar el regenerante de abajo a arriba, se fluidiza el lecho de intercambiador, de manera que se aumenta la superficie de contacto, la regeneración es más rápida y se necesita menos volumen de regenerante.

Como veremos posteriormente el sistema que se ha escogido para el diseño de nuestro intercambiador iónico, es el proceso a contracorriente.

6.1.4 Descripción del fenómeno de intercambio iónico

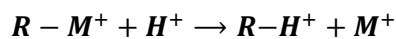
INTERCAMBIADORES CATIONICOS

Las resinas de intercambio catiónico (R-H⁺) separan los cationes (M⁺) de una solución, intercambiándolos por protones.



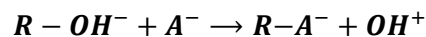
Los iones cargados positivamente van quedando retenidos sobre la resina, produciéndose un efluente que contiene principalmente especies en forma acida, hasta que la resina se agota.

La resina debe regenerarse para volver a ser operativa. La regeneración se efectúa con ácido diluido (HCl o H₂SO₄), el cual cede protones a la resina y desplaza los cationes retenidos.

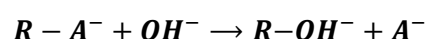


INTERCAMBIADORES ANIONICOS

Las resinas intercambiadoras aniónicas separan aniones de una solución intercambiándolos por iones hidroxilo a través de un proceso análogo al de la resina catiónica, con el que el pH de salida se hace más básico.



Este proceso continua hasta el agotamiento de la resina momento en el cual debe regenerar esta, lo cual se logra haciendo pasar a través del lecho una solución de sosa, la cual cede sus grupos hidroxilo a la resina y arrastra los aniones retenidos en forma de sales sódicas.



6.1.5 Aplicaciones de los intercambiadores iónicos en la industria

Además de su clásica aplicación en tratamiento de aguas, la tecnología de intercambio iónico se aplica a distintos procesos dentro de la industria, como purificación, catálisis, recuperación de metales valiosos, etc. A continuación se describen brevemente estas áreas de aplicación de los intercambiadores iónicos.

- **Eliminación de la dureza del agua**

El paso del agua por rocas sedimentarias como la piedra caliza, provoca que dos de los iones más comunes en aguas naturales sean el calcio y el magnesio. Estos cationes divalentes, cuando se encuentran en altas concentraciones, son los responsables de la dureza del agua.

El empleo de agua dura tanto para usos domésticos como industriales, provoca problemas de formación de depósitos e incrustaciones y dificulta la acción de los detergentes, ya que se forman espumas y precipitados que reducen su eficiencia.

Las zeolitas se utilizan en la eliminación de la dureza de aguas domésticas e industriales por su capacidad de intercambiar los iones calcio y magnesio presentes en el agua por iones sodio alojados en su estructura. El 80% de la producción de zeolitas se emplea en esta aplicación. Además, el uso de zeolitas naturales tiene la ventaja de ser compatible con medidas de protección del medio ambiente.

En la eliminación de la dureza del agua también se emplean intercambiadores iónicos más versátiles como carbón sulfonado, resinas sulfonadas de fenol-formaldehído y, en los últimos años resinas de poliestireno sulfonado.

- **Alcalinidad del agua**

En el agua también se encuentran distintos aniones como bicarbonato, carbonato, hidróxidos, cloruro, sulfato, fluoruro, fosfatos etc. El agua altamente alcalina tiene un sabor amargo. En la industria, la alcalinidad es un problema cuando se emplea agua hirviendo, ya que el vapor de agua es rico en CO_2 que al condensar forma ácido carbónico capaz de atacar el metal de las conducciones.

Para eliminar los aniones responsables de la alcalinidad del agua se utilizan resinas aniónicas de intercambio, generalmente en forma cloruro, de modo que se intercambian los aniones del agua por el cloruro de la resina.

- **Eliminación de materia orgánica**

En la superficie del agua podemos encontrar ácidos orgánicos, como ácidos húmicos o taninos. La presencia de esta materia orgánica en el agua para uso doméstico puede conferirle olor, color y un sabor desagradable. Estas sustancias pueden eliminarse empleando resinas aniónicas de intercambio en forma cloruro, especialmente resinas acrílicas.

- **Eliminación de nitratos**

El uso excesivo de fertilizantes, el estiércol y los efluentes procedentes de explotaciones ganaderas son los responsables de la contaminación del agua por el anión nitrato NO_3^- . La eliminación de este anión se puede realizar mediante resinas de intercambio aniónico en forma cloruro.

- **Eliminación del ion amonio**

Las aguas residuales vertidas por industrias, redes de alcantarillado y producidas en procesos agrícolas y ganaderos son las responsables de la presencia del ion amonio en lagos, ríos y, a la larga, en pozos de agua potable.

Para la eliminación de amonio mediante intercambio iónico, además de las resinas catiónicas convencionales, se emplean también intercambiadores iónicos inorgánicos (zeolitas)

- **Desionización del agua**

El agua desionizada es un ingrediente esencial en aplicaciones médicas, laboratorios, en la industria farmacéutica, cosméticos, microelectrónica...etc.

El proceso de desionización del agua consiste en reducir la concentración de iones presentes en ella a niveles muy bajos, proceso que puede llevarse a cabo mediante intercambio iónico. En este proceso se emplea una resina catiónica de intercambio para eliminar los cationes (sodio, calcio, magnesio, etc) y dos resinas aniónicas, una básica débil que absorberá los ácidos fuertes y otra básica fuerte para intercambiar los aniones (cloruro, sulfato, bicarbonato, etc.)

- **Residuos nucleares**

Los intercambiadores iónicos se utilizan en la industria de la energía nuclear en varias de las etapas del ciclo de obtención del combustible nuclear, en el tratamiento de efluentes contaminados con elementos radioactivos y en la purificación del agua de refrigeración del núcleo. Generalmente se emplean resinas de intercambio orgánicas.

- **Aplicaciones en la industria alimentaria**

La tecnología de intercambio iónico se emplea en muchos procesos de la industria alimentaria. Además de las aplicaciones ya comentadas como la purificación del agua (proceso esencial en la industria de la cerveza), los intercambiadores iónicos se utilizan para desmineralizar líquidos azucarados y jarabes, controlar la acidez, olor, color, sabor y contenido en sal del alimento y también para aislar o purificar un aditivo o un componente del alimento.

- **Aplicaciones en la industria farmacéutica**

Los intercambiadores iónicos y resinas adsorbentes se utilizan ampliamente en la industria farmacéutica en aplicaciones muy diversas que pueden agruparse en las siguientes categorías.

- Se emplean resinas de intercambio en la recuperación y purificación de diversos productos, como antibióticos, vitaminas, enzimas, proteínas.
- Como excipientes en la formulación de fármacos, para enmascarar el mal sabor del principio activo, estabilizar el fármaco y acelerar la desintegración de la pastilla después de su ingestión.
- Dosificación controlada de fármacos: El intercambiador iónico libera lentamente el fármaco alojado en su matriz polimérica.
- Algunas resinas de intercambio iónico han demostrado tener actividad terapéutica, y se aplican en la reducción de colesterol en sangre, para adsorber sales biliares, etc.

- **Catálisis**

Un catalizador es una sustancia capaz de acelerar la velocidad de una reacción química sin sufrir ningún cambio químico permanente y pudiendo recuperarse al final de la reacción. Catalizar un proceso es de vital importancia en la industria química, donde se aplican desde catalizadores heterogéneos en la forma de sólidos porosos hasta catalizadores homogéneos que se disuelven en la mezcla de reacción.

Los intercambiadores iónicos se aplican como catalizadores heterogéneos en muchas reacciones químicas, ya que tienen la ventaja sobre la catálisis homogénea no sólo que se consiguen mejores rendimientos de reacción, sino también que se separan del medio con una simple filtración.

- **Agricultura**

El fenómeno de intercambio iónico es básico en la agricultura, ya que tiene un importante papel en la absorción de nutrientes por parte de las plantas. De hecho, el suelo es un gran sistema intercambiador de iones, con capacidad para calcio, magnesio, potasio, amonio, nitratos y fosfatos.

Las zeolitas se han aplicado para controlar la liberación de nutrientes al suelo agrícola, ya que tienen la ventaja que sustituyen a los fertilizantes solubles que pueden contaminar el agua y además que impiden la pérdida de nutrientes por disolución. También se emplean para retener la humedad del suelo y para elevar el pH en suelos ácidos.

- **Hidrometalurgia**

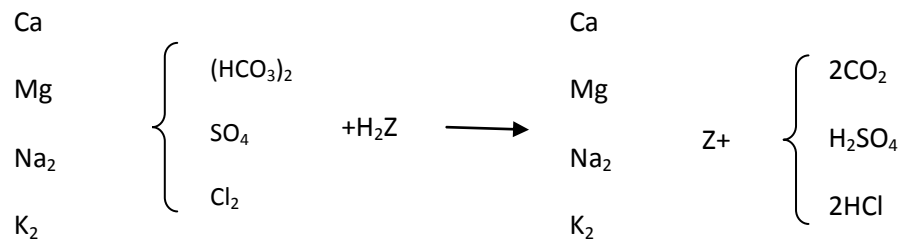
Los procesos de intercambio iónico se aplican en hidrometalurgia en la recuperación y concentración de metales valiosos, como cobre, uranio y cromo, así como en procesos especiales que emplean resinas de intercambio iónico selectivas para la recuperación de oro, platino y plata.

Las resinas orgánicas de intercambio iónico son las predominantes, pero se encuentran muchos ejemplos de empleo de zeolitas naturales y sintéticas en el tratamiento de efluentes contaminados, así como de biomateriales basados en quitosan o alginato.

6.2 PROCESO DE DESMINERALIZACION

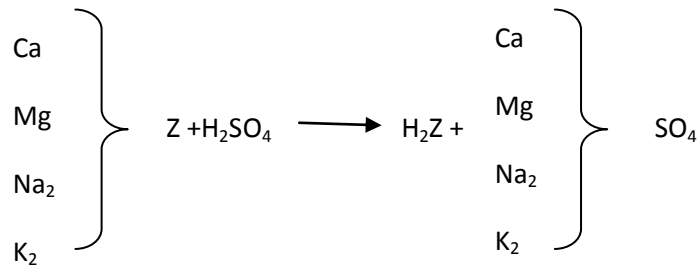
La desmineralización mediante intercambio iónico es un proceso de tratamiento en dos pasos que emplea resinas catiónicas y aniónicas. En primer lugar se pasa el agua de alimentación a través de una columna de resina catiónica de ácido fuerte en forma de H^+ . Los cambiadores catiónicos fuertes son capaces de eliminar los cationes que aporta el agua, calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), etc., e intercambiarlos por iones hidrogeno, por lo que de estos intercambiadores saldrá una solución de los ácidos correspondientes a los aniones que se encuentren en el agua de alimentación, mas algunas sales neutras, correspondientes a la fuga de sales en forma de sodio que se produce en este tipo de cambiadores.

Las reacciones que se producen, siendo Z el radical de la resina, expresada en forma iónica son:



La reacción es reversible: se desplaza a la derecha durante la fase de agotamiento, cuando el agua está siendo tratada y a la izquierda durante la fase de regeneración, cuando los regenerantes (ácido sulfúrico y ácido clorhídrico) eliminan del cambiador los cationes tomados del agua y revierte la unidad a su forma hidrogeno.

La regeneración con ácido sulfúrico, se puede expresar por la siguiente ecuación:



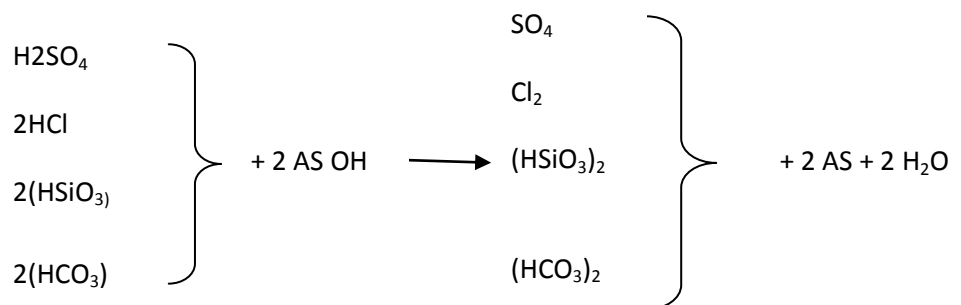
La regeneración se puede realizar con cualquier ácido fuerte, por consideración de tipo económico, generalmente se emplean ácido sulfúrico o clorhídrico y aun el empleo de uno u otro exige distintas técnicas de regeneración.

El agua a la salida del cambiador catiónico fuerte presentara un pH bajo correspondiente a los ácidos que lleva disueltos.

El efluente de la columna de intercambio iónico, se hace pasar a una columna con una resina de intercambio aniónico fuerte, en forma de hidroxilo (OH^-). Los cambiadores aniónicos fuertes son capaces de eliminar todos los aniones del agua e intercambiarlos por iones hidroxilo. De aquí obtenemos un agua ligeramente alcalina, correspondiente a los hidróxidos que se pueden formar con los cationes fugados de las unidades catiónicas.

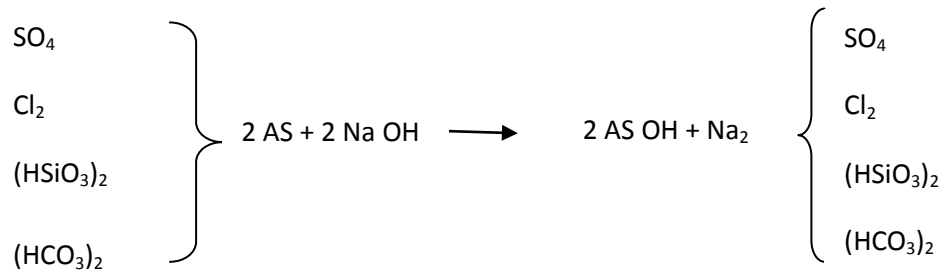
La resina aniónica utilizada intercambia aniones que lleva el agua de entrada, tales como sulfatos (SO_4), cloruros (Cl), etc, por hidroxilos; con lo cual el agua que sale del cambiador es prácticamente pura.

De forma esquemática, las reacciones que tienen lugar en la fase de agotamiento son las siguientes:



Donde AS representa un catión polimerizado que forma una sal insoluble con el anión.

Solamente el hidróxido sódico (NaOH) puede ser usado en la regeneración de la resina, el cual es capaz de intercambiar los aniones absorbidos en la etapa de desmineralización por hidroxilos, como se muestra en las reacciones siguientes:



Con lo cual el cambiador estará dispuesto para iniciar un nuevo ciclo.

6.2.1 Variable del proceso

El fabricante recomienda un valor mínimo de velocidad de flujo a través de las resinas, expresado como caudal por unidad de volumen (m^3/hm^2). El caudal impone por lo tanto la sección del intercambiador máxima. Una sección demasiado amplia reduciría la velocidad de paso hasta valores no aconsejables, además el recipiente debe tener un sistema de distribución y recolección que proporcione una buena distribución de los fluidos durante todas las fases de la operación, por lo que el diámetro máximo del recipiente aconsejado es de 3 metros.

Una vez impuesta el área, la altura debe de ser acorde con esta. La relación entre la altura y el diámetro (H/D), es un factor geométrico importante desde el punto de vista mecánico y de operación. Industrialmente se recomiendan valores de 2/3 a 3/2, valores por encima generalmente conllevan una utilización mayor de la resina y una menor fuga de iones.

El diseño de la columna impone una profundidad máxima al lecho de resina, estando está limitada por la pérdida de presión a través del lecho. El diámetro óptimo de la columna debe estar en equilibrio con la altura del lecho, la relación entre la altura y el diámetro del intercambiador (H/D) y la velocidad lineal.

6.2.1 Selección del tipo de resinas

Para realizar una adecuada selección de las resinas que vamos a emplear tendremos q tener en cuenta las propiedades físicas y químicas de estas:

PROPIEDADES FISICAS DE LAS RESINAS

La mayor parte de los materiales de esferas de intercambio iónico se fabrican usando un proceso de polimerización de suspensión, que utiliza estireno y divinilbenzeno (DVB).

Dicha matriz posee una distribución relativamente homogénea de centros activos de intercambio a través de su estructura. Los requisitos básicos de los materiales de las esferas de intercambio iónico son la insolubilidad, el tamaño de la esfera, y su resistencia a las fracturas. La resina deberá ser insoluble bajo condiciones normales de funcionamiento. Las esferas deberán tener dimensiones uniformes con un tamaño normal que varía entre 0.3 mm a 1.2 mm o tener un tamaño uniforme de partícula.

En el estado hidratado, las esferas de resina tienen un peso específico entre 1.1 y 1.5. La densidad del relleno que forman una vez instaladas en una columna está entre 560 y 960 g/l, incluyendo normalmente entre 35 y un 40% de espacio libre.

PROPIEDADES QUIMICAS DE LAS RESINAS

Capacidad

El intercambiador iónico tiene una capacidad limitada para almacenar iones en su esqueleto, llamada capacidad de intercambio. Una vez alcanzado el equilibrio entre la resina y la disolución que circula a través de ella, la corriente líquida no cambia de composición tras su paso por la columna de intercambio. Es decir, la resina agota su capacidad y no puede intercambiar más iones.

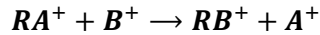
La capacidad operativa es una medida del resultado obtenido con el material de intercambio cuando está operando en una columna bajo una serie de condiciones determinadas. Su valor depende de varios factores, entre los cuales destacan la capacidad inherente o total de la resina (previa a la operación), el nivel de regeneración empleado, la composición de influente tratado, las velocidades de flujo a través de la columna, la temperatura, el tamaño y la distribución de las partículas, etc.

Expansión

La expansión que el agua provoca en un intercambiador iónico se debe a la hidratación de los grupos activos fijados en la matriz polimérica. El volumen de la resina cambia con la conversión a otras formas iónicas con diferentes grados de hidratación.

Selectividad

Las reacciones en el intercambio iónico son reversibles. Debido al contacto de la resina con un exceso de electrolito (B^+ en la siguiente reacción), la resina puede transformarse completamente hasta forma de sal:



Sin embargo, con una cantidad en contacto limitada de B^+ , se establece un equilibrio que depende de las proporciones entre A^+ y B^+ , y de la selectividad de la resina. El coeficiente de selectividad (K_{ab}) para la reacción anterior viene dado por:

$$K_A^B = \frac{m_B^R \times m_A}{m_A^R \times m_B}$$

Donde m y m^R se refieren a las concentraciones de los iones en disolución y en la resina, respectivamente. Los coeficientes de selectividad se determinan para rangos de especies iónicas, referidos a H^+ para cationes y OH^- para aniones, que tienen valores de selectividad asignados de la unidad.

Cinética

Es la velocidad con la cual tiene lugar el intercambio iónico. El proceso involucra una difusión en película a través de la solución que está en íntimo contacto con la resina, y difusión a través de la partícula de resina.

Las resinas de tamaño de partículas uniforme presentan un rendimiento mejorado respecto a las resinas convencionales polidispersas, debido a la ausencia de esferas grandes cinéticamente lentas.

Estabilidad

Agentes oxidantes fuertes como el ácido nítrico o el crómico degradan rápidamente las resinas de intercambio iónico. Una degradación más lenta con oxígeno y cloruros puede ser inducida catalíticamente. Por esta razón, ciertos iones metálicos como el hierro, el magnesio y el cobre han de ser minimizados. Los límites de la estabilidad térmica están impuestos por la fortaleza del enlace de carbono-nitrógeno en el caso de las resinas aniónicas. La estabilidad de las resinas catiónicas dependen del pH.

Para la selección de las resinas que se instalaran en las columnas de intercambio de esta instalación, se ha optado por la empresa *Rohm and Haas* para ser la distribuidora de dichas resinas, ya que oferta un gran abanico de posibilidades en cuanto a los tipos de resinas, abarcando casi la totalidad de los procesos industriales que necesiten de dichas resinas.

- Resina de Intercambio Catiónico

Se selecciona una resina de matriz tipo gel, ya que presentan mayores eficacias y capacidades a un coste de regeneración menor que las resinas macroporosas.

Se escoge en este caso la resina AMBERLYST 121WET, que es una resina catiónica fuerte, cuyo grupo funcional es el ácido sulfónico. Su matriz es de tipo gel basada en un polímero de estireno entrecruzado con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno). Su tamaño uniforme de partícula permite que la caída de presión sea pequeña y que la productividad sea significativamente más alta que la de otras resinas catiónicas ácidas fuertes.

Se utiliza en: Procesos catalíticos incluyendo eterificación, la condensación, esterificación, transesterificación, dimerización, hidratación, hidrogenación, alquilación y en la producción industrial de MTBE, ETBE, TAME, TAAE, isooctano, isooctano, bisfenol A (BPA), fenol, alquil fenol, MIBK, SBA, MEK, acetatos, acrilatos, alcoholes naturales detergente, y ésteres de ácidos grasos.

Las principales ventajas de esta resina son:

- Alta actividad catalítica y la selectividad
- La resistencia al ensuciamiento por el polímero
- Larga vida útil
- Superior resistencia al choque térmico, mecánico y osmótico
- Excelente estabilidad
- Lixiviación de baja
- Apropiado para aplicaciones de medios acuosos y no acuosos
- Aprobado para su uso por los licenciadores de tecnología más importantes

A continuación se muestran las propiedades de dicha resina y también las condiciones de operación óptimas que facilita el fabricante.

• La forma física	luz perlas esféricas marrones
• Forma iónica como shipped	hidrogeno
• La concentración de sitios ácido	≥ 1,80 eq/ L ≥ 4.90 eq/ Kg
• Capacidad de retención de humedad	49 a 55%
• El peso del envío	800 g/L
• Tamaño de las partículas	0.580 a 0.680 mm
• Coeficiente de uniformidad	≤ 1.20
• Contenido fino	< 0.300 mm : 0.1 % max
• Granos gruesos	> 0.850 mm: 10,0% max

SUGERENCIAS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| ▪ Temperatura máxima de operación | 130° C |
| ▪ La profundidad mínima del lecho | 60 cm |
| ▪ El flujo de paso | 1 a 5 BV*/h |
| ▪ El límite de caída de presión | 1 bar a través del lecho |

- Resina de intercambio aniónico

La resina seleccionada es la denominada AMBERLYST A26OH, también suministrada por la empresa Rohm and Haas. En este proceso se selecciona una resina con una matriz de tipo macroreticular basada también en un polímero de estireno con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno). Su grupo funcional en este caso es un aminio cuaternario.

Dentro de las diferentes resinas tipo aniónico de base fuerte se han seleccionado las resinas aniónicas tipo 1, ya que su grupo funcional básico es el más fuerte disponible, teniendo la mayor afinidad por los ácidos débiles como el ácido silícico y carbónico, los cuales se encuentran comúnmente presentes en los procesos de desmineralización de aguas duras.

Se utiliza en: Procesos catalíticos incluyendo eterificación, la condensación, esterificación, transesterificación, dimerización, hidratación, hidrogenación, alquilación y en la producción industrial de MTBE, ETBE, TAME, TAEE, isooctano, isooctano, bisfenol A (BPA), fenol, alquil fenol, MIBK, SBA, MEK, acetatos, acrilatos, alcoholes naturales detergente, y ésteres de ácidos grasos.

Las principales ventajas de esta resina son:

- Alta actividad catalítica y la selectividad
- La resistencia al ensuciamiento por el polímero
- Larga vida útil
- Superior resistencia al choque térmico, mecánico y osmótico
- Excelente estabilidad
- Lixiviación de baja
- Apropiado para aplicaciones de medios acuosos y no acuosos.
- Aprobado para su uso por los licenciadores de tecnología más importantes

Al igual que en el caso de la resina catiónica, se muestran las propiedades de dicha resina y también las condiciones de operación óptimas facilitadas por el fabricante.

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| • La forma física | Cuentas esféricas opacas |
| • Forma iónica | hidróxido (OH) |
| • La concentración de sitios ácido | ≥ 0,80 eq/ L |
| • Capacidad de retención de humedad | 66 a 75% |
| • El peso del envío | 675 g/L |

- Tamaño de las partículas
Coeficiente de uniformidad ≤ 1.20
- Talla media armónica 0.560 a 0.700 mm

- El nitrógeno BET
- Superficie $30 \text{ m}^2/\text{G}$
- Diámetro del poro medio 290 A
- Volumen total de poros 0.20 ml/ g
- Concentración agua a la acetona: 34%

SUGERENCIAS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

- Temperatura máxima de operación 60° C
- La profundidad mínima del lecho 1000 mm
- El flujo de paso 1 a 5 BV*/h
- El límite de caída de presión 1 bar a través del lecho

6.3 DESCRIPCION DE LAS COLUMNAS DE INTERCAMBIO

En la siguiente figura se muestra el esquema de las columnas de intercambio, diferenciándose sus distintas partes.



Se pasa a describir cada elemento constituyente del equipo:

- Distribuidor de alimentación: dispositivo que permite la entrada de la alimentación de agua sin tratar de forma uniforme a todo el recipiente, evitando así la formación de caminos preferenciales en el lecho de la resina de intercambio.
- Espacio libre (freeboard): este es el espacio libre necesario en la compactación y en la regeneración a contracorriente. Durante la compactación la resina se desplaza desde el asiento en la parte inferior de la columna hasta la capa de resina inerte situada en la parte superior.
- Colector: se encarga de canalizar y concentrar la salida del líquido. El material del recipiente ha de soportar el peso de la resina y de los distintos accesorios, y la presión máxima de servicio ejercida por el líquido. Además, debe ser resistente a la corrosión en medio ácido o básico, en función de si la resina que contiene es catiónica o aniónica.
- Resina inerte: este tipo de resina son esferas de polietileno de 2 - 4 mm de diámetro. Como poseen un tamaño superior al de las resinas activas y una densidad menor que el agua, impiden que la resina de intercambio iónico escape de la columna durante el proceso de regeneración a contracorriente. Además el uso de resina inerte, permite que la suciedad, los sólidos retenidos y los fragmentos de finos producidos por la rotura de la resina pasen a través de ella, reteniendo las partículas completas de resina activa durante la etapa de compactación.
- Resina de intercambio: Se sitúa en la parte inferior de la columna durante el ciclo de producción, y en la parte superior durante la regeneración. El tamaño debe ser lo más uniforme posible para optimizar el proceso y minimizar las pérdidas de carga a través del relleno.

6.4 REGENERACIÓN DE LAS RESINAS

La regeneración de las resinas de intercambio iónico es el proceso inverso del proceso de intercambio iónico y se realiza para devolverle a la resina de intercambio iónico su capacidad inicial de intercambio. Esto se realiza haciendo pasar soluciones que contengan el ión móvil original, el cual se deposita en la resina y desaloja los iones captados durante el agotamiento.

Para la regeneración de las resinas de intercambio iónico se usa:

- Sal común (cloruro de sodio) para regenerar resinas catiónicas de ácidos fuertes.
- Ácido clorhídrico o ácido sulfúrico (depende del costo y de la eficiencia): para regenerar resinas catiónicas de ácidos fuertes y resinas catiónicas de ácidos débiles.
- Hidróxido de sodio o hidróxido de amonio: para regenerar resinas aniónicas de bases fuertes y resinas aniónicas de bases débiles.

Una vez regenerada la resina está lista para un nuevo ciclo de intercambio iónico

6.4.1 Alternativas tecnológica del proceso de regeneración

El proceso de intercambio es una operación discontinua: una etapa de agotamiento, y una etapa de regeneración de las resinas agotadas. Hay dos métodos principales de regeneración:

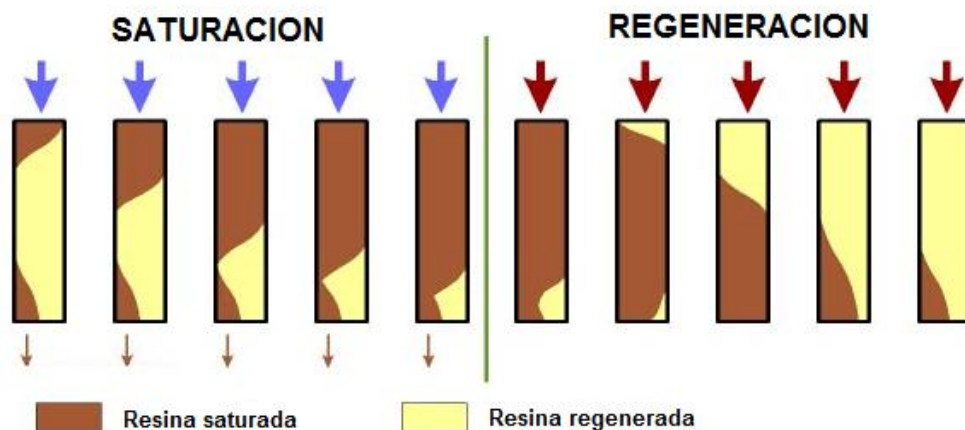
- Regeneración en **co-corriente**, los líquidos pasan de arriba abajo durante la etapa de agotamiento y también durante la etapa de regeneración.
- Regeneración de flujo inverso (en **contra-corriente**), los fluidos pasan alternativamente de arriba abajo y de abajo arriba en las fases de agotamiento y de regeneración

Sistema de regeneración en co-corriente o paralelo

Esta técnica es la más antigua: la solución de tratar pasa de arriba abajo, y la solución de regeneración pasa en la misma dirección.

La regeneración en co-corriente no es óptima, porque las resinas fuertemente ácidas y fuertemente básicas no están convertidas totalmente en forma H^+ u OH^- respectivamente al final de la regeneración: una conversión completa necesitaría cantidades excesivas de regenerantes.

Resulta que las capas inferiores del lecho de resina se regeneran inadecuadamente, mientras las capas superiores se regeneran con facilidad.

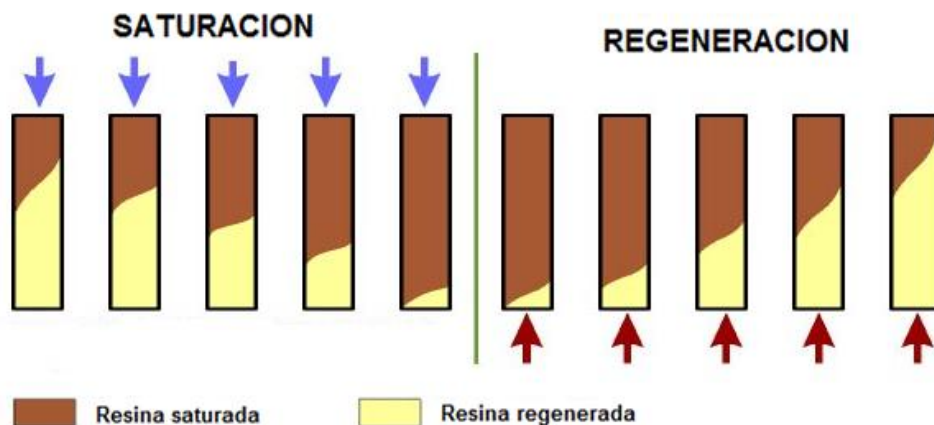


Sistema de regeneración en contra-corriente

En este caso, la solución regenerante pasa a través de la columna en la dirección opuesta del agua (o de la solución) a tratar. Hay dos casos distintos de regeneración en contra-corriente:

- Agotamiento de arriba abajo y regeneración de abajo arriba, como en los sistemas de bloqueo del lecho por aire o por agua, o en los procesos de lecho compacto UFD™ y Upcore™.
- Agotamiento de abajo arriba y regeneración de arriba abajo, como en los sistemas de lechos flotantes o Amberpack™.

En todos los casos de regeneración en contra-corriente, no es preciso que el regenerante empuje los iones cargados en la resina a través de todo el lecho, basta rechazarlos de donde vinieron. Las capas de resina menos agotadas están regeneradas en primer lugar y tendrán el mejor grado de conversión al principio de la fase de agotamiento posterior.



La regeneración en contra-corriente proporciona dos importantes ventajas:

- ❖ El agua o la solución a tratar tiene una calidad mucho mejor que en el caso de co-corriente, debida a una fuga iónica pequeña.
- ❖ La cantidad de regenerante necesaria es menor, porque los iones contaminantes no tienen que ser "empujados" a través de todo el lecho de resina, y la calidad del agua tratada es casi independiente de la cantidad de regenerante.

Existen dos tipos principales de sistemas de regeneración en contracorriente:

- **Sistemas bloqueados**

El flujo de servicio es descendente y la regeneración es ascendente. Para evitar alteraciones en la zona de afinado del efluente situado en la parte inferior del recipiente, el lecho de resina es bloqueado durante la regeneración mediante una presión ejercida por aire, agua o por una masa de inerte en la parte superior de la columna.

El regenerante pasa a través de la resina y sale por un sistema colector situado en la parte media del recipiente.

- **Sistemas de lecho empacado**

En este sistema de regeneración contracorriente los regenerantes químicos son introducidos en la columna mediante flujo ascendente, dirección contraria al flujo de servicio. Este método asegura que la sección de resina más regenerada esté lo más cerca posible del punto de salida, actuando como un afinado o perfeccionamiento final del agua justo antes de abandonar el intercambiador.

Los lechos formados por las resinas de intercambio iónico actúan como filtros muy efectivos. A este tipo de tecnología de regeneración se le conoce con el nombre de tecnología UPCORE.

6.4.2 Selección del sistema de regeneración

A partir de los aspectos generales expuestos se pueden prever las siguientes ventajas significativas de la regeneración a contracorriente.

- Los iones de la regeneración no tienen la posibilidad de fijarse nuevamente en la resina, se regenera entonces únicamente la capacidad útil del intercambiador de iones. Esto supone un mayor rendimiento en la utilización de los reactivos en regeneración a contracorriente, y por lo tanto un menor consumo de reactivos.
- Las capas en la zona de salida, es decir las menos cargadas de iones, reciben un importante exceso de reactivo exento de iones a eliminar; en consecuencia, el nivel de regeneración de estas capas es particularmente alto y permite obtener, en el curso del ciclo de fijación, una calidad de agua netamente superior a aquella que resulta de una regeneración a co-corriente.
- Se verifica una necesidad menor de enjuague, con el consiguiente ahorro de agua de red.
- El menor consumo de regenerantes y agua de enjuagues supone un volumen sustancialmente menor de efluentes a ser considerados.

Resumiendo, la regeneración en contracorriente permite obtener un agua tratada de mucha mejor calidad con un costo operativo menor. Además estos sistemas permiten obtener una calidad superior, con mayor independencia de la composición de entrada, también permiten utilizar velocidades mayores de pasajes, lo que lleva a equipos de menor diámetro, más económicos y que ocupan menos espacio.

6.4.3 Descripción de la tecnología UPCORE

De los sistemas anteriormente citados, escogeremos el sistema en contracorriente en lecho empacado, UPCORE. En este sistema el agua que atraviesa el lecho durante el ciclo de producción entra progresivamente en contacto con la resina más profundamente regeneradas, lo que asegura una producción continua de agua altamente desmineralizada, previniendo la fuga iónica y maximizando la capacidad operativa del intercambiador.

La tecnología UPCORE no requiere un retolavado periódico para eliminar los finos de resinas y otros sólidos retenidos que pueden aumentar la caída de presión en el lecho y causar contaminaciones de efluente, debido a que los sólidos retenidos que se acumulan en la parte superior del lecho durante la operación son retirados al comienzo de cada ciclo de regeneración.

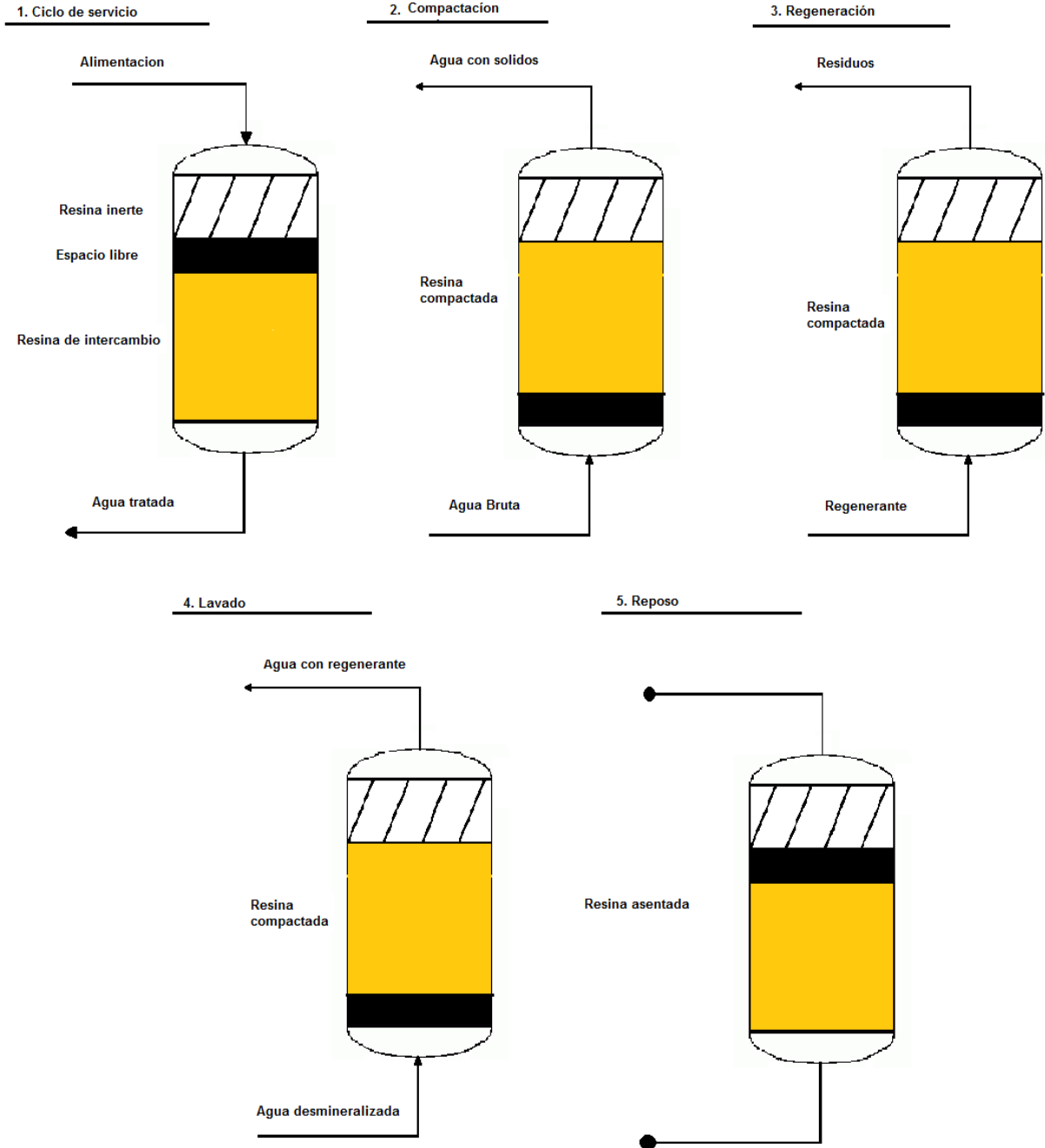
El sistema de regeneración UPCORE emplea una capa poco profunda de resina inerte en la parte superior del lecho de resina activa para mantener el lecho compactado durante la regeneración. Esta capa de inerte permite que el regenerante, el agua de enjuague y los sólidos retenidos la traspasen, mientras que retiene al lecho de resina en su lugar. El circuito que realiza el agua de alimentación en la columna consiste, en la entrada de esta por el sistema de distribución superior, atraviesa la capa de inerte y el lecho de resina iónica, y abandonando la columna de intercambio como agua desmineralizada.

Cuando el ciclo de operación de la resina ha finalizado, en nuestro caso 120 horas, una corriente de agua ascendente proveniente de la arqueta de agua de red provoca que el lecho de resina se compacte contra la capa de resina inerte situada en la parte superior del recipiente. Inmediatamente después de la compactación se hace circular el regenerante con un caudal suficiente para evitar la descompactación. Tras la regeneración, se mantiene el sistema en reposo para permitir que el lecho se asiente.

No es necesario emplear un gran volumen de espacio libre (freeboard), ya que el lecho se limpia automáticamente en cada ciclo de regeneración, y no es necesario realizar un retolavado. La delgada capa de resina inerte sustituye al freeboard empleado en otros sistemas de regeneración.

6.4.4 Etapas del proceso de regeneración

En el siguiente esquema se muestra la configuración del lecho de resinas dentro de una columna en cada una de las etapas del proceso de regeneración:



Se procede a describir detalladamente cada una de las etapas que componen el proceso de regeneración de las columnas.

- Compactación del lecho de resina catiónica

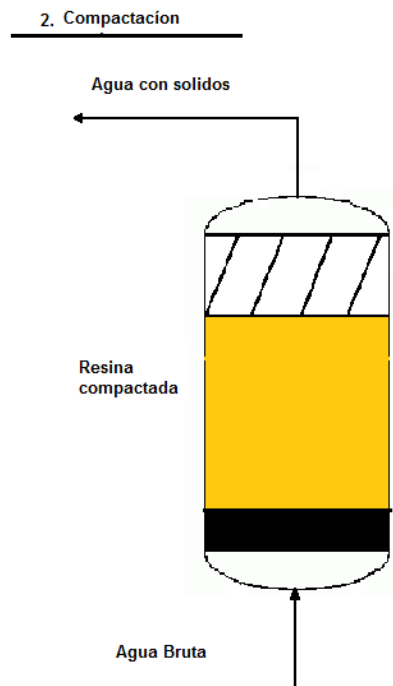
Consiste en un flujo ascendente de agua de red sin tratar que provenga de la arqueta de recepción de agua de red, que compactara el lecho de resina contra la capa de resina inerte instalada en la parte superior del recipiente.

Se emplea agua sin tratar al contrario de agua desmineralizada puesto que no existe riesgo de contaminar la resina al ser un proceso solo físico. La compactación se realiza por dos funciones:

- Acondicionar el lecho para que la inyección del regenerante produzca un efecto óptimo.
- Limpiar el lecho de materiales retenidos sobre la superficie de la resina durante el ciclo de servicio.

Basándose en la experiencia industrial en el campo, se toma como velocidad de compactación tres veces la velocidad utilizada en un retrolavado convencional. Una vez producida la compactación, el lecho de resina permanece en su lugar incluso si el flujo a través de la columna se reduce.

Esta etapa prepara el lecho para la regeneración. Para que se produzca una adecuada eliminación de los sólidos retenidos es preciso realizar una acertada elección de la resina inerte. Dicha resina debe tener un tamaño de esfera lo suficientemente pequeño para que la resina activa no la traspasen. Hay que tener en cuenta la profundidad de la capa inerte, una capa demasiado delgada podría permitir la penetración del resto de la resina, causando un atasco e incluso pérdida de resina activa y en cambio una capa inerte demasiado profunda podría reducir la eficiencia.



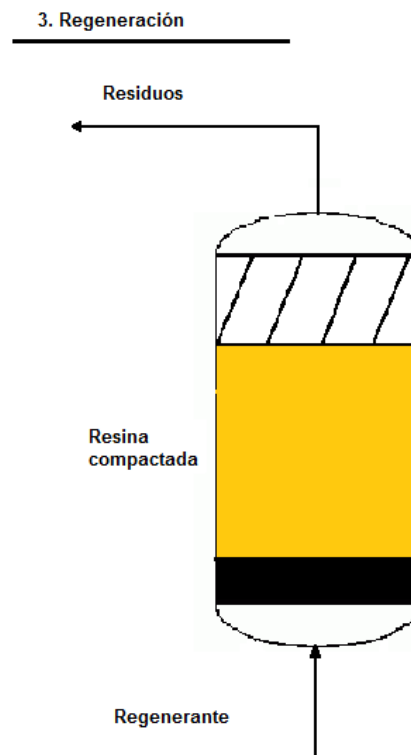
- Introducción del regenerante en la columna catiónica.

Regeneraremos las columnas catiónicas con ácido sulfúrico diluido al 10% en peso, que se encuentra dentro de los valores recomendados por el suministrador de la resina catiónica.

Se selecciona el ácido sulfúrico como agente regenerante de la resina catiónica por motivos económicos y porque el agua contaminada producida será más fácil de tratar en procesos posteriores fuera de la planta.

La disolución de regenerante se inyecta por la parte inferior de la columna en sentido ascendente. Esta disolución será realizada en el depósito de dilución de regenerante con ácido sulfúrico, con una pureza del 98%, procedente del depósito de almacenamiento y agua desmineralizada, procedente del depósito donde se almacena esta.

La cantidad de regenerante empleado es función del volumen de resina, y su caudal depende de la velocidad lineal de paso aconsejada por el fabricante y el diámetro del intercambiador.

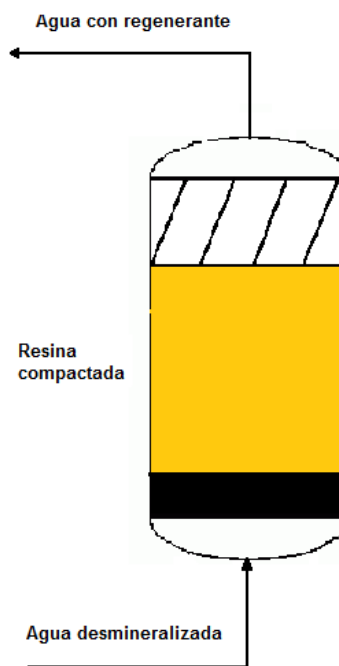


- Lavado de la columna catiónica

Tras finalizar la etapa de inyección del regenerante, la columna está llena de disolución ácida. Para su eliminación se inyecta un flujo de agua en contracorriente con la misma velocidad que se ha empleado en la etapa anterior. En esta etapa se emplea agua desmineralizada procedente del tanque de almacenamiento de esta.

El fabricante da la referencia para el agua necesaria para realizar el lavado de la columna en función del volumen de resina existente.

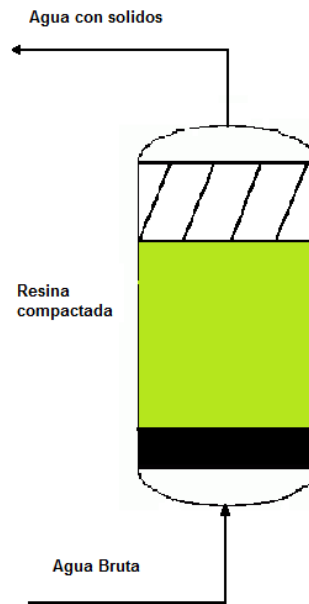
4. Lavado



- Compactación del lecho de la resina aniónica.

El proceso es análogo al que se ha descrito con anterioridad para la resina catiónica.

2. Compactación

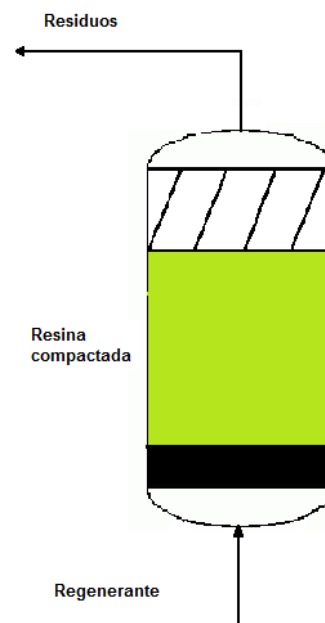


- Introducción del Regenerante en la Columna Aniónica.

El regenerante empleado es sosa diluida al 50% en peso. El porcentaje de dilución también se encuentra dentro del rango de valores facilitados por el fabricante de la resina aniónica.

La disolución de regenerante se inyecta por la parte inferior de la columna en sentido ascendente. La dilución se realiza con una solución de sosa comercial (50%) y agua desmineralizada obtenida del depósito de almacenamiento.

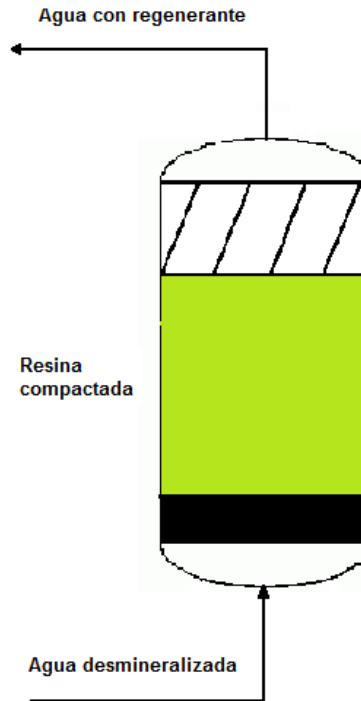
3. Regeneración



- Lavado de la columna aniónica

El fabricante de la referencia para el agua necesaria para realizar el lavado de la columna en función del volumen de resina existente.

4. Lavado



- Reposo de las resinas

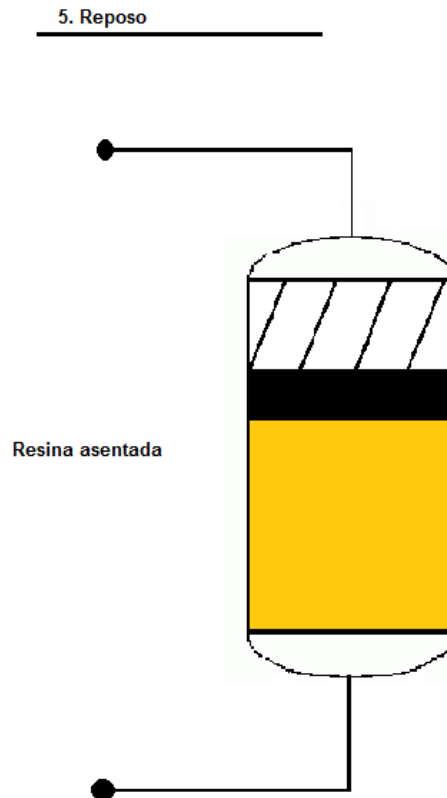
Tras la compactación, introducción de regenerante y lavado de ambas resinas, el flujo a través del sistema se corta, permaneciendo la línea en pausa, esto se produce cerrando todas las válvulas y aislando la columna. Será nuevamente puesta en funcionamiento cuando la otra línea se agote y sea necesario realizar su regeneración.

Este estado de reposo permite que la resina se asiente en la base de la columna, cayendo libremente desde la parte superior.

El asentamiento no se produce de una vez, es decir, el lecho no se desplaza de forma compacta hasta la parte inferior del intercambiador. Por el contrario, la resina va cayendo desde la parte superior de la columna en un desplazamiento libre y continuo, constituyendo una zona fluidizada de resina que se mueve a través de la columna.

Se produce una caída capa a capa de esferas que tarda en completarse entre 5 y 10 minutos. El asentamiento de las resinas se produce durante el periodo de espera previo a la vuelta al funcionamiento de la línea.

Tras la etapa de reposo, el lecho se ha reclasificado y descompactado, eliminándose la posibilidad de formación de caminos preferenciales a través lecho, lo que mejora el flujo a través del mismo.



7. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTALACIONES

7.1 COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

7.1.1 Tipo de recipiente

En el presente proyecto se diseñará un recipiente vertical con envolvente cilíndrica y con fondos tipo Korbboogen Boden, sustentado por patas.

7.1.2 Material de diseño

Se usará para la fabricación de las columnas intercambio iónico, catiónica como aniónica, acero inoxidable 316 debido a su alta resistencia a la corrosión y grandes prestaciones en servicios con ácido sulfúrico y sosa, que serán los regenerantes de la resina que se encuentra en su interior.

Se usará acero y no políester reforzado con fibra de vidrio (PRFV) por el gran número de soldaduras que llevará el recipiente, ya que el PRFV es difícil y caro de moldear. Las principales propiedades de este acero inoxidable son:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	$2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ ($3 \times 10^7 \text{ psi}$)
Limite elástico (e)	$2109,55 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	5800 Kg/cm^2
Eficiencia de la soldadura (ϵ)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	132176 Kg/cm^2 (18799 psi)
Sobreespesor por corrosión (c)	2,5 mm
Densidad (ρ)	7944 Kg/ m^3

7.1.3 Variables de diseño

Las variables de diseño utilizadas en el proceso de intercambio iónico son:

Variable	Valor
Temperatura de diseño (T_D)	45°C
Presión de diseño (P_D)	4 Kg/cm^2
Diámetro interno de la columna (D_C)	1,8 m
Altura cilíndrica (h_C)	1,44 m
Longitud de la envolvente cilíndrica (L_C)	2,44 m

7.1.4 Diseño mecánico de las columnas de intercambio iónico

Se realizara el diseño en función del código ASME, donde en su sección VIII división 1, indica los métodos de diseño y cálculo tanto con los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas de carga que satisfagan los equipos.

Se obtiene el siguiente resultado del diseño de las columnas de intercambio iónico:

Variable	C.I. Catiónico	C.I. aniónico
t (mm)	7	8
t _f (mm)	7	8
D (m)	1,8	2
Do (m)	1,814	2,016
Tipos de fondos	Korbogen	Korbogen
H _f (m)	0,387	0,431
V _f (m ³)	0,583	0,8
L (m)	2,698	3,092
H _t (m)	3,214	3,66
P _f (Kg)	141	200,25
P _t (Kg)	3663,12	5202,7

7.1.5 Equipamiento mecánico de las columnas

Las columnas de intercambio iónico tienen una serie de elementos externos e internos:

Elementos externos:

- **Patas de soporte:**

Se realizaran según especificación técnicas, estas patas irán soldadas a la envolvente y se encontraran con el mismo espacio sobre el perímetro del recipiente. La longitud de las patas se estima en un metro.

- **Columna catiónica**

Nº de patas: 4 patas

Tipo de patas: L

Dimensiones: 100x100x14

Φ exterior del recipiente	Patras del soporte			Placas		Φ Situación Taladros.	"A"	Φ Pernos	Φ Taladros	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	15.400	
750-1.050	4		80×80×10	150	12		45			22.500	
1.050-1.350			100×100×10	200	10		65			31.500	
1.350-1.650			100×100×14				90			48.500	
1.650-1.950			150×150×16	250	12		27			33	62.500
1.950-2.260											82.000
2.260-2.565											85.000
2.565-2.870	6	I	200×90	Ver Plano		-			150.000		
2.870-3.200			280×119								
> 3.200	Utilizar Faldón										

Tabla obtenida del manual de recipientes a presión Megyesy

- **Columna aniónica**

Nº de patas: 4 patas

Tipo de patas: L

Dimensiones: 150x150x16

Φ exterior del recipiente	Patras del soporte			Placas		Φ Situación Taladros.	"A"	Φ Pernos	Φ Taladros	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	15.400	
750-1.050	4		80×80×10	150	12		45			22.500	
1.050-1.350			100×100×10	200	10		65			31.500	
1.350-1.650			100×100×14				90			48.500	
1.650-1.950			150×150×16	250	12		27			33	62.500
1.950-2.260											82.000
2.260-2.565											85.000
2.565-2.870	6	I	200×90	Ver Plano		-			150.000		
2.870-3.200			280×119								
> 3.200	Utilizar Faldón										

Tabla 8. Apoyos para recipientes verticales.²¹

- **Tabuladuras:**

Las columnas poseerán varias tabuladuras de 4" y 1^{1/2}" de diámetro nominal.

- **Bocas de carga y descarga:**

La columna constara de 3 bocas de carga y descarga de las resinas. Las bocas de carga y descarga de las resinas catiónicas y aniónicas tendrán un diámetro nominal de 1^{1/2}" y estarán colocadas en la parte superior e inferior de la sección de la resina.

Por otra parte la boca de carga y descarga de la resina inerte estará situada en la parte superior de la sección de esta resina también con un diámetro nominal de 1^{1/2}".

- **Bocas de inspección:**

Debido a las dimensiones de las columnas, se dispondrá de una boca de inspección situada en el fondo superior en posición excéntrica, con diámetro nominal de 4".

- **Anillos rigidizadores:**

En el caso de la columna aniónica es preciso la colocación de dos anillos rigidizadores para soportar las tensiones producidas debido a las cargas.

Elementos internos:

- **Platos de soporte:**

Usaremos un plato liso de metal con la función de soportar el peso del lecho de resina utilizada. El plato debe estar fabricado con una malla que impida el paso de ningún tipo de resina.

- **Limitadores de lecho:**

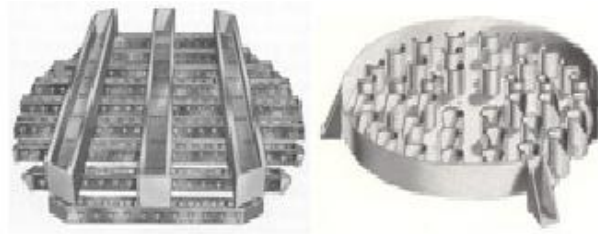
Colocaremos dos limitadores de lecho en nuestras columnas de intercambio iónico, uno para retener el lecho de resina activa, el cual sirve también como soporte para la resina inerte, y otro para retener la resina inerte. Se asemejaran al plato de soporte pero impidiendo el paso de la resina inerte, es decir, una malla menor.

- **Distribuidores de líquido:**

Se diseñan dos distribuidores de líquido, uno para el caudal de alimentación en operación normal del sistema, entrando por la parte superior de la columna y otro para el caudal de regeneración, entrando por la parte inferior de la columna.

Para el distribuidor de alimentación la opción más económica será un distribuidor de líquido de canales individuales de caída directa sobre los canales.

Mientras que para el distribuidor de regeneración nos decantamos por la instalación de un distribuidor de orificios de plato en metal que ira soldado al anillo de soporte en la parte inferior de la columna. (Ejemplos en la figura que se muestra a continuación).



7.2 SISTEMAS DE FILTRACION

El presente proyecto consta de dos sistemas de filtración previos al sistema de intercambio iónico, un filtro por arena y un filtro por carbón activo.

Estos filtros son los encargados de retener los posibles sólidos en suspensión provenientes de los baños de tratamientos superficiales, así como adsorber las sustancias perjudiciales para el proceso de desmineralización que contengan el agua a tratar.

7.2.1 Tipo de recipiente

En el presente proyecto se diseñara un recipiente vertical con envolvente cilíndrica y con fondos tipo Korbboogen Boden, sustentado por patas.

7.2.2 Material de diseño

El material que se va a emplear en el diseño de los dos sistemas de filtración es, poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), por sus grandes prestaciones y su bajo coste. Las principales propiedades de este material son:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	91774,5 Kg/cm ² (1,3x10 ⁶ psi)
Limite elástico (e)	1529,57 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	1172,63 Kg/cm ²
Eficiencia de la soldadura (ϵ)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	Kg/cm ² (8702,21psi)
Densidad (ρ)	1300 Kg/ m ³

7.2.3 Diseño mecánico

Se realizara el diseño en función del código ASME, donde en su sección VIII división 1, indica los métodos de diseño y cálculo tanto con los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas de carga que satisfagan los equipos.

Se obtiene el siguiente resultado del diseño de ambos sistemas de filtración:

Variable	filtro arena	filtro carbón activo
t (mm)	12	12
t _f (mm)	6	6
D (m)	0,610	0,610
Do (m)	0,634	0,634
Tipos de fondos	Korbogen	Korbogen
H _f (m)	0,168	0,168
V _f (m ³)	0,025	0,02
L (m)	1,912	1,912
H _t (m)	2,136	2,136
P _f (Kg)	29,93	29,93
P _t (Kg)	640,98	268,61

7.2.4 Equipamiento mecánico de los filtros

Los sistemas de filtración tienen una serie de elementos externos e internos:

Elementos externos:

- Patas de soporte:

Se realizarán según especificación técnicas, estas patas irán soldadas a la envolvente y se encontrarán con el mismo espacio sobre el perímetro del recipiente.

Nº de patas: 3 patas

Tipo de patas: L

Dimensiones: 70x70x10

Φ exterior del recipiente	Patas del soporte			Placas		Φ Situación Taladros.	"A"	Φ Pernos	Φ Taladros	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	15.400		
750-1.050	4		80×80×10	150	12		45			22.500		
1.050-1.350			100×100×10	200	10		65			31.500		
1.350-1.650			100×100×14							48.500		
1.650-1.950			150×150×16	250	12		90			27	33	62.500
1.950-2.260												82.000
2.260-2.565												85.000
2.565-2.870	6	I	200×90	Ver Plano		-			150.000			
2.870-3.200			280×119						150.000			
> 3.200	Utilizar Faldón											

Tabla 8. Apoyos para recipientes verticales.²¹

- **Tabuladuras:**

Cada filtro poseerá dos tabuladuras, una de carga y otra de descarga, situadas en el centro del fondo superior e inferior respectivamente. Las características de las tabuladuras son las mismas que las tuberías que llegan a estos filtros o parten de ellos.

- **Bocas de carga y descarga:**

Los filtros contarán de 2 bocas de carga y descarga de los líquidos estarán colocadas en la parte superior e inferior del depósito.

- **Bocas de inspección:**

Debido a las dimensiones de los filtros, se dispondrá de una boca de inspección situada en el fondo superior coincidiendo con la posición del sistema de agitación, es decir el tamaño de la boca será aquel que precisa el sistema de agitación para su montaje.

Elementos internos:

Cada sistema filtrante consta de una placa de strainers en la parte inferior y un plato reforzado en la parte superior para evitar la fuga del material filtrante, arena o carbón activo en el proceso de lavado de la columna.

Sobre la placa strainers en donde se encuentra apoyado el relleno, y sobre esta se encuentran coladores de tipo Partilok para recoger el agua que fluye en sentido descendente de la columna.

7.3 DEPÓSITOS DE DILUCION DE REGENERANTES

En el presente proyecto se diseñaran dos depósitos de dilución de regenerantes comerciales concentrados, una para diluir el regenerante ácido (ácido sulfúrico) y otro para la dilución del regenerante básico (sosa).

En estos depósitos se incorporara un sistema de agitación para una correcta homogeneidad de la dilución.

7.3.1 Material de diseño

Se usara para la fabricación de los depósitos de dilución de regenerante, acero inoxidable 316 debido a su alta resistencia a la corrosión y grandes prestaciones en servicios con ácido sulfúrico y sosa.

Las principales propiedades de este acero inoxidable son:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	$2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ ($3 \times 10^7 \text{ psi}$)
Limite elástico (e)	$2109,55 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	5800 Kg/cm^2
Eficiencia de la soldadura (ϵ)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	132176 Kg/cm^2 (18799 psi)
Sobreespesor por corrosión (c)	2,5 mm
Densidad (ρ)	7944 Kg/ m^3

7.3.2 Diseño mecánico de los depósitos

Se realizara el diseño en función del código ASME, donde en su sección VIII división 1, indica los métodos de diseño y cálculo tanto con los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas de carga que satisfagan los equipos.

Se obtiene el siguiente resultado del diseño:

Variable	Depósito dilución H ₂ SO ₄	Depósito dilución NaOH
t (mm)	6	6
t _f (mm)	6	6
D (m)	0,796	0,650
Do (m)	0,808	0,662
Tipos de fondos	Korbogen	Korbogen
H _f (m)	0,182	0,160
V _f (m ³)	0,052	0,029
L (m)	1,371	1,162
H _t (m)	1,735	1,468
P _f (Kg)	25,02	17,25
P _t (Kg)	272,5	188,82

7.3.3 Equipamiento de los depósitos

- **Patas de soporte:**

Se realizaran según especificación técnicas, estas patas irán soldadas a la envolvente y se encontraran con el mismo espacio sobre el perímetro del recipiente.

- Depósito de dilución de ácido sulfúrico
 - Nº de patas: 4 patas
 - Tipo de patas: L
 - Dimensiones: 70x70x10

Φ exterior del recipiente	Patatas del soporte			Placas		Φ Situación Taladros.	"A"	Φ Pernos	Φ Taladros	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	15.400				
750-1.050			80×80×10	150	12		45			22.500				
1.050-1.350			100×100×10	200	10		65			31.500				
1.350-1.650			100×100×14				48.500							
1.650-1.950			4	L	150×150×16		250			12	90	27	33	62.500
1.950-2.260					82.000									
2.260-2.565					85.000									
2.565-2.870	6	I	200×90	Ver Plano		-				150.000				
2.870-3.200			280×119	150.000										
> 3.200	Utilizar Faldón													

Tabla 8. Apoyos para recipientes verticales.²¹

- Depósito de sosa
Nº de patas: 3 patas
Tipo de patas: L
Dimensiones: 70x70x10

Φ exterior del recipiente	Patatas del soporte			Placas		Φ Situación Taladros.	"A"	Φ Pernos	Φ Taladros	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	15.400				
750-1.050			80×80×10	150	12		45			22.500				
1.050-1.350			100×100×10	200	10		65			31.500				
1.350-1.650			100×100×14				48.500							
1.650-1.950			4	L	150×150×16		250			12	90	27	33	62.500
1.950-2.260					82.000									
2.260-2.565					85.000									
2.565-2.870	6	I	200×90	Ver Plano		-				150.000				
2.870-3.200			280×119	150.000										
> 3.200	Utilizar Faldón													

Tabla 8. Apoyos para recipientes verticales.²¹

▪ **Tabuladuras:**

Cada depósito poseerá dos tabuladuras, una de carga y otra de descarga, situadas en el centro del fondo superior e inferior respectivamente. Las características de las tabuladuras son las mismas que las tuberías que llegan a estos depósitos o parten de ellos.

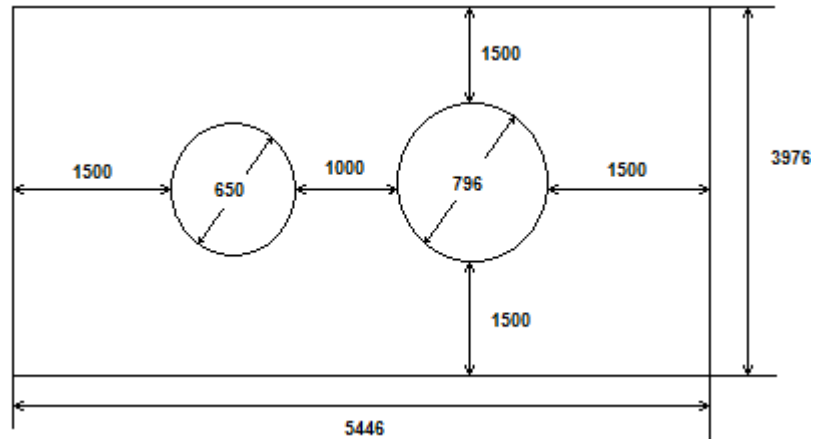
- **Bocas de carga y descarga:**
Los depósitos contarán de 2 bocas de carga y descarga de los líquidos estarán colocadas en la parte superior e inferior del depósito.
- **Bocas de inspección:**
Se dispondrá de una boca de inspección situada en el fondo superior coincidiendo con la posición del sistema de agitación, es decir el tamaño de la boca será aquel que precisa el sistema de agitación para su montaje.
- **Venteo:**
Según el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos los venteos normales de un recipiente de estas características para productos corrosivos tendrá como mínimo un tamaño igual o mayor de las tuberías de llenado o vaciado, y en ningún caso inferior a 35 mm de diámetro interior.
- **Sistema de agitación:**
En el presente proyecto se utilizarán sistemas de agitación axiales de entrada superior sujetos, mediante pernos a una brida o una placa, en la parte superior de un recipiente cerrado, montados en posición axial angular excéntrica respecto al eje del depósito con lo que se evita la formación de remolinos sin tener que instalar deflectores.

Se obtiene el siguiente resultado de diseño:

Variable	Depósito dilución H ₂ SO ₄	Depósito dilución NaOH
d(mm)	265	216,7
densidad (Kg/m ³)	1050,2	2100
t (mm)	6	6
N (rpm)	250	250
P (W)	108,1	81,07

- **Cubeto de retención:**
Según la ITC MIE APQ- 006 los productos químicos almacenados están clasificados como clase A y clase B para ácidos sulfúricos y la sosa respectivamente, o sea sustancias corrosivas o muy corrosivas, por lo que su almacenamiento requiere unas determinadas condiciones.

Según la ITC MIE APQ- 006 debe existir un metro de separación entre depósitos de un mismo cubeto y 1,5 como mínimo entre las paredes de estos y la pared interna del cubeto.



7.4 DEPÓSITO DE REGENERANTES

El sistema necesita dos depósitos de almacenamiento de regenerante, uno de ácido sulfúrico al 98% y otro de sosa al 50% que posteriormente se diluirán con agua desmineralizada en los depósitos de dilución anteriormente explicados para la realización de la regeneración de las resinas del sistema de intercambio iónico.

Estos depósitos estarán situados en alto para proceder a su dosificación por gravedad, produciéndose un ahorro energético considerable.

7.4.1 Diseño mecánico de los depósitos de regenerante

El diseño de dichos depósitos vendrá dado en función de la cantidad de regenerante necesaria para realizar la regeneración de las resinas en el sistema intercambiador, por lo que las dimensiones obtenidas son:

Variable	Depósito H ₂ SO ₄	Depósito NaOH
V (L)	250	1000
D (m)	0,68	0,5
L (m)	1,07	1,08
V _R (L)	390	1566

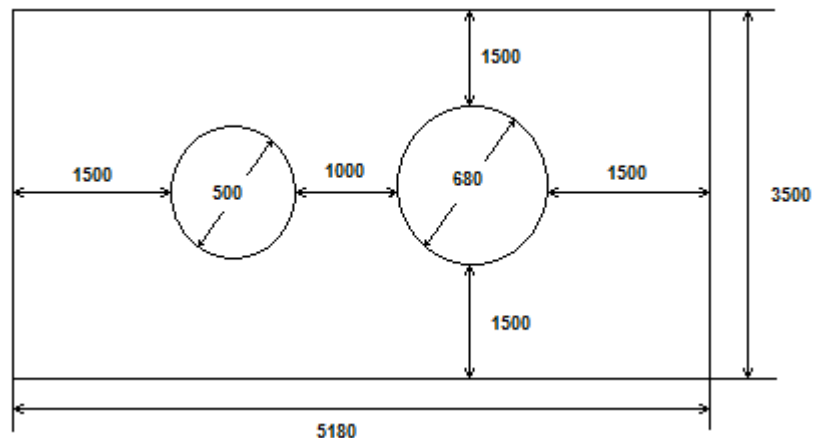
Debido a las dimensiones y cantidades tan pequeñas necesarias por ciclo, se opta por no realizar el diseño mecánico de los depósitos, y en vez de esto comprarlos a una empresa especialistas en productos químicos, que facilitaran y ahorrar costes de fabricación y producción.

Estos depósitos según características del fabricante en cuestión, para que se encuentren en alto tendrán que estar soportados sobre una torre a una altura de 2,5 metros y estarán sujetos mediante cajas huecas de malla metálica en las cuales se introduce el depósito.

▪ **Cubeto de retención:**

Según la ITC MIE APQ- 006 los productos químicos almacenados están clasificados como clase A y clase B para ácidos sulfúricos y la sosa respectivamente, o sea sustancias corrosivas o muy corrosivas, por lo que su almacenamiento requiere unas determinadas condiciones.

Según la ITC MIE APQ- 006 debe existir un metro de separación entre depósitos de un mismo cubeto y 1,5 como mínimo entre las paredes de estos y la pared interna del cubeto.



7.5 DEPÓSITO DE AGUA DESMINERALIZADA

Una vez terminado el proceso de desmineralización de agua, es preciso recoger esta agua en algún depósito o arqueta para su posterior bombeo a:

- Al proceso de lavado de tratamiento superficial.
- A los depósitos de dilución de regenerante para realizar las disoluciones.
- Para el lavado de las resinas de los intercambiadores iónicos.

7.5.1 Tipo de recipiente

En el presente proyecto se diseñara un recipiente vertical con envolvente cilíndrica y con fondos tipo Korbboegen Boden, sustentado por patas.

7.5.2 Material de diseño

Se usara para la fabricación del depósito de agua desmineralizada, acero inoxidable 316 debido a su alta resistencia a la corrosión y grandes prestaciones

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	$2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ ($3 \times 10^7 \text{ psi}$)
Limite elástico (e)	$2109,55 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	5800 Kg/cm^2
Eficiencia de la soldadura (ϵ)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	132176 Kg/cm^2 (18799 psi)
Sobreespesor por corrosión (c)	2,5 mm
Densidad (ρ)	7944 Kg/ m^3

7.5.3 Diseño mecánico del depósito de agua desmineralizada

Se realizara el diseño en función del código ASME, donde en su sección VIII división 1, indica los métodos de diseño y cálculo tanto con los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas de carga que satisfagan los equipos.

Se obtiene el siguiente resultado del diseño:

Variable	Depósito agua desmineralizada
V (L)	16000
D (m)	2,73
L (m)	4,29
V _R (L)	25130

Variable	Depósito agua desmineralizada
t (mm)	8
t _f (mm)	8
D (m)	2,73
Do (m)	2,746
Tipos de fondos	Korbogen
H _f (m)	0,577
V _f (m ³)	2,030
L (m)	4,675
H _t (m)	5,828
P _f (Kg)	368
P _t (Kg)	4187,62

7.5.4 Equipamiento del depósito

- **Patas de soporte:**

Se realizarán según especificación técnicas, estas patas irán soldadas a la envolvente y se encontrarán con el mismo espacio sobre el perímetro del recipiente. La longitud de las patas se estima en un metro.

Nº de patas: 6patas

Tipo de patas: I

Dimensiones: 200x90

Φ exterior del recipiente	Patas del soporte			Placas		Φ Situación Taladros.	"A"	Φ Pernos	Φ Taladros	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	15.400	
750-1.050	4		80×80×10	150	12		45			22.500	
1.050-1.350			100×100×10	200	10		65			31.500	
1.350-1.650			100×100×14				48.500				
1.650-1.950			150×150×16	250	12		90			62.500	
1.950-2.260							27			33	82.000
2.260-2.565							33			82.000	
2.565-2.870	6	I	200×90	Ver Plano		-	-	-	85.000		
2.870-3.200	6	I	280×119	Ver Plano		-	-	-	150.000		
> 3.200	Utilizar Faldón										

Tabla 8. Apoyos para recipientes verticales.²¹

- **Tabuladuras:**
Cada depósito poseerá dos tabuladuras, una de carga y otra de descarga, situadas en el centro del fondo superior e inferior respectivamente. Las características de las tabuladuras son las mismas que las tuberías que llegan a estos depósitos o parten de ellos.
- **Bocas de carga y descarga:**
Los depósitos contarán de 2 bocas de carga y descarga de los líquidos estarán colocadas en la parte superior e inferior del depósito.
- **Bocas de inspección:**
Se dispondrá de una boca de inspección situada en el fondo superior

7.6 TUBERIAS

Las tuberías de la instalación deben permitir el transporte del agua desde la entrada los sistemas de filtración hasta el depósito final de agua desmineralizada, así como para los lavados y regeneración de las columnas. Deben también de permitir la dosificación de reactivos regenerantes como son el caso del ácido sulfúrico y la sosa.

7.6.1 Material de diseño de las tuberías

En el presente proyecto se utilizarán tuberías y accesorios de PVC, cuyas ventajas respecto a otros materiales alternativos como el acero o hierro fundido son las siguientes:

- No presentan ni fenómenos de corrosión interna ni externa.
- Se pueden cortar y fundir con facilidad.
- Son muy ligeras y fáciles de montar.
- Precio inferior a las otras posibilidades.

Pero también tiene una serie de inconvenientes:

- Sus esfuerzos máximos permisibles a temperaturas de trabajo son bajos.
- Sus temperaturas de trabajo máximas son bajas.

Según la condiciones de operación de nuestra planta estos dos inconvenientes no son aplicables ya que trabajaremos a temperatura ambiente y presión atmosférica.

7.6.2 Selección de tuberías

Las dimensiones de la tubería dependerán de la distribución o línea de la planta. Para seleccionar el tipo de tubería que se precisan en el presente proyecto, es necesario realizar el cálculo del diámetro interno necesario.

Cuando hemos obtenido nuestro valor del diámetro interior en función del caudal y de la velocidad escogida, se procede a la elección de una tubería adecuada en el catalogo correspondiente. En los catálogos de tuberías de PVC se muestran estas, clasificadas por su diámetro nominal y por su presión nominal.

Los cálculos de estas dimensiones se encuentran recogidos en el Anexo VIII de la memoria descriptiva.

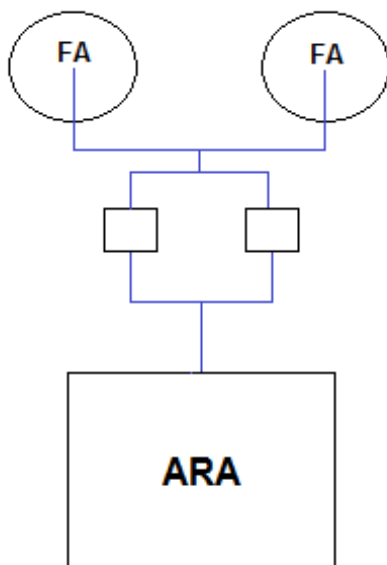
7.6.3 Líneas de tuberías y dimensionamiento de estas

En la siguiente tabla se encuentran las dimensiones para cada línea de agua desmineralizada, donde aparece el valor del diámetro nominal, el diámetro interior y el espesor de las tuberías de PVC, así como el caudal de circulación máximo por cada línea, la velocidad lineal a dicho caudal y la presión nominal en las diferentes tuberías.

1. Arqueta de recepción de agua a tratar- filtro de arena
2. Filtro de arena- filtro de carbón activo
3. Filtro de carbón activo – Columna aniónica
4. Columna aniónica – Depósito agua desmineralizada
5. Regeneración de Columna catiónica
6. Regeneración de Columna aniónica
7. Sistema de recirculación

La distribución grosso modo de estas líneas se observa en las siguientes figuras:

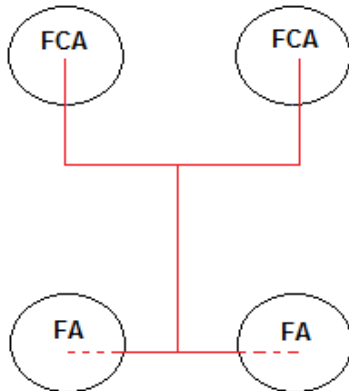
- **Línea 1**



FA : Filtro de arena.

ARA : Arqueta receptora de agua a tratar

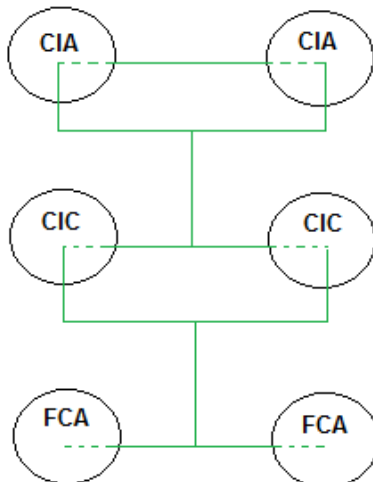
- **Línea 2**



FCA : Filtro de carbón activo

FA : Filtro de arena

- **Línea 3**

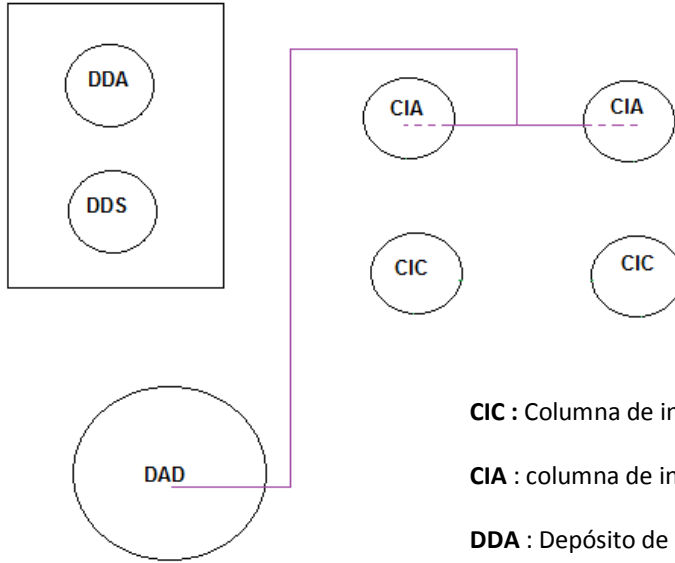


FCA : Filtro de carbón activo

CIC : Columna de intercambio catiónico.

CIA : columna de intercambio aniónico.

• **Línea 4**



CIC : Columna de intercambio catiónico.

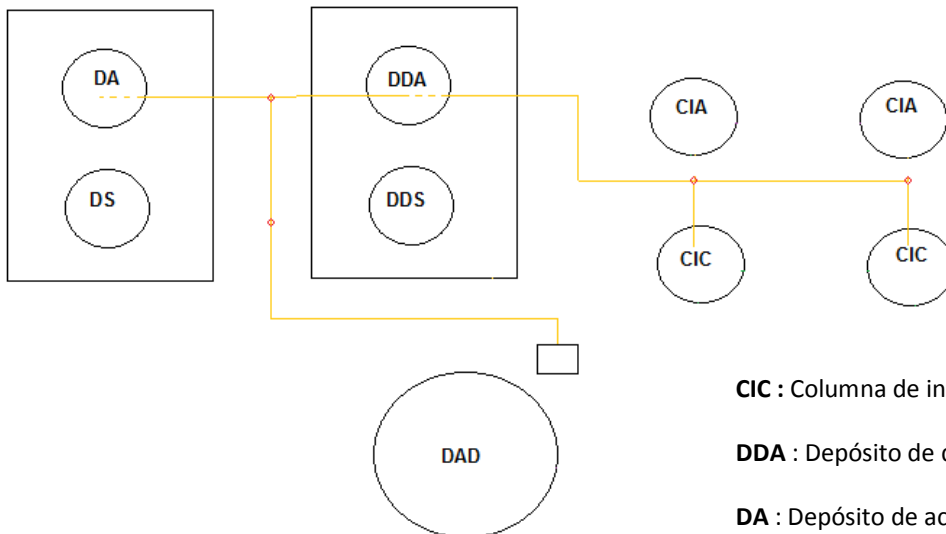
CIA : columna de intercambio aniónico.

DDA : Depósito de dilución de ácido

DDS : Depósito de dilución de sosa

DAD : Depósito de agua desmineralizada

• **Línea 5**

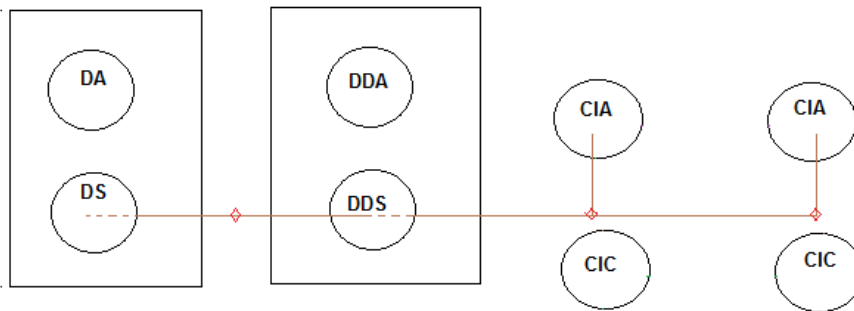


CIC : Columna de intercambio catiónico.

DDA : Depósito de dilución de ácido

DA : Depósito de ácido

- **Línea 6**

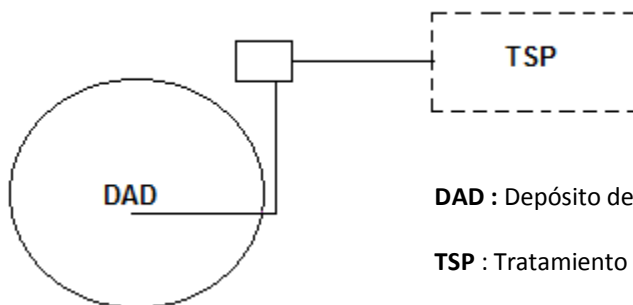


DS : Depósito de soda

CIA : columna de intercambio aniónico.

DDS : Depósito de dilución de soda

- **Línea 7**



DAD : Depósito de agua desmineralizada

TSP : Tratamiento superficial de planchas

7.7 BOMBAS

La planta de intercambio iónico precisará de 3 bombas, que estarán duplicadas, es decir, dispondremos de un total de 6 bombas.

Dos de ellas se usarán para impulsar el agua a la que se le va a realizar el tratamiento de intercambio iónico desde la arqueta de recepción de agua a tratar (AAR) hasta el depósito de almacenamiento de agua desmineralizada (DAD).

Otras dos, serán usadas para la impulsión del agua desmineralizada desde el depósito de agua desmineralizada (DAD) hasta los depósitos de dilución de los regenerantes (DDS y DDA) para llevar a cabo las disoluciones de regeneración de las resinas iónicas. Estas bombas también serán utilizadas para la impulsión del agua desmineralizada al proceso de tratamiento superficial para una vez allí ser utilizada para los baños de lavado.

Las dos últimas bombas, estarán diseñadas para impulsar las disoluciones generadas en los depósitos de dilución de regenerantes (DDA y DDS) hasta el interior de las columnas de intercambio iónico (CC y CA). Estas bombas también serán usadas para impulsar el agua de red, desde su arqueta de recepción (ARAR) hasta el interior de las columnas de intercambio para realizar la compactación de lecho y además la limpieza de los filtros tanto arena como carbón activo.

En el Anexo VII se encuentra el algoritmo de cálculo para obtener las potencias de las bombas. La tabla resumen de lo obtenido es la que se muestra:

SALIDA	Arqueta de recepción de agua a tratar (ARA)	Depósito de agua desmineralizada (DAD)	Deposito de dilución de regenerante (DDA y DDS)
ENTRADA	Depósito de agua desmineralizada (DAD)	Deposito de dilución de regenerante (DDA y DDS)	Columnas de intercambio iónico (CC y CA)
POTENCIA	0,65 KW	0,45 KW	0,55 KW

7.8 OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES

7.8.1 Arquetas

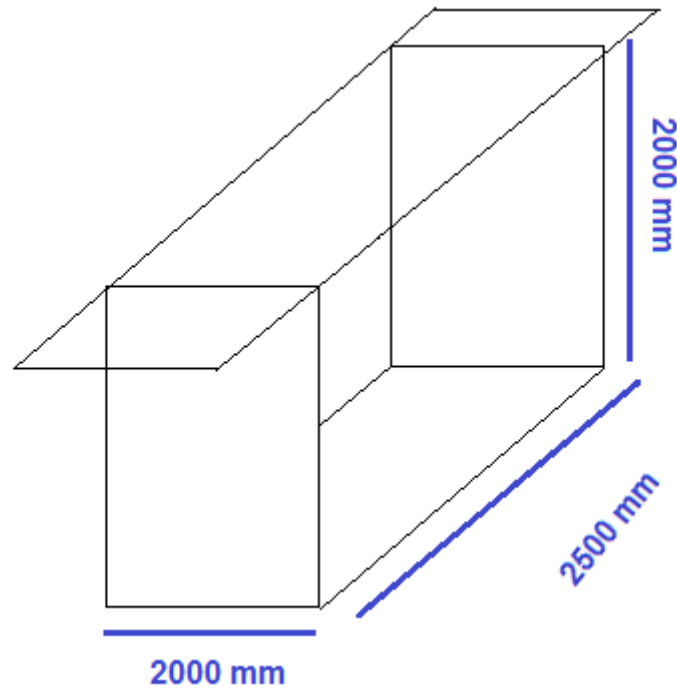
En el presente proyecto se diseñara una arqueta de recepción de agua procedente de los baños de tratamiento superficial de planchas y otra arqueta para el agua de red, encargada de la compactación del lecho de las columnas de intercambio iónico.

- Arqueta de recepción de agua de tratamiento superficial:

Esta arqueta ira enterrada y será de material plástico, de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) o similar, irán cubiertas para evitar la entrada de elementos que puedan obstruir el sistema de impulsión.

Tendrá capacidad para almacenar 30 min de caudal máximo de entrada, o lo que es lo mismo 8000 litros de agua a tratar. Realizaremos una sobredimensión por seguridad hasta los 10000 litros.

A continuación se realiza un breve esquema donde se muestra el dimensionamiento de la arqueta.



- **Arqueta de recepción de agua de red:**

Esta arqueta irá enterrada y será de material plástico, de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) o similar, irán cubiertas para evitar la entrada de elementos que puedan obstruir el sistema de impulsión.

Tendrá capacidad para almacenar el agua necesaria para una compactación completa de cada una de las columnas de intercambio iónico, o lo que es lo mismo 20000 litros de agua. Realizaremos una sobredimensión por seguridad hasta los 22000 litros.

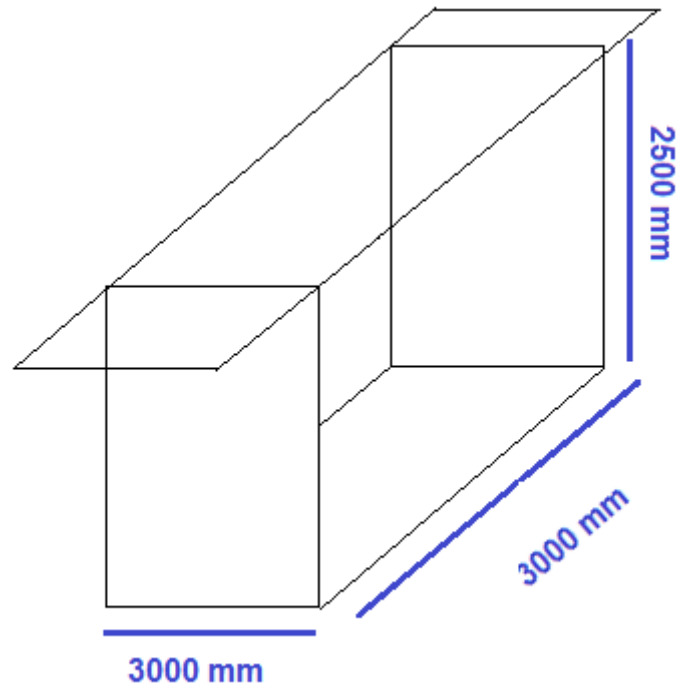
$$V_{compactacion\ cationica} = 10,36\ m^3$$

$$V_{compactacion\ anionica} = 9,613\ m^3$$

$$V_{compactacion\ total} = 10,36\ m^3 + 9,613\ m^3 = 19,973\ m^3$$

$$V_{compactacion\ total} + \%_{seguridad} = 19,973\ m^3 + 10\% = 22\ m^3$$

A continuación se realiza un breve esquema donde se muestra el dimensionamiento de la arqueta.



8. MATERIALES

En este apartado justificaremos de forma razonada la elección de los materiales de diseño de los equipos y líneas de fluido de la planta.

Utilizaremos los siguientes materiales: Aceros, materiales plásticos y materiales compuestos.

Debido a su alta grado de conocimiento, en la industria química siempre se ha utilizado para el diseño de sus instalaciones aceros, aunque actualmente para condiciones moderadas de los sistemas se están imponiendo los materiales plásticos por su bajo coste y mejores propiedades mecánicas.

En el presente proyecto se utilizaran ambos materiales, para columnas de intercambio iónico, depósito de dilución de regenerante y depósito de recogida de agua desmineralizada usaremos aceros, más concretamente acero inoxidable 316 y para el caso de los sistemas de filtración, arquetas de retención y depósitos de regenerante, usaremos materiales plásticos, más concretamente poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

Las principales ventajas del PRFV sobre el acero inoxidable son:

- Resistente a la corrosión incluso en entornos muy agresivos
- Flexible: recupera su estado inicial tras ser sometido a esfuerzos
- Termoestable: no se dilata ni contrae ante variaciones de temperatura
- Gran resistencia mecánica
- Diferentes tipos de PRFV según necesidades
- Ligero y de fácil instalación

Por último, para las conducciones y accesorios usaremos PVC, ya que disponemos de un amplio desarrollo y grandes prestaciones para la conducción de fluidos en condiciones moderadas.

8.1 ACERO INOXIDABLE

En metalurgia, el acero inoxidable se define como una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa.

El acero inoxidable es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro.

Los principales aceros inoxidable y composición se muestran en la siguiente tabla:

Composición Química (%) de los Aceros Inoxidables Austeníticos y Aleaciones de Níquel

GRADO	304	304L	316	316L	317	317L	321	400	825	625	C-276	DUPLEX 2205
Designación UNS	S30400	S30403	S31600	S31603	S31700	S31703	S32100	N04400	N08825	N06625	N10276	S31803
CARBONO (C) max.	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.30	0.05	0.10	0.02	0.03
MANGANESO (Mn) max.	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	1.00	2.00
FOSFORO (P) max.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	----	----	0.015	0.04	0.03
AZUFRE (S) max.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.024	0.03	0.015	0.03	0.02
SILICIO (Si) max.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50	0.50	0.08	1.00
CROMO (Cr) max.	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	16.0 a 18.0	16.0 a 18.0	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	17.0 a 20.0	----	19.5 a 23.5	20.0 a 23.0	14.5 a 16.5	21.0 a 23.0
NIQUEL (Ni)	8.0 a 11.0	8.0 a 13.0	10.0 a 14.0	10.0 a 15.0	11.0 a 14.0	11.0 a 15.0	9.0 a 13.0	63.0 a 70.0	38.0 a 46.0	Balance	Balance	4.5 a 6.5
MOLIBDENO (Mo)	----	----	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	3.0 a 4.0	----	----	2.5 a 3.5	8.0 a 10.0	15.0 a 17.0	2.5 a 3.5
OTROS ELEMENTOS	----	----	----	----	----	----	Ti = 5xC min. y 0.70 max.	Cu=Bal. Fe = 2.50 max.	Fe=Bal. Cu = 1.5 a 3.0 Al = 0.2 max. Ti = 0.6 a 1.2	Fe = 5.0 max. Al = 0.40 max. Ti = 0.40 max. Cb+Ta = 3.15 a 4.15 Co = 1.0 max.	Co = 2.50 max. W = 3.00 a 4.50 Fe = 4.00 a 7.00 V = 0.35 max.	N = 0.08 a 0.20

* Se acepta un contenido máximo de carbono del 0.04% para tubos trellados.

Para la elección del acero, nos basamos en la aplicación que le vamos a dar, en la siguiente tabla se puede observar la clasificación de los tipos de aceros en función de sus características y aplicaciones.

Tipo de acero inoxidable	Aplicación
Austenítico (resistente a la corrosión)	Equipos para industria química, petroquímica, alimenticia y farmacéutica construcción civil
Ferrítico (resistente a la corrosión, más barato)	Electrodomésticos (cocinas, heladeras, etc.), monedas, industria automovilística
Martensítico (dureza elevada)	Cuchillería, instrumentos quirúrgicos como bisturí y pinzas, discos de freno

La elección del tipo de acero es sencilla, en función a su utilidad, como serán utilizados para la industria química elegiremos aceros austeníticos para nuestros equipos de la serie 300 (acero inoxidable 316) por su excepcional comportamiento.

Las principales características de este material se muestran en la siguiente tabla.

Propiedades	Acero inoxidable 316
Modulo de elasticidad (E)	2,1x10 ⁶ Kg/cm ² (3x10 ⁷ psi)
Limite elástico (e)	2109,55 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ _R)	5800 Kg/cm ²
Eficiencia de la soldadura (ε)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	132176 Kg/cm ² (18799 psi)
Densidad (ρ)	7944 Kg/ m ³

8.2 PLASTICOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO

El Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.) es un material compuesto, constituido por una estructura resistente de fibra de vidrio y un material plástico que actúa como aglomerante de las mismas. El refuerzo de fibra de vidrio, provee al compuesto: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, y resistencia al calor. La resina plástica aporta: resistencia química dieléctrica y comportamiento a la intemperie.

FIBRAS DE VIDRIO

Cuando el vidrio se convierte en finas fibras, su tensión de rotura a la tracción, aumenta considerablemente.

Para la fabricación de fibra de uso en plástico reforzado, se emplea el vidrio tipo "E", el cual es un vidrio borosilícico, con escaso contenido de álcalis, (menor a 1%). Se fabrican diferentes tipos de refuerzo de fibra de vidrio, según las necesidades, en cuanto al diseño y al proceso de transformación a emplear.

RESINAS

Las más comúnmente empleadas son los poliésteres. Las mismas resultan de combinar ácido polibásico (saturados o insaturados) con glicoles. De los distintos compuestos usados y de las diferentes proporciones entre ellas, surgen diversos tipos de resinas.

Las resinas más comúnmente utilizadas son tres:

- resinas poliéster ortoftálica
- resinas poliéster isoftálica
- resinas poliéster bisfenolica.

CARACTERISTICAS➤ **Físicas.**

Los plásticos reforzados son un material flexible pero a su vez, muy resistente mecánicamente. Sometido a un esfuerzo de tracción, se deforma proporcionalmente, o sea, que cumple con la Ley de Hooke, con la particularidad de que la rotura se produce sin presentar fluencia previa. Su peso específico (1.8 Kg/dm³) es mucho menor que el de los materiales tradicionales, lo que hace que el PRFV posea una alta resistencia específica.

➤ **Hidráulicas.**

Los tanques accesorios y muy principalmente los caños en PRFV llevan como acabado superficial interno con terminación espejo y sección perfectamente circular, debido a que estos se moldean sobre matrices de una sola pieza. Debido a sus propiedades anticorrosivas y que no son atacados por ningún microorganismo, y que es difícil la adhesión de incrustaciones en su superficie, los caños no aumentan su rugosidad y la sección interna no disminuye, aún en largos períodos de tiempo. Con lo antedicho se logra una gran economía en la elección del área de flujo, con respecto a los materiales tradicionales, lo que adquiere gran importancia en caños de grandes diámetros.

➤ **Químicas.**

El PRFV es inerte a una gran cantidad de compuestos. La inercia química, está influenciada por la temperatura, el tipo de resina usada y la concentración del producto agresivo. La elección de la resina correcta, surgirá de un estudio de las condiciones y tipo de fluido y de las tablas de resistencia química que proveen los fabricantes.

El PRFV resiste perfectamente la corrosión de los suelos más agresivos y al ser un material dieléctrico está excluido de los casos de corrosión electroquímica. Las principales características de PRFV utilizado son:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	91774,5 Kg/cm ² (1,3x10 ⁶ psi)
Limite elástico (e)	1529,57 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ _R)	1172,63 Kg/cm ²
Eficiencia de la soldadura (ε)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	Kg/cm ² (8702,21psi)
Densidad (ρ)	1300 Kg/ m ³

8.3 PVC

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles. A partir de procesos de polimerización, se obtienen compuestos en forma de polvo o pellet, plastisoles, soluciones y emulsiones.

Además de su gran versatilidad, el PVC es la resina sintética más compleja y difícil de formular y procesar, pues requiere de un número importante de ingredientes y un balance adecuado de éstos para poder transformarlo al producto final deseado. Los productos fabricados a partir del PVC obedecen a elevados patrones de calidad técnica, que han motivado usos cada vez más diferenciados.

La razón de su amplia aceptación en el mercado se encuentra principalmente en sus características, entre las que cabe destacar:

- Aislamiento térmico y acústico mayor que otros materiales.
- Estabilidad dimensional.
- Resistencia al choque.
- Resistencia a los agentes atmosféricos, biológicos y químicos.
- Auto-extinguible en su comportamiento al fuego.
- Aislante eléctrico.
- Reciclable.

Ningún otro grupo de materiales se ha desarrollado en tan poco tiempo y con tanta fuerza como el de materias plásticas. La industria de los materiales de construcción ya no puede prescindir de ellas. Se aprovechan sus propiedades de aislamiento, su resistencia a la corrosión, su peso reducido, su insensibilidad a la humedad. Las principales ventajas de la utilización del PVC para tuberías y accesorios son:

- ◆ Fácil Instalación
- ◆ Resistencia química
- ◆ Resistencia mecánica
- ◆ Resistencia al fuego
- ◆ Resistencia a la Corrosión interior
- ◆ Resistencia a la Corrosión externa
- ◆ Inmunidad al Ataque Galvánico o Electrolítico
- ◆ Libre de Toxicidad, Olores, Sabores
- ◆ Libre de Corrosión
- ◆ Pérdida por Fricción baja
- ◆ Conductividad Térmica baja
- ◆ Costo de la Instalación bajo
- ◆ Libre de Mantenimiento

9. DISTRIBUCION EN PLANTA

La distribución en planta se realiza de la forma más razonada para obtener las mayores ventajas con los menores inconvenientes (de seguridad, funcionamiento, acceso, ergonomía, etc.) todo ello con el mínimo coste, o sea la mínima superficie necesaria de planta.

Se tienen en cuenta los siguientes aspectos de la Reglamentación sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo:

- Espacio mínimo por operario
- Dimensionamiento adecuado de los accesos
- Redes de distribución y mantenimiento situados a distintos niveles
- Ubicación correcta de elementos peligrosos
- Salidas de emergencia
- Servicios contra incendios

Los principios básicos tenidos en cuenta en la distribución son:

- ❖ **Principio de racionalidad:** La distribución en planta se basa en una adecuada coordinación e integración de los elementos básicos de la producción (maquinas, hombres y materiales).
- ❖ **Principios de economía:** Se enumeran los siguientes:
 - Recorrido mínimo y continuo, con esto se disminuye la duración del proceso
 - Aprovechamiento del espacio, el máximo aprovechamiento rebaja el coste de la planta.
- ❖ **Principios de previsión de futuro:** Son los siguientes:
 - Flexibilidad de la planta, debe ser máxima
 - Posibilidad de ampliación, se ha de realizar de modo que esta sea posible.
- ❖ **Principio de máxima seguridad:** Los puestos de trabajo, las maquinas y el resto de instalaciones se proyectan de modo que garanticen la máxima seguridad.

9.1 DISTANCIAS EN LA INSTALACION

Según la ITC MIE APQ -001 sobre almacenamiento de líquidos las distancias mínimas entre instalaciones están calculada para una instalación de capacidad superior a 50 m³. El presente proyecto tiene una capacidad mucho menos por lo que aplicaremos un coeficiente reductor de 0.3 de las distancias descritas, quedándose estas como sigue en la tabla adjunta.

Separación de instalaciones	Distancia mínima (m)
cubetos de retención	1
unidad de proceso- depósitos	3
depósitos- pared planta	3
depósitos- estación de bombeo	3
estación de bombeo- pared planta	4,5

9.2 DISTANCIA ENTRE RECIPIENTES

Según la ITC MIE APQ- 006 debe existir un metro de separación entre depósitos de un mismo cubeto y 1,5 metros como mínimo entre las paredes de estos y la pared interna del cubeto.

10. CONTROL DE PROCESOS

En el presente proyecto debido a las características de nuestra planta no interesa tener un control exhaustivo de ciertas variables a lo largo del tiempo de modo continuo sino el estado en que se encuentran en un instante determinado.

La única variable que nos interesa llevar un control exacto a lo largo del tiempo, es el caudal de entrada de alimentación del agua a tratar de la planta de tratamiento superficial ya que varía en función de las necesidades de esta e influye sobre la mayoría de las operaciones básicas de la planta de tratamiento de aguas.

Por lo que se diseñara un control manual y otro control automático o autómatas programables (CLP) que son sistemas digitales diseñados para estos fines y que además incorporan funciones como temporizadores, contadores y reguladores.

- CONTROL MANUAL

El diseño de un control manual básico es imprescindible en todo montaje de un control automático, ya que en caso de fallo de este último será al que tendremos que recurrir. Se basa en la distribución de válvulas de cierre o regulación del paso de los distintos caudales o efluentes que conste la planta (agua de tratamiento, disoluciones de regenerante, regenerantes, agua de red, etc).

- CONTROL AUTOMÁTICO

El funcionamiento de la instalación precisa de unos elementos de medida para comprobar que la misma cumple con las prescripciones que ha sido diseñada. Es decir las especificaciones relativas al caudal y calidad del agua producida y al consumo energético y de reactivos de la instalación.

Se instala en la planta un sistema de control secuencial de procesos. Para dicho control, se usará un autómatas programables, conocido como controlador lógico programable (CLP)

La programación del CLP así como el control y el seguimiento de las operaciones en planta se realizarán a través de un ordenador suponiendo esto una serie de ventajas:

- Gran flexibilidad del sistema
- Mayor eficiencia en el control
- No varían los cálculos de diseño a lo largo del tiempo
- Mayor precisión en los anteriores cálculos
- Centralización de la información en formato homogéneo y con marcas de tiempo definidas, lo cual facilita mucho el procesamiento
- Funciones complementarias, cálculos, información, alarmas, etc.

Sin embargo, presenta los siguientes inconvenientes:

- Coste de los equipos
- Excesiva centralización de las funciones de control

Actuadores

Veremos los distintos actuadores del sistema y su configuración de actuación

Se ha dispuesto para el control y regulación del caudal circulante por las conducciones de la instalación el uso de cuatro tipos de válvulas:

- Válvulas de 3 vías
- Válvulas de 4 vías
- Válvulas de regulación
- Válvulas on/off

Válvulas de regulación

Serán válvulas de globo de accionamiento neumático mediante señal normalizada 3-15 psi. Se dispondrán en la planta de 6 válvulas de regulación. Estas válvulas estarán ubicadas justo detrás de las bombas de impulsión, tanto de agua desmineralizada, como de los regenerantes.

Las ventajas que presentan las válvulas de globo para la regulación de flujo son las siguientes:

- Estrangulamiento eficiente con un mínimo de desprendimiento de erosión del disco o el asiento.
- Carrera corta de disco y menos vueltas para que funcione, lo cual reduce el tiempo y el desgaste del vástago y el bonete.
- Control preciso del flujo.



Válvula de Globo

Válvulas de 3 vías

En la planta se dispondrán de un total de 27 válvulas de 3 vías, cuya situación en la instalación se puede observar en el plano del diagrama de flujo del sistema. Estas válvulas serán de accionamiento eléctrico mediante señal eléctrica normalizada 4-20 mA.

Su función será la de dirigir los flujos por toda la instalación por las dos cadenas de intercambio iónico y sus respectivas ciclos de regeneraciones.



Válvula de 3 vías

Válvulas de 4 vías

Se instalarán en la planta 4 válvulas de este tipo, que al igual que en los casos anteriores, su situación se puede ver en el diagrama de flujo de la instalación. Estas válvulas también serán de accionamiento eléctrico mediante señal eléctrica normalizada 4-20 mA.

La función de estas válvulas, al igual que en el caso de las válvulas de 3 vías, es la de distribuir los fluidos de todos los tipos de agua y de los regenerantes por las distintas parte de la instalación.



Válvula de 4 vías

Válvulas on/off

Estas válvulas son válvulas de mariposa de accionamiento neumático mediante señal neumática normalizada 3-15 psi. Se disponen en la planta de 5 válvulas de este tipo, y se encuentran en la salida de los depósitos de los regenerantes (DA y DS), de los depósitos de dilución (DDA y DDS) y del depósito de almacenamiento de agua desmineralizada (DAD).

Las ventajas que presentan las válvulas mariposas para la apertura o cierre total de la sección de flujo son:

- Compacta, peso ligero, bajo coste.
- Mantenimiento mínimo.
- Número mínimo de piezas móviles.
- No tiene cavidades.
- Alta capacidad.



Válvula de mariposa

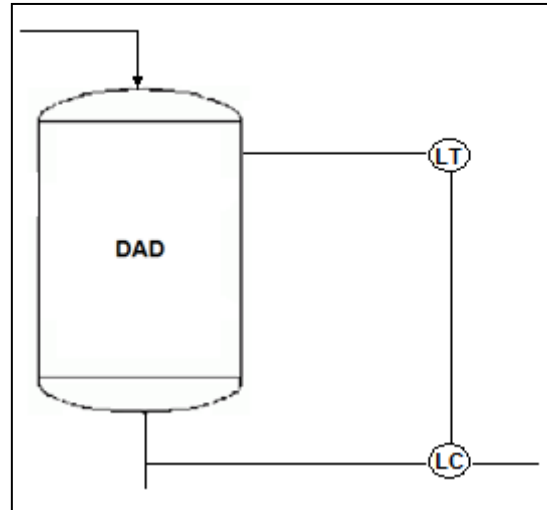
- **CONTROL DE NIVEL**

Tendremos varios repartidos por todo el sistema con distintas características pero con la finalidad de señalar el nivel alcanzado por un líquido en un tanque, en un depósito o arqueta. El grado de complejidad del problema depende tanto de las propiedades del líquido, como de las condiciones de servicio.

Los depósitos en donde se ubicarán estos controles de nivel son los depósitos de almacenamiento de H_2SO_4 y $NaOH$, al igual que sus respectivos depósitos de dilución, el depósito de almacenamiento de agua desmineralizada y arquetas de recepción de agua.

Con estos controles de nivel se pretende conocer en todo momento los niveles en cada depósito y si el nivel de los líquidos no se encuentra dentro de los rangos establecidos, estos medidores de nivel manden una señal a las válvulas actuadoras, que sean las responsables aumentar o disminuir el caudal de salida.

Estos controles se realizan mediante un lazo cerrado, como se muestra en el ejemplo siguiente del almacenamiento del agua desmineralizada.



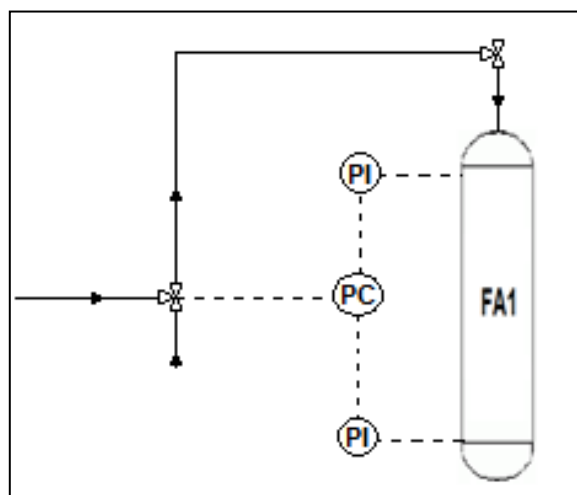
- CONTROL DE PRESIÓN

En la instalación habrá cuatro unidades que precisen de sensores de presión, que son las cuatro columnas de filtración

En los filtros tanto de arena como de carbón activo, se deberán instalar indicadores de presión tanto en la parte superior como en la parte inferior de la columna de relleno de estos.

Cuando se detecte una diferencia de presión de 1 Kg/cm^2 se transmitirá una señal a la válvula de 3 vías que hará que deje de circular agua hacia ese filtro y se pondrá entonces en funcionamiento el filtro de la otra cadena que no estaba en operación.

Una vez que esto ocurra, saltará una alarma en el CLP, para que el operario proceda entonces al lavado del filtro.

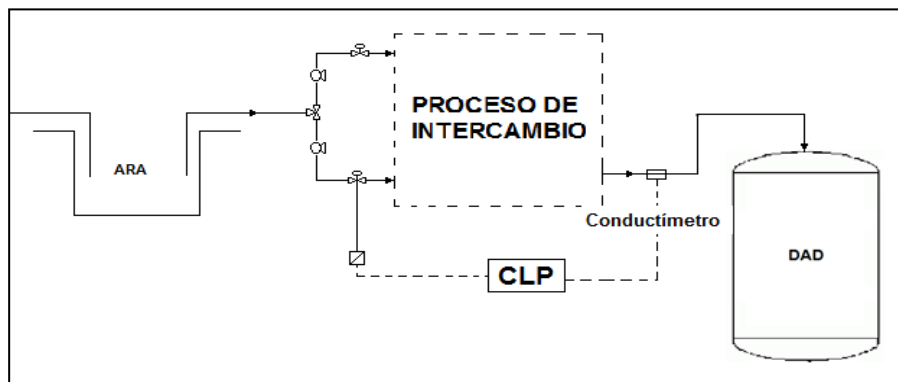


- CONTROL DE CONDUCTIVIDAD

Los conductímetros se instalarán a las salidas de las columnas de intercambio iónico, antes de la entrada al depósito de almacenamiento de agua desmineralizada (DAD) ya que nos proporcionará información de la calidad del agua de salida de un modo continuo.

Al detectar el conductímetro una conductividad igual o menor a 20 S/cm se transmitirá una señal a la válvula de 3 vías de la alimentación de entrada que proviene de la arqueta de recepción del agua a tratar (ARA), provocando esto el corte la circulación de agua hacia esa cadena de intercambio iónico y se pondrá entonces en funcionamiento la otra cadena que se encontraba en reposo.

Con la alarma que salte en la sala de control, se deberá poner en funcionamiento la regeneración de las dos columnas iónicas de la cadena que se ha agotado.



- CAUDILÍMETROS

En la planta se encontrarán algunos medidores de caudal de presión diferencial, que se basan en provocar al flujo una obstrucción, se calcula en ese instante la variación de presión antes y después de la obstrucción. En concreto en este caso incorporaremos tubo de Pitot para el cálculo del caudal. Sirven para conocer el caudal que recorre la instalación en todo momento. Estarán ubicados de tal forma que se pueda controlar:

- El caudal de alimentación, en la arqueta de recepción de agua (ARA)
- Las corrientes de regenerantes, a la salida de los depósitos de almacenamiento
- El agua para lavado de las columnas de intercambio iónico, estarán situado en la arqueta de recepción de agua de red (ARAR).
- El caudal de recirculación, situado en la salida del depósito de agua desmineralizada (DAD).

En el Anexo X: Fichas técnicas, se especifica un posible caudalímetro de presión diferencial, de tubo de Pitot, acorde a las necesidades y características de la planta.

11. SEGURIDAD EN PLANTA

11.1 MANEJO DE REACTIVOS

11.1.1 Manipulación del ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido incoloro a la temperatura y presión ambiente; es más pesado que el agua, tiene un olor picante y penetrante

La seguridad en el manejo de ácido sulfúrico depende, en gran parte, de la efectividad en la instrucción del personal, del entrenamiento correcto en las prácticas de seguridad, del uso del equipo de seguridad y de una supervisión inteligente. La supervisión es responsable de la instrucción y el entrenamiento de los empleados para que estos trabajen con seguridad y utilicen el equipo de protección personal que se les proporciona.

Con objeto de que los trabajadores estén ampliamente informados sobre los riesgos a que se expondrían en caso de realizar maniobras inadecuadas, y para que además sepan cómo actuar cuando se presente una emergencia, se deberán impartir periódicamente pláticas, tanto de trabajadores nuevos como a los que tienen años de servicio, sobre los siguientes aspectos principales:

- Localización, propósito y uso del equipo de protección personal, regaderas de seguridad, fuentes para lavado de ojos, garrafones de solución de bicarbonato de sodio e hidrantes para casos de emergencia.
- Localización, propósito y uso del equipo contra incendio, alarmas y equipo de emergencia, tales como válvulas o interruptores.
- Medios para evitar la inhalación de vapores o vapor de ácido sulfúrico y contacto directo con el líquido.
- Forma de actuar, procedimientos a seguir en casos de emergencia y medidas de primeros auxilios.
- Precauciones y procedimientos a seguir durante la carga y descarga de este producto.

EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

Es necesario considerar como un complemento de carácter imprescindible y obligatorio el uso del equipo de protección personal a quien tenga contacto o esté implicado en el manejo directo del ácido sulfúrico, y no exime al trabajador de tomar todo tipo de medidas de precaución en cuanto a su comportamiento y desempeño personal en el ejercicio de cualquier operación.

11.1.2 Primeros auxilios y actuación en caso de accidente con ácido sulfúrico

En caso de que el ácido haya caído sobre la piel o los ojos se deberán lavar las partes afectadas haciendo uso de las regaderas de seguridad, fuentes lavaojos o garrafones que contienen solución de bicarbonato de sodio, y retirar al paciente del área contaminada. Se deberá llamar inmediatamente al médico, explicándole con exactitud lo sucedido.

Contacto con la piel y membranas mucosas:

Las personas que hayan tenido contacto con el ácido sulfúrico deberán meterse a las regaderas de seguridad para lavar las partes afectadas con agua en abundancia, retirándoles la ropa lo más rápido posible. Como complemento de este primer auxilio puede utilizarse jabón para lavar las partes afectadas. Las partes quemadas recibirán posteriormente un tratamiento médico similar al empleado en el tratamiento de quemaduras térmicas.

Contacto con los ojos:

Si el ácido sulfúrico entra en contacto con los ojos, se les deberá irrigar de inmediato con agua en abundancia, por lo menos durante 15 minutos. Los párpados deberán mantenerse abiertos durante la irrigación, para asegurar el contacto del agua con los tejidos de la región. Acuda o llame inmediatamente al médico, de preferencia al especialista. Si después de la irrigación continúan las molestias, se necesitara una segunda irrigación de 15 minutos más. También se podrán aplicar 2 o 3 gotas de un anestésico líquido protegiéndolos después con un parche. No aplicar aceites ni ungüentos oleosos.

Ingestión:

Si accidentalmente una persona llegara a ingerir ácido sulfúrico deberá darse a tomar inmediatamente grandes cantidades de agua, con el objeto de reducir la concentración, y una vez hecho esto, puede darse a tomar leche de magnesia o agua de cal para neutralizar el ácido. No debe provocarse el vómito ni hacer lavado de estomago. Deberá recibir atención médica inmediata.

Inhalación:

Las personas que inhalen niebla de ácido deberán ser trasladadas a zonas no contaminadas; debe llamarse inmediatamente al médico, quién los mantendrá en observación durante un tiempo suficiente, por si llegara a presentarse una reacción pulmonar. Si se dispone de los medios necesarios, una persona capacitada o un médico, pueden suministrar oxígeno al paciente. La administración de oxígeno es más efectiva si la respiración se hace contra una presión positiva de 6 cm. de agua.

11.1.3 Manipulación de la sosa líquida

Antes de trabajar con hidróxido de sodio, los individuos deben ser entrenados en su manejo y almacenamiento. Además deben estar entrenados en el uso del equipo de protección personal.

Debido a la posibilidad de generación de hidrógeno inflamable y combustible por el contacto del hidróxido de sodio con algunos metales, debe prohibirse fumar en zonas de almacenamiento, manejo o procesamiento de sustancias. En las mismas zonas, deben revisarse las líneas de conducción eléctrica para garantizar ausencia de cortos que puedan ocasionar chispas y posteriores explosiones e incendio si existe hidrógeno presente producto de la reacción del hidróxido con algunos metales con los que entra en contacto.

Cuando se diluya el hidróxido de sodio, este debe ser siempre agregado al agua en cantidades reducidas. Nunca usar agua caliente o agregar agua al hidróxido. El agua agregada al hidróxido de sodio puede causar ebullición incontrolada y salpicaduras violentas. Cuando se destapen contenedores con este material no usar herramientas que produzcan chispas debido a la posibilidad de existencia de hidrógeno gaseoso. Los contenedores de este material pueden ser peligrosos debido a que retienen residuos de producto.

11.1.4 Primeros auxilios y actuación en caso de accidente con sosa

En el caso de contacto físico, la sosa líquida, debe retirarse lo más pronto posible lavando con agua únicamente. Pueden ocurrir lesiones permanentes graves en cuestión de segundos. El agua es el único método aceptado para retirar la soda cáustica. No utilice jabón y no intente neutralizarla con productos químicos.

Cuando haya que transportar a la víctima con el fin de recibir ayuda médica, se debe realizar de acuerdo a lo indicado por el personal médico calificado. Durante dicho transporte, debe continuar lavándose con agua, si es posible.

CONTACTO CON LOS OJOS:

Lave los ojos inmediatamente con agua abundante en una fuente lavaojos durante 30 minutos como mínimo mientras que sostiene los párpados abiertos y gira los ojos.

Llame al médico inmediatamente. Continúe con el enjuague hasta que el médico indique lo contrario.

CONTACTO CON LA PIEL:

Dúchese en forma inmediata utilizando grandes cantidades de agua, durante 30 minutos como mínimo.

Retire tanto la ropa como los zapatos contaminados mientras se ducha. Por último, retire los anteojos protectores con el fin de evitar que la soda cáustica penetre en los ojos.

Llame al médico inmediatamente. Si la persona entra en choque, asegúrese que permanezca acostada y manténgala caliente hasta que llegue el médico.

No aplique aceites o lociones a las partes quemadas.

INGESTIÓN:

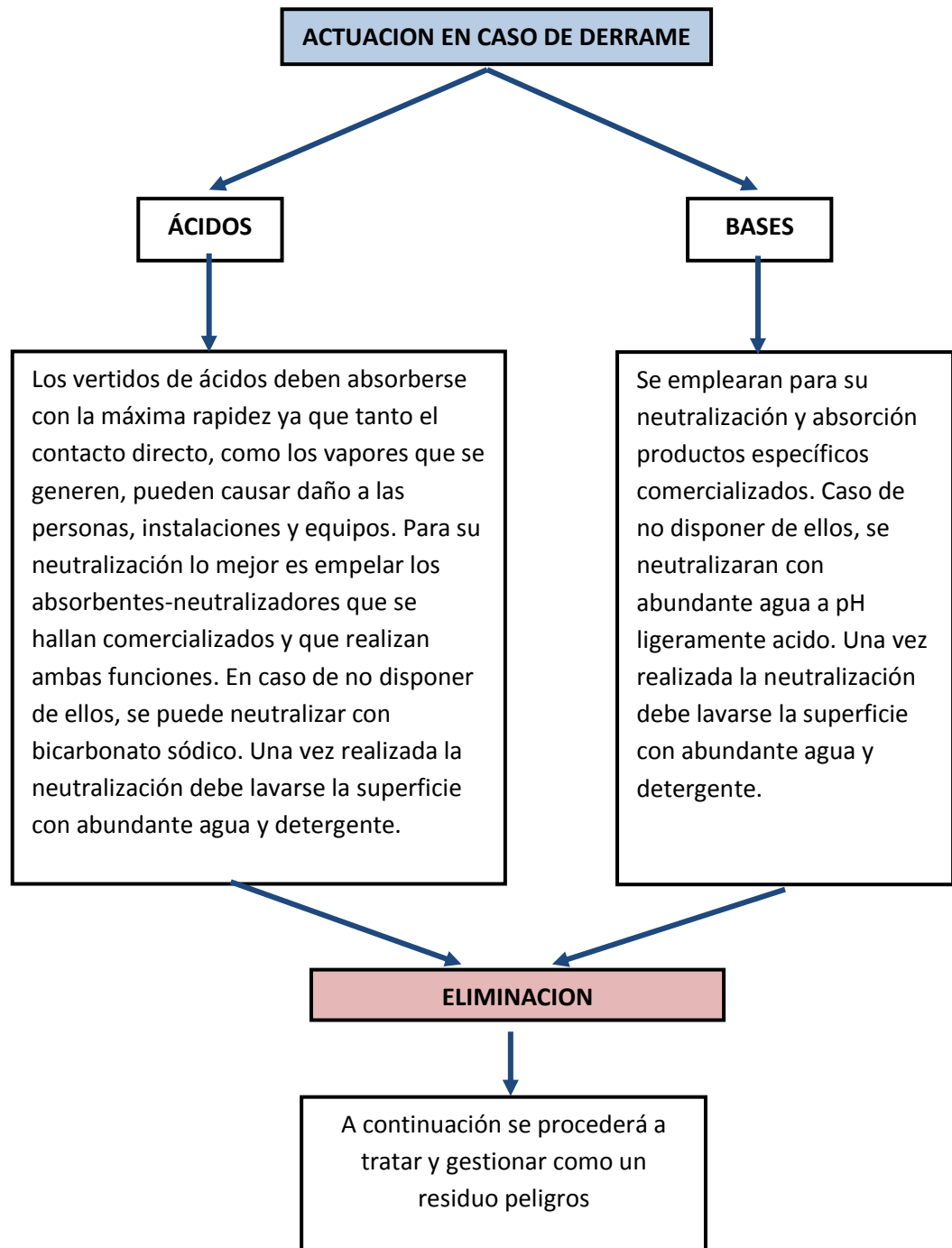
Suministre en forma inmediata grandes cantidades de leche (preferiblemente) o agua.

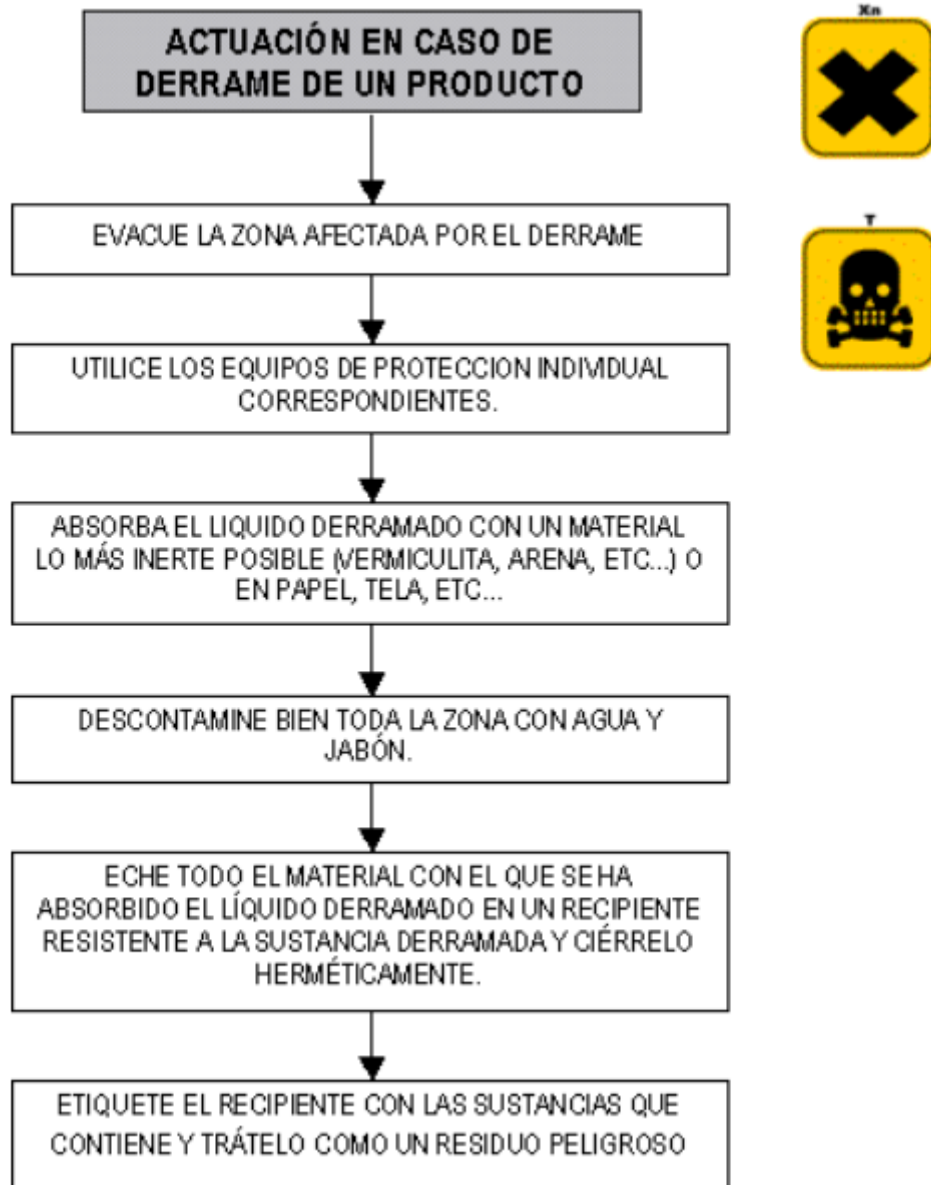
No induzca el vómito. Llame al médico inmediatamente, lleve a la persona a un centro de atención médica.

INHALACIÓN:

Inmediatamente esponga a la persona al aire fresco, llame al médico de forma inmediata.

11.1.5 Actuación en caso de derrames





11.1.6 Elementos de seguridad requeridos

Los equipos de protección industrial (EPI) necesarios para el manejo de los productos químicos empelados en la instalación son los siguientes:

- Guantes de plástico o goma
- Ropa antiácida y de protección
- Mascarilla ante gas y protectora
- Botas de goma
- Gafas de seguridad y viseras de protección facial

ROPA Y EQUIPO PROTECTORES

Se dispondrá de tantas unidades de estos equipos de protección personal como sea necesario para cubrir las necesidades de los empleados que trabajen en zonas susceptibles de ser contaminadas con cualquier tipo de reactivo.

Además de los EPI es necesaria la implantación de una serie de instalaciones fijas, como son duchas y lavaojos de emergencia.

Estos se colocaran a distancias cortas de los puntos de peligro y en la dirección de las salidas, estarán señalizados según normativa española sobre señalización y seguridad, que se recoge en el R.D 1485/1997 de 14 de abril.

11.2 SEGURIDAD ESPECÍFICA EN LOS EQUIPOS

Los únicos equipos presentes en la planta que pueden poner en peligro la seguridad de los operarios son los recipientes, es decir, depósitos, columnas y arquetas.

Los depósitos deberán estar soportados de forma que la posible fuga sea inmediatamente perceptible. Estarán provistos de escaleras o escalerillas permanentemente y plataformas cuando sea necesario, para facilitar un acceso adecuado y seguro a todas las partes del depósito, con barandillas según normas en escaleras y plataformas.

Deberán estar provistos de tuberías y desagües de suficiente capacidad para vaciar el contenido sin que pueda desbordarse y derramarse en el suelo. Estarán rodeados por un cubeto de retención para enclaustrar el líquido en caso de ruptura y tubos de rebose que conduzcan a lugares seguros.

Las columnas deben presentar también escalerillas para un acceso adecuado a las bocas, así como plataformas y barandillas según normas para las columnas.

11.3 PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

El diseño de la planta debe tener en cuenta la Normativa de obligado cumplimiento (Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y sus Reglamentos) y las recomendaciones del INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

Se han seguido para la realización del proyecto los principios de acción preventivas que se describen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

La Ley considera como objetivo: *“promover la seguridad y la salud de los trabajadores, mediante el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de los riesgos derivados del trabajo”*

En su artículo 15 establece unos principios básicos que constituyen los fundamentos de la prevención laboral. Entre ellos cabe destacar:

- Evitar los riesgos.
- Evaluar los que no se puedan evitar.
- Combatir los riesgos en su origen.
- Adaptar el trabajo a la persona.
- Planificar la prevención, conjuntando la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de factores ambientales en el trabajo.
- Anteponer las medidas colectivas a las personales, restringiendo éstas a situaciones en las que los riesgos no puedan limitarse suficientemente.
- La prevención ha de hacerse para proteger.

A continuación se enumeran las medidas de seguridad adoptadas en los equipos que suponen algún tipo de riesgo para los trabajadores.

- ❖ **Ruido:** el nivel de ruido será un factor a tener en cuenta durante la elección de las maquinas. Los focos de ruido se reducirán en la medida de lo posible.
- ❖ **Quemaduras:** Todo equipo o tubería que este a una temperatura que pueda provocar quemaduras por contacto deberán estar aisladas convenientemente, o no será posible su acceso.
- ❖ **Riesgo eléctrico:** Todas las instalaciones eléctricas contarán con protecciones frente a contactos directos(mediante aislamientos) o indirectos (mediante toma de tierra y corte por intensidad de defecto)
- ❖ **Agresiones** físicas tales como cortes, atrapamientos y aplastamientos: Todas las partes en movimiento de los equipos estarán dotados de dispositivos de protección de seguridad que impidan el acceso a partes peligrosas de las maquinas.

Existen muchos otros riesgos de menos importancia que no pueden preverse hasta que la planta está construida y en operación. Se realizaran una evaluación inicial de riesgos, mediante la cual se detectaran y valoraran los posibles riesgos, y se propondrán medidas correctas encaminadas a su eliminación o reducción al mínimo. La formación continua de los operarios es fundamental. Durante la fase de construcción de la planta se redactara el plan de Seguridad y Salud de la obra para identificar los peligros de la construcción, adaptando medidas de prevención y protección oportunas

12. MANTENIMIENTO EN PLANTA

12.1 INTRODUCCION

El mantenimiento es uno de los factores más importantes para el correcto funcionamiento y desarrollo de las plantas industriales. Si se realiza convenientemente, la planta podrá explotarse al máximo rendimiento con el mínimo de tiempo perdido en paradas no programadas. Se puede definir como el conjunto de técnicas y sistemas que actuando sobre los medios de producción permiten:

- Reparar averías que se presenten
- Prever estas averías mediante revisiones y otras técnicas más complejas como técnicas estadísticas, y seguimiento y diagnóstico de máquinas.
- Especificar las normas de manipulación y buen funcionamiento de las operaciones de las máquinas.
- Perfeccionar el diseño sucesivo de los medios

Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados, así tenemos:

- **Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores.

- **Mantenimiento funcional**

Consiste en la búsqueda de fallos no evidentes, que normalmente afectan a los sistemas de producción y consiste en verificar periódicamente que estos funcionan.

- **Mantenimiento Preventivo**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema.

Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos.

- **Mantenimiento Predictivo**

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado.

Según distintos estudios se puede afirmar que las razones principales por las que una planta no funciona correctamente son la falta de presupuesto para el mantenimiento y el estado de conservación de los equipos.

La planta se gestionara diariamente bajo la responsabilidad del jefe de mantenimiento que será el encargado de tomar las decisiones relativas al control de la producción y del proceso de mantenimiento.

El personal de producción y de mantenimiento empezara a formarse durante la puesta en servicio, y su formación continuara durante el periodo inicial de operación, durante el cual es fundamental el apoyo técnico prestado por personal especializado.

12.2 MANTENIMIENTO GENERAL

Recoge todas aquellas actividades que conducen a preservar y aumentar la vida útil de los equipos de la instalación, y a realizar las reparaciones necesarias.

Las actividades rutinarias de mantenimiento consistirían en prestar atención a la lubricación, engrase, reposición de niveles, comprobación de presiones de operación, niveles de corriente eléctrica, comprobación del funcionamiento de válvulas y compuertas, inspección de ruidos y vibraciones anómalas, etc.

En general, se comprobaran el buen funcionamiento de todos los elementos que constituyen la instalación.

Las actividades planificadas de servicio y reparación se llevaran a cabo según un programa establecido con antelación, que solo será interrumpido por necesidades de reparación de averías, cuya solución se determinara prioritaria.

Por último cada año se debe proceder a la parada de la planta para realizar una revisión a fondo de todos los equipos, para la reposición de niveles de aceites, de resinas, etc., para las sustituciones, remplazos o modificaciones oportunas.

12.3 MANTENIMIENTO ESPECÍFICO

Dependerá del equipo instalación que consideremos, y será:

12.3.1 Depósitos

Las actividades generales a realizar en el mantenimiento específico de los depósitos son las siguientes:

- Inspección radiográfica de las soldaduras en los depósitos de acero
- Retirada de los productos precipitados en el interior
- Revisión de las conexiones con tuberías
- Comprobación de la estanqueidad del recipiente
- Revisión del aspecto superficial

Tendrán una atención especial los controladores de nivel. Comprobaremos su nivel periódicamente y limpiaremos todos sus accesorios, cables, etc.

12.3.2 Sistemas de filtración

Para los sistemas de filtración, el mantenimiento rutinario consiste en pequeñas reparaciones y operaciones de mantenimiento preventivo que se realizaran en las aproximadamente en el tiempo de reposo de cada filtro después de cada ciclo de operación.

12.3.3 Columnas de intercambio iónico

Para las columnas de intercambio, el mantenimiento rutinario consiste en pequeñas reparaciones y operaciones de mantenimiento preventivo que se realizaran en las aproximadamente en el tiempo de reposo de cada columna después de cada ciclo de operación.

Cada año de operación, el desgaste mecánico de las partículas de resina debido al rozamiento entre estas produce la pérdida de aproximadamente un 10% del volumen total de esta, por lo que anualmente se debe proceder a la reposición de un 10% de la resina de cada columna.

12.3.4 Bombas y compresores

La planta tendrá dos bombas y dos compresores en paralelo para la alimentación debido al funcionamiento continuo de todos estos para hacer posible su mantenimiento continuo. Las bombas y los compresores funcionaran alternativamente para realizar el mantenimiento preventivo de estos.

El resto de las bombas funcionan discretamente con una holgura de tiempo que dependerá de la etapa del ciclo en la que nos encontremos, no obstante suficiente para realizar el mantenimiento preventivo. Las averías posibles que pueden tener una bomba o compresor son fallos eléctricos, mecánicos o hidráulicos.

El mantenimiento rutinario de estos equipos comprende las siguientes acciones:

- Comprobación de que los elementos de giro se desplazan libremente sin ruidos anormales.
- Comprobación del eje de impulsión.
- Comprobación del estado de los cojinetes de acoplamiento y reemplazamiento en caso de desgastes de los mismo y engrase.
- Ajuste y empaquetado de los prensaestopas en caso de detectar fugas.
- Comprobación del panel del mando eléctrico.
- Anotación de los problemas y de las observaciones realizadas: horas de funcionamiento, medidas de la intensidad eléctrica, medidas de los indicadores de presión, etc.
- Comprobación del ajuste de la bomba y el motor, así como de la estanqueidad.
- Engrasado de los rodamientos.
- Comprobación de los niveles de aceite.

Esta última es fundamental para el buen funcionamiento del motor de la bomba. Consiste en comprobar como mínimo una vez al año o después de 1000 horas de trabajo de aceite, procediendo al cambio del mismo si fuese necesario. Es aconsejable que la cámara de aceite no esté nunca llena, dejando aproximadamente un 15% vacío de esta para facilitar la expansión del humo producido.

Si la verificación del aceite muestra que existe una sobredisposición, aun cuando la bomba no hubiera enfriado, puede estar debido a las siguientes causas:

1. Adicción de demasiados aceite
2. Infiltración del líquido bombeo en la cámara del aceite a través de la junta mecánica, tornillo de inspección, cable electrónico, etc.

13. IMPACTO AMBIENTAL

Uno de los puntos a tener muy en cuenta es el impacto ambiental que suponen los vertidos de la planta de tratamiento superficial en el entorno.

En un principio cuando se llevaban a cabo los procesos de tratamientos superficiales, el agua que se utilizaba para el lavado de las piezas, cuando no podía ser nuevamente reutilizado se desechaba a la red de alcantarillado, suponiendo esto un peligro para la salud del medio ambiente.

Con la implantación de esta estación de procesado de agua y de regeneración de la misma, obtenemos dos beneficios, uno económico al reutilizar el agua tantas veces como necesitemos y el otro el beneficiar el impacto ambiental al tratar la mayoría de los productos nocivos para el medio ambiente.

El diseño de la planta se ha efectuado teniendo en cuenta todo lo descrito anterior sin superar las exigencias establecidas por la legislación de medioambiente vigente actualmente, para ello se han seguido las siguientes consideraciones.

- Elección de tecnologías limpias: el uso de filtros naturales como son las arenas y los carbones activos y no materiales sintéticos.
- Minimización del consumo energético y recursos: se ha elegido la opción de intercambiador iónico frente a otras técnicas ya que supone un ahorro importante en el consumo energético, esto también repercute en el ámbito económico reduciendo mucho el gasto de producción.
- Minimización de la gestión de residuos: elección de la tecnología UPCORE, que supone un consumo de regenerante y por lo tanto el volumen de vertidos.
- Depuración de los efluentes generados: los efluentes obtenidos de las limpiezas de las resinas de los intercambiadores iónicos, serán enviados a una planta específica de tratamiento.
- Optimización de la eficiencia de los sistemas.

14. BIBLIOGRAFÍA

14.1 Libros de texto

- Perry, Manual del Ingeniero Químico, 7 Ed., Ed. Mc Graw-Hill. A. Vian y J. Ochoa, Elementos de Ingeniería Química
- O. Levenspiel, Flujo de fluidos e Intercambio de calor, Ed.Revert, S.A.
- Manual del ingeniero químico / preparado por un equipo de especialistas bajo la dirección editorial de Robert H. Perry, Don W. Green, James O. Maloney Volumen III.
- Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos / Nelson Leonard Nemerow; Avijit Dasgupta.
- Tratamiento de aguas residuales / R.S. Ramalho.
- Control e instrumentación de procesos químicos / Pedro Ollero de Castro, Eduardo Fernández Camacho.
- Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo; Limusa Grupo Noriega editores.

14.2 Páginas web

- http://www.fecyt.es/especiales/intercambio_ionico/aplicaciones.htm
- http://www.slawinski.de/fileadmin/user_upload/downloads/Slawinski-Datasheet-DE.pdf
- <http://www.asiain-asesores.com/rev5/pag52.htm>
- <http://www.dow.com>
- <http://es.scribd.com/pmix/d/4044196-operaciones-unitarias>
- <http://www.ion-exchange.com>
- <http://www.lenntech.com>
- <http://www.aquasalud.com>
- <http://www.um.es/gtiweb/adrico/medioambiente/carbon%20activo.htm>

- <http://www.desmineralizadores.com/valvulas.html>
- <http://www.desmineralizadores.com/proceso.html>
- <http://www.aguaionizada.com/secciones/faq.html>
- <http://www.norit.com>

ÍNDICE DE LOS ANEXOS DE LA MEMORIA

ANEXO I: Intercambiador iónico	125
ANEXO II: Sistemas de filtración	175
ANEXO III. Depósitos de regenerantes	208
ANEXO IV: Depósitos de dilucion de los regenerantes	211
ANEXO V: Depósito de agua desmineralizada	237
ANEXO VI: Tuberías	251
ANEXO VII: Bombas	256
ANEXO VIII: Proteccion contra incendios	261
ANEXO IX: Informe ambiental	264
ANEXO X: Fichas tecnicas	269
ANEXO XI: Fichas de seguridad	392

ANEXO I: INTERCAMBIADOR IÓNICO

El intercambio iónico es una operación de separación mediante la cual las partículas sólidas que contienen cationes o aniones intercambiables se ponen en contacto con una solución electrolítica para cambiar la composición de la solución.

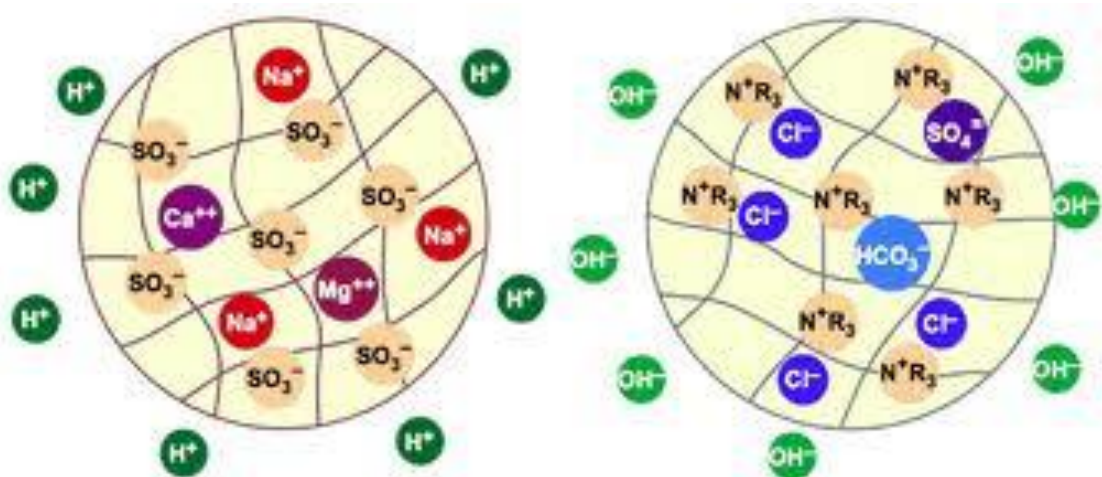
Las resinas de intercambio iónico son matrices poliméricas entrecruzadas con una distribución uniforme de iones sitios activos a través de su estructura. Tienen geometría esférica, un distribución de tamaño de entre 0.3-1.2 mm, un peso específico comprendido entre 1,1- 1,5, y una densidad aparente alrededor de 560-960 g/L.

Entre las aplicaciones de esta operación se encuentran:

- Ablandamiento del agua por intercambio de iones de calcio por sodio
- Desmineralización del agua por eliminación de cationes y aniones.
- Recuperación de metales a partir de soluciones diluidas.
- Separación de productos a partir de biorreactores

Las resinas intercambiadoras se pueden clasificar:

- Según la estructura de la matriz:
 - Gel: microporosas, mayor regeneración
 - Macroporosa: porosidad artificial, mayor estabilidad, mayor capacidad



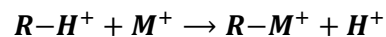
La porosidad determina el tamaño de las moléculas o iones que pueden penetrar en la estructura, la velocidad de difusión y la velocidad de intercambio.

La capacidad hace referencia a la disponibilidad de la resina para almacenar iones en su esqueleto. Esta capacidad es limitada: cuando se alcanza el equilibrio entre la resina y la disolución que pasa a través suya, esta no modifica su composición.

- Según el grupo funcional intercambiador de iones fijado en la matriz polimérica:

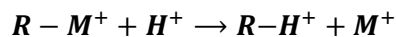
INTERCAMBIADORES CATIONICOS

Las resinas de intercambio catiónico ($R-H^+$) separan los cationes (M^+) de una solución, intercambiándolos por protones.



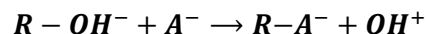
Los iones cargados positivamente van quedando retenidos sobre la resina, produciéndose un efluente que contiene principalmente especies en forma acida, hasta que la resina se agota.

Como explicamos con anterioridad la resina debe regenerarse para volver a ser operativa. La regeneración se efectúa con ácido diluido (HCl o H_2SO_4), el cual cede protones a la resina y desplaza los cationes retenidos.

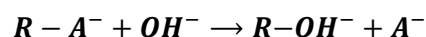


INTERCAMBIADORES ANIONICOS

Las resinas intercambiadoras aniónicas separan los aniones de una solución intercambiándolos por iones hidroxilo a través de un proceso análogo al de la resina catiónica, con el que el pH de salida se hace más básico.



Este proceso continua hasta el agotamiento de la resina momento en el cual debe regenerarse, esto se consigue haciendo pasar a través del lecho una solución de sosa, la cual cede sus grupos hidroxilo a la resina y arrastra los aniones retenidos en forma de sales sódicas.



Cuando vamos a seleccionar una resina de intercambio iónico hay que tener en cuenta una serie de factores como son:

- La capacidad de la resina.
- La expansión de la resina, debido a la hidratación de los grupos iónicos fijados en la matriz polimérica.
- La selectividad
- La cinética o velocidad a la que se produce el intercambio. Esta velocidad depende de la velocidad de difusión de los iones, de la difusión interna de iones a través de la partícula sólida, de la velocidad de intercambio y de las velocidades de difusión de los iones liberados a través del interior de la partícula de resina y de la película líquida.
- La estabilidad de la resina, que es función de su estructura, de los grupos funcionales, de la temperatura, pH, agentes oxidantes, etc.

En toda operación de separación hay que tener en cuenta unos determinados aspectos para realizar su diseño:

- El parámetro crítico es la velocidad de flujo a través de las resinas, expresado como caudal por unidad de área ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$)
- En función del caudal de agua se obtienen un valor máximo para el diámetro de la columna intercambiadora.
- Establecida la sección de la columna se determina la altura del lecho.
- Las características de las resinas también influyen en el diseño de la columna:
- El tipo y volumen de resina en la columna determina la capacidad de intercambio, y por lo tanto, el tiempo de operación hasta la colmatación del lecho intercambiador.
- Tiempos muy grandes de colmatación implican mayores volúmenes de resina, por lo tanto, mayores dimensiones de la columna.
- Grandes dimensiones implican velocidades de flujo pequeña

Actualmente, una de las tecnologías más utilizadas en algunos campos, como el de la desmineralización, debido a sus numerosas ventajas, tanto de operación como de regeneración, es la denominada Tecnología Upcore, basada en columnas, que operan en contracorriente.

Características del agua de entrada

Las condiciones físico químicas del agua de entrada a la planta de intercambio iónico, una vez pasado por los filtros de arena y carbón activos, son las siguientes:

Propiedad	Valor
Temperatura	7,9
pH	25°C
Dureza total	650 (µS/cm)
Alcalinidad	260 mg (CaCO ³ /L)
Conductividad	140 mg (CaCO ³ /L)
Color	0
Turbidez	0

Las características del agua de entrada al proceso de intercambio iónico dependerán de la efectividad del proceso de tratamiento superficiales y a otras características, como pueden ser las estaciones del año.

Características del agua de salida

Cuando se ha realizado el proceso de intercambio iónico, el agua de salida de la planta de intercambio iónico debe tener unas características especificadas, para poder ser reutilizada en el proceso de lavado de tratamiento superficial de planchas de acero y así impedir posibles impurezas en el material.

Las propiedades del agua de salida de la planta de intercambio iónico que exige la planta de tratamiento superficial son:

- **pH** = 7 ± 0.5
- **Alcalinidad** < 0.1 ppm
- **Dureza total** = 0
- **Total Cationes** < 0,1 ppm
- **Total aniones** < 0,1 ppm
- **Conductividad** = 0.5 mµ/cm

Para saber cuándo hay que regenerar las columnas de intercambio iónico, se colocará un conductímetro a la salida de la corriente de agua para medir su conductividad.

Según los datos anteriores la conductividad de salida es menor de 0.5 mµ/cm, pero el agua desionizada de procesos se puede utilizar hasta un límite que no puede llegar hasta 20 mµ/cm, que es el punto de ruptura.

Las concentraciones de los diversos iones que se encuentran en el agua de entrada son las siguientes:

Cationes	eq/L	Aniones	eq/L
Calcio (Ca^{2+})	0,004	Cromatos ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)	1,374
Níquel (Ni^{2+})	6,9443	Fluoruros (F^-)	0,008
Sodio (Na^+)	1,374	Sulfatos (SO_4^{2-})	3,8784
Cromo (Cr^{6+})	1,1538	Boratos (BO_3^{3-})	6,468
Total Cationes	9,4761	Total aniones	11,7284

Características de las resinas

Seleccionaremos los tipos de resinas de intercambio iónico que se va a utilizar en función de las necesidades y características de nuestro proceso.

Utilizaremos para el proceso de intercambio iónico resinas catiónicas fuertemente ácidas y resinas aniónicas fuertemente básicas, que serán distribuidas por la empresa Rohm and Haas, escogemos esta empresa ya que nos oferta una gran variedad de resinas intercambiadoras para procesos químicos, como se muestra en la tabla siguiente.

En dicha tabla, para la selección de las resinas necesarias para la planta se mira en la sección de purificación de soluciones acuosas y orgánicas.

En función de las necesidades y características de las resinas escogeremos:

- **AMBERLYST 121WET**; como resina catiónica con un ácido fuerte como grupo funcional. Es usado en los procesos generales de desmineralización.
- **AMBERLYST A26 OH**; como resina aniónica con una base fuerte como grupo funcional. Se usa normalmente en la desmineralización de soluciones acuosas o no acuosas.



Ion Exchange Resins for Chemical Processing



Applications & Product name	Functionality	Matrix	Ionic Form	Min. Volume Capacity [eq/L]	Moisture Content [%]	Particle Size [mm]	Shipping Weight [kg]	Recommended Max. Op. Temperature [°C]	Recommended Max. Op. Temperature [°F]	Remarks ^[1]	
Brine Softening											
AMBERLITE IRC747	Aminomethyl-phosphonic	MR Styrene ^[1]	Na	1.80	60-65	0.35-1.00	755	80	175	Hardness removal from NaCl solutions in membrane chloride-alkali plants. Highest selectivity for Ca and Mg.	
AMBERLITE IRC748	Imino-diacetic	MR Styrene	Na	1.35	60-65	0.30-1.00	750	90	195	Hardness removal from NaCl solutions in membrane chloride-alkali plants. Highest selectivity for Sr and Ba.	
AMBERLITE GH73	Thiol	MR Styrene	H	1.20	50-56	0.42-0.85	785	60	140	Removal of Hg from NaCl and NaOH. Regenerable with concentrated HCl.	
Boron Removal											
AMBERLITE IRA745	N-Methyl-glucamine	MR Styrene	FB ^[4]	0.60	50-56	0.30-1.18	700	75	165 ^[5]	Boron removal from concentrated MgCl ₂ solutions, agricultural water supplies and waste waters.	
Mercury Removal											
AMBERLITE GH73	Thiol	MR Styrene	H	1.20	50-56	0.42-0.85	785	60	140	Removal of Hg, Ag, Cu, Cd and other heavy metals from aqueous and non aqueous streams such as hydrocarbons. Regenerable with concentrated HCl.	
Purification of Aqueous and Organic solutions											
AMBERLIST 121Wc	Strong acid ^[6]	Gel Styrene	H	1.80	49-55	0.63 ± 0.06	800	130	265	Uniform particle size. General demineralisation processes.	
AMBERLIST 13Wc	Strong acid	MR Styrene	H	1.70	52-57	0.30-1.18	770	120	250	Plating bath regeneration.	
AMBERLIST 40Wc	Strong acid	MR Styrene	H	2.20	44-53	0.42-1.18	850	140	285	High capacity resin for plating bath regeneration and rinse waters recycling.	
AMBERLIST A21	Weak base ^[7]	MR Styrene	FB	1.25	54-60	0.30-1.18	660	100	210 ^[8]	Purification of organic compounds (phenol, glycerine, etc.). Rinse water recycling (demineralisation).	
AMBERLIST A23	Weak base	MR Phenolic ^[8]	FB	1.80	60-65	0.30-1.18	650	50	120 ^[9]	Phenol desacidification.	
AMBERLIST A24	Weak base	Gel Acrylic	FB	1.60	56-64	0.30-1.18	700	43.7	50	120 ^[9]	Removal of Fe ³⁺ and Zn ²⁺ from HCl. Ag recovery from photographic effluents.
AMBERLIST A25 OH	Strong base ^[9]	MR Styrene	OH	0.80	66-75	0.30-1.18	675	42.1	60	140 ^[10]	Good adsorption and desorption of organics.
AMBERJET 4000 Cl	Strong base ^[9]	Gel Styrene	Cl	1.30	49-55	0.70 ± 0.10	670	41.8	80	175 ^[11]	Demineralisation of aqueous and non aqueous solutions.
AMBERLITE IRA410 Cl	Strong base ^[11]	Gel Styrene	Cl	1.25	45-51	0.30-1.25	680	42.4	35	95 ^[10]	Uniform particle size. Removal of Fe ³⁺ and Zn ²⁺ from HCl.
AMBERLITE IRC76	Weak acid	MR Acrylic	H	3.90	52-58	0.30-1.18	700	43.7	100	210	Ag recovery from photographic effluents.
AMBERLITE IRC748	Imino-diacetic	MR Styrene	Na	1.35	60-65	0.30-1.00	750	45.8	90	195	Meal water recycling (demineralisation).
AMBERLITE XAD4	Absorbent	MR Styrene	-	-	54-60	0.30-1.20	680	42.4	150	300	Removal of aromatic hydrocarbons such as phenols and pesticides from wastes. Hydrogen peroxide purification.
Hydrometallurgy											
AMBERJET 400 Cl	Strong base ^[9]	Gel Styrene	Cl	1.40	40-48	0.55 ± 0.05	730	45.5	60	140 ^[9]	Uniform particle size. Uranium recovery in fixed bed or continuous systems.
AMBERLITE IRA400 Cl	Strong base ^[9]	Gel Styrene	Cl	1.40	44-48	0.30-1.18	720	44.9	80	175 ^[9]	Gold recovery from cyanide leach liquors. Precious metals recovery.
AMBERLITE IRA000 Cl	Strong base ^[11]	MR Styrene	Cl	1.00	58-64	0.30-1.18	700	43.7	80	175 ^[9]	Gold recovery from cyanide leach liquors. Precious metals recovery.
AMBERLITE IRA100 Cl	Strong base ^[11]	MR Styrene	Cl	1.00	54-61	0.60-1.18	700	43.7	60	140 ^[9]	Uranium recovery.
AMBERLITE IRA058 Cl	Strong base ^[9]	MR Acrylic	Cl	0.80	66-72	0.35-1.18	720	44.9	80	175 ^[9]	Removal and recycling of cyanides from barren leach liquors in gold hydrometallurgy.

Notes : [1] The total capacity has only limited relevance for the operating capacity.
 [2] All resins are suitable for aqueous and non aqueous solutions; they have been subjected or adapted to a high operating capacity, low leakage, low and optimum regeneration solution.
 [3] Macroporous styrene-DVB polymer.
 [4] Free base form.
 [5] Chloride form.
 [6] Type 1, quaternary ammonium.
 [7] Type 1, quaternary ammonium.
 [8] Chloride form.
 [9] Type 1, quaternary ammonium.
 [10] Chloride form.
 [11] Type 1, quaternary ammonium.

- **Resina Catiónica:**

La resina AMBERLYST 121WET, es una resina catiónica fuertemente ácida, cuyo grupo funcional es el ácido sulfónico. Su matriz es de tipo gel basada en un polímero de estireno entrecruzado con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno). Su tamaño uniforme de partícula permite que la caída de presión sea pequeña y que la productividad sea significativamente más alta que la de otras resinas catiónicas ácidas fuerte.

Typical Properties	
<i>These properties are typical but do not constitute specifications.</i>	
Physical form	Light brown, spherical beads
Ionic form as shipped	Hydrogen
Concentration of acid sites	≥ 4.8 eq/kg ^[1] ≥ 0.73 eq/L
Moisture holding capacity ^[1]	74 to 84% (H ⁺ form)
Shipping weight	730 g/L (45.5 lbs/ft ³)
Particle size	
Harmonic mean size	0.720 - 0.820 mm
Uniformity coefficient	≤ 1.2
Fines content ^[1]	< 0.300 mm: 0.1% max
Coarse beads	> 1.180 mm: 5.0% max
Shrinkage	Water to phenol: 68%
^[1] <i>Contractual value</i> <i>Test methods are available on request.</i>	
Suggested Operating Conditions	
Maximum operating temperature	130°C (265 °F)
Minimum bed depth	60 cm (24 inches)
Operating flow rate	1 to 8 BV ^{**} /h (LHSV)
Pressure drop limitation	1 bar (15 psig) across the bed
* <i>U.S. Patent 5,233,096 (1993).</i>	
** <i>1 BV = 1 m³ solution per m³ of resin</i>	

- **Resina aniónica**

Usamos la AMBERLYST A26 OH (resina aniónica básica fuerte, tipo1), su matriz es de tipo macroreticular basada también en un polímero de estireno entrecruzado con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno). Su grupo funcional en este caso es un amonio cuaternario. Su estructura porosa hace que sea una buena elección para utilizarla en medios acuosos o no acuosos. Su estructura macroreticular y la distribución de tamaños de poros, le concede una resistencia superior al choque mecánico y osmótico.

Typical Properties

These properties are typical but do not constitute specifications.

Physical form	Tan opaque spherical beads
Ionic form as shipped	Hydroxide (OH)
Concentration of active sites ^[1]	≥ 0.80 eq/L
Moisture holding capacity ^[1]	66 to 75% (OH form)
Shipping weight	675 g/L (42.1 lbs/ft ³)
Particle size	
Uniformity coefficient	≤ 1.45
Harmonic mean size	0.560 to 0.700 mm
Nitrogen BET	
Surface area	30 m ² /g
Average pore diameter	290 Å
Total pore volume	0.20 ml/g
Shrinkage	Water to acetone: 34%

^[1] Contractual value

Test methods are available on request.

Suggested Operating Conditions

Maximum operating temperature	60°C (140°F)
Minimum bed depth	1000 mm (39 inches)
Operating flow rate	1 to 5 BV*/h (LHSV)
Pressure drop limitation	1 bar (15 psig) across the bed

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m³ resin

DISEÑO DE LA COLUMNA CATIONICA

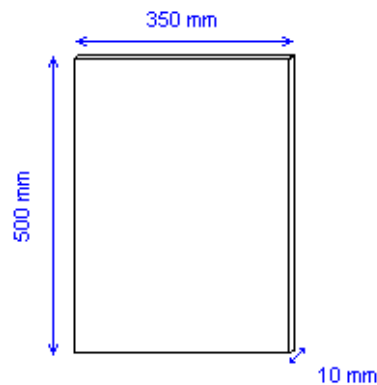
Para comenzar el diseño de la columna catiónica es preciso calcular el volumen de resina AMBERLYST 121 WET y posteriormente dimensionarla y establecer los diversos caudales que por ella circulan.

La composición catiónica del agua que proviene de los sistemas de filtración y se introduce en la columna es la siguiente:

Cationes	eq/L
Calcio (Ca^{2+})	0,004
Níquel (Ni^{2+})	6,9443
Sodio (Na^+)	1,374
Cromo (Cr^{6+})	1,1538

Estos valores corresponden a los equivalentes/Litros de los baños de cromado y niquelado, por lo que es preciso calcular qué porcentaje o qué cantidad es arrastrada en el proceso y será depositada en el baño de enjuague o lavado.

Para ello calcularemos el volumen de líquido que se queda adherido a la plancha.



Con un espesor máximo supuesto de $e = 0.01\text{mm}$, el volumen arrastrado por plancha será:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Arrastrado}} &= (2 \times (500\text{mm} \times 350\text{mm} \times 0.1\text{mm})) \\
 &+ (2 \times (500\text{mm} \times 10\text{mm} \times 0.1\text{mm})) \\
 &+ (2 \times (350\text{mm} \times 10\text{mm} \times 0.1\text{mm})) = 36700 \text{ mm}^3 \Rightarrow 0.0367 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Este valor corresponde al volumen arrastrado por una plancha desde el baño de tratamiento hasta el posterior baño de lavado, por lo tanto para las 75 planchas por hora que la planta trata, el volumen arrastrado tendrá un valor de :

$$V_{\text{Arrastrado}} = 0.0367 \times 75 = \mathbf{2,7525L}$$

Y por cada baño, cromado y niquelado:

$$V_{\text{Arrastrado}} = 2 \times 2,7525 = \mathbf{5,505 L}$$

Sabiendo el volumen arrastrado podremos calcular la cantidad de equivalentes por litro que se han arrastrado:

$$\text{Porcentaje}_{\text{Arrastrado}} = \frac{V_{\text{Arrastrado}}}{V_{2\text{Baños}}} = \frac{5,505 L}{15600 L} \times 100 = \mathbf{0,03528\%}$$

Con este valor podemos calcular el número de equivalentes arrastrados que serán tratados en la posterior planta de intercambio iónico:

$$\text{Equivalentes}_{\text{Arrastrado}} = \left(9,4761 \frac{eq}{L} \times 15600L\right) \times 3.528 \times 10^{-4} = \mathbf{52,166 eq}$$

El periodo estimado en el proceso de inmersión y lavado se estima de una hora, y durante un día de trabajo estipulamos 16 horas laborables, en consiguiente, se realizaran 16 inmersiones por día, por lo que el número de equivalentes por día serán:

$$\text{Equivalentes}_{\text{día}} = 52,166 eq \times 16h = \mathbf{834,65 \frac{eq}{día}}$$

Los ciclos de operación de cada columna dependen de varios factores como son:

- Caudal a tratar
- Carga iónica aportada
- Especificaciones técnicas particulares de cada resina: velocidades de flujo recomendadas, etc.
- Relación de esbeltez

En base a la experiencia de otras plantas similares, se toma como tiempo de duración de cada ciclo de operación 80 horas o 5 días de operación (t_c), un ciclo de mayor duración precisara mayor cantidad de resina y por lo tanto una columna de un diámetro mayor, suponiendo esto una disminución de la velocidad lineal del liquido que se encontraría por debajo de los valores recomendados por el fabricante de la resina y todo esto supondría un aumento en el coste de inmovilizado.

Por lo que el número de equivalentes por ciclo será:

$$Equivalentes_{ciclo} = 834,65 \frac{eq}{día} \times 5días = 4173,25 \frac{eq}{ciclo}$$

La capacidad operativa (Cop) depende del regenerante usado, en el caso actual hablamos de H₂SO₄ al 10% en peso; del sistema de regeneración, en contracorriente en nuestra planta; y por último de la cantidad de regenerante por litro de resina utilizado, que según los datos del fabricante, para el ácido sulfúrico como regenerante está entre 40-200 g/l.

La capacidad operativa la da el fabricante y su valor es el siguiente:

$$C_{op} = 1,8 \frac{eq}{L}$$

Con los datos de los equivalentes por ciclo y de la capacidad operativa (C_{op}), se puede obtener el volumen necesario de resina (V_R).

$$V_R = \frac{eq}{C_{op}} = \frac{4173,25 eq}{1,8 \left(\frac{eq}{L}\right)} = 2318,472 L$$

Para asegurarnos del dato tomado, se coge un coeficiente de seguridad del 10%. Para obtener el volumen exacto de resina catiónica, se debe saber que la resina la distribuye el fabricante en sacos de 25 litros, por lo que se redondea el valor necesario del volumen.

$$V_R = 2318,472 + (2318,472 \times 10\%) = 2550,32 L \xrightarrow{\text{Sacos 25 litros}} 2575 L$$

$$V_R = 2575 L = 2,575 m^3$$

Dimensionamiento de la columna

A continuación se realizara los cálculos necesarios para poder tener dimensionada la columna de intercambio catiónico.

- Diámetro de la columna (D_c): este dato se tomara de la experiencia, en donde el diámetro es de 1,8 m (1800 mm).

- Área de paso de la columna (A):

$$A = \pi \times \frac{D_C^2}{4} = \pi \times \frac{1,8^2}{4} = \mathbf{2,54 \text{ m}^2}$$

- Velocidad de flujo (v):

$$Q = v \times A \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{16(\text{m}^3/\text{h})}{2,54(\text{m}^2)} = 6,3 \text{ m/h} = \mathbf{1,75 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

- Altura del lecho (h_L): tiene que estar dentro de las recomendaciones del fabricante:

$$h_L = \frac{V_R}{A} = \frac{2,575 \text{ m}^3}{2,54 \text{ m}^2} = \mathbf{1,073 \text{ m}} > 0,6 \text{ m}$$

- Expansión máxima (E_{max}): por indicaciones del fabricante, esta expansión es del 10%.

$$E_{max} = h_L \times 10\% = 1,073 \text{ m} \times 10\% = \mathbf{0,1073 \text{ m}}$$

- Altura del lecho expandido (h_{le}):

$$h_{le} = h_L + E_{max} = 1,073 \text{ m} + 0,1073 = \mathbf{1,18 \text{ m}}$$

- Volumen de resina inerte (V_i): por recomendaciones del fabricante y por datos de la experiencia, este será de $0,6 \text{ m}^3$ (600 L).

- Altura de la resina inerte (h_i):

$$h_i = \frac{V_i}{A} = \frac{0,6 \text{ m}^3}{2,54 \text{ m}^2} = \mathbf{0,236 \text{ m}}$$

- Altura de la zona libre (freeboard)(h_{FB}): en este caso se toma el valor de la bibliografía, en el cual se nos recomienda un h_{FB} de 23 mm (0.023 m).

- Altura cilíndrica de la columna (h_C): es el sumatorio de las anteriores alturas.

$$h_C = h_{le} + h_i + h_{FB} = 1,18 \text{ m} + 0,236 \text{ m} + 0,023 \text{ m} = \mathbf{1,44 \text{ m}}$$

- Volumen del lecho (bed volumen) (BV): el volumen que ocupa los dos tipos de resinas dentro de la columna, la catiónica y la inerte.

$$BV = (h_{le} + h_i) \times A = (1,44 \text{ m} + 0,236 \text{ m}) \times 2,54 \text{ m} = 4,257 \text{ m}^3$$

- Relación altura/ diámetro (esbeltez) (H/D): es el cociente de la altura cilíndrica y el diámetro, que según recomendaciones del fabricante, debe estar comprendido su valor entre 2/3 y 3/2.

$$\frac{H}{D} = \frac{h_c}{D_c} = \frac{1,44 \text{ m}}{1,8 \text{ m}} = 0,8$$

$$\frac{2}{3} < 0,8 < \frac{3}{2}$$

Recapitulando todos los datos dimensionales de la columna de intercambio catiónico.

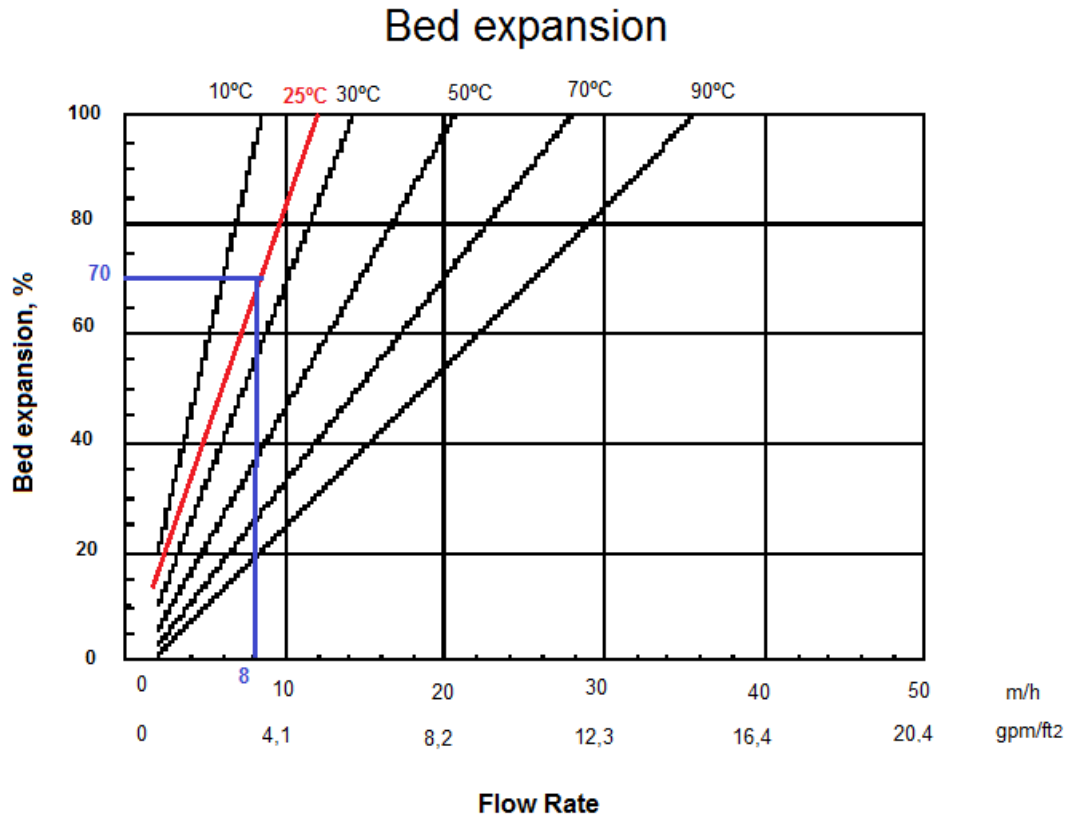
Diámetro de la columna (D_c)	1,8 m
Área de paso de la columna (A)	2,54 m ²
Altura del lecho (h_l)	1,073 m
Altura del lecho expandido (h_{le})	1,18 m
Altura del lecho inerte (h_i)	0,236 m
Altura del freeboard (h_{FB})	0,023 m
Altura cilíndrica (h_c)	1,44 m
Volumen de resina inerte (V_i)	0,6 m ³
Velocidad lineal del líquido (v)	0,00175 m/s
Volumen del lecho (BV)	4,257 m ³
Relación Altura/ Diámetro (H/D)	0,8

Diseño del proceso de regeneración

- Compactación de lecho

El fabricante recomienda una velocidad de compactación (V_{comp}) tres veces a la de retrolavado convencional, la cual corresponde a un 60-80% de la expansión en un retrolavado convencional. Se usará el valor medio para la expansión (70%).

Con la grafica que nos facilita el fabricante de nuestra resina AMBERLYST 121WET obtenemos el valor de la velocidad de retrolavado en función de la expansión del lecho y de la temperatura.



$$v_{retrolavado} = 8 \frac{m}{h}$$

$$v_{comp} = 3 \times v_{retrolavado} = 3 \times 8 \frac{m}{h} = 24 \frac{m}{h}$$

El tiempo de compactación (t_{comp}) se obtiene de la experiencia:

$$t_{comp} = 10 \text{ min} = 0.17 \text{ h} = 600s$$

Con los datos anteriores se calcula el caudal necesario para realizar la compactación (Q_{comp}) y el volumen de agua de red (V_{comp}) para poder realizar la compactación del lecho.

$$Q_{comp} = v_{comp} \times A = 24 \frac{m}{h} \times 2,54 \text{ m}^2 = 60,96 \frac{m^3}{h}$$

$$V_{comp} = Q_{comp} \times t_{comp} = 60,96 \frac{m^3}{h} \times 0,17 h = \mathbf{10,36 m^3}$$

- Cantidad de regenerante

Con el dato de la cantidad de regenerante necesario por volumen de resina y con el volumen, podemos obtener la cantidad necesaria de H_2SO_4 . Según los datos del fabricante se necesitan un valor comprendido entre 40-200 g H_2SO_4 /L de resina, por lo que se escogerá un valor de 165 g H_2SO_4 /L.

$$m_{H_2SO_4} = V_R \times \text{cantidad de regenerante} = 2575 L \times 165 \frac{gH_2SO_4}{L}$$

$$= \mathbf{424875 gH_2SO_4}$$

$$m_{H_2SO_4} = 424875 g H_2SO_4 = \mathbf{424,875 Kg H_2SO_4}$$

Para saber si con esta cantidad de ácido se consigue regenerar completamente la columna de resina, se debe comprobar si existe un excedente estequiométrico. Para ello se pasa el valor de masa a equivalente.

$$m_{H_2SO_4} = 424,875 KgH_2SO_4 = \mathbf{4335,46 \frac{eq H_2SO_4}{L}}$$

$$\text{Excedente}_{H_2SO_4} = \frac{eq H_2SO_4}{eq ciclo} \times 100 = \frac{4335,46 eq}{4173,25 eq} \times 100 = \mathbf{103,88\%}$$

- Dilución de ácido sulfúrico al 98%

La planta de intercambio iónico dispone de un depósito de ácido sulfúrico al 98%, pero según indicaciones del fabricante, a la hora de regenerar la resina, este ácido debe estar diluido entre 1-10%. Se toma el valor superior para los cálculos. Este ácido se diluirá en agua desmineralizada que proviene del depósito de almacenamiento de esta.

Los datos necesarios para realizar la disolución son los siguientes:

Densidad H_2SO_4 al 98%	1,831 g/ml
Densidad H_2SO_4 al 10%	1,067 g/ml
Mas molecular H_2SO_4	98 g/mol

Para hacer un litro de disolución al 10% se precisan 0,048 L de disolución al 98% y el resto, hasta completar el litro, de agua desmineralizada procedente del depósito de almacenamiento (DAD). Podemos obtener el volumen de regenerante diluido ($V_{H_2SO_4(10\%)}$) que se debe usar en cada regeneración, así como la cantidad de agua desmineralizada que hay que emplear:

$$V_{H_2SO_4(10\%)} = \frac{m_{H_2SO_4}}{\rho_{H_2SO_4}} = \frac{424,875 Kg H_2SO_4}{1,067 Kg/L} = \mathbf{398,06 L H_2SO_4}$$

$$V_{H_2SO_4(98\%)} = \mathbf{19,1 L H_2SO_4}$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2SO_4(10\%)} - V_{H_2SO_4(98\%)} = 398,06 L - 19,1 L$$

$$V_{H_2O} = \mathbf{378,95 L H_2O desmineralizada}$$

- Velocidad y tiempo de Regeneración

La velocidad de regeneración (v_{reg}) no es la misma que en servicio. El fabricante facilita el dato de caudal de regeneración (Q_{reg}), que debe estar comprendido entre 0.25 y 2.50 gpm/ft³. El rango de Q_{reg} en unidades del sistema internacional está comprendido entre 5.07 y 50.74 m³/h. Se va a escoger para la determinación de la velocidad y tiempo de regeneración un caudal de 10 m³/h.

$$Q_{reg} = 10 \frac{m^3}{h} = 0,167 \frac{m^3}{min}$$

$$v_{reg} = \frac{Q_{reg}}{A} = \frac{10 m^3/h}{2,54 m^2} = \mathbf{3,937 \frac{m}{h}}$$

$$t_{reg} = \frac{V_{H_2SO_4(10\%)}}{Q_{reg}} = \frac{0,398 m^3}{0,167 m^3/min} = \mathbf{2,38 min}$$

- Lavado del lecho

El fabricante da la referencia para el agua necesaria para realizar el lavado de la columna en función del volumen de resina existente.

$$V_{H_2O} = 2.54 \frac{m^3}{m^3 resina} \times V_R = \mathbf{6,54 m^3 H_2O desmineralizada}$$

Tanto la velocidad y el caudal de lavado, serán iguales que la velocidad y el caudal de regeneración, por lo tanto queda el tiempo de lavado, que será:

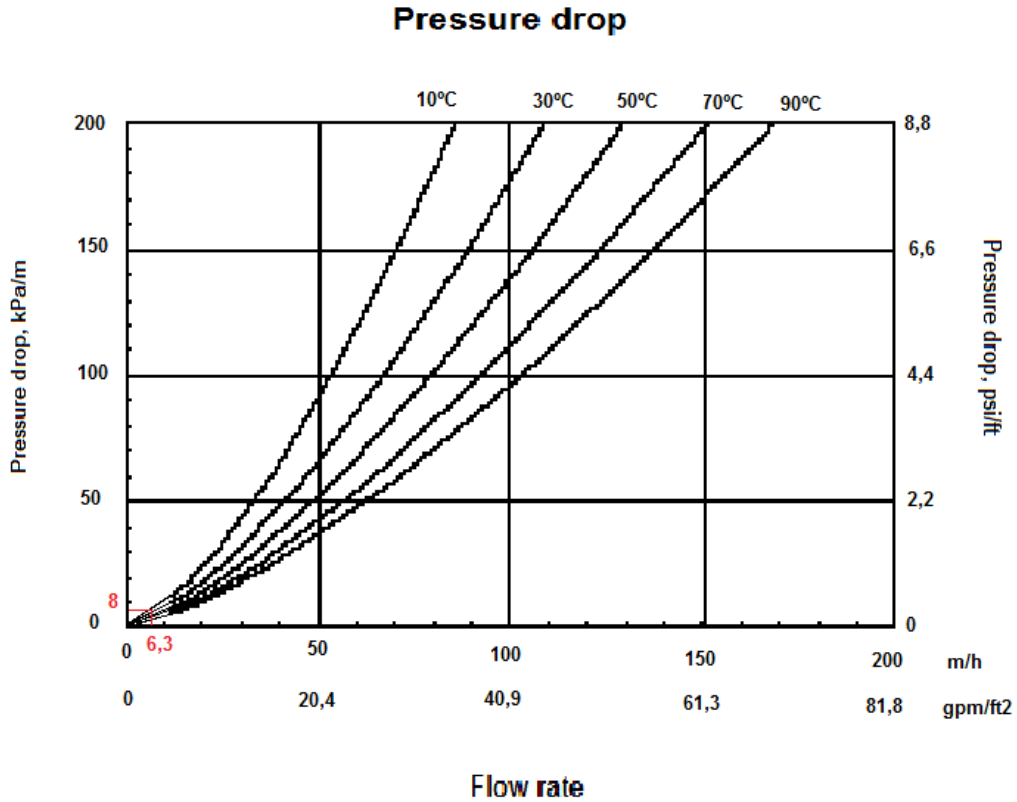
$$t_{lav} = \frac{V_{H_2O}}{Q_{lav}} = \frac{6,54 m^3}{0,167 m^3/min} = \mathbf{39,16 min}$$

- Pérdida de carga y peso de la columna

Usando la grafica del fabricante de la resina AMBERLYST 121WET, se obtiene la pérdida de presión en la columna de intercambio catiónico, cuando esta se encuentre en servicio, en función de la velocidad lineal de flujo y de la temperatura:

$$v = 6,3 \frac{m}{h}$$

$$T = 25^\circ C$$



$$\Delta P = 8 \frac{kPa}{m}$$

$$h_{le} + h_l = 1,416 m$$

$$\Delta P = 11.328 KPa$$

La densidad empaquetada de la resina catiónica AMBERLYST 121WET es de 730 g/L, mientras que la densidad de la resina inerte es de 620 g/L. por tanto el peso de las resinas será:

$$P_{resina\ catiónica} = V_R \times \rho_{resina\ catiónica} = 2575L \times 720 \frac{g}{L} = 1854 kg$$

$$P_{resina\ inerte} = V_i \times \rho_{resina\ inerte} = 600L \times 620 \frac{g}{L} = 372 kg$$

Por último tendremos que calcular el peso del volumen de agua contenida en la columna de intercambio catiónico, que será una suma del agua que está en el freedboard o espacio libre y el agua contenida en el empaque, para cuyo calculo, según bibliografía, el espacio en el lecho para la circulación de agua es de 33% del volumen del lecho.

$$P_{H_2O} = (V_{FB} + V_{lecho}) \times \rho_{H_2O} = \left[(h_{FB} \times A) + \left(\frac{1}{3} \times (h_{le} + h_i) \times A \right) \right] \times \rho_{H_2O}$$

$$P_{H_2O} = \left[(0,023 \text{ m} \times 2,54 \text{ m}^2) + \left(\frac{1}{3} \times (1,416 \text{ m}) \times 2,54 \text{ m}^2 \right) \right] \times 997,045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = 1,2573 \text{ m}^3 \times 997,045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = \mathbf{1253,6 \text{ Kg}}$$

Por lo tanto, el peso de la columna será la suma de todos los valores anteriores (peso de la resina catiónica, peso de la resina inerte y peso del agua):

$$P_{columna} = P_{resina\ catiónica} + P_{resina\ inerte} + P_{H_2O}$$

$$P_{columna} = 1854 \text{ Kg} + 372 \text{ Kg} + 1253,6 \text{ Kg}$$

$$P_{columna} = \mathbf{3479,6 \text{ Kg}}$$

DISEÑO MECANICO DE LA COLUMNA CATIONICA

Ahora se describe el diseño del recipiente metálico vertical con contiene la resina catiónica, y que constituye la columna de intercambio catiónico.

Las variables que hay que tener en cuenta en el diseño de la columna de intercambio catiónico son las que se muestran en la siguiente tabla:

Variable	Valor
Temperatura de diseño (T_D)	45°C
Presión de diseño (P_D)	4 Kg/cm ²
Diámetro interno de la columna (D_C)	1,8 m
Altura cilíndrica (h_C)	1,44 m
Longitud de la envolvente cilíndrica (L_C)	2,44 m

El acero que se va utilizar en la construcción de la columna es acero inoxidable 316. Las principales características de estos aceros están recogidas en la siguiente tabla:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	2,1x10 ⁶ Kg/cm ² (3x10 ⁷ psi)
Limite elástico (e)	2109,55 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	5800 Kg/cm ²
Eficiencia de la soldadura (ϵ)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	132176 Kg/cm ² (18799 psi)
Sobreespesor por corrosión (c)	2,5 mm
Densidad (ρ)	7944 Kg/ m ³

La presión de diseño de ser superior en todo caso a la máxima de operación o servicio. Esta presión de servicio en nuestro caso será:

$$P = P_{atm} + \rho g L = 101325 \text{ (Pa)} + 765 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times 9,82 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) \times 2,44 \text{ (m)}$$

$$P = 119655,012 \text{ Pa} = \mathbf{14,7 \text{ psi}}$$

$$P_d = 4 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) = \mathbf{56,9 \text{ psi} > P}$$

La temperatura de diseño, al igual que ocurre con la presión de diseño, debe de ser superior a la máxima temperatura que se produce durante la operación de intercambio. Basándonos en la experiencia, es habitual escoger como valor de temperatura:

$$T_D = T_{M\acute{a}x} + 20^\circ C = 25^\circ C + 20^\circ C = 45^\circ C$$

Nos regimos por la norma ANSI-ASME sección VIII div.1 para el diseño de los recipientes a presión que componen la instalación.

Ahora calcularemos los diferentes parámetros necesarios para el diseño de nuestro recipiente a presión.

- **Espesor de la Envolvente**

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales, siendo el valor de las primeras el doble que el de las segundas.

Este cálculo se puede hacer de dos formas distintas

a) Según las especificaciones.

Se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{1800mm}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = 6,84mm$$

Considerando un sobreespesor de corrosión (c) de 2.5 mm

b) Por tensión circunferencial

- En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el obtenido en el apartado anterior.

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 1800(mm) + (2 \times 6,84(mm)) = 1813,68 \text{ mm} = 1,813m$$

$$t = \frac{P \times D_o}{(2 \times S \times E) + 0,8P} + c = \frac{56,9(psi) \times 1813(mm)}{(2 \times 18799 \times 0,85) + (0,8 \times 56,9(psi))} + 2,5(mm)$$

$$t = 5,72 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \times (D_c + 2c)}{(2 \times S \times E) + 1,2P} + c = \frac{56,9(psi) \times (1800(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{(2 \times 18799(psi) \times 0,85) + (1,2 \times 56,9(psi))} + 2,5$$

$$t = 5,70mm$$

De entre todos los espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, $t = 6,84$ mm, aunque normalizando se tomara el valor de 7 mm.

Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_C + (2 \times t) = 1800(mm) + (2 \times 7(mm)) = 1814mm = \mathbf{1,814m}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

A = Factor función de las dimensiones del recipiente

B = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.

D_o = Diámetro exterior, en mm

E = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi

L = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_C + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 2440(mm) + \frac{1}{3} \times 387,3(mm) + \frac{1}{3} \times 387,3(mm) = \mathbf{2698,2 mm}$$

P_e = presión extrema de diseño ($P = 1,05 \text{ Kg/cm}^2$)

P_a = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2

t = Espesor de la envolvente, en mm

c = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

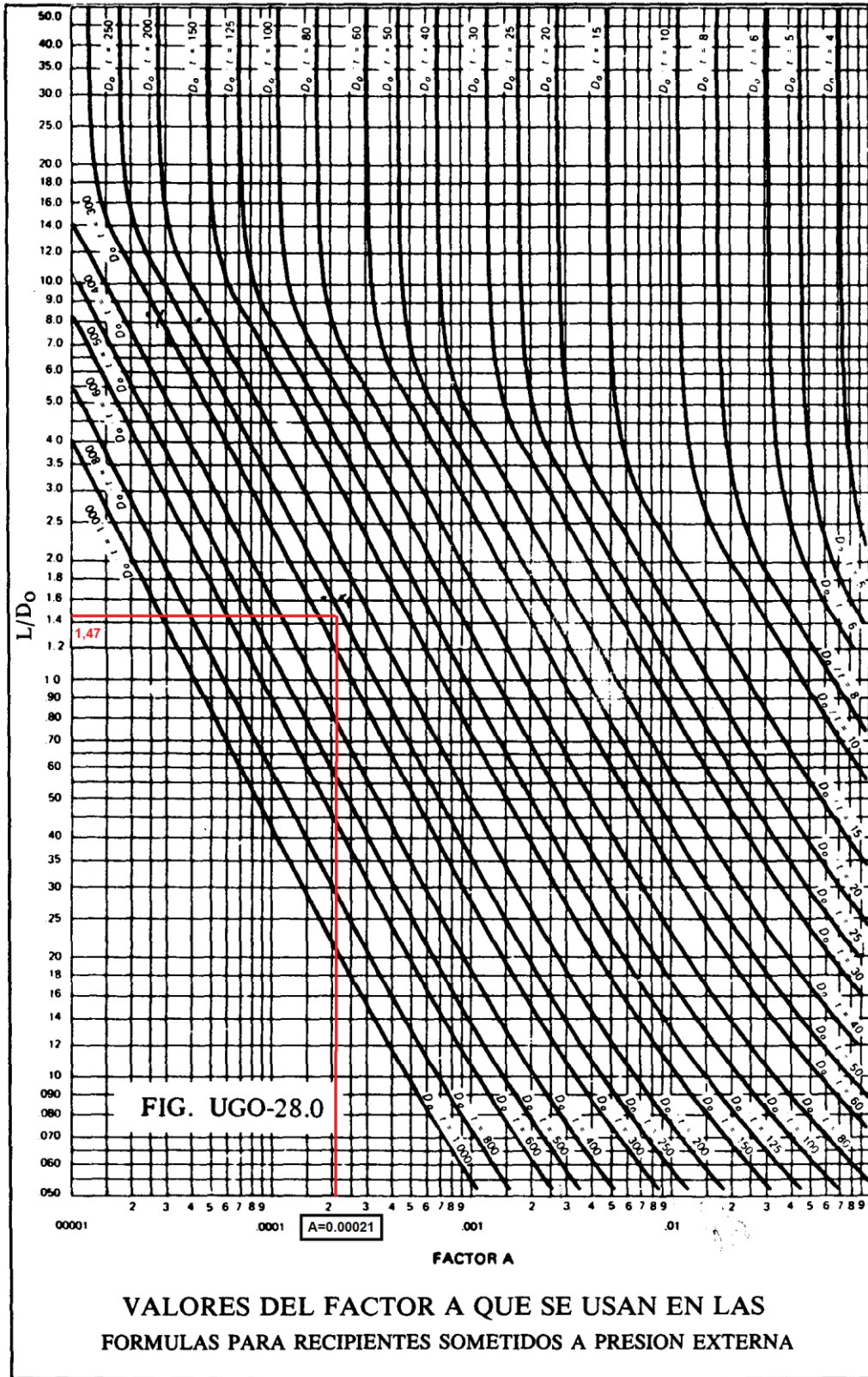
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- a) Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{2698,2(mm)}{1814(mm)} = 1,487$$

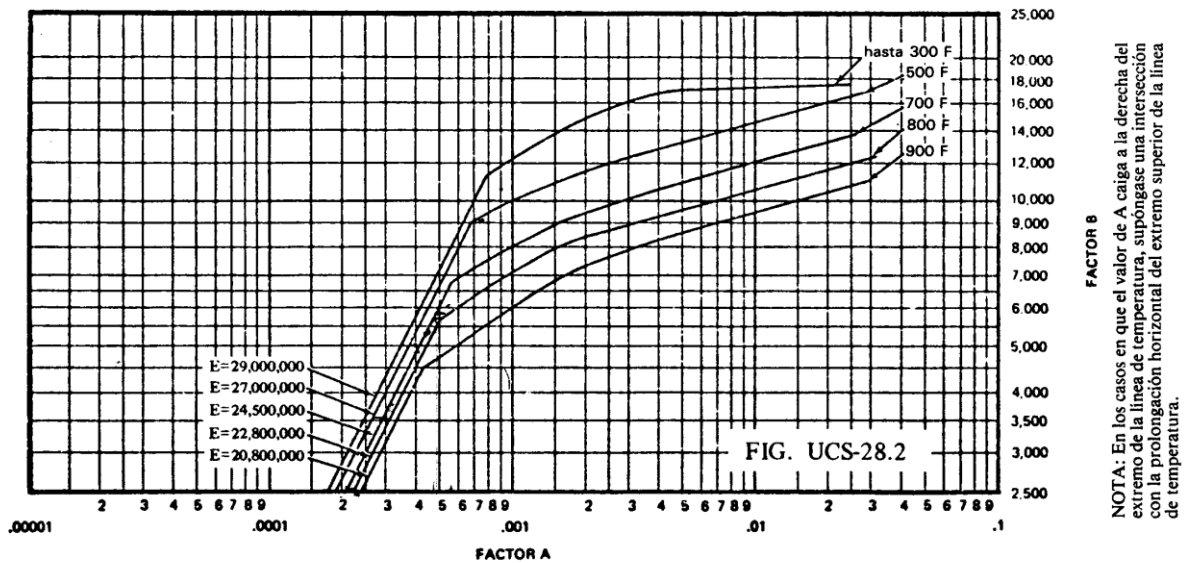
$$\frac{D_o}{t} = \frac{1814(mm)}{7(mm)} = 259,14$$

- b) Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A = 0,00021

- c) Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



VALORES DEL FACTOR B

QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

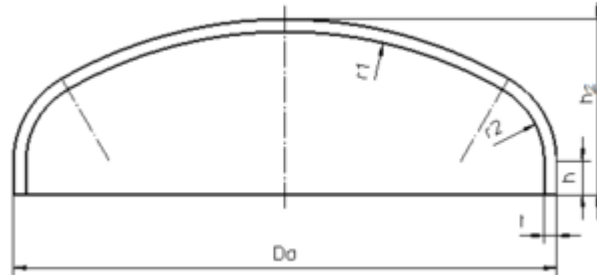
Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear (3×10^7 psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0,00021 \times 3 \times 10^7 (psi)}{3 \times \left(\frac{1814(mm)}{7(mm)}\right)} = 16,20 \text{ psi} = 1,14 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 16,20 \text{ psi} > 14,7 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

Características de los fondos

Para las columnas de intercambio catiónico se usaran fondos toriesféricos tipo Korbboegen Boden cuyo esquema:



En función del diámetro exterior D_o calcularemos las dimensiones de los fondos:

$$\underline{D_o = 1,814 \text{ m}}$$

$$R = 0,8 \times D_o = 0,8 \times 1,814 \text{ m} = \mathbf{1,451 \text{ m}}$$

$$r = \frac{D_o}{6,5} = \frac{1,814 \text{ m}}{6,5} = \mathbf{0,279 \text{ m} = 279 \text{ mm}}$$

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 1,814 \text{ m} = \mathbf{0,363 \text{ m} = 363 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 \times t_f = 3,5 \times 7 \text{ mm} = \mathbf{24,5 \text{ mm}}$$

$$V_f = 0,1 \times D_o^3 = 0,1 \times 1,8^3 \text{ m} = \mathbf{0,583 \text{ m}}$$

Al igual que en el caso de la envolvente de la columna, se usaran dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla de ASME y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación para el fondo tipo Korbboegen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)}$$

Donde M es:

$$M = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{1,451(m)}{0,279(m)}} \right) = 1,32 \text{ m} = \mathbf{1320mm}$$

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)} = \frac{56,9(\text{psi}) \times 1451(\text{mm}) \times 1320(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,2 \times 56,9(\text{psi}))}$$

$$= \mathbf{3,408\text{mm}}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = t + c = 3,408\text{mm} + 2,5\text{mm} = \mathbf{5,91\text{mm}}$$

- Según las especificaciones se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c = \frac{1813,7\text{mm}}{1000} + 2,54 + 2,5\text{ mm} = \mathbf{6,85\text{ mm}}$$

De entre los dos espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 6,85\text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 7 mm.

Una vez calculado el espesor de la envolvente es preciso comprobarlo para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesfericos a presión externa se procede como sigue:

- a) Se obtiene el valor de A, a partir de la fórmula:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_o}{t}} = \frac{0,125}{\left(\frac{1814(\text{mm})}{2}\right)} = 9,65 \times 10^{-4}$$

- b) Al igual que ocurría en el caso de la envolvente, al no existir una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar la gráfica, por lo que se calcula P_a de la siguiente manera.

$$P_a = \frac{0,0625 \times E}{\left(\frac{R_o}{t}\right)^2} = \frac{0,0625 \times 3 \times 10^7}{\left(\frac{1814(\text{mm})}{2}\right)^2} = 111,68\text{ psi} = 7,85 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 106,98\text{ psi} > 14,7\text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

➤ **Tensiones longitudinales en la envoltura debidas a la presión interior**

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \times (D_c + 2c)}{4 \times (t - c)} = \frac{4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times (1800(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{4 \times (7(mm) - 2,5(mm))} = 401,11 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Pesos de la elevación**

Para saber el peso de la columna completa en conjunto, se debe calcular los pesos de las diferentes partes en las que está compuesta dicha columna de intercambio.

➤ **Peso de la envoltente**

Donde:

- L = longitud de la envoltente (m)
- ρ = densidad del material (Kg/m^3)
- D_c = di metro interno (m)
- D_o = di metro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \times (D_o^2 - D_c^2) \times L = 7944 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times (1,814^2(m^2) - 1,8^2(m^2)) \times 2,44 (m)$$

$$P_{EN} = 980,72 Kg$$

• **Peso del relleno**

Con los volúmenes de cada resina y su densidad se obtiene el peso del relleno

$$P_{resina\ catiónica} = V_R \times \rho_{resina\ catiónica} = 2575L \times 720 \frac{g}{L} = 1854 kg$$

$$P_{resina\ inerte} = V_i \times \rho_{resina\ inerte} = 600L \times 620 \frac{g}{L} = 372 kg$$

$$P_{resina} = P_{resina\ catiónica} + P_{resina\ inerte} = 1854 Kg + 372 Kg = 2226 kg$$

• **Peso de los fondos**

Para este cálculo se debe conocer antes el valor del diámetro del disco (D_d), y el volumen de material que componen el fondo (V_f).

$$D_d = (1,12 \times D_d) + (1,7 \times h) = (1,12 \times 1814(mm)) + (1,7 \times 23,94(mm)) \\ = 2072,4 mm$$

$$V_F = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (D_d^2) \times (8 \times t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (2072,4^2 (mm)^2) \times (8 \times 7(mm)) = 0.188m^3$$

$$P_F = V_F \times \rho = 0,188(m^3) \times 750 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 141 Kg$$

- **Peso de los accesorios**

El peso de las tuberías, conexiones y el resto de accesorios de la columna de intercambio catiónico, se puede aproximar con la siguiente expresión.

$$P_{ACC} = 0.05 \times (P_{EN} + P_R + 2P_F) = 0.05 \times (980,72(Kg) + 2226(Kg) + 2 \times 141 (Kg))$$

$$P_{ACC} = 174,4(Kg)$$

- **Peso total de la columna**

Sumando todo los pesos calculados obtenemos el valor del peso total de la columna.

$$P_T = P_{EN} + P_R + 2P_F + P_{ACC} = 959,63(Kg) + 2226(Kg) + 2 \times 141 (Kg) + 174,4(Kg)$$

$$P_T = 3663,12 (Kg)$$

El peso calculado produce una tensión de un valor igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \times P_T \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]} = \frac{4 \times 3663,12(Kg) \times 100}{\pi \times [1814^2(mm^2) - (1800(mm) + 2 \times 2,5(mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = 14,32 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Tensiones debidas a las pruebas**

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. Esta comprobación requiere una serie de ensayos no destructivos, tales como radiográficos, comprobación con líquidos penetrantes para localizar posibles fugas y partículas magnéticas de las soldaduras, una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII div. 1, la presión de prueba para la comprobación del recipiente es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm^2

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm^2

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm^2

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm^2

$$P_{Hm} = 1,5 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de.

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S} = 1,3 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5,2 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Hay que verificar que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superan el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deber aumentar los espesores de las paredes de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deber tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna del líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_c \times (P_{Hm} + H_t \times 10^{-4})}{4 \times t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción

$$H_t = L + (2 \times H_f) = 2,44(m) + (2 \times 0,387(m)) = 3,214(m)$$

$$\sigma_i = \frac{180(cm) \times (6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) + 321,4(cm) \times 10^{-4})}{4 \times 0,685(cm)} = 415,27 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times P_w \times 100}{\pi [D_o^2 - (D_c + 2 \times c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_w = V_w \times \rho_w = (\pi \times R_c^2 \times L + 2 \times V_f) \times \rho_w$$

$$P_w = (\pi \times 0,9^2(m^2) \times 2,44(m) + 2 \times 0,583(m^3)) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 7353,25 Kg$$

$$\sigma_{\text{Agua}} = \frac{4 \times 7353,25(\text{kg}) \times 100}{\pi[181,4^2(\text{cm}^2) - (180(\text{cm}) + 2 \times 0.25(\text{cm}))^2]} = 28,74 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se debe de comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90% del límite del material (σ)

$$\sigma_i + \sigma_{\text{Agua}} = 415,27 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 28,74 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 444 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$0,9 \times \sigma = 0,9 \times 2109,55 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 1898,6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_i + \sigma_{\text{Agua}} < 0,9 \times \sigma$$

DISEÑO DE LA COLUMNA ANIÓNICA

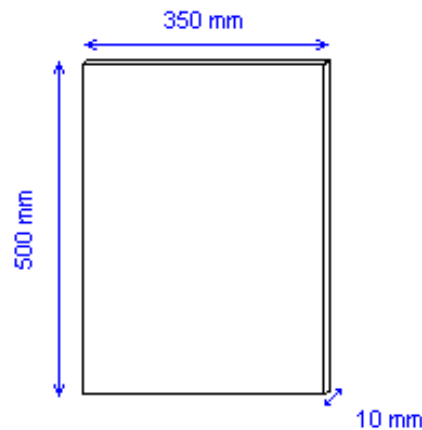
Para comenzar el diseño de la columna aniónica es preciso calcular el volumen de resina AMBERLYST A26OH y posteriormente dimensionarla y establecer los diversos caudales que por ella circulan.

La composición aniónica del agua que proviene de la columna catiónica y se introduce en la columna es la siguiente:

Aniones	eq/L
Cromatos ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)	1,374
Fluoruros (F^-)	0,008
Sulfatos (SO_4^{2-})	3,8784
Boratos (BO_3^{3-})	6,468

Estos valores corresponden a los equivalentes/Litros de los baños de cromado y niquelado, por lo que es preciso calcular qué porcentaje o qué cantidad es arrastrada en el proceso y será depositada en el baño de enjuague o lavado.

Para ello calcularemos el volumen de líquido que se queda adherido a la plancha.



Con un espesor máximo supuesto de $e = 0.01\text{mm}$, el volumen arrastrado por plancha será:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Arrastrado}} &= (2 \times (500\text{mm} \times 350\text{mm} \times 0.1\text{mm})) \\
 &\quad + (2 \times (500\text{mm} \times 10\text{mm} \times 0.1\text{mm})) \\
 &\quad + (2 \times (350\text{mm} \times 10\text{mm} \times 0.1\text{mm})) = 36700 \text{ mm}^3 \Rightarrow 0.0367 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Este valor corresponde al volumen arrastrado por una plancha desde el baño de tratamiento hasta el posterior baño de lavado, por lo tanto para las 75 planchas por hora que la planta trata, el volumen arrastrado tendrá un valor de :

$$V_{\text{Arrastrado}} = 0.0367 \times 75 = 2,7525\text{L}$$

Y por cada baño, cromado y niquelado:

$$V_{\text{Arrastrado}} = 2 \times 2,7525 = \mathbf{5,505 L}$$

Sabiendo el volumen arrastrado podremos calcular la cantidad de equivalentes por litro que se han arrastrado:

$$\text{Porcentaje}_{\text{Arrastrado}} = \frac{V_{\text{Arrastrado}}}{V_{2\text{Baños}}} = \frac{5,505 L}{15600 L} \times 100 = \mathbf{0,03528\%}$$

Con este valor podemos calcular el número de equivalentes arrastrados:

$$\text{Equivalentes}_{\text{Arrastrado}} = \left(11,7284 \frac{eq}{L} \times 15600L \right) \times 3,528 \times 10^{-4} = \mathbf{64,55 eq}$$

El periodo estimado en el proceso de inmersión y lavado se estima de una hora, y durante un día de trabajo estipulamos 16 horas laborables, en consiguiente, se realizaran 16 inmersiones por día, por lo que el número de equivalentes por día serán:

$$\text{Equivalentes}_{\text{día}} = 64,55 eq \times 16h = \mathbf{1032,79 \frac{eq}{día}}$$

Los ciclos de operación de cada columna dependen de varios factores como son:

- Caudal a tratar
- Carga iónica aportada
- Especificaciones técnicas particulares de cada resina: velocidades de flujo recomendadas, etc.
- Relación de esbeltez

En base a la experiencia de otras plantas similares, se toma como tiempo de duración de cada ciclo de operación 80 horas o 5 días de operación (t_c). Un ciclo de mayor duración precisara mayor cantidad de resina y por lo tanto una columna de un diámetro mayor, suponiendo esto una disminución de la velocidad lineal del liquido que se encontraría por debajo de los valores recomendados por el fabricante de la resina y todo esto supondría un aumento en el coste de inmovilizado.

Por lo que el número de equivalentes por ciclo será:

$$\text{Equivalentes}_{\text{ciclo}} = 1032,79 \frac{eq}{día} \times 5días = \mathbf{5163,95 \frac{eq}{ciclo}}$$

La capacidad operativa (Cop) depende del regenerante usado, en el caso de la resina aniónica, hablamos de NaOH al 2% en peso; del sistema de regeneración, en contracorriente en nuestra planta; y por último de la cantidad de regenerante por litro de resina utilizado, que según los datos del fabricante, para la sosa como regenerante está en 55 g/l.

La capacidad operativa la da el fabricante y su valor es el siguiente:

$$C_{op} = 1,4 \frac{eq}{L}$$

Con los datos de los equivalentes por ciclo y de la capacidad operativa (C_{op}), se puede obtener el volumen necesario de resina (V_R).

$$V_R = \frac{eq}{C_{op}} = \frac{5163,95 eq}{1,4(\frac{eq}{L})} = 3688,53 L$$

Para asegurarnos del dato tomado, se coge un coeficiente de seguridad del 10%. Para obtener el volumen exacto de resina aniónica, se debe saber que la resina la distribuye el fabricante en sacos de 25 litros, por lo que se redondea el valor necesario del volumen.

$$V_R = 3688,53 + (3688,53 \times 10\%) = 4057,38 L \xrightarrow{\text{Sacos 25 litros}} 4075 L$$

$$V_R = 4075 L = 4,075 m^3$$

Dimensionamiento de la columna

A continuación se realizara los cálculos necesarios para poder tener dimensionada la columna de intercambio aniónico.

- Diámetro de la columna (D_c): este dato se tomara de la experiencia, en donde el diámetro es de 2 m (2000 mm).
- Área de paso de la columna (A):

$$A = \pi \times \frac{D_c^2}{4} = \pi \times \frac{2^2}{4} = 3,14 m^2$$

- Altura del lecho (h_L): tiene que estar dentro de las recomendaciones del fabricante:

$$h_L = \frac{V_R}{A} = \frac{4.075 \text{ m}^3}{3,14 \text{ m}^2} = \mathbf{1,29m} > 0,6 \text{ m}$$

- Expansión máxima (E_{max}): por indicaciones del fabricante, esta expansión es del 20%.

$$E_{max} = h_L \times 10\% = 1,29 \text{ m} \times 20\% = \mathbf{0,26 \text{ m}}$$

- Altura del lecho expandido (h_{le}):

$$h_{le} = h_L + E_{max} = 1,29 \text{ m} + 0,26 = \mathbf{1,556 \text{ m}}$$

- Volumen de resina inerte (V_i): por recomendaciones del fabricante y por datos de la experiencia, este será de 0.65 m^3 (650 L).

- Altura de la resina inerte (h_i):

$$h_i = \frac{V_i}{A} = \frac{0.65 \text{ m}^3}{3,14 \text{ m}^2} = \mathbf{0,207m}$$

- Altura de la zona libre (freeboard)(h_{FB}): en este caso se toma el valor de la bibliografía, en el cual se nos recomienda un h_{FB} de 42 mm (0.042 m).

- Altura cilíndrica de la columna (h_C): es el sumatorio de las anteriores alturas.

$$h_C = h_{le} + h_i + h_{FB} = 1,556 \text{ m} + 0,207 \text{ m} + 0.042 \text{ m} = \mathbf{1,805 \text{ m}}$$

- Velocidad de flujo (v):

$$Q = v \times A \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{16(\text{m}^3/\text{h})}{3,14(\text{m}^2)} = 5,09 \text{ m/h} = \mathbf{1,41 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

- Volumen del lecho (bed volumen) (BV): el volumen que ocupa los dos tipos de resinas dentro de la columna, la catiónica y la inerte.

$$BV = (h_{le} + h_i) \times A = (1,556 \text{ m} + 0,207 \text{ m}) \times 3,14 \text{ m} = \mathbf{5,54 \text{ m}^3}$$

- Relación altura/ diámetro (esbeltez) (H/D): es el cociente de la altura cilíndrica y el diámetro, que según recomendaciones del fabricante, debe estar comprendido su valor entre 2/3 y 3/2.

$$\frac{H}{D} = \frac{h_c}{D_c} = \frac{1,805 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 0,9$$

$$\frac{2}{3} < 0,9 < \frac{3}{2}$$

Recapitulando todos los datos dimensionales de la columna de intercambio aniónico.

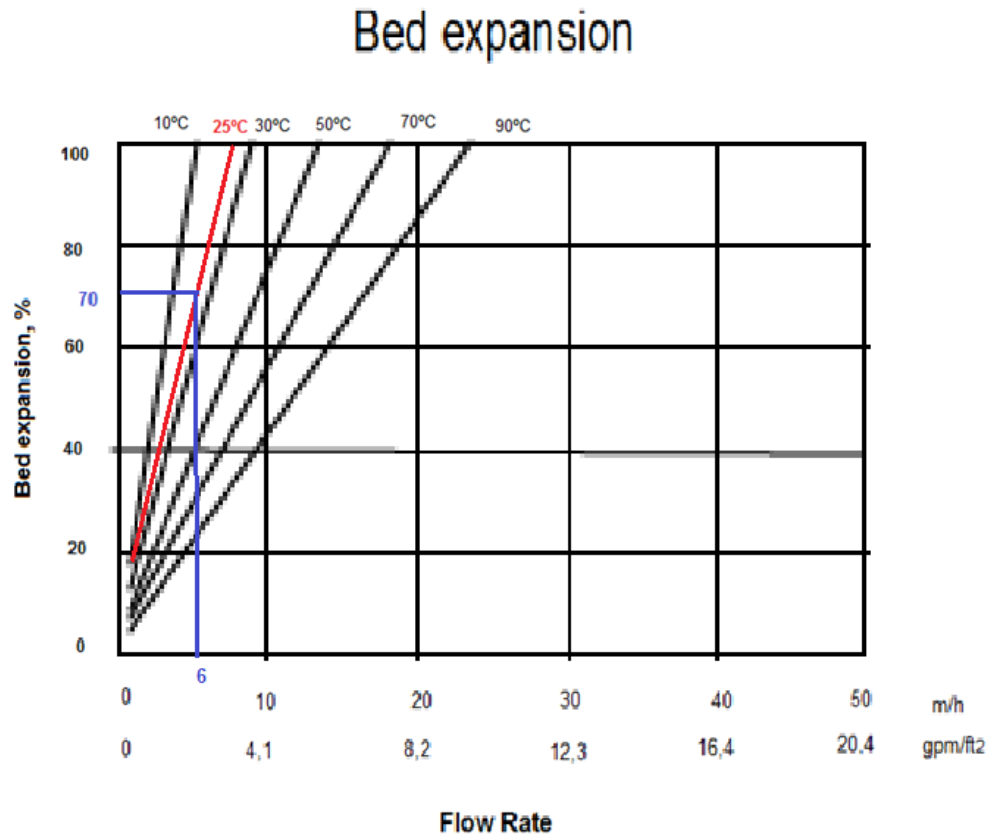
Diámetro de la columna (D_c)	2 m
Área de paso de la columna (A)	3,14 m ²
Altura del lecho (h_i)	1,29 m
Altura del lecho expandido (h_{le})	1,556 m
Altura del lecho inerte (h_i)	0,207 m
Altura del freeboard (h_{FB})	0,042 m
Altura cilíndrica (h_c)	1,805 m
Volumen de resina inerte (V_i)	0,65 m ³
Velocidad lineal del líquido (v)	0,00141 m/s
Volumen del lecho (BV)	5,54 m ³
Relación Altura/ Diámetro (H/D)	0,9

Diseño del proceso de regeneración

• Compactación de lecho

El fabricante recomienda una velocidad de compactación (V_{comp}) tres veces a la de retrolavado convencional, la cual corresponde a un 60-80% de la expansión en un retrolavado convencional. Se usará el valor medio para la expansión (70%).

Con la grafica que nos facilita el fabricante de nuestra resina AMBERLYST A26OH podremos obtener el valor de la velocidad de retrolavado en función de la expansión del lecho y de la temperatura.



$$v_{retrolavado} = 6 \frac{m}{h}$$

$$v_{comp} = 3 \times v_{retrolavado} = 3 \times 6 \frac{m}{h} = 18 \frac{m}{h}$$

El tiempo de compactación (t_{comp}) se obtiene de la experiencia:

$$t_{comp} = 10 \text{ min} = 0.17 \text{ h} = 600s$$

Con los datos anteriores se puede calcular el caudal necesario para realizar la compactación (Q_{comp}) y el volumen de agua de red (V_{comp}) para poder realizar la compactación del lecho.

$$Q_{comp} = v_{comp} \times A = 18 \frac{m}{h} \times 3,14 \text{ m}^2 = 56,55 \frac{m^3}{h}$$

$$V_{comp} = Q_{comp} \times t_{comp} = 56,55 \frac{m^3}{h} \times 0,17 \text{ h} = 9,613 \text{ m}^3$$

- Cantidad de regenerante

Con el dato de la cantidad de regenerante necesario por volumen de resina y con el volumen, podemos obtener la cantidad necesaria de NaOH. Se va a necesitar 55 g NaOH/L de resina.

$$m_{\text{NaOH}} = V_R \times \text{cantidad de regenerante} = 4075 \text{ L} \times 55 \frac{\text{gNaOH}}{\text{L}} = \mathbf{224125 \text{ gNaOH}}$$

$$m_{\text{NaOH}} = 224125 \text{ g NaOH} = \mathbf{224,125 \text{ Kg NaOH}}$$

Para saber si con esta cantidad de sosa se consigue regenerar completamente la columna de resina, se debe comprobar si existe un excedente estequiométrico. Para ello se pasa el valor de masa a equivalente.

$$m_{\text{NaOH}} = 224,125 \text{ KgNaOH} = \mathbf{5603,125 \frac{eq \text{ NaOH}}{\text{L}}}$$

$$\text{Excedente}_{\text{NaOH}} = \frac{eq \text{ NaOH}}{eq \text{ ciclo}} \times 100 = \frac{5603,125 \text{ eq}}{5163,95 \text{ eq}} \times 100 = \mathbf{108,50\%}$$

- Dilución de sosa al 50%

La planta de intercambio iónico dispone de un depósito de sosa al 50%, pero según indicaciones del fabricante, a la hora de regenerar la resina, la sosa debe estar diluida al 2%. La sosa se diluirá en agua desmineralizada que proviene del depósito de almacenamiento de esta.

Los datos necesarios para realizar la disolución son los siguientes:

Densidad NaOH al 50%	1,511 g/ml
Densidad NaOH al 2%	1,032 g/ml
Mas molecular NaOH	40 g/mol

Para hacer un litro de disolución al 2% se precisan 0,0273 L de disolución al 50% y el resto, hasta completar el litro, de agua desmineralizada. Con estas referencias se puede obtener el volumen de regenerante diluido ($V_{\text{NaOH}(2\%)}$) que se debe usar en cada regeneración, así como la cantidad de agua desmineralizada que hay que emplear: NaOH

$$V_{\text{NaOH}(2\%)} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{\rho_{\text{NaOH}}} = \frac{224,125 \text{ Kg NaOH}}{1,032 \text{ Kg/L}} = \mathbf{217,17 \text{ L NaOH}}$$

$$V_{\text{NaOH}(50\%)} = \mathbf{5,93 \text{ L NaOH}}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{NaOH}(2\%)} - V_{\text{NaOH}(50\%)} = 217,17 \text{ L} - 5,93 \text{ L}$$

$$= \mathbf{211,24 \text{ L H}_2\text{O desmineralizada}}$$

- Velocidad y tiempo de Regeneración

La velocidad de regeneración (v_{reg}) no es la misma que en servicio. El fabricante facilita el dato de caudal de regeneración (Q_{reg}), que debe estar comprendido entre 0.125 y 0.50 gpm/ft³. El rango de Q_{reg} en unidades del sistema internacional está comprendido entre 2.81 y 11.25 m³/h. Se va a escoger para la determinación de la velocidad y tiempo de regeneración un caudal de 6 m³/h.

$$Q_{reg} = 6 \frac{m^3}{h} = 0,1 \frac{m^3}{min}$$

$$v_{reg} = \frac{Q_{reg}}{A} = \frac{6 m^3/h}{3,14 m^2} = \mathbf{1,91 \frac{m}{h}}$$

$$t_{reg} = \frac{V_{NaOH(2\%)}}{Q_{reg}} = \frac{0,217 m^3}{0,1 m^3/min} = \mathbf{2,17 min}$$

- Lavado del lecho

El fabricante da la referencia para el agua necesaria para realizar el lavado de la columna en función del volumen de resina existente.

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 30 - 70 \frac{gal}{ft^3} = 4,01 - 10,3 \frac{m^3}{m^3 resina} \times V_R \\ &= \mathbf{16,34 - 41,97 m^3 H_2O desmineralizada} \end{aligned}$$

En este caso se debe seleccionar un volumen de agua desmineralizada dentro del rango anterior.

$$V_{H_2O} = \mathbf{17 m^3 H_2O desmineralizada}$$

Tanto la velocidad y el caudal de lavado, serán iguales que la velocidad y el caudal de regeneración, por lo tanto queda el tiempo de lavado, que será:

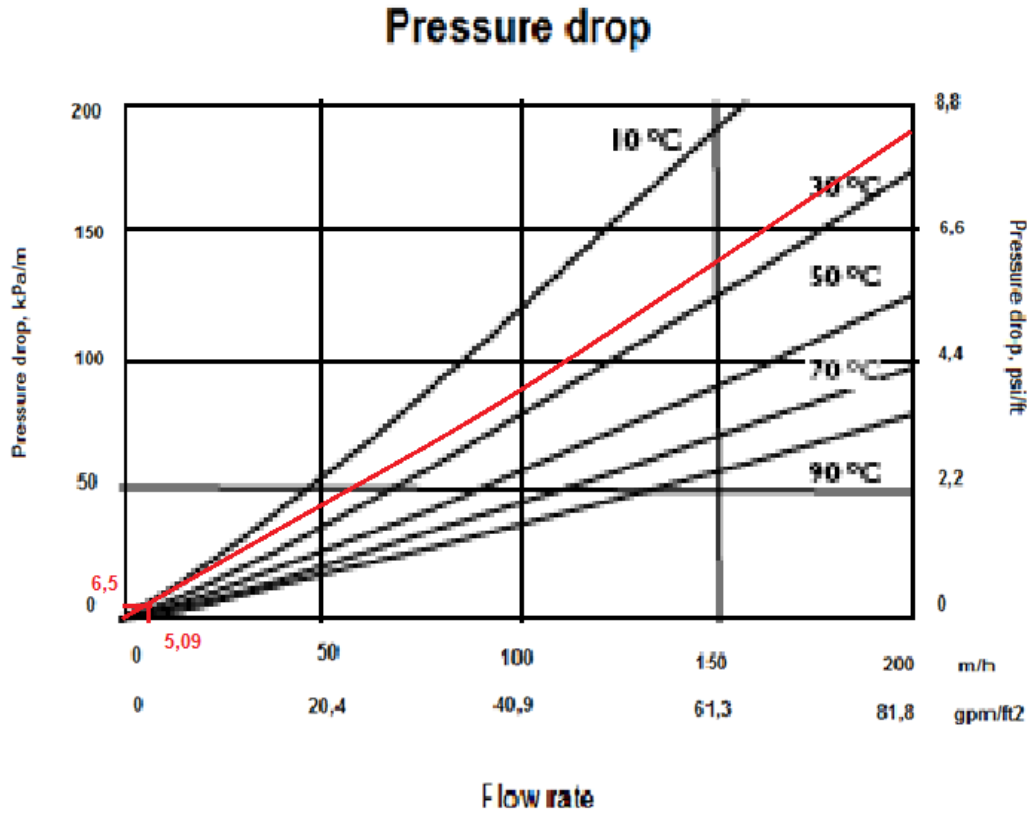
$$t_{lav} = \frac{V_{H_2O}}{Q_{lav}} = \frac{17 m^3}{0,10 m^3/min} = \mathbf{170 min}$$

- Pérdida de carga y peso de la columna

Usando la grafica del fabricante de la resina AMBERLYST A26OH, se obtiene la pérdida de presión en la columna de intercambio aniónico, cuando esta se encuentre en servicio, en función de la velocidad lineal de flujo y de la temperatura:

$$v = 5,09 \frac{m}{h}$$

$$T = 25^\circ C$$



$$\Delta P = 6,5 \frac{kPa}{m}$$

$$h_{le} + h_l = 1,763 m$$

$\Delta P = 11.46 KPa$

La densidad empaquetada de la resina aniónica AMBERLYST A26OH es de 675 g/L, mientras que la densidad de la resina inerte es de 620 g/L. por tanto el peso de las resinas será:

$$P_{resina\ ani\o nica} = V_R \times \rho_{resina\ ani\o nica} = 4075L \times 675 \frac{g}{L} = 2750,625 kg$$

$$P_{resina\ inerte} = V_i \times \rho_{resina\ inerte} = 600L \times 620 \frac{g}{L} = 372 kg$$

Por último tendremos que calcular el peso del volumen de agua contenida en la columna de intercambio aniónico, que será una suma del agua que está en el freedboard o espacio libre y el agua contenida en el empaque, para cuyo calculo, según bibliografía, el espacio en el lecho para la circulación de agua es de 33% del volumen del lecho.

$$P_{H_2O} = (V_{FB} + V_{lecho}) \times \rho_{H_2O} = \left[(h_{FB} \times A) + \left(\frac{1}{3} \times (h_{le} + h_i) \times A \right) \right] \times \rho_{H_2O}$$

$$P_{H_2O} = \left[(0,042 \text{ m} \times 3,14 \text{ m}^2) + \left(\frac{1}{3} \times (1,763 \text{ m}) \times 3,14 \text{ m}^2 \right) \right] \times 997,045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = 1,978 \text{ m}^3 \times 997,045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = \mathbf{1972,31 \text{ Kg}}$$

Por lo tanto, el peso de la columna será la suma de todos los valores anteriores (peso de la resina aniónica, peso de la resina inerte y peso del agua):

$$P_{columna} = P_{resina\ aniónica} + P_{resina\ inerte} + P_{H_2O}$$

$$P_{columna} = 2750,625 \text{ Kg} + 372 \text{ Kg} + 1972,31 \text{ Kg}$$

$$P_{columna} = \mathbf{5094,94 \text{ Kg}}$$

DISEÑO MECANICO DE LA COLUMNA ANIONICA

A continuación se describe el diseño del recipiente metálico vertical con contiene la resina aniónica, y que constituye la columna de intercambio aniónico.

Las variables que hay que tener en cuenta en el diseño de la columna de intercambio aniónico son las que se muestras en la siguiente tabla:

Variable	Valor
Temperatura de diseño (T_D)	45°C
Presión de diseño (P_D)	4 Kg/cm ²
Diámetro interno de la columna (D_C)	2 m
Altura cilíndrica (h_C)	1,805m
Longitud de la envolvente cilíndrica (L_C)	2,805 m
Eficiencia de la soldadura (ϵ)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	132176 Kg/cm ² (18799 psi)
Sobreespesor por corrosión (c)	2,5 mm

El acero que se va utilizar en la construcción de la columna es acero inoxidable 316. Las principales características de estos aceros están recogidas en la siguiente tabla:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	2,1x10 ⁶ Kg/cm ² (3x10 ⁷ psi)
Limite elástico (e)	2109,55 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	5800 Kg/cm ²
Densidad (ρ)	7944 Kg/ m ³

La presión de diseño de ser superior en todo caso a la máxima de operación o servicio. Esta presión de servicio en nuestro caso será:

$$P = P_{atm} + \rho g L = 101325 (Pa) + 765 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times 9,82 \left(\frac{m^2}{s} \right) \times 2,805(m)$$

$$P = 122397 Pa = \mathbf{15 psi}$$

$$Pd = 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = \mathbf{56,9 psi} > P$$

La temperatura de diseño, al igual que ocurre con la presión de diseño, debe de ser superior a la máxima temperatura que se produce durante la operación de intercambio. Basándonos en la experiencia, es habitual escoger como valor de temperatura:

$$T_D = T_{M\acute{a}x} + 20^{\circ}C = 25^{\circ}C + 20^{\circ}C = 45^{\circ}C$$

Nos regimos por la norma ANSI-ASME sección VIII div.1 para el diseño de los recipientes a presión que componen la instalación.

Ahora calcularemos los diferentes parámetros necesarios para el diseño de nuestro recipiente a presión.

- **Espesor de la Envolvente**

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales, siendo el valor de las primeras el doble que el de las segundas.

Este cálculo se puede hacer de dos formas distintas

a) Según las especificaciones.

Se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{2000mm}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = 7,04mm$$

Considerando un sobreespesor de corrosión (c) de 2.5 mm

b) Por tensión circunferencial

- ♦ En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el obtenido en el apartado anterior.

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 2000(mm) + (2 \times 7,04(mm)) = 2014,08 \text{ mm} = 2,014m$$

$$t = \frac{P \times D_o}{(2 \times S \times E) + 0,8P} + c = \frac{56,9(psi) \times 2014(mm)}{(2 \times 18799 \times 0,85) + (0,8 \times 56,9(psi))} + 2,5(mm)$$

$$t = 6,08 \text{ mm}$$

- ♦ En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \times (D_c + 2c)}{(2 \times S \times E) + 1,2P} + c = \frac{56,9(psi) \times (2000(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{(2 \times 18799(psi) \times 0,85) + (1,2 \times 56,9(psi))} + 2,5$$

$$t = 5,99mm$$

De entre todos los espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, $t = 7,04$ mm, aunque normalizando se tomara el valor de 8 mm.

Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 2000(mm) + (2 \times 8(mm)) = 2016mm = \mathbf{2,016m}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

A = Factor función de las dimensiones del recipiente

B = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.

D_o = Di metro exterior, en mm

E = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi

L = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_c + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 2805(mm) + \frac{1}{3} \times 431,2(mm) + \frac{1}{3} \times 431,2(mm) = \mathbf{3092\ mm}$$

P_e = presión extrema de diseño ($P = 1,05$ Kg/cm²)

P_a = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm²

t = Espesor de la envolvente, en mm

c = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

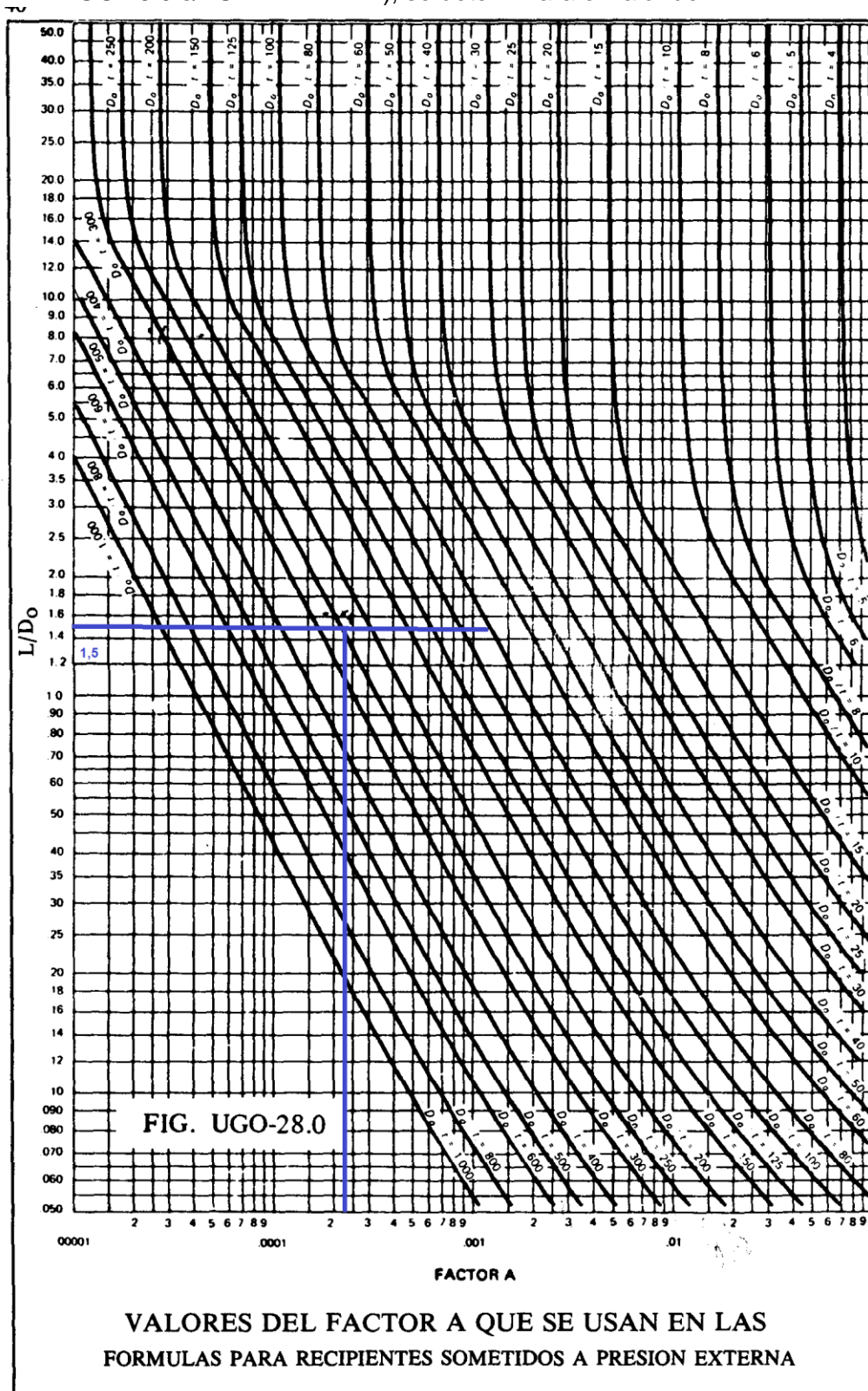
Se calcula con el siguiente procedimiento:

a) Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{3092(mm)}{2016(mm)} = 1,53$$

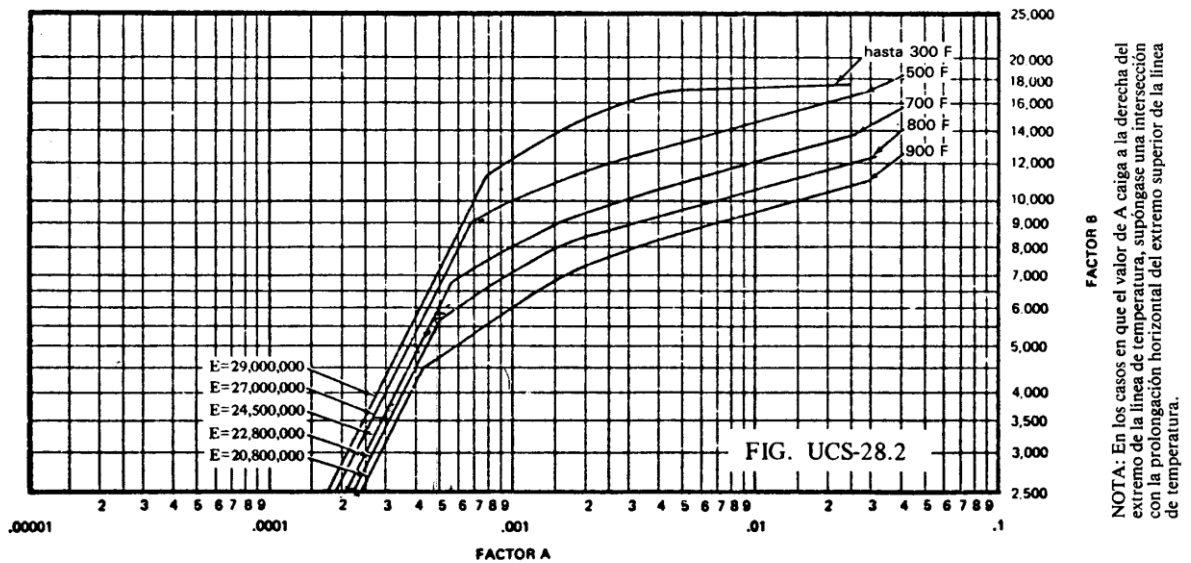
$$\frac{D_o}{t} = \frac{2016(mm)}{8\ (mm)} = 252$$

- b) Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A = 0,00027

- c) Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



VALORES DEL FACTOR B

QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

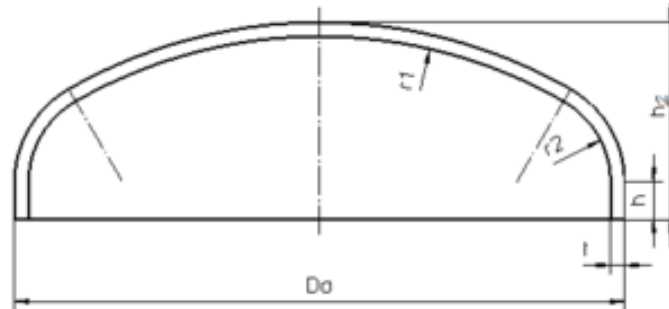
Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear (3×10^7 psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0.00027 \times 3 \times 10^7 (\text{psi})}{3 \times \left(\frac{2016(\text{mm})}{8(\text{mm})}\right)} = 21,42 \text{ psi} = 1,50 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 21,42 \text{ psi} > 15 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

Características de los fondos

Para las columnas de intercambio aniónico se usaran fondos toriesféricos tipo Korbogen Boden cuyo esquema:



En función del diámetro exterior D_o calcularemos las dimensiones de los fondos:
 $D_o = 2,016 \text{ m}$

$$R = 0,8 \times D_o = 0,8 \times 2,016 \text{ m} = \mathbf{1,6128 \text{ m}}$$

$$r = \frac{D_o}{6,5} = \frac{2,016 \text{ m}}{6,5} = \mathbf{0,31 \text{ m} = 310 \text{ mm}}$$

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 2,016 \text{ m} = \mathbf{0,4032 \text{ m} = 403,2 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 \times t_f = 3,5 \times 8 \text{ mm} = \mathbf{28 \text{ mm}}$$

$$h_f = H + h = 403,2 \text{ mm} + 28 \text{ mm} = \mathbf{431,2 \text{ mm}}$$

$$V_f = 0,1 \times D_o^3 = 0,1 \times 2^3 \text{ m} = \mathbf{0,8 \text{ m}}$$

Al igual que en el caso de la envolvente de la columna, se usaran dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla de ASME y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación para el fondo tipo Korbogen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)}$$

Donde M es:

$$M = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{1,6128(m)}{0,310(m)}} \right) = 1,32 \text{ m} = \mathbf{1320 \text{ mm}}$$

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)} = \frac{56,9(\text{psi}) \times 1612,8(\text{mm}) \times 1320(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,2 \times 56,9(\text{psi}))}$$

$$= 3,79\text{mm}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = t + c = 3,79\text{mm} + 2,5\text{mm} = 6,29\text{mm}$$

- Según las especificaciones se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c = \frac{2016 \text{ mm}}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = 7,056 \text{ mm}$$

De entre los dos espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 7,056 \text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 8 mm.

Una vez calculado el espesor de la envolvente es preciso comprobarlo para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesfericos a presión externa se procede como sigue:

- Se obtiene el valor de A, a partir de la fórmula

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_o}{t}} = \frac{0,125}{\left(\frac{2016(\text{mm})}{2}\right)} = 8,76 \times 10^{-4}$$

$$\frac{0,125}{8(\text{mm})}$$

- Al igual que ocurría en el caso de la envolvente, al no existir una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar la gráfica, por lo que se calcula P_a de la siguiente manera.

$$P_a = \frac{0,0625 \times E}{\left(\frac{R_o}{t}\right)^2} = \frac{0,0625 \times 3 \times 10^7}{\left(\frac{2016(\text{mm})}{2}\right)^2} = 118,1 \text{ psi} = 8,3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{0,0625 \times 3 \times 10^7}{\left(\frac{2016(\text{mm})}{2}\right)^2}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 118,1 \text{ psi} > 15 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

➤ **Tensiones longitudinales en la envolvente debidas a la presión interior**

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \times (D_c + 2c)}{4 \times (t - c)} = \frac{4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times (2000(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{4 \times (8(mm) - 2,5(mm))} = 364,54 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Pesos de la elevación**

Para saber el peso de la columna completa en conjunto, se debe calcular los pesos de las diferentes partes en las que está compuesta dicha columna de intercambio.

• **Peso de la envolvente**

- L = longitud de la envolvente (m)
- ρ = densidad del material (Kg/m³)
- D_c = di metro interno (m)
- D_o = di metro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \times (D_o^2 - D_c^2) \times L = 7944 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times (2,016^2(m^2) - 2^2(m^2)) \times 2,805 (m)$$

$$P_{EN} = 1431,81 Kg$$

• **Peso del relleno**

Con los volúmenes de cada resina y su densidad se obtiene el peso del relleno

$$P_{resina\ aniónica} = V_R \times \rho_{resina\ aniónica} = 4075L \times 675 \frac{g}{L} = 2750,625 kg$$

$$P_{resina\ inerte} = V_i \times \rho_{resina\ inerte} = 600L \times 620 \frac{g}{L} = 372 kg$$

$$P_{resina} = P_{resina\ aniónica} + P_{resina\ inerte} = 2750,625 Kg + 372 Kg = 3122,625 kg$$

• **Peso de los fondos**

Para este cálculo se debe conocer antes el valor del diámetro del disco (D_d), y el volumen de material que componen el fondo (V_f).

$$D_d = (1,12 \times D_d) + (1,7 \times h) = (1,12 \times 2016(mm)) + (1,7 \times 28(mm)) \\ = 2305,52 mm$$

$$V_F = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (D_d^2) \times (8 \times t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (2305,52^2(mm)^2) \times (8 \times 8(mm)) = 0.267m^3$$

$$P_F = V_F \times \rho = 0,267(m^3) \times 750 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 200,25 Kg$$

- **Peso de los accesorios**

El peso de las tuberías, conexiones y el resto de accesorios de la columna de intercambio aniónico, se puede aproximar con la siguiente expresión.

$$P_{ACC} = 0.05 \times (P_{EN} + P_R + 2P_F) =$$

$$= 0.05 \times (1481,31(Kg) + 3122,625(Kg) + 2 \times 200,25 (Kg))$$

$$P_{ACC} = \mathbf{247,75(Kg)}$$

- **Peso total de la columna**

Sumando todo los pesos calculados obtenemos el valor del peso total de la columna.

$$P_T = P_{EN} + P_R + 2P_F + P_{ACC}$$

$$= 1431,81(Kg) + 3122,625(Kg) + 2 \times 200,25 (Kg) + 247,75(Kg)$$

$$P_T = \mathbf{5202,7 (Kg)}$$

El peso calculado produce una tensión de un valor igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \times P_T \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]} = \frac{4 \times 5202,7(Kg) \times 100}{\pi \times [2016^2(mm^2) - (2000(mm) + 2 \times 2,5(mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = \mathbf{15 \frac{Kg}{cm^2}}$$

➤ **Tensiones debidas a las pruebas**

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. Esta comprobación requiere una serie de ensayos no destructivos, tales como radiográficos, comprobación con líquidos penetrantes para localizar posibles fugas y partículas magnéticas de las soldaduras, una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII div. 1, la presión de prueba para la comprobación del recipiente es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm²

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm²

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm²

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm²

$$P_{Hm} = 1,5 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S} = 1,3 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5,2 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Hay que verificar que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superan el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deber aumentar los espesores de las paredes de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deber tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna del líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_C \times (P_{Hm} + H_t \times 10^{-4})}{4 \times t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción

$$H_t = L + (2 \times H_f) = 2,805(m) + (2 \times 0,431(m)) = 3,66(m)$$

$$\sigma_i = \frac{200(cm) \times (6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) + 366(cm) \times 10^{-4})}{4 \times 0,8(cm)} = 377,3 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times P_W \times 100}{\pi [D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_W = V_W \times \rho_W = (\pi \times R_c^2 \times L + 2 \times V_F) \times \rho_W$$

$$P_W = (\pi \times 1^2(m^2) \times 2,805(m) + 2 \times 0,8(m^3) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)) = 10381,4 Kg$$

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times 10381,4(kg) \times 100}{\pi[201,6^2(cm^2) - (200(cm) + 2 \times 0,25(cm))^2]} = 29,88 \frac{Kg}{cm^2}$$

Se debe de comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90% del límite del material (σ).

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} = 377,3 \frac{Kg}{cm^2} + 29,88 \frac{Kg}{cm^2} = 407,18 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$0,9 \times \sigma = 0,9 \times 2109,55 \frac{Kg}{cm^2} = 1898,6 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} < 0,9 \times \sigma$$

Tabla resumen del dimensionamiento de las columnas:

Variable	C.I. Catiónico	C.I. aniónico
t (mm)	7	8
t _f (mm)	7	8
D (m)	1,8	2
Do (m)	1,814	2,016
Tipos de fondos	Korbogen	Korbogen
H _f (m)	0,387	0,431
V _f (m ³)	0,583	0,8
L (m)	2,698	3,092
H _t (m)	3,214	3,66
P _f (Kg)	141	200,25
P _t (Kg)	3663,12	5202,7

ANEXO II: SISTEMAS DE FILTRACIÓN

FILTRO DE ARENA

Se realiza el diseño del sistema de filtración con arena, que eliminara las sustancias y sólidos en suspensión que son arrastradas desde los baños de lavado o enjuague.

Las sustancias que se retienen por filtración mediante arena son difícilmente cuantificables y no se puede determinar como en el caso del intercambio iónico la capacidad operativa, por lo que el cálculo de la cantidad de relleno de arena es muy complejo.

Por esto, se va a optar por tomar la solución que se toma en la mayoría de las instalaciones de intercambio iónico para producir agua desmineralizada de proceso, en las cuales se precisan de filtros de arena.

En estos casos en función de los valores conocidos como son el caudal y la velocidad de paso, esta última facilitada por el fabricante, se calculara las dimensiones pertinentes para que se asegure que el sistema de filtración realiza sus funciones antes de la entrada del agua en el sistema de intercambio iónico.

Se usara arena de sílice para rellenar el filtro.

De esta forma, el dimensionamiento de las columnas de filtración se realizara como sigue:

$$Q = v \times A$$

Donde:

- **Q:** es el valor del caudal que sale de los baños de tratamiento, en nuestro caso 16 m³/h.
- **v:** es la velocidad de paso a través del medio absorbente, que por recomendaciones tanto de la bibliografía, como del fabricante se estipula en un valor comprendido entre 1 – 30 mm/s. El valor escogido será el valor medio de estos, es decir, 15 mm/s.
- **A:** El área de paso del líquido en cuestión.

$$\left. \begin{array}{l} Q = 16 \frac{m^3}{h} = 4,44 \frac{dm^3}{s} \\ v = 15 \frac{mm}{s} = 0,15 \frac{dm}{s} \end{array} \right\} Q = v \times A \rightarrow A = \frac{Q}{v} = \frac{4,44 \frac{dm^3}{s}}{0,15 \frac{dm}{s}} = 29,3 dm^2 = \mathbf{0,293 m^2}$$

Sabiendo el valor del área, podemos calcular el diámetro de nuestro sistema de filtración.

$$A = \pi \times r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,293 m^2}{\pi}} = 0,305 m$$

$$D = 2 \times r = 2 \times 0,305 m = \mathbf{0.61m}$$

En función de las especificaciones del fabricante, la altura del lecho para este tipo de carbón activo y este diámetro, tiene que ser de $h_l=0,7m$.

Calculamos el volumen de carbón activado en función de las dimensiones del sistema absvedor:

$$V_{arena} = A \times h_l = 0,293 m^2 \times 0,7 m = 0,205 m^3$$

$$V_{arena} = 0,205 m^3 = \mathbf{205 Kg de arena}$$

La altura de la zona libre (freeboard) (h_{FB}): en este caso se toma el valor de la bibliografía, en el cual se nos recomienda un h_{FB} de 100 mm (0.1 m).

Por lo que la altura cilíndrica de la columna h_c :

$$h_c = h_{le} + h_{FB} = 0,7 m + 0.1 m = \mathbf{0,8 m}$$

Según especificaciones bibliográficas se aconseja que el valor del cociente de la altura cilíndrica y el diámetro deba estar comprendido entre $2/3$ y $3/2$.

$$\frac{H}{D} = \frac{h_c}{D_c} = \frac{0,8 m}{0,61 m} = \mathbf{1,31}$$

$$\frac{2}{3} < 1,31 < \frac{3}{2}$$

DISEÑO MECANICO DEL FILTRO DE ARENA

El material que vamos a utilizar para el diseño del filtro de carbón activo es el poliéster con fibra de vidrio (PRFV), cuyas principales características son las siguientes:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	91774,5 Kg/cm ² (1,3x10 ⁶ psi)
Limite elástico (e)	1529,57 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ _R)	1172,63 Kg/cm ²
Eficiencia de la soldadura (ε)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	Kg/cm ² (8702,21psi)
Densidad (ρ)	1300 Kg/ m ³

- **Espesor de la Envolvente**

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales, siendo el valor de las primeras el doble que el de las segundas.

Este cálculo se puede hacer de dos formas distintas

a) Según las especificaciones.

Se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{610mm}{1000} + 2,54 + 2,5 mm = \mathbf{5,65mm}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión (c) de 2.5 mm

b) Por tensión circunferencial

- En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el obtenido en el apartado anterior.

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 610(mm) + (2 \times 5,65(mm)) = 621,3mm = \mathbf{0,6213m}$$

$$t = \frac{P \times D_o}{(2 \times S \times E) + 0,8P} + c = \frac{56,9(psi) \times 621,3(mm)}{(2 \times 8702,21 \times 0,85) + (0,8 \times 56,9(psi))} + 2,5(mm)$$

$$\mathbf{t = 4,88mm}$$

- En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \times (D + 2c)}{(2 \times S \times E) + 1,2P} + c = \frac{56,9(\text{psi}) \times (610(\text{mm}) + 2 \times 2,5(\text{mm}))}{(2 \times 8702,21(\text{psi}) \times 0,85) + (1,2 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5$$

$$t = 4,85\text{mm}$$

De entre todos los espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,65 \text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 6 mm . Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 610(\text{mm}) + (2 \times 6(\text{mm})) = 622\text{mm} = \mathbf{0,622m}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

- **A** = Factor función de las dimensiones del recipiente
- **B** = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.
- **D_o** = Diámetro exterior, en mm
- **E** = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi
- **L** = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_c + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 1800(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 145(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 145(\text{mm}) = \mathbf{1896,7 \text{ mm}}$$

- **Pe** = presión extrema de diseño ($P = 1,05 \text{ Kg/cm}^2$)
- **Pa** = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2
- **t** = Espesor de la envolvente, en m
- **c** = Sobreespesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

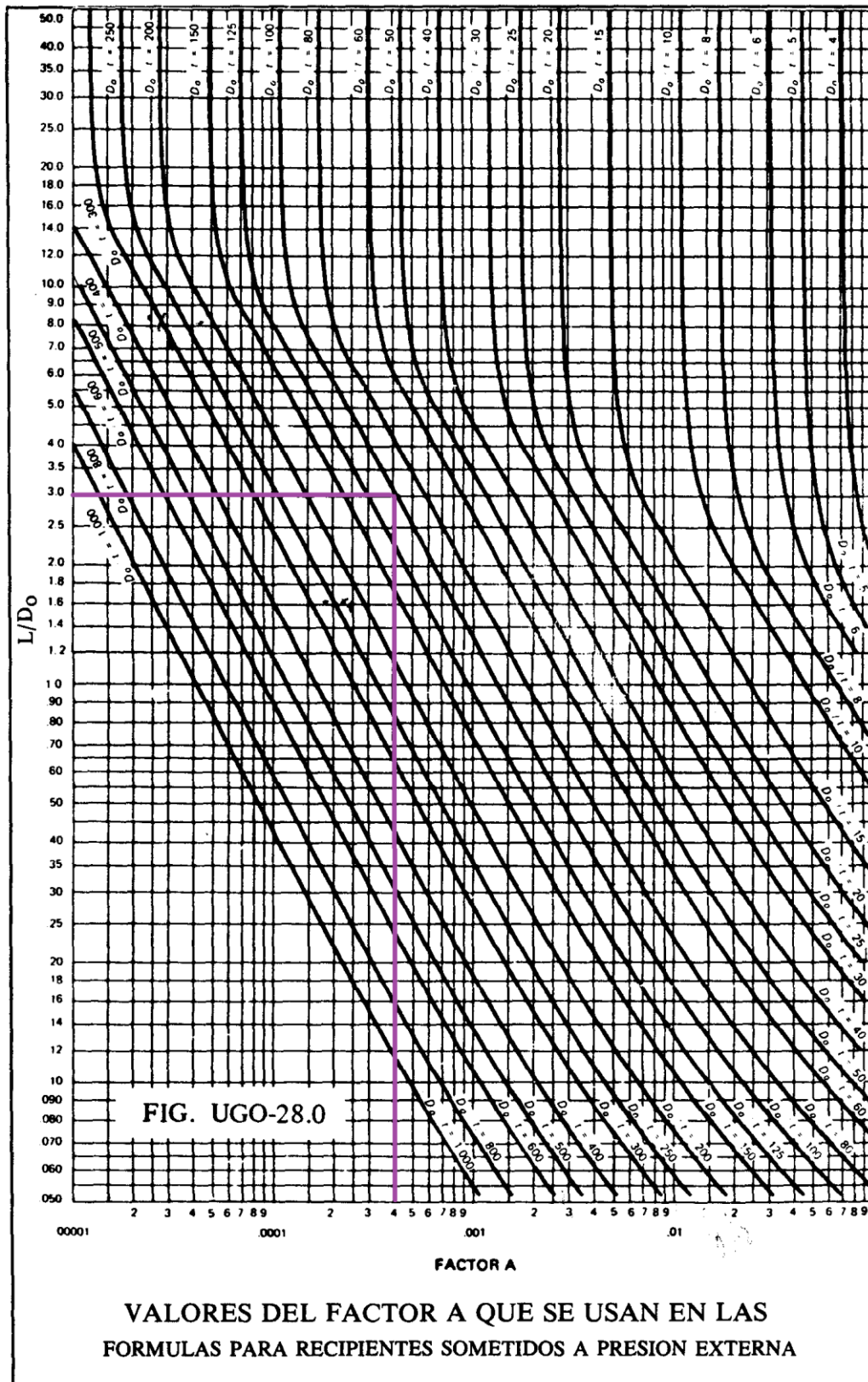
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- A. Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1896,7(mm)}{622(mm)} = 3,05$$

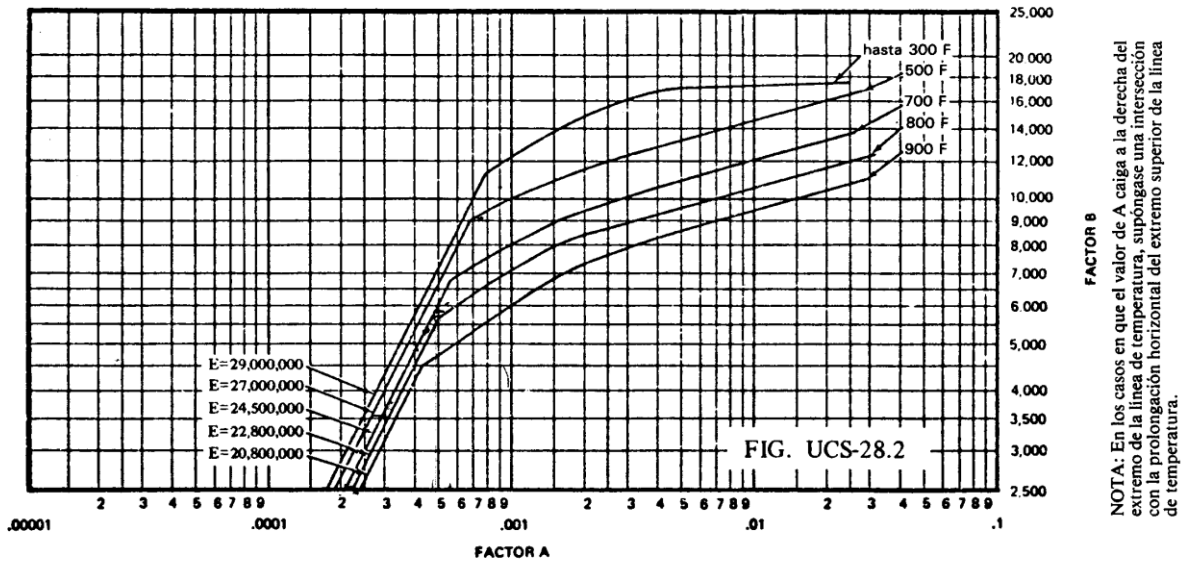
$$\frac{D_o}{t} = \frac{622(mm)}{6(mm)} = 103$$

- B. Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A = 0,0004

C. Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



VALORES DEL FACTOR B
QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear ($1,3 \times 10^6$ psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0.0004 \times 1,3 \times 10^6 (psi)}{3 \times \left(\frac{622 (mm)}{6 (mm)}\right)} = 3,34 psi$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 3,34 psi > 14,7 psi \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ no es correcto}$$

Como el valor de Pa es muy bajo recalcularemos el valor del espesor hasta encontrar el que satisfaga la ecuación anterior.

De esta manera se ha determinado que el valor de $t = 12$ mm, recalculando todos los datos anteriores.

Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 610 (mm) + (2 \times 12 (mm)) = 634 mm = 0,634 m$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

- **A** = Factor función de las dimensiones del recipiente
- **B** = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.
- **D_o** = Diámetro exterior, en mm
- **E** = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi
- **L** = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_C + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 1800(mm) + \frac{1}{3} \times 168,8(mm) + \frac{1}{3} \times 168,8(mm) = \mathbf{1912,53\ mm}$$

- **P_e** = presión extrema de diseño ($P = 1,05\ Kg/cm^2$)
- **P_a** = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2
- **t** = Espesor de la envolvente, en m
- **c** = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

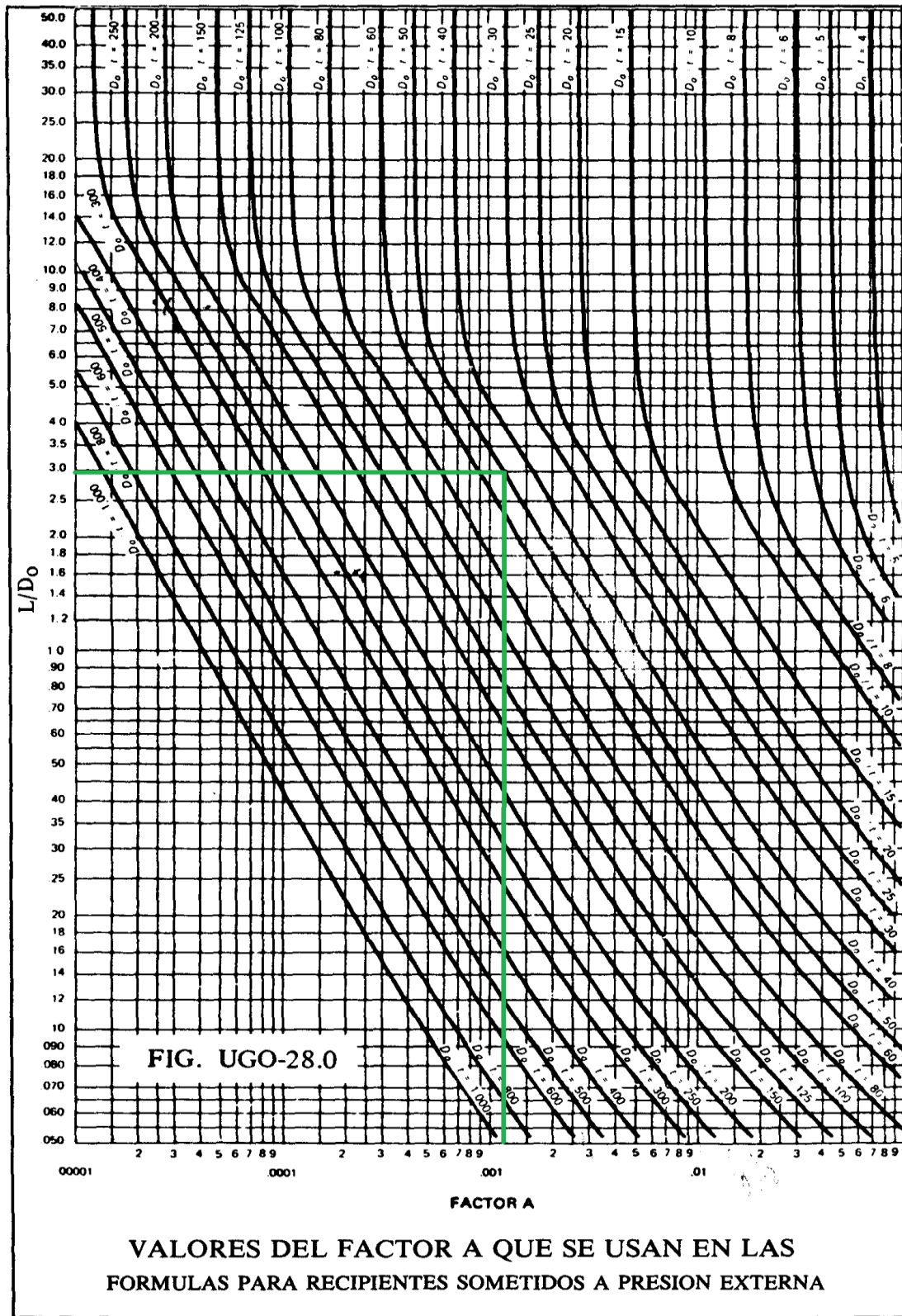
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- A. Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1912,53(mm)}{634(mm)} = 3,01$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{634(mm)}{12\ (mm)} = 52,8$$

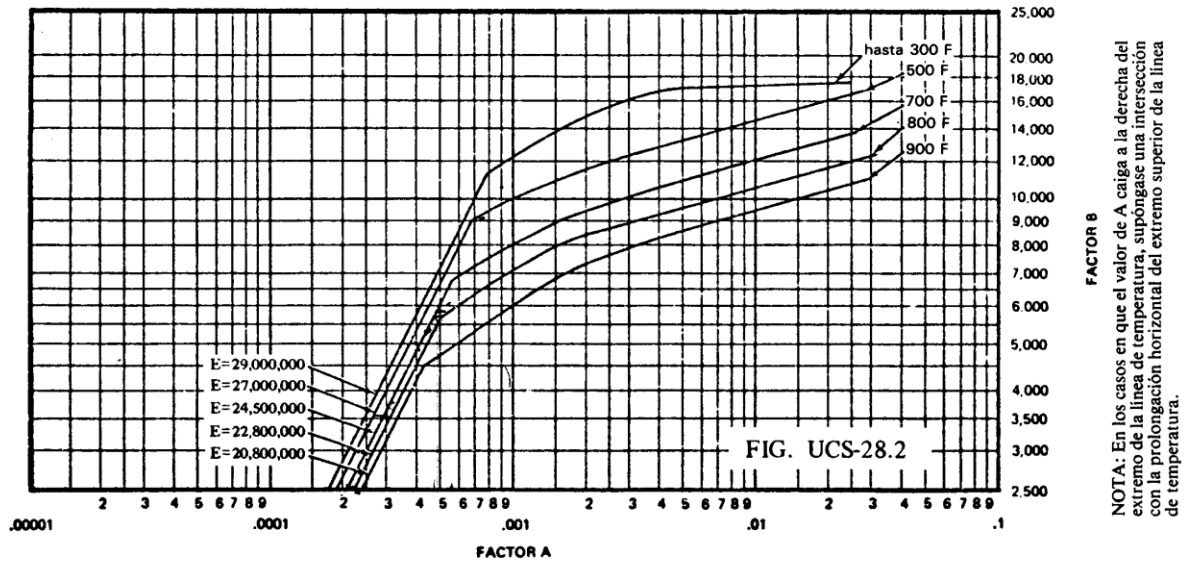
- B. Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION EXTERNA

A = 0,00115

- C. Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



NOTA: En los casos en que el valor de A caiga a la derecha del extremo de la línea de temperatura, supóngase una intersección con la prolongación horizontal del extremo superior de la línea de temperatura.

VALORES DEL FACTOR B
QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

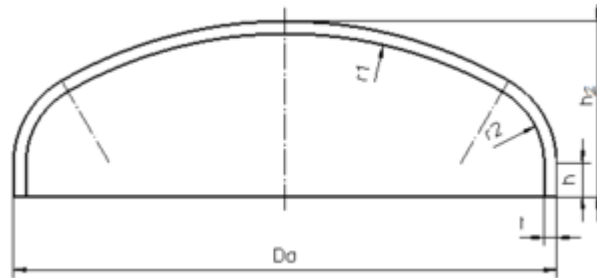
Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear ($1,3 \times 10^6$ psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0,00115 \times 1,3 \times 10^6 (psi)}{3 \times \left(\frac{622(mm)}{12(mm)}\right)} = 18,86 \text{ psi}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 18,86 \text{ psi} > 14,7 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

Características de los fondos

Para los filtros de arena se usaran fondos toriesféricos tipo Korbbogen Boden cuyo esquema:



En función del diámetro exterior D_o calcularemos las dimensiones de los fondos:

$$\underline{D_o = 0,634m}$$

$$R = 0,8 \times D_o = 0,8 \times 0,634 \text{ m} = \mathbf{0,5 \text{ m}}$$

$$r = \frac{D_o}{6,5} = \frac{0,634m}{6,5} = \mathbf{0,097 \text{ m} = 97,5 \text{ mm}}$$

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 0,634 \text{ m} = \mathbf{0,126 \text{ m} = 126,8 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 \times t_f = 3,5 \times 12 \text{ mm} = \mathbf{42 \text{ mm}}$$

$$h_f = H + h = 126,8\text{mm} + 42\text{mm} = \mathbf{168,8\text{mm}}$$

$$V_f = 0,1 \times D_o^3 = 0,1 \times 0,634^3 \text{ m} = \mathbf{0,025 \text{ m}}$$

Al igual que en el caso de la envolvente del filtro, se usaran dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla de ASME y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación para el fondo tipo Korbbogen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)}$$

Donde M es:

$$M = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{0,5(m)}{0,097(m)}} \right) = 1,31 \text{ m} = \mathbf{1317\text{mm}}$$

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)} = \frac{56,9(\text{psi}) \times 500(\text{mm}) \times 1317(\text{mm})}{(2 \times 8702,21(\text{psi}) \times 0,85) + (0,2 \times 56,9(\text{psi}))}$$

$$= \mathbf{2,530,8\text{mm}}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = t + c = 2,530\text{mm} + 2,5\text{mm} = \mathbf{5,03\text{mm}}$$

- Según las especificaciones se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c = \frac{634\text{mm}}{1000} + 2,54 + 2,5\text{ mm} = \mathbf{5,67\text{ mm}}$$

De entre los dos espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,67\text{ mm}$, aunque normalizando el valor es de 6 mm.

Una vez calculado el espesor de la envolvente es preciso comprobarlo para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesfericos a presión externa se procede como sigue:

- a) Se obtiene el valor de A, a partir de la fórmula:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_o}{t}} = \frac{0,125}{\left(\frac{634(\text{mm})}{2}\right)} = 2,36 \times 10^{-3}$$

- b) Al igual que ocurría en el caso de la envolvente, al no existir una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar la gráfica, por lo que se calcula P_a de la siguiente manera.

$$P_a = \frac{0,0625 \times E}{\left(\frac{R_o}{t}\right)^2} = \frac{0,0625 \times 1,3 \times 10^6}{\left(\frac{\left(\frac{634(\text{mm})}{2}\right)}{6(\text{mm})}\right)^2} = 29,10\text{ psi}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 29,10\text{ psi} > 14,7\text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

➤ **Tensiones longitudinales en la envolvente debidas a la presión interior**

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \times (D_c + 2c)}{4 \times (t - c)} = \frac{4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times (610(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{4 \times (12(mm) - 2,5(mm))} = 64,73 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Pesos de la elevación**

Para saber el peso de la columna completa en conjunto, se debe calcular los pesos de las diferentes partes en las que está compuesta dicha columna de intercambio.

• **Peso de la envolvente**

- L = longitud de la envolvente (m)
- ρ = densidad del material (Kg/m³)
- D_c = di metro interno (m)
- D_o = di metro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \times (D_o^2 - D_c^2) \times L = 1300 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times (0,634^2(m^2) - 0,61^2(m^2)) \times 1,800 (m)$$

$$P_{EN} = 74,21 Kg$$

• **Peso del relleno**

Se calcula en función del volumen de arena dentro del sistema filtrante y de la densidad de esta.

$$P_{arena} = V_{arena} \times \rho_{arena} = 205 L \times 2330 \frac{g}{L} = 477,65kg$$

• **Peso de los fondos**

Para este cálculo se debe conocer antes el valor del diámetro del disco (D_d), y el volumen de material que componen el fondo (V_f).

$$D_d = (1,12 \times D_o) + (1,7 \times h) = (1,12 \times 634(mm)) + (1,7 \times 42(mm)) = 781,48 mm$$

$$V_f = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (D_d^2) \times (8 \times t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (781,48^2 (mm)^2) \times (8 \times 6(mm)) = 0.023m^3$$

$$P_f = V_f \times \rho = 0,023(m^3) \times 1300 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 29,93 Kg$$

- **Peso de los accesorios**

El peso de las tuberías, conexiones y el resto de accesorios de la columna de intercambio catiónico, se puede aproximar con la siguiente expresión.

$$P_{ACC} = 0.05 \times (P_{EN} + P_A + 2P_F) = 0.05 \times (74,21(Kg) + 477,65(Kg) + 2 \times 29,3(Kg))$$

$$P_{ACC} = 30,52(Kg)$$

- **Peso total de la columna**

Sumando todo los pesos calculados obtenemos el valor del peso total de la columna.

$$P_T = P_{EN} + P_A + 2P_F + P_{ACC} = 74,21(Kg) + 477,65(Kg) + 2 \times 29,3(Kg) + 30,52(Kg)$$

$$P_T = 640,98(Kg)$$

El peso calculado produce una tensión de un valor igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \times P_T \times 100}{\pi [D_o^2 - (D_c + 2 \times c)^2]} = \frac{4 \times 640,98(Kg) \times 100}{\pi \times [634^2(mm^2) - (610(mm) + 2 \times 2,5(mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = 3,44 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Tensiones debidas a las pruebas**

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. Esta comprobación requiere una serie de ensayos no destructivos, tales como radiográficos, comprobación con líquidos penetrantes para localizar posibles fugas y partículas magnéticas de las soldaduras, una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII div. 1, la presión de prueba para la comprobación del recipiente es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm²

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm²

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm²

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm²

$$P_{Hm} = 1,5 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S} = 1,3 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5,2 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Hay que verificar que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superan el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deber aumentar los espesores de las paredes de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deber tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna del líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_C \times (P_{Hm} + H_t \times 10^{-4})}{4 \times t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción

$$H_t = L + (2 \times H_f) = 1,8 (m) + (2 \times 0,168(m)) = 2,136 (m)$$

$$\sigma_i = \frac{61(cm) \times (6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) + 213,6(cm) \times 10^{-4})}{4 \times 1,2(cm)} = 76,52 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times P_W \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_W = V_W \times \rho_W = (\pi \times R_c^2 \times L + 2 \times V_F) \times \rho_W$$

$$P_W = (\pi \times 0,305^2 (m^2) \times 1,80(m) + 2 \times 0,025(m^3)) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 574,34 Kg$$

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times 574,34(kg) \times 100}{\pi[63,4^2 (cm^2) - (61(cm) + 2 \times 0,25(cm))^2]} = 3,08 \frac{Kg}{cm^2}$$

Se debe de comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90% del límite del material (σ).

$$\sigma_i + \sigma_{\text{Agua}} = 574,34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 3,08 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 577,42 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

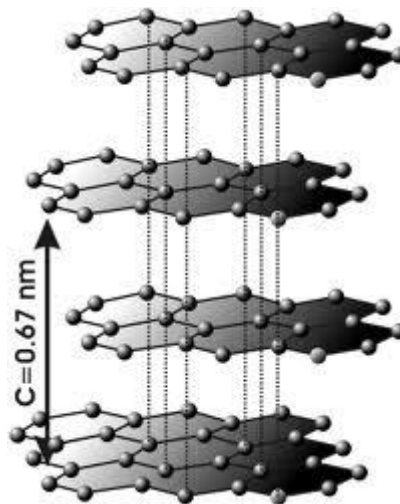
$$0,9 \times \sigma = 0,9 \times 2109,55 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 1898,6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_i + \sigma_{\text{Agua}} < 0,9 \times \sigma$$

FILTRO DE CARBÓN ACTIVO

La adsorción es un proceso de separación, en el cual algunos de los componentes presentes en una mezcla gaseosa o líquida son selectivamente transferidos a la superficie de un sólido, donde los componentes son mantenidos reversiblemente o irreversiblemente.

Hay un amplio espectro de carbones activos, que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna, (poros y superficie de los mismos) y granulometría. Con la activación se confiere al carbón una elevada porosidad que permite elevar la superficie interna (hasta 1300 m²/gramo de carbón activo) y como consecuencia su poder de retención.



El carbón activo se presenta en forma granular y en polvo.

Las principales aplicaciones del carbón activo son la eliminación de color de las aguas residuales, así como de ciertos compuestos como fenoles, en plantas petroquímicas y refinerías.

En el presente proyecto se va a llevar a cabo el diseño de un filtro de carbón activo, que eliminara las sustancias que no han sido retenidas por el filtro de arena anterior.

Las sustancias que se retienen por adsorción mediante el carbón activo son difícilmente cuantificables y no se puede determinar como en el caso del intercambio iónico la capacidad operativa, por lo que el cálculo de la cantidad de relleno de carbón activo es muy complejo.

Por esto, se va a optar por tomar la solución que se toma en la mayoría de las instalaciones de intercambio iónico para producir agua desmineralizada de proceso, en las cuales se precisan de filtros de carbón activo.

En estos casos en función de los valores conocidos como son el caudal y la velocidad de paso, esta última facilitada por el fabricante, se calculará las dimensiones pertinentes para que se asegure que el sistema de filtración realiza sus funciones antes de la entrada del agua en el sistema de intercambio iónico.

El carbón activo que vamos a utilizar es de la empresa NORIT (NORIT GAC 1240)

De esta forma, el dimensionamiento de las columnas de filtración se realizará como sigue:

$$Q = v \times A$$

Donde:

- **Q:** es el valor del caudal que sale de los baños de tratamiento, en nuestro caso $16 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **v:** es la velocidad de paso a través del medio absorbente, que por recomendaciones tanto de la bibliografía, como del fabricante se estipula en un valor comprendido entre $1 - 30 \text{ mm/s}$. El valor escogido será el valor medio de estos, es decir, 15 mm/s .
- **A:** El área de paso del líquido en cuestión.

$$\left. \begin{array}{l} Q = 16 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 4,44 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \\ v = 15 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 0,15 \frac{\text{dm}}{\text{s}} \end{array} \right\} Q = v \times A \rightarrow A = \frac{Q}{v} = \frac{4,44 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}}{0,15 \frac{\text{dm}}{\text{s}}} = 29,3 \text{ dm}^2 = \mathbf{0,293 \text{ m}^2}$$

Sabiendo el valor del área, podemos calcular el diámetro de nuestro sistema de filtración.

$$A = \pi \times r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,293 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,305 \text{ m}$$

$$D = 2 \times r = 2 \times 0,305 \text{ m} = \mathbf{0,61 \text{ m}}$$

En función de las especificaciones del fabricante, la altura del lecho para este tipo de carbón activo y este diámetro, tiene que ser de $h_l=0,7m$.

Calculamos el volumen de carbón activado en función de las dimensiones del sistema absolvedor:

$$V_{\text{Carbón activo}} = A \times h_l = 0,293 \text{ m}^2 \times 0,7 \text{ m} = 0,205 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Carbón activo}} = 0,205 \text{ m}^3 = \mathbf{205 \text{ Kg de carbón activo}}$$

La altura de la zona libre (freeboard) (h_{FB}): en este caso se toma el valor de la bibliografía, en el cual se nos recomienda un h_{FB} de 100 mm (0.1 m).

Por lo que la altura cilíndrica de la columna h_c :

$$h_c = h_{le} + h_{FB} = 0,7 \text{ m} + 0.1 \text{ m} = \mathbf{0,8 \text{ m}}$$

Según especificaciones bibliográficas se aconseja que el valor del cociente de la altura cilíndrica y el diámetro deba estar comprendido entre $2/3$ y $3/2$.

$$\frac{H}{D} = \frac{h_c}{D_c} = \frac{0,8 \text{ m}}{0,61 \text{ m}} = \mathbf{1,31}$$

$$\frac{2}{3} < 1,31 < \frac{3}{2}$$

DISEÑO MECANICO DEL FILTRO DE ARENA

El material que vamos a utilizar para el diseño del filtro de carbón activo es el poliéster con fibra de vidrio (PRFV), cuyas principales características son las siguientes:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	91774,5 Kg/cm ² (1,3x10 ⁶ psi)
Limite elástico (e)	1529,57 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ _R)	1172,63 Kg/cm ²
Eficiencia de la soldadura (ε)	0,85
Esfuerzo máximo permisible (S)	Kg/cm ² (8702,21psi)
Densidad (ρ)	1300 Kg/ m ³

- **Espesor de la Envolvente**

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales, siendo el valor de las primeras el doble que el de las segundas.

Este cálculo se puede hacer de dos formas distintas

a) Según las especificaciones.

Se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{610mm}{1000} + 2,54 + 2,5 mm = \mathbf{5,65mm}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión (c) de 2.5 mm

b) Por tensión circunferencial

- En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el obtenido en el apartado anterior.

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 610(mm) + (2 \times 5,65(mm)) = 621,3mm = \mathbf{0,6213m}$$

$$t = \frac{P \times D_o}{(2 \times S \times E) + 0,8P} + c = \frac{56,9(psi) \times 621,3(mm)}{(2 \times 8702,21 \times 0,85) + (0,8 \times 56,9(psi))} + 2,5(mm)$$

$$\mathbf{t = 4,88mm}$$

- En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \times (D + 2c)}{(2 \times S \times E) + 1,2P} + c = \frac{56,9(\text{psi}) \times (610(\text{mm}) + 2 \times 2,5(\text{mm}))}{(2 \times 8702,21(\text{psi}) \times 0,85) + (1,2 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5$$

$$t = 4,85\text{mm}$$

De entre todos los espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,65 \text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 6 mm . Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 610(\text{mm}) + (2 \times 6(\text{mm})) = 622\text{mm} = \mathbf{0,622m}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

- **A** = Factor función de las dimensiones del recipiente
- **B** = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.
- **D_o** = Diámetro exterior, en mm
- **E** = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi
- **L** = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_c + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 1800(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 145(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 145(\text{mm}) = \mathbf{1896,7 \text{ mm}}$$

- **Pe** = presión extrema de diseño ($P = 1,05 \text{ Kg/cm}^2$)
- **Pa** = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2
- **t** = Espesor de la envolvente, en m
- **c** = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

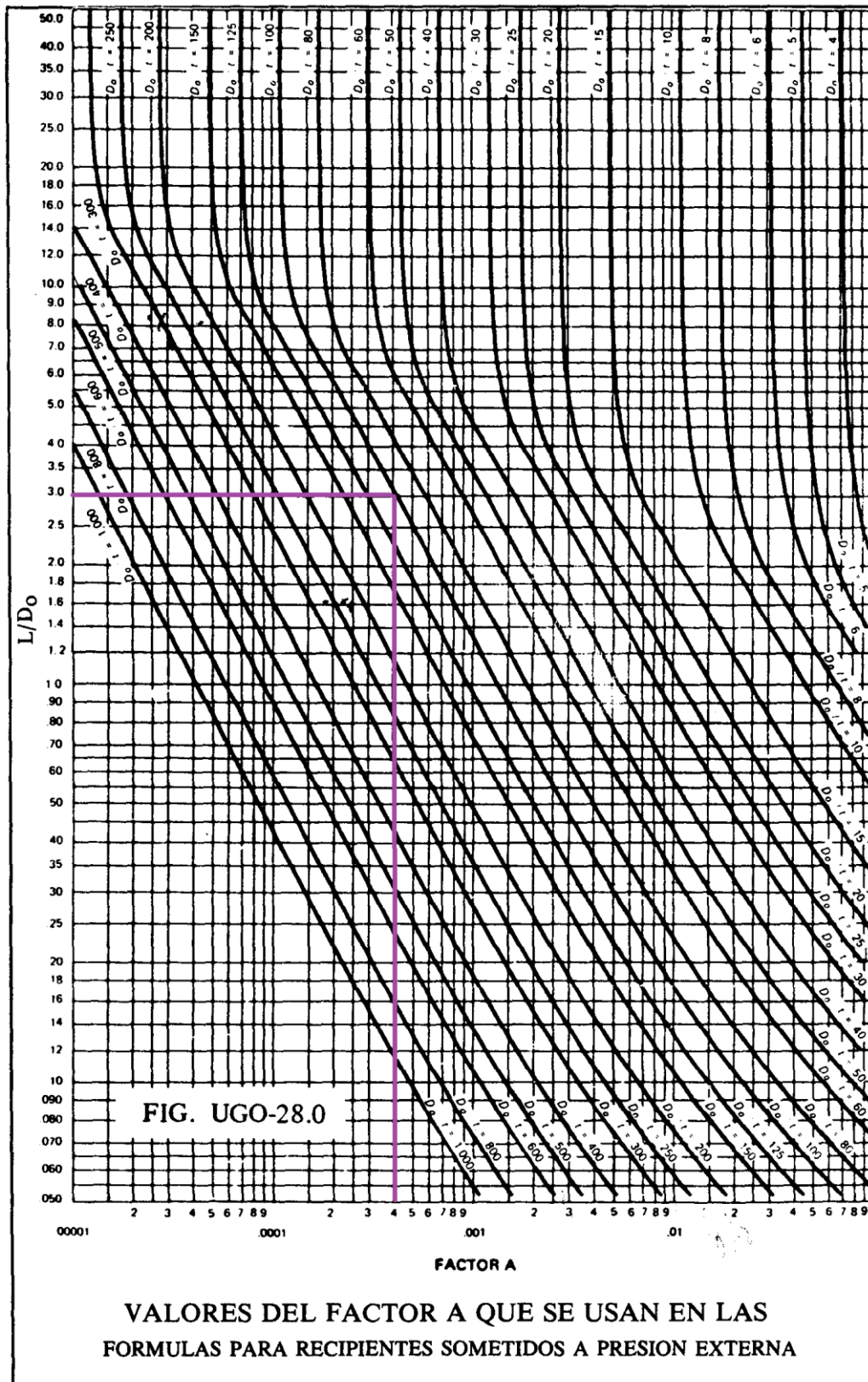
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- A. Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1896,7(mm)}{622(mm)} = 3,05$$

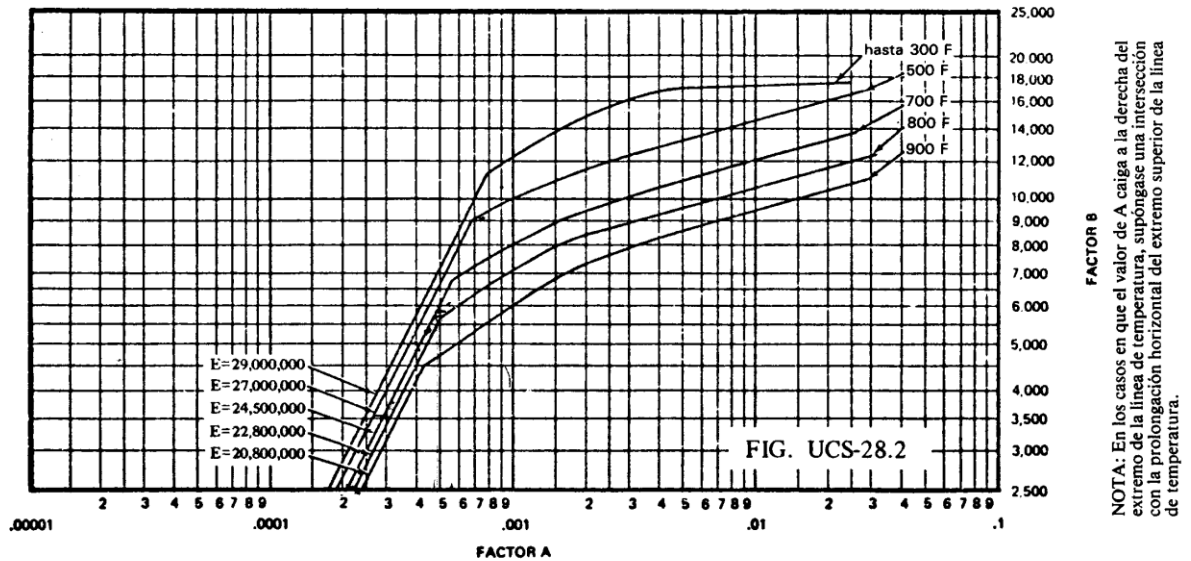
$$\frac{D_o}{t} = \frac{622(mm)}{6(mm)} = 103$$

- B. Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A= 0,0004

- C. Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



NOTA: En los casos en que el valor de A caiga a la derecha del extremo de la línea de temperatura, supóngase una intersección con la prolongación horizontal del extremo superior de la línea de temperatura.

VALORES DEL FACTOR B

QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear ($1,3 \times 10^6$ psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0.0004 \times 1,3 \times 10^6 (psi)}{3 \times \left(\frac{622(mm)}{6(mm)}\right)} = 3,34 psi$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 3,34 psi > 14,7 psi \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ no es correcto}$$

Como el valor de P_a es muy bajo recalcularemos el valor del espesor hasta encontrar el que satisfaga la ecuación anterior.

De esta manera se ha determinado que el valor de $t = 12$ mm, recalculando todos los datos anteriores.

Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 610(mm) + (2 \times 12(mm)) = 634mm = \mathbf{0,634m}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

- **A** = Factor función de las dimensiones del recipiente
- **B** = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.
- **D_o** = Diámetro exterior, en mm
- **E** = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi
- **L** = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_C + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 1800(mm) + \frac{1}{3} \times 168,8(mm) + \frac{1}{3} \times 168,8(mm) = \mathbf{1912,53 mm}$$

- **Pe** = presión extrema de diseño ($P = 1,05 \text{ Kg/cm}^2$)
- **Pa** = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2
- **t** = Espesor de la envolvente, en m
- **c** = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, Pa, que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

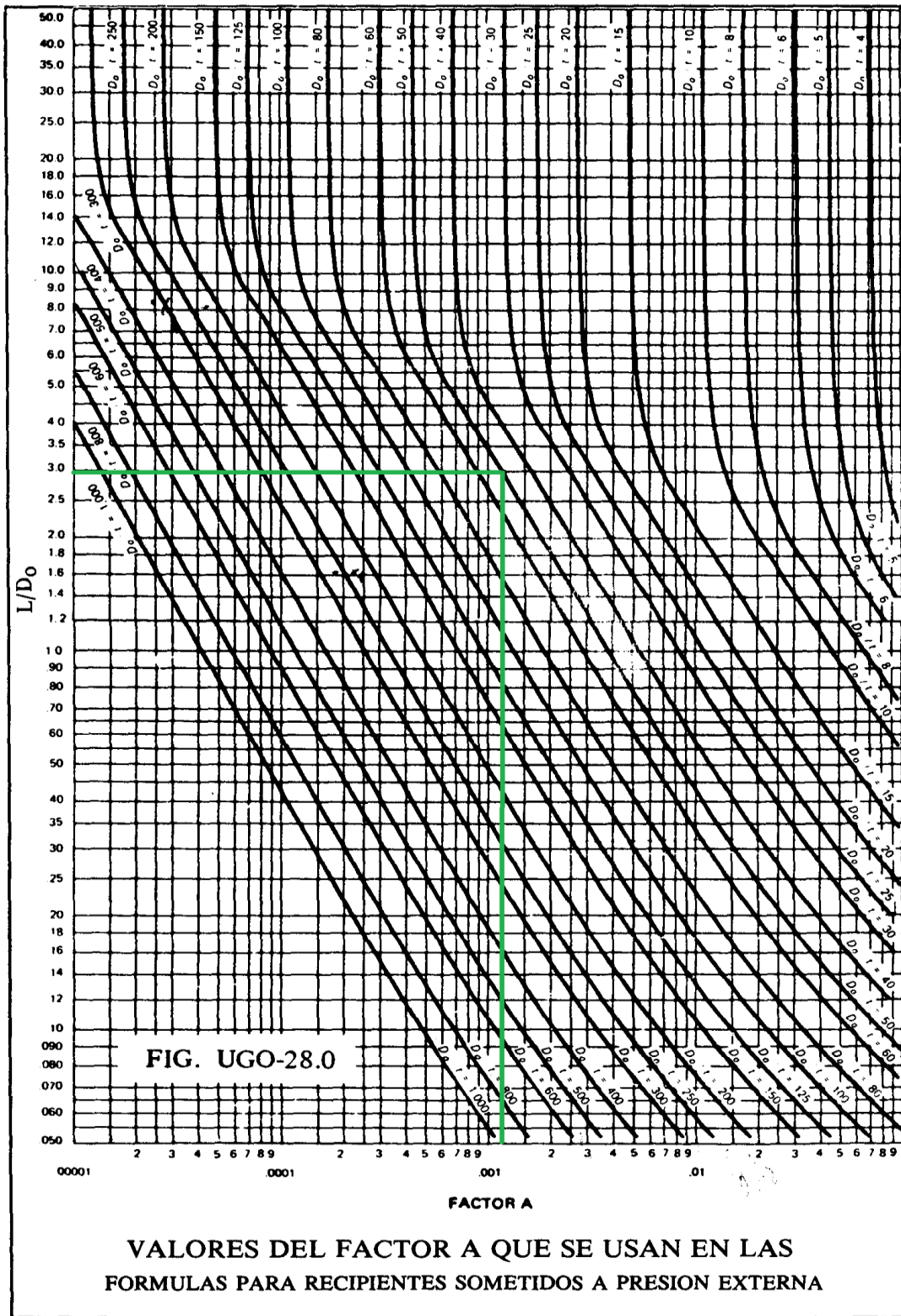
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- A. Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1912,53(mm)}{634(mm)} = 3,01$$

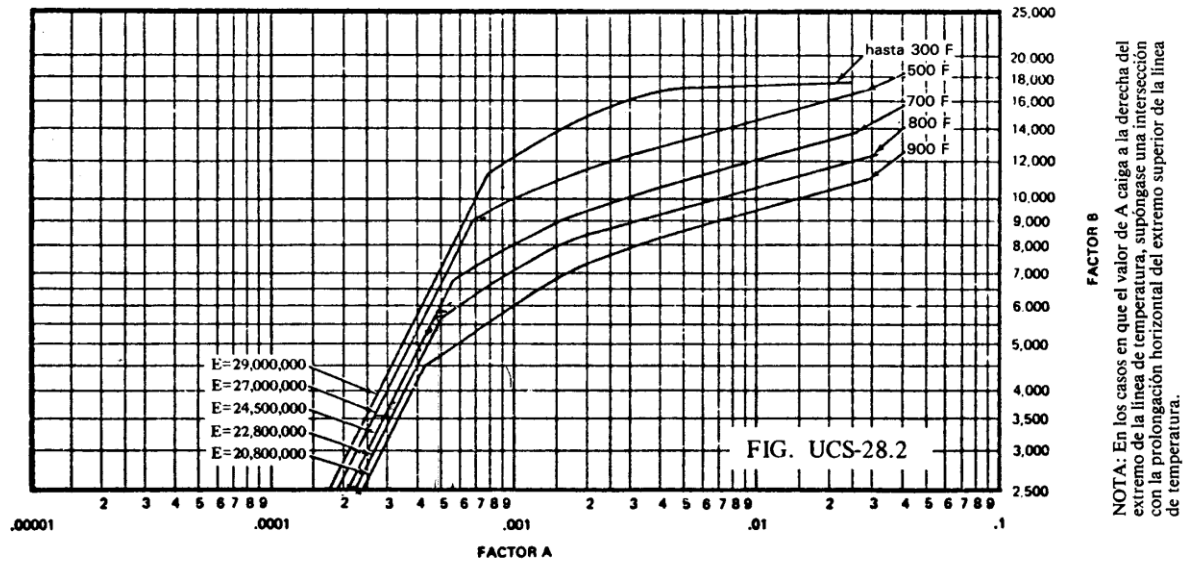
$$\frac{D_o}{t} = \frac{634(mm)}{12(mm)} = 52,8$$

- B. Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A= 0,00115

- C. Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



VALORES DEL FACTOR B
QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

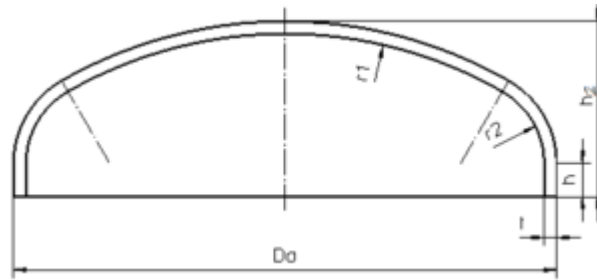
Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear ($1,3 \times 10^6$ psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0,00115 \times 1,3 \times 10^6 (psi)}{3 \times \left(\frac{622(mm)}{12(mm)}\right)} = 18,86 \text{ psi}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 18,86 \text{ psi} > 14,7 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

Características de los fondos

Para los filtros de arena se usaran fondos toriesféricos tipo Korbboegen Boden cuyo esquema:



En función del diámetro exterior D_o calcularemos las dimensiones de los fondos:

$$\underline{D_o = 0,634m}$$

$$R = 0,8 \times D_o = 0,8 \times 0,634 \text{ m} = \mathbf{0,5 \text{ m}}$$

$$r = \frac{D_o}{6,5} = \frac{0,634m}{6,5} = \mathbf{0,097 \text{ m} = 97,5 \text{ mm}}$$

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 0,634 \text{ m} = \mathbf{0,126 \text{ m} = 126,8 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 \times t_f = 3,5 \times 12 \text{ mm} = \mathbf{42 \text{ mm}}$$

$$h_f = H + h = 126,8\text{mm} + 42\text{mm} = \mathbf{168,8\text{mm}}$$

$$V_f = 0,1 \times D_o^3 = 0,1 \times 0,634^3 \text{ m} = \mathbf{0,025 \text{ m}}$$

Al igual que en el caso de la envolvente de la columna, se usaran dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla de ASME y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación para el fondo tipo Korbboegen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)}$$

Donde M es:

$$M = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{0,5(m)}{0,097(m)}} \right) = 1,31 \text{ m} = \mathbf{1317\text{mm}}$$

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)} = \frac{56,9(\text{psi}) \times 500(\text{mm}) \times 1317(\text{mm})}{(2 \times 8702,21(\text{psi}) \times 0,85) + (0,2 \times 56,9(\text{psi}))}$$

$$= \mathbf{2,530,8\text{mm}}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = t + c = 2,530\text{mm} + 2,5\text{mm} = \mathbf{5,03\text{mm}}$$

- Según las especificaciones se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c = \frac{634\text{mm}}{1000} + 2,54 + 2,5\text{ mm} = \mathbf{5,67\text{ mm}}$$

De entre los dos espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,67\text{ mm}$, aunque normalizando el valor es de 6 mm.

Una vez calculado el espesor de la envolvente es preciso comprobarlo para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesfericos a presión externa se procede como sigue:

- a) Se obtiene el valor de A, a partir de la fórmula:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_o}{t}} = \frac{0,125}{\left(\frac{634(\text{mm})}{2}\right)} = 2,36 \times 10^{-3}$$

- b) Al igual que ocurría en el caso de la envolvente, al no existir una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar la gráfica, por lo que se calcula P_a de la siguiente manera.

$$P_a = \frac{0,0625 \times E}{\left(\frac{R_o}{t}\right)^2} = \frac{0,0625 \times 1,3 \times 10^6}{\left(\frac{\left(\frac{634(\text{mm})}{2}\right)}{6(\text{mm})}\right)^2} = \mathbf{29,10\text{ psi}}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 29,10\text{ psi} > 14,7\text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor (t) es correcto}$$

➤ **Tensiones longitudinales en la envoltura debidas a la presión interior**

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \times (D_c + 2c)}{4 \times (t - c)} = \frac{4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times (610(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{4 \times (12(mm) - 2,5(mm))} = 64,73 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Pesos de la elevación**

Para saber el peso de la columna completa en conjunto, se debe calcular los pesos de las diferentes partes en las que está compuesta dicha columna de intercambio.

• **Peso de la envoltura**

- L = longitud de la envoltura (m)
- ρ = densidad del material (Kg/m^3)
- D_c = di metro interno (m)
- D_o = di metro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \times (D_o^2 - D_c^2) \times L = 1300 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times (0,634^2(m^2) - 0,61^2(m^2)) \times 1,800 (m)$$

$$P_{EN} = 74,21 Kg$$

• **Peso del relleno**

Se calcula en función del volumen de arena dentro del sistema filtrante y de la densidad de esta.

$$P_{Carbon\ activo} = V_{Carbon\ activo} \times \rho_{Carbon\ activo} = 205 L \times 600 \frac{g}{L} = 123 Kg$$

• **Peso de los fondos**

Para este cálculo se debe conocer antes el valor del diámetro del disco (D_d), y el volumen de material que componen el fondo (V_f).

$$D_d = (1,12 \times D_o) + (1,7 \times h) = (1,12 \times 634(mm)) + (1,7 \times 42(mm)) = 781,48 mm$$

$$V_f = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (D_d^2) \times (8 \times t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (781,48^2 (mm)^2) \times (8 \times 6(mm)) = 0.023m^3$$

$$P_f = V_f \times \rho = 0,023(m^3) \times 1300 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 29,93 Kg$$

• **Peso de los accesorios**

El peso de las tuberías, conexiones y el resto de accesorios de la columna de intercambio catiónico, se puede aproximar con la siguiente expresión.

$$P_{ACC} = 0,05 \times (P_{EN} + P_{CA} + 2P_f) = 0,05 \times (74,21(Kg) + 123(Kg) + 2 \times 29,3(Kg))$$

$$P_{ACC} = 12,8(Kg)$$

- **Peso total de la columna**

Sumando todo los pesos calculados obtenemos el valor del peso total de la columna.

$$P_T = P_{EN} + P_{CA} + 2P_F + P_{ACC} = 74,21(Kg) + 123(Kg) + 2 \times 29,3 (Kg) + 12,8(Kg)$$

$$P_T = 268,61 (Kg)$$

El peso calculado produce una tensión de un valor igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \times P_T \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]} = \frac{4 \times 268,1(Kg) \times 100}{\pi \times [634^2(mm^2) - (610(mm) + 2 \times 2,5(mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = 1,44 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Tensiones debidas a las pruebas**

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. Esta comprobación requiere una serie de ensayos no destructivos, tales como radiográficos, comprobación con líquidos penetrantes para localizar posibles fugas y partículas magnéticas de las soldaduras, una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII div. 1, la presión de prueba para la comprobación del recipiente es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm²

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm²

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm²

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm²

$$P_{Hm} = 1,5 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S} = 1,3 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5,2 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Hay que verificar que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superan el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deber aumentar los espesores de las paredes de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deber tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna del líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_C \times (P_{Hm} + H_t \times 10^{-4})}{4 \times t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción

$$H_t = L + (2 \times H_f) = 1,8 (m) + (2 \times 0,168(m)) = \mathbf{2,136 (m)}$$

$$\sigma_i = \frac{61(cm) \times (6 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right) + 213,6(cm) \times 10^{-4})}{4 \times 1,2(cm)} = \mathbf{76,52 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)}$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times P_W \times 100}{\pi[D_O^2 - (D_C + 2 \times c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_W = V_W \times \rho_W = (\pi \times R_c^2 \times L + 2 \times V_F) \times \rho_W$$

$$P_W = (\pi \times 0,305^2(m^2) \times 1,80(m) + 2 \times 0,025(m^3)) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3}\right) = 574,34 Kg$$

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times 574,34(kg) \times 100}{\pi[63,4^2(cm^2) - (61(cm) + 2 \times 0,25(cm))^2]} = \mathbf{3,08 \frac{Kg}{cm^2}}$$

Se debe de comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90% del límite del material (σ).

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} = 574,34 \frac{Kg}{cm^2} + 3,08 \frac{Kg}{cm^2} = \mathbf{577,42 \frac{Kg}{cm^2}}$$

$$0,9 \times \sigma = 0,9 \times 2109,55 \frac{Kg}{cm^2} = \mathbf{1898,6 \frac{Kg}{cm^2}}$$

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} < 0,9 \times \sigma$$

Tabla resumen de las dimensiones de los sistemas filtrantes:

Variable	filtro arena	filtro carbón activo
t (mm)	12	12
t_f (mm)	6	6
D (m)	0,610	0,610
Do (m)	0,634	0,634
Tipos de fondos	Korbogen	Korbogen
H_f (m)	0,168	0,168
V_f (m³)	0,025	0,02
L (m)	1,912	1,912
H_t (m)	2,136	2,136
P_f (Kg)	29,93	29,93
P_t (Kg)	640,98	268,61

ANEXO III. DÉPOSITOS DE REGENERANTES

La instalación cuenta con dos depósitos de productos químicos que se usan como regenerante de las resinas confinadas en las columnas catiónicas y aniónicas.

Estos dos productos químicos son el ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98%, para el caso de la regeneración de la resina catiónica y sosa ($NaOH$) al 50%, para el caso de la regeneración de la resina aniónica.

La cantidad necesaria de producto químico para realizar la regeneración, se obtuvo en el Anexo I. Estas cantidades son:

VOLUMEN H_2SO_4 -----> 19,1 Litros

VOLUMEN $NaOH$ -----> 5,93 Litros

El valor obtenido es el equivalente al gasto de producto químico por cada ciclo de operación, este ciclo se ha estipulado en 80 horas, o lo que es lo mismo, 5 días laborables.

Es necesario que los depósitos de regenerante tengan una autonomía suficiente de cómo mínimo 13 semanas.

Se plantea a continuación los cálculos necesarios para el dimensionamiento de estos depósitos:

- **Depósito de ácido sulfúrico**

Se calcula cual es el volumen necesario del depósito para tener una autonomía de 13 semanas.

Hay que tener en cuenta que un ciclo equivale a una semana laboral (5 días), por lo que en 13 semanas se realizarán 13 regeneraciones.

$$V_{H_2SO_4} = n^{\circ} \text{semanas} \times V_{H_2SO_4 \text{ ciclo}} = 13 \times 19,1 L = 248,3 L \approx 250 L \\ = 0.25m^3$$

Para realizar el dimensionamiento, suponemos que el volumen de la envolvente sin fondo es el volumen de líquido a almacenar.

Aplicaremos la condición de superficie mínima de un cilindro obtendremos las medidas de este que minimizan la superficie y por tanto el gasto del material.

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{SO}_4} &= \pi \times R^2 \times L \\ S &= (2\pi \times R \times L) + (2\pi \times R^2) \end{aligned} \right\} S = \frac{2 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{R} + 2 \times \pi \times R^2$$

❖ **DERIVANDO**

$$\frac{dS}{dR} = 0 = -\frac{2 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{R^2} + 4 \times \pi \times R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2 \times \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{0.25(\text{m}^3)}{2 \times \pi}} = 0.34 \text{ m} \Rightarrow D = 0.68 \text{ m}$$

Una vez obtenido este valor es posible calcular la longitud de la envolvente (L) y recalculer el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2 \times R^2} = \frac{0.25(\text{m}^3)}{2 \times (0.34(\text{m}))^2} = 1.07 \text{ m}$$

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \pi \times R^2 \times L = \pi \times 0.34^2(\text{m}^2) \times 1.07(\text{m}) = 0.39 \text{ m}^3$$

• **Depósito de sosa**

Se calcula cual es el volumen necesario del depósito para tener una autonomía de 13 semanas.

Hay que tener en cuenta que un ciclo equivale a una semana laboral (5 días), por lo que en 13 semanas se realizaran 13 regeneraciones.

$$V_{\text{NaOH}} = n^{\circ} \text{ semanas} \times V_{\text{NaOH ciclo}} = 13 \times 5,93 \text{ L} = 77,09 \text{ L} \approx 1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$$

Para realizar el dimensionamiento, suponemos que el volumen de la envolvente sin fondo es el volumen de líquido a almacenar.

Aplicaremos la condición de superficie mínima de un cilindro obtendremos las medidas de este que minimizan la superficie y por tanto el gasto del material.

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{NaOH}} &= \pi \times R^2 \times L \\ S &= (2\pi \times R \times L) + (2\pi \times R^2) \end{aligned} \right\} S = \frac{2 \times V_{\text{NaOH}}}{R} + 2 \times \pi \times R^2$$

❖ DERIVANDO

$$\frac{dS}{dR} = 0 = -\frac{2 \times V_{\text{NaOH}}}{R^2} + 4 \times \pi \times R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{NaOH}}}{2 \times \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{NaOH}}}{2 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{1(\text{m}^3)}{2 \times \pi}} = 0.54 \text{ m} \Rightarrow D = 1,08 \text{ m}$$

Una vez obtenido este valor es posible calcular la longitud de la envolvente (L) y recalcular el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{\text{NaOH}}}{2 \times R^2} = \frac{1(\text{m}^3)}{2 \times (0,54(\text{m}))^2} = 1,71 \text{ m}$$

$$V_{\text{NaOH}} = \pi \times R^2 \times L = \pi \times 0,54^2(\text{m}^2) \times 1,71(\text{m}) = 1,56 \text{ m}^3$$

Tabla resumen de las dimensiones de los depósitos de regenerante:

Variable	Depósito H ₂ SO ₄	Depósito NaOH
V (L)	250	1000
D (m)	0,68	0,5
L (m)	1,07	1,08
V _R (L)	390	1566

ANEXO IV: DEPÓSITOS DE DILUCIÓN DE LOS REGENERANTES

Como ya se ha comentado con anterioridad, para regenerar las resinas de intercambio iónico, se precisa que los regenerantes se encuentren diluidos a una concentración específica, que no es la concentración que se obtiene comercialmente. Debido a esto se necesitan de dos cubas de dilución con las siguientes dimensiones.

- **Depósito de dilución de ácido sulfúrico**

Este será diseñado para poder trabajar con una autonomía de un ciclo de operación, es decir, como se obtuvo en el Anexo I, el volumen necesario de H_2SO_4 es de 396.06 litros.

Este volumen se refiere a H_2SO_4 diluido al 10%, de donde para obtenerlos se mezclan en este depósito de dilución 19.1 litros de H_2SO_4 al 98% con 378.95 litros de agua desmineralizada.

De la misma forma que se aplica en los depósitos de regeneración, aplicando la condición de superficie mínima se obtiene las dimensiones del depósito que minimizan ésta, obteniendo:

$$\left. \begin{array}{l} V_{H_2SO_4} = \pi \times R^2 \times L \\ S = (2\pi \times R \times L) + (2\pi \times R^2) \end{array} \right\} S = \frac{2 \times V_{H_2SO_4}}{R} + 2 \times \pi \times R^2$$

❖ **DERIVANDO**

$$\frac{dS}{dR} = 0 = -\frac{2 \times V_{H_2SO_4}}{R^2} + 4 \times \pi \times R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{H_2SO_4}}{2 \times \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{H_2SO_4}}{2 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{0.39606(m^3)}{2 \times \pi}} = 0.398 \text{ m} \Rightarrow D = 0,796 \text{ m}$$

Una vez obtenido este valor es posible calcular la longitud de la envolvente (L) y recalcular el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2 \times R^2} = \frac{0.39606(\text{m}^3)}{2 \times (0.398(\text{m}))^2} = \mathbf{1.25 \text{ m}}$$

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \pi \times R^2 \times L = \pi \times 0.398^2(\text{m}^2) \times 1.25(\text{m}) = \mathbf{0.62 \text{ m}^3}$$

A continuación se describe el diseño del recipiente metálico vertical que contiene la disolución de ácido sulfúrico.

El acero que se va utilizar en la construcción es el mismo que los casos anteriores de las columnas de los intercambiadores iónicos y depósitos de regenerantes:

Esesor de la Envolvente

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales, siendo el valor de las primeras el doble que el de las segundas.

Este cálculo se puede hacer de dos formas distintas

a) Según las especificaciones.

Se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{796\text{mm}}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = \mathbf{5,836\text{mm}}$$

Considerando un sobreesesor de corrosión (c) de 2.5 mm

b) Por tensión circunferencial

- En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el obtenido en el apartado anterior.

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 796(\text{mm}) + (2 \times 5,836(\text{mm})) = 807,67\text{mm} = \mathbf{0,807\text{m}}$$

$$t = \frac{P \times D_o}{(2 \times S \times E) + 0,8P} + c =$$

$$= \frac{56,9(\text{psi}) \times 807,67(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,8 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5(\text{mm})$$

$$\mathbf{t = 3,93\text{mm}}$$

- En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \times (D + 2c)}{(2 \times S \times E) + 1,2P} + c = \frac{56,9(\text{psi}) \times (796(\text{mm}) + 2 \times 2,5(\text{mm}))}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (1,2 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5$$

$$\mathbf{t = 3,92\text{mm}}$$

De entre todos los espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,836 \text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 6 mm . Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 796(\text{mm}) + (2 \times 6(\text{mm})) = 808\text{mm} = \mathbf{0,808m}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

- **A** = Factor función de las dimensiones del recipiente
- **B** = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.
- **D_o** = Diámetro exterior, en mm
- **E** = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi
- **L** = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_c + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 1250(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 182,6(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 182,6(\text{mm}) = \mathbf{1371,73 \text{ mm}}$$

- **P_e** = presión extrema de diseño ($P = 1,05 \text{ Kg/cm}^2$)
- **P_a** = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2
- **t** = Espesor de la envolvente, en m
- **c** = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

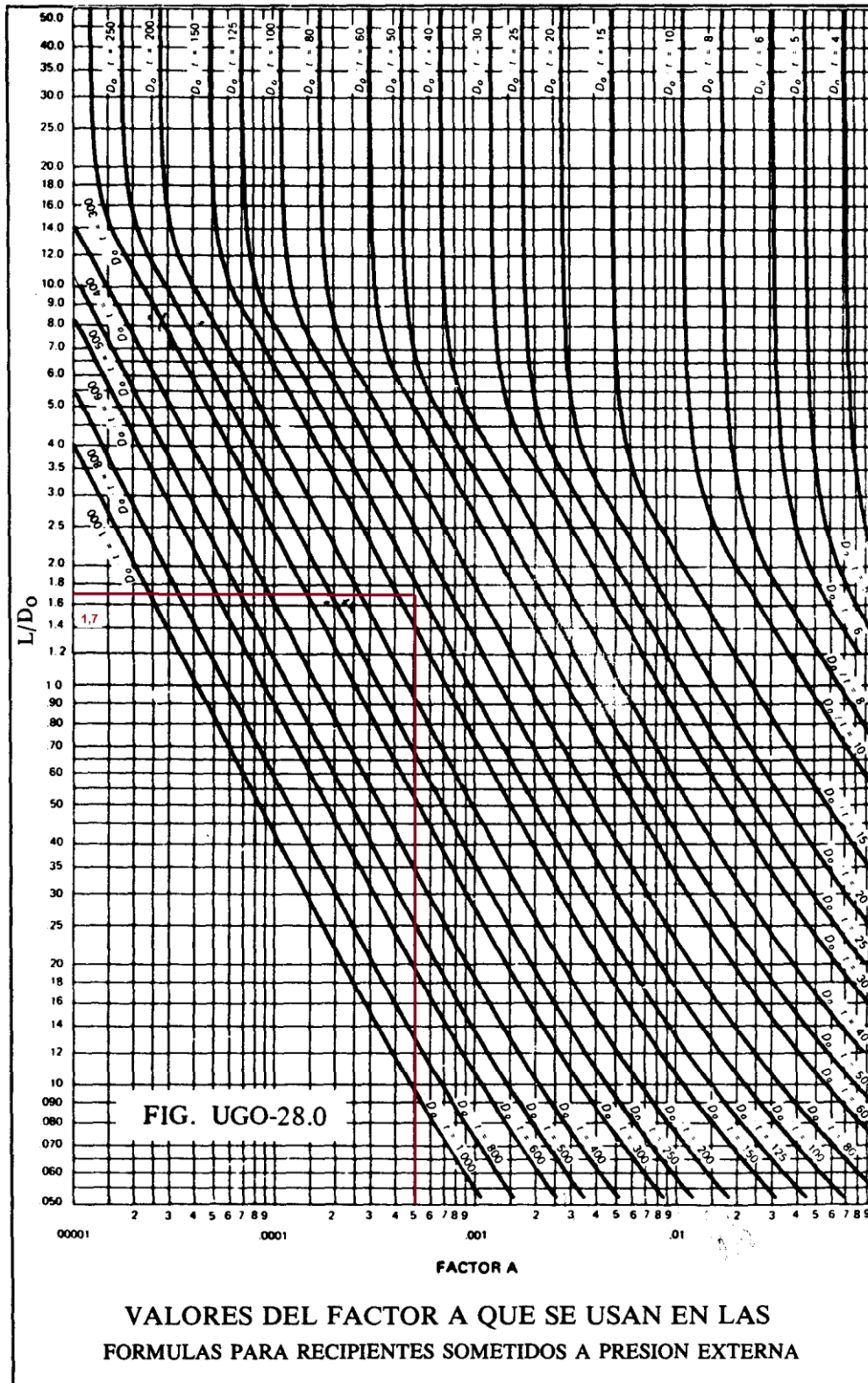
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- a)** Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1371,73(\text{mm})}{808(\text{mm})} = 1,7$$

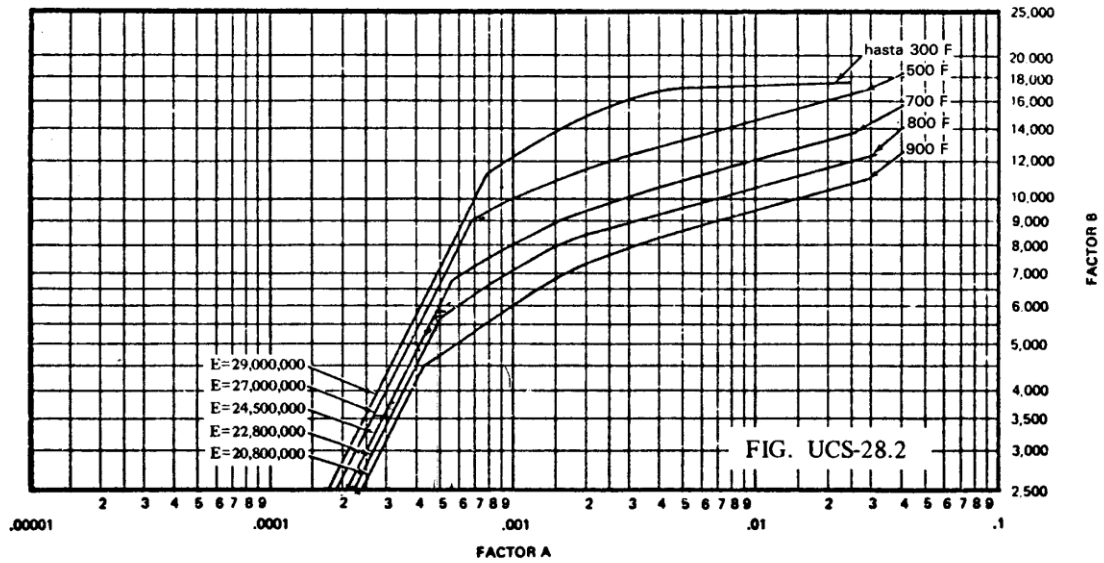
$$\frac{D_o}{t} = \frac{808(\text{mm})}{6(\text{mm})} = 134,7$$

b) Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A= 0,0005

- c) Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



NOTA: En los casos en que el valor de A caiga a la derecha del extremo de la línea de temperatura, supóngase una intersección con la prolongación horizontal del extremo superior de la línea de temperatura.

VALORES DEL FACTOR B
QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

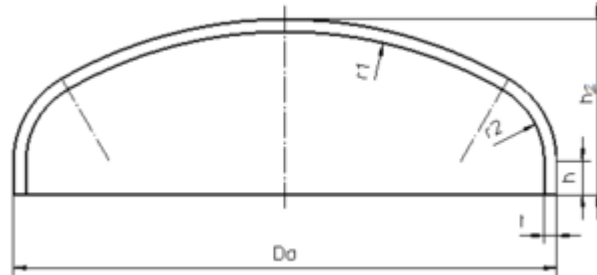
Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear (3×10^7 psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0.0005 \times 3 \times 10^7 (psi)}{3 \times \left(\frac{808(mm)}{6(mm)}\right)} = 98,58 psi = 6,92 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 98,58 psi > 14,7 psi \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

Características de los fondos

Para el depósito de dilución de ácido sulfúrico se usará al igual que en las columnas intercambiadoras de iones, fondos toriesféricos tipo Korbogen Boden cuyo esquema:



En función del diámetro exterior D_o calcularemos las dimensiones de los fondos:

$$\underline{D_o = 0,808 \text{ m}}$$

$$R = 0,8 \times D_o = 0,8 \times 0,808 \text{ m} = \mathbf{0,6464 \text{ m}}$$

$$r = \frac{D_o}{6,5} = \frac{0,808 \text{ m}}{6,5} = \mathbf{0,124 \text{ m} = 124 \text{ mm}}$$

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 0,808 \text{ m} = \mathbf{0,16 \text{ m} = 161,6 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 \times t_f = 3,5 \times 6 \text{ mm} = \mathbf{21 \text{ mm}}$$

$$h_f = H + h = 161,6 \text{ mm} + 21 \text{ mm} = \mathbf{182,6 \text{ mm}}$$

$$V_f = 0,1 \times D_o^3 = 0,1 \times 0,808^3 \text{ m} = \mathbf{0,052 \text{ m}^3}$$

Al igual que en el caso de la envolvente de los depósitos de dilución de regenerante, se usarán dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla de ASME y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación para el fondo tipo Korbogen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)}$$

Donde M es:

$$M = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{0,6464(m)}{0,124(m)}} \right) = 1,32 \text{ m} = \mathbf{1320 \text{ mm}}$$

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)} = \frac{56,9(\text{psi}) \times 646,4(\text{mm}) \times 1320(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,2 \times 56,9(\text{psi}))}$$

$$= \mathbf{1,518\text{mm}}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = t + c = 1,518 \text{ mm} + 2,5\text{mm} = \mathbf{3,795 \text{ mm}}$$

- Según las especificaciones se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c = \frac{808\text{mm}}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = \mathbf{5,848 \text{ mm}}$$

De entre los dos espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,848 \text{ mm}$, se normaliza y tendremos un valor de 6mm.

Una vez calculado el espesor de la envolvente es preciso comprobarlo para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesfericos a presión externa se procede como sigue:

- a) Se obtiene el valor de A, a partir de la fórmula:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_o}{t}} = \frac{0,125}{\left(\frac{808(\text{mm})}{2}\right)} = 1,85 \times 10^{-3}$$

- b) Al igual que ocurría en el caso de la envolvente, al no existir una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar la gráfica, por lo que se calcula P_a de la siguiente manera.

$$P_a = \frac{0,0625 \times E}{\left(\frac{R_o}{t}\right)^2} = \frac{0,0625 \times 3 \times 10^7}{\left(\frac{808(\text{mm})}{2}\right)^2} = \mathbf{413,56 \text{ psi}}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 413,56 \text{ psi} > 14,7 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

➤ **Tensiones longitudinales en la envoltente debidas a la presión interior**

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \times (D_c + 2c)}{4 \times (t - c)} = \frac{4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times (796(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{4 \times (6(mm) - 2,5(mm))} = 228,85 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Pesos de la elevación**

Para saber el peso del depósito completo en conjunto, se debe calcular los pesos de las diferentes partes en las que está compuesto.

• **Peso de la envoltente**

- L = longitud de la envoltente (m)
- ρ = densidad del material (Kg/m^3)
- D_c = di metro interno (m)
- D_o = di metro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \times (D_o^2 - D_c^2) \times L = 7944 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times (0,808^2(m^2) - 0,796^2(m^2)) \times 1,37 (m)$$

$$P_{EN} = 209,48Kg$$

• **Peso de los fondos**

Para este cálculo se debe conocer antes el valor del diámetro del disco (D_d), y el volumen de material que componen el fondo (V_f).

$$D_d = (1,12 \times D_o) + (1,7 \times h) = (1,12 \times 808(mm)) + (1,7 \times 21(mm)) = 940,66 mm$$

$$V_f = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (D_d^2) \times (8 \times t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (940,66^2(mm)^2) \times (8 \times 6(mm)) = 0.033m^3$$

$$P_f = V_f \times \rho = 0,033(m^3) \times 750 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 25,02 Kg$$

• **Peso de los accesorios**

El peso de las tuberías, conexiones y el resto de accesorios del depósito de dilución, se puede aproximar con la siguiente expresión.

$$P_{ACC} = 0,05 \times (P_{EN} + 2P_f) = 0,05 \times (209,48(Kg) + 2 \times 25,02 (Kg))$$

$$P_{ACC} = 13 (Kg)$$

- **Peso total del depósito**

Sumando todo los pesos calculados obtenemos el valor del peso total del depósito.

$$P_T = P_{EN} + 2P_F + P_{ACC} = 209,48(Kg) + 2 \times 25,02 (Kg) + 13(Kg)$$

$$P_T = 272,5 (Kg)$$

El peso calculado produce una tensión de un valor igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \times P_T \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]} = \frac{4 \times 272,5(Kg) \times 100}{\pi \times [808^2(mm^2) - (796(mm) + 2 \times 2,5(mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = 3,08 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Tensiones debidas a las pruebas**

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. Esta comprobación requiere una serie de ensayos no destructivos, tales como radiográficos, comprobación con líquidos penetrantes para localizar posibles fugas y partículas magnéticas de las soldaduras, una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII div. 1, la presión de prueba para la comprobación del recipiente es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm²

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm²

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm²

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm²

$$P_{Hm} = 1,5 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S} = 1,3 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5,2 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Hay que verificar que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superan el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deber aumentar los espesores de las paredes de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deber tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna del líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_C \times (P_{Hm} + H_t \times 10^{-4})}{4 \times t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción

$$H_t = L + (2 \times H_f) = 1,371(m) + (2 \times 0,182(m)) = \mathbf{1,735(m)}$$

$$\sigma_i = \frac{79,6(cm) \times (6 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right) + 173,5(cm) \times 10^{-4})}{4 \times 0,6(cm)} = \mathbf{199,6 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)}$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times P_W \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_W = V_W \times \rho_W = (\pi \times R_c^2 \times L + 2 \times V_F) \times \rho_W$$

$$P_W = (\pi \times 0,398^2(m^2) \times 1,371(m) + 2 \times 0,052(m^3) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)) = 783,94 Kg$$

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times 783,94(kg) \times 100}{\pi[80,8^2(cm^2) - (79,6(cm) + 2 \times 0,25(cm))^2]} = \mathbf{8,86 \frac{Kg}{cm^2}}$$

Se debe de comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90% del límite del material (σ).

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} = 199,6 \frac{Kg}{cm^2} + 8,86 \frac{Kg}{cm^2} = \mathbf{208,46 \frac{Kg}{cm^2}}$$

$$0,9 \times \sigma = 0,9 \times 2109,55 \frac{Kg}{cm^2} = \mathbf{1898,6 \frac{Kg}{cm^2}}$$

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} < 0,9 \times \sigma$$

- **Depósito de dilución de sosa**

Este será diseñado para poder trabajar con una autonomía de un ciclo de operación, es decir, como se obtuvo en el Anexo I, el volumen necesario de NaOH es de 217,17 litros.

Este volumen se refiere a NaOH diluido al 10%, de donde para obtenerlos se mezclan en este depósito de dilución 5,93 litros de NaOH al 98% con 211,24 litros de agua desmineralizada.

De la misma forma que se aplica en los depósitos de regeneración, aplicando la condición de superficie mínima se obtiene las dimensiones del depósito que minimizan ésta, obteniendo:

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{NaOH}} &= \pi \times R^2 \times L \\ S &= (2\pi \times R \times L) + (2\pi \times R^2) \end{aligned} \right\} S = \frac{2 \times V_{\text{NaOH}}}{R} + 2 \times \pi \times R^2$$

❖ **DERIVANDO**

$$\frac{dS}{dR} = 0 = -\frac{2 \times V_{\text{NaOH}}}{R^2} + 4 \times \pi \times R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{NaOH}}}{2 \times \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{NaOH}}}{2 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{0,21717(m^3)}{2 \times \pi}} = 0,32 \text{ m} \Rightarrow \mathbf{D = 0,65 \text{ m}}$$

Una vez obtenido este valor es posible calcular la longitud de la envolvente (L) y recalcular el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{\text{NaOH}}}{2 \times R^2} = \frac{0,21717(m^3)}{2 \times (0,32(m))^2} = \mathbf{1,06 \text{ m}}$$

$$V_{\text{NaOH}} = \pi \times R^2 \times L = \pi \times 0,32^2(m^2) \times 1,06(m) = \mathbf{0,34 \text{ m}^3}$$

A continuación se describe el diseño del recipiente metálico vertical que contiene la disolución de sosa.

El acero que se va utilizar en la construcción es el mismo que los casos anteriores de las columnas de los intercambiadores iónicos:

Espesor de la Envolvente

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales, siendo el valor de las primeras el doble que el de las segundas.

Este cálculo se puede hacer de dos formas distintas

a) Según las especificaciones.

Se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{650\text{mm}}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = \mathbf{5,69\text{mm}}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión (c) de 2.5 mm

b) Por tensión circunferencial

- En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el obtenido en el apartado anterior.

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 650(\text{mm}) + (2 \times 5,69(\text{mm})) = 661,38\text{mm} = \mathbf{0,661\text{m}}$$

$$t = \frac{P \times D_o}{(2 \times S \times E) + 0,8P} + c = \frac{56,9(\text{psi}) \times 661,38(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,8 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5(\text{mm})$$

$$t = \mathbf{3,67\text{mm}}$$

- En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \times (D + 2c)}{(2 \times S \times E) + 1,2P} + c = \frac{56,9(\text{psi}) \times (650(\text{mm}) + 2 \times 2,5(\text{mm}))}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (1,2 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5$$

$$t = \mathbf{3,66\text{mm}}$$

De entre todos los espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,69 \text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 6 mm. Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 650(\text{mm}) + (2 \times 6(\text{mm})) = 662\text{mm} = \mathbf{0,662\text{m}}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

- A = Factor función de las dimensiones del recipiente
- B = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.
- D_o = Diámetro exterior, en mm
- E = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi
- L = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_C + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 1060(mm) + \frac{1}{3} \times 153,4(mm) + \frac{1}{3} \times 153,4(mm) = \mathbf{1162,27\ mm}$$

- P_e = presión extrema de diseño ($P = 1,05\ Kg/cm^2$)
- P_a = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2
- t = Espesor de la envolvente, en mm
- c = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

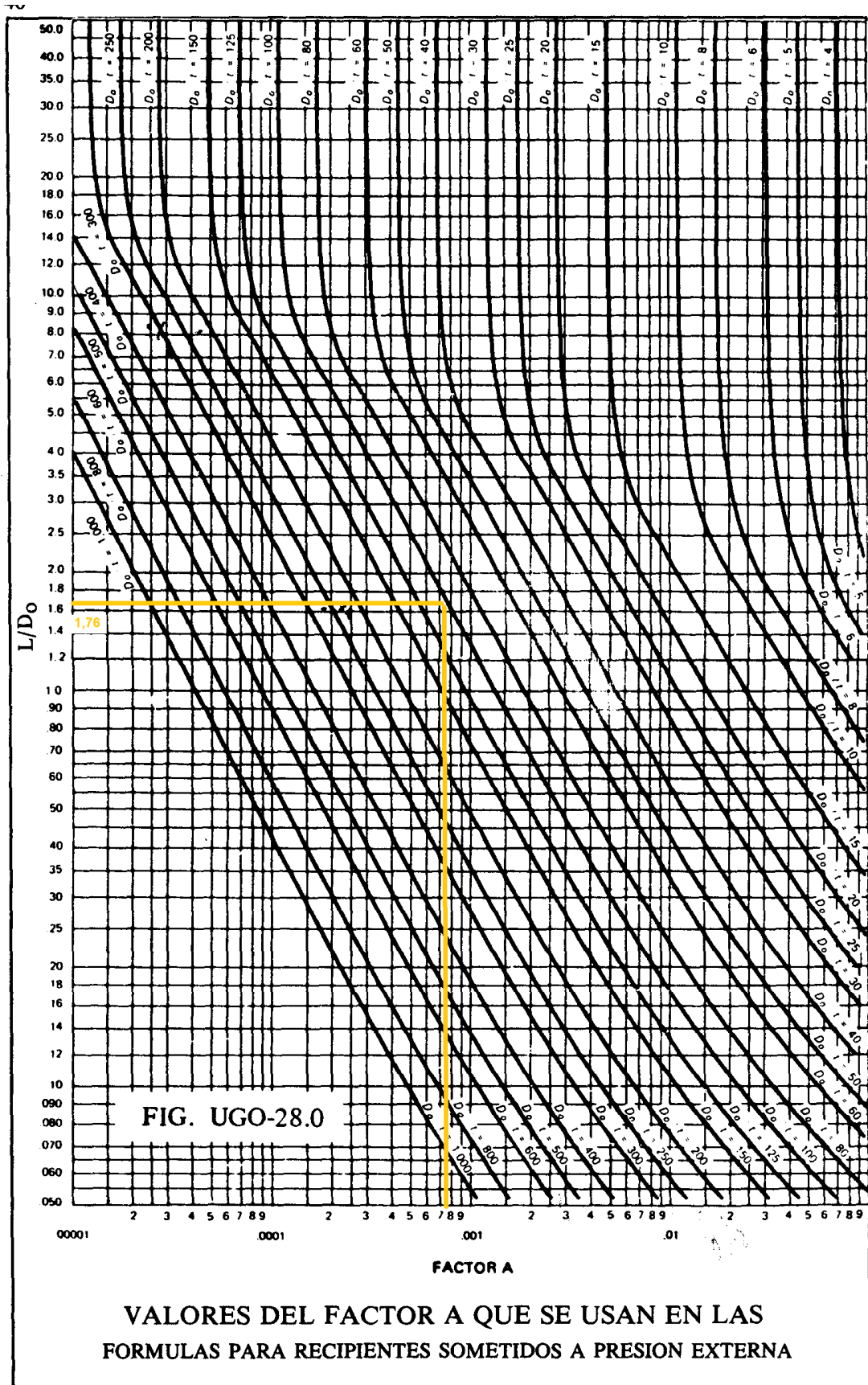
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- a) Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1162,27(mm)}{662(mm)} = 1,76$$

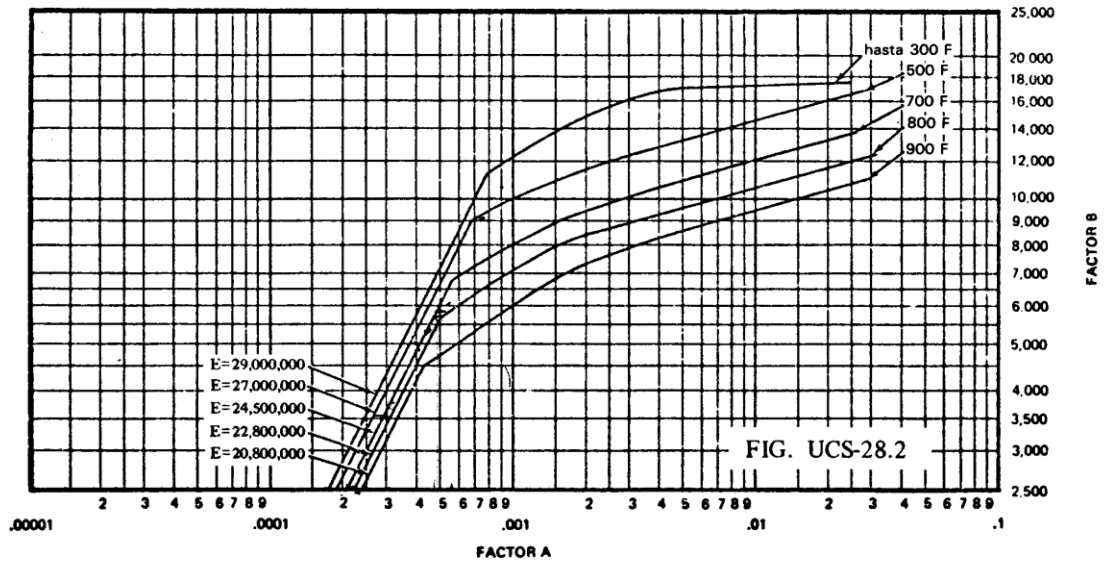
$$\frac{D_o}{t} = \frac{662(mm)}{6(mm)} = 110,3$$

- b) Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A = 0,00075

- c) Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



NOTA: En los casos en que el valor de A caiga a la derecha del extremo de la línea de temperatura, supóngase una intersección con la prolongación horizontal del extremo superior de la línea de temperatura.

VALORES DEL FACTOR B
QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

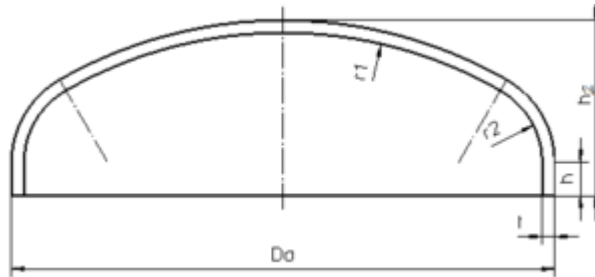
Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear (3×10^7 psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0.00075 \times 3 \times 10^7 (psi)}{3 \times \left(\frac{662(mm)}{6(mm)}\right)} = 135,95 \text{ psi}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 135,95 \text{ psi} > 14,7 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

Características de los fondos

Para el depósito de dilución de sosa se usara al igual que en las columnas intercambiadoras de iones, fondos toriesféricos tipo Korbogen Boden cuyo esquema:



En función del diámetro exterior D_o calcularemos las dimensiones de los fondos:

$$\underline{D_o = 0,662 \text{ m}}$$

$$R = 0,8 \times D_o = 0,8 \times 0,662 \text{ m} = \mathbf{0,53 \text{ m}}$$

$$r = \frac{D_o}{6,5} = \frac{0,662 \text{ m}}{6,5} = \mathbf{0,101 \text{ m} = 101,8 \text{ mm}}$$

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 0,662 \text{ m} = \mathbf{0,132 \text{ m} = 132,4 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 \times t_f = 3,5 \times 6 \text{ mm} = \mathbf{21 \text{ mm}}$$

$$h_f = H + h = 132,4 \text{ mm} + 21 \text{ mm} = \mathbf{153,4 \text{ mm}}$$

$$V_f = 0,1 \times D_o^3 = 0,1 \times 0,662^3 \text{ m} = \mathbf{0,029 \text{ m}^3}$$

Al igual que en el caso de la envolvente de la columna, se usaran dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla de ASME y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación para el fondo tipo Korbogen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)}$$

Donde M es:

$$M = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{0,53(m)}{0,101(m)}} \right) = 1,32 \text{ m} = \mathbf{1322mm}$$

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)} = \frac{56,9(\text{psi}) \times 530(\text{mm}) \times 1322(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,2 \times 56,9(\text{psi}))}$$

$$= \mathbf{1,247mm}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = t + c = 1,247 \text{ mm} + 2,5\text{mm} = \mathbf{3,74mm}$$

- Según las especificaciones se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c = \frac{662\text{mm}}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = \mathbf{5,7 \text{ mm}}$$

De entre los dos espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 5,7 \text{ mm}$, aunque normalizando escogeremos el valor de 6mm.

Una vez calculado el espesor de la envolvente es preciso comprobarlo para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesfericos a presión externa se procede como sigue:

- a) Se obtiene el valor de A, a partir de la fórmula:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_o}{t}} = \frac{0,125}{\left(\frac{662(\text{mm})}{2} \right)} = 2,26 \times 10^{-3}$$

- b) Al igual que ocurría en el caso de la envolvente, al no existir una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar la gráfica, por lo que se calcula P_a de la siguiente manera.

$$P_a = \frac{0,0625 \times E}{\left(\frac{R_o}{t} \right)^2} = \frac{0,0625 \times 3 \times 10^7}{\left(\frac{\left(\frac{662(\text{mm})}{2} \right)}{6(\text{mm})} \right)^2} = \mathbf{616,1 \text{ psi}}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 616,1 \text{ psi} > 14,7 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

➤ **Tensiones longitudinales en la envolvente debidas a la presión interior**

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \times (D_c + 2c)}{4 \times (t - c)} = \frac{4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times (650(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{4 \times (6(mm) - 2,5(mm))} = 187,14 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Pesos de la elevación**

Para saber el peso del depósito completo en conjunto, se debe calcular los pesos de las diferentes partes en las que está compuesto.

• **Peso de la envolvente**

L = longitud de la envolvente (m)

ρ = densidad del material (Kg/m³)

D_c = di metro interno (m)

D_o = di metro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \times (D_o^2 - D_c^2) \times L = 7944 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times (0,662^2(m^2) - 0,650^2(m^2)) \times 1,162 (m)$$

$$P_{EN} = 145,33Kg$$

• **Peso de los fondos**

Para este cálculo se debe conocer antes el valor del diámetro del disco (D_d), y el volumen de material que componen el fondo (V_f).

$$D_d = (1,12 \times D_o) + (1,7 \times h) = (1,12 \times 662(mm)) + (1,7 \times 21(mm)) = 777,14 mm$$

$$V_f = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (D_d^2) \times (8 \times t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (777,14^2(mm)^2) \times (8 \times 6(mm)) = 0.023m^3$$

$$P_f = V_f \times \rho = 0,023(m^3) \times 750 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 17,25 Kg$$

• **Peso de los accesorios**

El peso de las tuberías, conexiones y el resto de accesorios del depósito de dilución, se puede aproximar con la siguiente expresión.

$$P_{ACC} = 0.05 \times (P_{EN} + 2P_f) = 0.05 \times (145,33(Kg) + 2 \times 17,25 (Kg))$$

$$P_{ACC} = 9 (Kg)$$

- **Peso total del depósito**

Sumando todo los pesos calculados obtenemos el valor del peso total del depósito.

$$P_T = P_{EN} + 2P_F + P_{ACC} = 145,33(Kg) + 2 \times 17,25 (Kg) + 9(Kg)$$

$$P_T = 188,82 (Kg)$$

El peso calculado produce una tensión de un valor igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \times P_T \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_c + 2 \times c)^2]} = \frac{4 \times 188,82(Kg) \times 100}{\pi \times [662^2(mm^2) - (650(mm) + 2 \times 2,5(mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = 2,61 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Tensiones debidas a las pruebas**

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. Esta comprobación requiere una serie de ensayos no destructivos, tales como radiográficos, comprobación con líquidos penetrantes para localizar posibles fugas y partículas magnéticas de las soldaduras, una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII div. 1, la presión de prueba para la comprobación del recipiente es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm^2

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm^2

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm^2

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm^2

$$P_{Hm} = 1,5 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S} = 1,3 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5,2 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Hay que verificar que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superan el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deber aumentar los espesores de las paredes de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deber tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna del líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_C \times (P_{Hm} + H_t \times 10^{-4})}{4 \times t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción

$$H_t = L + (2 \times H_f) = 1,162(m) + (2 \times 0,153(m)) = \mathbf{1,468(m)}$$

$$\sigma_i = \frac{65(cm) \times (6 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right) + 146,8(cm) \times 10^{-4})}{4 \times 0,6(cm)} = \mathbf{163 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)}$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times P_W \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_W = V_W \times \rho_W = (\pi \times R_c^2 \times L + 2 \times V_F) \times \rho_W$$

$$P_W = (\pi \times 0,325^2(m^2) \times 1,162(m) + 2 \times 0,029(m^3)) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3}\right) = \mathbf{442,27 Kg}$$

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times 442,27(kg) \times 100}{\pi[66,2^2(cm^2) - (65(cm) + 2 \times 0,25(cm))^2]} = \mathbf{6,10 \frac{Kg}{cm^2}}$$

Se debe de comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90% del límite del material (σ).

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} = 163 \frac{Kg}{cm^2} + 6,10 \frac{Kg}{cm^2} = \mathbf{169,1 \frac{Kg}{cm^2}}$$

$$0,9 \times \sigma = 0,9 \times 2109,55 \frac{Kg}{cm^2} = \mathbf{1898,6 \frac{Kg}{cm^2}}$$

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} < 0,9 \times \sigma$$

Tabla resumen del dimensionamiento de los depósitos de dilución de regenerante:

Variable	Depósito dilución H ₂ SO ₄	Depósito dilución NaOH
t (mm)	6	6
t _f (mm)	6	6
D (m)	0,796	0,650
Do (m)	0,808	0,662
Tipos de fondos	Korbogen	Korbogen
H _f (m)	0,182	0,160
V _f (m ³)	0,052	0,029
L (m)	1,371	1,162
H _t (m)	1,735	1,468
P _f (Kg)	25,02	17,25
P _t (Kg)	272,5	188,82

✓ **Sistema de agitación**

Una vez dimensionado los depósitos de dilución, es preciso realizar los cálculos necesarios de la potencia de agitación necesaria para estos.

Estos sistemas se implantarán para que se produzca una mejora en la dilución de los regenerantes.

❖ **Agitación para la disolución de ácido sulfúrico**

El diámetro del depósito de dilución de ácido sulfúrico es de 0,796 m, por lo que por especificaciones bibliográficas se tomara un valor para el diámetro del agitador (D_a) de un tercio del valor del diámetro del depósito.

$$D_a = \frac{1}{3} \times D_c = \frac{1}{3} \times 0.796(m) = \mathbf{0.265\ m}$$

A continuación debe calcularse el número de Reynolds para la agitación en función:

- Del diámetro del agitador,
- De las propiedades físicas del ácido sulfúrico
- De la velocidad de agitación (N).

En este caso se fija un valor de 250 rpm (4,167 s⁻¹) para la agitación del presente depósito. El valor de densidad del H₂SO₄ a la temperatura de trabajo (25°C) es de aproximadamente 1050.20 Kg/m³, mientras que para el dato de viscosidad, se ha tomado el valor del agua.

$$Re = \frac{N \times D_a^2 \times \rho}{\mu} = \frac{4,167(s^{-1}) \times 0,265^2(m^2) \times 1050,20 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)}{1 \times 10^{-3} \left(\frac{Kg}{m \times s}\right)} = 307292,9$$

El valor del $Re > 300$ por lo que tendremos que considerar el número de Fraude

Como estamos hablando de un líquido newtoniano, es decir, la viscosidad del líquido se mantiene constante, aplicando el método del análisis dimensional resulta:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = f \left(\frac{N D_a^2 \rho}{\mu}, \frac{N^2 D_a}{g}, S_1, S_2 \dots S_a \right)$$

Donde:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = P_o \quad \text{Número de potencia}$$

$$\frac{N D_a^2 \rho}{\mu} = Re \quad \text{Número de Reynolds}$$

$$\frac{N^2 D_a}{g} = Fr \quad \text{Número de Froude}$$

$$P_o = C \times Re^x \times Fr^m$$

C, es el factor de forma que representa la geometría del sistema.

En este caso al ser el número de Reynolds mayor de 300 se define la función de potencia adimensional como:

$$\phi = \frac{P_o}{Fr^m} = C \times Re^x$$

Donde el exponente "m", para un determinado conjunto de factores de forma, está relacionado empíricamente con el número de Reynolds mediante la ecuación:

$$m = \frac{a - \log Re}{b}$$

Donde los valores a y b son valores tabulados, que para el caso de usar un agitador de seis palas sin placas deflectoras, toman los valores de:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \mathbf{1} \\ \mathbf{b} &= \mathbf{40} \end{aligned}$$

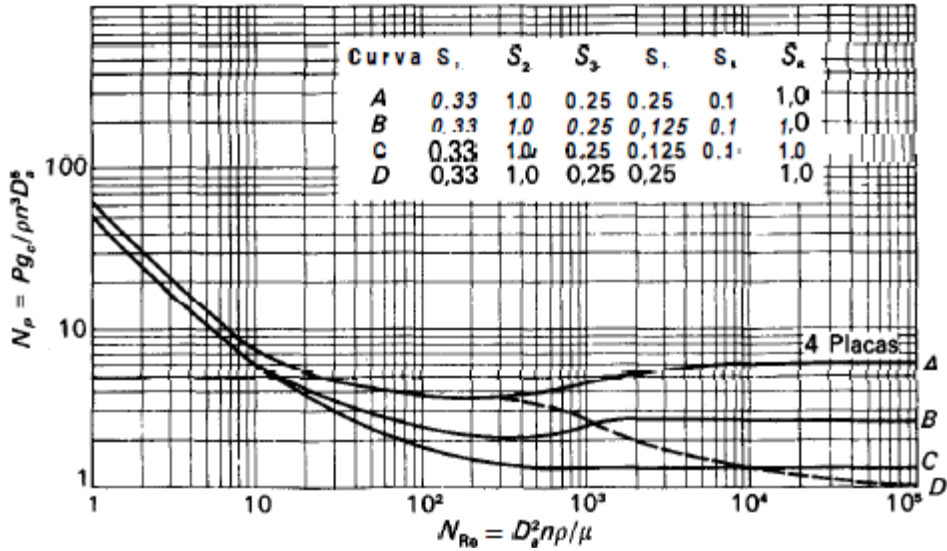
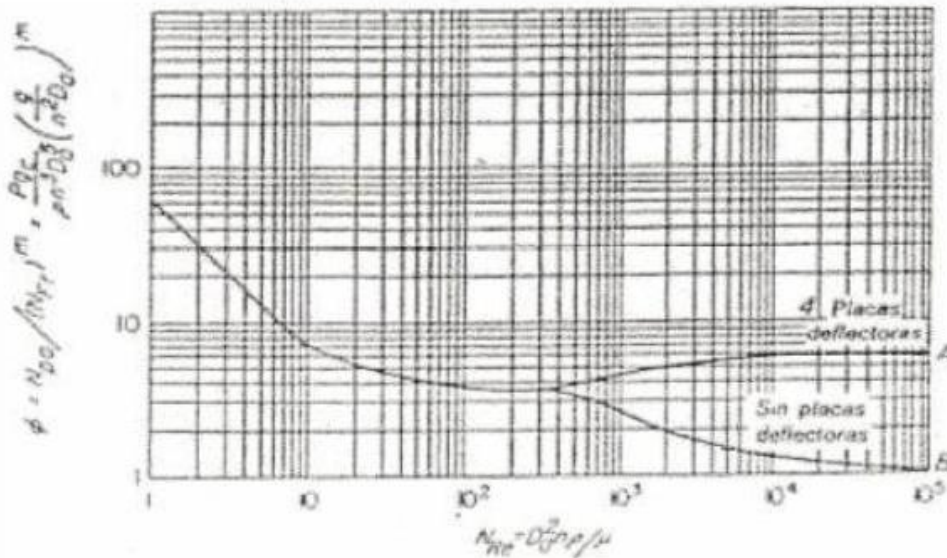


Figura	Línea	a	b
9.13	D	1,0	40,0
9.14	B	1,7	18,0
9.14	c	0	18,0
9.14	D	2,3	18,0

$$m = \frac{a - \log Re}{b} = \frac{1 - \log(307292,9)}{40} = -0,112$$

$$Fr = \frac{N^2 D_a}{g} = \frac{(4,167(rps))^2 \times 0,265(m)}{9,82 \left(\frac{m^2}{s}\right)} = 0,468$$

Para obtener ϕ , es preciso el uso de siguiente tabla, donde podemos relacionar ϕ con el número de Reynolds.



$$\Phi \approx 1$$

$$P_0 = \phi \times Fr^m = 1 \times 0.468^{-0.112} = 1,088$$

Por lo tanto la potencia del agitador será:

$$P = P_0 \times N^3 \times D_a^5 \times \rho = 1,088 \times 4,167^3 (rps^3) \times 0.265^5 (m^5) \times 1050,20 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

$$P = 108,1 W$$

❖ Agitación para la disolución de sosa

El diámetro del depósito de dilución de sosa es de 0,650 m, por lo que por especificaciones bibliográficas se tomara un valor para el diámetro del agitador (D_a) de un tercio del valor del diámetro del depósito.

$$D_a = \frac{1}{3} \times D_c = \frac{1}{3} \times 0,650(m) = 0.2167 m$$

A continuación debe calcularse el número de Reynolds para la agitación en función:

- Del diámetro del agitador,
- De las propiedades físicas del ácido sulfúrico
- De la velocidad de agitación (N).

En este caso se fija un valor de 250 rpm ($4,167 s^{-1}$) para la agitación del presente depósito. El valor de densidad del H_2SO_4 a la temperatura de trabajo ($25^\circ C$) es de aproximadamente $2100 Kg/m^3$, mientras que para el dato de viscosidad, se ha tomado el valor del agua.

$$Re = \frac{N \times D_a^2 \times \rho}{\mu} = \frac{4,167(s^{-1}) \times 0,2167^2(m^2) \times 2100 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)}{1 \times 10^{-3} \left(\frac{Kg}{m \times s}\right)} = 410923,16$$

El valor del $Re > 300$ por lo que tendremos que considerar el número de Fraude

Como estamos hablando de un líquido newtoniano, es decir, la viscosidad del líquido se mantiene constante, aplicando el método del análisis dimensional resulta:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = f\left(\frac{N D_a^2 \rho}{\mu}, \frac{N^2 D_a}{g}, S_1, S_2 \dots S_a\right)$$

Donde:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = P_0 \quad \text{Número de potencia}$$

$$\frac{N D_a^2 \rho}{\mu} = Re \quad \text{Número de Reynolds}$$

$$\frac{N^2 D_a}{g} = Fr \quad \text{Número de Froude}$$

$$Po = C \times Re^x \times Fr^m$$

C, es el factor de forma que representa la geometría del sistema.

En este caso al ser el número de Reynolds mayor de 300 se define la función de potencia adimensional como:

$$\phi = \frac{Po}{Fr^m} = C \times Re^x$$

Donde el exponente "m", para un determinado conjunto de factores de forma, está relacionado empíricamente con el número de Reynolds mediante la ecuación:

$$m = \frac{a - \log Re}{b}$$

Donde los valores a y b son valores tabulados, que para el caso de usar un agitador de seis palas sin placas deflectoras, toman los valores de:

$$a = 1$$

$$b = 40$$

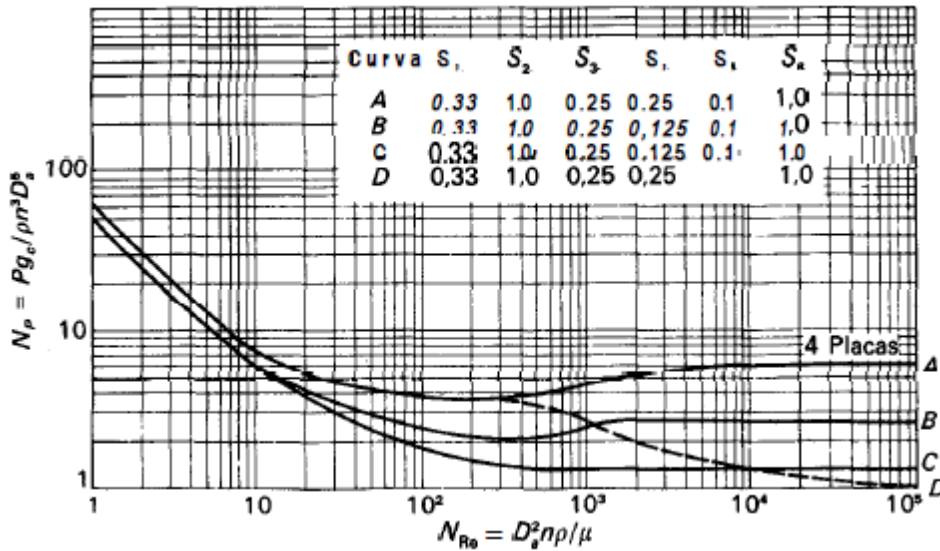
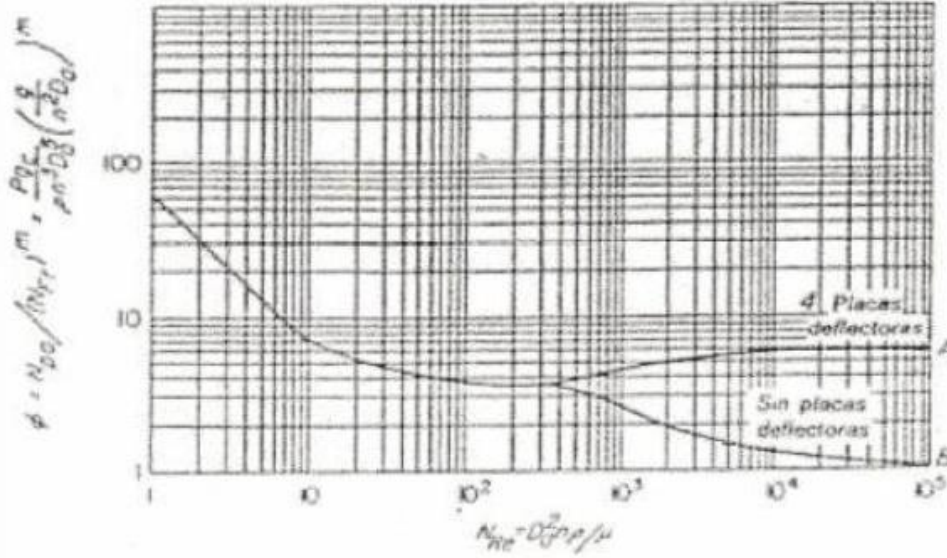


Figura	Línea	a	b
9.13	D	1,0	40,0
9.14	B	1,7	18,0
9.14	c	0	18,0
9.14	D	2,3	18,0

$$m = \frac{a - \log Re}{b} = \frac{1 - \log (410923,16)}{40} = -0,115$$

$$Fr = \frac{N^2 D_a}{g} = \frac{(4,167(rps))^2 \times 0,2167(m)}{9,82 \left(\frac{m^2}{s}\right)} = 0,383$$

Para obtener ϕ , es preciso el uso de siguiente tabla, donde podemos relacionar ϕ con el número de Reynolds.



$$\Phi \approx 1$$

$$P_0 = \phi \times Fr^m = 1 \times 0.383^{-0.115} = 1,116$$

Por lo tanto la potencia del agitador será:

$$P = P_0 \times N^3 \times D_a^5 \times \rho = 1,116 \times 4,167^3 (rps^3) \times 0.2167^5 (m^5) \times 2100 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

$$P = 81,07 W$$

Tabla resumen del sistema de agitación:

Variable	Depósito dilución H ₂ SO ₄	Depósito dilución NaOH
d(mm)	265	216,7
densidad (Kg/m ³)	1050,2	2100
t (mm)	6	6
N (rpm)	250	250
P (W)	108,1	81,07

ANEXO V: DEPÓSITO DE AGUA DESMINERALIZADA

El depósito de agua desmineralizada tiene como finalidad el almacenamiento del agua que se ha producido en el procedimiento de intercambio iónico.

De este depósito se abastecerá el agua necesaria para rellenar los baños de lavado de nuestra planta de tratamiento superficial.

Realizaremos la dimensión del depósito para una hora de producción de agua desmineralizada, que equivale a 16 m^3 , como en casos anteriores aplicaremos la condición de superficie mínima, obteniendo de esta manera las dimensiones del depósito que requerimos.

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}} &= \pi \times R^2 \times L \\ S &= (2\pi \times R \times L) + (2\pi \times R^2) \end{aligned} \right\} S = \frac{2 \times V_{\text{H}_2\text{O}}}{R} + 2 \times \pi \times R^2$$

❖ **DERIVANDO**

$$\frac{dS}{dR} = 0 = -\frac{2 \times V_{\text{H}_2\text{O}}}{R^2} + 4 \times \pi \times R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{2 \times \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{2 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{16(\text{m}^3)}{2 \times \pi}} = 1.36 \text{ m} \Rightarrow \mathbf{D = 2,73m}$$

Una vez obtenido este valor es posible calcular la longitud de la envolvente (L) y recalcular el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{2 \times R^2} = \frac{16 (\text{m}^3)}{2 \times (1,36(\text{m}))^2} = \mathbf{4,29 \text{ m}}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \pi \times R^2 \times L = \pi \times 1,36^2(\text{m}^2) \times 4,29(\text{m}) = \mathbf{25,13\text{m}^3}$$

A continuación se describe el diseño del recipiente metálico vertical que contiene al ácido sulfúrico.

El acero que se va utilizar en la construcción es el mismo que los casos anteriores de las columnas de los intercambiadores iónicos:

Variable	Valor
Modulo de elasticidad (E)	$2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ ($3 \times 10^7 \text{ psi}$)
Limite elástico (e)	$2109,55 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	5800 Kg/cm^2
Densidad (ρ)	7944 Kg/ m^3

Espesor de la Envolvente

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales, siendo el valor de las primeras el doble que el de las segundas.

Este cálculo se puede hacer de dos formas distintas

a) Según las especificaciones.

Se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{2730 \text{ mm}}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = 7,77 \text{ mm}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión (c) de 2.5 mm

b) Por tensión circunferencial

- En función del diámetro exterior. El espesor que se utiliza en el cálculo del diámetro exterior es el obtenido en el apartado anterior.

$$D_o = D_c + (2 \times t) = 2730(\text{mm}) + (2 \times 7,77(\text{mm})) = 2745,54 \text{ mm} = 2,745 \text{ m}$$

$$t = \frac{P \times D_o}{(2 \times S \times E) + 0,8P} + c =$$

$$= \frac{56,9(\text{psi}) \times 2745(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,8 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5(\text{mm})$$

$$t = 7,38 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior:

$$t = \frac{P \times (D + 2c)}{(2 \times S \times E) + 1,2P} + c = \frac{56,9(\text{psi}) \times (2730(\text{mm}) + 2 \times 2,5(\text{mm}))}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (1,2 \times 56,9(\text{psi}))} + 2,5$$

$$t = 7,36 \text{ mm}$$

De entre todos los espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 7,7 \text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 8 mm . Con el dato de espesor podemos calcular el valor del diámetro exterior D_o .

$$D_o = D_C + (2 \times t) = 2730(\text{mm}) + (2 \times 8(\text{mm})) = 2746\text{mm} = \mathbf{2,746m}$$

Una vez calculado el espesor de la envolvente se llevara a cabo su comprobación para saber si es correcto y resiste la presión externa de diseño (P_e).

Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, hay que definir los parámetros que se utilizarán en las fórmulas de cálculo:

- A = Factor función de las dimensiones del recipiente
- B = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.
- D_o = Diámetro exterior, en mm
- E = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en psi
- L = Longitud total, en mm

El valor de L, engloba la distancia entra las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

$$L = L_C + \frac{1}{3} \times H_{F1} + \frac{1}{3} H_{F2}$$

$$L = 4290(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 577,2(\text{mm}) + \frac{1}{3} \times 577,2(\text{mm}) = \mathbf{4674,8 \text{ mm}}$$

- P_e = presión extrema de diseño ($P = 1,05 \text{ Kg/cm}^2$)
- P_a = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en Kg/cm^2
- t = Espesor de la envolvente, en mm
- c = Sobreepesor o margen de corrosión, en mm

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación:

$$\frac{D_o}{t} \geq 10$$

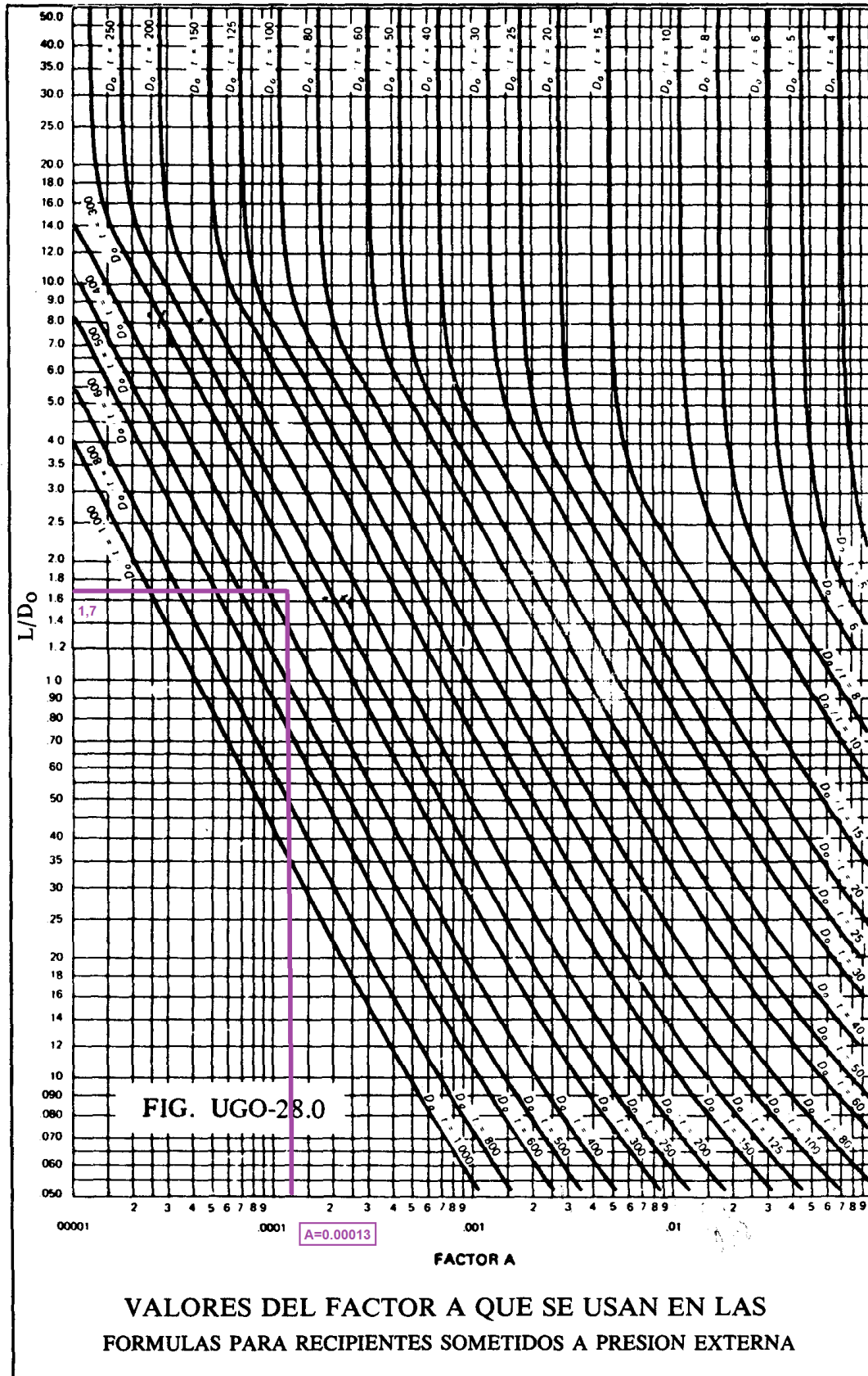
Se calcula con el siguiente procedimiento:

- a) Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{4674,8(\text{mm})}{2746(\text{mm})} = 1,7$$

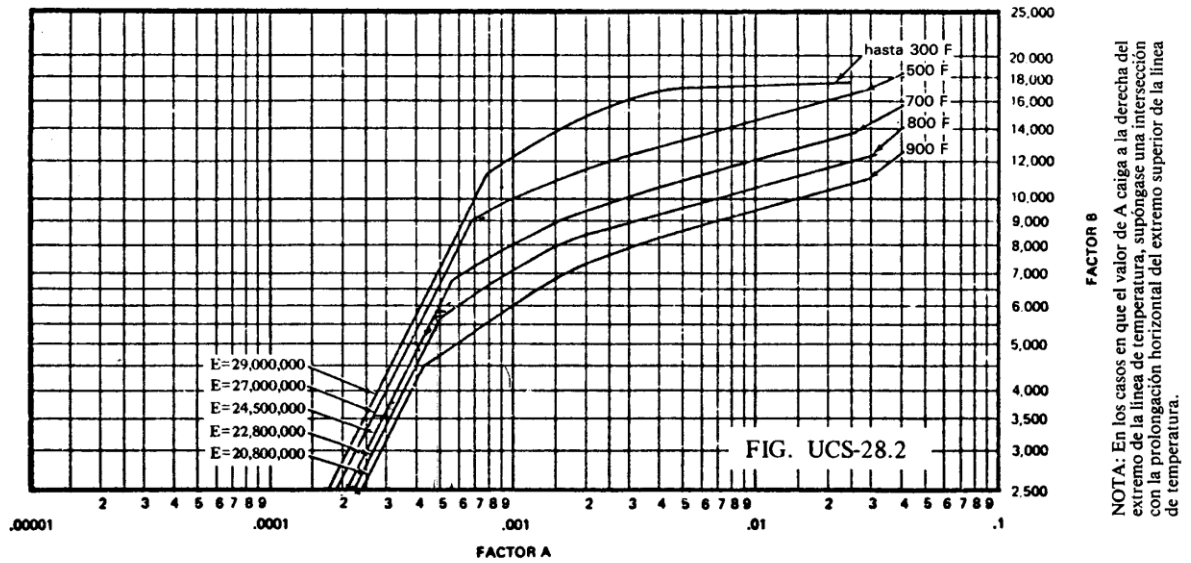
$$\frac{D_o}{t} = \frac{2746(\text{mm})}{8(\text{mm})} = 343,25$$

b) Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A= 0,00013

- c) Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



NOTA: En los casos en que el valor de A caiga a la derecha del extremo de la línea de temperatura, supóngase una intersección con la prolongación horizontal del extremo superior de la línea de temperatura.

VALORES DEL FACTOR B
QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear (3×10^7 psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0,00013 \times 3 \times 10^7 (psi)}{3 \times \left(\frac{2746(mm)}{8(mm)}\right)} = 7,57 psi = 0,53 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 7,36 psi > 14,7 psi \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ no es correcto}$$

Como la presión máxima permitida P_a es menor que la presión de diseño P_c , será necesario incorporar anillos rigidizadores.

Usaremos 2 anillos rigidizadores igualmente espaciados entre las tangentes de las cabezas, la longitud total del depósito es de 4674,8 mm, por lo que la distancia entre cada uno de los anillos será de 1558 mm.

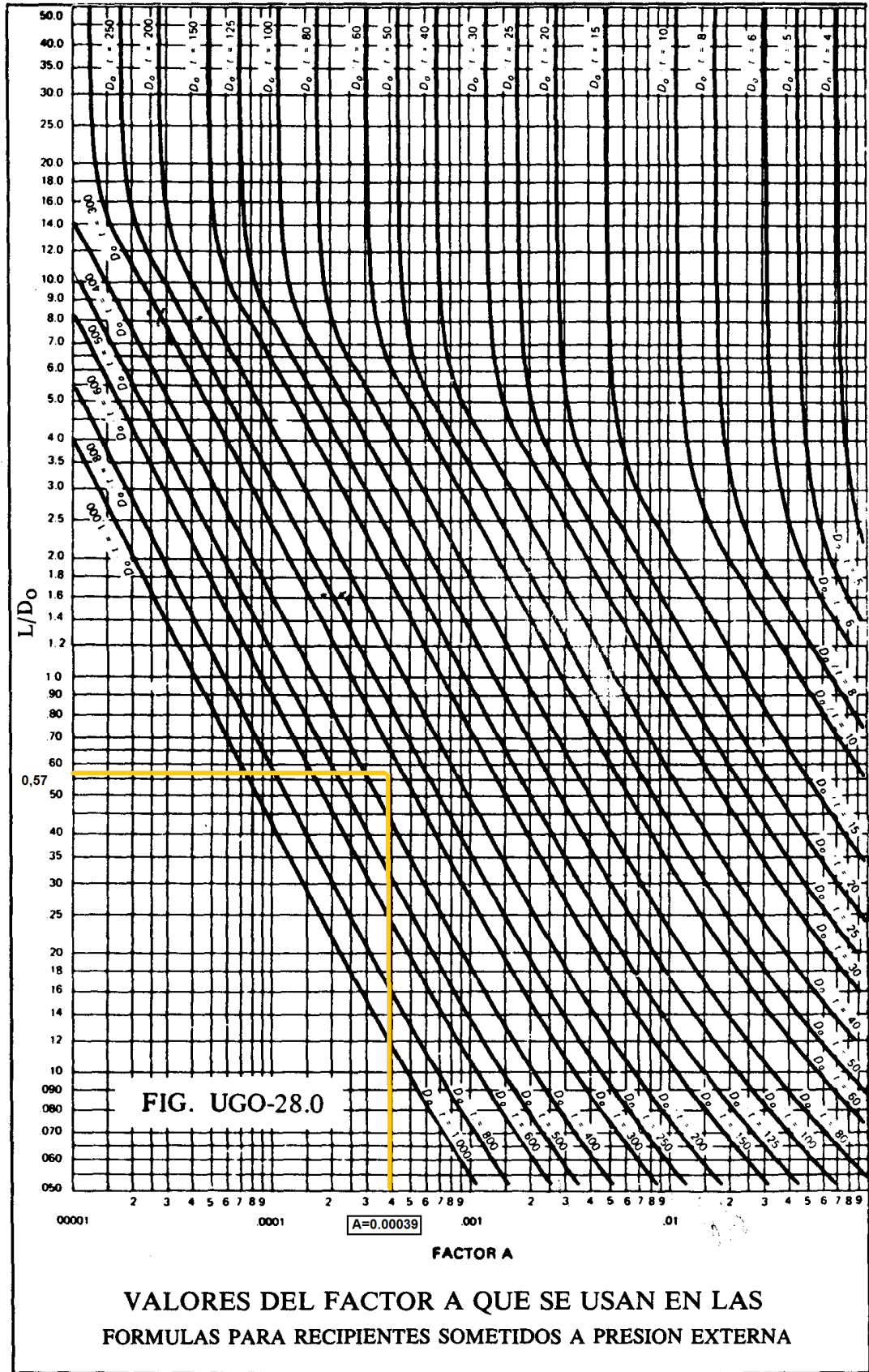
Se recalcula todos los valores anteriores con el mismo procedimiento con el nuevo valor de L:

a) Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1558(mm)}{2746(mm)} = 0,57$$

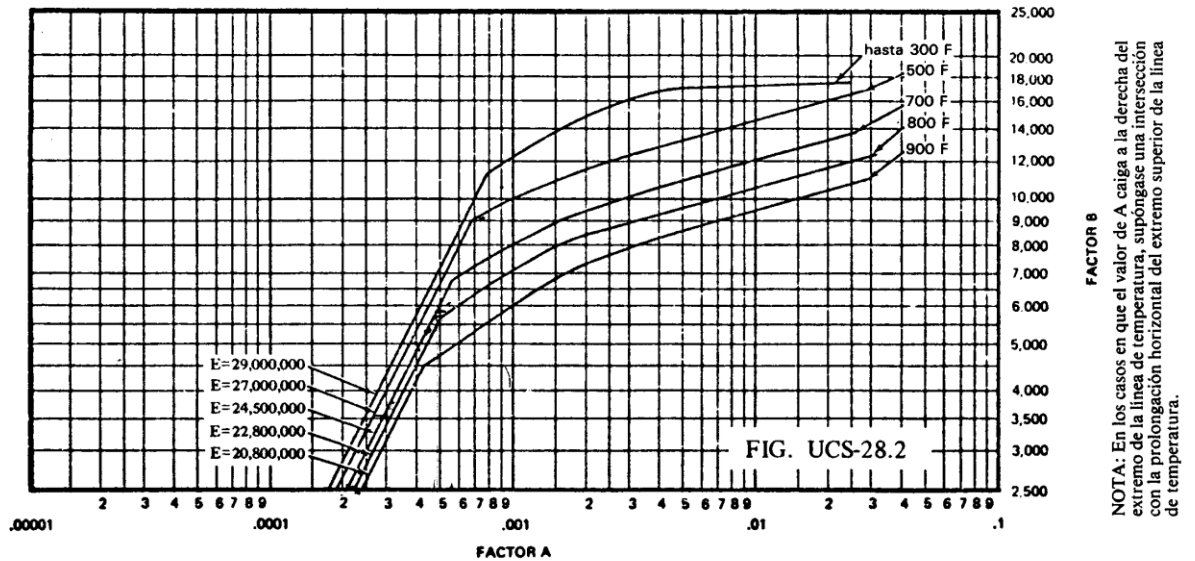
$$\frac{D_o}{t} = \frac{2746(mm)}{8(mm)} = 343,25$$

b) Con las relaciones geométricas anteriores, y con la grafica siguiente (Fig.5 UG 28.0 s/ASME VIII Div.1), se determinara el valor de A.



A = 0,00039

- c) Una vez obtenido el valor de A, con este y utilizando la grafica (Fig. 5-UCS-28,1 s/ASME VIII Div 1), se podrá calcular el valor de B en función de la temperatura de diseño.



VALORES DEL FACTOR B
QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

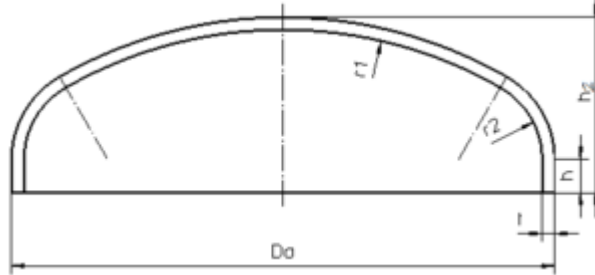
Como no existe una grafica para el módulo de elasticidad del material que vamos a emplear (3×10^7 psi), no podremos utilizar la grafica en cuestión. Por lo que obtendremos la presión de trabajo de esta manera:

$$P_a = \frac{2 \times A \times E}{3 \times \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \times 0.00039 \times 3 \times 10^7 \text{ (psi)}}{3 \times \left(\frac{2746 \text{ (mm)}}{8 \text{ (mm)}}\right)} = 22,72 \text{ psi}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 22,72 \text{ psi} > 14,7 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor (t) es correcto}$$

Características de los fondos

Para el depósito de agua desmineralizada se usara al igual que en las columnas intercambiadoras de iones, fondos toriesféricos tipo Korbogen Boden cuyo esquema:



En función del diámetro exterior D_o calcularemos las dimensiones de los fondos:

$$\underline{D_o = 2,746 \text{ m}}$$

$$R = 0,8 \times D_o = 0,8 \times 2,746 \text{ m} = \mathbf{2,196 \text{ m}}$$

$$r = \frac{D_o}{6,5} = \frac{2,746 \text{ m}}{6,5} = \mathbf{0,42 \text{ m} = 420 \text{ mm}}$$

$$H = 0,2 \times D_o = 0,2 \times 2,746 \text{ m} = \mathbf{0,549 \text{ m} = 549 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 \times t_f = 3,5 \times 8 \text{ mm} = \mathbf{28 \text{ mm}}$$

$$h_f = H + h = 549 \text{ mm} + 28 \text{ mm} = \mathbf{577,2 \text{ mm}}$$

$$V_f = 0,1 \times D_o^3 = 0,1 \times 2,73^3 \text{ m} = \mathbf{2,03 \text{ m}^3}$$

Al igual que en el caso de la envolvente de la columna, se usaran dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla de ASME y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación para el fondo tipo Korbogen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)}$$

Donde M es:

$$M = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0,25 \times \left(3 + \sqrt{\frac{2,196(m)}{0,42(m)}} \right) = 1,32 \text{ m} = \mathbf{1320 \text{ mm}}$$

$$t_f = \frac{P \times R \times M}{(2 \times S \times \varepsilon) + (0,2 \times P)} = \frac{56,9(\text{psi}) \times 2196(\text{mm}) \times 1320(\text{mm})}{(2 \times 18799(\text{psi}) \times 0,85) + (0,2 \times 56,9(\text{psi}))}$$

$$= \mathbf{5,16\text{mm}}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2,5 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = t + c = 5,16\text{mm} + 2,5\text{mm} = \mathbf{7,66\text{mm}}$$

- Según las especificaciones se obtiene el espesor mínimo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c = \frac{2746 \text{ mm}}{1000} + 2,54 + 2,5 \text{ mm} = \mathbf{7,786 \text{ mm}}$$

De entre los dos espesores obtenidos nos quedaremos con el de mayor valor, es decir, el espesor obtenido en función de las especificaciones, $t = 7,786 \text{ mm}$, aunque normalizando se tomara el valor de 8 mm.

Una vez calculado el espesor de la envolvente es preciso comprobarlo para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesfericos a presión externa se procede como sigue:

- a) Se obtiene el valor de A, a partir de la fórmula:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125}{\left(\frac{2746(\text{mm})}{2}\right)} = \mathbf{7,28 \times 10^{-4}}$$

- b) Al igual que ocurría en el caso de la envolvente, al no existir una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar la gráfica, por lo que se calcula P_a de la siguiente manera.

$$P_a = \frac{0,0625 \times E}{\left(\frac{R_0}{t}\right)^2} = \frac{0,0625 \times 3 \times 10^7}{\left(\frac{2746(\text{mm})}{2}\right)^2} = \mathbf{63,65 \text{ psi}}$$

$$P_a > P_c \Rightarrow 63,65 \text{ psi} > 15 \text{ psi} \Rightarrow \text{El espesor } (t) \text{ es correcto}$$

➤ **Tensiones longitudinales en la envolvente debidas a la presión interior**

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \times (D_c + 2c)}{4 \times (t - c)} = \frac{4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times (2730(mm) + 2 \times 2,5(mm))}{4 \times (8(mm) - 2,5(mm))} = 497,27 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Pesos de la elevación**

Para saber el peso de la columna completa en conjunto, se debe calcular los pesos de las diferentes partes en las que está compuesta dicha columna de intercambio.

• **Peso de la envolvente**

- L = longitud de la envolvente (m)
- ρ = densidad del material (Kg/m^3)
- D_c = di metro interno (m)
- D_o = di metro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \times (D_o^2 - D_c^2) \times L = 7944 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times (2,746^2(m^2) - 2,730^2(m^2)) \times 4,674 (m)$$

$$P_{EN} = \mathbf{3253,2Kg}$$

• **Peso de los fondos**

Para este cálculo se debe conocer antes el valor del diámetro del disco (D_d), y el volumen de material que componen el fondo (V_f).

$$D_d = (1,12 \times D_a) + (1,7 \times h) = (1,12 \times 2746(mm)) + (1,7 \times 28(mm)) \\ = \mathbf{3123,12 mm}$$

$$V_F = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (D_d^2) \times (8 \times t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \times (3123,12^2(mm)^2) \times (8 \times 8(mm)) = \mathbf{0.490m^3}$$

$$P_F = V_F \times \rho = 0,490(m^3) \times 750 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \mathbf{367,71 Kg}$$

• **Peso de los accesorios**

El peso de las tuberías, conexiones y el resto de accesorios de la columna de intercambio aniónico, se puede aproximar con la siguiente expresión.

$$P_{ACC} = 0,05 \times (P_{EN} + 2P_F) = \\ = 0,05 \times (3253,2(Kg) + 2 \times 367,71 (Kg)) \\ P_{ACC} = \mathbf{200 (Kg)}$$

- **Peso total de la columna**

Sumando todo los pesos calculados obtenemos el valor del peso total de la columna.

$$P_T = P_{EN} + 2P_F + P_{ACC} = 3253,2(Kg) + 2 \times 367,71 (Kg) + 200(Kg)$$

$$P_T = 4187,62 (Kg)$$

El peso calculado produce una tensión de un valor igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \times P_T \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]} = \frac{4 \times 4187,62(Kg) \times 100}{\pi \times [2746^2(mm^2) - (2730(mm) + 2 \times 2,5(mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = 8,84 \frac{Kg}{cm^2}$$

➤ **Tensiones debidas a las pruebas**

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. Esta comprobación requiere una serie de ensayos no destructivos, tales como radiográficos, comprobación con líquidos penetrantes para localizar posibles fugas y partículas magnéticas de las soldaduras, una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII div. 1, la presión de prueba para la comprobación del recipiente es:

$$P_{Hm} = 1,5 \times P \times \frac{S_a}{S}$$

P_{Hm} = Presión hidráulica mínima, Kg/cm²

P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm²

S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm²

S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm²

$$P_{Hm} = 1,5 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 6 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1,3 \times P \times \frac{S_a}{S} = 1,3 \times 4 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \times \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5,2 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Hay que verificar que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superan el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario se deber aumentar los espesores de las paredes de las paredes de forma que se cumpla esta condición. Cuando la prueba se realice en posición vertical, se deber tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna del líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_C \times (P_{Hm} + H_t \times 10^{-4})}{4 \times t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción

$$H_t = L + (2 \times H_f) = 4,674(m) + (2 \times 0,577(m)) = 5,828 (m)$$

$$\sigma_i = \frac{273(cm) \times (6 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right) + 582,8(cm) \times 10^{-4})}{4 \times 0,8(cm)} = 516,84 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times P_W \times 100}{\pi[D_0^2 - (D_C + 2 \times c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_W = V_W \times \rho_W = (\pi \times R_c^2 \times L + 2 \times V_F) \times \rho_W$$

$$P_W = (\pi \times 1,36^2(m^2) \times 4,674(m) + 2 \times 2,03(m^3) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)) = 31126,91 Kg$$

$$\sigma_{Agua} = \frac{4 \times 31126,91(kg) \times 100}{\pi[274,6^2(cm^2) - (273(cm) + 2 \times 0,25(cm))^2]} = 65,73 \frac{Kg}{cm^2}$$

Se debe de comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90% del límite del material (σ).

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} = 516,84 \frac{Kg}{cm^2} + 65,73 \frac{Kg}{cm^2} = 582,57 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$0,9 \times \sigma = 0,9 \times 2109,55 \frac{Kg}{cm^2} = 1898,6 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_i + \sigma_{Agua} < 0,9 \times \sigma$$

Tabla resumen de las dimensiones del depósito de agua desmineralizada:

Variable	Depósito agua desmineralizada
V (L)	16000
D (m)	2,73
L (m)	4,29
V _R (L)	25130

Variable	Depósito agua desmineralizada
t (mm)	8
t _f (mm)	8
D (m)	2,73
Do (m)	2,746
Tipos de fondos	Korbogen
H _f (m)	0,577
V _f (m ³)	2,030
L (m)	4,675
H _t (m)	5,828
P _f (Kg)	368
P _t (Kg)	4187,62

ANEXO VI: TUBERÍAS

Las tuberías que se van a utilizar en el presente proyecto, estarán fabricadas en PVC.

Las dimensiones de la tubería dependerán de la distribución o línea de la planta. Para seleccionar el tipo de tubería que se precisan en el presente proyecto, es necesario realizar el cálculo del diámetro interno necesario.

Este cálculo se realizara en función de la expresión obtenida de la ecuación de continuidad.

Donde:

$$\left. \begin{array}{l} Q = A \times v \\ A = \frac{\pi \times D^2}{4} \end{array} \right\} D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v \times \pi}}$$

- Q = Caudal de líquido (m³/s)
- V = Velocidad lineal de paso del líquido (m/s)
- D = Diámetro interior de la tubería (m)

El cálculo del diámetro será el teórico, ya que no coincidirá con los valores comerciales (nominal) y se tendrá que escoger el más cercano y acorde a nuestras condiciones de partida.

El cálculo del diámetro interno dependerá tanto del caudal, que ya se ha estimado en función del sistema de producción y de la velocidad, que será escogida en función de las características del líquido que atraviese la tubería.

Es preciso realizar la selección de la velocidad lineal de paso, ya que velocidades grandes originarían excesivas pérdidas de carga, elevando esto mucho los costes de bombeo y pudiendo causar excesivo desgaste de los diversos componentes del sistema y por el contrario tampoco velocidades excesivamente pequeñas que podrían suponer la obligación del uso de tuberías y accesorios de gran tamaño, produciéndose una elevación en los gastos de presupuesto e instalación.

Por ello es preciso seleccionar una velocidad acorde con las características del agua de paso, según la bibliografía el valor medio de la velocidad del agua, en servicios normales está comprendida entre 1,2 y 1,8 m/s (escogeremos el valor más alto)

Cuando hemos obtenido nuestro valor del diámetro interior en función del caudal y de la velocidad escogida, se procede a la elección de una tubería adecuada en el catalogo correspondiente. En los catálogos de tuberías de PVC se muestran estas, clasificadas por su diámetro nominal y por su presión nominal.

Como hemos dicho con anterioridad, se escogerá un diámetro nominal superior al diámetro interior calculado.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS

Para el diseño de los diferentes tramos de conducciones, es preciso realizar una separación de las distintas líneas de proceso, ya que no todas trabajan al mismo caudal, por lo que los diámetros de cada una serán diferentes.

Se pueden observar las siguientes líneas de tuberías:

1. Alimentación- filtro de arena
2. Filtro de arena- filtro de carbón activo
3. Filtro de carbón activo – Columna aniónica
4. Columna aniónica – Depósito agua desmineralizada
5. Regeneración de Columna catiónica
6. Regeneración de Columna aniónica
7. Sistema de recirculación

Como ejemplo del cálculo, se va a obtener el dimensionamiento de las tuberías de PVC correspondientes a la línea que unen el filtro de carbón activo con la columna aniónica.

En este caso el caudal de diseño será el mayor que transcurra por dicha línea de tuberías, podemos encontrar:

- Caudal normal de producción ---- **23 m³/h**
- Caudal de compactación del lecho de resina ----- **60,96 m³/h**
- Caudal de regeneración de la resina ---- **10 m³/h**
- Caudal de lavado del lecho ----- **10m³/h**
- Caudal de lavado del filtro --- **30 m³/h**

Se escoge como caudal de diseño el valor mayor, en este caso, el caudal de compactación del lecho de resina catiónica, 60,96 m³/h (0,017 m³/s).

Por lo tanto sustituyendo los valores en la ecuación anterior:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v \times \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,017 \text{ m}^3/\text{s}}{1,8 \text{ m/s} \times \pi}} = 0,109 \text{ m}$$

Una vez obtenido el valor del diámetro interior de la tubería, se hace uso del catalogo de tuberías de PVC, y se obtiene el valor nominal del diámetro y espesor de la tubería en cuestión.

La presión nominal será elegida y posteriormente comprobada en el diseño de la potencia de las bombas.

diámetro Nominal (mm)	Espesor de los tubos (mm)				
	PN=4 Kg/cm ²	PN=6 Kg/cm ²	PN=10 Kg/cm ²	PN=16 Kg/cm ²	PN=25 Kg/cm ²
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	2
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	-	-

Para un valor $D = 0,109 \text{ m}$ (109mm) equivale un espesor de:

$$D_N = 110 \text{ mm}$$

$$e_N = 2,2 \text{ mm}$$

Se efectuarán los cálculos de la manera descrita para todas las demás líneas del proceso, obteniéndose un resultado que se muestra en la siguiente tabla:

Línea	Q(m ³ /s)	v(m/s)	D(mm)	D _N (mm)	e _N (mm)	PN(Kg/cm ²)
1	0,0044	1,8	56,08	63	1,8	4
2	0,0083	1,8	76,80	90	1,8	4
3	0,0169	1,8	109,47	110	2,2	4
4	0,0157	1,8	105,44	110	2,2	4
5	0,0028	1,8	44,34	50	1,8	6
6	0,0017	1,8	34,34	40	1,8	6
7	0,0044	1,8	56,08	63	1,8	4

ANEXO VII: BOMBAS

Los aparatos dedicados a la impulsión de líquidos se denominan bombas. La selección y aplicación de las bombas requiere una comprensión de sus características de funcionamiento y usos típicos.

Cuando se selecciona una bomba para aplicación particular, se debe considerar los siguientes factores:

- La naturaleza del líquido que se va a bombear
- La capacidad requerida
- La carga total de la bomba
- El tipo de fuente de alimentación
- Costo de la bomba, de su instalación, de operación y mantenimiento

Clasificación de las bombas.

Todas las bombas pueden clasificarse en dos grupos generales:

- 1º. Bombas de desplazamiento positivo.
- 2º. Bombas de presión límite.

Las bombas de desplazamiento positivo no tienen límite de presión máxima de impulsión. Para garantizar el funcionamiento seguro de ellas, es necesario la utilización de alguna válvula de seguridad que derive la salida en caso de obstrucción del conducto. Se caracterizan porque el caudal de bombeo casi no es afectado por la presión de funcionamiento. Se pueden clasificar en:

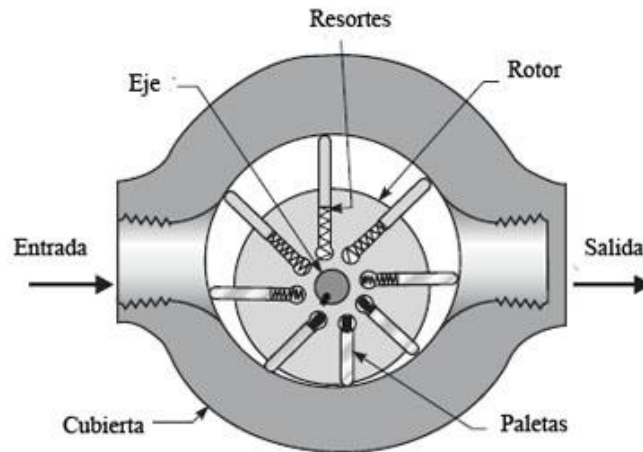
- Bombas de émbolo.
- Bombas de engranes.
- Bombas de diafragma.
- Bombas de paletas.

Las bombas de presión límite son aquellas que impulsan el líquido solo hasta determinada presión, a partir de la cual el caudal es cero. Estas bombas pueden funcionar por un tiempo relativamente largo sin averías con el conducto de salida cerrado. Existe en ellas una dependencia generalmente no lineal entre el caudal bombeado y la presión de descarga. Las más comunes son:

- Bombas centrífugas.
- Bombas de hélice
- Bombas de diafragma con resorte.

En el presente proyecto se utilizarán bombas centrífugas. Son las más usadas debido a sus ventajas: gran versatilidad, bajo coste, fácil diseño, operación y mantenimiento.

Las bombas centrífugas constan de una tubería de aspiración, un impulsor que gira dentro de una carcasa circular y de una tubería de impulsión.



DISEÑO DE BOMBAS

A continuación se procederá al diseño de las bombas que componen el presente proyecto. Se realizará el cálculo de una de estas, calculándose el resto de forma análoga.

Ejemplo:

Calculo de las características de la bomba encargada de impulsar el agua sucia del tratamiento superficial hasta el depósito de almacenamiento de agua desmineralizada, pasando por los filtros tanto de arena, como de carbón activo y el sistema intercambiador.

Es necesario calcular la potencia requerida por la bomba para impulsar el agua desde la balsa de almacenamiento hasta el depósito de agua desmineralizada, este cálculo se realiza con la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{\Delta P}{\rho \times g} + \frac{\Delta v^2}{2 \times g} + \Delta z + h_f = \eta \times \Delta h$$

Donde:

- $\frac{\Delta P}{\rho \times g}$: es la carga de presión
- Δz : es la carga estática
- $\frac{\Delta v^2}{2 \times g}$: es la carga de velocidad
- h_f : es la pérdida de carga por fricción
- $\eta \times \Delta h$: es la carga mecánica de la bomba

Supondremos el caso más desfavorable o lo que es lo mismo el caso donde la balsa de retención este prácticamente vacía por lo que el peso del fluido no ayudara a la impulsión de este. También mantendremos constante tanto la sección de la tubería como el caudal del fluido, por lo que no existirá variación de velocidad.

De esta manera la ecuación anterior nos quedara:

$$\Delta z + h_f = \eta \times \Delta h$$

La altura que la bomba tendrá que vencer, será la diferencia entre la salida de la áqueta de retención de aguas a tratar (ARA), hasta la entrada en el depósito de agua desmineralizada (DAD). Este valor es de 9,828 metros.

Una vez conocido este valor, se llevara a cabo el cálculo de la perdida de carga, que se determinara calculando un régimen de flujo a través del número de Reynolds.

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu}$$

De la ecuación de Reynolds conocemos todos los parámetros menos el de la velocidad que es fácilmente calculable.

La velocidad es función del caudal de paso circulante por la bomba, en nuestro caso será de 16 m³/h (4,44x10⁻³ m³/s), y del diámetro de la tubería por donde se impulse el fluido, en nuestro caso el diámetro de la tubería es de 110 mm (0.110 m). Por lo tanto:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \times \left(\frac{D^2}{4}\right)} = \frac{4,44 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi \times \left(\frac{0,110^2(m^2)}{4}\right)} = 0,47 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Sustituyendo este valor en la ecuación del Reynolds:

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,110(m) \times 0,47 \left(\frac{m}{s}\right) \times 997,045 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)}{10^{-3} \left(\frac{Kg}{m \times s}\right)} = 51547,22$$

El factor de fricción (4f) se calcula en función del Reynolds imperante en el sistema, esto supone que si el Re < 2000 se emplea:

$$4f = \frac{64}{Re}$$

Y en caso contrario, si el $Re > 2000$ se emplea la expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{4f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{4f}} \right)$$

Como hemos visto anteriormente, el valor del $Re > 2000$, por lo que usaremos la segunda ecuación mencionada. Este cálculo se realizara mediante iteración:

$(4f)_{\text{supuesto}}$	$\frac{\varepsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{4f}}$	$-2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{4f}} \right)$	$(4f)_{\text{Calculado}}$
0,005	0,026937	3,14	0,10147
0,10147	0,017678	3,51	0,08139
0,08139	0,017797	3,50	0,08166
0,081665	0,017795	3,50	0,08166
0,08166107	0,017795	3,50	0,081661
0,08166115	0,017795	3,50	0,08166115

Por lo tanto:

$$4f = 0,08166$$

Sustituiremos los parámetros en la ecuación de Fanning, para determinar la pérdida de carga a la que está sometida la tubería debido a la fricción.

$$h_f = (4f) \times \frac{L_c}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} = 0,08166 \times \frac{62,2174(m)}{0,110(m)} \times \frac{0,47^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,82 \left(\frac{m}{s^2}\right)} = 0,52 \text{ m}$$

La potencia requerida por la bomba se obtendrá aplicando la ecuación de Bernoulli, suponiendo un rendimiento de seguridad del 70%:

$$\Delta h = \frac{\Delta z + h_f}{\eta} = \frac{9,828(m) + 0,52(m)}{0,7} = 14,78(m)$$

$$\Delta h = 641,86 \text{ W} \approx 0,65 \text{ KW}$$

Realizaremos los mismos cálculos para las demás bombas, tanto la bomba de impulsión del depósito agua desmineralizada (DAD) hasta los depósitos de dilución de regenerante (DDA y DDS) y recirculación a los baños de lavado de la cadena de tratamiento superficial de piezas, así como la bomba de impulsión del líquido desde los depósitos de dilución de regenerante (DDA y DDS) y arqueta de agua de red (ARAR) hasta las columnas de intercambio iónico para realizar la regeneración de las resinas.

El resultado del resumen de las bombas siguiendo el procedimiento anterior, es el que se muestra en la siguiente tabla:

SALIDA	Arqueta de recepción de agua a tratar (ARA)	Depósito de agua desmineralizada (DAD)	Deposito de dilución de regenerante (DDA y DDS)
ENTRADA	Depósito de agua desmineralizada (DAD)	Deposito de dilución de regenerante (DDA y DDS)	Columnas de intercambio iónico (CC y CA)
POTENCIA	0,65 KW	0,45 KW	0,55 KW

Se considera el no colocar bombas para impulsar el ácido sulfúrico y la sosa hasta sus correspondientes depósitos de dilución, ya que al tener caudales pequeños y distancias cortas entre estos y los depósitos de dilución la potencia de la bomba necesaria sería muy pequeña.

Se opta por la elevación de los depósitos de regenerante lo suficiente como para que no haya problemas en el paso de los líquidos al realizar las disoluciones.

Se podrían utilizar en la instalación, bombas centrífugas normalizadas (DIN-24255) de la empresa EBARA o similar.



ANEXO VIII: PROTECCION CONTRA INCENDIOS

DISPOSICIONES PRELIMINARES

Las condiciones de protección contra incendios en la planta de intercambio iónico objeto del presente proyecto se regularán por Real Decreto 2267/2004.

En el capítulo 1, en su artículo 2, del Real Decreto 2267/2004, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, se observa el ámbito de aplicación de este reglamento son los establecimientos industriales. Haciendo por tanto uso de la Ley 21/1992, se designa la planta de intercambio iónico como una actividad industrial. Esto conlleva al empleo de este Real Decreto para establecer la seguridad contra incendios de la planta en cuestión.

CARACTERIZACION DE LA PLANTA DE INTERCAMBIO IONICO

Según el anexo I, punto 1 del Real Decreto 2267/2004, los establecimientos industriales se caracterizan por dos conceptos:

1. Su configuración y ubicación con el entorno
 2. Su nivel de riesgo intrínseco
- Configuración y ubicación (especificada en el punto 2 del anexo I)
La planta del proyecto en estudio se corresponde a un establecimiento industrial que ocupa un espacio abierto, por lo que se le asigna una configuración **TIPO E**.
 - Nivel riesgo intrínseco (especificada en el punto 3 del anexo I)
Según lo establecido por la tabla 1.3 del anexo I del presente Real Decreto, la planta en estudio posee un nivel de riesgo intrínseco bajo.

INSTALACIONES DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS

En primer lugar la planta de intercambio iónico para producir agua desmineralizada de proceso al ser caracterizado como una planta de configuración tipo E, los sistemas de alarma contra incendios corresponder a un sistema manual. No requiriendo sistemas de comunicación de alarmas contra incendios debido a que el sector de incendio posee un valor pequeño de superficie.

Estas condiciones se observan en los puntos 4 y 5 del anexo III del Real Decreto 2267/2004.

- Hidrantes: determinados en el punto 7 del anexo III.

Mediante el conocimiento del área del sector industrial, nivel de riesgo intrínseco junto con la configuración de la planta, se determina la cantidad de hidrantes y las condiciones de caudal requerido y autonomía de los mismos.

Según estos valores se hace uso de la tabla 3.1, estableciendo que la planta de intercambio iónico no requiere este tipo de protección contra incendios.

- Extintores de incendios: determinados en el punto 8 del anexo III.

Según el Real Decreto 2267, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, se debe instalar extintores de incendios portátiles en todos los sectores de incendio.

El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permitir que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio y su distribución ser tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m.

Su emplazamiento ser sobre soportes fijos en paramentos o pilares verticales, de forma que la parte superior del extintor quede como máximo a 1,70 m del suelo.

- Sistemas de bocas de incendio equipadas: determinados en el punto 9 del anexo III.

Mediante el conocimiento del área del sector industrial, nivel de riesgo intrínseco junto con la configuración de la planta, se determina la cantidad de bocas de incendios requeridos por dicha planta.

Con el conocimiento de estos datos se establece que la planta de intercambio iónico queda exenta de necesitar este tipo de protección contra incendios.

- Sistemas de columna seca: determinados en el punto 10 del anexo III.

Según lo dispuesto en este apartado del Real Decreto, el sistema en estudio queda exento de emplear este método de protección contra incendios.

- Sistemas de rociadores automáticos con agua: determinados en el punto 11 del anexo III.

La instalación, al poseer una configuración tipo E y al poseer un nivel bajo de área, no requiere la utilización de rociadores automáticos con agua.

- Sistemas de agua pulverizada: determinados en el punto 12 del anexo III.
La planta de intercambio iónico no requiere el empleo de este sistema de protección contra incendios, según queda indicado en la ITC-APQ 1, almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
- Sistemas de espuma física: determinados en el punto 13 del anexo III.
La planta de intercambio iónico no requiere el empleo de este sistema de protección contra incendios, ya que en la instalación no se encuentran ningún elemento que sea inflamable
- Sistemas de extinción por polvo: determinados en el punto 14 del anexo III.
La instalación de intercambio de iones para producir agua desmineralizada de procesos no requiere el empleo de este sistema de protección contra incendios, según queda indicado en la ITC-APQ 1, almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
- Sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos: determinados en el punto 15 del anexo III.
La planta intercambiadora de iones no requiere el empleo de este sistema de protección contra incendios, según queda indicado en la ITC-APQ 1, almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.

NORMATIVA APLICADA EN PROTECCION CONTRA INCENDIOS

La normativa utilizada para la realización de este anexo corresponde a las siguientes:

1. Real Decreto 2267/2004, del 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
2. Real Decreto 339/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4,

ANEXO IX: INFORME AMBIENTAL

IDENTIFICACION DE LA ACTUACION

Según la normativa vigente, para la construcción del presente proyecto sobre el diseño de una planta de intercambio de iones para producir agua desmineralizada para un proceso de tratamiento superficial de piezas de acero, es necesaria la presentación y aprobación de un informe ambiental por la administración competente, según la vigente Ley 7/1994.

DESCRIPCION DE LA ACTUACION

Se muestran las características básicas de la actuación y posible incidencia ambiental, tanto en la fase de ejecución como en la fase de operación.

❖ Fase de Operación

Durante la fase de operación y bajo condiciones de normal funcionamiento de la instalación, las únicas acciones que puede interaccionar sobre el entorno son:

- Evacuación de efluentes de regeneración y del lavado de las columnas.
- Evacuación de las aguas sanitarias.
- Evacuación de las aguas de escorrentía superficial.
- Ruidos y vibraciones originados por la maquinaria y los vehículos de transporte.

El presente proyecto no contempla ningún proceso que implique, en un funcionamiento normal de la planta, la formación de ningún subproducto ya sea sólido, líquido o gaseoso, que sea capaz de impactar sobre el entorno y donde sea preciso adoptar medidas de corrección necesarias.

- Evacuación de efluentes de regeneración y del lavado

Los residuos producidos durante la etapa de regeneración de las columnas de intercambio iónico, junto con el lavado de las columnas de filtración, se convierten en el mayor impacto ambiental que se producir en la planta.

Estos efluentes deben ser tratados en la misma instalación, en la cual se instale esta planta de intercambio iónico, si dispone de una depuradora propia dentro de la empresa. Si esto no fuera posible, estos flujos deberán ser enviados a un gestor autorizado, para que puedan encargarse de su posterior tratamiento.

- Evacuación de las aguas sanitarias

La planta dispone de un aseo y vestuario para el personal de la planta. Dicho aseo constituye un punto generador de efluentes líquidos susceptibles de afectar a la calidad de las aguas superficiales por lo que es necesario construir una pequeña red de saneamiento que conecte con la propia red de saneamiento local.

- Evacuación de escorrentías superficiales

Las operaciones normales de funcionamiento de la planta no son originadoras de ningún tipo de vertido o residuo que se deposite sobre la superficie de la planta y que en caso de precipitaciones pudiese ser arrastrado hacia la correspondiente red de drenaje.

Sin embargo, en los puntos de localización de las instalaciones de bombeo puede originarse alguna fuga esporádica y de reducida magnitud a través del cierre hidráulico de los grupos de bombeo. Lo mismo podría suceder en los puntos de descarga de los regenerantes, pudiendo originar alguna fuga.

Todas estas fugas anteriormente nombradas se depositan sobre la superficie de la planta, que unidas al derrame esporádico que se puede producir en las operaciones de mantenimiento al desmontar algún elemento de la red de tuberías, obliga a que sea considerado como un potencial efecto contaminante del drenaje de las escorrentías de aguas superficiales en pocas de lluvias, requiriendo la adopción de medidas específicas.

Estas medidas correctivas consisten en un sistema de alcantarillado estratégicamente dispuesto para la distribución de dichas escorrentías a la red de saneamiento públicas.

- Ruidos y vibraciones

La emisión de ruidos por parte de la actividad está relacionada principalmente con el funcionamiento de las distintas instalaciones de bombeo, tráfico de camiones para el relleno de los depósitos de regenerantes, así como el funcionamiento de los agitadores.

❖ Fase de Construcción

Durante la fase de construcción las acciones que puede producir algún tipo de impacto son:

- Movimiento de materiales, equipos y maquinarias para la construcción e instalación de los equipos, tanques, tuberías etc.
- Movimiento de escombros y desechos de la construcción e instalación de la planta de intercambio iónico.

Esto supondrá en el entorno:

- Contaminación atmosférica por emisión de polvo y gases de escape de vehículos y maquinaria.
- Molestias causadas por ruidos, vibraciones etc.

Estas acciones y efectos serán reducidas al mínimo a través de la elaboración de un plan de obra regido por un Sistema de Gestión Medioambiental (SGM) según la norma UNE EN ISO 14.001, en el que se identifica pormenorizadamente las acciones y sus efectos; se establece un programa de seguimiento y control, así como se produce a la verificación de las no conformidades para poder implantar las medidas correctoras oportunas.

A continuación se describen las medidas correctoras y protectoras adoptadas con objeto con minimizar o eliminar de la incidencia sobre el entorno.

Incidencias Sobre el Entorno Territorial

En primer lugar debe hacerse mención a la implantación de prácticas de minimización del problema en su origen entre los que se destacan:

- Buenas prácticas en los departamentos de producción, contabilidad y compraventa.
 - Evitar compras en exceso
 - Optimizar el flujo de materiales en todas las operaciones de la planta.
- Control de inventarios
 - Desarrollo de procedimiento de inspección de todas las materias primas antes de su compra.
 - Revisión de las especificaciones de almacenamiento, tratamiento y utilización de materiales.
- Almacenamiento y manipulación de materiales
 - Espaciar los contenedores para facilitar la inspección.
 - Mantener el área de transporte limpia y sin obstáculos.
- Prevención de fugas
 - Establecimiento de procedimientos escritos para todas las operaciones de carga y descarga.
 - Llenar a fondo los tanques de almacenamiento de materia prima.
- Mantenimiento preventivo
 - Inspección periódica de los equipos e instalaciones.
 - Informatización del historial de los equipos.
 - Realización del seguimiento de cada equipo.

- Guías o manuales de operación
 - Descripción de los procedimientos normales de operación en detalle.
 - Descripción de normas de seguridad y de actuación en caso de emergencia.
 - Conservación de las hojas de seguridad de materiales.

❖ **Incidencias Debidas a Efectos Acústicos**

En la planta tienen lugar una serie de operaciones que pueden generar de los niveles sonoros de las inmediaciones, y que fundamentalmente se relacionan con las siguientes actividades:

- Tránsito de maquinaria (camiones cisternas) en el recinto y vías de acceso al mismo.
- Funcionamiento de las bombas.

Como medidas correctoras de este efecto no es posible tomar ninguna específica, ya que los grupos de bombeo funcionan con niveles de emisión sonora razonablemente bajos.

Respecto al tránsito de maquinarias se exigirá que todos los camiones que entren en el recinto tengan al día su correspondiente inspección técnica que garantice el cumplimiento de la normativa vigente en lo referente a la emisión de ruidos y contaminantes a través de los gases de escape.

❖ **Incidencias Sobre el Medio Hídrico**

Se trata de los agentes regenerantes agotados y las aguas de lavado de las columnas de intercambio. Tendrán carácter ácido o básico según si la corriente proviene de una columna u otra.

Además, otro efluente que se producirá en la planta será la de aguas sanitarias, aunque al ser la ocupación de operarios pequeña, el nivel de generación de efluentes posee un muy bajo nivel.

Por último, de forma esporádica y asociado a la intensidad de precipitaciones en la zona, podría esperarse una contaminación ocasional de las aguas de escorrentías superficiales, siempre que se diese la circunstancia en que los momentos de lluvia coincidiesen con la existencia de algún depósito sobre la superficie de la planta como consecuencia de un derrame accidental. A pesar de la baja probabilidad de que tenga lugar esta coincidencia el sistema de alcantarillado de la planta se encarga de contener dicha escorrentía.

NORMATIVA APLICABLE

- 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 del 2 de agosto de 1985.
- Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL

El presente Plan de Vigilancia Ambiental tiene por objeto:

- Controlar las actividades que tengan relación con impactos significativos y realizarlas de forma controlada, para que no afecten a la protección del medio ambiente.
- Describir la metodología para las inspecciones periódicas de las operaciones y equipos relacionados.
- Establecer un método sistemático para el tratamiento de la información recogida, que permita obtener conclusiones a partir de la misma.

ANEXO X: FICHAS TECNICAS

ROHM&HAAS

AMBERLYST™ 121WET Industrial Grade Strongly Acidic Catalyst

Description

AMBERLYST 121WET* is a gel type, sulphonic acid, polymeric catalyst with a uniform particle size and a low crosslinked structure. It is highly active for condensation reactions such as the condensation of phenol with acetone to produce Bisphenol-A*.

AMBERLYST 121WET is designed to produce high quality BPA. Its particle size and pore structure allow for reduced pressure drop and significantly longer lifetime than conventional catalysts.

Typical Properties

These properties are typical but do not constitute specifications.

Physical form	Light brown, spherical beads
Ionic form as shipped	Hydrogen
Concentration of acid sites	≥ 4.8 eq/kg ^[1] ≥ 0.73 eq/L
Moisture holding capacity ^[1]	74 to 84% (H ⁺ form)
Shipping weight	730 g/L (45.5 lbs/ft ³)
Particle size	
Harmonic mean size	0.720 - 0.820 mm
Uniformity coefficient	≤ 1.2
Fines content ^[1]	< 0.300 mm: 0.1% max
Coarse beads	> 1.180 mm: 5.0% max
Shrinkage	Water to phenol: 68%

^[1] Contractual value

Test methods are available on request.

Suggested Operating Conditions

Maximum operating temperature	130°C (265 °F)
Minimum bed depth	60 cm (24 inches)
Operating flow rate	1 to 8 BV**/h (LHSV)
Pressure drop limitation	1 bar (15 psig) across the bed

* U.S. Patent 5,233,096 (1993).

** 1 BV = 1 m³ solution per m³ of resin

Hydraulic Characteristics

Figure 1 shows the bed expansion of AMBERLYST 121WET as a function of backwash flow rate and water temperature.

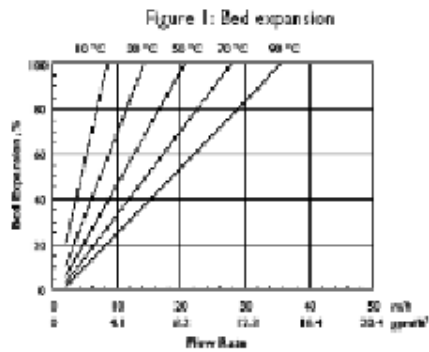
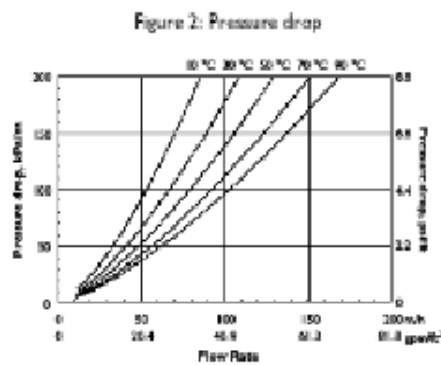


Figure 2 shows the pressure drop data for AMBERLYST 121WET as a function of service flow rate and water temperature.



All our products are produced in ISO 9001 certified manufacturing facilities.

AMBERLYST is a trademark of Rohm and Haas Company, Philadelphia, U.S.A.

Ion exchange resins and polymeric adsorbents, as produced, contain by-products resulting from the manufacturing process. The user must determine the extent to which organic by-products must be removed for any particular use and establish techniques to assure that the appropriate level of purity is achieved for that use. The user must ensure compliance with all prudent safety standards and regulatory requirements governing the application. Except where specifically otherwise stated, Rohm and Haas

Company does not recommend its ion exchange resins or polymeric adsorbents, as supplied, as being suitable or appropriately pure for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information. Acidic and basic regenerant solutions are corrosive and should be handled in a manner that will prevent eye and skin contact. Nitric acid and other strong oxidizing agents can cause explosive type reactions when mixed with ion exchange resins. Proper design of process equipment to prevent rapid buildup of pressure is necessary if use of an oxidizing agent such as nitric acid is contemplated. Before using strong oxidizing agents in contact with ion exchange resins, consult sources knowledgeable in the handling of these materials.

Rohm and Haas Company makes no warranties either expressed or implied as to the accuracy or appropriateness of this data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective users determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials and suggestions for any use prior to their adoption. Suggestions for use of our products of the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.

ROHM HAAS

©Rohm and Haas, 2006 All rights reserved.

September 2005

ROHMIHAAS

AMBERLYST™ A26 OH Industrial Grade Strongly Basic Polymeric Resin For Catalysis and Separation Technologies

Description

AMBERLYST A26 OH is a strong base, type 1, anionic, macroreticular polymeric resin based on crosslinked styrene divinylbenzene copolymer containing quaternary ammonium groups. Its porous structure makes it a good choice for use in aqueous and non aqueous media. The macroreticular structure and pore size distribution imparts superior resistance to mechanical and osmotic shock.

AMBERLYST A26 OH is virtually inert in strong acids, concentrated alkalis, aliphatic and aromatic hydrocarbons, alcohols, ethers and other common solvents.

Typical Properties

These properties are typical but do not constitute specifications.

Physical form	Tan opaque spherical beads
Ionic form as shipped	Hydroxide (OH)
Concentration of active sites ⁽¹⁾	≥ 0.80 eq/L
Moisture holding capacity ⁽¹⁾	66 to 75% (OH form)
Shipping weight	675 g/L (42.1 lbs/ft ³)
Particle size	
Uniformity coefficient	≤ 1.45
Harmonic mean size	0.560 to 0.700 mm
Nitrogen BET	
Surface area	30 m ² /g
Average pore diameter	290 Å
Total pore volume	0.20 ml/g
Shrinkage	Water to acetone: 34%

⁽¹⁾ Contractual value

Test methods are available on request.

Catalysis

AMBERLYST A26 OH is used to catalyze reactions such as aldol condensation and carbonylation where strongly basic catalyst is required. Its pore structure allows large molecules to enter and react on the basic groups.

Suggested Operating Conditions

Maximum operating temperature	60°C (140°F)
Minimum bed depth	1000 mm (39 inches)
Operating flow rate	1 to 5 BV*/h (LHSV)
Pressure drop limitation	1 bar (15 psig) across the bed

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m³ resin

Separation Technologies

AMBERLYST 26 OH is used to remove anionic transition metal complexes and mercaptans from hydrocarbons, acids from hydrocarbons and other non-polar solvents, oleic acid from chlorinated hydrocarbons and acids from phenol-acetone solutions. The macroreticular matrix provides large pores presenting a sponge like structure. This feature combined with its strong basicity permits the removal of large size soluble organic molecules.

Suggested Operating Conditions

Maximum operating temperature	60°C (140°F)
Minimum bed depth	600 mm (24 inches)
Service flow rate	1 to 4 BV*/h (0.125 to 0.5 gpm/ft ³)
Operating flow rate	1 to 4 BV/h
Regenerant concentration	1 N NaOH
Regenerant flow rate	1 to 4 BV/h
Rinse water requirement	4 to 10 BV (30 to 75 gal/ft ³)

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m³ resin

Hydraulic Characteristics

Figure 1 shows the bed expansion of AMBERLYST A26 OH as a function of backwash flow rate and water temperature.

Figure 1: Bed expansion

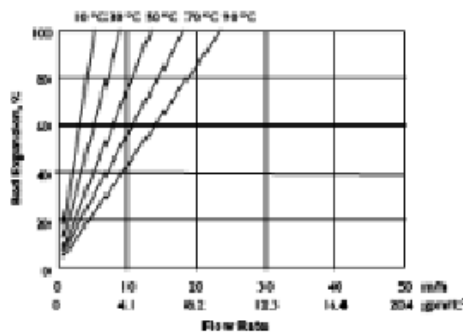
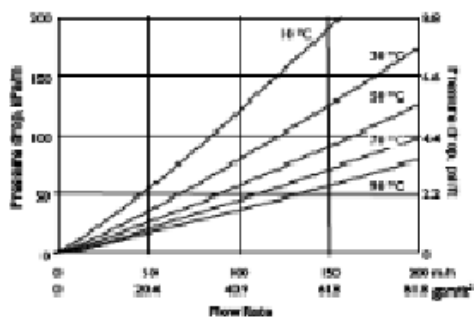


Figure 2 shows the pressure drop data for AMBERLYST A26 OH as a function of service flow rate and water temperature.

Figure 2: Pressure drop



AMBERLYST is a trademark of Rohm and Haas Company, Philadelphia, U.S.A.

Ion exchange resins and polymeric adsorbents, as produced, contain by-products resulting from the manufacturing process. The user must determine the extent to which organic by-products must be removed for any particular use and establish techniques to assure that the appropriate level of purity is achieved for that use. The user must ensure compliance with all prudent safety standards and regulatory requirements governing the application. Except where specifically otherwise stated, Rohm and Haas Company does not recommend its ion exchange resins or polymeric adsorbents, as supplied, as being suitable or appropriately pure for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information. Acidic and basic regenerant solutions are corrosive and should be handled in a manner that will prevent eye and skin contact. Nitric acid and other strong oxidising agents can cause explosive type reactions when mixed with ion exchange resins. Proper design of process equipment to prevent rapid buildup of pressure is necessary if use of an oxidising agent such as nitric acid is contemplated. Before using strong oxidising agents in contact with ion exchange resins, consult sources knowledgeable in the handling of these materials.

Rohm and Haas Company makes no warranties either expressed or implied as to the accuracy of appropriateness of this data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective users determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials and suggestions for any use prior to their adoption. Suggestions for uses of our products of the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.

ROHM|HAAS 

©Rohm and Haas, 2006 All rights reserved.

April 2001

Norit Activated Carbon

leading in purification



DATASHEET

No. 2201
Aug 2010

NORIT® GAC 1240 GRANULAR ACTIVATED CARBON

NORIT GAC 1240 is a granular activated carbon produced by steam activation of select grades of coal. As a result of a unique patented activation process and stringent quality control, NORIT GAC 1240 offers excellent adsorption properties and is recommended for removal of impurities from water and industrial process applications. NORIT GAC 1240 meets all AWWA B100 and B604 standards for potable water use. NORIT GAC 1240 is Kosher certified and meets NSF/ANSI Standard 61.

Product Specifications

Iodine number, mg/g	1020 min.
Molasses number	230 min.
Abrasion number (AWWA)	75 min.
Moisture, % as packed	2 max.
Mesh size (U.S. Sieve Series)	
Greater than 12 mesh (1.70 mm), %	5 max.
Less than 40 mesh (0.42 mm), %	4 max.

Typical Properties*

Apparent density, vibrating feed, g/mL	0.49
lb/ft ³	31
Bed density, backwashed and drained, lb/ft ³	27
Effective size, mm	0.65
Uniformity coefficient	1.6
Food Chemical Codex	Passes

*For general information only, not to be used as purchase specifications.

Packaging/Transportation

Standard package is woven polypropylene bulk bags with a net weight of 1,000 lb. Activated carbon (NOT REGULATED)

Exempt from DOT, IATA, and IMDG regulations

Import/Export classification: 3802.10.0000 (HS Tariff Classification)

Domestic Freight Classification: NMFC 040560

CAS # 7440-44-0

Material Handling

Wet activated carbon depletes oxygen from air and, therefore, dangerously low levels of oxygen may be encountered. Whenever workers enter a vessel containing activated carbon, the vessel's oxygen content should be determined and work procedures for potentially low oxygen areas should be followed. Appropriate protective equipment should be worn. Avoid inhalation of excessive carbon dust. No problems are known to be associated in handling this material. Please see the product Material Safety Data Sheet for details. Long-term inhalation of high dust concentrations can lead to respiratory impairment. Use forced ventilation or a dust mask when necessary for protection against airborne dust exposure (see Code of Federal Regulations - Title 29, Subpart Z, par. 1910.1000, Table Z-3).

(continued on reverse side)

NORIT Americas Inc. • 3200 West University Avenue • PO Box 700 • Marshall, TX 75071 USA
Telephone +1 903 923 1000 • +1 800 841 9245 • FAX +1 903 923 1003
www.norit-americas.com • info@norit-americas.com

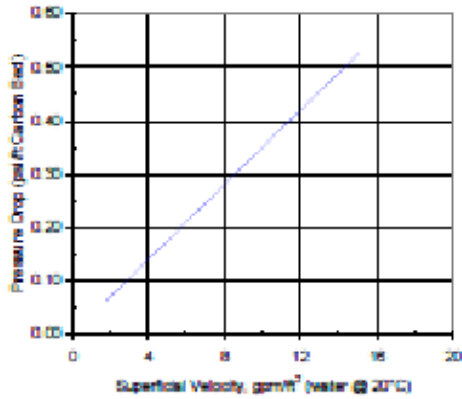
DATASHEET

No. 2201
Aug. 2010

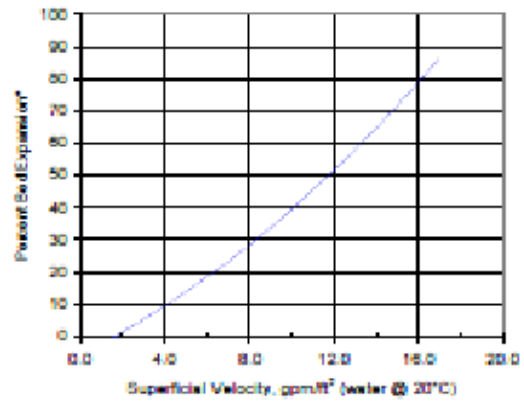
NORIT® GAC 1240 (continued)

Engineering Data

Pressure Drop Curve
for NORIT GAC 1240



Bed Expansion Curve
for NORIT GAC 1240



*Expansion is expressed as percent of the backwashed and settled bed depth.

Note: Any specification given was valid at time of issuance of the publication. However, we maintain a policy of continuous development and reserve the right to amend any specification without notice.

Norit Americas Inc. • 3200 West University Avenue • PO Box 700 • Marshall, TX 75671 USA
Telephone +1 903 923 1000 • +1 800 641 9245 • FAX +1 903 923 1003
www.norit-americas.com • info@norit-americas.com

Se mostrara a continuación los catálogos de los posibles equipos que componen la instalación. Se recomiendan para el presente proyecto los citados o similares.



SERIE 3 - SERIE 3L

ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA NORMALIZADA según DIN 24255

Acero Inoxidable AISI 304 - AISI 316L



Electrobombas centrífugas normalizadas construidas en Acero Inoxidable AISI 304 (Serie 3) y Acero Inoxidable AISI 316L (Serie 3L) particularmente adecuadas para el abastecimiento de agua doméstico, agrícola e industrial, grupos de presión y contra incendios, calefacción y aire acondicionado, lavado a presión, tratamiento de agua, torres de refrigeración e intercambiadores de calor. Incorporadas a diferentes tipos de maquinaria industrial.





IE2

Hidráulica Serie 3

PRESTACIONES

- Presión máx. de trabajo: 10 bar.
- Temperaturas máx. del líquido vehiculado: -10°C / +90°C
- Temperaturas máx. del líquido Serie L:
 - 10°C / +110°C hasta modelo 65-250.
 - 10°C / +120°C desde modelo 65-250 en adelante.
- Temperaturas máx. del líquido Serie H: -20°C / +120°C

MATERIALES

- Cuerpo de bomba, impulsor, base portacierre y eje:
 - AISI 304: Serie 3
 - AISI 316L: Serie 3L; Serie 3L (65-250) y Serie 3L (80)
- Modelos 65(250) / 80 impulsor en AISI 316 (microfundido).
- Cierre mecánico Serie 3: Carbón / Cerámica / NBR
- Cierre mecánico Serie 3L: SiC / SiC / FPM (Vitón)
- Cierre mecánico versión H: Carbón / Cerámica / FPM (Vitón)
- Cierre mecánico versión HS: SiC / SiC / FPM (Vitón)

DATOS TÉCNICOS

- Motor trifásico eficiencia IE2 a partir de 0,75 kW.
- Asíncrono, 2 y 4 polos.
- Aislamiento Clase F
- Protección IP55
- Trifásica:
 - 230/400V ± 10% 50 Hz hasta 4 kW inclusive
 - 400/690V ± 10% 50 Hz para potencias superiores
- 3PF-3LPF y 3SF-3LSF conforme adirectiva 94/9/EC para equipos ATEX (perteneciente al Grupo II, Categoría 2).

Suplemento cierre mecánico para Bombas 3M / 3S / 3P hasta tamaño 65

Incluye: Cierre mecánico, retén, junta tórica, distanciador del cierre mecánico, chaveta del eje y tuerca del impulsor



Versión H - Alta temperatura: 3MH-3SH-3PH-3PFH			R.V.P.
Tipo de cierre mecánico	código	Temperatura	€
CAR/CER/Vitón (FPM)	364500001	(-20/+120° C)	196

Versión HS - Líquidos especiales: 3MHS-3SHS-3PHS-3PFHS			R.V.P.
Tipo de cierre mecánico	código	Temperatura	€
SiC/SiC/Vitón (FPM)	364500002	(-20/+120° C)	283

Juego de Contrabridas para roscar (Bombas Serie 3)

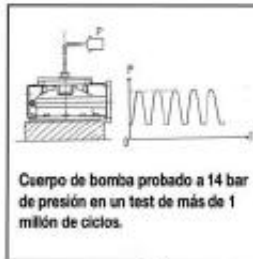
DNa / DN	código	AISI 316		AISI 304		Chcadas	
		código	P.V.P. €	código	P.V.P. €	código	P.V.P. €
50/32	364300011	215	364400005	160	364400001	63	
65/40	364300012	283	364400007	214	364400002	73	
65/50	364300013	306	364400008	230	364400003	83	
80/65	364300043	433	364400043	337	364400000	98	

* Incluye contrabridas, juntas, arandelas, tornillos y tuercas.



SERIE 3 - SERIE 3L

ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA NORMALIZADA según DIN 24255



Cuerpo de bomba probado a 14 bar de presión en un test de más de 1 millón de ciclos.



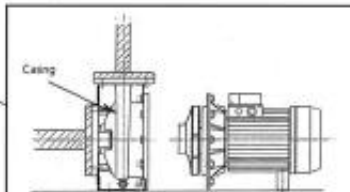
Proceso de "Hidro-conformado" patentado por EBARA - Consigue una voluta integral que ofrece mayores rendimientos que las habituales volutas circulares. La ausencia de soldaduras garantiza una gran resistencia a la corrosión.

Impulsores con rendimientos superiores al 80% disponibles en diversos aceros inoxidables (304 y 316 estampados) y microfundición en 316.

Impulsor hidráulicamente equilibrado - Reduce el empuje axial y prolonga la vida útil de los cojinetes.

Diseño estructural de gran robustez - Reduce los efectos de tensión originados por las tuberías y sus consiguientes deformaciones en el cuerpo de bomba.

Cierre mecánico según norma DIN, permitiendo ajustar la bomba al líquido bombeado (gracias a una gran variedad de materiales).



Diseño "Back Pull Out" - Permite el desmontaje del conjunto del Motor/Impulsor mientras que el cuerpo de la bomba permanece in situ.

DENOMINACIÓN

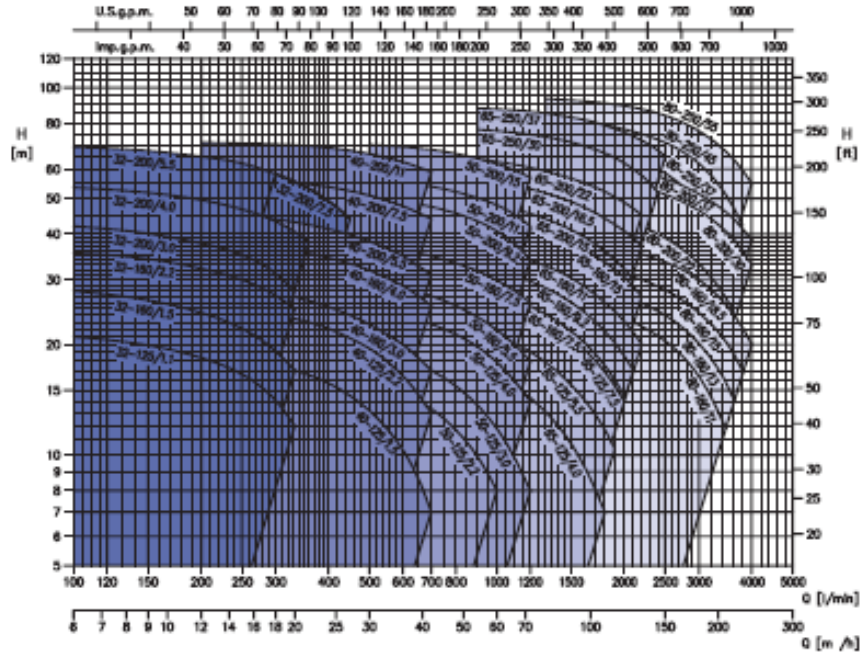
3	L	M	F	4	H	40	200	3.0	R	M	
											Monofásica
											Impulsor reducido
											Potencia en kW
											Tamaño cuerpo
											Díámetro de impulsión
											Tipo de cierre mecánico
											4 polos
											Sin motor, eje libre
											M: Monobloc
											S: con motor estándar
											P: sobre bancada
											AISI 316
											Serie 3



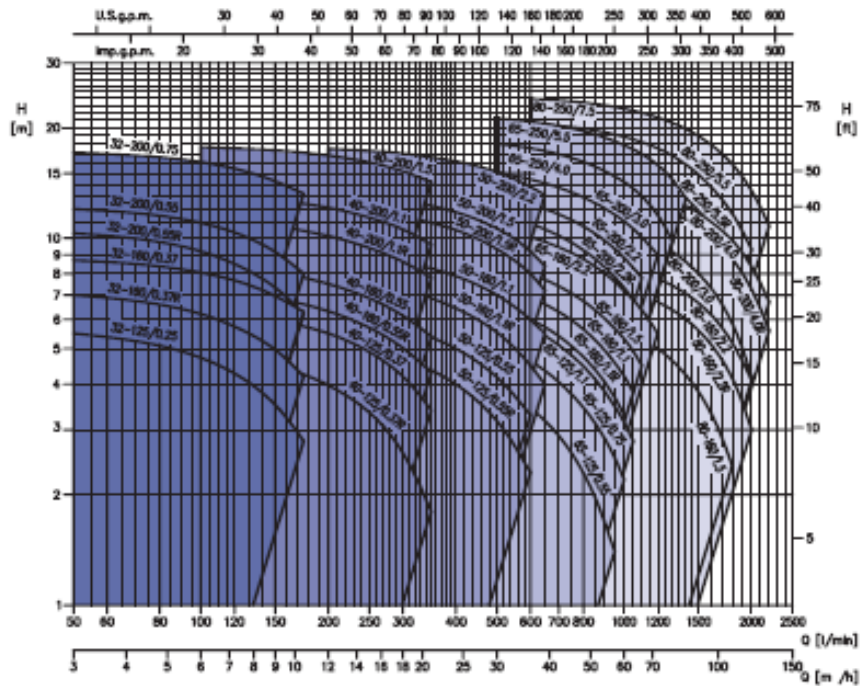
SERIE 3 - SERIE 3L

ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA NORMALIZADA según DIN 24255

CAMPO DE TRABAJO - 2.900 r.p.m. (según ISO 9906 / 2)



CAMPO DE TRABAJO - 1.450 r.p.m. (según ISO 9906 / 2)





SERIE 3 - SERIE 3L

ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA NORMALIZADA según DIN 24255

TABLA DE CARACTERÍSTICAS a 2.900 r.p.m. - Modelos 3M/3LM-3S/3LS-3P/3LP

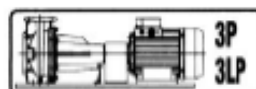
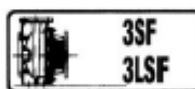
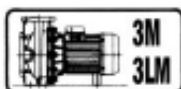
Bomba	kW	CV	V _{min} m³/h	Q=Caudal																
				100	200	300	333	400	500	600	700	1000	1200	1700	1900	2100	2200	2300	2400	2500
				6	12	18	20	24	30	36	42	60	72	102	114	126	132	138	144	150
				H=Altura manométrica total (m)																
32-125/1.1 (M)	1,1	1,5		21	18,4	14,1	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-160/1.5 (M)	1,5	2		28	24,5	19,2	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-160/2.2 (M)	2,2	3		35,5	32	27	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-200/3.0	3	4		42	37,5	31	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-200/4.0	4	5,5		53,5	49,5	43,5	40,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-200/5.5	5,5	7,5		69	65	58,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-200/7.5	7,5	10		69	65	58,3	55,5	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-125/1.5 (M)	1,5	2		-	19	17,6	17	15,7	13,2	10,3	7	-	-	-	-	-	-	-		
40-125/2.2 (M)	2,2	3		-	25,5	24	23,5	22	19,5	16,4	13	-	-	-	-	-	-	-		
40-160/3.0	3	4		-	29,5	27,5	27	25,5	22	20	17	-	-	-	-	-	-	-		
40-160/4.0	4	5,5		-	38,5	37	36	34,5	32	29	25,5	-	-	-	-	-	-	-		
40-200/5.5	5,5	7,5		-	45,5	44	43	41	38	35	31	-	-	-	-	-	-	-		
40-200/7.5	7,5	10		-	57	55,5	56	53,5	51	47,5	44	-	-	-	-	-	-	-		
40-200/11	11	15		-	71	70	70	68,5	66	63	59	-	-	-	-	-	-	-		
50-125/2.2 (M)	2,2	3		-	-	-	-	17,5	16,3	14,9	13,4	8	-	-	-	-	-	-		
50-125/3.0	3	4		-	-	-	-	20,5	19,6	18,4	17	11,8	8	-	-	-	-	-		
50-125/4.0	4	5,5		-	-	-	-	26	25	24	22,5	17,9	14	-	-	-	-	-		
50-160/5.5	5,5	7,5		-	-	-	-	31	30	28,5	27	22	18	-	-	-	-	-		
50-160/7.5	7,5	10		-	-	-	-	38,5	37,5	36	35	30	26	-	-	-	-	-		
50-200/9.2	9,2	12,5		-	-	-	-	50	49	47,5	40,5	34	-	-	-	-	-	-		
50-200/11	11	15		-	-	-	-	56	55	54	48	42	-	-	-	-	-	-		
50-200/15	15	20		-	-	-	-	70	69	68	62	57	-	-	-	-	-	-		
65-125/4.0	4	5,5		-	-	-	-	-	20	19,4	18,5	14,4	8,6	6,3	-	-	-	-		
65-125/5.5	5,5	7,5		-	-	-	-	-	25	24,5	21,5	19,1	13,3	10,8	8	-	-	-		
65-125/7.5	7,5	10		-	-	-	-	-	30,5	29,5	27	24,7	18,7	16,1	13,4	12	-	-		
65-160/7.5	7,5	10		-	-	-	-	-	30	27	25,9	19,9	17,1	14,2	-	-	-	-		
65-160/9.2	9,2	12,5		-	-	-	-	-	34,5	32	29,9	23,9	21,1	18,3	16,8	-	-	-		
65-160/11	11	15		-	-	-	-	-	38,5	36	34,2	28,4	25,8	23	21,5	20	-	-		
65-160/15	15	20		-	-	-	-	-	45,5	43	41	35,3	32,8	29,8	28	26,5	-	-		
65-200/15	15	20		-	-	-	-	-	51	48	45,5	38,4	35,3	31,8	30	-	-	-		
65-200/18.5	18,5	25		-	-	-	-	-	58,5	55,5	53	46	43	39,7	38	36,3	-	-		
65-200/22	22	30		-	-	-	-	-	65,5	63	60,5	54	51	48	46,5	45	-	-		
65-250/30*	30	40		-	-	-	-	-	-	76	74,5	68	64,5	60	57,5	55	52	-		
65-250/37*	37	45		-	-	-	-	-	-	87	86,5	80,5	77,5	74	72	70	67,5	65		

(*) 3LS/3LP fabricados en AISI 316L.

TABLA DE CARACTERÍSTICAS SERIE 80 a 2.900 r.p.m. - Modelo 3LM-3LS-3LP

Bomba	kW	CV	V _{min} m³/h	Q=Caudal														
				0	1300	1800	2200	2600	3000	3400	3800	3800	4000	4200				
				0	78	108	132	156	180	204	216	228	240	252				
				H=Altura manométrica total (m)														
80-160/11	11	15		29	27,3	24,8	22,4	19,7	16,4	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-
80-160/13	13	17,5		32	30,5	28,3	25,9	23,3	20,1	16,5	14,5	-	-	-	-	-	-	-
80-160/15R	15	20		32	30,5	28,3	25,9	23,3	20,1	16,5	14,5	-	-	-	-	-	-	-
80-160/15	15	20		36	34	32	30	27,5	24,4	21	19,1	17	-	-	-	-	-	-
80-160/18.5	18,5	25		40	39	37,2	35,2	32,9	30	26,4	24,4	22,3	20	-	-	-	-	-
80-200/22*	22	30		50	48	45	42	37,9	33,2	27,8	25	-	-	-	-	-	-	-
80-200/30*	30	40		60	58,5	56,5	54	50,5	46,5	41,5	39	36,1	33	-	-	-	-	-
80-200/37*	37	50		66	64	61,5	59	55,5	51,5	47	44,5	41,5	38,5	-	-	-	-	-
80-250/37*	37	50		73	71,5	67,5	63	58,5	48,5	38	-	-	-	-	-	-	-	-
80-250/45*	45	60		84	82,5	79	75	69,5	62	53	48	42,3	-	-	-	-	-	-
80-250/55*	55	75		95	93,5	91	87,5	82,5	76,5	68,5	64,5	60	55	-	-	-	-	-

(*) 3LS/3LP fabricados en AISI 316L.





SERIE 3 - SERIE 3L

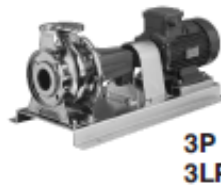
ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA NORMALIZADA según DIN 24255

TABLA DE CARACTERÍSTICAS a 1.450 r.p.m. - Modelos 3M4/3LM4-3S4/3LS4-3P4/3LP4

Bomba	kW	CV	l/min m³/h	Q=Caudal																
				50	100	180	200	300	360	400	500	600	800	960	1000	1050	1100	1200	1300	1400
				3	6	9,6	12	18	21	24	30	36	48	57	60	63	66	72	78	84
				H=Altura manométrica total (m)																
32-1250.25	0,25	0,33		5,8	4,9	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-1600.37R	0,37	0,5		7,2	6,3	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-1600.37	0,37	0,5		8,7	8	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-2000.55R	0,55	0,75		10,5	9,3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-2000.55	0,55	0,75		12	11	9,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32-2000.75	0,75	1		17,3	16,5	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-1250.37R	0,37	0,5		-	4,5	4	3,6	2,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-1250.37	0,37	0,5		-	6,2	5,7	5,2	3,8	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-1600.55R	0,55	0,75		-	7,2	6,7	6,3	5	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-1600.55	0,55	0,75		-	8,5	7,9	7,5	6,2	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-2001.1R	1,1	1,5		-	11	10,5	10,1	9	8,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-2001.1	1,1	1,5		-	12,7	12,3	11,9	10,4	9,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40-2001.5	1,5	2		-	17,8	17,4	16,9	15,3	14,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
50-1250.55R	0,55	0,75		-	-	-	4,9	4,4	4,2	3,8	3	2	-	-	-	-	-	-		
50-1250.55	0,55	0,75		-	-	-	5,8	5,4	5,2	4,9	4,1	3,2	-	-	-	-	-	-		
50-1601.1R	1,1	1,5		-	-	-	7,7	7,2	6,9	6,5	5,8	4,5	-	-	-	-	-	-		
50-1601.1	1,1	1,5		-	-	-	9	8,5	8,2	7,8	6,9	5,8	-	-	-	-	-	-		
50-2001.5R	1,5	2		-	-	-	12,1	11,5	11,1	10,6	9,5	8	-	-	-	-	-	-		
50-2001.5	1,5	2		-	-	-	13	12,3	11,9	11,5	10,5	9,1	-	-	-	-	-	-		
50-2002.2	2,2	3		-	-	-	17,7	17,2	16,8	16,4	15,4	14	-	-	-	-	-	-		
65-1250.55	0,55	0,75		-	-	-	-	4,8	4,6	4,4	4	3,5	2,3	1,4	-	-	-	-		
65-1250.75	0,75	1		-	-	-	-	6	5,8	5,7	5,2	4,6	3,5	2,5	2,2	-	-	-		
65-1251.1	1,1	1,5		-	-	-	-	7,2	7	6,8	6,3	5,8	4,5	3,5	3,2	2,8	-	-		
65-1601.1	1,1	1,5		-	-	-	-	8,1	8	7,4	7	6,7	4,6	4,2	3,8	-	-	-		
65-1601.5	1,5	2		-	-	-	-	9,2	9	8,5	8	6,7	5,7	5,3	4,9	4,5	-	-		
65-1602.2	2,2	3		-	-	-	-	-	11,3	11,1	10,6	10	8,8	7,6	7,2	6,8	6,4	5,5		
65-2002.2R	2,2	3		-	-	-	-	-	12,4	12,2	11,6	11	9,3	7,8	7,3	6,8	-	-		
65-2002.2	2,2	3		-	-	-	-	-	13,9	13,7	13	12,4	10,8	9,3	8,8	8,3	7,8	-		
65-2003.0	3	4		-	-	-	-	-	15,8	15,6	15	14,5	12,9	11,6	11,1	10,6	10,1	9		
65-2504.0	4	5,5		-	-	-	-	-	-	18,1	17,6	16,1	14,7	14,2	13,7	13	11,6	9,8		
65-2505.5	5,5	7,5		-	-	-	-	-	-	21,2	20,7	19,6	18,4	17,9	17,5	17	15,8	14,4		

TABLA DE CARACTERÍSTICAS SERIE 80 a 1.450 r.p.m. - Modelos 3LM4-3LS4-3LP4

Bomba	kW	CV	l/min m³/h	Q=Caudal															
				0	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400					
				0	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144					
				H=Altura manométrica total (m)															
80-1601.5	1,5	2		7,3	6,8	6,3	5,7	5	4,2	3,4	2,4	-	-	-	-	-	-	-	
80-1602.2	2,2	3		9,5	9,1	8,8	8,3	7,8	7,1	6,2	5,2	4,1	-	-	-	-	-	-	
80-1602.2R	2,2	3		8,6	8,1	7,8	7,3	6,7	6	5,2	4,2	3	-	-	-	-	-	-	
80-2003.0	3	4		12,4	12	11,5	10,7	9,7	8,6	7,3	5,9	4,2	-	-	-	-	-	-	
80-2004.0	4	5,5		16	15,4	14,9	14,1	13,2	12,3	11,1	9,9	8,4	6,7	-	-	-	-	-	
80-2004.0R	4	5,5		14,8	14,4	13,9	13,2	12,2	11,2	10,1	8,8	7,2	5,6	-	-	-	-	-	
80-2505.5	5,5	7,5		21,2	20,5	19,9	18,9	17,8	15,9	13,8	11,7	9,3	-	-	-	-	-	-	
80-2505.5R	5,5	7,5		18,5	17,7	17	16	14,6	12,9	10,7	8,4	-	-	-	-	-	-	-	
80-2507.5	7,5	10		24,5	24	23,4	22,5	21,3	19,8	18	15,9	13,5	10,8	-	-	-	-	-	





SERIE 3 - SERIE 3L

ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA NORMALIZADA según DIN 24255

Modelos desde 32-125 a 65-200
fabricados en AISI 316L
Consultar Precios



3SF4
3LSF4



3S4
3LS4

IE2

1.450 r.p.m.

Modelo	3SF4		3LS4		Potencia		Tensión**	3SF4 3LSF4 3S4 3LS4			
	Hidráulico	3LSF4 Hidráulico	Gpo. Completo*	Gpo. Completo*	kW	CV		€ Hidráulico	€ Hidráulico	€ G. Completo	€ G. Completo
32-125/0,25	1278000000	1277000000	1278010004	1277010004	0,25	0,34	TRIF.	626	707	1.080	1.208
32-160/0,37R	1278000101	1277000101	1278020104	1277020104	0,37	0,5	TRIF.	672	758	1.273	1.423
32-160/0,37	1278000001	1277000001	1278020004	1277020004	0,37	0,5	TRIF.	672	758	1.273	1.423
32-200/0,55R	1278000102	1277000102	1278030104	1277030104	0,55	0,75	TRIF.	826	931	1.378	1.543
32-200/0,55	1278000002	1277000002	1278030004	1277030004	0,55	0,75	TRIF.	826	931	1.378	1.543
32-200/0,75	1278000003	1277000003	1278050004	1277050004	0,75	1	TRIF.	844	956	1.429	1.601
40-125/0,37R	1288000300	1287000301	1288020104	1287020104	0,37	0,5	TRIF.	636	718	1.158	1.296
40-125/0,37	1288000000	1287000000	1288020004	1287020004	0,37	0,5	TRIF.	636	718	1.158	1.296
40-160/0,55R	1288000101	1287000101	1288030104	1287030104	0,55	0,75	TRIF.	711	802	1.326	1.483
40-160/0,55	1288000001	1287000001	1288030004	1287030004	0,55	0,75	TRIF.	711	802	1.326	1.483
40-200/1,1R	1288000302	1287000302	1288070104	1287070104	1,1	1,5	TRIF.	838	948	1.517	1.694
40-200/1,1	1288000002	1287000002	1288070004	1287070004	1,1	1,5	TRIF.	838	948	1.517	1.694
40-200/1,5	1288000003	1287000003	1288080004	1287080004	1,5	2	TRIF.	867	980	1.635	1.830
50-125/0,55R	1298000100	1297000100	1298030104	1297030104	0,55	0,75	TRIF.	724	817	1.254	1.404
50-125/0,55	1298000000	1297000000	1298030004	1297030004	0,55	0,75	TRIF.	724	817	1.254	1.404
50-160/1,1R	1298000301	1297000301	1298070104	1297070104	1,1	1,5	TRIF.	844	956	1.515	1.693
50-160/1,1	1298000001	1297000001	1298070004	1297070004	1,1	1,5	TRIF.	844	956	1.515	1.693
50-200/1,5R	1298000302	1297000302	1298080104	1297080104	1,5	2	TRIF.	858	967	1.687	1.887
50-200/1,5	1298000002	1297000002	1298080004	1297080004	1,5	2	TRIF.	858	967	1.687	1.887
50-200/2,2	1298000003	1297000003	1298100004	1297100004	2,2	3	TRIF.	979	1.105	1.770	1.981
65-125/0,55	1378030004	1375030004	1362030004	1351330004	0,55	0,75	TRIF.	936	1.052	2.441	2.699
65-125/0,75	1378050004	1375050004	1362040004	1351340004	0,75	1	TRIF.	1.026	1.153	2.472	2.729
65-125/1,1	1378060004	1375070004	1362070004	1351370004	1,1	1,5	TRIF.	1.100	1.236	2.559	2.809
65-160/1,1	1378070004	1377060004	1363070004	1352370004	1,1	1,5	TRIF.	1.169	1.313	2.752	3.026
65-160/1,5	1378080004	1376080004	1363080004	1352380004	1,5	2	TRIF.	1.253	1.408	2.807	3.077
65-160/2,2	1378100004	1376100004	1363100004	1352400004	2,2	3	TRIF.	1.353	1.520	3.106	3.349
65-200/2,2R	1378090004	1377090004	1364100104	1353400104	2,2	3	TRIF.	1.407	1.581	3.292	3.538
65-200/2,2	1378120004	1377100004	1364100004	1353400004	2,2	3	TRIF.	1.407	1.581	3.292	3.538
65-200/3	1378110004	1377110004	1364110004	1353420004	3	4	TRIF.	1.557	1.749	3.458	3.694
65-250/4	-	1388404004	-	1395120104	4	5,5	TRIF.	-	2.758	-	3.923
65-250/5,5	-	1388554004	-	1395130104	5,5	7,5	TRIF.	-	2.839	-	4.120
80-160/1,5	-	1387154004	-	1396080104	1,5	2	TRIF.	-	2.920	-	3.406
80-160/2,2R	-	1387224104	-	1396900104	2,2	3	TRIF.	-	3.099	-	3.510
80-160/2,2	-	1387224004	-	1396100104	2,2	3	TRIF.	-	3.099	-	3.510
80-200/3	-	1388304004	-	1397110104	3	4	TRIF.	-	3.245	-	3.952
80-200/4R	-	1388404104	-	1397130104	4	5,5	TRIF.	-	3.683	-	4.151
80-200/4	-	1388404004	-	1397120104	4	5,5	TRIF.	-	3.586	-	4.151
80-250/5,5R	-	1389554104	-	1398900104	5,5	7,5	TRIF.	-	4.088	-	4.839
80-250/5,5	-	1389554004	-	1398130104	5,5	7,5	TRIF.	-	3.732	-	4.839
80-250/7,5	-	1389754004	-	1398140104	7,5	10	TRIF.	-	4.332	-	5.054

* Hasta 4 kW motor BE, a partir de 4 kW motor B35.

** Hasta 5,5 CV tensión 230-400 V, 7,5 CV en adelante 400-690 V.

Precios sin juego de contornidades.

Para versiones monofásicas consultar precios.

Suplemento cierre mecánico para Bombas 3SH (Temperatura hasta +120° C), ver en Página 29.

VORTEX FLOWMETERS

FV-505C
\$2080
 Basic Unit

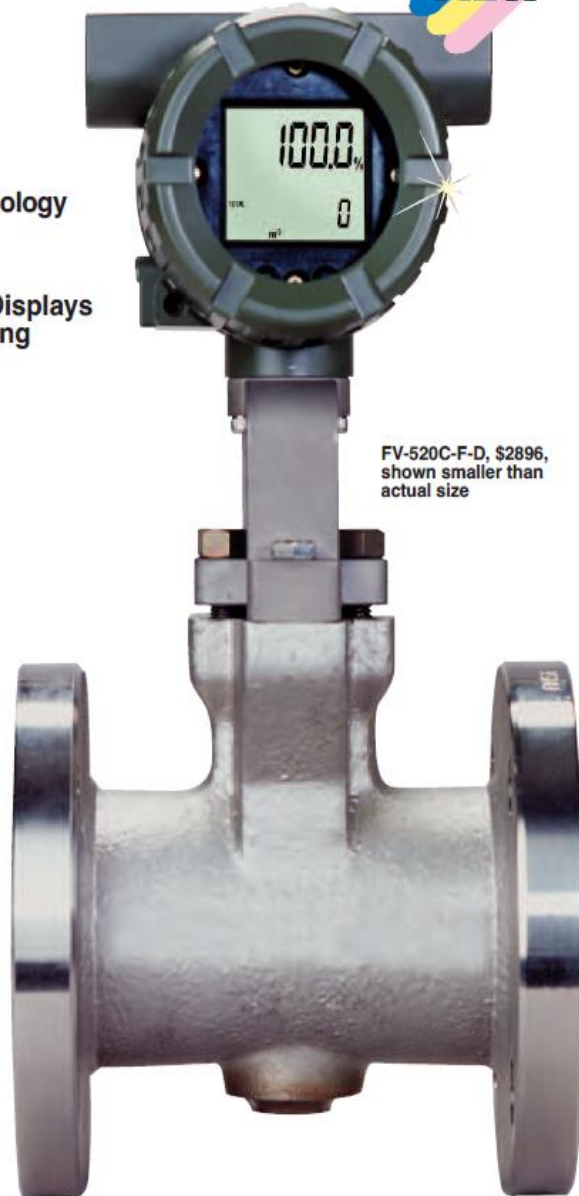


- ✓ SSP (Spectral Signal Processing) Technology
- ✓ Measures Steam, Gas, and Low Viscosity Liquids
- ✓ Clear Parallel Two-Line LCD Display. Displays Simultaneous Flow Rate and Total Along with Process Diagnosis
- ✓ New, Compact Amplifier Housing: Lighter, Small and Easier to Handle
- ✓ No Start-Up Tuning
- ✓ Low Flow Stability
- ✓ Advanced Self-Diagnostics
- ✓ No Moving Parts
- ✓ Simultaneous Analog and Pulse Outputs
- ✓ Status Output (Flow Switch Function) or Alarm Output
- ✓ Configurable Through Local Display Interface
- ✓ High Accuracy: $\pm 0.75\%$ of Reading (Liquid), $\pm 1\%$ of Reading (Gas, Steam)

OMEGA's FV-505C Series vortex flowmeter provides accurate, reliable, low-maintenance flow measurement. Vortices generated by the flowing fluid stress the shedder bar in pulses, and the shedder bar transmits the stress pulses to the encapsulated piezoelectric sensor.

Based on the field proven sensor technology of the FV-505C Series vortex flowmeters, FV-505C features a new amplifier with proprietary spectral signal processing (SSP) technology to analyze the vortex waveform into its spectral components to filter noise from signal for the most stable measurement possible.

The FV-505C Series will provide excellent vibration immunity for stable, accurate measurements at low flows without any need for start-up tuning. The user benefits through greater reliability, reduced maintenance and a lower total cost of ownership.



FV-520C-F-D, \$2896, shown smaller than actual size

The programmable display allows access to the full power of OMEGA's new intelligent amplifier. It permits the user to display flow rate and/or total in engineering units for liquids and gases. Rate and total are displayed simultaneously. If the density or enthalpy of the fluid is constant (i.e. the temperature and pressure do not change), the density value can be entered into the meter to display in kilograms, pounds or metric tons; the enthalpy value can be entered to display in BTUs, kilojoules, etc. Analog output span

adjustment and low cutoff are also settable from the display, there is no need to adjust pots. The analog and pulse outputs can also be forced to output from 0 to 100% FS or 0 to 6000 Hz without any flow through the meter as a test of the amplifier. For steam flow measurement, the FV-505C can be used with the OMEGA® FC-20 mass flow computer. The standard FV-505C is wafer-style to slip between 150# ANSI flanges, and comes supplied with extra long bolts for installation. Units with the suffix "-F" have 150# ANSI flanges.

G-8



SPECIFICATIONS

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Fluid to be Measured: Liquid, gas, steam (avoid multiphase flow and sticky fluids)

Measuring Flow Rates:
Refer to Table 6

Accuracy: ±0.75% of reading (liquid), ±1% of reading (gas, steam). Refer to Table 5

Repeatability: ±0.2% of reading

Calibration: Factory-calibrated using water flow

NORMAL OPERATING CONDITION

Process Temperature Range:

General: -40 to 260°C
(-40 to 500°F)

High Process Temperature Version Option (-HT): -40 to 450°C
(-40 to 842°F). Refer to Fig. 1 for integral converter type

Process Pressure Limit: -14.2 PSIA
(-1 kg/cm²) to flange rating

Ambient Temperature Range:

Remote Type Detector, Remote Type Converter: -40 to 85°C
(-40 to 185°F)

Integral Type (Refer to Fig. 1):
-40 to 85°C (-40 to 185°F)

Integral Type with Indicator (Refer to Fig. 1): -30 to 80°C
(-22 to 176°F)

Ambient Humidity: 5 to 100% RH
[at 40°C (104°F)] (non-condensing)

Power Supply Voltage: 10.5 to 42 Vdc (refer to Fig. 2, "Relationship Between Power Supply Voltage and Load Resistance.")

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Material (General Type):

Body: CF8M casting stainless steel (SUS316)

Shedder Bar: Duplex stainless steel (ASTM CD4MCu equivalent to JIS SUS329J1). -HT option has Hastelloy C

Gasket: JIS SUS316 stainless steel with polytetrafluoroethylene (Teflon®) coating.

Converter Housing and

Case, Cover: Aluminum alloy

Coating Color: Converter case and cover are deep sea moss green (Munsell 0.6GY 3.1/2.0)

(Polyurethane corrosion-resistance coating)

Protection: NEMA 4X (IP67) immersion proof and dust proof

Electrical Connection:
ANSI ½" NPT female

Signal Cable: Cable used for remote detector and converter

Max. Length: 30 m (98')

Outer Sheath Material:

Heat-resistant polyethylene

Temperature Rating: -40 to 150°C
(-40 to 302°F)

Weight: Refer to dimensional drawings

Mounting:

Integral Type and Remote Type

Detector: Flange mounting or wafer mounting

Remote Type Converter:

2" pipe mounting

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Note: Pulse output, alarm output and status output use common terminals, therefore, these functions are not used simultaneously

Output Signal: Simultaneous output (both analog and transistor contact output available). Refer to "Installation" for power supply and pulse output wiring

Analog:

4 to 20 mA DC, 2-wire system

Transistor Contact Output:

Open collector, 3-wire system.

Pulse, alarm, status output are selected by parameter setting.

Contact Rating: 30 Vdc,
120 mA DC

Low Level: 0 to 2 Vdc
(refer to Fig. 3)

Communication Requirement:

Conditions of Communications

Line: 250 to 600 (including cable resistance), refer to Fig. 2

Supply Voltage: 16.4 to 42 Vdc;
refer to Fig. 2

Spacing from Power Lines:

15 cm (6") or more (parallel wiring should be avoided)

Display Unit: %, l, t, Nm³, m³, kg scf,
cf, gal, lb, /h, /m

Cable Length for Specific

Applications: Use the following formula to determine cable length for specific applications:

$$L = 65 \times 10^6 - \frac{(Cf + 10,000)}{C}$$

where:

L=length in meters

R=resistance in
(including barrier resistance)

C=cable capacitance in pF/m

Cf=maximum shunt capacitance of receiving devices in pF/m

FUNCTIONS

Damping Time Constant:

0 to 99 sec (63% response time)

Note: Delay time is 0.5 sec. Analog output circuit time constant is 0.3 sec.

Pulse Output Function: Pulse output is selected from scaled pulse, unscaled pulse, frequency (number of pulses output per second at 100% of output)

Pulse Frequency: Max. 10 kHz
Duty Cycles: Approx. 50%



FV-520C-F \$2494,
shown smaller than
actual size.

Self-Diagnostics and Alarm Output*:

In an alarm condition (over range output signal, EEPROM error, vibration noise, abnormal flow such as clogging, bubble) an alarm signal is output and indicated. The alarm signal output goes from close (ON) to open (OFF) during alarm.

Status Output Function:

Flow Switch: In case flow rate falls below the flow set value, a status signal is output. The status signal output mode can be reversed (ON/OFF)

Data Security During Power Failure:

Data (parameter, totalizer value, etc) storage by EEPROM. No back-up battery required.

Correction:

Instrument for Correction: Vortex flowmeter errors can be corrected by line segment approximations

Reynolds Number Correction: Output error at Reynolds number 20000 or less is corrected by using five-break-point line-segment approximation

Gas Expansion Correction:

When measuring a compressible gas and steam, this expansion factor is useful to correct the error at velocities above 115 f/s (35m/s or more)

Down-Scale or Up-Scale Burn:

In case a CPU or EEPROM failure occurs, the output can be driven up-scale (21.6 Ma) or down-scale (3.6 Ma). Selection can be made by the end user via a jumper setting.



Indicator: Flow rate (% or engineering units) and totalizer can be indicated simultaneously. Short message for self-diagnosis is displayed. Local parameter setting can be accomplished by push buttons. Rotatable 90° right and left.

EMC Conformity Standards: EN61326, AS/NZS 2064

Note: For remote converter type, the signal cable should be used with meter conduit.

Figure 1: Ambient Temperature Limit (Integral Type)

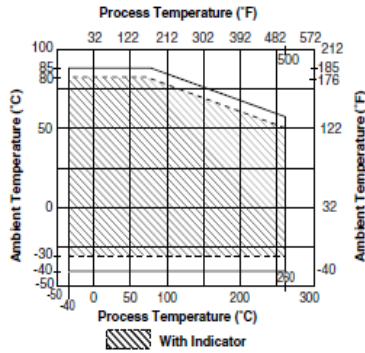


Figure 3: High and Low Level (Pulse Output)



Figure 4: Fluid Temperature Range of High Process Temperature Version

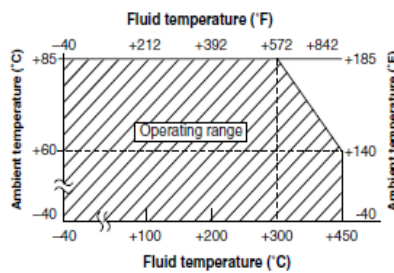


Figure 2: Relationship Between Power Supply and Load Resistance

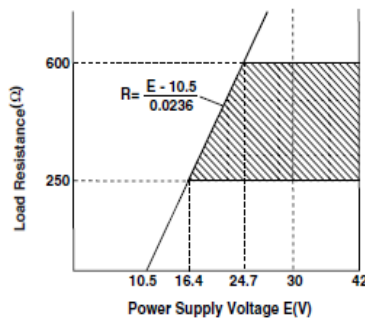


Table 1: Pressure Test Values for Stainless Steel

Flange Rating	Pressure
ANSI Class 150	412 psi (29 kgf/cm ²)
ANSI Class 300	1081 psi (76 kgf/cm ²)
ANSI Class 600	2161 psi (152 kgf/cm ²)
ANSI Class 900	3242 psi (228 kgf/cm ²)



FV-500C-RMK-D, \$1356, shown smaller than actual size.

G

SIZING

The following tables show typical operating ranges. For specific operating conditions, please contact OMEGA's Flow Department.

Minimum Measurable Flow Velocity

Table 2: Relationship Between Minimum Velocity and Density (Use the Larger of the Two Values)

Nominal size in in	Liquid		GAS, Steam	
	General Type, Cryogenic Type unit: lps	High Process Temperature Version unit: lps	General Type Cryogenic Type unit: lps(m/s)	High Process Temperature version unit: lps(m/s)
0.5	√160/p	—	√53.8/p(9.9)	—
1.0	√82/p	√329.5/p	√30.3/p(6.5)	√84.1/p(6.5)
1.5	√60/p	√229.5/p	√21/p(6.5)	√84.1/p(6.5)
2.0	√60/p	√107.8/p	√21/p(6.5)	√41.2/p(6.5)
3.0	√60/p	√107.8/p	√21/p(6.5)	√41.2/p(6.5)
4.0	√60/p	√107.8/p	√21/p(6.5)	√41.2/p(6.5)
6.0	√60/p	√107.8/p	√21/p(6.5)	√41.2/p(6.5)
8.0	√82/p	√136.2/p	√30.3/p(9.9)	√53.8/p(9.9)
10.0	√107.8/p	—	√41.2/p(9.9)	—
12.0	√107.8/p	—	√41.2/p(9.9)	—

p : Density at operating conditions (lb/cu ft)
Liquid density is 62.428 lb/cu ft
Gas and steam density is 3.1214 E-2 lb/cu ft or more.

Nominal size in mm	Liquid		GAS, Steam	
	General Type, Cryogenic Type (unit: m/s)	High Process Temperature Version (unit: m/s)	General Type, Cryogenic Type (unit: m/s)	High Process Temperature version (unit: m/s)
15	√250/p	—	√80/p or 3	—
25	√122.5/p	√490/p	√45/p or 2	√125/p or 2
40	√90/p	√490/p	√31.3/p or 2	√125/p or 2
50	√90/p	√160/p	√31.3/p or 2	√61.3/p or 2
80	√90/p	√160/p	√31.3/p or 2	√61.3/p or 2
100	√90/p	√160/p	√31.3/p or 2	√61.3/p or 2
150	√90/p	√160/p	√31.3/p or 3	√61.3/p or 3
200	√122.5/p	√202.5/p	√45/p or 3	√80/p or 3
250	√160/p	—	√61.3/p or 3	—
300	√160/p	—	√61.3/p or 3	—

p : Density at operating conditions (kg/m³)
Liquid density is 400 up to 2000kg/m³
Gas and steam density is 0.5kg/m³ or more.

Table 3: Range of Measurable Flow Velocity

Fluid	Nominal Size	Minimum flow velocity	Maximum flow velocity
Liquid	15 to 300 mm	"flow velocity obtained from Table 5" or "flow velocity at Reynolds number of 5000", whichever is greater.	33 tps
	0.5 to 12 in.	For liquid Reynolds number of 5000 : Use Figure.6	(10 m/s)
Gas, Steam	15 to 300 mm	"flow velocity obtained from Table 5" or "flow velocity at Reynolds number of 5000", whichever is greater.	262 tps
	0.5 to 12 in.	For Gas and steam Reynolds number of 5000 : Use of a calculation formula on the following page.	(80 m/s)

When the flow velocity is lower than minimum, both the analog output and the pulse output is displayed as zero "0".



Table 4: Range of Guaranteed Accuracy at Minimum Flow Velocity

Fluid	Nominal Size	Minimum flow velocity	Maximum flow velocity
Liquid	0.5 to 4 in (15 to 100 mm)	"flow velocity obtained from Table 5" or "flow velocity at Reynolds number of 20000", whichever is greater. For liquid Reynolds number of 20000 : The value is four times velocity value in Figure 6	33fps
	6 to 12 in (150 to 300 mm)	"flow velocity obtained from Table 5" or "flow velocity at Reynolds number of 40000", whichever is greater. For liquid Reynolds number of 40000 : The value is eight times velocity value in Figure 6	(10 m/s)
Gas, Steam	0.5 to 4 in (15 to 100 mm)	"flow velocity obtained from Table 5" or "flow velocity at Reynolds number of 20000", whichever is greater. For gas and steam Reynolds number of 20000 : Use of a calculation formula	262fps
	6 to 12 in (150 to 300 mm)	"flow velocity obtained from Table 5" or "flow velocity at Reynolds number of 40000", whichever is greater. For gas and steam Reynolds number of 40000 : Use of a calculation formula	(80 m/s)

Calculation Formula

How to calculate volume flow rate at operating conditions:

$$Qf = \frac{y \times D^2}{354} \text{ or } Qf = 3600 \times y \times S$$

How to calculate the velocity of a Reynolds Number:

$$y = 5 \times n/D \text{ (Reynolds number of 5000)}$$

$$y = 20 \times n/D \text{ (Reynolds number of 20000)}$$

$$y = 40 \times n/D \text{ (Reynolds number of 40000)}$$

however

$$Re = \frac{354 \times 10^3 \times Qf^2}{n \times D} \quad (1)$$

$$n = \frac{m}{\rho} \times 10^8 \quad (2)$$

Qf = Volume flow rate at operating conditions (m³/h)

D = Inner diameter of FV-500C (mm)

S = Sectional area of FV-500C (m²)

y = Flow velocity (m/s)

Re = Reynolds number (none unit)

ρ = Density at operating conditions (kg/m³)

m = Viscosity at operating conditions (cP)

n = Kinematic viscosity at operating conditions (cSt)

Pressure Loss

At velocity of 10 m/s by water, P=108 kPa. At velocity of 80 m/s by atmospheric air, P= 9 kPa obtained from the following equations:

$$P = 108 \times 10^5 \cdot \rho \cdot y^2 \quad (1)$$

or

$$P = 135 \times \rho f \cdot \frac{Qf^2}{D^4} \quad (2)$$

where:

P = Pressure loss (kPa)

ρ = Density at operating condition (kg/m³)

y = Flow velocity(m/s)

Qf = Actual flow rate (m³/h)

D = Internal diameter (mm)

Figure 7 shows the pressure loss versus actual flow rate. When nominal size 15 to 50 mm and adjacent pipeline is Sch 40, and nominal size 80 to 300 mm and adjacent pipeline is Sch 80, the pressure loss will be approximately 10% smaller than calculated value.

(Example)

Calculation of Pressure Loss

Calculate the pressure loss when the nominal size is 50 mm and the flow rate of water at operating temperature 80°C (176°F) is 30 m³/h.

Table 5: Detailed Accuracy (for Range of Guaranteed Accuracy)

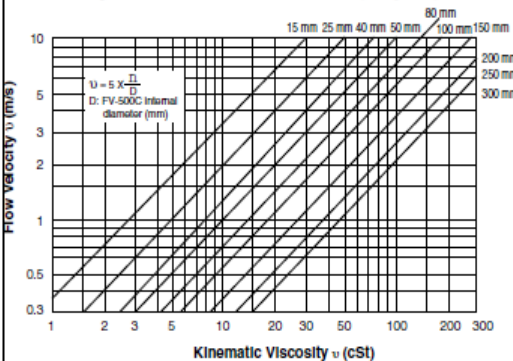
Fluid	Nominal Size	Accuracy
Liquid	0.5 in (15 mm)	± 1.0% of Reading (20000 % Re)
	1 to 4 in (25 to 100 mm)	± 1.0% of Reading (20000 % Re < D × 10³) ± 0.75% of Reading (D × 10³ % Re)
	6 to 12 in (150 to 300 mm)	± 1.0% of Reading (40000 % Re)
Gas, Steam	0.5 to 12 in (15 to 300 mm)	± 1.0% of Reading (Velocity 115fps (35m/s) or less) ± 1.5% of Reading (Velocity 115fps (35m/s) up to 262fps (80m/s))

D : Inner diameter of FV-500C (mm)

Re: Reynolds number

Note: This table shows the accuracy of pulse output. In case of analog output, add ± 0.1% of full scale to the values mentioned above.

Figure 6: Flow Velocity at Reynolds Number of 5000 (Liquid)



Kinematic viscosity. Use of equation (2). When the nominal size is 50 mm (2") and the kinematic viscosity is 10cST, the flow velocity at Reynold's number of 5000 is 1 m/s using Fig.6.

Figure 7: Pressure Loss

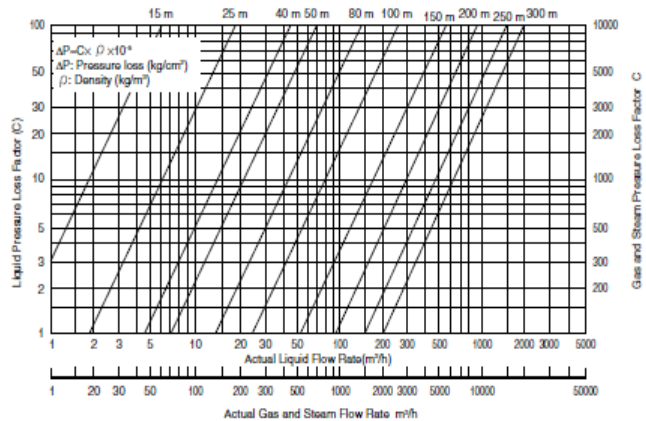


Table 6: Inner Diameter and Nominal Value

Nominal Size	Inner Diameter	Nominal K-Factor	Nominal Pulse Rate	
			Hz/ft/s	Hz/m³/h
15	0.5	14.6 (0.57)	19.11 (62.7)	23.6 (104)
25	1	25.7 (1.0)	10.82 (35.5)	4.3 (19.1)
40	1.5	39.7 (1.56)	7.04 (23.1)	1.2 (5.19)
50	2	51.1 (2.01)	5.57 (18.3)	0.57 (2.49)
80	3	71.0 (2.79)	4.02 (13.2)	0.21 (0.925)
100	4	93.8 (3.69)	3.01 (9.88)	0.09 (0.397)
150	6	138.8 (5.43)	2.03 (6.67)	0.03 (0.123)
200	8	185.6 (7.30)	1.52 (5.00)	0.01 (0.0514)
250	10	230.8 (9.08)	1.23 (4.04)	0.006 (0.0268)
300	12	276.2 (10.87)	1.03 (3.37)	0.004 (0.0156)



1. Since the density of water at 80°C (176°F) is 972kg/m³, substitute this value in equation (2):

$$P = \frac{135 \times 972 \times 30}{51.1^4} = 17.3 \text{ kPa}$$

2. Obtain the pressure loss using equation (1). The flow velocity when the flow rate is 30 m³/h is given by:

$$v = \frac{354 \times Qf}{D^2} = \frac{354 \times 30}{51.1^2} = 4.07 \text{ m/s}$$

Therefore, substitute this value in equation (1):

$$P = 108 \times 10^{-5} \times 972 \times 4.07^2 = 17.3 \text{ kPa}$$

3. Obtain the pressure loss using Fig. 7. Since the liquid pressure loss factor can be read as 18.5, then:

$$P = 98.1 \times 18.5 \times 972 \times 10^{-5} = 17.6 \text{ kPa}$$

Cavitation (Minimum Back Pressure, Liquid Service Only)

Cavitation occurs when the flow line pressure is low and flow velocity is high during fluid measurement, preventing correct measurement of flow rate. The optimum line pressure can be obtained from the following equation:

$$P - 2.7 \cdot P + 1.3 \cdot P_o \quad (3)$$

where:

P = Line pressure, 2 to 7 times as large as internal diameter on downstream of flowmeter body surface (kPa absolute)

P = Pressure loss (kPa). Refer to above.

P_o = Saturation liquid vapor pressure at operating temperature (kPa absolute)

(Example) Confirmation of Presence of Cavitation

Suppose that the line pressure is 120 kPa abs and the flow rate scale is 0 to 30 m³/h. It is only necessary to confirm the pressure at the maximum flow rate, therefore, the saturated steam pressure of water at 80°C (176°F) is as follows from the table of saturated steam pressures:

$$P_o = 47.4 \text{ kPa abs}$$

Therefore, substitute this value in equation (3):

$$P = 2.7 \times 17.3 + 1.3 \times 47.4 = 108.3 \text{ kPa abs}$$

Since the operating pressure of 120 kPa abs is higher than 108.3 kPa abs, no cavitation occurs.

Typical Fluid Example

Table 7: Range of Measurable Water Flow Rate (At Standard Condition of 15°C (59°F), P=62.428 lb/cubic ft)

Nominal Size		Measurable Flow Rate in GPM (m ³ /h)	Range of Guaranteed Accuracy Flow Rate in GPM (m ³ /h)
mm	inch		
15	0.5	1.3 to 26 (0.30 to 6)	4.13 to 26 (0.94 to 6)
25	1	2.9 to 79.3 (0.65 to 18)	7.5 to 79.3 (1.7 to 18)
40	1.5	5.7 to 193 (1.3 to 44)	11.4 to 193 (2.6 to 44)
50	2	9.6 to 321 (2.2 to 73)	14.5 to 321 (3.3 to 73)
80	3	18.9 to 625 (4.3 to 142)	20.2 to 625 (4.6 to 142)
100	4	33.0 to 1091 (7.5 to 248)	33 to 1091 (7.5 to 248)
150	6	74.8 to 239.5 (17 to 544)	79.2 to 239.5 (18 to 544)
200	8	149 to 4284 (34 to 973)	150 to 4284 (34 to 973)
250	10	264 to 6630 (60 to 1506)	265 to 6630 (60 to 1506)
300	12	379 to 9492 (86 to 2156)	379 to 9492 (86 to 215)

Typical Range of Measurable Air Flow Rate at Selected Process Pressures

Nominal Size	Flow Rate Limits	Minimum and Maximum Measurable Flow Rate in SCFM (Nm ³ /h at MPa in parenthesis)									
		0 PSI (0)	15 PSI (0.1)	25 PSI (0.2)	50 PSI (0.4)	75 PSI (0.6)	100 PSI (0.8)	150 PSI (1.0)	250 PSI (1.5)	300 PSI (2.0)	350 PSI (2.5)
0.5 in (15 mm)	min.	4.05 (4.3)	5.76 (6.7)	6.66 (8.2)	8.51 (10.5)	10.0 (12.5)	11.34 (16.1)	13.6 (19.7)	19.3 (28.6)	23 (37.5)	26.7 (46.4)
	max.	28.35 (48.2)	57.32 (95.8)	76.64 (143)	125 (239)	173.4 (334)	221.9 (429)	319.1 (524)	514.3 (762)	612.2 (1000)	710.2 (1238)
1.0 in (25 mm)	min.	9.38 (11.0)	13.34 (15.5)	15.43 (19.0)	19.7 (24.5)	23.2 (29.0)	26.3 (33.3)	31.5 (40.6)	40 (59.0)	47.3 (77.5)	54.9 (95.9)
	max.	87.48 (149)	176.9 (297)	236.5 (444)	385.7 (739)	535.1 (1034)	684.8 (1329)	984.7 (1624)	1586 (2361)	1889 (3098)	2191 (3836)
1.5 in (40 mm)	min.	18.67 (30.0)	26.54 (30.8)	30.69 (37.8)	39.2 (48.7)	46.17 (61.6)	52.2 (79.2)	62.6 (97)	94.8 (149)	112.9 (184)	130.9 (229)
	max.	208.7 (356)	421.9 (708)	564.2 (1060)	920.0 (1764)	1276 (2468)	1633 (3171)	2349 (3875)	3785 (5634)	4506 (7394)	5228 (9153)
2.0 in (50 mm)	min.	30.99 (36.2)	44.0 (51)	50.9 (62.4)	65.1 (80.5)	76.7 (102)	86.7 (131)	104 (161)	157.4 (233)	187.4 (306)	217.4 (379)
	max.	346.5 (591)	700.4 (1174)	936.6 (1757)	1527 (2922)	2119 (4088)	2712 (5254)	3899 (6420)	6285 (9335)	7481 (12249)	8679 (15164)
3.0 in (80 mm)	min.	60.14 (70.1)	85.5 (98.4)	98.9 (120)	126.3 (155)	148.7 (197)	168.3 (254)	201.8 (310)	305.3 (451)	363.6 (591)	421.8 (732)
	max.	672.4 (1140)	1359 (2266)	1817 (3391)	2964 (5642)	4113 (7892)	5263 (10143)	7568 (12394)	121986 (18021)	14518 (23648)	16842 (29274)
4.0 in (100 mm)	min.	104.4 (122)	148.5 (172)	171.7 (211)	219.3 (272)	258.3 (334)	292.2 (442)	350.4 (540)	530.5 (786)	631.5 (1031)	732.6 (1277)
	max.	1167 (1990)	2360 (3954)	3156 (5919)	5148 (9847)	7143 (13775)	9140 (17703)	13143 (21632)	21182 (31453)	25214 (41274)	29251 (51095)
6.0 in (150 mm)	min.	228.7 (268)	325.1 (377)	376.0 (485)	480.2 (608)	587.5 (1131)	751.8 (1453)	1081 (1776)	1742 (2583)	2073 (3389)	2405 (4196)
	max.	2556 (4358)	5168 (8659)	6911 (12960)	11272 (21559)	15639 (30163)	20012 (38765)	28777 (47965)	46377 (88867)	55205 (90373)	64044 (111875)
8.0 in (200 mm)	min.	496 (575)	706.5 (809)	817.0 (990)	1043 (1445)	1229 (2202)	1390 (2599)	1937 (3175)	3122 (4617)	3717 (6059)	4312 (7501)
	max.	4582 (7792)	9264 (15482)	12387 (23172)	20204 (38549)	28033 (53933)	35872 (69313)	51582 (84693)	83129 (123138)	98952 (161591)	114796 (200046)
10 in (250 mm)	min.	885 (1037)	1259 (1461)	1456 (1788)	1859 (2306)	2190 (3127)	2478 (4019)	2992 (4911)	6911 (7140)	5739 (9370)	6658 (11600)
	max.	7075 (12049)	14304 (23939)	19127 (35833)	31196 (59611)	43283 (83400)	55387 (107181)	79644 (130968)	128353 (190418)	152784 (249881)	177246 (309334)
12 in (300 mm)	min.	1269 (1485)	1805 (2093)	2087 (2561)	2665 (3303)	3139 (4479)	3551 (5756)	4288 (7033)	6911 (10226)	8226 (13419)	9543 (16612)
	max.	10142 (17256)	20503 (34286)	27415 (51317)	44715 (85370)	62039 (119441)	79388 (153499)	114157 (187556)	183972 (272996)	218890 (357856)	254053 (443017)

(1) At standard conditions STP 15C (59°F), 14.7 PSIA (0C, 1 atm).
 (2) Pressure listed is at process temperature of 15C (59°F).
 (3) Maximum flow rate is at 262 f/s (80m/s)
 (4) Minimum values are determined from Table 5.

Table 9: Range of Measurable Saturated Steam Flow Rate at Selected Process Pressures

Nominal Size	Flow Rate Limits	Minimum and Maximum Measurable Flow Rate in lb/h (kg/hr at MPa in parenthesis)									
		15 PSI (0.1)	25 PSI (0.2)	50 PSI (0.4)	75 PSI (0.6)	100 PSI (0.8)	150 PSI (1)	250 PSI (1.5)	300 PSI (2)	350 PSI (2.5)	425 PSI (3)
0.5 in. (15 mm)	min.	18.1 (5.8)	20.7 (7.0)	26.0 (8.8)	30.4 (10.4)	34.1 (11.6)	40.8 (12.8)	51 (15.3)	55.5 (19.1)	63.6 (23.6)	70.9 (28.1)
	max.	122.6 (55.8)	160.8 (80)	254.4 (129)	346.2 (177)	437 (225)	616.9 (272)	975.1 (390)	1155 (508)	1518 (628)	1888 (748)
1.0 in. (25 mm)	min.	41.8 (13.4)	47.9 (16.2)	60.3 (20.5)	70.3 (24.1)	79 (27.1)	93.8 (30)	117.9 (36)	128.4 (41)	147.2 (49)	164.1 (58)
	max.	378.1 (169.7)	496.3 (247.7)	785.1 (400)	1068 (548)	1348 (696)	1903 (843)	3008 (1209)	3563 (1575)	4684 (1945)	5825 (2318)
1.5 in. (40 mm)	min.	83.2 (26.5)	119.9 (32)	119.9 (40.6)	139.8 (47.7)	157.1 (53.8)	186.6 (59)	234.7 (72)	255.4 (93)	292.8 (116)	348 (138)
	max.	902.1 (405)	1184 (591)	1873 (954)	2548 (1310)	3216 (1662)	4540 (2012)	7177 (2884)	8501 (3759)	11175 (4640)	13896 (5532)
2.0 in. (50 mm)	min.	138.1 (44.0)	158.2 (53)	199 (67.3)	232.1 (79)	260.8 (89)	309.9 (96)	389.6 (119)	424 (156)	486.1 (192)	577.8 (229)
	max.	1497 (671)	1965 (979)	3109 (1580)	4231 (2170)	5340 (2753)	7538 (3333)	11916 (4778)	14113 (6228)	18552 (7688)	23070 (9166)
3.0 in. (80 mm)	min.	268 (84.9)	307 (103)	386.2 (130)	450.5 (152)	506.1 (171)	601.3 (189)	756 (231)	822.8 (300)	943.3 (371)	1121 (442)
	max.	2906 (1295)	3814 (1891)	6034 (3050)	8210 (4188)	10363 (5314)	14628 (6435)	23124 (9224)	27389 (12024)	36003 (14842)	44771 (17694)
4.0 in. (100 mm)	min.	465 (148)	533 (179)	670.7 (227)	782.4 (267)	878.9 (300)	1044 (330)	1313 (402)	1428 (524)	1638 (647)	1947 (772)
	max.	5047 (2261)	6624 (3300)	10479 (5326)	14259 (7310)	17997 (9278)	25406 (11232)	40160 (16102)	47567 (20986)	62527 (25907)	77754 (30883)
6.0 in. (150 mm)	min.	1019 (324)	1167 (392)	1468 (498)	1712 (600)	1924 (761)	2286 (922)	3303 (1322)	3912 (1723)	5142 (2127)	6395 (2536)
	max.	11051 (4950)	14504 (7226)	22944 (11661)	31221 (16010)	39404 (20315)	55625 (24595)	87929 (35258)	104146 (45953)	136900 (56729)	170239 (67624)
8.0 in. (200 mm)	min.	2214 (697)	2537 (841)	3190 (1068)	3722 (1252)	4181 (1410)	4968 (1649)	6246 (2364)	7012 (3061)	9218 (3803)	11463 (4534)
	max.	19806 (8851)	25997 (12918)	41126 (20850)	55962 (28627)	70631 (36325)	99706 (43976)	157608 (63043)	186678 (82165)	245387 (101433)	305147 (120913)
10.0 in. (250 mm)	min.	3947 (1258)	4521 (1518)	5687 (1929)	6634 (2260)	7453 (2546)	11133 (2801)	11133 (3655)	12117 (4764)	14233 (5882)	17884 (7011)
	max.	30585 (13687)	40140 (19977)	63500 (32243)	86407 (44268)	109055 (56172)	153947 (68005)	243350 (97489)	288234 (127058)	378881 (156854)	471152 (186978)
12.0 in. (300 mm)	min.	5657 (1799)	6481 (2174)	8152 (2762)	9509 (3236)	10683 (3646)	12692 (4012)	15958 (5235)	17367 (6823)	20400 (8423)	25389 (10041)
	max.	46838 (19602)	57535 (28609)	91017 (46175)	123850 (63397)	156313 (80445)	220658 (97390)	348802 (139614)	413135 (181960)	543063 (224633)	675317 (267772)

(1) Maximum flow rate is at 262 f/s (80m/s).
 (3) Minimum values are determined from Table 5.

MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)

Model No. (Without Display Module)	Price	Description	Lay Length mm (inches)	Weight kg (lb)
FV-505C	\$2080	½" wafer mount	70 (2.8)	2.8 (6)
FV-505C-F	2460	½" flange mount	70 (2.8)	2.8 (6)
FV-510C	2080	1" wafer mount	70 (2.8)	3.7 (8)
FV-510C-F	2460	1" flange mount	70 (2.8)	3.7 (8)
FV-515C	2087	1½" wafer mount	70 (2.8)	4.3 (9.5)
FV-515C-F	2467	1½" flange mount	70 (2.8)	4.3 (9.5)
FV-520C	2114	2" wafer mount	75 (3.0)	6 (14)
FV-520C-F	2494	2" flange mount	75 (3.0)	6 (14)
FV-530C	2267	3" wafer mount	100 (3.9)	9.4 (21)
FV-530C-F	3020	3" flange mount	100 (3.9)	9.4 (21)
FV-540C	2554	4" wafer mount	120 (4.7)	12.8 (28)
FV-540C-F	3654	4" flange mount	120 (4.7)	12.8 (28)
FV-560C-F	4107	6" flange mount	270 (10.6)	36.4 (80)
FV-580C-F	6340	8" flange mount	310 (12.2)	55.4 (122)
FV-591C-F	11,194	10" flange mount	370 (14.6)	90 (199)
FV-592C-F	13,760	12" flange mount	400 (15.7)	140 (308)

Comes with complete operators manual.

Note: Units with "-F" suffix have 150 class flange connections.

For units with a display, add "-D" to the model number and \$403 to the price.
 For units with remote electronics, add "-R" to the model number, subtract \$455 from the price, and order the mounting kit and cable in the accessories table.

For units designed for high temperature use, add "-HT" to the model number and consult engineering for prices.

For NIST calibration add "-NIST" to model and add \$75 to price.

Ordering Example: FV-505C-D, ½" wafer mount vortex flowmeter with integral display, \$2080 + 403 = \$2483. Consult engineering for prices.

Note: To confirm that the vortex meter will work for your requirements, contact the Flow Department. When ordering units without a display, the vortex meter will be programmed at our factory for your application, contact the Flow Department for details.

Accessories

Model No.	Price	Description
FV-500C-RMK	\$954	Remote mounting kit
FV-500C-RMK-D	1356	Remote mounting kit with display
FV-500CABLE-10F	100	3 m (10') cable for remote mounting
FV-500CABLE-30F	154	9 m (30') cable for remote mounting
FV-500CABLE-50F	207	15 m (50') cable for remote mounting
FV-500CABLE-75F	274	23 m (75') cable for remote mounting
FV-500CABLE-100F	347	30 m (100') cable for remote mounting

Recommended Reference Book: The Consumer Guide to Vortex Shredding and Fluidic Flowmeters, FW-204, \$250. See Section Y for Additional Books.





CONDUCTIVITY INSTRUMENTS

Toroidal Conductivity System

CDTX-45T Series



- ✓ Concentration or Conductivity Models
- ✓ Loop-Powered, AC, or Battery Versions
- ✓ Dual Alarm Relays/Analog Outputs
- ✓ Large, 2-Line Display

The CDTX-45T toroidal conductivity system is designed for online monitoring of chemically aggressive process solutions, water applications and plating bath operations. The sensor consists of 2 metallic ribbon coils that are fixed in place by the sensor jacket material. The drive coil is used to induce a current in the process solution. The second sensing coil is used to measure the current in the process solution; the magnitude of this current is proportional to the conductivity of the process solution. Toroidal sensor is available in Noryl. The sensor material is non-conductive, thereby isolating the sensor from electrical noise and ground loops that can influence the integrity of the measurement. This material also makes the sensor resistant to electrode coating. Sensors can be submersion mounted for easy installation in open tanks or pipe mounted in the optional 2" tee fitting, which is keyed to the sensor for proper alignment. Tee fitting material contains polypropylene. For larger pipe diameters, the sensor can be insertion mounted through a 1½ NPT ball valve for easy retraction. The CDTX-45TC is the concentration monitor. The monitor comes with concentration/temperature tables for sodium hydroxide, potassium hydroxide, hydrochloric acid, nitric acid, and sulfuric acid. A configurable table allows the user to enter data points for a custom concentration curve.

Specifications Common Specifications

Main Parameter Ranges: Automatic or manual selection of one of the following display ranges; 0 to 2000 µS, 0.0 to 2.000 mS, 0.00 to 20.00 mS, 0.0 to 200.0 mS, 0 to 2000 mS, 0.000 to 2.000 S

Accuracy: 0.5% range (± 2 µS)

Repeatability: 0.2% range (± 2 µS)

Sensitivity: 0.05% range (± 2 µS)

Stability: 0.2% range per 24 hours

Warm-up Time: 7 sec to rated performance

Supply Voltage Effects: ± 0.05% of user range (dc version only)

Response Time: 6 sec to 90% of step input at lowest setting

Temperature Drift: Span or zero, 0.04% of span/°C

Display: Large, high-contrast, super-twist (STN) LCD; 4-digit main display with sign, 19.1 mm (0.75") seven-segment characters 12-digit secondary display, 7.6 mm (0.3") 5 x 7 dot matrix characters

Keypad: 4-key membrane type with tactile feedback, polycarbonate with UV coating

Weight:

DC Transmitter Configuration: 0.45 kg (1 lb)

Line Powered Unit: 0.68 kg (1.5 lb)

Operating Ambient: -20 to 60°C (-4 to 140°F); 0 to 95% RH, non-condensing

EMI/RFI Influence: Designed to EN 61326-1

Output Isolation: 600V galvanic isolation

Filter: Adjustable 0-9.9 minutes additional damping to 90% step input

Temperature Input: Pt1000 RTD with automatic compensation



CDTX-45T1, shown smaller than actual size.

Sensor:

Type: Fully isolated, toroidal electrode sensor design for direct measurement; ¾ NPT process connection

Wetted Material: Noryl

Pressure Limit: 10 bar (150 psig) maximum

Temperature Range: 0 to 105°C (32 to 221°F)

Sensor Cable: 6.1 m (20'); 6-conductor cable

CDTX-45T1 Loop-powered Transmitter

Power: 18 to 35 Vdc, 2-wire

Enclosure: NEMA 4X (IP66), polycarbonate, stainless steel hardware, weatherproof and corrosion resistant, 112 mm x 89 mm D (4.4 x 3.5")

Mounting: Wall or pipe mount bracket standard. Bracket suitable for either 1.5 or 2" ID U-Bolts for pipe mounting. Conduit openings two PG-9 openings with gland seals, one 1 NPT opening with plug

Cable: Belden twisted-pair, shielded, 22 AWG or larger

Insertion Loss: 18 Vdc

CDTX-45T2 and CDTX-45T3 Dual Relay Models

Power: 115/230 Vac ±10%, 50/60 Hz, 10 VA max

Enclosure: NEMA 4X (IP66), polycarbonate, stainless steel hardware, weatherproof and corrosion resistant, 124 x 2 x 139 mm D (4.9 x 2 x 5.5")

Mounting: Wall or pipe mount bracket standard; bracket suitable for either 1.5 or 2" ID U-Bolts for pipe mounting; panel mount adaptor optional

E-37

Our Conductivity Instruments product line continues to expand, visit omega.com for new details!

For Sales & Service

1-800-82-66342
1-800-TC-OMEGA®
U.S.A. and Canada

CONDUCTIVITY INSTRUMENTS



Conduit Openings: Three M16 openings; gland seals plus two ½" conduit adaptors, supplied but not installed

Relays, Electromechanical: Two SPDT, 6 A @ 250 Vac, 5 A @ 24 Vdc contacts; programmable for setpoint, phase, delay, deadband, hi-lo alarm, and failsafe; A-B indicators on main display

Analog Outputs: Two 4 to 20 mA outputs; output one programmable for conductivity or PID; output 2 programmable for conductivity, temperature, or TDS. Max load 500 Ω for each output Outputs ground isolated and isolated from each other

CDTX-45T4 and CDTX-45T5 Battery Powered Models

Power: 9 Vdc alkaline battery, low battery indication at 6.75 Vdc. Lithium 9 Vdc battery recommended for max performance

Battery Life: Approx 100 hrs, alkaline; use of lithium cell increases life to approx 300 hrs

Enclosure: NEMA 4X (IP66), polycarbonate, stainless steel hardware, weatherproof and corrosion resistant, 112 x 2 x 89 mm D (4.4 x 2 x 3.5"); mounting options supplied with carrying handle and cable glands installed

Analog Outputs (CDTX-45TC4): Two 0 to 2.5 Vdc isolated outputs

Data Logger (CDTX-45TC5): Removable data module holds 32,000 points from two user configured channels, time of logging is user configurable; software supplied for data download and display

Weight:

Loop-Powered Transmitter: 0.45 kg (1 lb)

Other Configurations: 0.68 kg (1.5 lb)

Display: Large, high-contrast, super-twist (STN) LCD 4-digit main display with sign, 19.1 mm (0.75") 7-segment characters; 12-digit alphanumeric second-line display, 7.6 mm (0.3") 5 x 7 dot matrix characters

Keypad: 4-key membrane type with tactile feedback, polycarbonate with UV coating, integral EMI/static shield and conductively coated window

Ambient Temperature:

Operating: -20 to 60°C (-4 to 140°F)

Storage: -30 to 70°C (-22 to 158°F)

Ambient Humidity: 0 to 95% RH, non-condensing

Location: Designed for hazardous and non-hazardous areas

EMI/RFI Influence: Designed to EN 61326-1

Output Isolation: 600V galvanic isolation

Filter: Adjustable, 0 to 9.9 minutes additional damping to 90% step input

Temperature Input: Selectable Pt1000 or Pt100 RTD with automatic compensation



CDE-45T2, Noryl® electrode, shown actual size.

To Order Visit omega.com/cdtx-45t for Pricing and Details

Model No.	Description
Conductivity Analyzer	
CDTX-45T1	Loop powered 16 to 35 Vdc, 2-wire (4 to 20 mA output)
CDTX-45T2	120 Vac, 2 relays, two 4 to 20 mA outputs
CDTX-45T3	230 Vac, 2 relays, two 4 to 20 mA outputs
CDTX-45T4	Battery operated (9V), two 0 to 2.5 Vdc outputs
CDTX-45T5	Battery operated (9V), internal data logger
Concentration Analyzer	
CDTX-45TC1	24 Vdc, 2-wire (single output only)
CDTX-45TC2	120 Vdc, 2 relays
CDTX-45TC3	230 Vdc, 2 relays
CDTX-45TC4	Battery operated, two 0 to 2.5 Vdc outputs
CDTX-45TC5	Battery operated, internal data logger
Sensor with 6.1 m (20') Cable**	
CDE-45T2	Noryl® electrode

Accessories

Model No.	Description
CDTX-45T-JB	NEMA 4X (IP66) junction box
CDTX-45T-C(*)	Sensor-interconnect cable; *specify length in feet, 180' max
CDTX-45T-PT	51 mm (2") keyed slip-fit flow cell for use with polypro sensors
CDTX-45T-SMK	Submersible mounting kit for PEEKTM sensor
CDTX-45T-PMK	Panel mount kit for analyzer

Comes complete with operator's manual.

** For cable lengths over 6.1 m (20'), order CDTX-45T-JB junction box and CDTX-45T-C(*) interconnect cable of desired length.

Example: CDTX-45T-C100, 30.5 m (100') cable.

Ordering Examples: CDTX-45T2, 120 Vac conductivity analyzer, and CDE-45T2, toroidal conductivity cell.

CDTX-45T1, 16 to 35 Vac powered conductivity analyzer and CDE-45T2 toroidal conductivity cell.

Order Online
omega.com[®]
 Over 100,000 Products Available!

To download information and to order Conductivity Instrument products online, visit omega.com

E-38

NON-CONTACT LEVEL CONTROLLER FOR SMALL TANK APPLICATIONS

LVCN414 Series
Starts at
\$350



- ✓ Reliable, Non-Contact Replacement for Continuous and Switching Applications
- ✓ Compact Sensor Optimized for Small Tank Applications
- ✓ Control/Switch Functions for Pumps and Alarms
- ✓ PVDF Transducer for Corrosive Liquid Media
- ✓ Simple Installation and Setup with USB Connection

The LVCN414 Series is a non-contact, ultrasonic level controller and transmitter that delivers reliable, cost-effective, high-performance, small-tank fluid handling control solutions. The LVCN414 targets process, control and chemical feed applications in small tanks mounted on skids, tools or machines. The LVCN414 allows flexibility in applications designed for system integration or retrofit of floats, conductance, and pressure sensors, and is easily configured through a USB connection and the Windows XP compatible software calibration kit. The LVCN414 gives precision and accuracy that allows for real-time/anytime measurement, lowering operational costs and increasing productivity. Level indication for process or control automation applications can be monitored via local display or remote PLC. The LVCN414 is a total small tank level control and measurement solution.

SPECIFICATIONS

Range: 1.25 m (49.2")
Accuracy: 3 mm (0.125")
Resolution: 0.5 mm (0.019")
Beam Width: 5 cm (2")
Deadband: 5 cm (2")
Supply Voltage: 24 Vdc (loop)
Loop Resistance: 400 Ω max



Consumption: 0.5 W
Signal Output: 4 to 20 mA, 2-wire (when loop powered)
Contact Type: (4) SPST relays 1A
Loop Fail-Safety: 4 mA, 20 mA, 21 mA, 22 mA or hold last
Relay Fail-Safety:
Power Loss: Hold last
Power On: Open, close or hold last
Hysteresis: Selectable
Configuration: Via USB/ PC Windows® software interface
Temperature Compensation: Automatic over range
Temperature: -35 to 60°C (-31 to 140°F)
Enclosure: NEMA 6P

Enclosure Material: PC/ABS FR
Strain Relief Material: Santoprene
Transducer Material: PVDF
Cable Length: 1.2 m (4')
Cable Jacket Material: PVC
Process Mount: 1 NPT
Mounting Gasket: FKM
Classification: General purpose
Approvals: CE

AVAILABLE FOR FAST DELIVERY!

To Order (Specify Model Number)		
Model No.	Price	Description
LVCN414	\$395	Level transmitter with relays, with LVCN414-USB USB connector, 1.2 m (4') range
LVCN414-B	350	Level transmitter with relays, 1.2 m (4') range (requires LVCN414-USB)
LVCN414-USB	50	USB connector; download configuration software

Comes complete with operator's manual.

Ordering Example: LVCN414, level transmitter with relays and USB connector, 1 NPT 1.2 m (4') range, \$395. Configuration software for programming available free at omega.com/ftp

Recommended Reference Book: Consumer Guide to Non-Contact Level Gauges, FW-205, \$250. See Section Y For Additional Books

K-8

K



EKATO FLUID

DER STANDARD FÜR INDUSTRIE-RÜHRWERKE

Maßgeschneiderte Rührtechnik mit System





ANEXO XI: FICHAS DE SEGURIDAD

Fichas Internacionales de Seguridad Química			
ÁCIDO SULFÚRICO			ICSC: 0362 Febrero 2000
CAS:	7664-93-9	Ácido sulfúrico 100%	
RTECS:	WS5600000	Aceite de vitriolo	
NU:	1830	H ₂ SO ₄	
CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	016-020-00-8 231-639-5	Masa molecular: 98.1	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores o agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón. Dolor de garganta. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Consultar a un experto. ¡Evacuar la zona de peligro! NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-30-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1830 o 80GC1-II+III Código NFPA: H3; F0; R2; W		Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			
			

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO SULFÚRICO		ICSC: 0362
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido higroscópico incoloro, aceitoso e inodoro.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo- ver ICSC 0001). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 0.2 mg/m³. Fracción torácica, A2 (sospechoso de ser cancerígeno humano); (ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes) (ACGIH 2005). MAK: (Fracción inhalable) 0.1 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I(1); Cancerígeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de esta sustancia puede originar edema pulmonar (ver Notas).</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales. Las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contengan esta sustancia son carcinógenas para los seres humanos.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4</p>		
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
<p>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. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadiría al agua siempre lentamente. Otros números NU: UN1831 Ácido sulfúrico fumante, clase de peligro 8, riesgo subsidiario 6.1, grupo de envasado I; UN1832 Ácido sulfúrico agotado, clase de peligro 8, grupo de envasado II. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005, ver Límites de exposición, Respuesta de Emergencia, y en enero de 2008: ver Lucha contra incendios.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2012): VLA-ED (niebla). Fracción torácica: 0,05 mg/m³</p> <p>Notas: al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos de azufre. Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE. Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida. Véase UNE EN 481: "Atmósferas en los puestos de trabajo; Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles".</p>		
NOTA LEGAL	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2005		

Fichas Internacionales de Seguridad Química			
HIDRÓXIDO DE SODIO			ICSC: 0360 Mayo 2010
CAS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	1310-73-2 1823 011-002-00-6 215-185-5	Sosa caústica Hidrato de sodio Sosa NaOH Masa molecular: 40.0	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F0; R1		Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010			
			

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDRÓXIDO DE SODIO		ICSC: 0360
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISO:0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoniaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 2 mg/m³ (Valor techo) (ACGIH 2010). MAK: Ilb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 1388°C Punto de fusión: 318°C Densidad: 2.1 g/cm³</p> <p>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).</p>		
DATOS AMBIENTALES		
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otro nº NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-EC: 2 mg/m³</p>		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2010		

1. Identificación de la sustancia o del preparado y de la sociedad o empresa**Identificación de la sustancia o del preparado:****Referencia del producto:** CA0346**Denominación del producto:** Carbón activo, granulado**Uso de la sustancia o el preparado:**

química analítica, para la decoloración de líquidos, antídoto, componente de explosivos.

Identificación de la sociedad o empresa:**Empresa:**

Scharlab, S.L.

Gato Pérez, 33. Pol. Ind. Mas d'en Cisa

08181 Sentmenat (Barcelona) ESPAÑA

Tel: +34-93 715 19 39 - FAX +34-93 715 27 65

email: scharlab@scharlab.com

Internet Web Site: www.scharlab.com

Representante regional:

Scharlab, S.L.

Gato Pérez, 33. Pol. Ind. Mas d'en Cisa

08181 Sentmenat (Barcelona) ESPAÑA

Tel: +34-93 715 19 39 - FAX +34-93 715 27 65

email: scharlab@scharlab.com

Internet Web Site: www.scharlab.com

Teléfono de urgencias:

Instituto Nacional de Toxicología de Madrid. Tel: +34 - 91 562 04 20

2. Composición/información sobre los componentes**Identificación y cantidad de los componentes:**

CAS: 7440-44-0

Peso molecular:12,01

Numero CE:231-153-3

Formula:C

3. Identificación de peligros**Peligros que presenta la sustancia según las directivas europeas:**

Producto no peligroso de acuerdo con la Directiva del Consejo 67/548/CEE.

4. Primeros auxilios**Tras inhalación:** (partículas, polvo): Tomar aire fresco.**Tras contacto con la piel:** lavar con agua.**Tras ingestión:** (partículas, polvo): beber mucha agua, consultar al médico si no desaparece el malestar.**Tras contacto con los ojos:** aclarar con abundante agua. Si no desaparecen las molestias, llamar al oftalmólogo.**5. Medidas de lucha contra incendios****Medios de extinción adecuados:** Agua, espuma, polvo.**Riesgos especiales particulares:** combustible. ¡Peligro de explosión del polvo!

En caso de incendio es posible la formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios: No permanecer en la zona de peligro sin sistemas de respiración artificiales e independientes del ambiente.**6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental****Precauciones individuales:** Intentar que no se forme polvo.**Procedimientos de limpieza:** Recoger en seco y eliminar los residuos. Aclarar.

7. Manipulación y almacenamiento

Manipulación: Sin más exigencias.

Almacenamiento: Almacenar bien cerrado, seco. Temperatura de almacenamiento: sin limitaciones.

8. Controles de exposición/protección personal

Valores límite de la exposición: (MAK, Alemania): 1,5 mg/m³

Controles de la exposición:

Controles de la exposición profesional: Los equipos de protección personal deben elegirse según el puesto de trabajo, en función de la concentración y cantidad de la sustancia peligrosa. El suministrador debería facilitar la estabilidad de los equipos de protección personal frente a los productos químicos.

Protección respiratoria: necesaria cuando se genera polvo.

Protección de las manos: no es necesaria.

Protección ocular: necesaria

Medidas de higiene particulares: Lavarse las manos tras trabajar con la sustancia.

9. Propiedades físicas y químicas

Información general:

Aspecto: sólido

Color: negro

Olor: inodoro

Información importante en relación con la salud, la seguridad y el medio ambiente:

Valor de pH: (50 g/l H₂O, 20 °C) ~ 4 - 7

Punto/intervalo de ebullición: ---

Punto de destello: ---

Límites de explosión (bajo): ---

Límites de explosión (alto): ---

Presión de vapor: ---

Densidad (20 °C): ---

Solubilidad en agua: (20 °C): insoluble

Viscosidad: ---

Índice de refracción: ---

Punto/intervalo de fusión: ---

Punto de ignición: ---

10. Estabilidad y reactividad

Condiciones a evitar: Calentamiento fuerte.

Materias a evitar: agentes oxidantes fuertes.

Productos de descomposición peligrosos: No disponemos de información.

Información adicional: posible explosión del polvo.

11. Información toxicológica

Toxicidad aguda:

No disponemos de datos cuantitativos sobre la toxicidad de este producto.

Información adicional:

No pueden descartarse propiedades peligrosas, pero son poco probables si la manipulación del producto es adecuada. Se desconocen propiedades peligrosas en la bibliografía o por propia experiencia .

12. Informaciones ecológicas

Ecotoxicidad:

Desconocemos los datos cuantitativos sobre los efectos ecológicos de este producto.

Observaciones ecológicas adicionales:

No deberían esperarse problemas ecológicos si se manipula el producto de manera apropiada.

13. Consideraciones relativas a la eliminación

Producto: Los criterios homogéneos para la eliminación de residuos químicos no están regulados, por ahora, en la Unión Europea. Los residuos, procedentes del uso habitual de los productos químicos, poseen, generalmente, el carácter de residuos especiales. Existen leyes y disposiciones locales que regulan la eliminación de estos residuos en los países de la UE. Para informarse sobre su caso particular, rogamos que se ponga en contacto con la Administración Pública, o bien con una Empresa autorizada para la gestión de residuos.

Envases: Se procederá según las disposiciones oficiales para eliminarlos. Los embalajes contaminados deberán ser sometidos a las mismas medidas aplicadas al producto químico contaminante. Los embalajes no contaminados serán tratados como material reciclable o como residuos domésticos.

14. Información relativa al transporte

Exento de las normas de transporte.

15. Información reglamentaria

Clasificación CE: Este producto no está incluido en el índice de sustancias peligrosas con su número de índice CE correspondiente, por lo que ha sido clasificado siguiendo el anexo VI de la directiva 2001/59/CE.

Pictograma:

Frases R: ---

Frases S: ---

Nº de índice CE: ---

16. Otras informaciones

Motivo de la revisión: Actualización general.

Fecha: 30/01/2009

La información suministrada en esta hoja de seguridad, se basa en el estado actual de nuestros conocimientos. El propósito de esta información es únicamente describir las medidas de seguridad en el manejo del producto, y por tanto no constituye una garantía sobre las propiedades del mismo.



Material Safety Data Sheet

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

AMBERLYST(TM) 121WET Resin

Revision date: 03/20/2004

Supplier

Rohm and Haas Company
100 Independence Mall West
Philadelphia, PA 19106-2399 United States of America

For non-emergency information contact: 215-592-3000

Emergency telephone number

Spill Emergency	215-592-3000
Health Emergency	215-592-3000
Chemtrec	800-424-9300

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Component	CAS-No.	Concentration
Strong acid cation exchange polymer, hydrogen ion form	39389-20-3	45.0 - 55.0%
Water	7732-18-5	45.0 - 55.0%

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Emergency Overview

Appearance

Form	Beads
Colour	brown

Hazard Summary	CAUTION! MAY CAUSE EYE/SKIN IRRITATION.
-----------------------	---

Potential Health Effects

Primary Routes of Entry: Skin contact
Eye contact

Eyes: Direct contact with material can cause the following:
slight irritation

Skin: Prolonged or repeated skin contact can cause the following:
slight irritation

4. FIRST AID MEASURES

Skin contact:Wash off with soap and water. If skin irritation persists, call a physician.

Eye contact:Rinse with plenty of water. If eye irritation persists, consult a specialist.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Flash point not applicable

Ignition temperature ca.500.0 °C (932.00 °F)

Lower explosion limit not applicable

Upper explosion limit not applicable

Suitable extinguishing media: Use the following extinguishing media when fighting fires involving this material:
water spray
carbon dioxide (CO₂)
foam
dry chemical

Specific hazards during fire fighting:Toxic fumes are generated when material is exposed to fire or fire conditions. Cool closed containers exposed to fire with water spray.

Special protective equipment for fire-fighters:In the event of fire, wear self-contained breathing apparatus.

Further information:Remain upwind.

Avoid breathing smoke.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions

Appropriate protective equipment must be worn when handling a spill of this material. See SECTION 8, Exposure Controls/Personal Protection, for recommendations.

If exposed to material during clean-up operations, see SECTION 4, First Aid Measures, for actions to follow.

Methods for cleaning up

Keep spectators away.

Floor may be slippery; use care to avoid falling.

Transfer spilled material to suitable containers for recovery or disposal.

7. Handling and storage

Handling

NOTE: This product as supplied is a whole bead resin and may produce slight eye irritation. However, the ground form of this resin should be treated as a severe eye irritant. Worker exposure to ground resins can be controlled with local exhaust ventilation at the point of dust generation, or use of suitable personal protective equipment (dust/mist air-purifying respirator and safety goggles). Avoid repeated freeze-thaw cycles; beads may fracture. If frozen, thaw at room temperature.

Storage

Further information:

CAUTION: Do not pack column with dry ion exchange resins. Dry beads expand when wetted; this expansion can cause glass column to shatter.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Exposure limit(s)

Exposure limits are listed below, if they exist.

Eye protection: Use safety glasses with side shields (ANSI Z87.1 or approved equivalent).

Hand protection: Cotton or canvas gloves.

Respiratory protection: No personal respiratory protective equipment normally required.

Protective measures: Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility.

Engineering measures: None required under normal operating conditions.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance

Form	Beads
Colour	brown
pH	2.5 - 5.0 Aqueous slurry
Boiling point/range	100 °C (212.00 °F) Water
Melting point/range	0 °C (32 °F) Water
Flash point	not applicable
Ignition temperature	ca.500 °C (932.00 °F)
Lower explosion limit	not applicable
Upper explosion limit	not applicable
Vapour pressure	17.0 mmHg at 20 °C (68.00 °F) Water
Relative vapour density	<1.0 water
Water solubility	insoluble
Relative density	1.18 - 1.23
Viscosity, dynamic	not applicable
Viscosity, dynamic	not applicable
Evaporation rate	<1.00
Percent volatility	48 - 52 % water

NOTE: The physical data presented above are typical values and should not be construed as a specification.

10. STABILITY AND REACTIVITY

Hazardous reactions	Stable under normal conditions.
Materials to avoid	Avoid contact with the following: Strong Oxidizers
Hazardous decomposition products	Thermal decomposition may yield the following: monomer vapors,

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute oral toxicity LD50rat >5,000 mg/kg

Acute dermal toxicity LD50rabbit >5,000 mg/kg

Further information

No data are available for this material. The information shown is based on profiles of compositionally similar materials.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Chemical Fate

Biochemical Oxygen Demand (BOD) No data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal

Waste Classification:When a decision is made to discard this material as supplied, it does not meet RCRA's characteristic definition of ignitability, corrosivity, or reactivity, and is not listed in 40 CFR 261.33. The toxicity characteristic (TC), however, has not been evaluated by the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).

Unused material may be incinerated or landfilled in facilities meeting local, state, and federal regulations.

Contaminated packaging:Empty containers should be taken to local recyclers for disposal. Refer to applicable federal, state, and local regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION

DOT

Not regulated for transport

IMO/IMDG

Not regulated (Not dangerous for transport)

15. REGULATORY INFORMATION

Workplace Classification

This product is considered non-hazardous under the OSHA Hazard Communication Standard (29CFR1910.1200).

This product is not a 'controlled product' under the Canadian Workplace Hazardous Materials Information System (WHMIS).

SARA TITLE III:Section 311/312 Categorizations (40CFR370):This product is not a hazardous chemical under 29CFR 1910.1200, and therefore is not covered by Title III of SARA.

SARA TITLE III:Section 313 Information (40CFR372)

This product does not contain a chemical which is listed in Section 313 at or above de minimis concentrations.

CERCLA Information (40CFR302.4)

Releases of this material to air, land, or water are not reportable to the National Response Center under the Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA) or to state and local emergency planning committees under the Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA) Title III Section 304.

US. Toxic Substances Control Act (TSCA) All components of this product are in compliance with the inventory listing requirements of the U.S. Toxic Substances Control Act (TSCA) Chemical Substance Inventory.

Pennsylvania

Any material listed as "Not Hazardous" in the CAS REG NO. column of SECTION 2, Composition/Information On Ingredients, of this MSDS is a trade secret under the provisions of the Pennsylvania Worker and Community Right-to-Know Act.

16. OTHER INFORMATION**Hazard Rating**

	Health	Fire	Reactivity
HMIS	1	1	0

Legend

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
BAC	Butyl acetate
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PEL	Permissible Exposure Limit
STEL	Short Term Exposure Limit (STEL):
TLV	Threshold Limit Value
TWA	Time Weighted Average (TWA):
	Bar denotes a revision from prior MSDS.

The information provided in this Safety Data Sheet is correct to the best of our knowledge, information and belief at the date of its publication. The information given is designed only as a guidance for safe handling, use, processing, storage, transportation, disposal and release and is not to be considered a warranty or quality specification. The information relates only to the specific material designated and may not be valid for such material used in combination with any other materials or in any process, unless specified in the text.



Material Safety Data Sheet

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

AMBERLYST(TM) A26 OH Resin

Revision date: 03/20/2004

Supplier Rohm and Haas Company
100 Independence Mall West
Philadelphia, PA 19106-2399 United States of America

For non-emergency information contact: 215-592-3000

Emergency telephone number

Spill Emergency	215-592-3000
Health Emergency	215-592-3000
Chemtrec	800-424-9300

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Component	CAS-No.	Concentration
Quat amine divinylbenzene/styrene copolymer, OH ion form	9017-79-2	35.0 - 55.0%
Water	7732-18-5	45.0 - 65.0%

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Emergency Overview

Appearance

Form Beads

Colour white

Hazard Summary Caution! May cause eye/skin irritation.

Potential Health Effects

Primary Routes of Skin contact

Entry: Eye contact

Eyes: Direct contact with material can cause the following:

slight irritation

Skin: Prolonged or repeated skin contact can cause the following:
slight irritation

4. FIRST AID MEASURES

Skin contact: Wash off with soap and water. If skin irritation persists, call a physician.

Eye contact: Rinse with plenty of water. If eye irritation persists, consult a specialist.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Flash point not applicable

Ignition temperature 500.0 °C (932.00 °F) estimated

Lower explosion limit not applicable

Upper explosion limit not applicable

Suitable extinguishing media: Use the following extinguishing media when fighting fires involving this material:
water spray
carbon dioxide (CO₂)
foam
dry chemical

Specific hazards during fire fighting: Toxic fumes are generated when material is exposed to fire or fire conditions. Cool closed containers exposed to fire with water spray.

Special protective equipment for fire-fighters: In the event of fire, wear self-contained breathing apparatus.

Further information: Remain upwind.
Avoid breathing smoke.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions

Appropriate protective equipment must be worn when handling a spill of this material. See SECTION 8, Exposure Controls/Personal Protection, for recommendations.

If exposed to material during clean-up operations, see SECTION 4, First Aid Measures, for actions to follow.

Methods for cleaning up

Keep spectators away.
 Floor may be slippery; use care to avoid falling.
 Transfer spilled material to suitable containers for recovery or disposal.

7. Handling and storage

Handling

NOTE: This product as supplied is a whole bead resin and may produce slight eye irritation. However, the ground form of this resin should be treated as a severe eye irritant. Worker exposure to ground resins can be controlled with local exhaust ventilation at the point of dust generation, or use of suitable personal protective equipment (dust/mist air-purifying respirator and safety goggles). Avoid repeated freeze-thaw cycles; beads may fracture. If frozen, thaw at room temperature. Properly designed equipment is vital if these resins are to be used in conjunction with strong oxidizing agents such as nitric acid to prevent a rapid build-up of pressure and possible explosion. Consult a source knowledgeable in the handling of these materials before proceeding.

Storage

Further information:

CAUTION: Do not pack column with dry ion exchange resins. Dry beads expand when wetted; this expansion can cause glass column to shatter.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Exposure limit(s)

Exposure limits are listed below, if they exist.

Eye protection: Use safety glasses with side shields (ANSI Z87.1 or approved equivalent).

Hand protection: Cotton or canvas gloves.

Respiratory protection: No personal respiratory protective equipment normally required.

Protective measures: Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility.

Engineering measures: None required under normal operating conditions.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance

Form	Beads
Colour	white
pH	9.5 - 11.0 Aqueous slurry
Boiling point/range	100 °C (212.00 °F) Water

Melting point/range	0 °C (32 °F) Water
Flash point	not applicable
Ignition temperature	500 °C (932.00 °F) estimated
Lower explosion limit	not applicable
Upper explosion limit	not applicable
Vapour pressure	17.0 mmHg at 20 °C (68.00 °F) Water
Relative vapour density	<1.0 Water
Water solubility	practically insoluble
Relative density	1.00 - 1.40
Viscosity, dynamic	not applicable
Evaporation rate	<1.00 Water
Percent volatility	45 - 65 %

NOTE: The physical data presented above are typical values and should not be construed as a specification.

10. STABILITY AND REACTIVITY

Hazardous reactions	Stable under normal conditions.
Materials to avoid	Avoid contact with the following: Strong Oxidizers nitric acid
Hazardous decomposition products	Thermal decomposition may yield the following: monomer vapors,
polymerization	Product will not undergo polymerization.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute oral toxicity	LD50rat >5,000 mg/kg
Acute dermal toxicity	LD50rabbit >5,000 mg/kg
Further information	

No data are available for this material. The information shown is based on profiles of compositionally similar materials.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Limited effects are expected from exposure of the environmental compartments by insoluble plastic beads of large diameter (300 to 1200 microns).

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal

Waste Classification:When a decision is made to discard this material as supplied, it does not meet RCRA's characteristic definition of ignitability, corrosivity, or reactivity, and is not listed in 40 CFR 261.33. The toxicity characteristic (TC), however, has not been evaluated by the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).

Unused material may be incinerated or landfilled in facilities meeting local, state, and federal regulations.

Contaminated packaging:Empty containers should be taken to local recyclers for disposal. Refer to applicable federal, state, and local regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION

DOT

Not regulated for transport

IMO/IMDG

Not regulated (Not dangerous for transport)

15. REGULATORY INFORMATION

Workplace Classification

This product is considered non-hazardous under the OSHA Hazard Communication Standard (29CFR1910.1200).

This product is not a 'controlled product' under the Canadian Workplace Hazardous Materials Information System (WHMIS).

SARA Title III:Section 311/312 Categorizations (40CFR370):This product is not a hazardous chemical under 29CFR 1910.1200, and therefore is not covered by Title III of SARA.

SARA Title III:Section 313 Information (40CFR372)

This product does not contain a chemical which is listed in Section 313 at or above de minimis concentrations.

CERCLA Information (40CFR302.4)

Releases of this material to air, land, or water are not reportable to the National Response Center under the Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA) or to state and local emergency planning committees under the Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA) Title III Section 304.

US. Toxic Substances Control Act (TSCA) All components of this product are in compliance with the inventory listing requirements of the U.S. Toxic Substances Control Act (TSCA) Chemical Substance Inventory.

Pennsylvania

Any material listed as "Not Hazardous" in the CAS REG NO. column of SECTION 2, Composition/Information On Ingredients, of this MSDS is a trade secret under the provisions of the Pennsylvania Worker and Community Right-to-Know Act.

16. OTHER INFORMATION**Hazard Rating**

	Health	Fire	Reactivity
HMIS	1	1	0

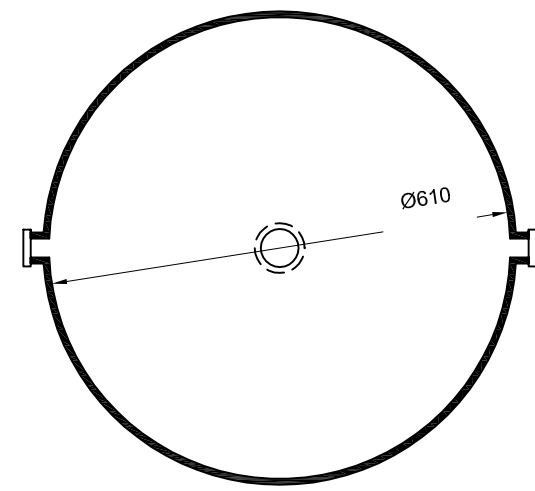
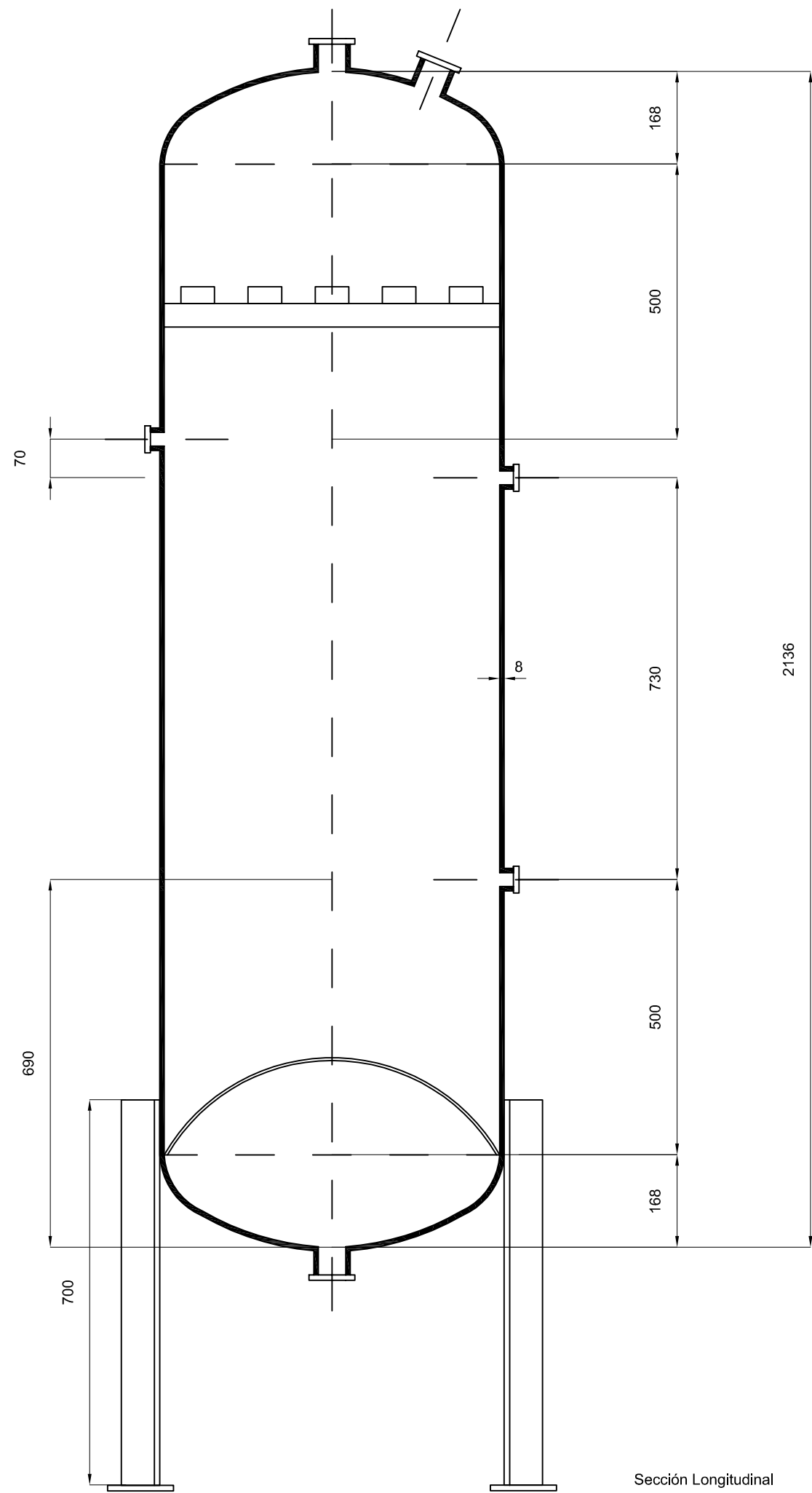
Legend

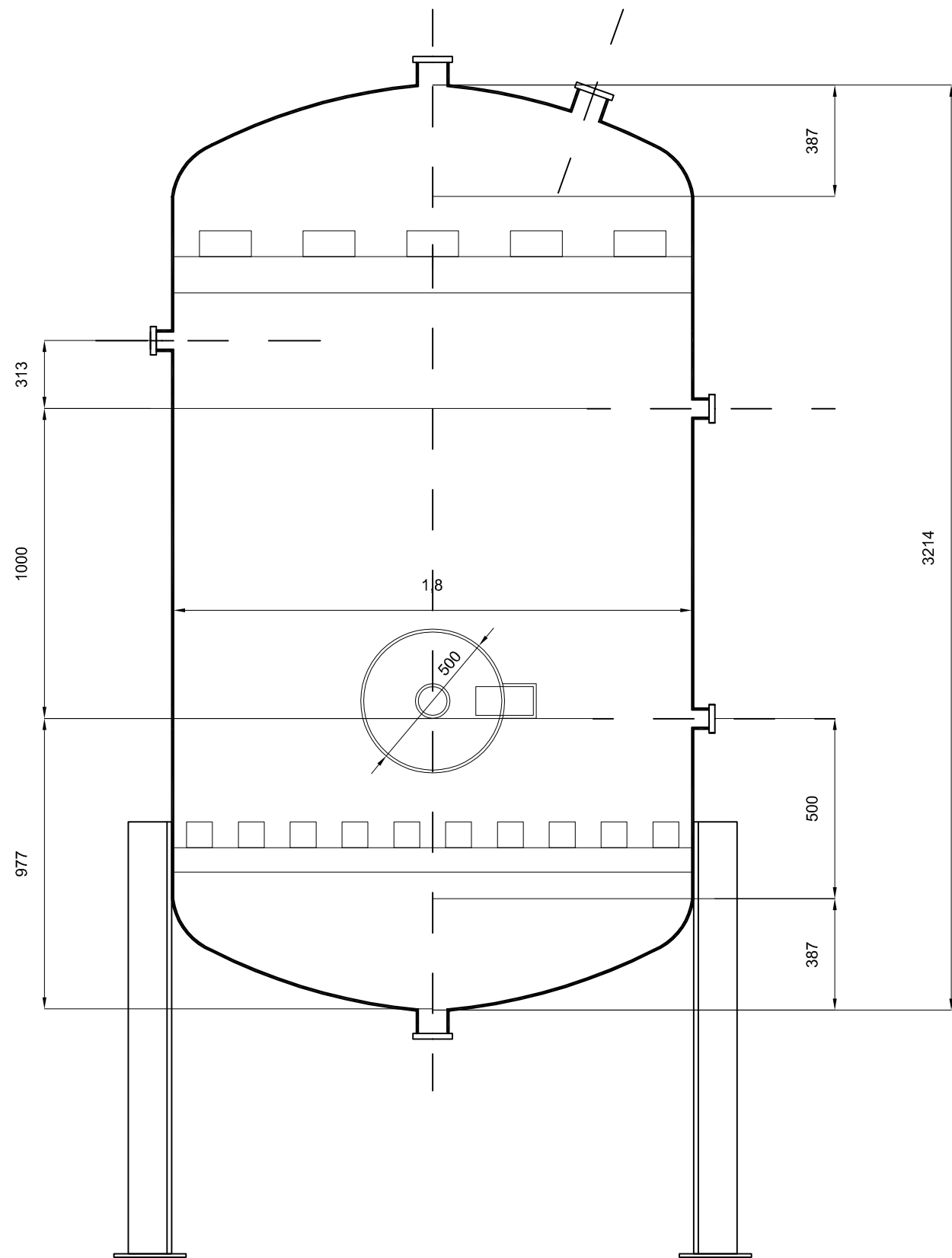
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
BAC	Butyl acetate
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PEL	Permissible Exposure Limit
STEL	Short Term Exposure Limit (STEL):
TLV	Threshold Limit Value
TWA	Time Weighted Average (TWA):
	Bar denotes a revision from prior MSDS.

The information provided in this Safety Data Sheet is correct to the best of our knowledge, information and belief at the date of its publication. The information given is designed only as a guidance for safe handling, use, processing, storage, transportation, disposal and release and is not to be considered a warranty or quality specification. The information relates only to the specific material designated and may not be valid for such material used in combination with any other materials or in any process, unless specified in the text.

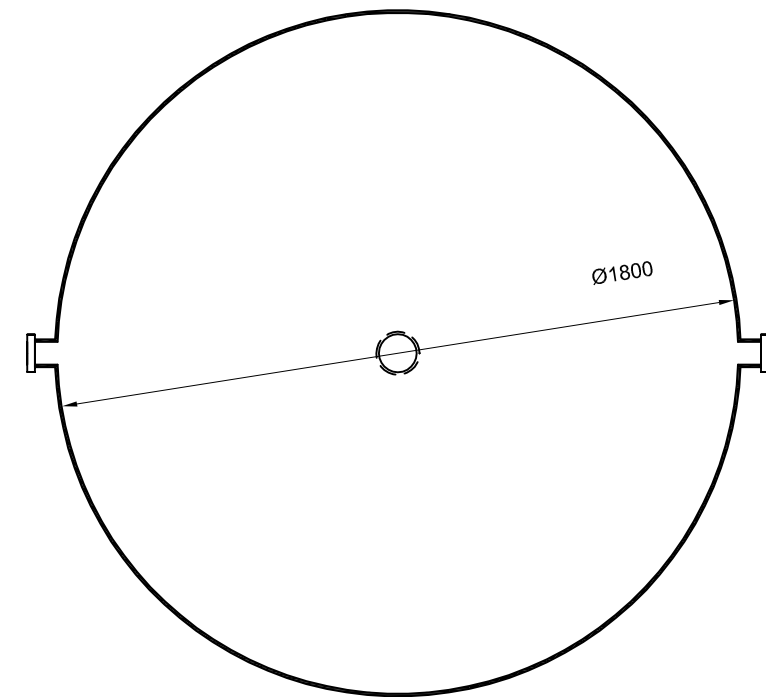
ÍNDICE DE LOS PLANOS

- Diagrama de flujo
- Distribución de equipos en planta
- Columnas de filtración
- Columna catiónica
- Columna aniónica
- Depósito de recepción de agua desmineralizada
- Depósito dilución ácido
- Depósito dilución básico

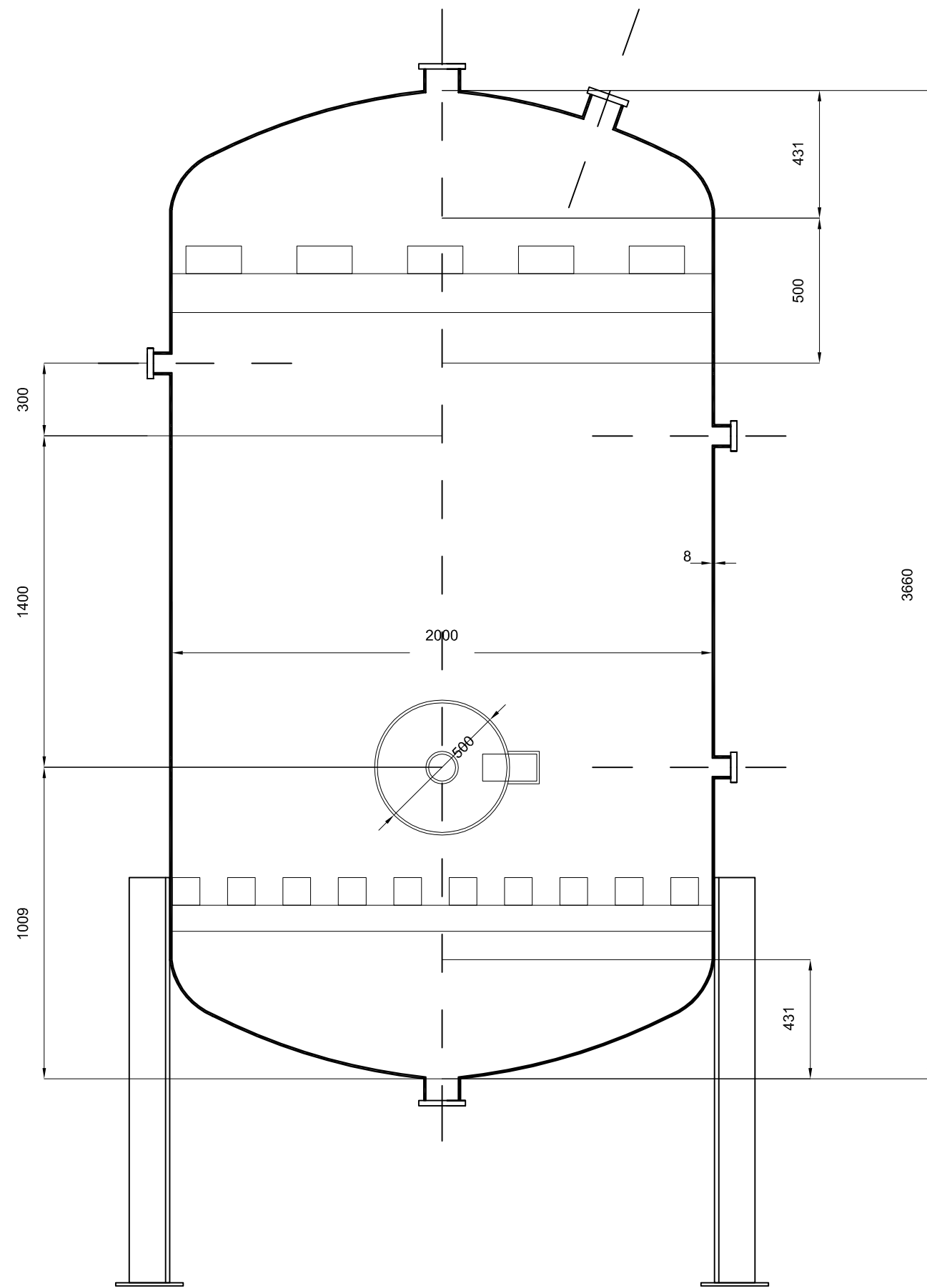




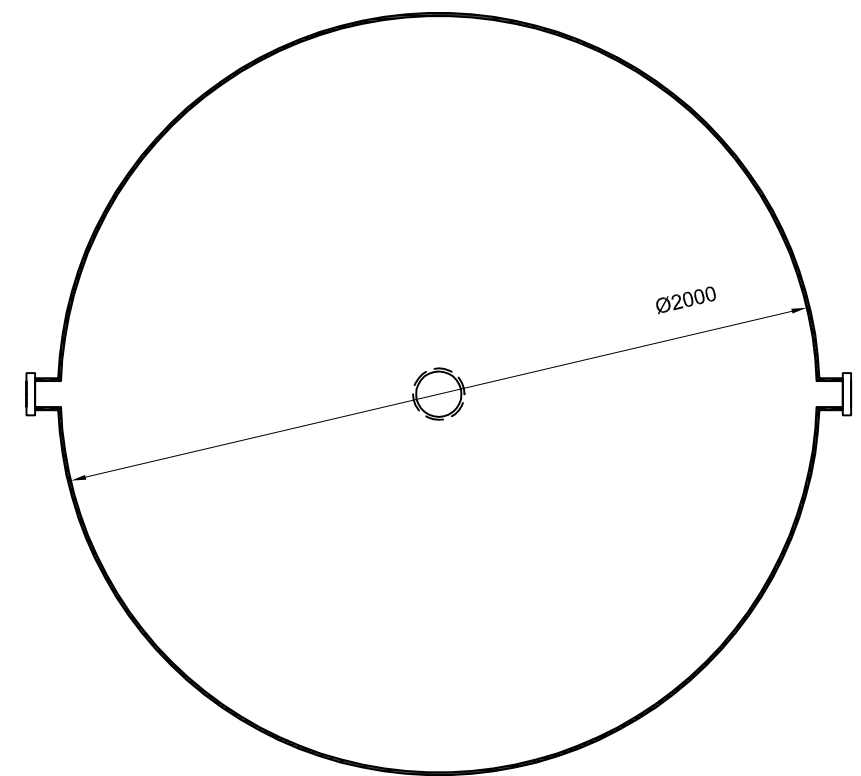
Sección Longitudinal



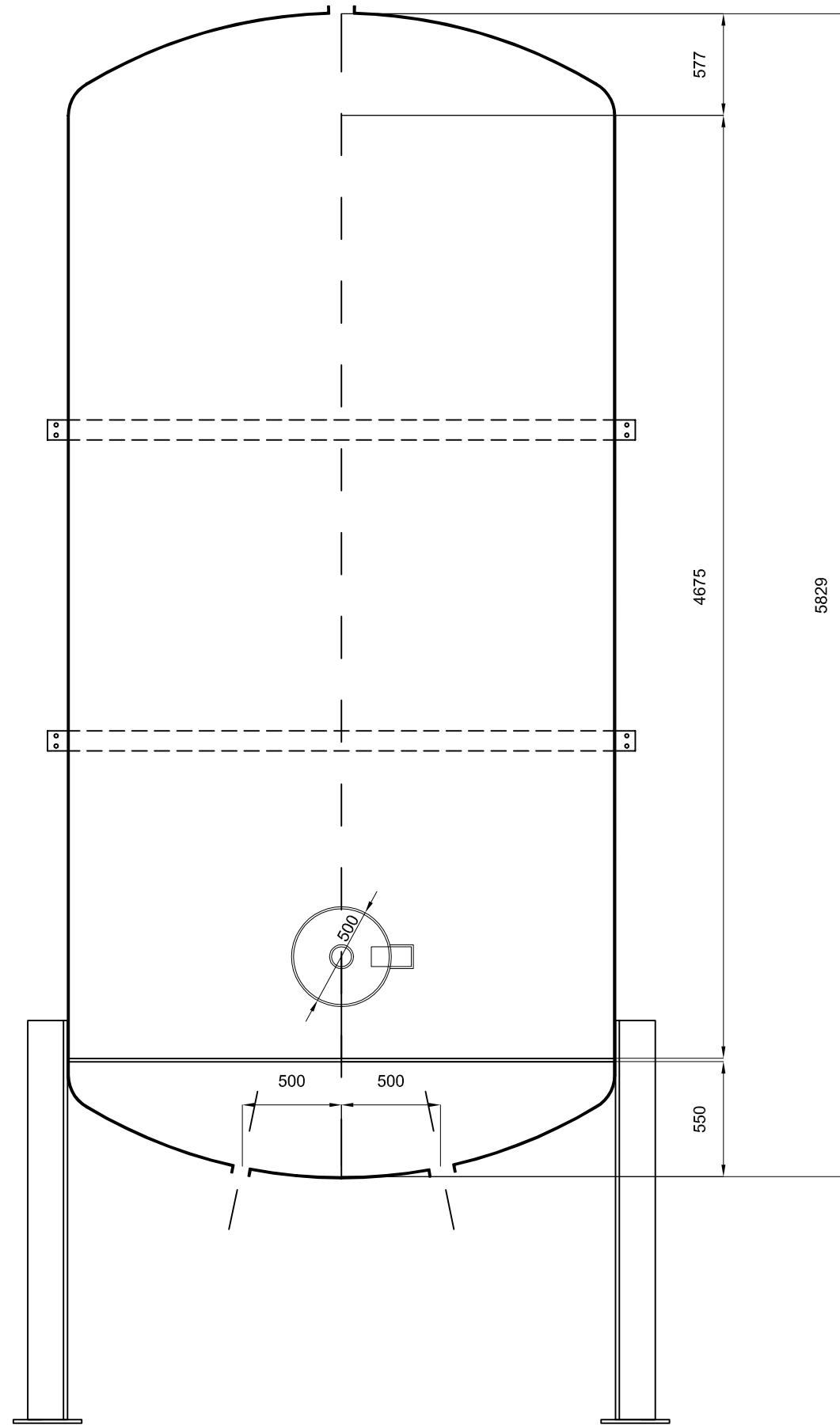
Sección transversal



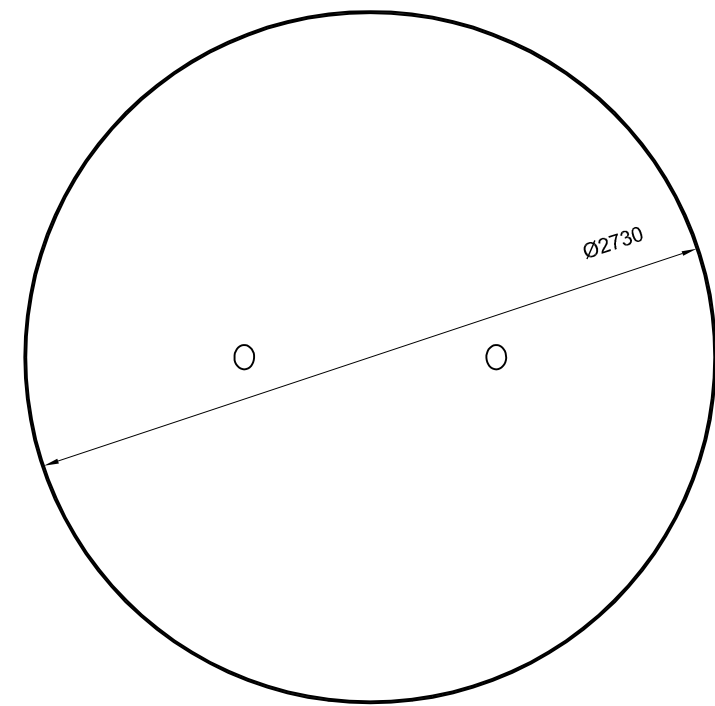
Sección Longitudinal



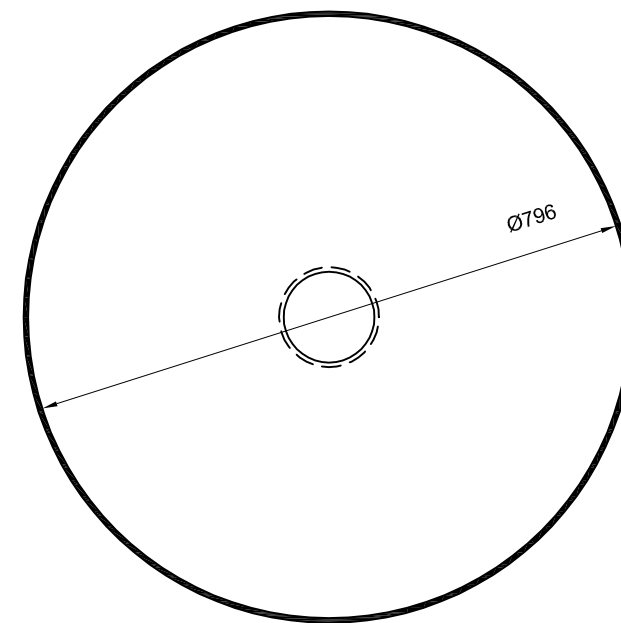
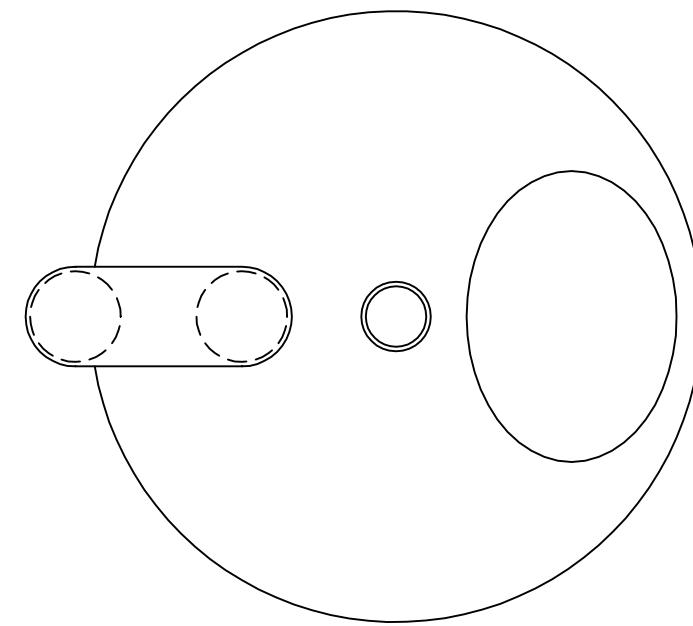
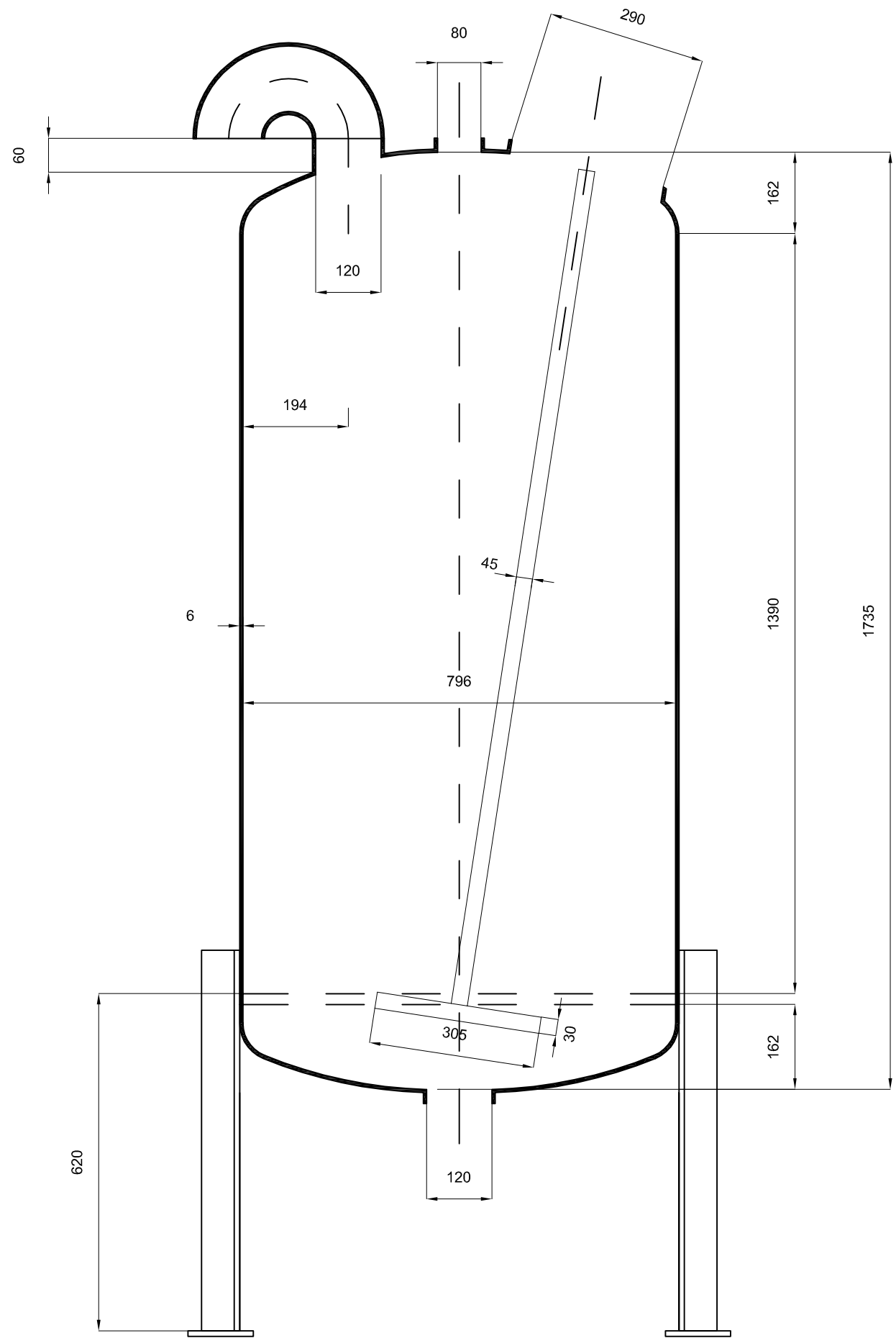
Sección transversal



Sección Longitudinal

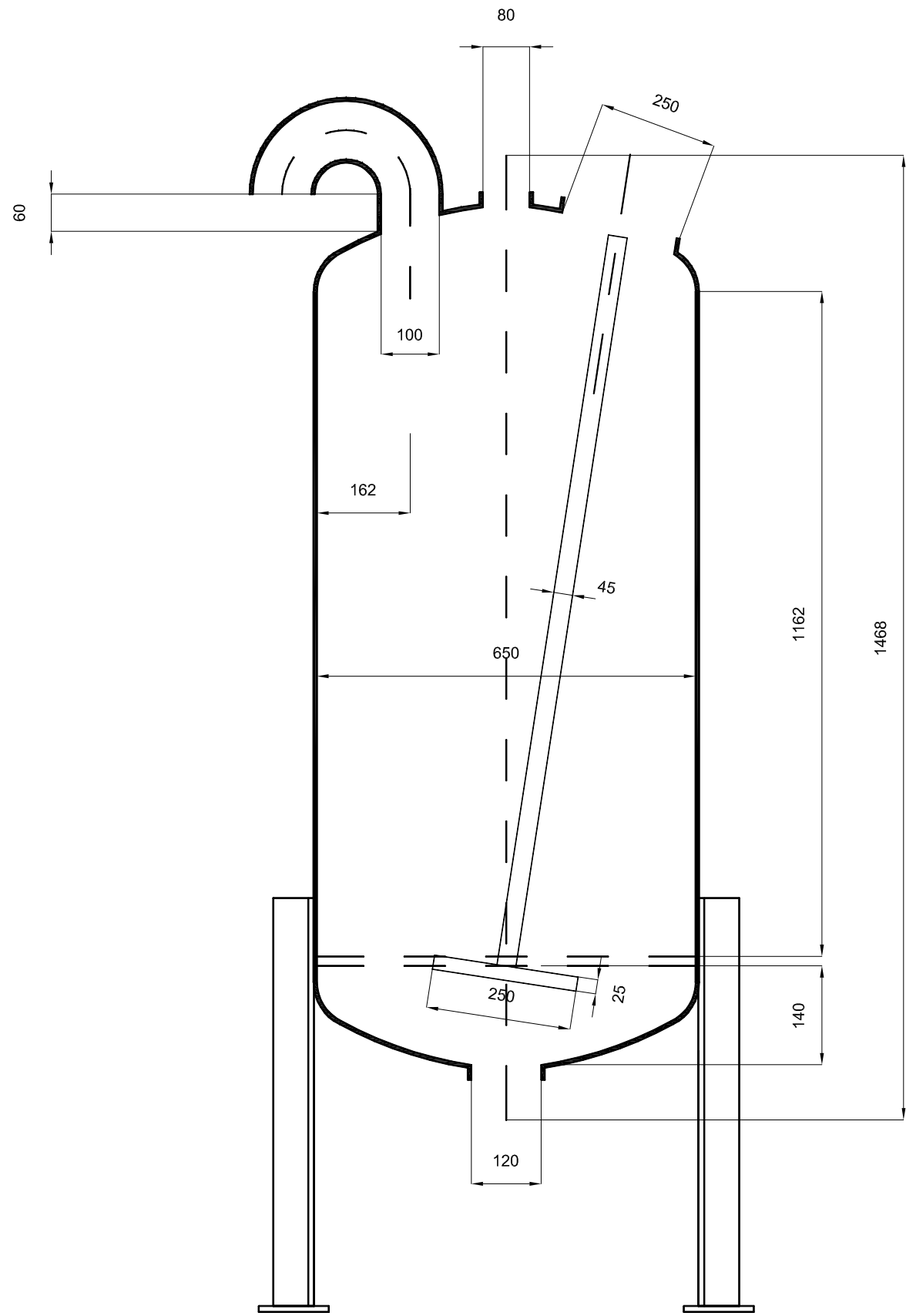


Sección transversal

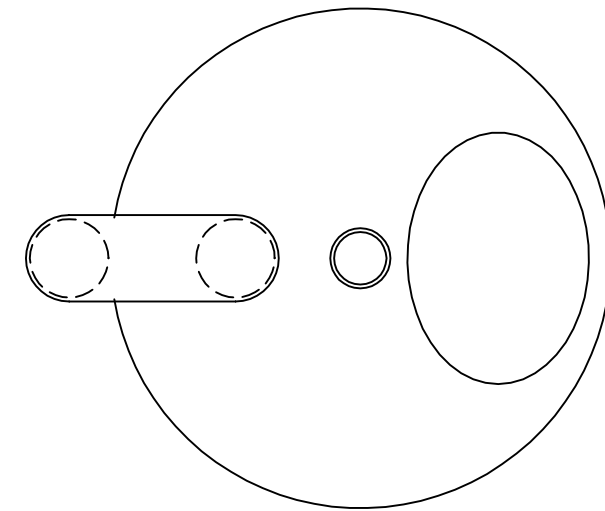


Sección Longitudinal

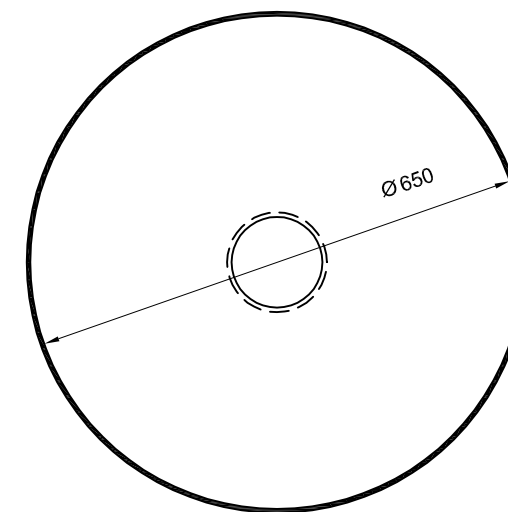
Sección transversal



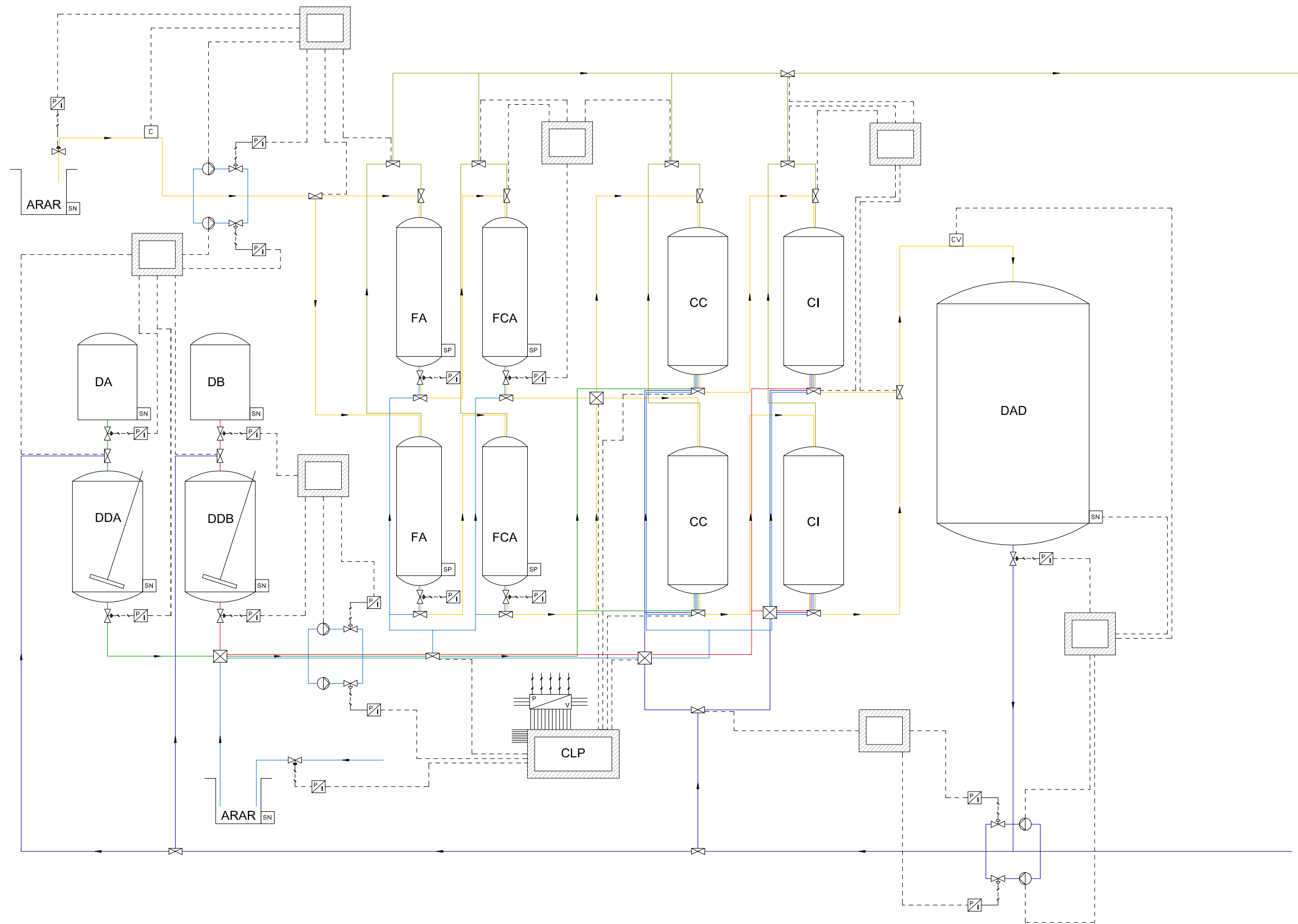
Sección Longitudinal



Planta



Sección transversal

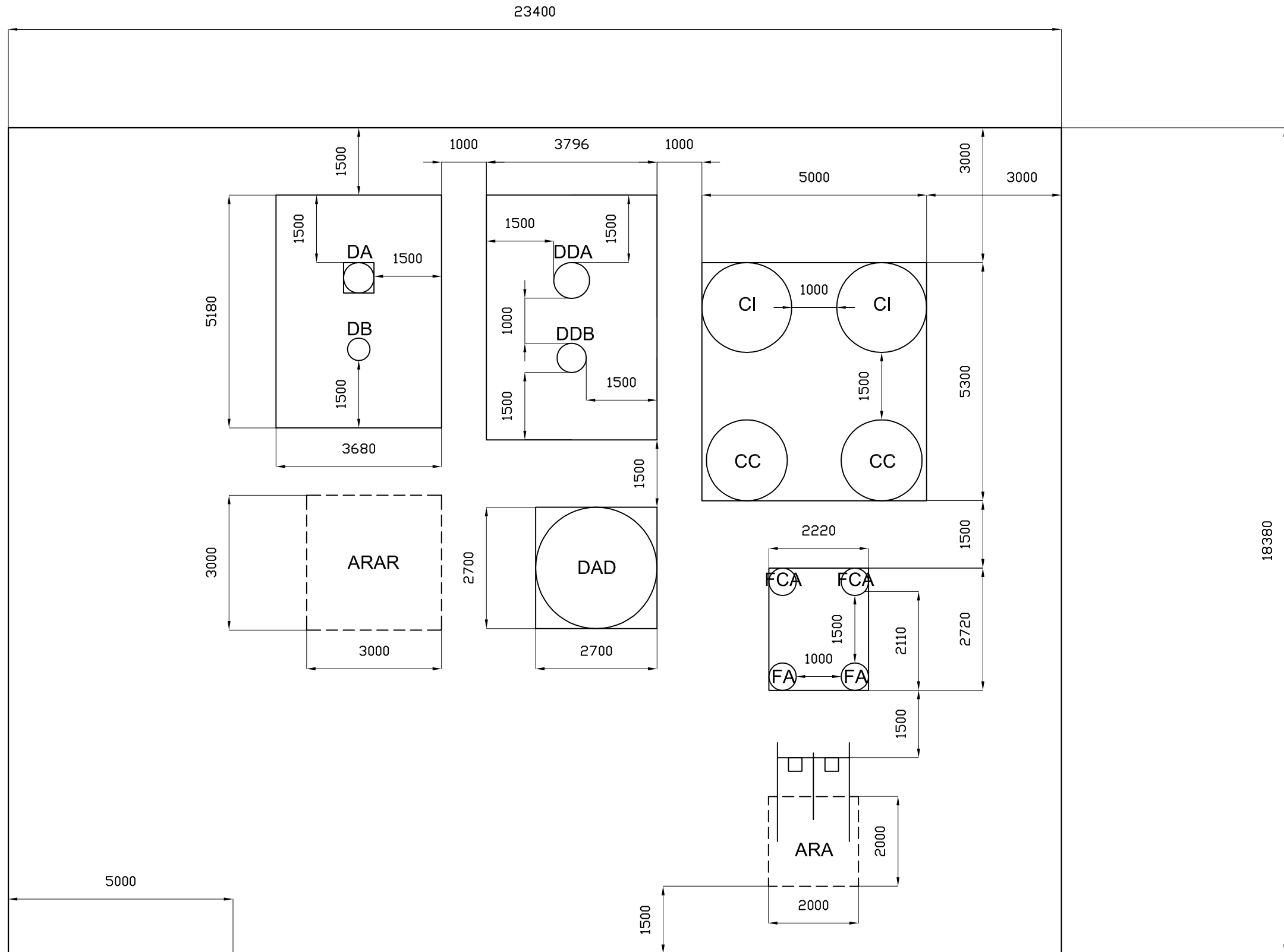


- AGUA DE RED
- AGUA DESMINERALIZADA
- ALIMENTACIÓN
- H2SO4
- NAOH

- ⊗ VÁLVULA ON/OFF NEUMÁTICA
- ⊗ VÁLVULA REGULACIÓN NEUMÁTICA
- ⊗ VÁLVULA 3 VÍAS
- ⊗ VÁLVULA 4 VÍAS
- ⊙ BOMBA CENTRÍFUGA

- ⊠ CONVERTIDOR PRESIÓN/ INTENSIDAD
- CV CONDUCTÍMETRO
- C CAUDALÍMETRO
- SN SN
- SP SP

- CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE



ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

CAPÍTULO I.- DISPOSICIONES GENERALES	319
Artículo 1.- Objeto del pliego.....	319
Artículo 2.- Cuerpo normativo.....	319
Artículo 3.- Documentos que definen el proyecto.....	319
Artículo 4.- Compatibilidad y relación entre dichos documentos	320
CAPITULO II.- PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS	320
Artículo 5.- Salida a concurso.....	320
Artículo 6.- Retirada de documentación de concurso	320
Artículo 7.- Aclaraciones de los licitadores	321
Artículo 8.- Presentación de la documentación de la oferta.....	321
Artículo 9.- Condiciones legales del contratista para poder ofertar.....	323
Artículo 10.- Validez de las ofertas	324
Artículo 11.- Planos provisionales y definitivos	324
Artículo 12.- Adjudicación del concurso	324
Artículo 13.- Devolución de planos y documentación	325
Artículo 14.- Permisos a obtener por la empresa.....	325
Artículo 15.- Permisos a obtener por el contratista.....	326
Artículo 16.- Contrato.....	327
Artículo 17.- Gastos e impuestos derivados del contrato	327
Artículo 18.- Fianzas provisional, definitiva y fondo de garantía.....	328
Artículo 19.- Asociación de constructores.....	329
Artículo 20.- Subcontratistas.....	329
Artículo 21.- Relaciones entre la empresa y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas	330
Artículo 22.- Domicilios y representantes.....	331
Artículo 23.- Obligaciones del contratista.....	331
Artículo 24.- Gastos de carácter general por cuenta del contratista	333
Artículo 25.- Gastos de carácter general por cuenta de la empresa.....	335
Artículo 26.- Indemnizaciones por cuenta del contratista	335
Artículo 27.- Partidas para obras accesorias.....	335
Artículo 28.- Partidas alzadas.....	335
Artículo 29.- Régimen de intervención	336
Artículo 30.- Rescisión del contrato	337
Artículo 31.- Propiedad industrial y comercial	339
Artículo 32.- Disposiciones legales	339
Artículo 33.- Tribunales	340
CAPITULO III.- PLIEGO DE CONDICIONES TECNICOECONOMICAS	340
Artículo 34.- Modificaciones del proyecto	340
Artículo 35.- Modificación de los planos.....	341

Artículo 36.- Replanteo de las obras	342
Artículo 37.- Acceso a las obras.....	342
Artículo 38.- Organización de las obras	343
Artículo 39.- Vigilancia y policía de las obras	343
Artículo 40.- Utilización de las instalaciones auxiliares y equipos del contratista	344
Artículo 41.- Uso anticipado de las instalaciones definitivas.....	344
Artículo 42.- Plano de obra y montaje	344
Artículo 43.- Plazos de ejecución.....	346
Artículo 44.- Retenciones por retrasos durante la ejecución de la obra	347
Artículo 45.- Incumplimiento de los plazos y multas.....	347
Artículo 46.- Supresión de las multas	348
Artículo 47.- Premios y primas	348
Artículo 48.- Retrasos ocasionados por la empresa.....	348
Artículo 49.- Daños y ampliación de plazo en caso de fuerza mayor	348
Artículo 50.- Mediciones de las unidades de obra.....	349
Artículo 51.- Certificación y abono de las obras.....	¡Error! Marcador no definido. 350
Artículo 52.- Abono de unidades incompletas o defectuosas	352
Artículo 53.- Recepción provisional de las obras	353
Artículo 54.- Plazo de garantía	353
Artículo 55.- Recepción definitiva de las obras	354
Artículo 56.- Liquidación de las obras	354

PLIEGO DE CONDICIONES

CAPÍTULO I.- DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto del pliego

El presente pliego tiene por objeto la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas y económicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos, siempre que expresamente se haga mención de este pliego de cada una de las obras.

En este último supuesto, se entiende que el Contratista Adjudicatario de la obra se compromete a aceptar íntegramente todas y cada una de las cláusulas del presente Pliego General.

Artículo 2.- Cuerpo normativo

El cuerpo normativo de aplicación en la ejecución de los trabajos objeto del presente proyecto ser el formado por toda la legislación de obligado cumplimiento que le sea de aplicación en la fecha de la forma del Contrato de adjudicación de la instalación. Si entre la normativa de aplicación existiesen discrepancias, se aplicarán las más restrictivas, salvo que por parte de la Dirección Facultativa se manifieste por escrito lo contrario en el Libro de órdenes.

Si entre la normativa de aplicación existiese contradicción debe ser la Dirección Facultativa quien manifieste por escrito la decisión a tomar en el libro de órdenes.

Será responsabilidad del Contratista, cualquier decisión tomada en los supuestos anteriores si ésta no está firmada en el libro de órdenes por la Dirección Facultativa y por tanto estará obligado a asumir las consecuencias que deriven de las órdenes que debe tomar la Dirección Facultativa para corregir la situación creada.

Artículo 3.- Documentos que definen el proyecto

En general, el Proyecto podrá comprender los siguientes documentos:

3.1.- Una Memoria que considerar las necesidades a satisfacer y los factores de carácter general a tener en cuenta. En ella se incluirán unos Anexos a la Memoria, en los que se expondrán todos los cálculos realizados, modelos empleados en ellos, simplificaciones de los modelos, así como las suposiciones que se han tenido en cuenta a la hora de efectuar los cálculos pertinentes.

3.2.- Los Planos de conjunto y detalle necesarios para que la planta quede perfectamente definida.

3.3.- El cuadro de precios, en el que se incluyen precios de la instalación, materias primas, mantenimiento de la instalación, precio de venta del producto

3.4.- El Pliego General de Condiciones Técnicas, Económicas y Legales, que incluir la descripción de las obras e instalaciones, especificaciones de los materiales y elementos constitutivos y normas para la ejecución de los trabajos, así como las bases económicas y legales que regirán esa obra.

Artículo 4.- Compatibilidad y relación entre dichos documentos

Lo mencionado en los Pliegos de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y los Pliegos de Condiciones, prevalecer lo prescrito en estos últimos.

Las omisiones en Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de instalación que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo el espíritu o la intención expuestos en los Planos y Pliego de Condiciones, o que, por uso y costumbre, deben ser realizados, no solo no eximen al contratista de la obligación de ejecutar esos detalles del trabajo omitidos o erróneamente descritos, sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubieran sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones sin que suponga variación en el presupuesto de la unidad o el capítulo.

CAPITULO II.- PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

Artículo 5.- Salida a concurso

La licitación de la obra se hará por concurso restringido, en el que la empresa convocará a las empresas constructoras que estime oportuno.

Los concursantes enviarán sus ofertas por triplicado, en sobre cerrado y lacrado, según se indique en la carta de petición de ofertas, a la dirección de la empresa.

No se considerarán válidas las ofertas presentadas que no cumplan los requisitos citados anteriormente, así como los indicados en la documentación técnica enviada.

Artículo 6.- Retirada de documentación de concurso

6.1.- Los contratistas, por sí o a través de sus representantes, podrán retirar dicha documentación de las oficinas de la empresa cuando ésta no les hubiese sido enviada previamente.

6.2.-La empresa se reserva el derecho de exigir para la retirada de la documentación un depósito, que será reintegrado en su totalidad a los contratistas que no hubiesen resultado adjudicatarios de la obra, previa evolución de dicha documentación.

Artículo 7.- Aclaraciones de los licitadores

Antes de transcurrido la mitad del plazo estipulado en las bases del concurso, los contratistas participantes podrán solicitar por escrito a la empresa las oportunas aclaraciones, en el caso de encontrar discrepancias, errores u omisiones en los planos, pliegos de condiciones o en otros documentos de concurso, ó si se les presentasen dudas en cuanto a su significado.

La empresa estudiará las peticiones de aclaración e información recibida y las contestará mediante una nota que remitirá a todos los presuntos licitadores, si estimase que la aclaración solicitada es de interés general.

Si la importancia y repercusión de la consulta así lo aconsejara, la empresa podrá prorrogar el plazo de presentación de ofertas, comunicándolo así a todos los interesados.

Artículo 8.- Presentación de la documentación de la oferta

Las empresas que oferten en el concurso presentarán obligatoriamente los siguientes documentos en original y dos copias:

8.1.- Cuadro de precios nº1, consignando en letra y cifra los precios unitarios asignados a cada unidad de obra cuya definición figura en dicho cuadro. Estos precios deberán incluir el tanto por ciento de gastos generales, beneficio industrial y el IVA que facturarán independientemente.

En caso de no coincidir las cantidades expresadas en letra y cifra, se considerará como válida la primera. En el caso de que existiese discrepancia entre los precios unitarios de los cuadros de precios números 1 y 2, prevalecer el del cuadro nº1.

8.2.- Cuadro de Precios nº2, en el que se especificará claramente el desglose de la forma siguiente:

8.2.1.- Mano de obra por categoría, expresando el número de horas invertido por categoría y precio horario.

8.2.2.- Materiales, expresando la cantidad que se precise de cada uno de ellos y su precio unitario.

8.2.3.- Maquinaria y medios auxiliares, indicando tipo de máquina, número de horas invertido por máquina y precio horario.

8.2.4.- Transporte, indicando en las unidades que lo precisen el precio por tonelada y kilómetro.

8.2.5.- Varios y resto de obra que incluirán las partidas directas no comprendidas en los apartados anteriores.

8.2.6.- Porcentajes de gastos generales, beneficio industrial e IVA.

8.3.- Presupuesto de ejecución material, obtenido al aplicar los precios unitarios a las mediciones del proyecto. En caso de discrepancia entre los precios aplicados en el Presupuesto y los del Cuadro de Precios nº1, obligarán los de este último.

Este presupuesto vendrá desglosado, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3.3 en dos presupuestos: a) presupuesto de obras características y b) presupuestos de obras complementarias, que en los sucesivos artículos de este pliego recibirán esta denominación.

Las nuevas unidades de obra que aparezcan durante la ejecución de la misma con el carácter establecido se incorporarán previa aplicación de los precios correspondientes, al presupuesto de obras complementarias.

8.4.- Presupuesto total, obtenido al incrementar el presupuesto de ejecución material en sus dos apartados con el tanto por ciento de IVA.

8.5.- Relación del personal técnico adscrito a la obra y organigrama general del mismo durante el desarrollo de la obra.

8.6.- Relación de maquinaria adscrita a la obra, expresando tipo de máquina, características técnicas fundamentales, años de uso de la máquina y estado general; asimismo relación de máquinas de nueva adquisición que se asignarán a la obra de resultar adjudicativo. Cualquier sustitución posterior de la misma debe ser aprobada por la empresa deberá incluirse asimismo un plan de permanencia de toda la maquinaria en obra.

8.7.- Baremos horarios de mano de obra por categorías y de maquinaria para trabajos por administración. Estos precios horarios incluirán el tanto por ciento de gastos generales y beneficio industrial y el IVA, que facturarán independientemente.

8.8.- Plan de obra detallado, en el que se desarrollarán en el tiempo las distintas unidades de obra a ejecutar, haciendo mención de los rendimientos medios a obtener.

8.9.- Las propuestas económicas y documentación complementaria deberán venir firmadas por el representante legal o apoderado del ofertante quién, a petición de la empresa, deber probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

8.10.- Además de la documentación reseñada anteriormente y que el contratista deberá presentar con carácter obligado, la empresa podrá exigir en cada caso, cualquier otro tipo de documentación, como pueden ser referencias, relación de obras ejecutadas, balances de la sociedad, etc.

Artículo 9.- Condiciones legales que debe reunir el contratista para poder ofertar

9.1.- Capacidad para concurrir. Las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que se hallen en plena posesión de su capacidad jurídica y de obrar.

No obstante, serán de aplicación a las Empresas extranjeras las normas de ordenación de la industria y las que regulen las inversiones de capital extranjero, así como las que dicte el Gobierno sobre concurrencia de dichas empresas, antes de la licitación de estas obras.

9.2.- Documentación justificativa para la admisión previa.

9.2.1.- Documento oficial o testimonio notarial del mismo, que acredite la personalidad del solicitante.

9.2.2.- Documento notarial justificativo de la representación ostentada por el firmante de la propuesta, así como documento oficial acreditativo de su personalidad.

9.2.3.- Documento que justifique haber constituido la fianza provisional en las formas que se determinan en el artículo 9 del Pliego General de Condiciones.

9.2.4.- Carnet de empresa con responsabilidad.

9.2.5.- Documento acreditativo de que el interesado está al corriente en el pago del impuesto industrial en su modalidad de cuota fija o de licencia fiscal.

9.2.6.- Documento oficial acreditativo de hallarse al corriente de pago de las cuotas de la Seguridad Social y, concretamente, el de cobertura de riesgo de accidentes de trabajo.

Artículo 10.- Validez de las ofertas

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo señalado en la carta de invitación, o anuncio respectivo, o que no conste de todos los documentos que se señalan en el artículo 9.

Los concursantes se obligan a mantener la validez de sus ofertas durante un periodo mínimo de 90 días a partir de la fecha tope de recepción de ofertas, salvo que en la documentación de petición de ofertas se especifique otro plazo.

Artículo 11.- Planos provisionales y definitivos

11.1.- Con el fin de poder acelerar los trámites de licitación y adjudicación de las obras y consecuente iniciación de las mismas, la empresa podrá facilitar a los contratistas, para el estudio de su oferta, documentación con carácter provisional. En tal caso, los planos que figuren en dicha documentación no serán válidos para construcción, sino que únicamente tendrán el carácter de informativos y servirán para formar ideas de los elementos que componen la obra, así como para obtener las mediciones aproximadas y permitir el estudio de los precios que sirven de base para el presupuesto de la oferta.

Este carácter de planos de información se hará constar expresamente y en ningún caso podrán utilizarse dichos planos para la ejecución de ninguna parte de la obra.

11.2.- Los planos definitivos se entregarán al Contratista con antelación suficiente a fin de no retrasar la preparación y ejecución de los trabajos.

Artículo 12.- Adjudicación del concurso

12.1.- La Empresa procederá a la apertura de las propuestas presentadas por los licitadores y las estudiará en todos sus aspectos. La empresa tendrá alternativamente la facultad de adjudicar el concurso a la propuesta más ventajosa, sin atender necesariamente al valor económico de la misma, o declarar desierto el concurso. En este último caso la empresa podrá libremente suspender definitivamente la licitación de las obras o abrir un nuevo concurso, pudiendo introducir las variaciones que estime oportunas, en cuanto al sistema de licitación y relación de contratistas ofertantes.

12.2.- La elección del adjudicatario de la obra por parte de la Empresa es irrevocable y, en ningún caso, podrá ser impugnada por el resto de los contratistas ofertantes.

12.3.- La empresa comunicará al ofertante seleccionado la adjudicación de las obras, mediante una carta de intención. En el plazo máximo de un mes a partir de la fecha de esta carta, el contratista a simple requerimiento de la empresa se prestará a formalizar el contrato definitivo.

En tanto no se firme este y se constituya la fianza definitiva, la Empresa retendrá la fianza provisional depositada por el Contratista, a todos los efectos dimanantes del mantenimiento de la oferta.

Artículo 13.- Devolución de planos y documentación

13.1.- Los planos, pliegos de condiciones y demás documentación del concurso, entregados por la empresa a los concursantes, deberán ser devueltos después de la adjudicación del concurso, excepto por lo que respecta al adjudicatario, que deberá conservarla sin poder reclamar la cantidad abonada por dicha documentación.

13.2.- El plazo para devolver la documentación será de 30 días a partir de la notificación a los concursantes de la adjudicación del concurso, y su devolución tendrá lugar en las mismas oficinas de donde fue retirada.

13.3.- La empresa, a petición de los concursantes no adjudicatarios, devolverá la documentación correspondiente a las ofertas en un plazo de 30 días, a partir de haberse producido dicha petición.

13.4.- La no devolución por parte de los contratistas no adjudicatarios de la documentación del concurso dentro del plazo lleva implícita la pérdida de los derechos de la devolución del depósito correspondiente a la referida documentación, si lo hubiese.

Artículo 14.- Permisos a obtener por la empresa

14.1.- Será responsabilidad de la empresa la obtención de los permisos oficiales que más adelante se relacionan, estando a su cargo todos los gastos que se ocasionen por tal motivo:

- Concesión de aprovechamientos.
- Autorización de instalaciones.
- Aprobación de proyectos de replanteo.
- Declaración de utilidad pública.
- Declaración de urgente ocupación.

14.2.- Autorizaciones especiales para la construcción y montaje de la instalación:

- Licencia municipal de obras.
- Licencia de apertura, instalación y funcionamiento.
- Autorización para vallas.
- Permiso de obras públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación (podrá ser responsabilidad del contratista si así lo estipulase el contrato).
- Solicitud de puesta en servicio.

14.3.- Autorizaciones especiales para la construcción y montaje de líneas.

- Licencia municipal.
- Autorizaciones para cruces de carreteras, cauces públicos, caídas, líneas telefónicas y telegráficas, montes públicos y, en general, cuanto dependa de los organismos oficiales.
- Permisos de propietarios de fincas afectadas.
- Permiso de obras públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación (podrá ser responsabilidad del contratista si así lo estipulase el contrato).
- Solicitud de puesta en servicio.

14.4.- Autorizaciones especiales para la construcción y el montaje:

- Apertura del Centro de trabajo (igual responsabilidad incumbe al Contratista, por lo que a él respecta).
- Licencia municipal de obras.
- Autorización del servicio de pesca, cuando se prevea alteración en el curso de las aguas.
- Enlace de pistas definitivas con carreteras con la aprobación de las jefaturas de obras públicas o diputaciones.
- Aprobación de proyectos de sustitución de servidumbres.
- Autorizaciones que deban ser concedidas por confederaciones hidrográficas, comisaría de aguas, servicio de vigilancia de presas, servicio geológico, mopu y restantes organismos oficiales en relación directa con el proyecto.
- Tramitación de expropiaciones de terrenos ocupados por las instalaciones y obras definitivas. En el caso en que la empresa así lo estimase oportuno, podrá tramitar la expropiación de los terrenos necesarios para las instalaciones provisionales del Contratista, siendo de cuenta de este los gastos que tales expropiaciones originen.
- Reconocimiento final de la obra y puesta en marcha mediante acta que levantarán conjuntamente los representantes de industria y obras públicas.
- Alta en contribución urbana y licencia fiscal.
- Permiso de obras públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación (podrá ser responsabilidad del contratista si así lo estipulase el contrato).

Artículo 15.- Permisos a obtener por el contratista

Serán a cuenta y cargo del contratista, además de los permisos inherentes a su condición de tal, la obtención de los permisos que se relacionan:

- Apertura del centro de trabajo.
- Permiso para el transporte de obreros.

- Autorización de barracones, por obras públicas o diputación, siempre que se encuentren en la zona de influencia de carreteras y, en cualquier caso, la licencia municipal.
- Autorización para la instalación y funcionamiento de escuelas, botiquines y economatos.
- Alta de talleres en industria y hacienda.
- Autorización de industria para las instalaciones eléctricas provisionales.
- Permiso de la dirección de minas para la explotación de canteras y yacimientos.
- Permiso de la dirección de minas para la instalación de explosivos.
- Permiso de obras públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación (podrá ser responsabilidad del contratista si así lo estipulase el contrato).

Artículo 16.- Contrato

16.1.- A tener de lo dispuesto en el Artículo 14.4, el contratista, dentro de los 30 días siguientes a la comunicación de la adjudicación y a simple requerimiento de la empresa, depositará la fianza definitiva y formalizará el Contrato en el lugar y fecha que se le notifique oficialmente.

16.2.- El Contrato tendrá carácter de documento privado, pudiendo ser elevado a público a instancias de una de las partes, siendo en este caso a cuenta del contratista los gastos que ello origine.

16.3.- Una vez depositada la fianza definitiva y firmando el contrato, la empresa procederá, a petición del interesado, a devolver la fianza provisional, si la hubiera.

16.4.- Cuando por causas imputables al contratista, no se pudiera formalizar el contrato en el plazo, la empresa podrá proceder a anular la adjudicación, con incautación de la fianza provisional.

16.5.- El Contrato será firmado por parte del Contratista, por su representante legal o apoderado, quien deber poder probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

Artículo 17.- Gastos e impuestos derivados del contrato

Todos los gastos e impuestos de cualquier orden, que por disposición del estado, provincia o municipio se deriven del contrato, y están vigentes en la fecha de la firma del mismo, serán por cuenta del contratista con excepción del IVA.

Las modificaciones tributarias establecidas con posterioridad al contrato afectarán al sujeto pasivo directo, sin que las partes puedan repercutirlas entre sí. En ningún caso podrá ser la causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente a la firma del contrato.

Artículo 18.- Fianzas provisional, definitiva y fondo de garantía

18.1.- Fianza provisional. La fianza provisional del mantenimiento de las ofertas se constituirá por los contratistas ofertantes por la cantidad que se fije en las bases de licitación.

Esta fianza se depositará al tomar parte en el concurso y se hará en efectivo. Por lo que a plazo de mantenimiento, alcance de la fianza y devolución de la misma se refiere, se estará a lo establecido en los Artículos 6, 8 y 11 del presente Pliego General.

18.2.- Fianza definitiva. A la firma del contrato, el contratista deberá constituir la fianza definitiva por un importe igual al 5% del presupuesto total de adjudicación.

En cualquier caso la empresa se reserva el derecho de modificar el anterior porcentaje, estableciendo previamente en las bases del concurso el importe de esta fianza.

La fianza se constituirá en efectivo o por aval bancario realizable satisfacción de la empresa. En el caso de que el aval bancario sea prestado por varios bancos, todos ellos quedarán obligados solidariamente con la empresa y con renuncia expresa a los beneficios de división y exclusión.

El modelo de aval bancario ser facilitado por la empresa, debiendo ajustarse obligatoriamente el contratista a dicho modelo.

La fianza tendrá carácter de irrevocable desde el momento de la firma del contrato, hasta la liquidación final de las obras y será devuelta una vez realizada ésta.

Dicha liquidación seguirá a la recepción definitiva de la obra, que tendrá lugar una vez transcurrido el plazo de garantía a partir de la ficha de la recepción provisional.

Esta fianza inicial responde del cumplimiento de todas las obligaciones del contratista, y quedará a beneficio de la empresa en los casos de abandono del trabajo o de rescisión por causa imputable al contratista.

18.3.- Fondo de garantía. Independientemente de esta fianza, la empresa retendrá el 5% de las certificaciones mensuales, que se irán acumulando hasta constituir un fondo de garantía.

Este fondo de garantía responderá de los defectos de ejecución o de la mala calidad de los materiales suministrados por el Contratista, pudiendo la empresa realizar con cargo a esta cuenta las reparaciones necesarias, en caso de que el Contratista no ejecutase por su cuenta y cargo dicha reparación. Este fondo de garantía se devolverá, una vez deducidos los importes a que pudiese dar lugar el párrafo anterior, a la recepción definitiva de las obras.

Artículo 19.- Asociación de constructores

19.1.- Si las obras licitadas se adjudicasen en común a un grupo o asociación de constructores, la responsabilidad ser conjunta y solidaria, con relación al compromiso contratado por el grupo o asociación.

19.2.- Los componentes del grupo o asociación delegarán en uno de ellos, a todos los efectos, la representación ante la empresa. Esta delegación se realizará por medio de un representante responsable provisto de poderes, tan amplios como proceda, para actuar ante la empresa en nombre del grupo o asociación.

19.3.- La designación de representante, para surtir efecto, deberá ser aceptada y aprobada por la Empresa por escrito.

Artículo 20.- Subcontratistas

El Contratista podrá subcontratar o destajar cualquier parte de la obra, previa autorización de la Dirección de la misma, para lo cual deberá informar con anterioridad a esta del alcance y condiciones técnico - económicas del Subcontrato.

La Empresa, a través de la dirección de la obra, podrá en cualquier momento requerir del contratista la exclusión de un subcontratista por considerar al mismo como incompetente, o que no reúne las necesarias condiciones, debiendo el contratista tomar las medidas necesarias para la rescisión de este subcontrato, sin que por ello pueda presentar reclamación alguna a la empresa.

En ningún caso podrá deducirse relación contractual alguna entre los subcontratistas o destajistas y la empresa, como consecuencia de la ejecución por aquellos de trabajos parciales correspondientes al contrato principal, siendo siempre responsable el contratista ante la empresa de todas las actividades del subcontratista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones expresadas en este pliego.

Los trabajos específicos que requieran una determinada especialización y que no estuviesen incluidos en el presupuesto del contrato, bien porque aún estando previstos en la memoria y/o planos de concurso, no se hubiese solicitado para ellos oferta económica, bien porque su necesidad surgiese a posteriori durante la ejecución del contrato, podrán ser adjudicados por la empresa directamente a la empresa que libremente elija, debiendo el contratista prestar las ayudas necesarias para la realización de los mismos.

Artículo 21.- Relaciones entre la empresa y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas

21.1.- El contratista está obligado a suministrar, en todo momento, cualquier información relativa a la realización del contrato, de la que la empresa juzgue necesario tener conocimiento. Entre otras razones por la posible incidencia de los trabajos confiados al contratista, sobre lo de otros contratistas y suministradores.

21.2.- El Contratista debe ponerse oportunamente en relación con los demás contratistas y suministradores, a medida que estos sean designados por la empresa, con el fin de adoptar de común acuerdo las medidas pertinentes para asegurar la coordinación de los trabajos, el buen orden de la obra, y la seguridad de los trabajadores.

21.3.- Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre su uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

Repartirán también entre ellos, proporcionalmente a su utilización, las cargas relativas a los caminos de acceso.

21.4.- La Empresa deberá estar permanentemente informada de los acuerdos tomados al amparo del párrafo anterior, para en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomará la resolución que proceda, o designará el árbitro a quien haya que someterse dichas diferencias. La decisión del árbitro designado por la empresa es obligatoria para los interesados. En ningún caso en la empresa deber encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho que tuviese lugar por falta de información por parte del contratista.

21.5.- Cuando varios contratistas trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudiera derivarse de su propia actuación.

Artículo 22.- Domicilios y representantes

22.1.- El Contratista está obligado, antes de iniciarse las obras objeto del contrato a constituir un domicilio en la proximidad de las obras, dando cuenta a la empresa del lugar de ese domicilio.

22.2.- Seguidamente a la notificación del contrato, la Empresa comunicará al contratista su domicilio a efectos de la ejecución del contrato, así como nombre de su representante.

22.3.- Antes de iniciarse las obras objeto del contrato, el contratista designará su representante a pie de obra y se lo comunicará por escrito a la empresa especificando poderes, que deberán ser lo suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la representación de la empresa. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el contratista la ausencia de su representante a pie de obra.

22.4.- El contratista está obligado a presentar a la representación de la Empresa antes de la iniciación de los trabajos, una relación comprensiva del personal facultativo responsable de la ejecución de la obra contratada y a dar cuenta posteriormente de los cambios que en el mismo se efectúen, durante la vigencia del contrato.

22.5.- La designación del representante del Contratista, así como la del personal facultativo responsable de la ejecución de la obra contratada, requiere la conformidad y aprobación de la empresa, quien por motivo fundado podrá exigir al contratista la remoción de su representante y la de cualquier facultativo responsable.

Artículo 23.- Obligaciones del contratista

El contratista estará obligado al cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral, de seguridad social y de seguridad e higiene en el trabajo.

En lo referente a las obligaciones del Contratista en materia de seguridad e higiene en el trabajo, estas quedarán detalladas de la forma siguiente:

23.1.- El Contratista es responsable de las condiciones de seguridad e higiene en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre estas materias, en las medidas que dicte la inspección de trabajo y demás organismos competentes, así como las normas de seguridad complementarias que correspondan a las características de las obras contratadas.

23.2.- A tal efecto el contratista debe establecer un plan de seguridad, higiene y primeros auxilios que especifique con claridad las medidas prácticas que, para la consecución de las precedentes prescripciones, estime necesario tomar en la obra.

Este plan debe precisar las formas de aplicación de las medidas complementarias que correspondan a los riesgos de la obra con el objeto de asegurar eficazmente:

- La seguridad de su propio personal, del de la empresa y de terceros.
- La higiene y primeros auxilios a enfermos y accidentados.
- La seguridad de las instalaciones.

El Plan de Seguridad así concebido debe comprender la aplicación de las normas de seguridad que la empresa prescribe a sus empleados cuando realizan trabajos similares a los encomendados al personal del contratista, y que se encuentran contenidas en las prescripciones de seguridad y primeros auxilios redactadas por U.N.E.S.A.

El Plan de Seguridad, Higiene y Primeros Auxilios deber ser comunicado a la empresa en el plazo de tres meses a partir de la firma del contrato. El incumplimiento de este plazo puede ser motivo de resolución del contrato.

La adopción de cualquier modificación o ampliación al plan previamente establecido, en razón de la variación de la circunstancias de la obra, deberá ser puesta inmediatamente en conocimiento de la empresa.

23.3.- Los gastos originados por la adopción de las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios son a cargo del contratista y se considerarán incluidos en los precios del contrato. Quedan comprendidas en estas medidas, sin que su enumeración las limite:

- La formación del personal en sus distintos niveles profesionales en materia de seguridad, higiene y primeros auxilios, así como la información al mismo mediante carteles, avisos o se ales de los distintos riesgos que la obra presente.
- El mantenimiento del orden, limpieza, comodidad y seguridad en las superficies o lugares de trabajo, así como en los accesos a aquellos.
- Las protecciones y dispositivos de seguridad en las instalaciones, aparatos y máquinas, almacenes, polvorines, etc., incluida las protecciones contra incendios.
- El establecimiento de las medidas encaminadas a la eliminación de factores nocivos, tales como polvos, humos, gases, vapores, iluminación deficiente, ruidos, temperatura, humedad y aireación deficiente, etc.
- El suministro a los operarios de todos los elementos de protección personal necesarios, así como de las instalaciones sanitarias, botiquines, ambulancias, que las circunstancias hagan igualmente necesarias.

Asimismo, el Contratista debe proceder a su costa al establecimiento de vestuarios, servicios higiénicos, servicio de comedor y menaje, barracones, suministro de agua, etc., que las características en cada caso de la obra y la reglamentación determinen.

23.4.- Los contratistas que trabajan en una misma obra deberán agruparse en el seno de un comité de seguridad, formado por los representantes de las empresas, comité que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios, tanto a nivel individual como colectivo.

De esta forma, cada contratista debe designar un representante responsable ante el comité de seguridad. Las decisiones adoptadas por el comité se aplicarán a todas las empresas, incluso a las que lleguen con posterioridad a la obra.

Los gastos resultantes de esta organización colectiva se prorratearán mensualmente entre las empresas participantes, proporcionalmente al número de jornales, horas de trabajo de sus trabajadores, o por cualquier otro método establecido de común acuerdo.

El Contratista remitirá a la representación de la empresa, con fines de información copia de cada declaración de accidente que cause baja en el trabajo, inmediatamente después de formalizar la dicha baja. Igualmente por la secretaria del comité de seguridad previamente aprobadas por todos los representantes.

El incumplimiento de estas obligaciones por parte del Contratista o la infracción de las disposiciones sobre seguridad por parte del personal técnico designado por él, no implica responsabilidad alguna para la Empresa.

Artículo 24.- Gastos de carácter general por cuenta del contratista

24.1.- Se entienden como tales los gastos de cualquier clase ocasionados por la comprobación del replanteo de la obra, los ensayos de materiales que deba 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 de tráfico provisionales para las vías públicas en las que se dificulte el tránsito, así como de los equipos necesarios para organizar y controlar este en evitación pliego general de condiciones económicas y legales de 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 interiores y exteriores.

Los de construcción, conservación y retirada de pasos, caminos provisionales y alcantarillas; los derivados de dejar tránsito a peatones y vehículos durante la ejecución de las obras; los de desviación de alcantarillas, tuberías, cables eléctricos y, en general, de cualquier instalación que sea necesario modificar para las instalaciones provisionales del contratista; los de construcción, conservación, limpieza y retirada de las instalaciones sanitarias provisionales y de limpieza de los lugares ocupados por las mismas; los de retirada al fin de la obra de instalación, herramientas, materiales, etc., y limpieza general de la obra.

24.2.- Salvo que se indique lo contrario, será de cuenta del Contratista el montar, conservar y retirar las instalaciones para el suministro del agua y de la energía eléctrica necesaria para las obras y adquisición de dichas aguas y energía.

24.3.- Serán de cuenta del Contratista los gastos ocasionales por la retirada de la obra, de los materiales rechazados, los de jornales y materiales para las mediciones periódicas para la redacción de certificaciones y los ocasionados por la medición final; los 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 los asientos o averías, accidentes o daños que se produzcan en estas pruebas y la reparación y conservación de las obras durante el plazo de garantía.

24.4.- Además de los ensayos a los que se refiere los apartados 24.1 y 24.3 de este artículo, 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 empresa para su aceptación definitiva.

Serán así mismo de su cuenta aquellos ensayos que el contratista crea oportuno realizar durante la ejecución de los trabajos, para su propio control.

24.5.- Por lo que a gastos de replanteo se refiere y a tenor de lo dispuesto en el artículo 38 replanteo de las obras, serán por cuenta del contratista todos los gastos de replanteos secundarios necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, a partir del replanteo principal definido en dicho artículo 27 y cuyos gastos correrán por cuenta de la Empresa.

24.6.- En los casos de resolución del contrato, cualquiera que sea la causa que lo motive, serán de cuenta del contratista los gastos de jornales y materiales ocasionados por la liquidación de las obras y los de las actas notariales que sea necesario levantar, así como los de retirada de los medios auxiliares que no utilice la empresa o que le devuelva después de utilizados.

Artículo 25.- Gastos de carácter general por cuenta de la empresa

Serán por cuenta de la empresa los gastos originados por la inspección de las obras del personal de la empresa o contratados para este fin, 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, salvo los indicados en el artículo 24, y el transporte de los materiales suministrados por la empresa, hasta el almacén de obra, sin incluir su descarga ni los gastos de paralización de vehículos por retrasos en la misma.

Asimismo, serán a cargo de la empresa los gastos de primera instalación, conservación y mantenimiento de sus oficinas de obra, residencias, poblado, botiquines, laboratorios, y cualquier otro edificio e instalación propiedad de la empresa y utilizados por el personal empleado de esta empresa, encargado de la dirección y vigilancia de las obras.

Artículo 26.- Indemnizaciones por cuenta del contratista

Será de cuenta del contratista la reparación de cualquier daño que pueda ocasionar sus instalaciones y construcciones auxiliares en propiedades particulares; los producidos por la explotación de canteras, la extracción de tierras para la ejecución de terraplenes; los que se originen por la habilitación de caminos y vías provisionales y, finalmente, los producidos en las demás operaciones realizadas por el contratista para la ejecución de las obras.

Artículo 27.- Partidas para obras accesorias

Las cantidades calculadas para obras accesorias, que como consecuencia de su escasa o nula definición, figuren en el presupuesto general con una partida alzada, no se abonará por su valor total.

En consecuencia estas obras accesorias se abonarán a los precios unitarios del contrato y conforme a las unidades y medidas que se obtengan de los proyectos que se realicen para ellas y de su medición final.

Artículo 28.- Partidas alzadas

Las partidas alzadas consignadas en los presupuestos para obras se abonarán por su importe una vez realizados totalmente dichos trabajos.

Quedan excluidas de este sistema de abono, las obras accesorias que se liquidarán conforme a lo indicado en el artículo 27.

Artículo 29.- Régimen de Intervención

29.1.- Cuando el contratista no de cumplimiento, sea a las obligaciones o disposiciones del contrato, sea a las órdenes de servicio que les sean dadas por la empresa, esta le requerir a cumplir este requisito de órdenes en un plazo determinado, que, salvo en casos de urgencia, no será nunca menor a 10 días a partir de la notificación de requerimiento.

29.2.- Pasado este plazo, si el contratista no ha ejecutado las disposiciones dadas, la empresa podrá ordenar a título provisional el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del contratista.

29.3.- Se procederá inmediatamente, en presencia del contratista, o habiéndole convocado debidamente, a la comprobación de las obras ejecutadas, de los materiales acopiados así como al inventario descriptivo del material del contratista, y a la devolución a este de la parte de materiales que no utilizara la empresa para la terminación de los trabajos.

29.4.- La empresa tiene por otra parte, la facultad, sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del contratista incumplidor, sea de ejercitar el derecho de rescisión pura y simple del contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

29.5.- Durante el periodo de régimen de intervención, el contratista podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la empresa.

29.6.- El contratista podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

29.7.- Los excedentes de gastos que resulte de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas, que puedan ser debidas al contratista, sin perjuicios de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

29.8.- Si la intervención o el nuevo contrato supone, por el contrario, una disminución de gastos, el contratista no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia, que quedar a favor de la empresa.

Artículo 30.- Rescisión del contrato

30.1.- Cuando a juicio de la empresa el incumplimiento por parte del contratista de alguna de las cláusulas del contrato, pudiera ocasionar graves trastornos en la realización de las obras, en el cumplimiento de los plazos, o en su aspecto económico, la empresa podrá decidir la resolución del contrato, con las penalidades a que hubiera lugar. Así mismo, podrá proceder la resolución con pérdida de fianza y garantía suplementaria si la hubiera, de producirse alguno de los supuestos siguientes:

30.1.1.- Cuando no se hubiese efectuado el montaje de las instalaciones y medios auxiliares o no se hubiera adoptado la maquinaria relacionada en la oferta o su equivalente en potencia o capacidad en los plazos previstos incrementados en un 25%, o si el contratista hubiese sustituido dicha maquinaria en sus elementos principales sin la previa autorización de la empresa.

30.1.2.- Cuando durante un periodo de tres meses consecutivos y considerados conjuntamente, no se alcanzase un ritmo de ejecución del 50% del programa aprobado para la obra característica.

30.1.3.- Cuando se cumpla el plazo final de las obras y falte por ejecutar más del 20% del presupuesto de la obra característica tal como se define en el artículo 6.3. La imposición de las multas establecidas por los retrasos sobre dicho plazo, no obligar a la empresa a la prórroga del mismo, siendo potestativo por su parte elegir entre la resolución o la continuidad del contrato.

30.2.- Será así mismo causa suficiente para la rescisión alguno de los hechos siguientes:

- 30.2.1.- La quiebra, fallecimiento o incapacidad del contratista. en este caso, la empresa podrá optar por la resolución del contrato, o por que se subroguen en el lugar del contratista los indicios de la quiebra, sus causa habitantes o sus representantes.
- 30.2.2.- La disolución, por cualquier causa, de la sociedad, si el contratista fuera una persona jurídica.
- 30.2.3.- Si el Contratista es una agrupación temporal de empresas y alguna de las integrantes se encuentra incluida en alguno de los supuestos previstos en alguno de los apartados 31.2., la empresa estará facultada para exigir el cumplimiento de las obligaciones pendientes del contrato a las restantes empresas que constituyen la agrupación temporal o para acordar la resolución del contrato.

Si la empresa optara en ese momento por la rescisión, ésta no producirá pérdida de fianza, salvo que concurriera alguna otra causa suficiente para declarar tal pérdida.

30.3.- Procederá asimismo la rescisión, sin pérdida de fianza por el contratista, cuando se suspenda la obra comenzada, y en todo caso, siempre que por causas ajenas al contratista, no sea posible dar comienzo a la obra adjudicada, dentro del plazo de 3 meses, a partir de la fecha de adjudicación.

30.4.- En el caso de que se incurriese en las causas de resolución del contrato conforme a las cláusulas de este pliego general de condiciones, la empresa se hará cargo de las obras en la situación en que se encuentren, sin otro requisito que el del levantamiento de un acta notarial o simple, si ambas partes prestan su conformidad, que refleje la situación de la obra, así como de acopios de materiales, maquinaria y medios auxiliares que el contratista tuviese en ese momento en el emplazamiento de los trabajos.

Con este acto de la empresa el contratista no podrá poner interdicto ni ninguna otra acción judicial, a la que renuncie expresamente.

30.5.- Siempre y cuando el motivo de la rescisión sea imputable al contratista, este se obliga a dejar a disposición de la empresa hasta la total terminación de los trabajos, la maquinaria y medios auxiliares existentes en la obra que la empresa estime necesario, pudiendo el contratista retirar los restantes.

La empresa abonará por los medios, instalaciones y maquinas que decida deben continuar en obra, un alquiler igual al estipulado en el baremo para trabajos por administración, pero descontando los porcentajes de gastos generales y beneficio industrial del contratista.

30.6.- El Contratista se compromete como obligación subsidiaria de la cláusula anterior, a conservar la propiedad de las instalaciones, medios auxiliares y maquinaria seleccionada por la empresa o reconocer como obligación preferente frente a terceros, la derivada de dicha condición.

30.7.- La empresa comunicará al contratista, con treinta días de anticipación, la fecha en que desea reintegrar los elementos que venía utilizando, los cuales dejará de devengar interés alguno a partir de su devolución, o a los 30 días de notificación, si el contratista no se hubiese hecho cargo de ellos. En todo caso, la devolución se realizará siempre a pie de obra, siendo por cuenta del Contratista los gastos de su traslado definitivo.

30.8.- En los contratos rescindidos, se procederá a efectos de garantías, fianzas, etc., a efectuar las recepciones provisionales y definitivas de todos los trabajos ejecutados por el contratista hasta la fecha de la rescisión.

Artículo 31.- Propiedad industrial y comercial

31.1.- Al suscribir el contrato, el contratista garantiza a la empresa contra toda clase de reclamaciones que se refieran a suministros y materiales, procedimientos y medios utilizados para la ejecución de las obras y que procedan de titulares de patentes, licencias, planos, modelos, marcas de fábrica o comercio.

En el caso de que fuera necesario, corresponde al contratista la obtención de las licencias o a utilidades precisas y soportar la carga de los derechos e indemnizaciones correspondientes.

31.2.- En caso de acciones dirigidas contra la empresa por terceros titulares de licencias, autorizaciones, planos, modelos, marcas de fábrica o de comercio utilizadas por el contratista para la ejecución de los trabajos, el contratista responder ante la empresa del resultado de dichas acciones estando obligado además a prestarle su plena ayuda en el ejercicio de las excepciones que competan a la empresa.

Artículo 32.- Disposiciones legales

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (O.M. 9-III-71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Decreto 432/71 de 11-III-71).
- Reglamento de los Servicios Médicos de la Empresa (O.M. 21- XI-59)
- Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica (O.M. 28-VIII-70).
- Reglamento Eléctrico de Baja Tensión (O.M. 20-IX-73).
- Reglamento de Líneas Aereas de Alta Tensión (O.M. 28-XI-68).
- Normas para Se alización de Obras en las Carreteras (O.M. 14- III-60).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción y Estatuto de los Trabajadores.
- Obligatoriedad de la Inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo en los Proyectos de Edificación y Obras Públicas (Real Decreto 555/1986, 21-II-86).
- Cuantas disposiciones legales de carácter social, de protección a la industria nacional, etc., rijan en la ficha en las que se ejecuten las obras.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones eléctricas y Centros de Transformación (Real Decreto 3275/1982 de 13-XI-82).

- Viene también obligado al cumplimiento de cuanto la dirección de Obra le dicte encaminado a garantizar la seguridad de los obreros y la obra en general. En ningún caso la responsabilidad eximir al CONTRATISTA.

Artículo 33.- Tribunales

El Contratista renuncia al fuero de su propio domicilio y se compromete a sustanciar cuantas reclamaciones origine el Contrato ante los tribunales.

CAPITULO III- PLIEGO DE CONDICIONES TECNICOECONOMICAS

Artículo 34.- Modificaciones del proyecto

34.1.- La Empresa podrá introducir en el proyecto, antes de empezar las obras o durante su ejecución, las modificaciones que sean precisas para la normal construcción de las mismas, aunque no se hayan previsto en el proyecto y siempre que no varíen las características principales de las obras.

También podrá introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y aún supresión de las unidades de obra marcadas en el presupuesto, o sustitución de una clase de fábrica por otra, siempre que esta sea de las comprendidas en el contrato.

Cuando se trata de aclarar o interpretar preceptos de los pliegos de condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las ordenes o instrucciones se comunicarán exclusivamente por escrito al contratista, estando obligado éste a su vez a devolver una copia suscribiendo con su firma el enterado.

34.2.- Todas estas modificaciones serán obligatorias para el contratista, y siempre que, a los precios del contrato, sin ulteriores omisiones, no alteren el presupuesto total de ejecución material contratado en más de un 35%, tanto en más como en menos, el Contratista no tendrá derecho a ninguna variación en los precios ni a indemnización de ninguna clase.

Si la cuantía total de la certificación final, correspondiente a la obra ejecutada por el Contratista, fuese a causa de las modificaciones del proyecto, inferior al presupuesto total de ejecución material del contrato en un porcentaje superior al 35%, el contratista tendrá derecho a indemnizaciones.

Para fijar su cuantía, el contratista deber presentar a la Empresa en el plazo máximo de dos meses a partir de la fecha de dicha certificación final, una petición de indemnización con las justificaciones necesarias debido a los posibles aumentos de los gastos generales e insuficiente amortización de equipos e instalaciones, y en la que se valore el perjuicio que le resulte de las modificaciones introducidas en las

previsiones del proyecto. Al efectuar esta valoración el contratista deber tener en cuenta que el primer 35% de reducción no tendrá repercusión a estos efectos.

Si por el contrario, la cuantía de la certificación final, correspondiente a la obra ejecutada por el contratista., fuese, a causa de las modificaciones del proyecto, superior al presupuesto total de ejecución material del contrato y cualquiera que fuere el porcentaje de aumento, no procederá el pago de ninguna indemnización ni revisión de precios por este concepto.

34.3.- No se admitirán mejoras de obra más que en el caso de que la dirección de la obra haya ordenado por escrito, la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del proyecto, o salvo que la dirección de obra ordene también por escrito la ampliación de las contratadas. Se seguirá el mismo criterio y procedimiento, cuando se quieran introducir innovaciones que supongan una reducción apreciable en las unidades de obra contratadas.

Artículo 35.- Modificación de los planos

35.1.- Los planos de construcción podrán modificar a los provisionales de concurso, respetando los principios esenciales y el contratista no puede por ello hacer reclamación alguna a la empresa.

35.2.- El carácter complejo y los plazos limitados de que se dispone en la ejecución de un proyecto, obligan a una simultaneidad entre las entregas de las especificaciones técnicas de los suministradores de equipos y la elaboración de planos definitivos de proyecto.

Esta simultaneidad implica la entrega de planos de detalle de obra civil, relacionada directamente con la implantación de los equipos, durante todo el plazo de ejecución de la obra.

La empresa tomará las medidas necesarias para que estas modificaciones no alteren los planos de trabajo del contratista entregando los planos con la suficiente antelación para que la preparación y ejecución de estos trabajos se realice de acuerdo con el programa previsto.

El contratista por su parte no podrá alegar desconocimiento de estas definiciones de detalle, no incluidas en el proyecto base, y que quedará obligado a su ejecución dentro de las prescripciones generales del contrato.

35.3.- El contratante deberá confrontar, inmediatamente después de recibidos, todos los planos que le hayan sido facilitados, debe informar por escrito a la empresa en el plazo máximo de 15 días y antes de proceder a su ejecución, de cualquier contradicción, error u omisión que lo exigiera técnicamente incorrectos.

Artículo 36.- Replanteo de las Obras

36.1.- La Empresa entregará al Contratista los hitos de triangulación y referencias de nivel establecidos por ella en la zona de obras a realizar. La posición de estos hitos y sus coordenadas figurarán en un plano general de situación de las obras.

36.2.- Dentro de los 15 días siguientes a la fecha de adjudicación el contratista verificará en presencia de los representantes de la empresa el plano general de replanteo y las coordenadas de los hitos, levantándose el acta correspondiente.

36.3.- La empresa precisará sobre el plano de replanteo las referencias a estos hitos de los ejes principales de cada una de las obras.

36.4.- El contratista será responsable de la conservación de todos los hitos y referencias que se le entreguen. Si durante la ejecución de los trabajos se destruyese alguno, deberá reponerlos por su cuenta y bajo su responsabilidad.

El contratista establecerá en caso necesario, hitos secundarios y efectuará todos los replanteos precisos para la perfecta definición de las obras a ejecutar, siendo de su responsabilidad los perjuicios que puedan ocasionarse por errores cometidos en dichos replanteos.

Artículo 37.- Acceso a las obras

37.1.- Los caminos y accesos provisionales a los diferentes tajos de obra, serán construidos por el contratista por su cuenta y cargo.

37.2.- Para que la empresa apruebe su construcción en el caso de que afecten a terceros interesados, el contratista habrá debido llegar a un previo acuerdo con estos.

37.3.- Los caminos y accesos estarán situados en la medida de lo posible fuera del lugar de emplazamiento de las obras definitivas. En el caso de que necesariamente hayan de transcurrir por el emplazamiento de obras definitivas, las modificaciones posteriores, necesarias para la ejecución de los trabajos, serán a cargo del contratista.

37.4.- Si los mismos caminos han de ser utilizados por varios contratistas, estos deberán ponerse de acuerdo entre sí sobre el reparto de sus gastos de construcción y conservación.

37.5.- La Empresa se reserva el derecho de transitar libremente por todos los caminos y accesos provisionales de la obra, sin que puedan hacerse repercutir sobre ella gasto alguno en concepto de conservación.

Artículo 38.- Organización de las obras

38.1.- El contratista tendrá, un conocimiento completo de la disposición de conjunto de los terrenos, de la importancia y situación de las obras objeto de contrato, de las zonas reservadas para la obra, de los medios de acceso, así como de las condiciones cismáticas de la región, especialmente del régimen de las aguas y de la frecuencia e importancia de las crecidas de los ríos, que puedan afectar a los trabajos.

38.2.- La empresa pondrá gratuitamente a disposición del contratista, mientras duren los trabajos, todos los terrenos cuya ocupación definitiva sea necesaria para la implantación de las obras objeto del contrato.

38.3.- También pondrá la empresa gratuitamente a disposición del contratista, los terrenos de su propiedad y que puedan ser adecuados para las obras auxiliares e instalaciones.

38.4.- En el plazo de un mes a partir de la fecha del contrato, se determinarán contradictoriamente los terrenos afectados por los párrafos 2 y 3 que se representarán en el plano de la zona.

38.5.- La obligación de la empresa en cuanto entrega de los terrenos necesarios queda limitada a los que figuran y se reseñan en el plano de referencia que, al mismo tiempo, definir lo que se entiende por zona de obras.

38.6.- Si por conveniencia del contratista, este deseara disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados en el plan antes citado, será de su cargo su adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el contratista someter previamente a la conformidad de la empresa las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización respectiva.

Artículo 39.- Vigilancia y policía de las obras

39.1.- El contratista es responsable del orden, limpieza y condiciones sanitarias de las obras objeto de contrato. Deber adoptar a este respecto, a su cargo y bajo su responsabilidad, las medidas que le sean señaladas por las autoridades competentes y con la representación de la empresa.

39.2.- En caso de conflicto de cualquier clase, que pudiera implicar alteraciones del orden público, corresponde al contratista la obligación de ponerse en contacto con las autoridades competentes y convenir con ellos y disponer las medidas adecuadas para evitar incidentes.

Artículo 40.- Utilización de las instalaciones auxiliares y equipos del contratista

El contratista deberá poder facilitar a la empresa, todos los medios auxiliares que figuran en el programa o tengan servicio en la obra. Para ello la empresa comunicará por escrito al contratista las instalaciones o equipos o maquinas que desea utilizar y fecha y duración de la prestación.

Cuando razonablemente no haya inconveniente para ello, no se perturbe la organización y desarrollo de los trabajos, o exista una causa grave de fuerza mayor, el contratista deber atender la solicitud de la empresa, abonándose las horas de utilización conforme a los baremos de administración aprobados.

En todo caso, el manejo y entretenimiento de las máquinas e instalaciones ser realizado por personal del contratista.

Artículo 41.- Uso anticipado de las instalaciones definitivas

41.1.- La empresa se reserva el derecho de hacer uso de las partes terminadas de la obra contratada, antes de que los trabajos prescritos en el contrato se hayan terminado en su totalidad, bien por necesidades de servicio, bien para permitir la realización de otros trabajos que no forman parte del contrato.

41.2.- Si la empresa deseara hacer uso del citado derecho, se lo comunicará al contratista con una semana de antelación a la fecha de utilización. El uso de este derecho por parte de la empresa no implica recepción provisional de la zona afectada.

Artículo 42.- Plano de obra y montaje

42.1.- Independientemente del plan de trabajos que los contratistas ofertantes deben presentar en sus ofertas, de acuerdo a lo establecido en el artículo 8, el contratista presentará con posterioridad a la firma del contrato, un plan más detallado que el anterior.

La empresa indicará el plazo máximo a partir de la normalización del contrato, en el que debe presentarlo y tipo de programa exigido. De no indicarse el plazo, se entenderá establecido este en un mes.

42.2.- Este plan, que deberá ser lo más completo, detallado y razonado posible, respetar obligatoriamente los plazos parciales y finales fijados en el concurso, y deberá venir acompañado del programa de certificaciones mensuales.

Tanto el plan de obra como el programa de certificaciones mensuales, deberán destacar individualmente cada una de las unidades correspondientes a la obra característica.

Las unidades de obra complementaria podrán agruparse tanto en uno como en otro documento, dentro de bloques homogéneos cuya determinación quedar a juicio del contratista. En el caso de que este decidiera proponer un adelanto en alguno de los plazos fijados, deberá hacerlo como una variante suplementaria, justificando expresamente en este caso todas las repercusiones económicas a que diese lugar.

42.3.- El plan de obra deberá ser aprobado oficialmente por la empresa adquiriendo desde este momento el carácter de documento contractual. No podrá ser modificado sin autorización expresa de la empresa y el contratista vendrá obligado a respetarlo en el desarrollo de los trabajos.

En caso de desacuerdo sobre el plan de obra, una vez rechazado por la empresa el tercero consecutivo se someterá la controversia a arbitraje, siendo desempeñado por un solo árbitro, que habrá de ser el profesional competente y habilitado, según la índole del tema considerado, designado por el colegio profesional correspondiente.

42.4.- En este plan, el contratista indicará los medios auxiliares y mano de obra que ofrece emplear en la ejecución de cada una de las unidades de obra característica, con indicación expresa de los rendimientos a obtener. Las unidades de obra complementada podrán agruparse a estos efectos, en bloques homogéneos, iguales a los indicados en el Artículo 42.2.

Los medios ofrecidos, que han de ser como mínimo los de la propuesta inicial, salvo que la empresa, a la vista del plan de obra, autorice otra cosa, quedarán afectos a la obra y no podrán ser retirados o sustituidos salvo aprobación expresa de la dirección de la misma.

La aceptación del plan y relación de medios auxiliares propuestos por el contratista no implica exención alguna de responsabilidad para el mismo en el caso de incumplimiento de los plazos parciales, o final convenido.

42.5.- Si el desarrollo de los trabajos no se efectuase de acuerdo al plan aprobado y ello pudiera dar lugar al incumplimiento de plazos parciales o final, la empresa podrá exigir del contratista la actualización del plan vigente, reforzando las plantillas de personal, medios auxiliares e instalaciones necesarias a efectos de mantener los plazos convenidos y sin que el contratista pueda hacer recaer sobre la empresa las repercusiones económicas que este aumento de medios puede traer consigo.

El plan de obra actualizado sustituirá a todos los efectos contractuales al anteriormente vigente, con la salvedad que se indica en el apartado siguiente.

42.6.- En cualquier caso, la aceptación por parte de la empresa de los planos de obra actualizados que se vayan confeccionando para adecuar el desarrollo real de los trabajos al mantenimiento de los plazos iniciales, no liberará al contratista de las posibles responsabilidades económicas en que incurra por el posible incumplimiento de los plazos convenidos.

42.7.- El desarrollo de todas las obras habrá de subordinarse al montaje de las instalaciones para cuyo servicio se construyen.

Artículo 43.- Plazos de ejecución

43.1.- La empresa establecerá los plazos parciales y plazo final de terminación, a los que el contratista deberá ajustarse obligatoriamente.

43.2.- Los plazos parciales corresponderán a la terminación y puesta a disposición de determinados elementos, obras o conjuntos de obras, que se considere necesario para la prosecución de otras fases de la construcción o del montaje.

Estas obras o conjunto de obras que condicionan un plazo parcial, se definirán bien por un estado de dimensiones, bien por la posibilidad de prestar en ese momento y sin restricciones, el uso, servicio o utilización que de ellas se requiere.

43.3.- En consecuencia, y a efectos del cumplimiento de plazo, la terminación de la obra y su puesta a disposición, será independiente del importe de los trabajos realizados a precio de contrato, salvo que el importe de la obra característica realizada supere como mínimo en un 10% el presupuesto asignado para esa parte de la obra.

Para valorar estos efectos la obra realizada, no se tendrá en cuenta los aumentos del coste producidos por revisiones de precios y únicamente los aumentos reales del volumen de obra.

43.4.- En el caso de que el importe de la obra característica realizada supere en un 10% al presupuesto para esa parte de obra, los plazos parciales y finales se prorrogarán en un plazo igual al incremento porcentual que exceda de dicho 10%.

Artículo 44.- Retenciones por retrasos durante la ejecución de la obra

44.1.- Los retrasos sobre el plan de obra y programa de certificaciones imputables al contratista, tendrán como sanción económica para cada mes la retención por la empresa, con abono a una cuenta especial denominada retenciones, del 50% de la diferencia entre el 90% de la obra característica que hasta ese mes deberán haberse justificado y la que realmente se haya realizado. Para este cómputo de obra realizada no se tendrá en cuenta la correspondiente a obras complementarias.

44.2.- El contratista que en meses sucesivos realizase obra característica por un valor superior a lo establecido en el plan de trabajos para esos meses, tendrá derecho a recuperar de la cuenta de "retenciones" la parte proporcional que le corresponda.

44.3.- Cuando se alcance el plazo total previsto para la ejecución de la obra con un saldo acreedor en la cuenta de "retenciones" quedará este bloqueado a disposición de la empresa para responder de las posibles multas y sanciones correspondientes a una posible rescisión. En el momento de la total terminación y liquidación de la obra contratada, se procederá a saldar esta cuenta abonando al contratista el saldo acreedor si lo hubiere o exigiéndole el deudor si así resultase.

Artículo 45.- Incumplimiento de los plazos y multas

45.1.- En el caso de incumplimiento de los plazos fijados por causas directamente imputables al contratista, satisfará éste las multas que se indiquen en el pliego particular de la obra, con cargo a las certificaciones, fondo de retenciones o fianza definitiva, sucesivamente, sin perjuicio de la responsabilidad por daños.

45.2.- Si el retraso producido en el cumplimiento de los plazos ocasionara a su vez retrasos en otros contratistas, lesionando los intereses de estos, la empresa podrá hacer repercutir sobre el contratista las indemnizaciones a que hubiera lugar por tales perjuicios.

45.3.- En el caso de que los retrasos se produzcan por causas imputables a la empresa en los suministros a que venga obligada la empresa, por órdenes expresas de la dirección de obra o por demoras en los montajes de maquinaria o equipos, se prorrogarán los plazos en un tiempo igual al estimado por la empresa como retraso producido, de acuerdo con lo establecido en el artículo 49.

Artículo 46.- Supresión de las multas

Cuando la empresa advierta la posibilidad de que un retraso en la ejecución de las obras o en el montaje no va a repercutir en la puesta en marcha de la instalación ni causar perjuicios a terceros, podrá acordar libremente la supresión de multas, o la ampliación de los plazos de ejecución.

En este último caso, la empresa podrá diferir a la nueva fecha de terminación, y en el supuesto de que tampoco se cumpla, la aplicación de las multas establecidas.

Artículo 47.- Premios y primas

47.1.- La empresa podrá establecer premios en el caso de cumplimiento de los plazos parciales y totales contratados y/o un sistema de primas para premiar los posibles adelantos sobre dichos plazos de terminación de obras.

La empresa especificará las condiciones que deberán concurrir para que el contratista pueda obtener dichos premios y/o primas.

47.2.- La empresa podrá supeditar el pago de los premios, siempre que así lo indique expresamente, al cumplimiento estricto de los plazos, incluso en el caso de retrasos producidos por causas no imputables al contratista o de fuerza mayor.

Artículo 48.- Retrasos ocasionados por parte de la empresa

Los retrasos que pudieran ocasionar la falta de planos, demoras en el suministro de materiales que deba ser realizado por la empresa, o interferencias ocasionadas por otros contratistas, serán valorados en tiempo por la dirección de la obra, después de oír al contratista, prorrogándose los plazos conforme a dicha estimación.

Para efectuar esta, la dirección tendrá en cuenta la influencia sobre la parte de obra realmente afectada, y la posibilidad de adelantar la ejecución de obras y unidades de obras, cuya realización estuviese prevista para fecha posterior.

Artículo 49.- Daños y ampliación de plazo en caso de fuerza mayor

49.1.- Cuando se produjeran daños en las obras por causa de fuerza mayor, si su prevención o minoración hubiera correspondido a las partes, la que hubiese sido negligente soportar sus consecuencias.

Si fuese por completo ajena a la actuación del contratista el riesgo sobre la obra ejecutada será soportado por la empresa en cuanto a las unidades de que se hubiese hecho previa medición, según se determina en el artículo 51.

49.2.- Si por causa de fuerza mayor no imputable al contratista hubiese de sufrir demora el curso de la obra, lo pondrá en conocimiento de la empresa con la prontitud posible, concretando el tiempo en que estima necesario prorrogar los plazos establecidos, la empresa deberá manifestar su conformidad o reparos a la procedencia y alcance de la prórroga propuesta en un plazo igual al que hubiese mediado entre el hecho originario y la comunicación del contratista.

Artículo 50.- Mediciones de las unidades de obra

50.1.- Servirán de base para la medición y posterior abono de las obras los datos de replanteo general y los replanteos parciales que haya exigido el curso de la obra, los vencimientos y demás partes ocultas de las obras, tomados durante la ejecución de los trabajos y autorizados con las firmas del contratista y del director de obra; la medición que se lleve a efecto de las partes descubiertas de las obras de fábrica y accesorias y, en general, los que convengan al procedimiento consignado en el pliego oficial.

50.2.- En ningún caso podrá alegar el contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas cuando se hallen en contradicción con las normas establecidas a estos efectos en el pliego particular de la obra, o en su defecto, con las establecidas en el presente pliego de condiciones generales.

50.3.- Las mediciones con los datos recogidos de los elementos cualitativos que caracterizan las obras ejecutadas, los acopios realizados, o los suministros efectuados, construyen comprobación de un cierto estado de hecho y se recogerán por la empresa en presencia del contratista. La ausencia del contratista, aun habiendo sido avisado previamente, supone su conformidad a los datos recogidos por la empresa.

En caso de presencia del contratista las mediciones serán avaladas con la firma de ambas partes.

50.4.- El contratista no podrá dejar de firmar las mediciones. En caso de negarse a hacerlo, podrá levantarse acta notarial a su cargo. Si las firmara con reservas, dispondrá de un plazo de 10 días a partir de la fecha de redacción de las mismas para formular por escrito sus observaciones pasado ese plazo, las mediciones se suponen aceptadas sin reserva alguna.

En el caso de la firma con reserva, se redactará un acta en la que se hará constar los motivos de disconformidad, acta que se unirá a la correspondiente medición.

50.5.- En el caso de reclamación del contratista las mediciones se tomarán a petición propia o por iniciativa de la empresa, sin que estas comprobaciones prejuzguen, en ningún caso, el reconocimiento de que las reclamaciones están bien fundamentadas.

50.6.- El contratista estará obligado a exigir a su debido tiempo la toma contradictoria de mediciones para los trabajos, prestaciones y suministros que no fueran susceptibles de comprobación o de verificaciones ulteriores, a falta de lo cual, salvo pruebas contrarias que deben proporcionar a su costa, prevalecerán las decisiones de la empresa con todas sus consecuencias.

Artículo 51.- Certificación y abono de las obras

51.1.- Las unidades de obra se medirán mensualmente sobre las partes realmente ejecutadas con arreglo al proyecto, modificaciones posteriores y órdenes de la dirección de obra, y de acuerdo con los artículos del pliego de condiciones.

La medición de la obra realizada en un mes se llevará a cabo en los ocho primeros días siguientes a la fecha de cierre de certificaciones. Dicha fecha se determinará al comienzo de las obras.

Las valoraciones efectuadas servirán para la redacción de certificaciones mensuales al origen, de las cuales se tendrá el líquido de abono. Corresponderá a la empresa en todo caso, la redacción de las certificaciones mensuales.

51.2.- Las certificaciones y abonos de las obras no suponen aprobación ni recepción de las mismas.

51.3.- Las certificaciones mensuales se deben entender siempre como abonos a buena cuenta, y en consecuencia, las mediciones de unidades de obra y los precios aplicados no tienen el carácter de definitivos, pudiendo surgir modificaciones en certificaciones posteriores y definitivamente en la liquidación final.

51.4.- Si el contratista rehusase firmar una certificación mensual o lo hiciese con reservas por no estar conforme con ella, deberá exponer por escrito y en el plazo máximo de diez días, a partir de la fecha de que se le requiera para la firma, los motivos que fundamenten su reclamación e importe de la misma. La empresa considerará esta reclamación y decidirá si procede atenderla.

Los retrasos en el cobro, que pudieran producirse como consecuencia de esta dilación en los trámites de certificación, no se computarán a efectos de plazo de cobro ni de abono de intereses de demora.

51.5.- Terminado el plazo de diez días señalado en el párrafo anterior, o si hubiese variado la obra en forma tal que les fuera imposible recomprobar la medición objeto de discusión, se considerará que la certificación es correcta, no admitiéndose posteriormente reclamación alguna en tal sentido.

51.6.- Tanto en las certificaciones, como en la liquidación final, las obras serán en todo caso abonadas a los precios que para cada unidad de obra figuren en la oferta aceptada, o a los precios contradictorios fijados en el transcurso de la obra, de acuerdo con lo provisto en el epígrafe siguiente.

51.7.- Los precios de unidades de obra, así como los de los materiales, maquinaria y mano de obra que no figuren entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre el director de obra y el contratista, o su representante expresamente autorizado a estos efectos.

Estos precios deberán ser presentados por el contratista debidamente descompuestos, conforme a lo establecido en el artículo 6 del presente pliego.

La dirección de obra podrá exigir para su comprobación la presentación de los documentos necesarios que justifique la descomposición del precio presentado por el contratista.

La negociación del precio contradictorio será independiente de la ejecución de la unidad de obra de que se trate, viniendo obligado el contratista a realizarla, una vez recibida la orden correspondiente. A falta de acuerdo se certificará provisionalmente a base de los precios establecidos por la empresa.

51.8.- Cuando circunstancias especiales hagan imposible el establecer nuevos precios, o así le convenga a la Empresa, corresponder exclusivamente a esta Sociedad la decisión de abonar estos trabajos en régimen de Administración, aplicando los baremos de mano de obra, materiales y maquinaria, aprobados en el Contrato.

51.9.- Cuando así lo admita expresamente el pliego de condiciones particulares, o la empresa acceda a la petición en este sentido formulada por el contratista, podrá certificarse a cuenta de acopios de materiales en la cuantía que determine dicho pliego, o en su defecto la que estime oportuno la dirección de obra.

Las cantidades abonadas a cuenta por este concepto se deducirán de la certificación de la unidad de obra correspondiente, cuando dichos materiales pasen a formar parte de la obra ejecutada.

En la liquidación final no podrán existir abonos por acopios, ya que los excesos de materiales serán siempre por cuenta del contratista.

El abono de cantidades a cuenta en concepto de acopio de materiales no presupondrá, en ningún caso, la aceptación en cuanto a la cantidad y demás especificaciones técnicas de dicho material, cuya comprobación se realizará en el momento de su puesta en obra.

51.10.- Del importe de la certificación se retraerá el porcentaje fijado en el artículo 18.3., para la constitución del fondo de garantía.

51.11- Las certificaciones por revisión de precios se redactarán independientemente de las certificaciones mensuales de obra ejecutada, ajustándose a las normas establecidas en el Artículo 29.

52.13.- El abono de cada certificación tendrá lugar dentro de los 130 días siguientes de la fecha en que quede firmada por ambas partes la certificación y que obligatoriamente deberá figurar en la antefirma de la misma. El pago se efectuará mediante transferencia bancaria, no admitiéndose en ningún caso el giro de efectos bancarios por parte del Contratista.

Si el pago de una certificación no se efectúa dentro de plazo indicado, se devengarán al contratista, a petición escrita de mismo, intereses y demora.

Estos intereses se devengarán por el periodo transcurrido de último día de plazo tope marcado (130 días) y la fecha real del pago, siendo el tipo de interés el fijado por el Banco de España, como tipo de descuento comercial para ese periodo.

Artículo 52.- Abono de unidades incompletas o defectuosas

52.1.- La dirección de obra determinará si las unidades que han sido realizadas en forma incompleta o defectuosa, deben rehacerse o no. Caso de rehacerse el contratista vendrá obligado a ejecutarlas, siendo de su cuenta y cargo dicha reparación, en el caso de que ya le hubiesen sido abonadas. De no haberlo sido, se certificará la obra como realizada una sola vez.

52.2.- Cuando existan obras defectuosas o incompletas que la empresa considere, que a pesar de ello puedan ser aceptables para el fin previsto, se abonarán teniendo en cuenta la depreciación correspondiente a las deficiencias observadas. En el pliego general de condiciones particulares se fijan resistencias, densidades, grados de acabado, tolerancias en dimensiones, etc. Se podrá hacer una proporcionalidad con las obtenidas, siempre que sean admisibles, o bien fijar de entrada una depreciación en los precios de un 10% para obras defectuosas pero aceptables.

Artículo 53.- Recepción provisional de las obras

53.1.- A partir del momento en que todas las obras que le han sido encomendadas hayan sido terminadas, el contratista lo pondrá en conocimiento de la empresa, mediante carta certificada con acuso de recibo.

La empresa procederá entonces a la recepción provisional de esas obras, habiendo convocado previamente al contratista por escrito, al menos con 15 días de anticipación.

Si el contratista no acude a la convocatoria, se hará mención de su ausencia en el acta de recepción.

53.2.- Del resultado del reconocimiento de las obras, se levantará un acta de recepción en la que se hará constar el estado final de las obras y las deficiencias que pudieran observarse. El acta será firmada conjuntamente por el contratista y la dirección de la obra.

53.3.- Si el reconocimiento de las obras fuera satisfactorio se recibirán provisionalmente las obras, empezando a contar desde esta fecha el plazo de garantía.

Si por el contrario se observara deficiencias y no procediese efectuar la recepción provisional, se concederá al contratista un plazo breve para que corrija los defectos observados, transcurrido el cual deberá procederse a un nuevo reconocimiento.

Si transcurrido el plazo concedido al contratista, no se hubieran subsanado dichos defectos, la empresa podrá proceder a su realización, bien directamente, bien por medio de otros contratistas, con cargo al fondo de garantía, y si este no bastase, con cargo a la fianza definitiva.

Una vez terminados los trabajos de reparación, se procederá a recibir provisionalmente las obras.

Artículo 54.- Plazo de garantía

Una vez terminadas las obras, se efectuará la recepción provisional de las mismas, tal como se indica en el Artículo 53, a partir de cuyo momento comenzará a contar el plazo de garantía, al final del cual se llevará a cabo la recepción definitiva.

Durante este plazo, será de cuenta del contratista la conservación y reparación de las obras, así como todos los desperfectos que pudiesen ocurrir en las mismas, desde la terminación de estas, hasta que se efectúe la recepción definitiva, excepción hecha de los daños que se deriven del mal trato o uso inadecuado de las obras por parte de la empresa.

Si el contratista incumpliere lo estipulado en el párrafo anterior, la empresa podrá encargar a terceros la realización de dichos trabajos o ejecutarlos directamente por administración, deduciendo su importe del fondo de garantía, y si no bastase, de la fianza definitiva, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho la empresa en el caso de que el fondo de garantía y de la fianza no bastasen para cubrir el importe de los gastos realizados en dichos trabajos de reparación.

Artículo 55.- Recepción definitiva de las obras

55.1.- Una vez transcurrido el plazo de garantía se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras de un modo análogo al indicado en el artículo 53 para la recepción provisional.

55.2.- En el caso de que hubiese sido necesario conceder un plazo para subsanar los defectos hallados, el contratista no tendrá derecho a cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía, debiendo continuar encargado de la conservación de las obras durante esa ampliación.

55.3.- Si la obra se arruinase con posterioridad a la recepción definitiva por vicios ocultos de la construcción debidos a incumplimiento doloroso del contrato por parte del contratista, responderá de los daños y perjuicios en el término de 15 años. Transcurrido este plazo, quedará totalmente extinguida la responsabilidad del contratista.

Artículo 56.- Liquidación de las obras

Una vez efectuada la recepción provisional se procederá a la medición general de las obras que han de servir de base para la valoración de las mismas.

La liquidación de las obras se llevará a cabo después de la recepción definitiva, saldando las diferencias existentes por los abonos a cuenta y descontando el importe de las reparaciones u obras de conservación que hayan habido necesidad de efectuar durante el plazo de garantía, en el caso de que el contratista no las haya realizado por su cuenta.

Después de realizada la liquidación, se saldarán el fondo de garantía y la fianza definitiva, tanto si esta última se ha constituido aval bancario. También se liquidará, si existe, la cuenta especial de retenciones por retrasos durante la ejecución de las obras.

5. PRESUPUESTO Y MEDICIONES

• Coste de inmovilizado.....	356
• Montaje e instalación	360
• Presupuesto total.....	361
• Coste de operación anual.....	362

COSTE DE INMOVILIZADO

Realizamos el estudio económico que supone la implantación de la instalación proyectada de la planta de intercambio iónico para la producción de agua desmineralizada de proceso.

El presente presupuesto estará formado por la adquisición de los equipos necesarios en nuestro sistema y sus accesorios correspondientes.

Una vez obtenido el presupuesto básico, se le deber añadir una serie de términos destinados a completar el estudio económico de la instalación:

- Imprevistos, destinados a solventar los gastos originados por causas independientes del diseño de la instalación.
- I.V.A., impuesto obligatorio que ha de ser tenido en cuenta
- Gastos generales, incluidos con el fin de cubrir gastos de carácter no específicos, pero que influyen considerablemente en la inversión necesaria, tales como el transporte, gestión documental, verificación de elementales, etc.

DEPOSITOS Y ARQUETAS			
Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Coste (€)
Deposito de acero 316, con capacidad de 25,13m ³ para almacenamiento de agua desmineralizada	1	13500	13500
Deposito de PRFV, con capacidad de 0,39m ³ para almacenamiento de H ₂ SO ₄	1	280	280
Deposito de PRFV, con capacidad de 1,56m ³ para almacenamiento de NaOH	1	1120	1120
Deposito de acero 316, con capacidad de 0,62m ³ para dilución de H ₂ SO ₄	1	380	380
Deposito de acero 316, con capacidad de 0,34m ³ para dilución de NaOH	1	208	208
Arqueta de PRFV, con capacidad de 10m ³ para acumulación de agua a tratar	1	1600	1600
Arqueta de PRFV, con capacidad de 22m ³ para acumulación de agua de red	1	3520	3520
COSTE TOTAL DE DEPOSITOS Y ARQUETAS			20608

COLUMNAS			
Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Coste (€)
Columna de acero 316, con capacidad de 8,18m ³ para intercambio catiónico	2	4540	9080
Columna de acero 316, con capacidad de 11,50m ³ para intercambio aniónico	2	6380	12760
Columna de PRFV, con capacidad de 0,205m ³ para filtro de carbón activo	2	150	300
Columna de PRFV, con capacidad de 0,205m ³ para filtro de arena	2	150	300
COSTE TOTAL DE LAS COLUMNAS			22440

RELLENOS			
Descripción	Unidades (m³)	Precio unitario (€/m³)	Coste (€)
Resina de intercambio catiónica	2,575	1535	3952,625
Resina de intercambio aniónica	4,075	2890	11776,75
Rellenos de carbón activo	0,205	476,5	97,6825
Relleno de arena	0,205	288	59,04
COSTE TOTAL DE LOS RELLENOS			15886,098

EQUIPOS DEL PROCESO			
Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Coste (€)
Bomba centrífuga de 0,65KW	2	1429	2858
Bomba centrífuga de 0,55KW	2	1378	2756
Bomba centrífuga de 0,45KW	2	1378	2756
Agitador de turbina 0,108 KW	1	1150	1150
Agitador de turbina 0,081 KW	1	1150	1150
COSTE TOTAL DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO			10670

INSTRUMENTAL			
Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Coste (€)
Sensor de nivel	7	271	1897
Sensor de presión	4	248	992
Medidor de caudal	2	1610	3220
Sensor de conductividad	1	450	450
Controlador lógico programable	1	830	830
COSTE TOTAL DEL INSTRUMENTAL			7389

COSTE TOTAL DE DEPOSITOS Y ARQUETAS (€)	20608
COSTE TOTAL DE LAS COLUMNAS (€)	22440
COSTE TOTAL DE LOS RELLENOS (€)	15886,098
COSTE TOTAL DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO (€)	10670
COSTE TOTAL DEL INSTRUMENTAL (€)	7389
COSTE TOTAL DE ADQUISICIONES (€)	76993,098

MONTAJE E INSTALACIÓN

En este apartado se incluyen los costes de tuberías con sus respectivos accesorios y soportes necesarios para su instalación, así como de los costes de la instalación eléctrica.

También se incluyen los gastos de transporte y mano de obra del personal de montaje.

Estos costes se calcularán mediante un método estimativo de factores múltiples, cada actividad contribuirá con una fracción del coste total de los equipos obteniendo un coste global.

- Coste de tuberías y accesorios (33% del coste de los equipos)
- Coste de la instalación eléctrica (9% del costes de los equipos)
- Coste mano obra del montaje (8% del costes de los equipos)

MONTAJE E INSTALACION	
Descripción	Coste (€)
Tuberías y accesorios	25407,722
Instalación Eléctrica	6929,3788
Mano de obra del montaje	6159,4478
COSTE TOTAL DEL MONTAJE E INSTALACION	38496,549

PRESUPUESTO TOTAL

PRESUPUESTO TOTAL	
Descripción	Coste (€)
ADQUISICIONES	76993,10
MONTAJE E INSTALACION	38496,55
7,5% DE IMPREVISTOS	8661,72
18% DE IVA	22347,25
9% DE BENEFICIO INDUSTRIAL	13184,88
COSTE DEL PRESUPUESTO TOTAL	159683,49

El presente proyecto presentara un presupuesto de ejecución material que asciende a 159683.49, CIENTO CINCUENTA Y NUEVE MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y TRES CON CUARENTA Y NUEVE CENTIMOS.

COSTES DE OPERACIÓN ANUAL

Los costes de operación de la planta podremos dividirlos en:

- Consumo eléctrico: La planta trabaja durante 250 días al año. El valor del kW/h es de 0.080401 €/ kW/h para una tarifa general. Por lo tanto el gasto energético de la planta será:

CONSUMO ELECTRICO		
Equipos	Potencia (kW)	Coste anual (€)
Bomba de alimentación	0,65	209,043
Bomba de regenerante	0,45	144,722
Bomba de agua desmineralizada	0,55	176,882
Agitador del DDA	0,108	34,733
Agitador del DDS	0,081	26,050
Aparatos diversos e instrumental (10% del total)	0,1839	59,143
COSTE ANUAL DE COSUMO ELECTRICO		650,573

- Salarios de los operarios: la planta debido a su simplicidad puede trabajar con un operario, ya que su funcionamiento es automático. Suponiendo un sueldo aproximado de 950 € y teniendo en cuenta los gastos de seguridad social (33%), el salario anual del operario será de **15162 €**.
- Consumo de productos químicos: la planta consume los siguientes reactivos a lo largo del año:

CONSUMO DE PRODUCTOS QUIMICOS			
Producto	Precio unitario	Cantidad anual	Coste anual (€)
Agua de red	1,39 (€/m ³)	1762m ³	2449,18
Sosa al 50% en peso	1,2 (€/Kg)	1245 Kg	1494
Acido sulfúrico al 98% en peso	1,74(€/Kg)	4678 Kg	8139,72
COSTE TOTAL DE PRODUCTOS QUIMICOS			12082,9

El coste anual de operación de la planta de desmineralización de agua para el lavado de piezas de acero para automoción es de **27894,773 €**

