

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una planta de intercambio de iones para producir agua desionizada de proceso

Autor: Alberto CARRILLO ARAGÓN

Fecha: Julio 2007





RESUMEN

El objeto de este proyecto es el diseño de una Planta de Intercambio Iónico para producir agua desionizada de proceso que satisfaga las necesidades de las instalaciones industriales que precisen de este elemento.

La planta se alimenta de agua de la red y tras el tratamiento se obtiene agua desionizada con las características necesarias para poder ser usada en los procesos industriales. El caudal a tratar por la instalación es de 23 m³/h y el proceso es continuo, ya que la planta consta de dos cadenas de intercambio iónico.

Cada una de las cadenas dispondrá de una unidad de filtración de carbón activo, una unidad de intercambio catiónico y otra de intercambio aniónico. Ambas cadenas tendrán en común un desgasificador. El ciclo de funcionamiento de cada cadena está previsto que sea de 24 horas.

El agua de alimentación pasa primeramente por el filtro de carbón activo, donde se eliminan los posibles sólidos en suspensión que contengan ésta por medio de la adsorción.

Seguidamente, el agua filtrada llega a la columna de intercambio catiónico. En esta columna los cationes del agua (Ca²⁺, Mg²⁺, etc.) son remplazados por cationes H⁺. El agua a la salida del cambiador catiónico presentará un pH bajo correspondiente a los ácidos que lleva disueltos y saturada de CO₂ por la descomposición del ácido carbónico, que provienen de la alcalinidad presente en el agua de alimentación.

Con motivo de elevar el pH del agua y de eliminar gran parte del CO₂ disuelto en ella, se hace pasar esta agua por una columna de desgasificación rellena de anillos Raschig, en contracorriente con una corriente de 875 m³/h de aire en sentido ascendente. Con estas dos corrientes en contacto se produce la desorción del CO₂ del agua, disminuyendo de esta forma los compuestos aniónicos en forma carbónica que se encontraban en el agua, favoreciendo de esta forma el intercambio aniónico posterior.

El agua resultante tras atravesar la columna de desgasificación, es agua desgasificada, que se almacena antes de continuar hasta el siguiente paso de la instalación. Esta agua también es utilizada en el proceso de regeneración de la resina catiónica.

El agua desgasificada llega a la otra columna de intercambio. En este caso, los aniones del agua (Cl⁻, SO₄²⁻, etc.) son remplazados por aniones OH⁻, con lo que el pH del agua de salida de la columna presenta un valor inferior al agua de entrada a la planta, es decir ligeramente ácida. La conductividad de esta agua de salida, agua desionizada, debe ser inferior a 20 μS/cm, el cual es el límite de conductividad para que la calidad del agua desionizada sea aceptable para los procesos industriales.

La conductividad del agua desionizada al comienzo de funcionamiento de las cadenas es inferior de 1 μS/cm, pero a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento de las columnas de intercambio, las resinas se van saturando, por lo que la conductividad sube hasta el valor máximo antes comentado. En este momento la cadena de intercambio en funcionamiento se para y entra en la fase de regeneración, mientras que la cadena que se encontraba parada, pasa a estar en funcionamiento.

El agua ya desionizada se almacena en un depósito independiente, y desde él se alimentará a los procesos industriales que precisen de agua desionizada. Esta agua desionizada también será utilizada para la regeneración de la columna aniónica.

Para la regeneración de las resinas de intercambio iónico se utilizan como regenerantes el ácido sulfúrico, para la resina catiónica e hipoclorito sódico, para la resina aniónica. Estos regenerantes se encuentran a distintas concentraciones de las que se precisan, por lo cual son diluidas hasta la concentración adecuada, con agua desgasificada el ácido sulfúrico, y con agua desionizada el hipoclorito sódico.

La regeneración de las resinas se realiza en el sentido contrario al sentido de funcionamiento, es decir, en sentido ascendente. La corriente de salida resultante de las regeneraciones de las columnas, deben ser tratadas posteriormente en una depuradora o tratada por un gestor autorizado.

En el proyecto se encuentran todos los procesos muy detallados, con todos los caudales, maquinaria necesaria, materiales utilizados, lazos de control y sus características.



ÍNDICE

1.- MEMORIA DESCRIPTIVA.....	2
2.- ANEXOS A LA MEMORIA.....	161
3.- PLANOS.....	321
4.- PLIEGO DE CONDICIONES.....	335
5.- ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO.....	397

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

1.- INTRODUCCIÓN.....	10
1.1- ANTECEDENTES.....	12
1.2.- OBJETO.....	14
2.- PROCESOS DE DESMINERALIZACIÓN INDUSTRIAL.....	15
2.1.- ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES.....	15
2.2.- COMPARACIÓN ENTRE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO Y LA OSMOSIS INVERSA.....	17
3.- FUNDAMENTOS DEL INTERCAMBIO IÓNICO.....	19
3.1- BREVE HISTORIA DEL INTERCAMBIO IÓNICO.....	19
3.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES IÓNICOS.....	22
3.3.- FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCAMBIADORES IÓNICOS.....	32
3.4.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	39
3.4.1.- Intercambiadores Catiónicos.....	39
3.4.2.- Intercambiadores Aniónicos.....	40
3.5.- APLICACIONES DE LOS INTERCAMBIADORES IÓNICOS EN LA INDUSTRIA.....	40

4.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	48
4.1.- INTRODUCCIÓN.....	78
4.2.- SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	49
4.3.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	53
4.4.- SISTEMA DE REGENERACIÓN.....	55
4.5.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN	58
5.- PROCESO DE DESIONIZACIÓN.....	60
5.1.- VARIABLES DEL PROCESO.....	62
5.2.- SELECCIÓN DEL TIPO DE RESINAS.....	64
5.2.1.- Resina de Intercambio Catiónico.....	64
5.2.2.- Resina de Intercambio Aniónico.....	65
6.- DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS DE INTERCAMBIO.....	67
7.- REGENERACIÓN DE LAS RESINAS.....	69
7.1.- ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DEL PROCESO DE REGENERACIÓN.....	70
7.1.1.- Sistemas de Regeneración en Paralelo.....	70

7.1.2.- Sistemas de Regeneración en Contracorriente..	70
7.2.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN.....	72
7.3.- DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA UPCORE.....	73
7.4.-ETAPAS DEL PROCESO DE REGENERACIÓN.....	74
7.4.1.- Compactación del Lecho de Resina Catiónica..	75
7.4.2.- Introducción del Regenerante en la Columna Catiónica.....	77
7.4.3.- Lavado de la Columna Catiónica.....	79
7.4.4.- Compactación del Lecho de Resina Aniónica...	79
7.4.5.- Introducción del Regenerante en la Columna Aniónica.....	80
7.4.6.- Lavado de la Columna Aniónica.....	81
7.4.7.- Reposo de las resinas.....	82
8.- SISTEMA DESGASIFICADOR.....	82
8.1.- OPTIMIZACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE DESGASIFICACIÓN.....	84
8.1.1.- Estudio de la Pérdida de Carga en la Columna.	85
8.1.2.- Estudio de la Altura de Relleno de la Columna.	87
8.1.3.- Estudio del Coste del Relleno.....	88
8.1.4.- Estudio del Coste de Compresión Anual del Ventilador.....	89
8.2.- DEPÓSITO DE AGUA DESGASIFICADA.....	91

8.3.- RESUMEN DEL DESGASIFICADOR.....	92
9.- FILTROS DE CARBÓN ACTIVO.....	92
9.1.- CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVO.....	94
10.- NORMATIVA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN.....	97
10.1.- REGLAMENTOS DE APOYO.....	97
10.1.1.- Reglamento Sobre Almacenamiento de Productos Químicos.....	98
10.1.2.- Tanques.....	98
10.1.3.- Redes de Tuberías.....	98
10.1.4.- Electricidad.....	99
10.1.5.- Protección contra incendios.....	99
10.1.6.- Protección Medioambiente.....	99
10.1.7.- Calidad y Seguridad.....	99
10.2.- TRAMITACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.....	100
11.- DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	101
11.1.- COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	101
11.1.1.- Características.....	101
11.1.2.- Equipamiento.....	103
11.2.- COLUMNAS DE FILTRACIÓN.....	106

11.2.1.- Características.....	106
11.2.2.- Equipamiento.....	107
11.3.- SISTEMA DE DESGASIFICACIÓN.....	108
11.3.1.- Características.....	108
11.3.2.- Equipamiento.....	109
11.4.- DEPÓSITO DE AGUA DESIONIZADA.....	110
11.4.1.- Características.....	110
11.4.2.- Equipamiento.....	111
11.5.- DEPÓSITOS DE REGENERANTES.....	112
11.5.1.- Características.....	112
11.5.2.- Equipamiento.....	113
11.6.- CUBETO DE RETENCIÓN.....	113
11.7.- DEPÓSITOS DE DILUCIÓN DE REGENERANTES.....	114
11.7.1.- Características.....	115
11.7.2.- Equipamiento.....	115
11.8.- TUBERÍAS.....	116
11.8.1.- Material de las Tuberías.....	116
11.8.2.- Selección de las Tuberías.....	118
11.8.3.- Dimensiones de las Tuberías.....	119
11.9.- BOMBAS.....	120
11.9.1.- Dimensiones de las Bombas.....	121
11.9.2.- Tipo de Bombas.....	121

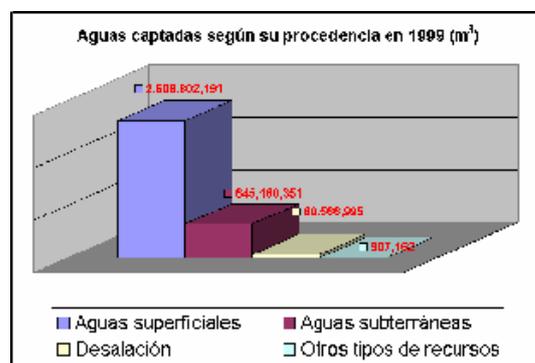
11.10.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	122
12.- ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS CORROSIVOS: ÁCIDO SULFURICO Y SOSA CÁUSTICA. ADECUACIÓN A LA ITC-MIE- APQ 6.....	124
12.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS LÍQUIDOS CORROSIVOS.....	124
12.1.1.- Características del Ácido Sulfúrico.....	124
12.1.2.- Características de la Sosa Cáustica.....	126
12.2.- ALMACENAMIENTO Y RECIPIENTES.....	129
12.2.1.- Descripción General de Almacenamiento.....	129
12.2.2.- Cubetos de Contención de Derrames.....	131
12.2.3.- Estación de Descarga y de Bombeo.....	132
12.2.4.- Tratamiento de Efluentes.....	134
12.2.5.- Recipientes.....	134
12.3.- JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA ITC- MIE-APQ-6.....	135
12.4.- REQUISITOS TÉCNICOS.....	135
12.4.1.- Materiales.....	135
12.4.2.- Construcción.....	135
12.4.3.- Pruebas.....	136
12.5.- INSTRUCCIONES DE USO Y CONSERVACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	136
12.5.1.- Normativa para Uso.....	136

12.5.2.- Normas para su Conservación y Mantenimiento.....	137
12.5.3.- Seguridad.....	139
12.5.3.1.- Riesgos.....	140
12.6.- PLAN DE INSPECCIONES.....	144
12.7.- PLAN DE EMERGENCIA.....	148
12.7.1.- Acciones de Emergencia.....	149
13.- CONTROL DEL PROCESO.....	150
13.1.- CONTROL MANUAL.....	151
13.2.- CONTROL AUTOMÁTICO.....	151
13.3.- VÁLVULAS.....	152
13.4.- CONTROL DE NIVEL.....	155
13.5.- CONTROL DE PRESIÓN.....	156
13.6.- CONTROL DE CONDUCTIVIDAD.....	157
13.7.- CAUDILÍMETROS.....	158
14.- BIBLIOGRAFÍA.....	158
14.1.- LIBROS DE TEXTO.....	158
14.2.- PÁGINAS DE INTERNET.....	159

MEMORIA DESCRIPTIVA

1.- INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso fundamental para el sector industrial, así como para el desarrollo de las actividades agropecuarias, domésticas y municipales. En principio las existencias de agua en el Planeta parecen ilimitadas. Sin embargo, de los cerca de $1,4 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ de agua existente en la Tierra, más de un 97% corresponde a agua salada en océanos y mares y más del 70% de los recursos potenciales de agua dulce se encuentran en forma de hielo. Aun así, las existencias en lagos, ríos y aguas subterráneas técnicamente accesibles arrojan cifras importantes, si se consideran de manera global e independiente de su calidad. No obstante, tanto la localización de los recursos hídricos, como las exigencias de calidad que acompañan a la mayor parte de sus aplicaciones, constituyen factores esenciales que limitan la disponibilidad real de los mismos. En este sentido, el espectacular incremento de las cifras de consumo y la alteración negativa de las características del agua (contaminación) que se produce en la mayor parte de las operaciones de uso de la misma configuran un panorama en el que el agua ha ido adquiriendo progresivamente el carácter de un bien cuya utilización queda sujeta a principios de economía de consumo.



En cuanto a las aplicaciones del agua en la industria, son numerosas, dadas su economía y disponibilidad relativas. Se utiliza como fluido refrigerante y para la producción de vapor, como disolvente y vehículo de arrastre y como materia prima sujeta a transformación química.



(Usos del agua en España en el año 2005)

El consumo de agua por parte de la industria es de 1.99 Hm³/año, es decir, el 6%. La distribución por sectores es la siguiente:



En la industria química se requieren diferentes calidades de agua según su campo de aplicación. El espectro alcanza desde el agua de

refrigeración pasando por el agua desmineralizada de proceso y el agua de alimentación de la caldera hasta el agua pura para la producción farmacéutica. Es evidente: cada calidad de agua debe estar disponible en cualquier momento en la cantidad necesaria.

El agua es un elemento de gran importancia para la Industria. Tanto si la necesidad es de agua potable, agua de proceso industrial, agua de servicios o aguas residuales, el agua es un valioso componente que está, directa o indirectamente, relacionado con la optimización de los resultados técnicos y económicos de cualquier industria.

El agua es, en muchos casos, una materia prima más del proceso productivo de multitud de industrias. La calidad de los productos finales está directamente relacionada con este bien que, además, es escaso y lo será más en un futuro próximo.

Por otro lado, el agua de servicio es parte fundamental para el correcto funcionamiento de cualquier industria. Su óptima utilización y/o reutilización está directamente relacionada con el ahorro en inversiones y mantenimiento.

1.1.- ANTECEDENTES

La creciente modernización y sofisticación en la maquinaria industrial, hace que desde este sector se demande cada vez más, agua de alta calidad que no interfiera en los procesos industriales. La desmineralización es un proceso de intercambio iónico que satisface esta demanda.

La desmineralización supone la eliminación de sustancias disueltas cargadas eléctricamente (ionizadas) sujetándolas a lugares cargados positiva

o negativamente en una resina al pasar el agua a través de una columna rellena con esta resina. Este proceso se llama intercambio iónico y se puede usar de diferentes maneras para producir agua desionizada de diferentes calidades.

Por lo tanto, el agua desmineralizada o agua desionizada, es el agua a la cual se le quitan los minerales y las sales. Se utiliza cuando se requiere agua con bajo contenido en sal o baja conductividad. Algunos ejemplos de su uso son:

- Agua de alimentación de las calderas
- Usos farmacéuticos
- Industria de la electrónica
- Usos alimenticios
- Usos industriales

Para cada uso se utiliza una conductividad específica. Sin embargo siempre seguirá habiendo una cierta conductividad, debido al equilibrio ácido/básico del agua. El agua desmineralizada de mejor calidad tiene una resistencia de aproximadamente 18,2 Megaohmios por centímetro o una conductividad de 0,055 microSiemens por centímetro.

El intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. Este proceso tiene lugar constantemente en la naturaleza, tanto en la materia inorgánica como en las células vivas.

Por sus propiedades como disolvente y su utilización en diversos procesos industriales, el agua acostumbra a tener muchas impurezas y

contaminantes. Las sales metálicas se disuelven en el agua separándose en iones, cuya presencia puede ser indeseable para los usos habituales del agua. Además, el creciente interés por el medio ambiente, impone establecer tratamientos eficaces que eviten el deterioro de la calidad de las aguas, especialmente por el vertido de efluentes industriales altamente contaminados. Entre todos los tratamientos posibles, el intercambio iónico es una opción a considerar.

1.2.- OBJETO

El presente proyecto tiene por finalidad la realización del diseño de una planta de intercambio de iones para producir agua desmineralizada con unas características determinadas, para que pueda ser usado en los procesos industriales que la requieran; así como la descripción de los tratamientos y procesos realizados en ella. El alcance de este proyecto será el diseño a nivel de ingeniería básica, sin entrar en la ingeniería de detalle.

Específicamente, este proyecto se centrará en una planta capaz de tratar un caudal de 23 m³/h de agua potable con unas características mínimas para satisfacer las necesidades de los procesos industriales. El agua potable de entrada tendrá una conductividad de entre 350-650 μ S/cm y un pH próximo a 8, mientras que a la salida, el agua deberá tener una conductividad inferior a 20 μ S/cm, con un pH ligeramente ácido (6,1-6,2).

La planta constará de 2 cadenas, en la que cada una de ellas dispondrá de una unidad de filtro, una unidad de intercambio catiónico y otra de intercambio aniónico. Ambas cadenas tendrán en común un desgasificador.

En este proyecto se describirán cada una de las etapas de las que consta la planta, desde que entra en ella, hasta que termina su proceso y es almacenada.

2.- PROCESOS DE DESMINERALIZACIÓN INDUSTRIAL

2.1.- ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES

Existen varias alternativas para la eliminación de los iones del agua. Entre ellas las más habituales son la destilación, la ósmosis inversa y el intercambio iónico. La elección de un sistema de desmineralización se basa en la composición del agua de entrada, en la calidad requerida del efluente y en consideraciones económicas.

- Destilación: es una operación unitaria bien estudiada y conocida, presenta no obstante un elevado consumo de energía necesario para producir la separación por lo que industrialmente no se usa para este fin.

Es el método más antiguo para obtener agua pura, el agua se calienta hasta llegar al punto de ebullición, después se enfría y por condensación se obtiene un agua sin sales disueltas. En la industria, actualmente no se usa por el excesivo coste energético que supone.

La destilación no elimina totalmente los elementos que contiene el agua. Durante la destilación algunos compuestos volátiles pueden evaporarse con el resto de agua para luego condensarse con ella.

- Electrodeionización: Esta es una tecnología ya conocida pero que se está desarrollando para su aplicación en forma extensiva, con alta eficiencia. Se estima que esto ocurrirá en muy corto tiempo. Se trata de un

proceso de separación de iones, realizado a través de membranas semipermeables, bajo la acción de un campo eléctrico, que seleccionan la migración de cationes y aniones.

Con este sistema se espera llegar a aguas con un rango de conductividad eléctrica específica por debajo de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Osmosis inversa: Es una tecnología recientemente empleada en la industria y proporciona excelentes resultados. Su desventaja reside en el alto coste de inmovilizado que requiere, ya que es necesario ejercer altas presiones durante el proceso. Además, los costes derivados del consumo de energía también son elevados.

En realidad la ósmosis inversa no es un proceso de desmineralización ya que no elimina todas las sales contenidas en el agua, pero sí es capaz de reducir considerablemente los iones que contiene, las bacterias, los virus y compuestos orgánicos.

La ósmosis inversa es capaz de eliminar aproximadamente:

- Más del 95% de compuestos orgánicos y pesticidas.
- Más de 90% sales disueltas como el sodio, calcio, carbonatos, arsénico, bicarbonatos, magnesio, aluminio, fosfatos, flúor, cianuro, sulfato, cobre, níquel, zinc, plata, bario, radio y cloro.
- Entre el 70% y 80% de los nitratos.
- Entre el 55% y 65% del boro.

(Estos valores son aproximados y pueden variar en función del tipo de membrana, el fabricante y las presiones de trabajo).

- Intercambio iónico: Los procesos de desmineralización industrial en la actualidad se basan en el intercambio iónico. Usando resinas de intercambio iónico se pueden eliminar casi el 100% de las sales que contiene el agua, pero no compuestos orgánicos, bacterias o virus.

2.2.- COMPARACIÓN ENTRE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO Y LA OSMOSIS INVERSA.

Primeramente se va a ver las diferentes ventajas y desventajas que presentan ambos procesos:

- Ventajas de la Ósmosis Inversa:
 - Bajo costo de operación
 - Bajo consumo de productos químicos
 - La descarga de concentrado no necesita tratamiento y el concentrado puede ser usado como fertilizante
- Desventajas de la Ósmosis Inversa:
 - Alto costo de instalación
 - Alto costo de reposición de membranas
 - Necesidad de acondicionamiento del agua de alimentación
- Ventajas del Intercambio Iónico:
 - Alta flexibilidad de operación

- Alta calidad del agua desionizada
- Reducidos costos de operación
- Desventajas del Intercambio Iónico:
 - Alto costo de regeneración
 - La descarga de los químicos de regeneración debe ser tratada previamente a su vertido

A continuación se muestra una tabla comparativa de estos dos sistemas para producir agua desmineralizada. En ella se puede observar como en la ósmosis inversa, además de los iones, ésta puede separa del agua tratada todos sus contaminantes.

	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 la regeneración	SI
Conductividad del agua obtenida	Aprox. 10% de la entrada	Aprox. 10% de la entrada
Costes energéticos	BAJOS	MEDIOS
Costes de mantenimiento	BAJOS	MEDIOS

Como la tecnología a aplicar en este proyecto es la de intercambio iónico, se puede solventar la imposibilidad de la retención de los contaminantes del agua por las resinas de intercambio, haciendo pasar el agua de alimentación a la planta por un filtro de carbón activo, antes de entrar en las columna de intercambio iónico.

3.- FUNDAMENTOS DEL INTERCAMBIO IÓNICO

3.1.- BREVE HISTORIA DEL INTERCAMBIO IÓNICO

La ciencia de intercambiar un ion 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 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. Esta afinidad de algunos suelos por el ion amonio frente otros cationes, en este caso el calcio, los hacía más adecuados para su uso agrícola. 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. De hecho, las zeolitas son un ejemplo clásico de minerales con capacidad intercambiadora, y ya en 1927 se empleó la primera columna de zeolita mineral para eliminar iones calcio y magnesio que interferían en la determinación del contenido en sulfato del agua.

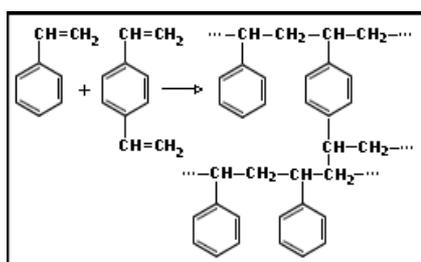
En 1905, Gans modificó minerales naturales denominándolos permutitas, silicatos de sodio y aluminio sintéticos, que fueron las primeras sustancias empleadas en la eliminación de la dureza del agua. No obstante estos compuestos tenían en su contra que mostraban capacidades de intercambio bajas (aunque su velocidad de regeneración era rápida) y que por debajo de pH 7 se disolvían en agua. Fueron utilizados durante cerca de catorce años y luego se abandonaron debido a sus limitaciones hasta 1950 que volvieron a utilizarse.

Una etapa intermedia en la evolución del intercambio iónico fue el reconocimiento de las propiedades intercambiadores de varios materiales orgánicos, como el carbón sulfonado. 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 de aluminio.

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 Holmes del Departamento de Investigación Científica e Industrial (Reino Unido). Desarrollaron polímeros orgánicos que imitaban a las zeolitas mediante la reacción de condensación entre el fenol y

formaldehído. Sustituyendo el fenol por derivados de éste, como fenoles polihídricos o por diaminas aromáticas, se dio paso a las resinas de intercambio catiónicas o aniónicas. 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 química.

A finales de la II Guerra Mundial, se desarrollaron polímeros intercambiadores de iones sintetizados mediante reacciones de adición, cuya estabilidad química y térmica era mayor que las resinas de condensación. El pionero de este trabajo fue Gaetano D'Alelio, que 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, McBurney 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 intercambiadora, 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.



Síntesis del copolímero estireno-divinilbenceno

Un paso más en el desarrollo de los intercambiadores iónicos fue la búsqueda de especificidad. 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 quelatantes.

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 aplicaciones industriales ha sido enorme.

3.2.- 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.

- Intercambiadores iónicos inorgánicos

- Ø Naturales: Son aluminosilicatos como zeolitas, arcillas minerales y feldespatos.

- Ø Sintéticos: Generalmente se pueden subdividir en las siguientes categorías:

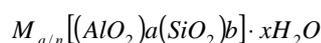
- Óxidos metálicos hidratados, Ej. óxido de titanio hidratado, ácido poliantimónico
- Sales insolubles de metales polivalentes, Ej. fosfato de titanio

- o Sales insolubles de heteropoliácidos, Ej. molibdofosfato amónico
- o Sales complejas basadas en hexacianoferratos insolubles
- o Zeolitas sintéticas.

Las zeolitas y las arcillas son minerales de aluminosilicatos ampliamente distribuidos en 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:



La capacidad de intercambio de cationes de las zeolitas proviene de la carga negativa que lleva asociada la unidad AlO_4 . Cuando un Al^{3+} sustituye a Si^{4+} , es necesario un contracatión M^{n+} para neutralizar la carga negativa resultante. El contracatión M suele ser el ion Na^+ o H^+ (en cuyo caso la zeolita constituye un ácido sólido) y tienen la particularidad de ser fácilmente reemplazables por otros cationes que puedan difundir a través de los canales de la zeolita.

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 que 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.

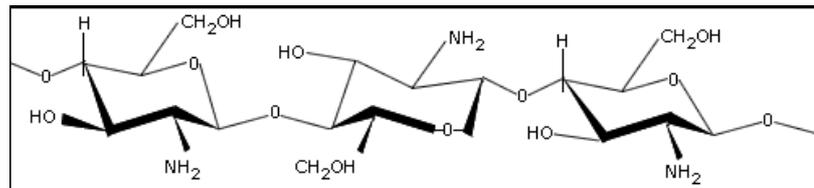
- Intercambiadores iónicos orgánicos

- Ø Resinas orgánicas naturales

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

Chitina y chitosan son dos polisacáridos naturales que han mostrado excelentes propiedades en la fijación de metales. La chitina es un polímero lineal de alto peso molecular de la N-acetil-D-glucosamina, que abunda en las paredes celulares de algunos hongos y en el caparazón de crustáceos como cangrejos, langostas y langostinos. El chitosan es un derivado de la chitina que se obtiene por hidrólisis de esta última, y consiste en uniones de

D-glucosamina. La presencia de nitrógeno en su estructura hace que sean susceptibles de emplearse como polímeros quelatantes de metales.



Estructura del quitosán

El ácido alginico es un polisacárido lineal formado por dos monómeros, el ácido D-manurónico y el ácido L-gulurónico. Es un componente del esqueleto de las algas pardas, de donde se aísla. Debido a esta función de soporte, el ácido alginico destaca por ser un polímero fuerte y a la vez flexible, propiedad que ha determinado sus aplicaciones industriales.

El ácido alginico puede ser soluble o insoluble en agua dependiendo del catión al cual se asocia su sal. Las sales sódicas, amónicas o de otros metales alcalinos son solubles, mientras que las sales de metales polivalentes, como calcio, son insolubles, con la excepción del magnesio. Los cationes polivalentes se unen al polímero allí donde encuentran dos residuos de ácido gulurónico cercanos, por lo que se considera que estos cationes son los responsables del entrecruzamiento de la cadena polimérica. Esta afinidad por los cationes polivalentes unida a la insolubilidad del polímero resultante, indican su posible aplicabilidad como extractante de metales.

Los polisacáridos dextrano y celulosa son polímeros de D-glucosa, (1-6)-glucosa y b (1-4)-glucosa respectivamente. La agarosa es un polisacárido preferentemente neutro y es el componente que determina el poder

gelificante del agar. Consiste en cadenas alternadas de D-galactosa-3,6-3,6-anhidro-L-galactosa.

La celulosa natural tiene propiedades intercambiadoras debido al pequeño número de grupos carboxilo que contiene su estructura. Se emplea como estructura base para, mediante derivatización, dar lugar a intercambiadores catiónicos, como la carboximetilcelulosa, o aniónicos, como la dietilaminoetil (DEAE) celulosa.

El dextrano se hace reaccionar con epíclorhidrina que actúa entrecruzando las cadenas para dar polímeros de estructura tridimensional.

Los tres son matrices comunes empleadas en cromatografía de intercambio iónico y en la separación de proteínas ya que al tener poros de gran tamaño permiten la separación de biomoléculas cargadas.

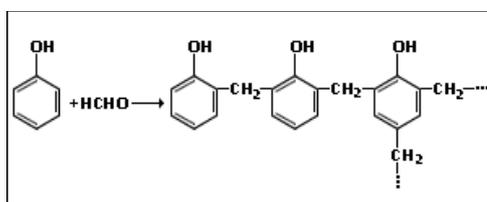
Estos intercambiadores se conocen también por sus nombres comerciales, Sephadex (dextrano), Sepharose (agarosa) y Sephacel (celulosa).

Ø Resinas orgánicas sintéticas

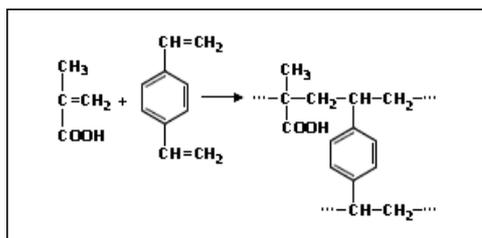
Las resinas sintéticas de intercambio iónico consisten en una matriz polimérica reticulada por la acción de un agente entrecruzante y derivatizada con grupos inorgánicos que actúan como grupos funcionales. Son los materiales más habituales en las aplicaciones de intercambio iónico en la industria.

Como ya se ha mencionado, el desarrollo de las resinas sintéticas comenzó con la síntesis de las mismas mediante polimerización por

condensación (fenol-formaldehído, epíclorhidrina-amina) y, posteriormente, se sintetizaron mediante polimerización por adición. 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. En este punto, el copolímero no está funcionalizado.

El entrecruzamiento confiere a la resina estabilidad y resistencia mecánica, así como insolubilidad. El grado de entrecruzamiento es un factor

importante de controlar ya que no sólo determina las propiedades mecánicas de la resina, sino también su capacidad de hincharse (swelling) y de absorber agua.

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. El proceso de swelling favorece la permeabilidad de iones en la matriz de la resina y mejora la accesibilidad a los grupos funcionales. 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.

A pesar de que con el primer proceso se obtiene resinas más homogéneas, las limitaciones que provoca el entrecruzamiento hacen que el proceso más utilizado sea el segundo.

Sobre los polímeros ya funcionalizados pueden realizarse otras reacciones químicas para llevar a cabo su derivatización y obtener resinas con grupos funcionales más específicos que permitan aplicaciones más concretas.

Las resinas pueden clasificarse en función de: la estructura de la red polimérica y 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. En estas resinas el fenómeno swelling es muy importante, ya que 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. Durante la síntesis de estas resinas a partir de sus monómeros, se utiliza un co-solvente que actúa interponiéndose entre las cadenas poliméricas creando grandes superficies internas. Este disolvente se elimina una vez formada la estructura rígida del polímero. 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.



Resina monoesférica.
Se aprecia como el tamaño
de las esferas es similar.



Resina no monoesférica.
El tamaño de las esferas
es irregular.

Tipos de resinas de intercambio iónico según el grupo funcional:

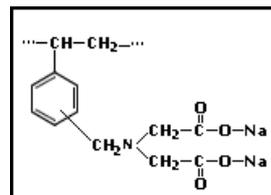
- Resinas catiónicas de ácido fuerte: Se producen por sulfonación del polímero con ácido sulfúrico. El grupo funcional es el ácido sulfónico, $-SO_3H$.

- Resinas catiónicas de ácido débil: El grupo funcional es un ácido carboxílico $-COOH$, presente en uno de los componentes del copolímero, principalmente el ácido acrílico o metacrílico.

- 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^+ .

- 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.

- 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.



Grupo funcional el ácido iminodiacético

Ø Resinas impregnadas

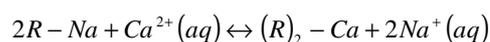
Constan de un soporte polimérico que se impregna con una disolución orgánica que contiene a un extractante selectivo a un metal en concreto. Estas resinas tienen un grave inconveniente que es la pérdida de disolvente durante su uso, lo cual reduce su aplicabilidad.

3.3.- FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCAMBIADORES IÓNICOS

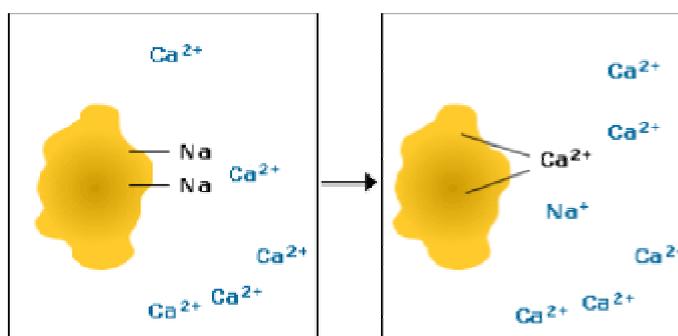
- Reacción de intercambio iónico

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.

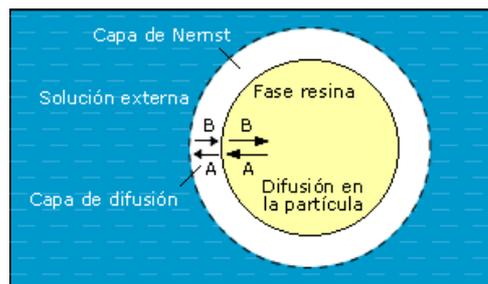


Una representación simplificada de lo que está sucediendo en los sitios activos de la resina se puede ver en esta figura.



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.

Es obvio que para que tenga lugar el intercambio iónico, los iones deben moverse de la disolución a la resina y viceversa. Este movimiento se conoce como proceso de 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:
 - Capacidad de intercambio: Se define como 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. (Un equivalente es el peso molecular en gramos del compuesto dividido por su carga eléctrica)

- Capacidad específica teórica: Se denomina así al 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.

La selectividad depende de las interacciones electrostáticas que se establezcan entre el ion y el intercambiador y de la formación de enlaces con el grupo ionogénico. La regla principal es que un intercambiador preferirá aquellos iones con los que forme los enlaces más fuertes.

La estructura de poro y la elasticidad del intercambiador también influyen en su selectividad, como ocurre con las zeolitas. Su estructura de poro rígida les permite actuar como tamices moleculares, impidiendo la entrada de ciertos iones sencillamente por su tamaño.

- Técnicas generales de los intercambiadores iónicos

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 se describirá 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 y para

provocar el fenómeno de swelling. El swelling puede causar graves problemas si tiene lugar una vez el intercambiador se encuentra confinado en la columna y no se ha dejado espacio suficiente para alojarlo una vez ha incrementado su volumen.

- Acondicionamiento del intercambiador: Muchas resinas comerciales se venden en una forma iónica que puede no ser la adecuada para el tratamiento que se desea realizar. Por ejemplo, una resina básica fuerte que tenga como contraion un grupo OH^- y que, por necesidades del proceso, sea deseable tener un ion Cl^- .

En la etapa de acondicionamiento se procede a cambiar el contraion 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.

- Etapa 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.

Cuando el intercambiador comienza a estar saturado con los iones de la disolución que entra, se observa un aumento de la concentración de dichos iones en la disolución que sale de la columna. Esta descarga de iones se conoce como breakthrough, e indica que el tratamiento de la disolución por el intercambiador ya no está siendo efectivo. Una vez la concentración de estos iones en la disolución de salida iguala a la de la concentración de

entrada, el intercambiador ha agotado toda su capacidad de intercambio en las condiciones de operación.

- **Etapa 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 importante en el proceso de intercambio iónico ya que el buen funcionamiento del intercambiador en sucesivos procesos de carga depende de una regeneración eficiente.

Para obtener el máximo rendimiento de esta etapa es importante optimizar parámetros como la concentración y volumen de disolución regenerante así como la velocidad de flujo.

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.

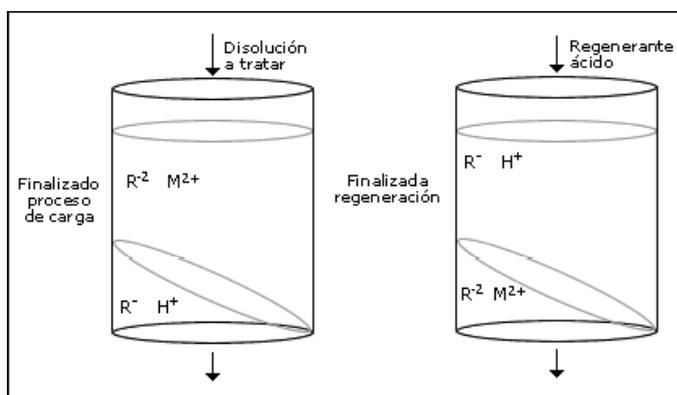
- La generación de residuos, ya que después de regenerar el intercambiador se obtienen disoluciones altamente ácidas o básicas generalmente muy concentradas en metales que deben ser tratadas o eliminadas.

- Modos de operación en el intercambio iónico en columna

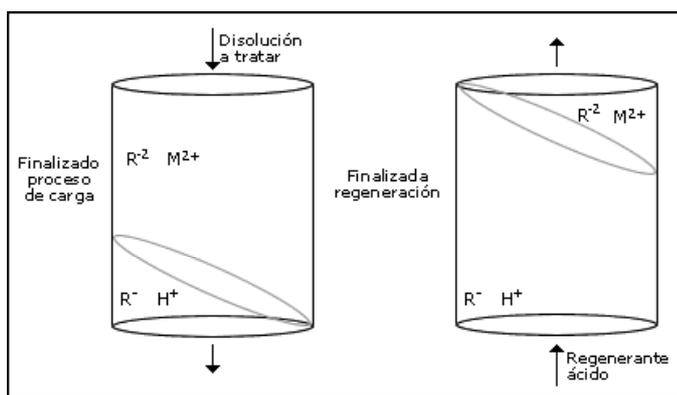
En los procesos de intercambio iónico en columna se puede trabajar

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.

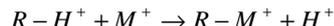


El procedimiento más habitual es el primero, ya que supone un equipamiento más barato que el segundo. No obstante, este modo de operación utiliza el regenerante menos eficientemente que el proceso en contracorriente. En éste, al pasar el regenerante de abajo a arriba, se fluidiza el lecho de intercambiador,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

3.4- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO

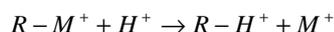
3.4.1.- Intercambiadores Catiónicos

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



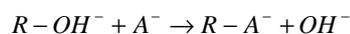
Los iones cargados positivamente van quedando retenidos sobre la resina, produciéndose un efluente que contiene principalmente especies en forma ácida, hasta que la resina se agota.

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

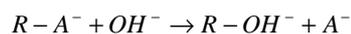


3.4.2.- Intercambiadores Aniónicos

Las resinas intercambiadoras aniónicas ($R-OH^-$) separan aniones (A^-) de una solución intercambiándolos por iones hidroxilo a través de un proceso análogo al de la resina catiónica, con lo que el pH de salida se hace más básico.



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



3.5.- 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

- Tratamiento de aguas
 - 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. Por esta misma razón, estos minerales han reemplazado a los fosfatos en la composición de los detergentes, precisamente para mejorar su efectividad al secuestrar los iones calcio y magnesio del agua. 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. En las aguas naturales también hay una pequeña fracción de iones hierro y manganeso, cuya presencia es indeseable ya que pueden manchar los tejidos, formar depósitos en tuberías, tanques u otros elementos, así como inducir su corrosión. Estos iones pueden eliminarse mediante intercambio iónico, pero este proceso tiene ciertas limitaciones ya que ambos iones pueden precipitar en la superficie de la resina.

- Alcalinidad del agua

En el agua también se encuentran distintos aniones como bicarbonato, carbonato, hidróxidos, cloruro, sulfato, fluoruro, fosfatos etc. Los tres primeros son los responsables de la alcalinidad del agua, que no es más que la capacidad que tiene el agua de neutralizar ácidos. Es decir, un agua altamente alcalina será capaz de aceptar muchos iones hidrógeno antes de que su pH empiece a descender. La alcalinidad se expresa en términos de mg/L de carbonato de calcio.

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 CO₂ 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. Otro proceso posible es emplear una resina débilmente ácida.

- Eliminación de materia orgánica

Es habitual encontrar en aguas superficiales cierta cantidad de 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, pero el interés en eliminar estos compuestos radica en su tendencia a convertirse en trihalometanos cuando se procede a la cloración del agua.

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 presencia de cantidades elevadas de este anión en el agua potable pueden provocar graves problemas en bebés menores de 6 meses (síndrome del niño azul)

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. La presencia de amonio en el agua reduce la concentración de oxígeno disuelto necesario para la vida acuática y acelera la corrosión de metales y materiales de construcción.

Para la eliminación de amonio mediante intercambio iónico, además de las resinas catiónicas convencionales, se emplean también intercambiadores iónicos inorgánicos. Las zeolitas, por su selectividad a este catión, son el material de elección en la fabricación de filtros para eliminar amonio del agua, tanto en piscifactorías como en acuarios.

- 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 una resinas aniónicas para intercambiar los aniones (cloruro, sulfato, bicarbonato etc.).

Como la concentración de iones en el agua determina su capacidad de conducir la electricidad, la efectividad del proceso de ionización se determina midiendo los parámetros resistividad o conductividad.

- Residuos nucleares

Los intercambiadores iónicos encuentran su aplicación 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. En estos procesos los intercambiadores se contaminan con elementos radioactivos y, por tanto, deben considerarse y tratarse como un residuo radioactivo más. De hecho, las resinas de intercambio que se emplean en el tratamiento de agua de refrigeración son la segunda fuente de residuos radioactivos de una central nuclear.

Generalmente se emplean resinas de intercambio orgánicas, pero los intercambiadores inorgánicos están siendo objeto de estudio y aplicación en varios de estos procesos ya que los primeros tienden a degradarse en las condiciones térmicas y químicas de operación así como por la radiación, que afecta a los enlaces carbono-carbono de la matriz polimérica.

- 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. Este proceso sustituye a la tecnología tradicional, que utilizaba la extracción con disolventes.

- 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. Ejemplos de reacciones son hidrólisis, esterificación, formación de amidas, condensaciones, entre otros.

Es importante destacar el papel de las zeolitas como catalizadores. Las zeolitas ácidas, que contienen iones hidrógeno en su estructura, catalizan muchas reacciones químicas, como el craquing del crudo, isomerización y síntesis de combustible. También se utilizan como catalizadores en procesos de oxidación-reducción, una vez se ha introducido en su estructura un metal determinado. La particular estructura de poro de las zeolitas, que varían en forma y tamaño, es determinante en su actuación como catalizador ya que

introduce una limitación estérica al acceso de los reactivos a los sitios activos.

- 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.

El empleo de resinas de intercambio iónico es una posible solución al tratamiento de efluentes procedentes de la industria de refinado de metales. La acumulación de metales pesados en el medio ambiente es un serio problema para la salud debido a su alta toxicidad, su capacidad de acumularse en los tejidos y, además, que no son biodegradables. Esta situación ha generado una serie de regulaciones en cuanto a emisiones de

metales tóxicos al entorno, que han obligado a la industria a conceder una gran importancia al control de sus efluentes.

En esta área de aplicación, 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 quitosano o alginato.

4.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

4.1.- INTRODUCCIÓN

Seguidamente se describe el proceso de producción de agua desionizada. De forma descriptiva, se dividirá el proceso en dos partes, el sistema de producción de agua desionizada en sí y el sistema de regeneración, sin embargo, todo forma parte del sistema de producción de agua desionizada.

El sistema de producción es elástico, está diseñado para un caudal de alimentación de diseño correspondiente a 23 m³/h para cada una de las cadenas que consta la instalación, por lo que el caudal máximo al que puede trabajar la planta es de 46 m³/h, y para una duración mínima del ciclo de operación de 24 horas. Por lo tanto el volumen de agua tratada entre regeneraciones es de 552 m³ por unidad.

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 adecuarán a la variación del caudal de alimentación debido a que el volumen de resina permanece constante.

4.2.- SISTEMA DE PRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de agua objeto del presente proyecto está compuesta por los siguientes equipos:

- § Dos filtros de carbón activo
- § Dos cambiadores de cationes
- § Un desgasificador
- § Dos cambiadores de aniones
- § Un equipo de dosificación de ácido
- § Un equipo de dosificación de sosa
- § Un equipo de dilución de ácido
- § Un equipo de dilución de sosa
- § Un depósito de agua desionizada

Esta planta está diseñada para producir 23 m³/h netos y un volumen entre regeneraciones de 552 m³ por unidad.

Los filtros de carbón activo están previstos para un servicio normal de 23 m³/h y un máximo de 83 m³/h cuando se está lavando el otro filtro.

El desgasificador está diseñado para un caudal de 46 m³/h, es decir, para las dos cadenas en servicio, o una cadena en servicio y la otra en regeneración.

El agua de alimentación de la planta, llega procedente de la red de agua potable, y alimenta a la instalación con un caudal de 23m³/h, con la presión necesaria para vencer las pérdidas de carga a través del sistema provocada por las diversas tuberías, accesorios, columnas, etc., y trasegar el agua hasta el depósito de almacenamiento de agua desgasificada (DAG). Si la esta presión no fuera suficiente, en un proyecto futuro de ampliación se deberá instalar una bomba de alimentación para contrarrestar este déficit.

Primeramente la corriente de agua, tras pasar una válvula de tres vías que dirige al flujo hacia el proceso de producción o hacia el proceso de regeneración, el cual se comentará más adelante; llega a otra válvula de 3 vías en la cual se selecciona una de las dos cadenas de desionización por la que se tratará el agua. El primer dispositivo que de atravesar esta agua a tratar son los filtros de carbón activo (F1, F2). Se empleará un filtro de carbón activo previo a las columnas de intercambio para la eliminación del agua de alimentación los posibles sólidos en suspensión que contengan. Además la filtración del agua a través del carbón activo elimina los olores y sabores desagradables producidos por materias orgánicas, algas, cloro y fenoles.

Una vez que en la columna de filtración, que se encuentre en el procesos de producción, tenga una pérdida de carga superior a Kg/cm² o haya pasado 24 horas en servicio, se para dicha columna y se pone en funcionamiento la otra columna de filtración, mientras que se procede al lavado de la que se ha parado con agua de red.

Seguidamente, tras pasar por el filtro de carbón activo, la corriente entra en el sistema desionizador en sí. Existen en la instalación dos cadenas de desionización compuestas cada una de ellas por una columna de intercambio catiónico y otra de intercambio aniónico; mientras una línea esta en fase de producción, la otra esta bien en fase de regeneración o bien en reposo tras la regeneración a la espera de su puesta en marcha.

De esta forma, el agua filtrada entra en la columna de intercambio catiónico (CC1, CC2) por la parte superior, atraviesa el lecho de resina y la abandona por la parte inferior. En esta columna los cationes del agua (Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.) son remplazados por cationes H^+ , por lo que la corriente de salida de la columna tiene un carácter fuertemente ácido. La velocidad lineal del caudal que pasa por la columna es de 11,44 m/h, cuyo dato se encuentra dentro del rango de velocidades adecuado según el fabricante de resinas, por lo que se asegura un contacto adecuado entre el líquido y la resina.

Después de la columna de intercambio catiónico el agua ya descationizada pasa a través de una válvula de 3 vías, en donde se unen las dos cadenas, y llegan a la columna de desgasificación (CG). El caudal entra por la parte superior de esta columna, la cual está rellena de anillos Raschig, y sale por la inferior. En esta columna se elimina el 90%, por desorción, de los compuestos carbonados que están en forma de CO_2 disuelto, mediante el contacto en contracorriente con un caudal de aire de $875\text{m}^3/\text{h}$, que entra por la parte inferior de la columna. Este proceso es necesario por dos motivos, primero para aumentar el pH, debido a que el pH del agua es fuertemente ácido, y segundo, para eliminar parte de la carga aniónica que pasaría al proceso siguiente.

A continuación, el agua que cae por la columna de desgasificación, pasa directamente a un depósito que se encuentra unido a dicha columna,

en donde se almacena el agua desgasificada (DAG). De este depósito de almacenamiento, dos bombas (PG1, PG2) en paralelo toman el agua para mandarla al resto de procesos que restan.

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

El agua ya desgasificada, pasa por una válvula de 3 vías, al igual que en el caso del agua de alimentación, para que el agua desgasificada siga por el proceso de producción o sea mandada hacia la regeneración, como se verá posteriormente. El agua que sigue hacia el proceso de producción se encuentra nuevamente con otra válvula de 3 vías para mandar el flujo de agua hacia una de las dos cadenas.

Esta agua desgasificada, entra en la columna de intercambio aniónico (CA1, CA2) por la parte superior, a la misma velocidad que en el caso de la columna catiónica y atraviesa el lecho de arriba abajo y sale por la parte inferior. En esta columna, los aniones del agua (Cl^- , SO_4^{2-} , etc.) son remplazados por aniones OH^- , con lo que el pH del agua de salida de la columna presenta un valor inferior al agua de entrada a la planta, es decir ligeramente ácida (6.1 - 6.2).

Finalmente, el agua finalmente desionizada, llega al depósito de almacenamiento de agua desionizada (DAD) a través de otra válvula de 3 vías que une las dos salidas de los cambiadores de aniones. Esta agua desionizada se usa para la regeneración de la resina aniónica, como se verá más adelante. Con esta agua se puede satisfacer las necesidades de las industrias que requieran agua de alta calidad para que no interfiera en sus procesos. Como ejemplo del uso del agua desmineralizada en la industria se

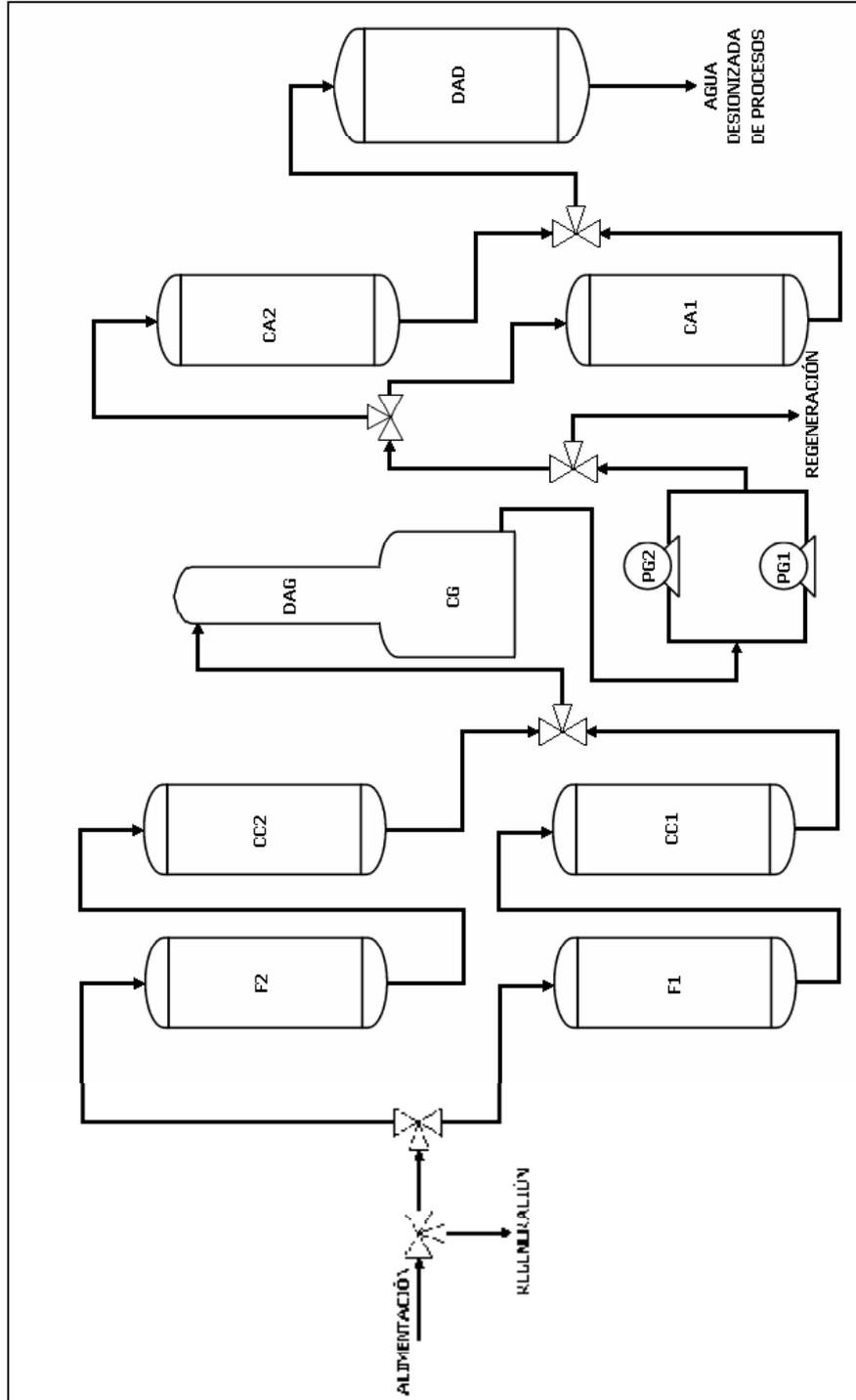
puede resalta el siguiente caso, que además es para la que más se utiliza esta agua desionizada:

§ Agua de alimentación de las calderas: El agua de alimentación de la caldera se utiliza para producir vapor. Algunos problemas causados por las impurezas en el agua de alimentación son:

- Formación de costras
- Corrosión
- Priming (formación de burbujas de aire)
- Adherencia del vapor al cilindro (de minerales volátiles)

4.3.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

El diagrama de flujo del sistema de producción se describe en el siguiente esquema. Se puede observar con mejor detalle el diagrama de flujo completo que se muestra en los planos.



4.4.- SISTEMA DE REGENERACIÓN

Una vez que las resinas de las columnas de intercambio se agotan, se pasa a la fase de regeneración de la cadena. La columna que se encontraba en la fase de producción pasa a ser regenerada, mientras que la que estaba parada, pasa a estar en funcionamiento, en la fase de producción. La regeneración se hace en sentido opuesto al del servicio, es decir, de abajo hacia arriba.

Durante la regeneración, la línea regenerada permanecerá aislada del sistema de producción mediante la modificación de la configuración de las válvulas correspondientes.

En la fase de regeneración hay que distinguir entre dos procesos, la regeneración de la resina catiónica y la de la resina aniónica. En cada caso de ellas el flujo es diferente, ya que cada resina usa un tipo de regenerante y un tipo de agua.

§ Resina catiónica:

Como se comentó anteriormente, la instalación cuenta con un pequeño depósito de ácido sulfúrico (AC), cuyo volumen es de 0.79 m³. Este depósito, al igual que el de hipoclorito sódico, se encuentran elevados sobre la suelo, ya que de esta forma se puede ahorrar la instalación de bombas que impulsen los regenerantes desde sus depósitos de almacenamiento hasta su respectivo depósito de dilución.

Gracias a la fuerza de la gravedad, el ácido cae hasta el depósito de dilución de ácido (DA), en el cual se diluye con agua descationizada. Esta agua descationizada proviene del depósito de agua desgasificada, y es

impulsada por las bombas que ya se comentó con anterioridad. No se utiliza agua de la red ya que puede afectar al proceso de regeneración, ni tampoco se usa para este caso el agua desionizada para no desperdiciarla, ya que es el producto de la instalación.

El ácido que se dispone en el depósito tiene una concentración del 98% y es necesario diluirla al 8%. Para la total regeneración de la columna catiónica se precisan de 345.77 l de H_2SO_4 diluido al 8%, por lo que es necesario diluir 16.19 l de H_2SO_4 al 98% en 329.58 l de agua descationizada (desgasificada).

Una vez que se disponga de este volumen de regenerantes diluidos, se comienza la fase de regeneración, la cual consta de tres etapas, que son:

1. Compactación de la resina catiónica (CC1, CC2). Se hace circular a través de la columna de intercambio un caudal de $96.51 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua de la red durante 10. Con esto se consigue la compactación del lecho y la eliminación de aquellas partículas sólidas que hayan quedado retenidas en el lecho de resina.

2. Regeneración, en sí, de la resina catiónica. Una vez compactada la resina, se impulsa a través de ella un caudal de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ de H_2SO_4 al 8%, durante 1.04 minutos.

Tanto para la impulsión del H_2SO_4 diluido, y del agua de red para la compactación, hacia las columnas de intercambio catiónico se disponen de dos bombas en paralelo (PR1, PR2).

3. Lavado de la resina catiónica. Esta etapa precisa la impulsión de un caudal de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua descationizada procedente también del

depósito de agua desgasificada, a través del lecho catiónico ya regenerado durante 12.48 minutos.

Las aguas producidas en esta fase de regeneración deberá ser tratada en la misma instalación que sea instalada esta planta de intercambio iónico, o bien deberá ser tratada por un gestor externo autorizado para depurar aguas contaminadas.

§ Resina aniónica:

La planta también cuenta con un depósito de sosa (SO), cuyo volumen es de 0.32 m³. Como ya se comentó en el apartado anterior, este depósito se encuentra elevado, fluyendo de esta forma por la gravedad la sosa hacia el depósito de dilución de sosa (DS), en donde se diluye con agua desionizada procedente del depósito de agua desionizada (DAD).

La sosa que se tiene en el depósito posee una concentración del 50% y es necesario diluirla al 2%. Para la total regeneración de la columna aniónica se necesitan de 111.44 l de NaOH diluido al 2%, por lo que es necesario diluir 3.04 l de NaOH al 50% en 108.40 l de agua desionizada.

Una vez que se disponga de este volumen de regenerantes diluidos, se comienza la fase de regeneración, la cual consta de tres etapas, que son:

1. Compactación de la resina aniónica (CA1, CA2). Se hace circular a través de la columna de intercambio un caudal de 37.10 m³/h de agua de red durante 10 minutos. Con esto se consigue la compactación del lecho y la eliminación de aquellas partículas sólidas que hayan quedado retenidas en el lecho de resina. Esta agua de red es impulsada por las

mismas bombas que impulsan el agua de red para la compactación del lecho de resinas catiónicas.

2. Regeneración, en sí, de la resina aniónica. Una vez compactada la resina, se impulsa a través de ella un caudal de 6 m³/h de NaOH al 2%, durante 1.11 minutos.

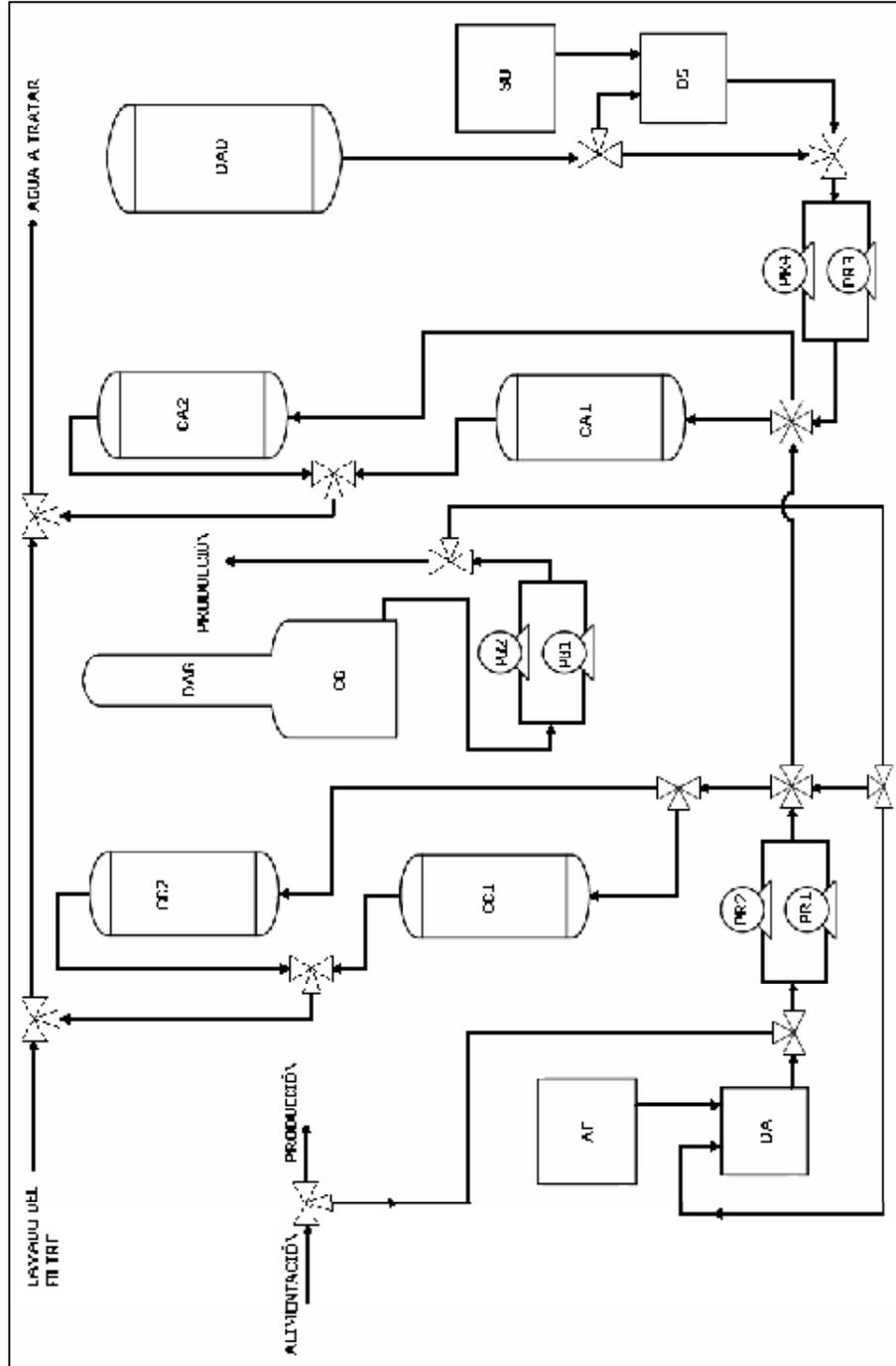
3. Lavado de la resina catiónica. Esta etapa precisa la impulsión de un caudal de 10 m³/h de agua desionizada procedente también del depósito de agua desionizada, a través del lecho aniónico ya regenerado durante 92.24 minutos.

Tanto para la impulsión del NaOH diluido, como para la impulsión de agua desionizada, hacia la columna de intercambio aniónico se disponen de dos bombas (PR3, PR4).

Las aguas producidas en esta fase de regeneración deberá ser tratada en la misma instalación que sea instalada esta planta de intercambio iónico, o bien deberá ser tratada por un gestor externo autorizado para depurar aguas contaminadas.

4.5.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN

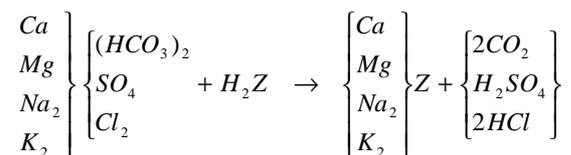
El diagrama de flujo del sistema de regeneración se describe en el siguiente esquema.



5.- PROCESO DE DESIONIZACIÓN

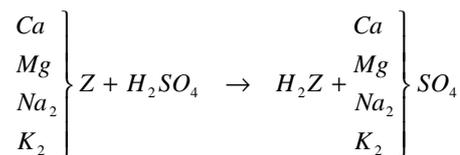
La desionización mediante intercambio iónico es un proceso de tratamiento en dos pasos que emplea resinas catiónicas y aniónicas. En primer lugar se hace pasar el agua de alimentación a través de una columna de resina catiónica de ácido fuerte, en forma H⁺. Los cambiadores catiónicos fuertes son capaces de eliminar todos los cationes que aporta el agua, calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), etc., e intercambiarlos por iones hidrógeno, por lo que de estos intercambiadores saldrá una solución de los ácidos correspondientes a los aniones que se encuentren en el agua de alimentación, más 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, expresadas 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, ácido clorhídrico) eliminan del cambiador los cationes tomados del agua y revierte la unidad a su forma hidrógeno.

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



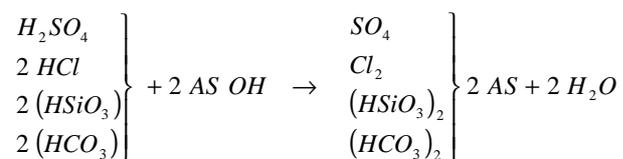
Si bien la regeneración se puede realizar con cualquier ácido fuerte, por consideraciones de tipo económico, generalmente se emplean ácido sulfúrico o clorhídrico, y aún el empleo de uno u otro exige distintas técnicas de regeneración, debido exclusivamente a las posibles precipitaciones de sales que se podrían producir en el lecho de resina, con lo que el peligro de obstruir los lugares activos de la resina, con lo que el funcionamiento del intercambiador no sería el correcto.

El agua a la salida del cambiador catiónico fuerte presentará un pH bajo correspondiente a los ácidos que lleva disueltos y saturada de CO₂ por la descomposición del ácido carbónico, que provienen de la alcalinidad presente en el agua de alimentación.

El efluente de la columna de intercambio catiónico, 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 esta unidad saldrá un agua ligeramente alcalina, correspondiente a los hidróxidos que se pueden formar con los cationes fugados de las unidades catiónicas.

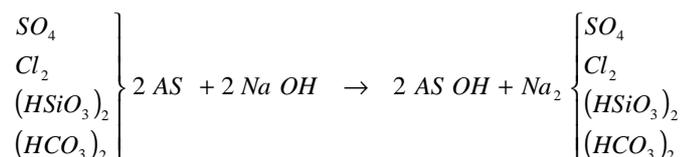
La resina aniónica utilizada intercambia los aniones que lleva el agua de entrada, tales como sulfatos (SO₄⁻²), cloruros (Cl⁻), bicarbonatos (CO₃H⁻), silicatos (SiO₃⁻²), etc., por hidroxilos; con lo cual el agua que sale del cambiador es prácticamente pura salvo la pequeña fuga de sílice e hidróxidos correspondientes a la fuga catiónica.

De una 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 un álcali fuerte (hidróxido sódico) 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.

5.1.- VARIABLES DEL PROCESO

El fabricante recomienda un valor mínimo de la velocidad de flujo a través de las resinas, expresado como caudal por unidad de volumen ($m^3/h \cdot m^3$). 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 ser acorde a ésta. La esbeltez del equipo, es decir, 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 de 1 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 ésta 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.

Con todo esto se determina ya el volumen de resina necesario, el cual determina la capacidad de intercambio del equipo. La duración de cada ciclo de operación depende de esta capacidad y la carga iónica que aporte el agua a desmineralizar. Como se demuestra en el anexo I de la memoria descriptiva. el ciclo de operación óptimo es de veinticuatro horas (24 h). Un ciclo mayor requeriría un mayor volumen de resina, para lo que sería necesario aumentar el diámetro de la columna (desaconsejado, ya que reduciría la velocidad de paso hasta límites no permitidos) o la altura (aumentaría la esbeltez del equipo y las pérdidas de carga).

5.2.- SELECCIÓN DEL TIPO DE RESINAS

Para la selección de las resinas que se instalarán en las columnas de intercambio de esta instalación, se 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 la casi totalidad de los procesos industriales que necesiten de dichas resinas, además de la empresa distribuidora que emplean muchas empresas para este tipo de instalaciones.

5.2.1.- Resina de Intercambio Catiónico

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

Se escoge en este caso la resina AMBERLYST 119WET, 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 fuerte.

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

PROPERTIES

Physical form _____	Light brown spherical beads
Ionic form as shipped _____	Hydrogen
Concentration of acid sites ⁽¹⁾ _____	≥ 1.80 eq/L ⁽¹⁾
	> 4.90 eq/kg
Moisture holding capacity ⁽¹⁾ _____	49 to 55 %
Shipping weight _____	800 g/L (50 lbs/ft ³)
Particle size	
Harmonic mean size _____	0.580 - 0.680 mm
Uniformity coefficient ⁽¹⁾ _____	≤ 1.20
Fines content ⁽¹⁾ _____	< 0.300 mm : 0.1 % max
Coarse beads _____	> 0.850 mm : 10.0 % max
Shrinkage _____	Water to methanol : 13 %
	Water to n-Butanol : 10 %

⁽¹⁾ Contractual value

Suggested Operating Conditions

Minimum bed depth _____	60 cm (24 inches)	
Service flow rate _____	5 to 50 BV*/h	
Regenerant _____	HCl	H ₂ SO ₄
Flow rate (BV/h) _____	2 to 5	2 to 20
Flow rate (gpm/ft ²) _____	0.25 to 0.625	0.25 to 2.5
Level (g/L) _____	40 to 150	40 to 200
Level (lbs/ft ³) _____	2.5 to 9	2.5 to 12
Concentration (%) _____	4 to 10	1 to 8
Minimum contact time _____	30 minutes	
Slow rinse _____	2 BV (15 gal/ft ²) at regeneration flow rate	
Fast rinse _____	1 to 3 BV (7.5 to 22.5 gal/ft ²) at service flow rate	

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

5.2.2.- 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 resina con una matriz de tipo macroporosa basada también en un polímero de estireno entrecruzado con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno). Su grupo funcional en este caso es un amonio 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.

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.

PROPERTIES

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

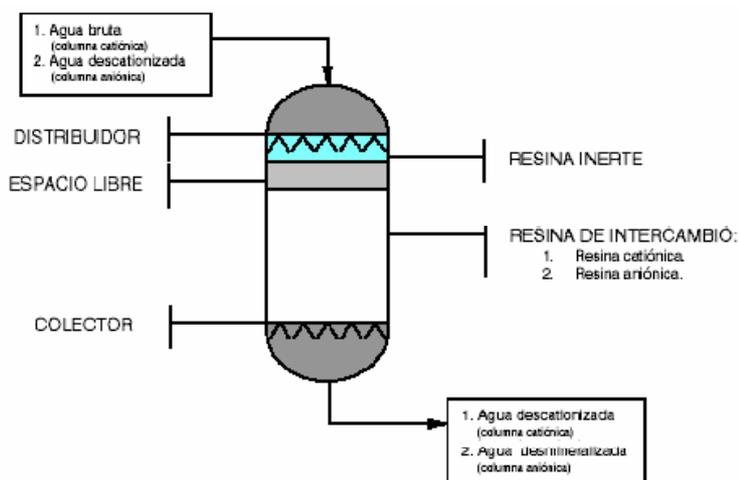
Suggested Operating Conditions

Maximum operating temperature _____	60°C (140°F)
Minimum bed depth _____	600 mm (24 inches)
Service flow rate _____	1 to 4 BV*/hr (0.125 to 0.5 gpm/ft ²)
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 ²)

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m² resin.

6.- DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS DE INTERCAMBIO

Seguidamente se muestra un esquema de una columna de intercambio iónico durante el ciclo de producción:



Se pasa a describir cada elemento constituyente del equipo:

- Distribuidor: permite la entrada del agua a la columna de forma uniforme, evitando la formación de caminos preferenciales a través del lecho.
- Resina inerte: esferas de polietileno de 2,5 - 4 mm de diámetro. Debido a que 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.

- Espacio libre (freeboard): espacio libre necesario en la fase de 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.

- Resina de intercambio iónico: su función ha sido descrita con anterioridad. 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. Las características de las resinas se muestran en el anexo I de la memoria descriptiva.

- Colector: se encarga de canalizar y concentrar la salida del líquido. Su diseño está dirigido a minimizar las pérdidas de carga. 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.

A continuación se exponen las características principales de cada columna de intercambio iónico. Los cálculos de los datos que se muestran se encuentran descritos en el anexo I de la memoria descriptiva (Intercambiador de Iones).

	Columna de Intercambio Catiónico	Columna de Intercambio Aniónico
Resina	AMBERLYST 119WET	AMBERLYST A26OH
D_c (m)	1.6	1.6
v (m/h)	11.44	11.44
Q (m ³ /h)	23	23
t_c (h)	24	24
V_R (m ³)	2.075	2.300
h_{FB} (m)	0.023	0.042
V_i (m ³)	0.550	0.600
h_c (m)	1.432	1.713
H_t (m)	3.122	3.403

- D_c = Diámetro interno de columna
- v = Velocidad lineal del líquido
- Q = Caudal de líquido
- t_c = Tiempo transcurrido entre ciclos
- V_R = Volumen de resina activa
- h_{FB} = Altura del freeboard
- V_i = Volumen de la resina inerte
- h_c = Altura cilíndrica
- H_t = Altura total de la columna

7.- REGENERACIÓN DE LAS RESINAS

Existen diversas alternativas tecnológicas para la regeneración de intercambiadores iónicos.

7.1.- ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DEL PROCESO DE REGENERACIÓN

La regeneración de los intercambiadores iónicos ha avanzado desde la regeneración en paralelo hasta la regeneración a contracorriente en sistemas bloqueados y sistemas de lecho empacado.

7.1.1.- Sistemas de Regeneración en Paralelo

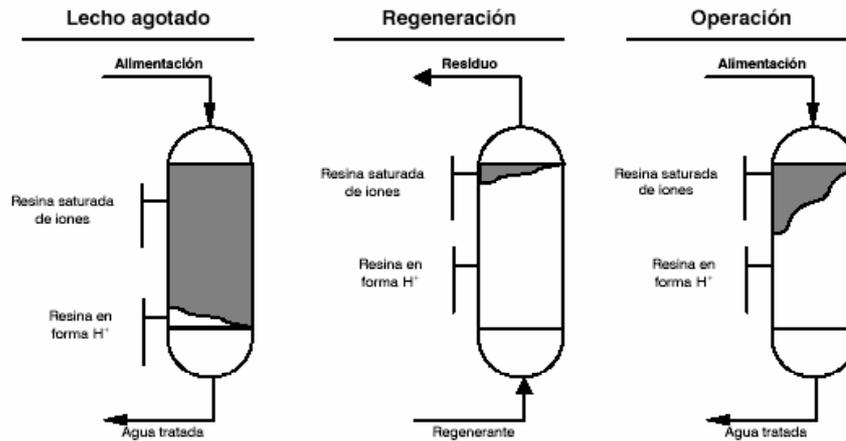
Es el procedimiento más simple. La resina es regenerada en la misma dirección que el flujo de servicio, es decir, en flujo descendente. Para esta tecnología es necesario un recipiente con un gran espacio libre (freeboard) que permite la expansión del lecho de resina durante el retrolavado. El retrolavado es una operación posterior a la regeneración en la que se eliminan los sólidos en suspensión y los finos producidos por la degeneración de la resina. Consiste en introducir un flujo ascendente a través del lecho hasta provocar su expansión.

7.1.2.- Sistemas de Regeneración en Contracorriente

En estos sistemas, la regeneración se hace en contracorriente, es decir, en sentido ascendente, opuesta al flujo de servicio. Como ventaja de ello se obtiene una mejor calidad del agua (baja fuga iónica), eficiencias químicas mayores y reducidos volúmenes de vertidos. La frecuencia con la que debe realizarse el retrolavado también es menor. Además son más productivos y rápidos, requieren recipientes de menor tamaño y provocan menor número de fallos mecánicos.

La fuga iónica en los sistemas de regeneración contracorriente se reduce notablemente debido a que el lecho de resina es profundamente

regenerado en la parte inferior del recipiente, lugar por donde el agua tratada abandona el equipo, como se muestra en la figura siguiente:



Existen dos tipos principales de sistemas de regeneración en contracorriente:

- Sistemas bloqueados

Se incluyen los sistemas bloqueados por una corriente de aire, de agua, o por una masa inerte. El flujo de servicio es descendente y la regeneración 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 o agua, o por una masa 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.

7.2.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN

Se escoge para el presente proyecto la regeneración en contracorriente mediante el sistema de lecho empacado por las siguientes razones:

- Alta eficiencia química
- Requiere un menor consumo de regenerante frente a otros procesos de desmineralización convencionales
- Excelente calidad del agua de salida
- El proceso de intercambio es más eficiente debido a que el agua atraviesa capas de resina cada vez mejor regeneradas, lo que hace disminuir drásticamente la fuga iónica
- Tiempos de regeneración menores
- Se emplean menores volúmenes de agentes químicos
- Instalación y control simples

- Esta tecnología tiene una mayor simplicidad en la instalación frente a otros procesos de intercambio contracorriente. No es necesario bloquear el lecho con corrientes de aire o agua, ya que se emplea una resina inerte para compactar el lecho en la parte superior de la columna
 - Auto - limpieza
 - La resina inerte flotante permite que los sólidos en suspensión y los finos procedentes del desgaste de la resina sean eliminados del intercambiador durante la fase de regeneración, no siendo necesario realizar un retrolavado adicional
 - Flexibilidad de operación
 - La producción no se ve afectada por paradas y variaciones de caudal. En otros sistemas, como en los que el ciclo de servicio es ascendente, es necesario mantener un caudal mínimo para asegurar la compactación de las resinas
 - Flexibilidad en la instalación
 - Esta tecnología está diseñada tanto para plantas de nueva instalación como para modernizar antiguas plantas (revamping) sin modificaciones significativas en los equipos principales (recipientes, tuberías principales, etc.).

7.3.- DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA UPCORE

El agua que atraviesa el lecho durante el ciclo de producción entra progresivamente en contacto con resinas más profundamente regeneradas, lo que asegura una producción continua de agua altamente desmineralizada, previene la fuga iónica y maximiza la capacidad operativa del intercambiador.

La tecnología UPCORE no requiere un retrolavado periódico para eliminar los finos de resinas y otros sólidos retenidos que pueden aumentar la caída de presión en el lecho y causar contaminaciones del efluente. El

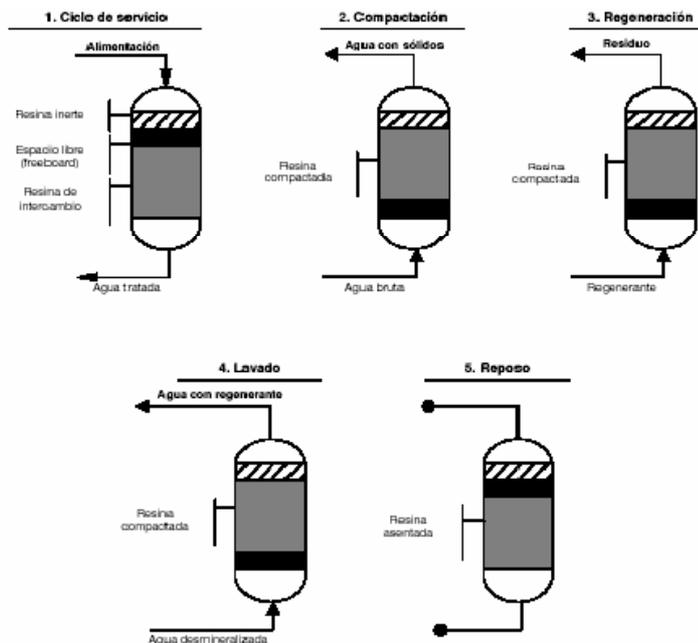
retrolavado no es necesario porque los sólidos retenidos que se acumulan en la parte superior del lecho durante la operación son retirados al comienzo de cada ciclo de regeneración.

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 agua de alimentación entra por el sistema de distribución superior, atraviesa la capa de inerte y el lecho de resina activa, y abandona la columna como agua desmineralizada. Al final del ciclo de servicio, una corriente de agua ascendente 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 detiene cualquier flujo 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 retrolavado. La delgada capa de resina inerte sustituye al freeboard empleado en otros sistemas de regeneración.

7.4.-ETAPAS DEL PROCESO DE REGENERACIÓN

Ya se comentó con anterioridad la descripción del proceso de regeneración, ahora se entrará más en detalle en sus diferentes etapas. En el siguiente esquema se muestra la configuración que adopta el lecho dentro de una columna en cada una de las etapas del proceso de regeneración:



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

7.4.1.- Compactación del Lecho de Resina Catiónica.

Consiste en un flujo ascendente de agua de red (sin tratar) para compactar el lecho de resina contra la capa de resina inerte instalada en la parte superior del recipiente. Se emplea agua sin tratar y no agua desionizada puesto que no existe riesgo de contaminar la resina al ser un proceso solo físico. La compactación tiene 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 y los finos producidos por la rotura de algunas esferas de la resina.

El caudal para provocar la compactación depende de varios factores, como el tamaño de partícula, la densidad, la cantidad de espacio libre, la temperatura del agua, etc. 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. Durante la compactación, el lecho de resina es desplazado hasta la parte superior de la columna y comprimido contra la capa de resina inerte. La eliminación de los sólidos retenidos se optimiza mediante la adecuada elección de la resina flotante inerte, así como del sistema colector de la columna. Las esferas han de ser suficientemente pequeñas para prevenir que las esferas de resina activa las traspasen, pero también suficientemente grandes para permitir que las partículas de suciedad las atraviesen. También la profundidad de la capa de inerte es importante. Una capa demasiado delgada podría permitir la penetración del resto de la resina, causando un atasco e incluso pérdida de resina activa. Una capa inerte demasiado profunda podría reducir la eficiencia de la eliminación de sólidos retenidos.

Industrialmente se ha comprobado que la duración óptima de este proceso es 10 minutos. En los dos primeros minutos se eliminan tanto las partículas adheridas a la superficie de las esferas de resina activa como los trozos de resina que se hayan roto en el interior de la columna. Los ocho

minutos restantes son necesarios para compactar completamente el lecho según recomendaciones del fabricante.

El cálculo de caudales, velocidades y tiempos de compactación se muestra en el anexo I de Intercambio Iónico. En la siguiente tabla se exponen dichos resultados para un ciclo de regeneración.

v_{comp} (m/h)	48
Q_{comp} (m ³ /h)	96.51
V_{comp} (m ³)	16.08
t_{comp} (min)	10

v_{comp} = Velocidad lineal de compactación

Q_{comp} = Caudal de compactación

V_{comp} = Volumen de agua de red empleada

t_{comp} = Tiempo de compactación

7.4.2.- Introducción del Regenerante en la Columna Catiónica.

El regenerante empleado es ácido sulfúrico diluido al 8% en peso. Este porcentaje está dentro de las recomendaciones del fabricante de la resina catiónica.

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

Tras la compactación, el lecho permanece estable incluso si se reduce el caudal de paso en dirección ascendente. Esto permite que el caudal de regenerante pueda establecerse libremente en función de las características de la resina y de la operación.

La disolución de regenerante se inyecta por la parte inferior de la columna en sentido ascendente. La dilución se realiza con ácido sulfúrico, con una pureza del 98% y agua descationizada, procedente del depósito de agua desgasificada.

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.

El cálculo de volúmenes, caudales, velocidades y tiempos de regeneración se muestra en el anexo I de la memoria descriptiva. En la siguiente tabla se exponen dichos resultados, para un ciclo de regeneración.



v_{reg} (m/h)	9.95
Q_{reg} (m ³ /h)	20
$V_{H_2SO_4}$ (l)	345,77
$m_{H_2SO_4}$ (Kg)	363,125
t_{reg} (min)	1.07

V_{reg} = Velocidad lineal de regeneración

Q_{reg} = Caudal de regeneración

$V_{H_2SO_4}$ = Volumen de H₂SO₄ al 8%

$m_{H_2SO_4}$ = Masa de H₂SO₄ al 8%

t_{reg} = Tiempo de regeneración

7.4.3.- Lavado de la Columna Catiónica.

Tras finalizar la etapa de inyección del regenerante, la columna está llena de disolución ácida. El regenerante se desplaza mediante un flujo de agua en contracorriente con la misma velocidad empleada en la etapa anterior. Se emplea el agua descationizada.

El fabricante da la referencia para el agua necesaria para realizar el lavado de la columna en función del volumen de resina existente. En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos:

V_{lav} (m/h)	9.95
Q_{lav} (m ³ /h)	20
$V_{H_2SO_4}$ (m ³)	4.16
t_{lav} (min)	12.48

V_{lav} = Velocidad lineal de lavado

Q_{lav} = Caudal de lavado

V_{H_2O} = Volumen de agua descationizada

t_{reg} = Tiempo de regeneración

7.4.4.- Compactación del Lecho de Resina Aniónica.

El proceso es análogo al descrito anteriormente para la resina catiónica.

El cálculo de caudales, velocidades y tiempos de compactación se muestra en el anexo I de la memoria descriptiva. En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos:

v_{comp} (m/h)	18.45
Q_{comp} (m ³ /h)	37.10
V_{comp} (m ³)	6.18
t_{comp} (min)	10

v_{comp} = Velocidad lineal de compactación

Q_{comp} = Caudal de compactación

V_{comp} = Volumen de agua de red empleada

t_{comp} = Tiempo de compactación

7.4.5.- Introducción del Regenerante en la Columna Aniónica.

El regenerante empleado es sosa diluida al 5% 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 desionizada obtenida directamente del proceso y que se almacena en el depósito de agua desionizada.

El cálculo de volúmenes, caudales, velocidades y tiempos de regeneración se muestra en el anexo I de la memoria descriptiva. En la siguiente tabla se exponen dichos resultados, para 1 ciclo de regeneración.

v_{reg} (m/h)	2.98
Q_{reg} (m ³ /h)	6
$V_{H_2SO_4}$ (l)	111,45
$m_{H_2SO_4}$ (Kg)	115
t_{reg} (min)	1.11

V_{reg} = Velocidad lineal de regeneración

Q_{reg} = Caudal de regeneración

$V_{H_2SO_4}$ = Volumen de H₂SO₄ al 8%

$m_{H_2SO_4}$ = Masa de H₂SO₄ al 8%

t_{reg} = Tiempo de regeneración

7.4.6.- Lavado de la Columna Aniónica

El fabricante da la referencia para el agua necesaria para realizar el lavado de la columna en función del volumen de resina existente. En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos:

V_{lav} (m/h)	2.98
Q_{lav} (m ³ /h)	6
V_{H_2O} (m ³)	10
t_{lav} (min)	100

V_{lav} = Velocidad lineal de lavado

Q_{lav} = Caudal de lavado

V_{H_2O} = Volumen de agua desionizada

t_{reg} = Tiempo de regeneración

7.4.7.- 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 espera. Entra en funcionamiento cuando la otra línea se agote y sea necesario realizar su regeneración. Durante el periodo de espera el flujo a través de las resinas permanece cortado, cerrándose todas las válvulas y aislando cada columna. Esto 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 del recipiente.

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.

8.- SISTEMA DESGASIFICADOR

En los procesos de obtención de aguas desionizadas de alta calidad en las que el agua bruta presenta un alto contenido en bicarbonatos y dióxido de carbono disuelto, una manera complementaria de tratar o ayudar al proceso de intercambio iónico consiste en la instalación de un desgasificador que elimine el dióxido de carbono disuelto y los bicarbonatos, con lo que se

ahorra principalmente en regenerante básico y en resina aniónica. La instalación de este desgasificador desde el punto de vista económico se suele recomendar para plantas con altos caudales de agua a tratar.

Los sistemas de desgasificación más usados actualmente provocan el arrastre o "stripping" de gases y materia volátil disuelta en el agua haciendo cruzar las dos corrientes, una descendente de agua descationizada y una ascendente de aire o gas de arrastre impulsada por un ventilador.

En la parte superior existe un sistema de distribución del líquido que lo distribuye uniformemente sobre el lecho de relleno. El contenido de dióxido de carbono en el gas de arrastre debe ser nulo o muy pequeño. El objetivo de esto es provocar un desequilibrio que realice la transferencia de líquido-gas, ya que la concentración de un gas en la fase líquida es proporcional a su presión parcial en la fase gaseosa.

Dentro de la columna de desgasificación se coloca material de relleno, normalmente anillos Raschig de plástico, con lo que se evita la formación de zonas muertas y by-pass, proporcionando la superficie de contacto adecuada entre el líquido y el gas.

La corriente líquida de entrada proviene del intercambiador catiónico, y tiene un pH muy bajo (del orden de 1). En este intervalo de pH todos los carbonatos presentes en el agua están en forma de gas CO_2 disuelto. Debido a ello el CO_2 puede ser arrastrado por una corriente de aire. Eliminar el dióxido de carbono antes de la resina aniónica reduce el consumo de regenerante (NaOH) y el volumen de resina necesaria.

El arrastre o "stripping" de un gas no es más que un proceso de desorción común.

La desorción es la eliminación de un componente volátil contenido en un líquido por contacto con un gas inerte, como nitrógeno o aire seco, se elige este último por ser barato y fácil de conseguir aunque contenga una pequeña cantidad de CO₂, concretamente un 0,04%.

8.1.- OPTIMIZACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE DESGASIFICACIÓN

En este punto se hará un estudio para saber cual será el dimensionamiento óptimo de la columna del desgasificador. Para ello se estudiarán dos variables en dicho sistema, que son el diámetro de la columna y el diámetro nominal de los anillos Raschig, que es relleno seleccionado para la columna. Los anillos Raschig son utilizados en la industria Química reuniendo las siguientes características: baja pérdida de presión, buena eficiencia y economía.



Anillos Raschig de cerámica de distintos tamaños

Se estudiarán tres diámetros diferentes de anillos Raschig, los cuales se muestran a continuación: 25.4 mm (1 in), 38.1 mm (1 1/2 in) y 50.8 mm (2 in). Los datos a estudio de la otra variable, el diámetro de la columna, variarán desde 1 a 3 metros. Los datos correspondientes a los tres diámetros nominales de los anillos Raschig que se van a estudiar, son los que siguen:

Diámetro Nominal D_n (mm)	Espesor de Pared (mm)	Peso lecho (Kg/m³)	a (m²/m³)	Vacio %	Fp (m⁻¹)	Fpd (m⁻¹)
25.4	3.2	670	190	74	587	492
38.1	4.9	664.8	138.6	74	391	354.7
50.8	6.4	660	92	74	213	230

En el anexo II de la memoria de cálculo se encuentran todos los cálculos de la columna de desgasificación. Se estudiarán cuatro aspectos que afectan directamente a la columna de desgasificación, los cuales son:

- § Pérdida de carga
- § Altura del relleno
- § Coste del relleno
- § Coste de compresión anual del ventilador

8.1.1.- Estudio de la Pérdida de Carga en la Columna

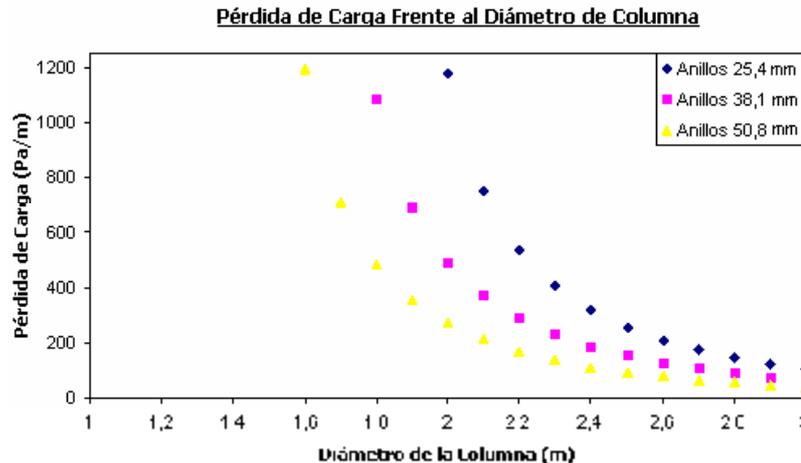
Para el cálculo de la pérdida de carga de un flujo de gas en contracorriente con un flujo de líquido, a través de un relleno, se usa el método de Robbins:

$$\Delta P_t = \Delta P_d + \Delta P_L$$

$\Delta P_t =$	Pérdida de carga total, pulgadas H ₂ O por pie de relleno
$\Delta P_d =$	Pérdida de carga en relleno seco
$\Delta P_L =$	Pérdida de carga debida a la presencia de líquido

Para el estudio de la pérdida de carga, que la relacione con el diámetro de la columna de relleno y el tamaño nominal del relleno, hay que saber que a partir de 1.5 in H₂O/ft de relleno (1226.25 Pa/m de relleno) se produce la inundación incipiente, que representa, normalmente, la condición de máxima capacidad para una columna de relleno. Por lo tanto en el este estudio, si algún valor es superior a la inundación incipiente, nos dará una combinación que no se podrá dar en la realidad.

Los datos que se muestran en el gráfico son todas las combinaciones que no sobrepasan el valor de la inundación incipiente. Se puede observar, que al aumentar el tamaño de los anillos Raschig, se podrá usar en el proyecto diámetros de columna menores. Desde el principio se descartarán diámetros de menos de 2 metros, ya que la pérdida de carga es bastante mayor con esos diseños.



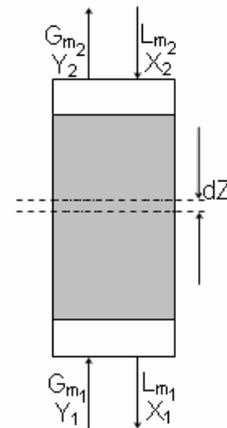
Se observa que para un mismo diámetro de columna, al aumentar el tamaño de los anillos, desciende la pérdida de carga, por lo que se podría descartar los anillos de 25.4 mm, pero no se descartará hasta que no se

hayan visto otros aspectos. Los anillos que presentan las menores pérdidas de carga son los de 50.8 mm, mientras que los de 38.1 ofrecen valores intermedios entre ambos.

8.1.2.- Estudio de la Altura de Relleno de la Columna

Para el cálculo de la altura de relleno necesaria, cuyo esquema se muestra en la figura, se han de hacer las siguientes suposiciones y simplificaciones:

- Se transfiere tan solo un componente (CO₂)
- El sistema es diluido
- El flujo es contracorriente
- Ambas fases se aproximan al modelo de flujo en pistón
- Estado estacionario
- Los caudales son constantes



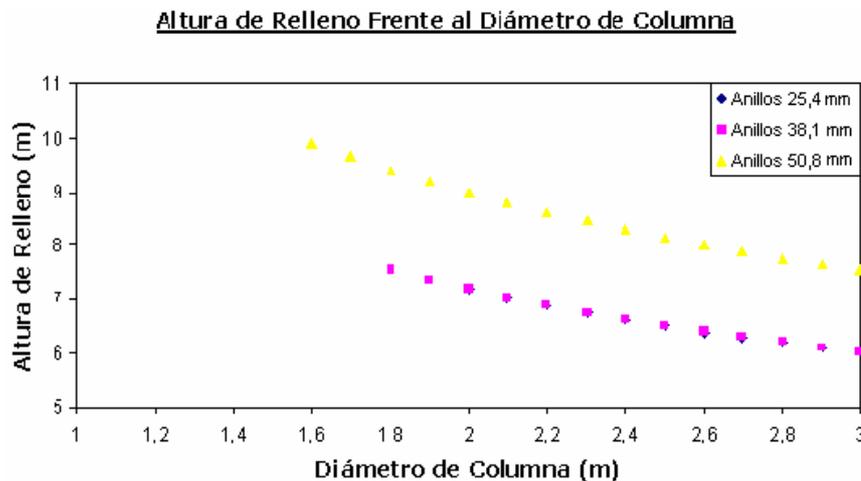
Con eso se tendrá que la altura del relleno (Z) se define para la fase líquida según la siguiente expresión general:

$$Z = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

Siendo Z la altura de la columna de relleno, H_{OL} la altura de unidad de transferencia y N_{OL} , el número de unidades de transferencia. Esta altura es la

que se obtiene para todos los casos posibles para saber cual es la opción más óptima.

Con la obtención de todos los valores de Z para todas las combinaciones posibles, se obtiene la gráfica posterior. En ella se puede ver como la altura para los anillos de 25.4 y 38.1 mm es prácticamente la misma.



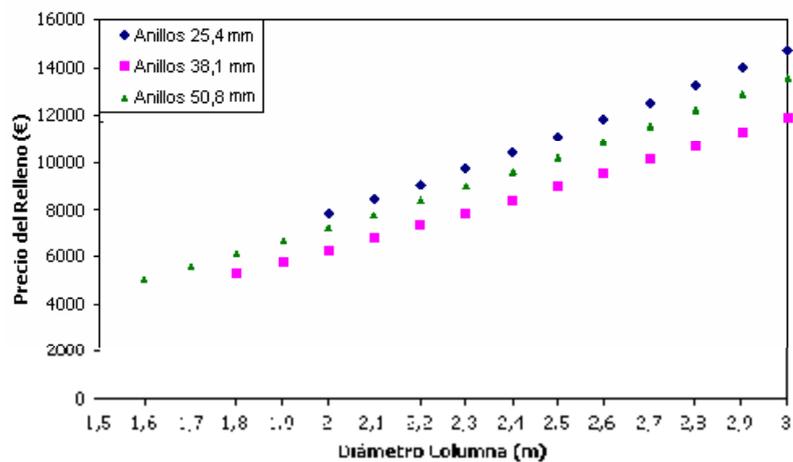
Con los anillos de 50.8 mm se necesitaría una mayor altura de relleno, lo que conllevaría a un mayor coste de inmovilizado ya que la columna debería ser mayor también.

8.1.3.- Estudio del Coste del Relleno

Para calcular el coste del relleno, se toma de la bibliografía el precio de éste, que es de 346.18 €/m³. Ahora se muestran los datos del coste del relleno en relación a los diámetros. Se ve a continuación, como que en este

caso se ve claramente como el precio de los anillos de 38,1 mm, es siempre inferior que los otros dos, para cualquier dato de diámetro de columna.

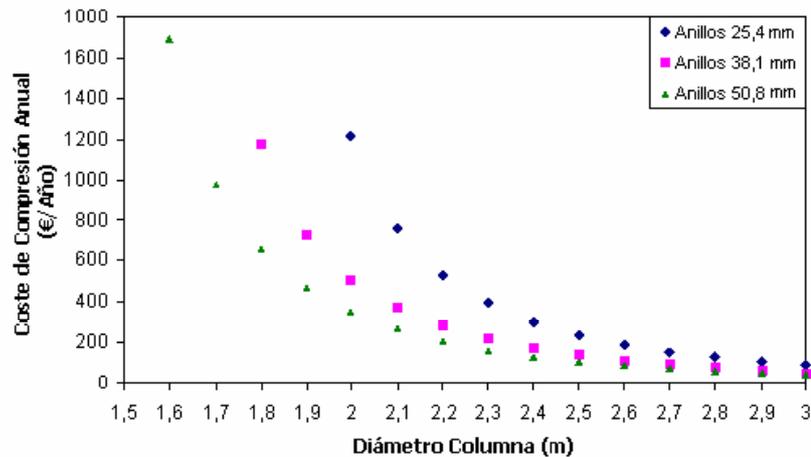
Precio Del Relleno Frente al Diámetro de la Columna



8.1.4.- Estudio del Coste de Compresión Anual del Ventilador

Para estimar el gasto de compresión se estima el precio energético en 0.054032 €/kW•h. Seguidamente se expone otro gráfico, pero en este caso, se podrá ver la relación del precio de la energía gastada, en la compresión, por el ventilador, con los diámetros de la columna y de los anillos.

Coste de Compresión Anual Frente al Diámetro de la Columna



Desde este punto de vista, se observa como al aumentar el diámetro de columna disminuye el coste de compresión, ya que la velocidad necesaria para satisfacer el caudal de aire, es menor. Desde el enfoque económico, las columnas con anillos de 50.8 mm son menos costosas, pero el coste de los anillos de 38,1 mm no varían mucho.

Al igual que en el caso de la pérdida de carga y el coste del relleno, los anillos Raschig de 25.4 mm son los que peores resultados presentan, por lo que directamente serán descartados. En cambio, entre los otros dos tipos de anillos, se escogerán para el proyecto, los anillos Raschig de 38.1 mm, ya que en general son los que presentan mejores prestaciones, ya que el coste del relleno y la altura necesaria para la columna de desgasificación son menores que para el caso de los anillos de 50.8 mm.

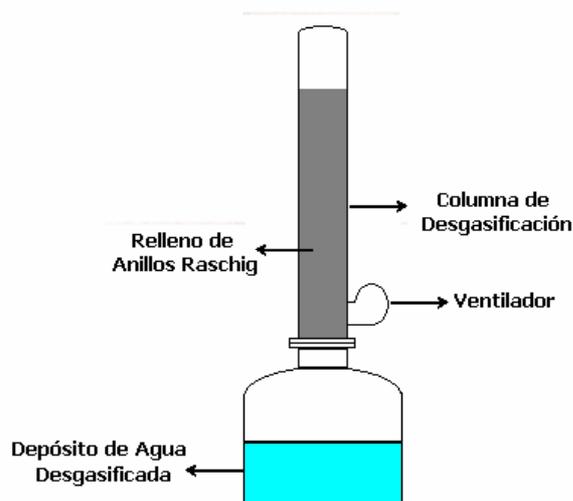
En cuanto al diámetro de la columna, se tomará el dato intermedio, es decir, una columna de 2 metros de diámetro, ya que una columna de mayor diámetro, aumentaría también el coste de inmovilizado y a parte, es un

diámetro comúnmente utilizado en instalaciones de este tipo. Con esta opción se tiene una altura de relleno de 7.07 m.

8.2.- DEPÓSITO DE AGUA DESGASIFICADA

El agua que ya ha atravesado la columna, sale como agua desgasificada, además de ser agua descationizada por haber pasado antes por la columna de intercambio catiónico, y como se ha contado con anterioridad en el presente proyecto, además de ser el agua de alimentación de la columna de intercambio aniónico, es utilizada para la regeneración de la columna de intercambio catiónico. Por tanto es necesario poder tener esta agua almacenada en un depósito, para a partir de éste poder alimentar a los dos procesos.

Este depósito se encontrará justo en la base de la columna de desgasificación y servirá de soporte a dicha columna, como se muestra en la imagen siguiente:



Para este dimensionamiento se usarán los datos de la experiencia de otras instalaciones de desgasificación similares, por lo que se tomará un diámetro para el depósito de 2.8 metros, y una altura de 2,4 m.

8.3.- RESUMEN DEL DESGASIFICADOR

Para finalizar con el sistema de desgasificación se mostrará una tabla con las características del sistema de desgasificación, englobando a la columna de desgasificación y al depósito de agua desgasificada.

	COLUMNA DE DESGASIFICACIÓN	DEPÓSITO DE AGUA DESGASIFICADA
Diámetro (m)	2.000	2.800
Longitud (m)	8.070	2.400
Material	PRFV *	PRFV *
Relleno	Anillos Raschig	_____
Diámetro Relleno (mm)	38.1	_____
Volumen (m³)	22.21	17.78
Potencia Ventilador (KW)	1.25	_____

* PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio. La resistencia de la fibra de vidrio a tracción junto con la de la resina a compresión hace de esta mezcla un cuerpo ideal para soportar las sollicitaciones a flexión, tracción, compresión y esfuerzo cortante a la que será sometido el depósito en su vida operativa y durante su manipulación.

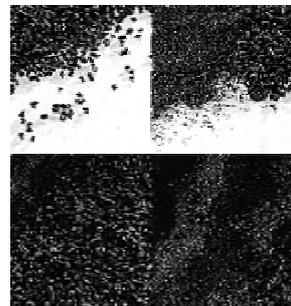
9.- FILTROS DE CARBÓN ACTIVO

La filtración del agua se produce por adsorción. La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para quitar una sustancia soluble del agua.

En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m² /g). Esta superficie interna grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo viene en dos variaciones: Carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC). La versión de GAC se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas, puede fijar las siguientes sustancias solubles por adsorción:

- Adsorción de sustancias no polares como:
 - Aceite mineral
 - BTEX
 - Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs)
 - (Cloruro) Fenol

- Adsorción de sustancias halogenadas: I, Br, Cl, H y F
- Olor
- Sabor
- Levaduras
- Varios productos de fermentación
- Sustancias no polares (sustancias las cuales no son solubles en agua)



El carbón activo se usa por ejemplo en los siguientes procesos:

- Depuración de agua subterránea
- Decloración del agua
- Depuración de aguas para piscinas
- Refinamiento de las aguas residuales tratadas

9.1.- CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVO

En este sistema, el agua procedente de la red, pasa primeramente por el filtro de carbón antes de pasar al sistema desionizador en sí. El agua entra por la parte superior de la columna del filtro y pasa a través del relleno de éste, el cual contiene carbón activo. Esta agua deja la columna a través de un sistema de drenaje situado en la parte inferior de la columna. La actividad del carbón activo de la columna depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias. El agua pasa a través de la columna constantemente, con lo que produce una acumulación de sustancias en el filtro. Por esa razón el filtro necesita ser sustituido periódicamente. Un filtro usado se puede regenerar de diversas maneras, el carbón granular puede ser regenerado fácilmente oxidando la materia orgánica. La eficacia del carbón activo disminuye en un 5- 10%. Una parte pequeña del carbón activo se destruye durante el proceso de la regeneración y debe ser sustituida.

El carbón activo se dispone en un lecho sobre el falso fondo provisto de coladores Partilok, o bien sobre algunas capas de arena gruesa o antracita. El agua circula en sentido descendente.



Colador tipo Partilok

El filtro debe ser lavado hasta que el agua salga clara. Este lavado se realiza en sentido ascendente. La velocidad de lavado es importante por lo siguiente:

- Una velocidad muy baja no limpia los granos de carbón.
- Una velocidad muy alta provoca el arrastre y pérdida de parte del carbón.

Después de cierto tiempo, según las condiciones de funcionamiento, el lecho empieza a perder su capacidad de retener impurezas y no la recupera con los lavados. Entonces se puede aplicar el siguiente tratamiento:

Lavar el filtro para quitar suciedad y luego vaciarlo de agua; introducir vapor saturado en la columna a través del falso fondo o de las capas de arena o antracita. A veces puede ser necesario emplear vapor sobrecalentado para limpiar las últimas impurezas. La introducción de vapor

se prolonga durante 2 - 4 horas; después el filtro se lava de nuevo hasta que el agua salga clara. El filtro queda de esta forma listo para servicio.

Sin embargo, después de algunos tratamientos con vapor ya no es posible reactivar el carbón por más tiempo. Entonces hay que reemplazar el lecho por otro nuevo.

Como en este proceso de filtración, las sustancias que se retienen por adsorción mediante el carbón activo son difícilmente cuantificables, 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 desionizada de proceso, en las cuales se precisan de filtros de carbón activo. Esta opción es la de diseñar las columnas de filtración, con las mismas dimensiones que las de intercambio iónico, que en el caso del presente proyecto se tomará las dimensiones de la columna de intercambio catiónico para asimilar las columnas de filtración. De esta forma se asegura que el sistema de filtración va a cumplir con su fin, ya que la columna se va a encontrar sobredimensionada.

Así, se puede resumir en una tabla los datos de diseño de las columnas de filtración.

Diámetro	1.6 m
Altura cilíndrica	1.43 m
Altura del lecho	1.14 m
Volumen del material filtrante	2.08 m ³

A continuación se muestra una par de imágenes de un tipo de filtro de la empresa URSO, en donde se puede ver en el de la izquierda su exterior y

en el de la derecha se ve las partes en las que se puede diferenciar, las cuales son:



- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1.- Lecho de Carbón Activo | 3.- Toberas de drenaje |
| 2.- Batería de válvulas | 4.- Distribuidor |

10.- NORMATIVA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN

10.1.- REGLAMENTOS DE APOYO

Se enumeran a continuación las disposiciones que habrá de respetarse en la ejecución del presente proyecto:

10.1.1.- Reglamento Sobre Almacenamiento de Productos Químicos

Instrucción Técnica Complementaria ITC-MIE-APQ-6 "Almacenamiento de Líquidos Corrosivos".

Real Decreto 1254/1999 de 16 de Julio de medidas de control de riesgos inherentes a los accidentes en los que intervengan sustancias peligrosas.

10.1.2.- Tanques

Para la ejecución de tanques, se utilizan el código ASME (American Society of Mechanical Engineers) sección VIII, división 1. En esta parte del código se establece los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección y para obtener la certificación autorizada de ASME para los recipientes a presión. La división 1 se utiliza para el diseño y construcción de equipos sometidos a vacío, baja, media y alta presión.

Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión.

10.1.3.- Redes de Tuberías

Para los tendidos de tuberías y otros elementos, se adoptan las normas internacionales utilizadas en este tipo de industria, que son las elaboradas en Estados Unidos por el organismo ANSI (American National Standards Institute), que crea las normas de diseño y ejecución material incluida en:

ANSI B-31-3 "Process Piping".

10.1.4.- Electricidad

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842/2002 de 2 de Agosto) e Instrucciones Técnicas Complementarias.

10.1.5.- Protección contra incendios

RD 786/2001 de 6 de Julio que aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales

RD 1942/93 de 5 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.

RD 2267/2004 de 3 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales.

10.1.6.- Protección Medioambiente

Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental.

10.1.7.- Calidad y Seguridad

Real Decreto 411/1997, de 21 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y Seguridad Industrial

10.2.- TRAMITACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

Según la Ley 21/1992, Ley de industria, de 16 de julio, (B.O.E. núm. 176 de 23/07/92) en el primer punto del artículo 3, se consideran industrias, a los efectos de la presente Ley, las actividades dirigidas a la obtención, reparación, mantenimiento, transformación o reutilización de productos industriales, el envasado y embalaje, así como el aprovechamiento, recuperación y eliminación de residuos o subproductos, cualquiera que sea la naturaleza de los recursos y procesos técnicos utilizados.

La puesta en marcha se desarrolla dentro del ámbito autonómico de Andalucía, el cual queda recogido en el Decreto 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos. (B.O.J.A. núm. 118 de 20/06/05).

Orden de 27 de mayo de 2005, por la que se dictan normas de desarrollo del Decreto 59/2005, de 1 de marzo, para la tramitación de los expedientes de instalación, ampliación, traslado y puesta en servicio de industrias e instalaciones relacionadas en su anexo y su control. (B.O.J.A. núm. 118 de 20/06/05).

Bajo el Decreto 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos. En el artículo 3. Clasificación, del capítulo segundo queda recogida la clasificación de establecimientos e instalaciones. Siendo clasificada como de Grupo II. Establecimientos e Instalaciones no sometidos a autorización administrativa.

11.- DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

11.1.- COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

En estas columnas es donde se va a producir el proceso de intercambio iónico y existen dos columnas de cada una de los intercambiadores. Las columnas están rellenas cada una con su respectiva resina de intercambio iónico y constan de una serie de elementos que se comentarán a continuación.

11.1.1.- Características

El material a emplear en estas columnas de intercambio iónico será acero inoxidable 316, por sus altas resistencias a la corrosión y grandes prestaciones en servicios con ácido sulfúrico y sosa, que son los productos utilizados para regenerar las resinas catiónicas y aniónicas respectivamente. Se usará acero y no plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) por el alto número de tubuladuras y elementos soldados que llevará el recipiente, ya que el PRFV es difícil y caro de modelar. Las principales propiedades de estos aceros son las siguientes:

Propiedad	Acero Inoxidable 316
Esfuerzo máximo admisible, S	1321.76 Kg/cm ²
Limite elástico, σ	2109.55 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción, σ_R	5800 Kg/cm ²
Densidad, ρ	7944 Kg/m ³

El depósito estará dispuesto de forma vertical, con carcasa cilíndrica y los fondos serán de toriesféricos del tipo Korbogen.

Para la estimación de los valores de las variables de diseño se seguirá el código ASME, que en su sección VIII, división 1, indica los métodos de diseño y cálculo, así como los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas que deben satisfacer los equipos a presión (vacío, baja, media y alta presión). Además todos los recipientes sometidos a presión diseñados en este proyecto cumplen con el Reglamento de Aparatos a Presión (RAP) y con las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) que le son aplicables.

El diseño mecánico de las columnas de intercambio iónico da como resultado las siguientes dimensiones de columna:

Variable	Columna de Intercambio Catiónico	Columna de Intercambio Aniónico
t (mm)	6.44	6.44
t_f (mm)	6.45	6.45
D (m)	1.600	1.600
D_o (m)	1.613	1.613
Tipo de fondos	KORBBOGEN	KORBBOGEN
H_f (m)	0.345	0.345
V_F (m³)	0.41	0.41
L_c (m)	2.432	2.713
H_t (m)	3.122	3.403
P_f (Kg)	103.49	103.49
P_t (Kg)	3160.61	3353.91

A continuación se muestra la nomenclatura utilizada:

t =	Espesor de la envolvente
t_f =	Espesor de los fondos
H_f =	Altura de fondo
V_f =	Volumen de fondo
D =	Diámetro interno de la columna
D_o =	Diámetro externo de la columna
L_c =	Longitud de la envolvente
H_t =	Altura total de la columna
P_f =	Peso del fondo
P_t =	Peso total de la columna

11.1.2.- Equipamiento

Estas columnas de intercambio iónico van a tener una serie de elementos externos e internos que completan la columna. Los elementos externos se enumeran a continuación:

- Bocas de registros y ventilación
- Nivel óptico
- Patas soporte para la fijación al suelo
- Tubuladuras para conexiones

En cuanto a los elementos internos, se van a comentar a continuación:

§ Platos soportes

La función fundamental de estos platos es la de soportar adecuadamente el peso del lecho de resina activa. El tamaño de la malla

debe ser tal, que no deberá dejar pasar a la ningún tipo de resina (catiónica, aniónica e inerte). La figura siguiente muestra un plato típico de estas características.



§ Limitadores de lecho

Se dispondrán de dos limitadores de lecho, uno para retener el lecho de resina activa, el cual sirve además de soporte de la resina inerte, y otro para retener la resina inerte.

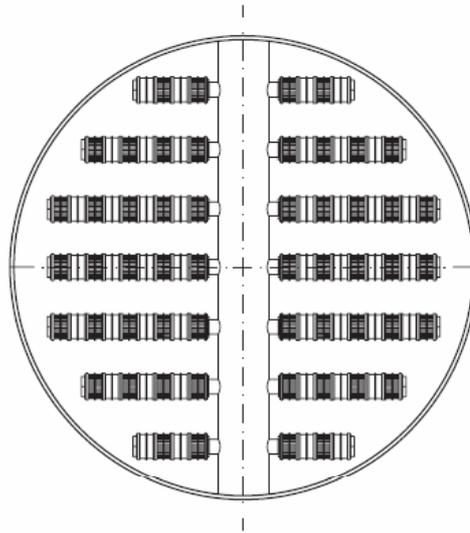
Serán parecidos al plato soporte, sin embargo, sus mallas deben tener unas dimensiones que impidan el paso de las resinas, tanto la resina activa (catiónica o aniónica) y la resina inerte.

§ Sistema de distribución o drenaje con colector

Se dispondrá de dos de estos elementos en cada columna, uno de ellos en la parte superior para distribuir caudal de alimentación de agua en la operación normal, en donde el colector toma la disolución del regenerante cuando la columna este en fase de regeneración; y otro en la parte inferior para distribuir el caudal de regenerantes en la etapa de regeneración de la

resina, mientras que este colector recoge la corriente de agua que ya ha atravesado la columna de intercambio.

En la siguiente imagen se puede ver un esquema de cómo podría ser el sistema comentado.



Sistema de distribución o drenaje con colector



Ejemplo de dos tipos de brazos del sistema de distribución o drenaje con colector

11.2.- COLUMNAS DE FILTRACIÓN

Estas columnas son las primeras que atraviesa el agua a tratar antes de entrar en las columnas de intercambio iónico. Las columnas están rellenas por un material muy adsorbente como es el carbón activo, el cual se encarga de retener los sólidos en suspensión que pueda llevar el agua y de adsorber las sustancias, que contenga el agua de alimentación, que sean perjudiciales para el agua desmineralizada de procesos, que es el agua que se va a obtener en esta instalación, las cuales no se pueden eliminar con las resinas de intercambio iónico.

11.2.1.- Características

El material a emplear en estas columnas de filtración con carbón activo será al carbono 285-C, que es uno de los aceros más usados en los propósitos generales en la construcción de recipientes a presión. Las principales propiedades de estos aceros son las siguientes:

Propiedad	Acero Inoxidable 316
Esfuerzo máximo admisible, S	1286.62 Kg/cm ²
Limite elástico, σ	2109 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción, σ_R	3800 Kg/cm ²
Densidad, ρ	7850 Kg/m ³

El depósito estará dispuesto de forma vertical, con carcasa cilíndrica y los fondos serán de toriesféricos del tipo Korbogen.

El diseño mecánico de estas columnas de filtración, ofrece como resultado las siguientes dimensiones de columna:

Variable	Filtro de Carbón Activo
t (mm)	6.44
t_f (mm)	6.45
D (m)	1.600
D_o (m)	1.613
Tipo de fondos	KORBBOGEN
H_f (m)	0.345
V_F (m³)	0.41
L_c (m)	2.432
H_t (m)	3.122
P_f (Kg)	103.49
P_t (Kg)	3150.64

Como se comentó en el punto 9 del presente proyecto, las columnas de filtración tendrán las mismas dimensiones que las columnas de intercambio catiónico.

11.2.2.- Equipamiento

Estas columnas de filtración con carbón activo van a tener una serie de elementos externos e internos que completan la columna. Los elementos externos se enumeran a continuación:

- Bocas de registros y ventilación
- Nivel óptico
- Patas soporte para la fijación al suelo
- Tubuladuras para conexiones

En cuanto a los elementos internos, la columna de filtración consta de una placa de strainers en la parte inferior y un plato perforado en la parte superior para evitar la fuga de carbón activo en el proceso de lavado de la columna.

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

11.3.- SISTEMA DE DESGASIFICACIÓN

Este sistema como ya se ha visto, consta de dos partes: la columna de desgasificación y el depósito de agua desgasificada. En la columna de agua desgasificada se hace pasar el agua ya descationizada en sentido descendente por un relleno de anillos Raschig, en donde se pone en contacto en contracorriente con un flujo de aire para que se produzca la desorción del dióxido de carbono. En cuanto al depósito de agua desgasificada, como su nombre dice, almacena el agua procedente de la columna de agua desgasificada, para luego poder utilizarla en dos procesos: la regeneración de las columna catiónicas y la producción de agua desionizada.

11.3.1.- Características

El material a emplear en el sistema completo de desgasificación es el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), ya que la resistencia de la fibra de vidrio a tracción junto con la de la resina a compresión hace de esta mezcla un cuerpo ideal para soportar las sollicitaciones a flexión, tracción, compresión y esfuerzo cortante a la que será sometido el depósito en su vida operativa y durante su manipulación.

El depósito estará dispuesto de forma vertical, con carcasa cilíndrica y los fondos serán de toriesféricos del tipo Korbboegen. El diseño mecánico de estas columnas de filtración, ofrece como resultado las siguientes dimensiones de columna:

Variable	Columna de Desgasificación	Depósito de Agua Desgasificada
t (mm)	4.54	5.34
t_f (mm)	5.28	7.39
D (m)	2.000	2.800
D_o (m)	2.009	2.811
Tipo de fondos	KORBBOGEN (superior)	KORBBOGEN (superior)
	NINGUNO (inferior)	PLANO (inferior)
H_f (m)	0.418	0.581
V_F (m³)	0.80	2.20
L_c (m)	8.070	2.400
H_t (m)	8.488	2.981
P_f (Kg)	64.81	177.45
P_t (Kg)	14267.03	568.94

11.3.2.- Equipamiento

El sistema completa de desgasificación va a constar de los siguientes elementos:

- Bocas de registros y ventilación
- Nivel óptico
- Anclajes de fijación al suelo
- Tubuladuras para conexiones

- Plato soporte de los anillos Raschig
- Eliminador De Gotas, impide la salida por la parte superior de las gotas arrastradas por el gas
- Ventilador

En cuanto al ventilador debe disponer de una potencia de 1.25 KW, y debe impulsar un caudal de aire de 875 m³/h. Se puede utilizar en la columna un ventilador centrífugo modelo MB 22/9 T2 3, que es un ventilador de media presión, cuyas características se muestran a continuación:



Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A)		P.Nom. (KW)	Q máx. m ³ /h	Sonido dB (A)	Peso (Kg)
		230	400				
MB 22/9 T2 3	2860	8,26	4,78	2,2	3000	74	30

11.4.- DEPÓSITO DE AGUA DESIONIZADA

En este depósito se almacenará el agua que ha sido tratada en la instalación de intercambio iónico. De este depósito se puede abastecer de agua desionizada al proceso que la requiera. También de este depósito se toma agua desionizada para diluir la sosa que sirve para regenerar la resina aniónica.

11.4.1.- Características

El material a emplear en este depósito de almacenamiento de agua desionizada será al carbono 285-C, que es uno de los aceros más usados en los propósitos generales en la construcción de recipientes a presión.

El depósito estará dispuesto en forma horizontal, con carcasa cilíndrica y los fondos serán de toriesféricos del tipo Korbbogen.

El diseño mecánico de este depósito, da como resultado las siguientes dimensiones de columna:

Variable	Depósito de Agua Desionizada
t (mm)	7.92
t_f (mm)	7.94
D (m)	3.080
D_o (m)	3.100
Tipo de fondos	KORBBOGEN
H_f (m)	0.647
V_F (m³)	2.92
L_c (m)	4.850
H_t (m)	6.144
P_f (Kg)	461.93
P_t (Kg)	42710.89

11.4.2.- Equipamiento

El sistema completa de desgasificación va a constar de los siguientes elementos:

- Bocas de registros y ventilación
- Nivel óptico
- Patas soporte para la fijación al suelo
- Tubuladuras para conexiones

11.5.- DEPÓSITOS DE REGENERANTES

En estos depósitos se almacenarán los compuestos regenerantes sin diluir de cada una de las resinas de intercambio iónico: ácido sulfúrico al 98% para regenerar la resina catiónica y hidróxido sódico al 50% para la resina aniónica.

11.5.1.- Características

El material a emplear en estos depósitos de regenerantes es el PRFV. Los depósitos estarán dispuestos en forma vertical, con carcasa cilíndrica y los fondos serán planos.

El diseño mecánico de estos depósitos, dan como resultado las siguientes dimensiones de columna:

Variable	Depósito H₂SO₄	Depósito NaOH
t (mm)	3.40	3.18
t_r (mm)	3.41	3.19
D (m)	0.860	0.640
D_o (m)	0.867	0.646
Tipo de fondos	PLANO	PLANO
L_c (m)	1.350	0.980
H_t (m)	1.350	0.980
P_t (Kg)	1573.57	536.01

11.5.2.- Equipamiento

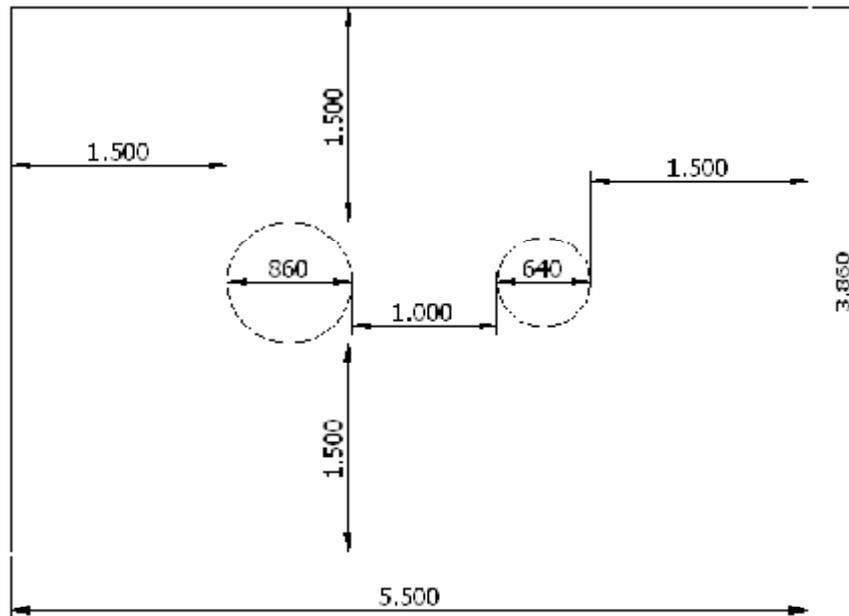
Los depósitos de regenerantes van a constar de los siguientes elementos:

- Bocas de ventilación
- Nivel óptico
- Anclajes de fijación al suelo
- Tubuladuras para conexiones

11.6.- CUBETO DE RETENCION

Según la ITC MIE APQ-6 los productos químicos almacenados están clasificados como clase A y clase B para el ácido sulfúrico 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-6 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. Ambos recipientes se instalarán en el mismo cubeto para reducir el área ocupada. El cubeto a instalar tendrá una pendiente del 1% hacia un sumidero colocado en el centro del cubeto para la recogida de posibles derrames.

A continuación se muestra un esquema con las dimensiones de cubeto de retención, que según la ITC, el volumen del cubeto es igual al volumen del depósito mayor cuando hay dos o más depósitos. En este caso los dos depósitos tienen las mismas dimensiones, por lo que quedaría de la forma:



Volumen cubeto (m ³)	0.79
Superficie cubeto (m ²)	21.23
Altura cubeto (m)	0.037

11.7.- DEPÓSITOS DE DILUCIÓN DE REGENERANTES

La instalación contará con dos depósitos de dilución de regenerantes comerciales concentrados, uno para diluir el regenerante ácido concentrado (ácido sulfúrico al 98% en peso) y otro para dilución del regenerante básico concentrado (sosa al 50% en peso). Estos depósitos tendrán incorporado un sistema de agitación para la correcta mezcla y dilución de los regenerantes concentrados y el agua descationizada en el caso del ácido, y agua

desionizada para diluir a la sosa. Estos depósitos tendrán autonomía para un ciclo de operación.

11.7.1.- Características

El material a emplear en estos depósitos de dilución de regenerantes es el PRFV. Los depósitos estarán dispuestos en forma vertical, con carcasa cilíndrica y los fondos serán planos.

El diseño mecánico de estos depósitos, dan como resultado las siguientes dimensiones de columna:

Variable	Depósito Dilución H₂SO₄	Depósito Dilución NaOH
t (mm)	3.30	3.06
t_f (mm)	3.31	3.07
D (m)	0.760	0.520
D_o (m)	0.767	0.526
Tipo de fondos	PLANO	PLANO
L_c (m)	1.200	0.820
H_t (m)	1.200	0.820
P_t (Kg)	607.07	196.34

11.7.2.- Equipamiento

Los depósitos de dilución de regenerantes van a constar de los siguientes elementos:

- Bocas de ventilación

- Nivel óptico
- Anclajes de fijación al suelo
- Tubuladuras para conexiones
- Agitador

11.8.- TUBERÍAS

Las tuberías de la instalación deben permitir el transporte del agua desde la entrada al sistema de filtración hasta es depósito final de agua desionizada, 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 el hipoclorito sódico.

11.8.1.- Material de las Tuberías

La actual tendencia es la de sustituir las tuberías de materiales o aleaciones férreas por materiales compuestos y plásticos. Por lo tanto se utilizarán tuberías y accesorios de PVC, cuyas ventajas respecto a otros materiales alternativos como acero o hierro fundido son las siguientes:

- No presentan ni fenómenos de corrosión interna ni externa
- Se pueden cortar y unir con facilidad sin corrosión galvánica al unirlos a otro materiales
- Es muy ligera y fácil de montar
- Su precio es inferior a otros materiales usados en la fabricación de conducciones

Sin embargo, muestran a su vez los siguientes inconvenientes:

- Sus esfuerzos máximos permisibles a temperatura de trabajo son bajos
- Sus temperaturas de trabajo máximo son bajas

Estos dos inconvenientes hacen que las conducciones de plástico sean útiles solo para condiciones de trabajo no muy exigentes, como es el caso del presente proyecto, en el cual se trabajará a temperatura ambiente y presión atmosférica.

- **Influencia temperatura**

El agua transportada por las tuberías de plástico experimenta pequeñas variaciones de temperatura, debidas al bajo coeficiente de conductividad térmica que tienen estos materiales, sobre todo comparadas con el de materiales tradicionales. Esto hace que cuando la temperatura ambiente baja de los 0°C, el agua conducida por una tubería de plástico se hiele con mayor dificultad que la conducida por una tubería de otro material. Además, hay que tener en cuenta, que aprovechando el bajo módulo de elasticidad de los plásticos, el tubo podrá absorber con mayor facilidad el incremento de volumen que experimenta el agua en el caso de congelarse.

En cuanto a las variaciones dimensionales que pueden experimentar estos tubos, motivados por cambios de temperatura, estas pueden ser reversibles originadas por la dilatación térmica, e irreversibles debidas a la descongelación de tensiones internas introducidas en los tubos durante el proceso de extrusión. En lo que se refiere a las variaciones dimensionales reversibles, hay que considerar el alto coeficiente de dilatación lineal que

presenta el PVC en comparación con otros materiales como el acero o la fundición dúctil, y valorar esta característica a la hora de proyectar una instalación, y respecto a las irreversibles reducir estas cuidando el proceso de transformación de los tubos y vigilándolas, realizando el ensayo normalizado de comportamiento al calor.

- **Resistencia a los agentes químicos**

La resistencia de los tubos de PVC frente a los agentes químicos viene determinada por las propias características de las materias primas con las que están fabricados. Estas materias presentan una excelente inercia química, característica que fue la que se aprovechó para iniciar el empleo de estos materiales en la fabricación de tubos.

Aunque en el sector de la construcción el uso más corriente de los tubos hechos a base de materiales plásticos sea para la conducción, con o sin presión, de agua, la resistencia frente a los agentes químicos de los mismos es muy interesante cuando estos tubos están instalados en contacto con materiales agresivos, ya que no sufren ninguna alteración por efecto del agua del mar, terrenos salinos o ácidos, así como vertidos urbanos e industriales.

11.8.2.- Selección de las Tuberías

Las dimensiones de la tubería dependerán de la línea de la instalación. Para la selección del tipo de tubería normalizadas, se precisa calcular el diámetro interno necesario, el cual depende fundamentalmente de la velocidad lineal del líquido y del caudal.

Una vez obtenido el diámetro interior, se hace uso de las tablas de las tuberías de PVC, en las que se pueden encontrar el valor del espesor de tubería, para combinación de diámetro nominal y presión nominal. Se tomará el diámetro nominal inmediatamente superior al diámetro interior obtenido.

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

11.8.3.- Dimensiones de las Tuberías

En la siguiente tabla se encuentran recogidas las dimensiones de las tuberías para cada línea de la planta de agua desionizada. En ella se muestra el valor del diámetro nominal, el diámetro interior y el espesor de las distintas tuberías. Además se recoge también en la siguiente tabla, los valores para cada línea del caudal máximo que circulará por cada línea, con su correspondiente velocidad lineal; y la presión nominal que se da en ese tramo de tubería:

Nombre	línea
Alimentación	1
Filtro – I. Cation	2
I. Cation - Desgasificador	3
Regeneración Cation	4
Agua Desgasificada – I. Anion	5
I. Anion – Agua Desionizada	6
Regeneración Anion	7
H ₂ SO ₄ - Dilución	8
NaOH - Dilución	9
Agua Desionizada - Dilución	10
Agua Desgasificada - Dilución	11

Línea	D _N	e _N	D	P _N	Q	v
1	110 mm	3.2 mm	105.6 mm	6 Kg/cm ²	0.013 m ³ /s	1.8 m/s
2	140 mm	2.8 mm	134.4 mm	4 Kg/cm ²	0.027 m ³ /s	1.8 m/s
3	110 mm	3.2 mm	105.6 mm	6 Kg/cm ²	0.013 m ³ /s	1.8 m/s
4	75 mm	1.8 mm	71.4 mm	4 Kg/cm ²	0.006 m ³ /s	1.8 m/s
5	90 mm	1.8 mm	86.4 mm	4 Kg/cm ²	0.006 m ³ /s	1.2 m/s
6	110 mm	3.2 mm	105.6 mm	6 Kg/cm ²	0.013 m ³ /s	1.8 m/s
7	75 mm	1.8 mm	71.4 mm	4 Kg/cm ²	0.006 m ³ /s	1.8 m/s
8	63 mm	1.9 mm	59.4 mm	6 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s
9	63 mm	1.9 mm	59.4 mm	6 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s
10	63 mm	1.8 mm	59.4 mm	4 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s
11	63 mm	1.8 mm	59.4 mm	4 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s

11.9.- BOMBAS

La planta de intercambio iónico precisará de 3 bombas, las cuales estarán duplicadas, es decir, se dispondrá en total de 6 bombas. De estas bombas, se usarán dos de ellas para bombear el agua desgasificada desde el depósito de almacenamiento final de agua desionizada, haciéndola pasar antes por las columnas de intercambio aniónico. También esta bomba se usará para trasegar el agua desgasificada hasta el depósito de dilución de ácido sulfúrico.

Las otras dos pares de bombas se utilizarán para hacer pasar a los respectivos regenerantes por sus respectivas columnas de intercambio iónico, produciéndose de esta forma la regeneración de la resina; desde los depósitos de dilución de regenerantes. Estas bombas también serán utilizadas para la impulsión de agua de red y agua desionizada para el lavado de sus respectivas columnas.

11.9.1.- Dimensiones de las Bombas

En el Anexo V de la memoria descriptiva se encuentra el algoritmo de cálculo para obtener las potencias de las bombas antes comentadas. A continuación se muestra una tabla resumen en la que se indica tanto el depósito de donde se toma el líquido a impulsar como su destino; además se señala la nomenclatura y la potencia necesaria de la bomba.

Depósito Inicial	Agua desgasificada	Dilución H ₂ SO ₄	Dilución NaOH
Depósito Final	Agua desionizada	Columna Catiónica	Columna Aniónica
Bomba	PG	PR	PR
Potencia	0.5 KW	0.25 KW	0.25 KW

11.9.2.- Tipo de Bombas

En cuanto a las bombas que se podrían utilizar en la instalación, de modo de referencia, se pueden utilizar bombas de la serie IN-, las cuales son bombas centrífugas normalizadas (DIN-24255), de la empresa ITUR. La ficha técnica de estas bombas se encuentra al final del presente proyecto.



La Serie IN de Bombas ITUR ha sido especialmente concebida para el bombeo de fluidos, generalmente limpios o poco cargados. El campo de aplicación de la serie se extiende a todas las necesidades de bombeo para requerimientos de servicios medios:

- Abastecimiento municipal o industrial de aguas
- Sistemas de conducción de agua y aceite
- Suministro de agua caliente a grandes edificios

- Instalaciones de climatización
- Equipos de agua a presión constante
- Equipos de protección contra incendios

11.10.- DISTRIBUCIÓN 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 ésta 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.

12.- ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS CORROSIVOS: ÁCIDO SULFURICO Y SOSA CÁUSTICA. ADECUACIÓN A LA ITC-MIE-APQ 6

12.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS LÍQUIDOS CORROSIVOS

12.1.1.- Características del Ácido Sulfúrico

El ácido sulfúrico, H_2SO_4 , se usa para las regeneraciones del intercambiador catiónico, en la planta de agua desmineralizada.

Se presenta en forma de líquido transparente y se recibe en cisternas a través de un proveedor oficial.

Reacciona como: Ácido, Corrosivo y Oxidante.

Explosivo: Bajo, Venenoso: Medio.

Los medios para protección en su manipulación, fundamentalmente son: Guantes, gafas, protección facial y traje especial.

Precaución en almacenaje: Utilizar depósito cerrado sin nada de humedad.

Las disoluciones del H_2SO_4 en H_2O superiores al 51%, presentan las siguientes características:

- Es un líquido oleoso incoloro o transparente, inodoro; es corrosivo oxidante y muy poco volátil, con vapor más pesado que el aire, poco soluble en agua, se hunde reaccionando con ella liberando calor y

formando gases tóxicos y corrosivos con el calor. Reacciona con metales liberando gas inflamable.

- Es dañino por inhalación, ingestión y por contacto. Es muy irritante para la piel, los ojos y las vías respiratorias. Se evitará todo contacto con el producto sin las correspondientes medidas de protección individual.

- Es muy reactivo, incompatible con acrilonitrilo, con soluciones básicas, carburos, cloratos, nitratos, percloratos, permanganatos, metales en polvo, acetirulos, apiclohidrina, anilina, etilendiamina, alcoholes, ácido clorosulfónico, ciclopentano, nitro metano, potasio, sodio, etilenglicos, isopropeno y estireno.

- Ataca a la mayoría de los metales incluyendo: hierro, acero, latón, aluminio, titanio y níquel.

- Evitar agua, humedad, calor, fuego, chispas y otras fuentes de ignición.

El H_2SO_4 se utiliza en la fabricación de fertilizantes, explosivos, fibras artificiales, colorantes, productos farmacéuticos, detergentes, pintura, papel, decapadotes, etc. Sus características son:

Estado Físico:	Líquido
Toxicidad:	Nula
Corrosividad:	Media
Inflamabilidad:	Nula
Reacción con H_2O :	Exotérmica
Combustible:	No

Aumento Temperatura:	Desprende gases tóxicos y corrosivos
Peso molecular:	98.08 g/mol
Punto ebullición:	193 °C
Punto de fusión:	12°C
Punto inflamación:	No Aplica
Densidad relativa:	1.706 Kg/m ³

12.1.2.- Características de la Sosa Cáustica

El hidróxido sódico, NaOH, se usa al 50% para las regeneraciones del intercambiador aniónico, en la planta de agua desmineralizada a través de un proveedor oficial.

Se recibe en estado líquido en camiones cisternas diluido al 50%.

Las protecciones en su manipulación fundamentales son: Guantes, gafas, traje especial, resistentes a Alcalis fuerte.

En almacenajes, prevenir de bajas temperaturas, almacenar en tanques herméticos.

a) Generalidades

El hidróxido de sodio, NaOH, es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50% por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiendo calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

Es utilizado en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán; en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos.

Se obtiene principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

b) Propiedades Físicas y Termodinámicas

- Peso molecular: 40.01 g/mol
- Composición: Na 57.48%, H 2.52% y O 40%
- Punto de ebullición: 1388 °C (a 1 atm)
- Punto de fusión: 318.4 °C
- Índice de refracción a 589.4 nm: 1.433 (a 320 °C) y 1.421 (a 420 °C)
- Presión de vapor: 1 mm (739 °C)
- Densidad: 1.51 Kg/m³ (25 °C)
- Solubilidad: soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter. 1 g de sosa se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml de agua hirviendo, 7.2 ml de alcohol etílico y 4.2 ml de metanol.
- pH de disoluciones acuosas (peso/peso):

pH	Disolución
12	0,05%
13	0,5%
14	5%

- Calor específico: 1.47 J/g °C (20 °C)
- Calor latente de fusión: 167.47 J/g
- Calor de formación: 422.74 KJ/mol (forma alfa) y 426.84 KJ/mol (forma beta)
- Calor de transición de la forma alfa a beta: 103.37 J/g
- Energía libre de formación: 379.74 KJ/mol (a 25 °C y 1 atm)

c) Propiedades de Disoluciones Acuosas de Sosa

En la tabla que se muestra a continuación, se representan algunas propiedades de Disoluciones acuosas de NaOH.

Concentración (%peso/peso)	Densidad (Kg/m ³)	Punto de congelación (°C)	Punto de ebullición (°C)
5	1.056	-4	102
10	1.111	-10	105
20	1.222	-26	110
30	1.333	1	115
40	1.434	15	125
50	1.510	12	140

d) Propiedades Químicas

El NaOH reacciona con metales como Al, Zn y Sn, generando aniones como AlO_2^- , ZnO_3^{2-} , SnO_3^{2-} e H^- . Con los óxidos de estos metales forma esos mismos aniones y agua. Con cinc metálico, además, hay ignición.

Con bromo, cloroformo y triclorometano, las reacciones son vigorosas o violentas.

e) Niveles de Toxicidad

- LD5₀ (en conejos): 500 ml/Kg de una disolución al 10%.
- Niveles de irritación en piel de conejos: 500 mg/ 24 h, severa.
- Niveles de irritación en ojos de conejos: 4 mg, leve; 1% 0,50 µg/
24 h, severo.
- RQ: 1000
- IDLH:250 mg/m³

12.2.- ALMACENAMIENTO Y RECIPIENTES

12.2.1.- Descripción General de Almacenamiento

Los depósitos de almacenamiento de ácido sulfúrico y de sosa, están situados sobre el nivel del suelo, manteniéndose accesible todas las superficies laterales exteriores de los recipientes. Se encuentran elevados, a una altura suficiente para poder prescindir de bombas para impulsar los líquidos regenerantes hasta los depósitos de dilución, aprovechando así la acción de la gravedad.

La estructura en la que se encuentran los recipientes, garantiza la resistencia al líquido corrosivo almacenado; no daña ni a la estructura ni a las cimentaciones del mismo ni contiguos, además al disponer de cubeto de retención independiente, hay imposibilidad de que el líquido derramado invada otras dependencias, a su vez, también dispone de sistemas de drenaje a lugar seguro.

Al encontrarse al aire libre es imposible que se superen las concentraciones máximas admisibles en las condiciones normales de trabajo.

a) Distancias

El almacenamiento distará del vallado exterior de la planta a una distancia superior a los 3 metros, al ser éste no inflamable ni combustible. La pared interior de los cubetos distará, como mínimo, 1,5 metros del vallado exterior de la planta.

La distancia mínima a otros recipientes de líquidos corrosivos será al menos de 1 metro.

b) Venteos

Los recipientes dispondrán de sistemas de venteos o alivio de presión para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal modo que se evite la deformación del techo o de las paredes como consecuencia de las variaciones de producidos por efecto de los llenados, vaciados o cambios de temperatura. Las salidas de dicho sistema estarán alejadas de los puntos de operación y vías de circulación en donde las personas puedan verse expuestas, o bien se protegerán adecuadamente para evitar las proyecciones de líquidos y vapores.

Loa venteos normales al ser tanques atmosféricos se dimensionan de acuerdo con códigos de reconocido prestigio, y como mínimo, tendrán un tamaño igual al mayor de las tuberías de llenado o vaciado y, en ningún caso, inferior a 35 mm de diámetro interior.

Cuando un producto, por efecto de la acción de la humedad del aire, aumente su acción corrosiva, se tendrá en cuenta este efecto para disponer de un sistema que lo evite o lo corrija, salvo que se haya previsto tal posibilidad en el diseño.

Igualmente deberá evitarse en lo posible la emisión a la atmósfera de vapores perjudiciales de líquidos corrosivos y, en todo caso, controlar sus efectos.

12.2.2.- Cubetos de Contención de Derrames

Los recipientes estarán ubicados dentro de un cubeto de retención separados entre sí y del resto de los depósitos, puesto que los dos recipientes no contienen el mismo producto, por lo que no presentan entre sí reactividad peligrosa como exige la normativa.

La distancia mínima horizontal entre la pared mojada del recipiente y el borde interior de la coronación del cubeto será al menos de 1 m. La altura del murete del cubeto es de 0,04 m.

En todo el perímetro interior del cubeto existe una pendiente del 1% hacia el punto de recogida (sumidero) y posterior tratamiento de efluentes.

Las paredes y fondo del cubeto serán de material que asegure la estanqueidad del producto almacenado durante el tiempo necesario previsto de evacuación, con un tiempo mínimo de 48 h, de acuerdo a la normativa vigente; y diseñados para poder resistir la presión hidrostática debida a la altura total del líquido a cubeto lleno.

El acceso a la zona interior del cubeto se restringe solo a personal autorizado, se instalarán además pantallas protectoras de metacrilato para evitar daños por proyecciones.

El cubeto estará rodeado de, al menos en una cuarta parte de su periferia, de dos vías de acceso diferentes, con una anchura mínima de 2,5

m y una altura libre de 4 m como mínimo, para posibilitar el paso de vehículos de emergencia.

Las tuberías que no estén enterradas, no atravesarán más cubetos que el del recipiente a los cuales esté conectada; además, las tuberías de acceso a los tanques no atraviesan la pared del cubeto, la entrada y salida de estas tuberías son aéreas, solamente la salida del sumidero lo hace, y en este caso la estanqueidad está asegurada.

Se prohíbe, en el interior de los cubetos, el empleo permanente de mangueras flexibles. Su utilización se limitará a operaciones de corta duración.

12.2.3.- Estación de Descarga y de Bombeo

Las instalaciones de descarga de los vehículos cisterna se efectuarán mediante bombas de trasvase instaladas en el interior del cubeto.

El lugar de trasvase entre la unidad de transporte y el almacenamiento será tal que cualquier derrame accidental se conducirá mediante la adecuada pendiente hacia el sumidero de recogida, de modo que no llegue a la vía o cauce públicos.

Se procurará evitar derrames de productos sobre el suelo en conexiones y desconexiones, empleando los medios de recogida que se consideren apropiados.

El pavimento de las zonas de estacionamiento para la operación de descarga será impermeable y resistente al líquido descargado.

La operación de carga se realizará de acuerdo con lo dispuesto en la normativa de carga y descarga para el Transporte de Mercancía Peligrosas por Carreteras (TPC/ADR).

Los cargaderos de camiones se situarán de forma que los camiones que a ellos se dirijan o de ellos procedan, puedan hacerlo por caminos de libre circulación. El acceso será amplio y bien señalado. Las cisternas que se encuentren cargando o descargando estarán frenadas por calzos, cuñas o sistemas similares.

El pavimento de las zonas de estacionamiento para operaciones de carga y descarga de camiones y vagones cisterna deberá ser impermeable y resistente al líquido trasvasado.

Antes de iniciar las operaciones de carga o descarga, el personal de la instalación efectuará una comprobación visual del estado de las mangueras y las conexiones.

Se dispondrá de un sistema de corte automático de fluido por pérdida de presión.

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

El almacenamiento y la estación de carga estarán convenientemente iluminados cuando se efectúe la manipulación de líquidos corrosivos.

12.2.4.- Tratamiento de Efluentes

Todos los efluentes líquidos que presenten algún grado de contaminación serán tratados de forma que el vertido final de la planta cumpla con la legislación vigente en materia de vertidos.

Los lodos y residuos sólidos de carácter contaminante que pudiesen producirse serán eliminados por un procedimiento adecuado.

Existe una Red de drenajes que toman los posibles vertidos fortuitos en la estación de carga –descarga y de arquetas de cubetos, que los envía a un gestor autorizados que se encargará de su tratamiento.

12.2.5.- Recipientes

El almacenamiento del H_2SO_4 consiste en un depósito de $0.79\ m^3$, fabricado en poliéster reforzado con fibras de vidrio (PRFV), con un espesor de pared de 3.40 mm.

A su vez, el almacenamiento de NaOH también consiste en un depósito de PRFV de $0.32\ m^3$, con un espesor de 3.18 mm.

Las paredes de los recipientes y sus tuberías se protegerán contra la corrosión exterior, pudiéndose utilizar alguno de los métodos siguientes:

- Uso de pinturas o recubrimientos
- Protección catódica
- Empleo de materiales resistentes a la corrosión

12.3.- JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA ITC-MIE- APQ-6

El almacenamiento expuesto en el presente proyecto, cumple con lo indicado en la ITC-MIE-APQ 6 del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos.

La distancia entre el almacenamiento y las instalaciones con riesgo de incendio o explosión y vías de circulación pública es superior a los 3 m.

12.4.- REQUISITOS TÉCNICOS

12.4.1.- Materiales

Las características de los materiales especificados deberán ser íntegramente verificados mediante la realización de los ensayos oportunos y siguiendo las recomendaciones de normas nacionales o internacionales.

Se exigirá de los proveedores el envío de los certificados de calidad de cada uno de los diferentes materiales, debiendo cumplir las características de los mismos con los mínimos requerimientos especificados.

12.4.2.- Construcción

Se estudiarán y determinarán todos los procedimientos de soldadura a utilizar.

Los procedimientos de soldadura y soldadores serán homologados de acuerdo con ASME IX o cualquier otro código o norma de reconocido prestigio, certificado por un Organismo de Control Autorizado.

El análisis químico y características de las uniones soldadas serán similares a las del material base.

Todos los materiales de aportación de soldadura se considerarán adecuadamente.

Durante los trabajos de instalación, los componentes se irán sometiendo a un control visual y dimensional.

Se realizará un muestreo radiográfico de las soldaduras realizadas en un porcentaje a determinar por la Dirección de Obra.

12.4.3.- Pruebas

Se realizarán pruebas de estanqueidad que garanticen la total inexistencia de fugas o posibles vertidos.

La instalación, equipos auxiliares incluidos, deberán encontrarse limpia, seca, desprovista de grasas y exenta de óxidos.

12.5.- INSTRUCCIONES DE USO Y CONSERVACIÓN DE LA INSTALACIÓN

12.5.1.- Normativa para Uso

El personal será debidamente adiestrado en la manipulación de líquidos corrosivos. Asimismo, será especialmente adiestrado en la lucha contra fugas de líquidos corrosivos y realizará periódicamente ejercicios de simulación de siniestros.

Los procedimientos de operación se establecerán por escrito.

El personal del almacenamiento, en su plan de formación, recibirá instrucciones específicas, oralmente y por escrito, sobre:

- a) Propiedades de los líquidos corrosivos que se almacenan
- b) Función y uso correcto de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal
- c) Consecuencias de un incorrecto funcionamiento o uso de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal
- d) Peligro que pueda derivarse de un derrame o fuga de líquidos almacenados y acciones a adoptar

El personal del almacenamiento tendrá acceso a la información relativa a los riesgos de los productos y procedimientos de actuación en caso de emergencia, que se encontrará disponible en letreros bien visibles.

12.5.2.- Normas para su Conservación y Mantenimiento

El almacenamiento tendrá un plan de revisiones propias para comprobar la disponibilidad y buen estado de los elementos e instalaciones de seguridad y equipos de protección personal. Se mantendrá un registro de las revisiones realizadas.

El plan comprenderá la revisión periódica de:

- a) Duchas y lavajos

Las duchas y lavajos deberán ser probados como mínimo una vez por semana, como parte de la rutina operatoria del almacenamiento. Se hará constar todas las deficiencias y se proveerá su inmediata reparación.

b) Equipos de protección personal

Los equipos de protección personal se revisarán periódicamente siguiendo las instrucciones de sus fabricantes y/o suministradores.

c) Equipos y sistemas de protección de incendios

Se efectuará al menos cada tres meses, una comprobación de los extintores de incendios, de la accesibilidad, señalización, buen estado aparente de conservación, inspección ocular de seguros, precintos, inscripciones, estado externo de las partes mecánicas, comprobación de peso y presión en su caso.

Cada año se efectuarán comprobaciones del peso y presión, inspección ocular del estado de la manguera, boquilla o lanza, válvulas y partes mecánicas.

Cada cinco años se procederá al retimbrado de los extintores a partir de la fecha de timbrado del mismo y hasta un máximo de 3 retimbrados.

Además del mantenimiento ordinario de las instalaciones, el mantenimiento dispondrá de un plan de inspecciones propias para comprobar la disponibilidad y buen estado de los equipos e instalaciones.

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

Se dispondrá de un registro de las inspecciones realizadas y un historial de los equipos, a fin de comprobar que no se sobrepasa la vida útil de los que tengan definidas y controlar las reparaciones o modificaciones que le hagan en los mismos.

La limpieza de la zona de almacenamiento deberá incluir el mantener su espacio libre de escombros y vegetación.

La iluminación de la zona deberá ser conservada y mantenida a todas horas.

12.5.3.- Seguridad

Las personas que manipulen líquidos corrosivos deben estar especializados en su manejo, y estar informado al día en esta especialidad.

En el almacenamiento se colocarán, bien visible, señales normalizadas que indiquen claramente la presencia de líquidos corrosivos.

Se evitará proyecciones de líquido por rebosamiento en operaciones de carga, adoptándose un sistema con dos elementos de seguridad independientes, tales como un indicador de nivel visual mediante boya y señalizador, y un nivel por ultrasonidos (Miranger Plus o similar).

Se evitará el goteo en los extremos de las mangueras, y en caso de producirse, se alojarán éstas en un lugar que recoja y evacue estos derrames.

El almacenamiento estará convenientemente iluminado para la manipulación de líquidos.

Se instalarán duchas y grifos lavajojos en las inmediaciones de los lugares de trabajo, distando un máximo de 10 m en los puestos de trabajo, y estarán libres de obstáculos y debidamente señalizados.

12.5.3.1.- Riesgos

A) Ácido Sulfúrico

Es un líquido corrosivo y no inflamable, asimismo es oxidante. Puede producir la ignición de materias combustibles. Muy poco volátil y reacciona con metales liberando hidrógeno, y productos de descomposición térmica ($T > 340\text{ °C}$) tóxicos y corrosivos: óxidos de azufre.

Ante el riesgo de incendio se intervendrá con extintores de un agente adecuado al tipo de fuego, y estarán disponibles cerca de la zona de almacenamiento. Se restringirá el acceso al área evacuando un radio de 600 m ante el riesgo de explosión, situando a las personas y cosas en dirección contraria al viento, evitando en todo momento el contacto con el producto. No debe entrarse en el lugar del fuego sin las debidas ropas y equipos de protección, manteniéndose a la debida distancia o en lugar seguro. Se tendrá en cuenta que el contacto del líquido con el agua produce reacción exotérmica. Puede usarse con las debidas prevenciones agua pulverizada

para enfriar los recipientes expuestos al fuego, evitando que el agua penetre en los recipientes.

Teniendo en cuenta las características de los productos almacenados, y el tipo de operación a realizar, el personal de almacenamiento dispondrá para su manipulación ropa apropiada, equipos de protección individual, y medios de primeros auxilios para los ojos, cara, manos, piernas, etc. Cumpliendo todos estos equipos con la reglamentación vigente de Seguridad y Salud que le sea de aplicación y la correspondiente homologación y/o certificación de la revisión de dichos medios.

Riesgos para la salud del H₂SO₄:

- IPVS:	15 ppm – 60 mg/m ³
- TLV-C:	Ppm
- Rutas de absorción:	Inhalación, Ingestión.
- Síntomas:	Dificultades respiratorias, Irritación.
- Efectos:	Inmediatos.

Por inhalación, los vapores son extremadamente irritantes y corrosivos para las vías respiratorias; producen ulceraciones de la boca y erosión de los dientes. En concentraciones altas producen estornudos, tos, dificultad para respirar, edemas de laringe y pulmonar.

En el contacto con la piel y ojos: quemaduras graves y profundas; las quemaduras extensas pueden tener como resultado shocks y colapsos.

Por ingestión: quemaduras en la boca, garganta, perforación de estomago, manchas y erosión de los dientes, náuseas, vómitos de sangre y posible muerte.

Efectos a largo plazo: decoloración y erosiones en los dientes, dermatitis.

- Primeros Auxilios:

Por inhalación: traslado de la víctima al aire fresco, respiración artificial si la normal cesa o si se hace dificultosa. Buscar atención médica.

Por contacto con la piel: retirar la ropa contaminada, lavar el área afectada con agua abundante, y buscar atención especializada.

Por contacto con los ojos: enjuagar inmediatamente con agua durante 15 minutos, buscar atención médica.

Por ingestión: si la víctima está consciente, suministrar grandes cantidades de agua, no provocar el vómito. Buscar siempre atención médica.

B) Sosa Cáustica

- Riesgos de fuego o explosión:

Este compuesto no es inflamable, sin embargo, puede provocar fuego si se encuentra en contacto con materiales combustibles. Por otra parte, se generan gases inflamables al ponerse en contacto con algunos metales. Es soluble en agua generando calor.

- Riesgos a la salud:

El hidróxido de sodio es irritante y corrosivo para los tejidos. Los casos más comunes de accidente, son por contacto con la piel y ojos, así como inhalación de neblinas o polvo.

Por inhalación: la inhalación de polvo o neblinas causa irritación y daño del aparato respiratorio. En caso de exposición a concentraciones altas, se presenta ulceración nasal. A una concentración de 0.005-0.7 mg/m³, se ha informado de quemaduras en la nariz y tracto. En estudios con animales, se han reportado daños graves en el tracto respiratorio, después de una exposición crónica.

Por contacto con ojos: el NaOH es extremadamente corrosivo a los ojos por lo que las salpicaduras son muy peligrosas; pueden provocar desde una gran irritación en la córnea, ulceración, nubosidades y, finalmente su desintegración. En casos más severos puede haber ceguera permanente, por lo que los primeros auxilios inmediatos son vitales.

Por contacto con la piel: tanto el NaOH sólido, como en disoluciones concentradas es altamente corrosivo a la piel. Se han hecho biopsias de la piel en voluntarios a los cuales se aplicó una disolución de NaOH 1 N en los brazos de 15 a 180 minutos, observándose cambios progresivos, empezando con disolución de células en las partes callosas, pasando por edema y llegar hasta una destrucción total de la epidermis en 0 minutos. Las disoluciones de concentración menor de 0.12% dañan la piel en aproximadamente 1 hora. Se han reportado casos de disolución total de cabello, calvicie reversible y quemaduras del cuero cabelludo en trabajadores expuestos a disoluciones concentradas de sosa por varias horas. Por otro lado, una disolución acuosa al 5%, genera necrosis cuando se aplica en la piel de conejos por 4 horas.

Por ingestión: causa quemaduras severas en la boca; si e traga, el daño es, además, en el esófago, produciendo vómito y colapso.

Carcinogenicidad: este producto está considerado como posible causante de cáncer de esófago, aún después de 12 a 42 años de su ingestión. La carcinogénesis puede deberse a la destrucción del tejido y formación de costra, más que por el producto mismo.

Mutagenicidad: se han encontrado que este compuesto no es mutagénico.

12.6.- PLAN DE INSPECCIONES

El almacenamiento tendrá un plan de revisiones propias e inspecciones para comprobar la disponibilidad y el buen estado de las instalaciones.

Se dispondrán de un registro de las instalaciones realizadas y un historial de los equipos, a fin de comprobar que no se sobrepase la vida útil de los mismos que tengan definidas y control de las reparaciones y/o modificaciones efectuadas en los mismos. El plan consiste, al menos, en:

A. Sosa Cáustica:

- Semanal:

Comprobación de duchas y lavaojos.

Comprobación visual de equipos de protección personal y equipos y sistemas de protección contra incendios (además de lo indicado por fabricante e instaladores).

- Anual:

Inspección exterior de los depósitos, incluyendo:

- Comprobación visual del correcto estado de los cubetos, cimentaciones de recipientes, vallado, cerramiento, drenajes, bombas, equipos, instalaciones auxiliares, alarmas y enclavamientos.
- Comprobación en los recipientes y tuberías del estado de las paredes y medición de espesores si se observase algún deterioro en el momento de la revisión.
- Verificación de los venteos en caso de no existir documento justificativo de haber efectuado pruebas periódicas por el servicio de mantenimiento de la planta.
- Comprobación del correcto estado de las mangueras, acoplamientos y brazo de carga.

- Cada Cinco Años:

Inspección exterior de los depósitos, incluyendo, además de las indicadas en el punto anterior, la toma de espesores de recipientes y tuberías metálicas.

El titular de la instalación, deberá presentar en la Delegación Provincial de la Consejería de empleo y Desarrollo Tecnológico de la Junta de Andalucía, Servicio de Industria, el certificado de Organismos de Control Autorizado, donde se acredite la conformidad de las instalaciones con los preceptos de la instrucción técnica complementaria, según la MIE-ITC-APQ 6.

B. Ácido Sulfúrico:

- Semanal:

Comprobación de duchas y lavajos.

Comprobación visual de equipos de protección personal y equipos y sistemas de protección contra incendios (además de lo indicado por fabricante e instaladores).

- Anual:

Inspección exterior de los depósitos, en donde se harán constar todas las deficiencias al titular de la instalación y éste proveerá su inmediata reparación, efectuando la comprobación de:

- Espesores
- Estanqueidad
- Señalizaciones
- Operatividad de válvulas y controles
- Duchas y lavajos. Las duchas y lavajos deberán ser probados, como mínimo, una vez a la semana, como parte de la rutina operatoria del almacenamiento

- Equipos de protección personal. Los equipos de protección personal se revisarán periódicamente siguiendo las instrucciones de sus fabricantes/suministradores

- Equipos y sistemas de protección contra incendios

- Cada Cinco Años:

Inspección por inspector propio, incluyendo al menos:

- Duchas y lavaojos
- Equipos de protección personal
- Equipos y sistemas de protección contra incendios
- Fundaciones
- Pernos de andaje
- Toma de tierra
- Niveles indicadores
- Tubuladuras
- Pintura y aislamiento
- Asentamientos
- Válvulas y accesorios
- Estado de cerramientos y/o recubrimientos
- Estado del suelo y/o recubrimientos
- Estado de arquetas de drenajes y pasamuros si existen
- Operatividad y controles

- Cada Diez Años:

Inspección interior de los depósitos, con las revisiones antes enunciadas, y coincidiendo con ésta la inspección periódica oficial, extendida por Órgano de Control Autorizado, incluyendo al menos:

- Comprobación visual superficial del recipiente y del recubrimiento
- Control de estanqueidad
- Control de soldaduras
- Funcionamiento de los sistemas de venteos normal y de emergencia, y los de alivio de presión

12.7.- PLAN DE EMERGENCIA

En toda instalación de almacenaje de líquidos corrosivos, deberá tener preparado un plan de emergencia con consignas concretas y precisas en caso de siniestro. El plan será del conocimiento de todo el personal afecto a la instalación del almacenaje.

Será instalado un indicador de la dirección del viento al objeto de orientar al personal sobre el sentido de propagación de la fuga en caso de siniestro.

Cuando se produzca fugas de líquidos, habrá de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Solamente las personas especialmente adiestradas y provistas del equipo de seguridad podrán permanecer en lugar contaminado para realizar las maniobras precisas para su neutralización.

- El personal que deba intervenir conocerá el Plan de Emergencia y realizará periódicamente ejercicios prácticos de simulación de siniestros, y como mínimo una vez al año, quedando evidenciado su realización.

12.7.1.- Acciones de Emergencia

- Primeros Auxilios:

Inhalación: retirar del área de exposición hacia una bien ventilada. Si el accidentado se encuentra inconsciente, no dar a beber nada, dar respiración artificial y rehabilitación cardiopulmonar. Si se encuentra consciente, levantarlo y sentarlo lentamente, suministrar oxígeno, si es necesario.

Ojos: lavar con abundante agua corriente, asegurándose levantar los párpados, hasta la eliminación total del producto.

Piel: quitar la ropa contaminada inmediatamente. Lavar el área afectada con abundante agua corriente.

Ingestión: no provocar vómito. Si el accidentado se encuentra inconsciente, tratar como en el caso de inhalación. Si está consciente, dar de beber una cucharada de agua inmediatamente y después, cada 10 minutos.

En todos los casos de exposición, el paciente debe ser transportado al hospital tan pronto como sea posible.

- Control de fuego:

Pueden usarse extintores de agua en las áreas donde haya fuego y se almacene NaOH, evitando que haya contacto directo con el compuesto.

- Fugas o derrames:

En caso de derrame, ventilar el área y colocarse la ropa de protección necesaria, como lentes de seguridad, guantes, overoles químicamente resistentes, botas de seguridad, etc.

En el caso de NaOH, mezclar el sólido derramado con arena seca, neutralizar con HCl diluido, diluir con agua, decantar y tirar al drenaje. La arena, puede desecharse como basura doméstica. Si el derrame es una disolución, hacer un dique y neutralizar con HCl diluido, agregar gran cantidad de agua y tirar al drenaje.

- Desechos:

El ácido sulfúrico, en pequeñas cantidades, se absorberá con arenas y serán depositadas en contenedores para ser retirados a depuración y tratamiento, y a vertedero controlado.

En el caso de la sosa, para pequeñas cantidades, agregar lentamente y con agitación, agua y hielo. Ajustar el pH a neutro con HCl diluido. La disolución acuosa resultante, se puede tirar diluyéndola con agua. Durante la neutralización se desprende calor y vapores, por lo que debe hacerse lentamente y en un lugar ventilado adecuadamente.

13.- CONTROL DEL PROCESO

El sistema de control diseñado para la planta objeto del presente Proyecto, permitirá tanto el control manual como el control automático de la misma, de manera que ante un eventual fallo en cualquiera de los dos sistemas de control no impida su adecuado funcionamiento.

13.1.- CONTROL MANUAL

Este control es la forma de control más simple, pero indispensable en caso de fallo en el sistema de control automático. Se basará en una correcta distribución de las válvulas que cierran o regulan el paso de los distintos fluidos, ya sean los líquidos regenerantes o el agua que se está tratando.

13.2.- 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 instalará en la instalación un control secuencial de procesos debido a las características de funcionamiento de la planta. Para dicho control, se usará un autómata programable, también conocido como controlador lógico programable (CLP) de gama, que son sistemas digitales especialmente diseñados para estos fines y que además incorporan otras funciones como contadores, temporizadores y reguladores PID.

La programación del CLP así como el control y el seguimiento de las operaciones en planta se realizarán a través de un PC, con lo que se tendrá también control por computador, cuyas ventajas:

- Mayor eficiencia en el control
- Gran flexibilidad del sistema
- Invariabilidad de los cálculos de diseño de este sistema de control en el 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

Todos los sensores, alarmas y dispositivos, tendrán una salida de señal eléctrica normalizada de 4 – 20 mA con la cual enviarán su lectura al CLP.

13.3.- VÁLVULAS

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 regulación
 - Válvulas de 3 vías
 - Válvulas de 4 vías
 - 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 desgasificada, 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 Bola

- o Válvulas de 3 vías

En la planta se dispondrán de un total de 36 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.

- o Válvulas de 4 vías

Se instalarán en la planta 3 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.

- 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 justo de después de los depósitos de los regenerantes, de los depósitos de dilución y del depósito de almacenamiento de agua desionizada.

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.



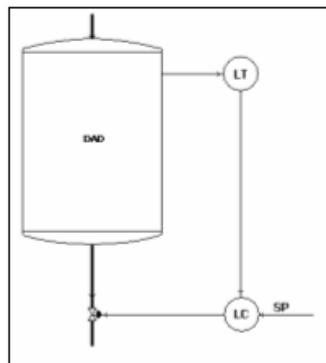
Válvula de mariposa

13.4.- CONTROL DE NIVEL

La medida del nivel alcanzado por un líquido en un tanque o en un depósito es una de las tareas más comunes en la industria. El grado de complejidad del problema depende tanto de las propiedades del líquido, como de las condiciones de servicio.

Se dispondrán de varios lazos de control de nivel repartidos por todo el sistema con el objetivo común de señalar y controlar los niveles de los líquidos en los depósitos.

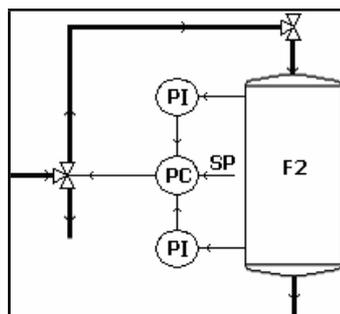
Los depósitos en donde se ubicarán estos controles de nivel son los depósitos de almacenamiento de H_2SO_4 y $NaOH$, al igual que sus respectivos depósitos de dilución, el depósito de almacenamiento de agua desgasificada y el de almacenamiento de agua desionizada. Con estos controles de nivel se pretende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



13.5.- CONTROL DE PRESIÓN

En la instalación habrá tres unidades que precisen de sensores de presión, que son las dos columnas de filtración y la columna de desgasificación.

En los filtros 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 carbón activo. 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 de carbón activo 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 de carbón activo.

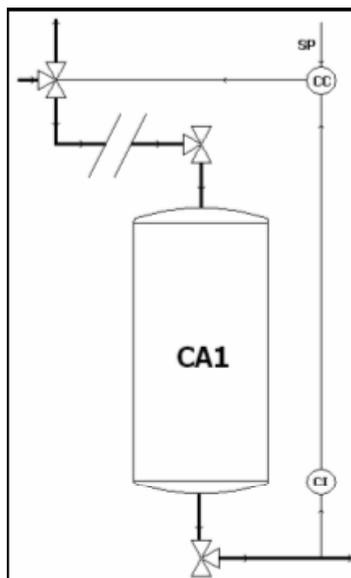


En el caso de la columna de desgasificación no se dispondrá de un lazo de control, sino que sólo se instalará un sensor de presión para controlar la pérdida de carga dentro de la columna, esto ayudará a evitar diversos problemas derivados de obstrucciones en orificios, problemas con el relleno, etc.

13.6.- CONTROL DE CONDUCTIVIDAD

Estos lazos de control se implantarán a las salidas de las columnas de intercambio aniónico, justo antes del deposito de almacenamiento de agua desionizada y que nos proporcionara información de la calidad del agua de salida de un modo continuo.

Cuando el conductímetro detecte una conductividad igual a $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ se transmitirá una señal a la válvula de 3 vías que hará que deje de circular agua hacia esa cadena de intercambio iónico y se pondría entonces en funcionamiento la otra cadena que estaba parada. 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.



13.7.- CAUDILÍMETROS

En la planta se encontrarán algunos medidores de caudal, para conocer el caudal que recorre la instalación en todo momento. Estarán ubicados de tal forma que se pueda controlar el caudal de alimentación, las corrientes de regenerantes y el agua para lavado de las columnas de intercambio iónico (agua desgasificada para la columna catiónica y agua desionizada para la columna aniónica).

14.- BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía consultada para la realización de este Proyecto Fin de Carrera con el título de "Diseño de una planta intercambio de iones para producir agua desionizada de proceso", es la que se muestra a continuación:

14.1.- LIBROS DE TEXTO

- Ø Perry, "Manual del Ingeniero Químico", 7ª Ed., Ed. Mc Graw-Hill.
- Ø A. Vian y J. Ocón, "Elementos de Ingeniería Química (Operaciones Básicas)", 2ª Ed., Ed. Aguilar.
- Ø W. McCabe y J. Smith, "Operaciones Básicas de Ingeniería Química", Ed. Reverté, S.A.
- Ø R.E. Treybal, "Operaciones de transferencia de masa", 2ª Ed., Ed. Mc Graw-Hill.
- Ø J.M. Coulson, "Ingeniería Química", 3ª Ed., Ed. Reverté, S.A.
- Ø O. Levenspiel, "Flujo de fluidos e Intercambio de calor", Ed. Reverté, S.A.
- Ø Frank R. Spellman, "Handbook of water and wastewater treatment plant operations", Ed. Lewis Publishers.

14.2.- PÁGINAS DE INTERNET

- Ø <http://www.ion-exchange.com>
- Ø <http://hispagua.cedex.es/>
- Ø <http://www.lenntech.com/>
- Ø <http://www.aquasalud.com>
- Ø <http://www.deisa.es>
- Ø <http://webs.ono.com/desmineralizadores/>
- Ø <http://www.graver.es>
- Ø <http://www.nosslin.es>
- Ø <http://www.idagua.com/>
- Ø <http://www.ciberteca.net>
- Ø <http://www.carbonactivo.com>
- Ø <http://www.supercable.es/~urso/filtroca.htm>
- Ø <http://www.ahmsa.com>
- Ø <http://www.plavisa.com>
- Ø <http://www.rohmhaas.com>
- Ø <http://www.dow.com>
- Ø http://www.tecnociencia.es/especiales/intercambio_ionico
- Ø <http://www.airtechnics.com>
- Ø <http://www.itur.es/>
- Ø <http://www.cepex.com>
- Ø <http://www.liqui-cel.com.mx>
- Ø <http://www.koboldmessring.biz/es/es/homepage/index.html>
- Ø <http://www.ffii.nova.es/puntoinformcyt/formulario-lseg01.asp>
- Ø <http://www.matweb.com>
- Ø <http://www.mtas.es>
- Ø <http://www.aboutpvc.org>
- Ø <http://www.aiqsa.com>
- Ø <http://www.savinobarbera.com>



**DISEÑO DE UNA PLANTA DE INTERCAMBIO DE IONES PARA PRODUCIR AGUA
DESIONIZADA DE PROCESO**



En San Fernando a 1 de Junio de 2007

Fdo: Alberto Carrillo Aragón

ANEXOS
A LA
MEMORIA

ÍNDICE DE LOS ANEXOS A LA MEMORIA

q ANEXO I: INTERCAMBIADOR DE IONES.....	163
q ANEXO II: DESGASIFICADOR.....	219
q ANEXO III: DEPÓSITOS DE REGENERANTES, FILTROS Y AGUA DESIONIZADA.....	245
q ANEXO IV: TUBERÍAS.....	260
q ANEXO V: BOMBAS.....	265
q ANEXO VI: INFORME AMBIENTAL.....	272
q ANEXO VII: PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	281
q ANEXO VIII: FICHAS DE SEGURIDAD.....	286
q ANEXO IX: FICHAS TÉCNICAS.....	307

ANEXO I: INTERCAMBIADOR DE IONES

INTRODUCCIÓN

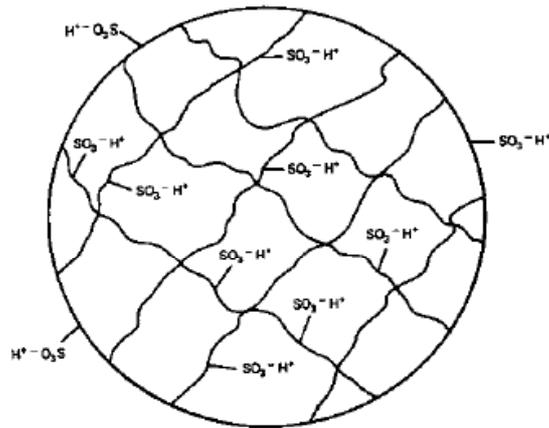
El intercambio iónico es una operación de separación mediante la que partículas sólidas que contienen cationes o aniones intercambiables se ponen en contacto con una solución electrolítica para cambiar la composición de la solución.

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

Los sólidos intercambiadores de iones que se utilizaron inicialmente fueron minerales porosos, naturales o sintéticos, que contenían sílica, como las arcillas y zeolitas. Actualmente se utilizan resinas sintéticas, denominadas resinas de intercambio iónico.

Las resinas de intercambio iónico son matrices poliméricas entrecruzada con una distribución uniforme de iones-sitios activos a través de su estructura. Tienen geometría esférica, una 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.



Las resinas intercambiadoras se pueden clasificar:

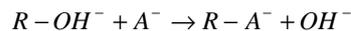
- Según la estructura de la matriz:
 - Gel: microporosas, mayor regeneración
 - Macroporosa: porosidad artificial, mayor estabilidad, mayor capacidad

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.

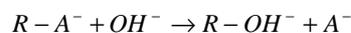
La capacidad hace referencia a la disponibilidad de la resina para almacenar iones en su esqueleto. Esta capacidad es limitada: cuando se alcanza el equilibrio entre la resina y la disolución que pasa a su través, ésta no modifica su composición.

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

- Intercambiadores Aniónicos: retiran los aniones de la solución líquida que pasa a su través, cediendo iones hidroxilos (OH^-).

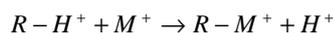


Cuando la resina se agota debido a que se ha alcanzado el equilibrio, se regenera con una solución básica (de hidróxido sódico diluido) que cede iones hidroxilos que desplazan a los iones A^- retenidos en la resina:

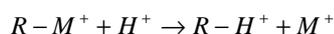


Estas resinas suelen contener grupos aminas.

- Intercambiadores Catiónicos: retiran los cationes de la solución líquida que pasa a su través, cediendo protones (H^+).



Cuando la resina se agota debido a que se ha alcanzado el equilibrio, se regenera con una solución ácida (de sulfúrico o clorhídrico diluido) que cede protones que desplazan a los cationes retenidos en la resina:



Estas resinas suelen contener grupos carboxílicos, sulfónicos o fenólicos.

A la hora de seleccionar una resina de intercambio iónico hay que tener en cuenta una serie de factores como son:

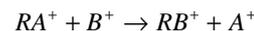
§ La capacidad de la resina. Hay que distinguir entre a capacidad total, que hace referencia al número total de sitios disponibles para el intercambio; y la capacidad operativa, que es una medida del funcionamiento práctico obtenido cuando el material de intercambio iónico opera en unas condiciones determinadas: capacidad total, nivel de regeneración, velocidad de flujo, temperatura, tamaño, etc.

§ La expansión de la resina, debido a la hidratación de los grupos iónicos fijados en la matriz polimérica.

§ La selectividad, K_A^B , definida como:

$$K_A^B = \frac{\bar{m}_B}{\bar{m}_A} \cdot \frac{m_A}{m_B}$$

Donde, para el proceso:



B^+ indica en disolución; A^+ , en la resina; \bar{m} , concentración en la resina y m , concentración en la disolución.

§ La cinética o velocidad a la que se produce el intercambio. Esta velocidad depende de la velocidad de difusión de los iones desde el seno de la fase fluida hasta la superficie del sólido, de la difusión interna de iones a través de la partícula sólida hasta el sitio de intercambio, 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.

Al igual que en el resto de operaciones de separación en las que se opere en continuo en columnas, para diseñar éstas hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El parámetro crítico es la velocidad de flujo a través de las resinas, expresado como caudal por unidad de área ($m^3/h/m^2$).
- En función del caudal de agua de alimentación se obtiene un valor máximo para el diámetro de la columna intercambiadora.
- Establecida la sección de la columna iónica para la que la velocidad de flujo a través de las resinas esté dentro del rango establecido por el fabricante, se determina la altura del lecho.
- La relación entre la altura y el diámetro es un factor geométrico importante desde el punto de vista del diseño mecánico y operacional. La altura de la columna vendrá limitada por la caída de presión a través del lecho.

Las características de la resina también influyen en el diseño de la columna:

- El tipo y volumen de resina en la columna determina la capacidad de intercambio, y por tanto, el tiempo de operación hasta la colmatación del lecho intercambiador.

- Tiempos muy grandes implican mayores volúmenes de resina y, por tanto, mayores secciones de columna.
- Secciones muy grandes implican velocidades de flujo pequeñas, fuera de las aconsejadas por el fabricante.

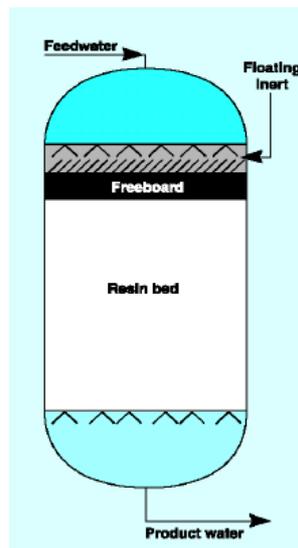
Actualmente, una de las tecnologías más utilizadas en algunos campos, como el de la desmineralización, debido a sus numerosas ventajas tanto de operación como de regeneración, es la denominada Tecnología Upcore, basada en columnas, que operan en contracorriente, con la siguiente disposición:

- Distribuidor: Permite la adecuada entrada de la solución a la columna, de forma uniforme, evitando la formación de caminos preferenciales a través del lecho en la medida de lo posible.
- Resina inerte: La resina inerte está compuesta de esferas de polipropileno con un tamaño aproximado de 1,0 a 2,0 mm de diámetro. Estas partículas de resina inerte poseen un tamaño de partícula superior a las resinas de intercambio y una densidad menor que la del agua. Esto hace que durante la etapa de regeneración a contracorriente, la resina de intercambio no pueda escapar de la columna. 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.
- Espacio libre (freeboard): Es el espacio libre que es necesario dejar para la etapa de compactación y en la regeneración a contracorriente. Durante la compactación, la resina iónica se desplaza por la inyección de agua desmineralizada desde la parte inferior de la columna hasta la parte

superior de la misma compactándose con la capa de resina inerte situada en la parte superior.

- Resina de intercambio iónico: La resina de intercambio iónico se sitúan en la parte inferior de la columna durante el ciclo de operación, y en la parte superior durante la regeneración. El tamaño de estas esferas debe ser lo más uniforme posible para optimizar así el proceso y minimizar las pérdidas de carga a través del relleno.
- Colector: Se encarga de canalizar y concentrar la salida del líquido. Su diseño estará dirigido a minimizar las pérdidas de carga.

En cuanto al material constituyente del recipiente, debe soportar el peso de las resinas y de todos los accesorios que dispone. El material del depósito debe ser lo suficientemente resistente a la corrosión en medio ácido y básico, ya que se trabajará con soluciones ácidas y/o básicas durante la regeneración.



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 carbón activos, son las siguientes:

Propiedad	Valor
pH	7.9
Temperatura	25 °C
Conductividad	650 μ S/cm
Dureza Total	256 mg (CaCO ₃ /l)
Alcalinidad	132 mg (CaCO ₃ /l)
Turbidez	0
Color	0
Sílice (SiO ₂)	2 mg (CaCO ₃ /l)

Los datos consignados en esta hoja de análisis, deben entenderse como valores medios. Las propiedades de esta agua de entrada varían según la estación del año y otras características, como por ejemplo la escasez de agua.

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

Cationes	[] en mg de CaCO₃/l	Aniones	[] en mg de CaCO₃/l
Calcio (Ca ²⁺)	220	Bicarbonato(HCO ₃ ⁻)	116
Magnesio (Mg ²⁺)	36	Carbonato (CO ₃ ²⁻)	16
Sodio (Na ⁺)	52	Sulfato (SO ₄ ²⁻)	92
		Cloruro (Cl ⁻)	88
		Nitrato (NO ₃ ⁻)	32
Total Cationes	308	Total Aniones	344

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE SALIDA

Una vez que haya sufrido el proceso de intercambio iónico, el agua que sale de la planta debe tener unas características determinadas para que pueda ser usada en los distintos procesos en los que sea necesaria el agua desmineralizada.

Dichas propiedades se quedan recogidas en la siguiente tabla:

Propiedad	Valores
Dureza Total	0
Alcalinidad	< 0.1 ppm
pH	7 ± 0.5
Conductividad	0.5 m μ /cm
Sílice (SiO ₂)	< 0.02 ppm
Total Cationes	< 0.1 ppm
Total Aniones	< 0.1 ppm

Para saber cuando 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 $0.5 \text{ m}\cdot\text{S}/\text{cm}$, pero el agua desionizada de procesos se puede utilizar hasta un límite que no puede llegar hasta $20 \text{ m}\mu/\text{cm}$, que es el punto de ruptura. El punto de ruptura marca el punto en el cual el sistema debe parar para proceder a la regeneración de las resinas. El punto de ruptura marcará la alarma en el sistema de control puesto que son valores que nunca se deben de alcanzar.

CARACTERÍSTICAS DE LAS RESINAS

Antes de comenzar a diseñar las torres de intercambio iónico, hay que seleccionar los tipos de resinas de intercambio iónico que se va a utilizar. En esta planta se trabajará con resinas catiónicas fuertemente ácidas y resinas aniónicas fuertemente básicas, las cuales se obtendrán de la empresa Rohm and Haas, la cual ofrece la siguiente tabla con los distintos tipos de resinas intercambiadoras para procesos químicos.

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. Hay se selecciona los dos tipos de resinas que se usaran:

- AMBERLYST 119WET; 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 [m³]	Moisture Content [%]	Particle Size [mm]	Shipping Weight [kg]	Recommended Max. Op. Temperature [°C]	Remarks
Brine Softening									
AMBERLITE IRCAT	Ammonium/strongly cationic	MR Styrene	Na	1.75	94-98	0.30 - 1.00	755	80	Hardware removed from NaCl solutions in membrane chlor-alkali plants. Highest selectivity for Ca and Mg.
AMBERLITE IRC14	Ammonium/strongly cationic	MR Styrene	Na	1.35	90-95	0.30 - 1.00	700	80	Hardware removed from NaCl solutions in membrane chlor-alkali plants. Highest selectivity for Sr and Ba.
AMBERLITE CT33	Thiourea	MR Styrene	Cl	1.20	50-56	0.30 - 1.00	785	80	Removal of Hg from NaCl and NaClO. Regenerable with concentrated HCl.
Boron Removal									
AMBERLITE IRA143	N-Methylglucosamine	MR Styrene	Cl ⁽¹⁾	0.60	48-54	0.30 - 1.18	700	75	Boron removal from concentrated MgCl ₂ solutions, agricultural water supplies and waste waters.
Mercury Removal									
AMBERLITE CT31	Thiourea	MR Styrene	Cl	1.20	50-56	0.30 - 1.00	785	80	Removal of Hg, Ag, Cu, Cd and other heavy metals from aqueous and non-aqueous streams with hydrochloric acid. Regenerable with concentrated HCl.
Purification of Aqueous and Organic solutions									
AMBERLITE 118W4	Strong acid	Cellulose	Cl	1.80	48-55	0.43 - 0.80	800	130	Uniform particle size. General demineralization processes.
AMBERLITE 15W4	Strong acid	MR Styrene	Cl	1.70	52-57	0.25 - 1.18	770	120	Plating bath regeneration.
AMBERLITE 40W4	Strong acid	MR Styrene	H	2.20	44-53	0.40 - 1.18	800	140	High capacity resin for plating bath regeneration and rinse water recycling.
AMBERLITE A21	Weak base	MR Styrene	Cl	1.30	54-60	0.30 - 1.18	660	100	Purification of organic compounds (phenol, glycerol, etc.) from water recycling (demineralization).
AMBERLITE A23	Weak base	MR Phenol/Cellulose	Cl	1.80	60-65	0.30 - 1.18	650	100	Phenol demineralization.
AMBERLITE A24	Weak base	Cellulose	Cl	1.60	56-54	0.30 - 1.18	700	100	Removal of Fe ²⁺ and Zn ²⁺ from HCl. Ag recovery from photographic effluents.
AMBERLITE 508-021	Strong base	MR Styrene	OH	0.80	66-75	0.20 - 1.18	675	80	Removal of heavy metals from aqueous streams.
AMBERLITE 400 Cl	Strong base	Cellulose	Cl	1.30	49-55	0.70 - 0.10	670	80	Uniform particle size. Removal of Fe ²⁺ and Zn ²⁺ from HCl.
AMBERLITE IRA410 Cl	Strong base	Cellulose	Cl	1.25	45-51	0.30 - 1.18	680	80	Ag recovery from photographic effluents.
AMBERLITE IRA410 Cl	Strong base	MR Acrylic	Cl	1.35	40-48	0.30 - 1.18	700	80	Removal of heavy metals from aqueous streams where the salt background is not very high.
AMBERLITE IRA410 Cl	Strong base	MR Acrylic	Cl	1.35	40-48	0.30 - 1.18	700	80	Removal of heavy metals from aqueous streams where the salt background is not very high.
AMBERLITE IRA410 Cl	Strong base	MR Acrylic	Cl	1.35	40-48	0.30 - 1.18	700	80	Removal of heavy metals from aqueous streams where the salt background is not very high.
AMBERLITE IRA410 Cl	Strong base	MR Acrylic	Cl	1.35	40-48	0.30 - 1.18	700	80	Removal of heavy metals from aqueous streams where the salt background is not very high.
Hydrodemetalization									
AMBERLITE 400 Cl	Strong base	Cellulose	Cl	1.40	40-48	0.18 - 0.05	720	80	Hydrogen peroxide purification.
AMBERLITE IRA400 Cl	Strong base	Cellulose	Cl	1.40	40-47	0.30 - 1.18	720	80	Uniform particle size. Uranium recovery in food and oil demulsification systems.
AMBERLITE IRA400 Cl	Strong base	MR Styrene	Cl	1.00	58-54	0.30 - 1.18	700	80	Gold recovery from cyanide leach liquors. Fractional metals recovery.
AMBERLITE IRA400 Cl	Strong base	MR Styrene	Cl	1.00	54-51	0.40 - 0.10	700	80	Uranium recovery.
AMBERLITE IRA400 Cl	Strong base	MR Acrylic	Cl	0.80	55-72	0.35 - 1.18	720	80	Removal and recycling of cyanide from borax leach liquor in gold hydrodemetalization.

Notes: (1) The usual matrix for only limited releases for the following capacity. (2) All values are subject to variation and can change without notice. They have been selected or adapted to meet the requirements of the application. (3) High recovery capacity (see package leaflet) and optimal regenerability. (4) Fine mesh for superior DCS performance. (5) Chloride form.

(N) Softening acid
(R) Reverse osmosis
(S) Strongly cationic
(1) Type 1, secondary amine
(2) Type 2, tertiary amine

- Resina Catiónica:

Como se ha comentado, la resina AMBERLYST 119WET, 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.

PROPERTIES

Physical form _____	Light brown spherical beads
Ionic form as shipped _____	Hydrogen
Concentration of acid sites ^[1] _____	≥ 1.80 eq/L ^[1] > 4.90 eq/kg
Moisture holding capacity ^[1] _____	49 to 55 %
Shipping weight _____	800 g/L (50 lbs/ft ³)
Particle size _____	
Harmonic mean size _____	0.580 - 0.680 mm
Uniformity coefficient ^[1] _____	≤ 1.20
Fines content ^[1] _____	< 0.300 mm : 0.1 % max
Coarse beads _____	> 0.850 mm : 10.0 % max
Shrinkage _____	Water to methanol : 13 % Water to n-Butanol : 10 %

^[1] Contractual value

Suggested Operating Conditions

Minimum bed depth _____	60 cm (24 inches)	
Service flow rate _____	5 to 50 BV*/h	
Regenerant _____	HCl	H ₂ SO ₄
Flow rate (BV/h) _____	2 to 5	2 to 20
Flow rate (gpm/ft ³) _____	0.25 to 0.625	0.25 to 2.5
Level (g/L) _____	40 to 150	40 to 200
Level (lbs/ft ³) _____	2.5 to 9	2.5 to 12
Concentration (%) _____	4 to 10	1 to 8
Minimum contact time _____	20 minutes	
Slow rinse _____	2 BV (15 gal/ft ³) at regeneration flow rate	
Fast rinse _____	1 to 3 BV (7.5 to 22.5 gal/ft ³) at service flow rate	

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

- Resina Aniónica

En el caso de la Resina AMBERLYST A26 OH (resina aniónica básica fuerte, tipo 1), su matriz es de tipo macrorreticular 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 macrorreticular y la distribución de tamaños de poros, le concede una resistencia superior al choque mecánico y osmótico.

PROPERTIES

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

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 ²)
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 ²)

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m² resin.

DISEÑO DE LA COLUMNA CATIONICA

Hay que calcular el volumen necesario de resina catiónica AMBERLYST 119WET, dimensionar la columna y establecer los diversos caudales que por ella circularán.

La composición catiónica del agua de entrada a la columna es la siguiente:

Cationes	Mg CaCO ₃ /l
Calcio (Ca ²⁺)	220
Magnesio (Mg ²⁺)	36
Sodio (Na ⁺)	52

El caudal máximo de agua, para el cual será diseñada la planta de intercambio iónico es el siguiente:

$$Q = 23 \frac{m^3}{h} = 23000 \frac{l}{h}$$

Para este caudal de entrada, la carga catiónica (CC) será la suma de todas las especies catiónicas antes nombradas.

$$CC = 308 \frac{mg \text{ CaCO}_3}{l} = 6.10 \frac{meq}{l}$$

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

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

En base a la experiencia de otras plantas similares, se toma como tiempo de duración de cada ciclo de operación, 24 horas (t_c). Un ciclo de mayor duración precisará mayor cantidad de resina y por tanto una columna de diámetro mayor, lo cual disminuye la velocidad lineal del líquido por debajo de los valores recomendados por el fabricante y aumentará el coste del inmovilizado.

Ø Capacidad Operativa, Capacidad instalada y Volumen de Resina Necesario

A partir de los datos anteriores se obtiene la oferta iónica (IO)

$$OI = CC \cdot Q \cdot t_c = 6.10 \cdot 10^{-3} \left(\frac{eq}{l} \right) \cdot 23000 \left(\frac{l}{h} \right) \cdot 24 \left(\frac{h}{ciclo} \right) = 3366.65 \frac{eq}{ciclo}$$

La capacidad operativa (C_{op}) depende del regenerante usado, en el caso actual hablamos de H_2SO_4 al 8% 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 la oferta iónica y de la capacidad operativa, se puede obtener el volumen necesario de resina (V_R).

$$V_R = \frac{OI}{C_{op}} = \frac{3366.65 (eq)}{1.8 (\frac{eq}{l})} = 1870.36 l$$

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 para el volumen.

$$V_R = 1870.36 l \cdot 10\% = 2057.40 l \xrightarrow{\text{Sacos 25 litros}} 2075 l$$

$$V_R = 2075 l = 2.08 m^3$$

Otro dato que es necesario conocer es la capacidad instalada (C_{ins}), la cual viene determinada por el volumen de la resina y la capacidad operativa.

$$C_{ins} = V_R \cdot C_{op} = 2075 (l) \cdot 1.8 (\frac{eq}{l}) = 3735 \frac{eq}{ciclo}$$

Ø Dimensionamiento de la Columna

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

○ Diámetro de la columna (D_c): este dato se tomará de la experiencia, en donde el diámetro es de 1.6 m (1600 mm).

○ Área de Paso de la Columna (A):

$$A = \pi \cdot \frac{D_c^2}{4} = 2.01 \text{ m}^2$$

○ Altura del Lecho (h_l): tiene que estar dentro de las recomendaciones del fabricante:

$$h_l = \frac{V_R}{A} = \frac{2.08 \text{ m}^3}{2.01 \text{ m}^2} = 1.03 \text{ m} > 0.6 \text{ m}$$

○ Expansión Máxima (E_{\max}): por indicaciones del fabricante, esta expansión es del 10 %.

$$E_{\max} = h_l \cdot 10\% = 0.103 \text{ m}$$

○ Altura del Lecho Expandido (h_{le}):

$$h_{le} = h_l + E_{\max} = 1.135 \text{ m}$$

○ Volumen de Resina Inerte (V_i): por recomendaciones del fabricante y por datos de la experiencia, éste será de 0.55 m³ (550 l).

○ Altura de la Resina Inerte (h_i):

$$h_i = \frac{V_i}{A} = \frac{0.55 \text{ m}^3}{2.01 \text{ m}^2} = 0.274 \text{ m}$$

○ Altura de la Zona Libre (Freeboard) (h_{FB}): en este caso se toma el valor de la bibliografía, en el cual se nos recomienda una h_{FB} de 23 mm (0.023 m).

○ Altura Cilíndrica de la columna (h_c): es el sumatoria de las anteriores alturas.

$$hc = h_{ie} + h_i + h_{FB} = 1.432 \text{ m}$$

○ Velocidad de Flujo (v):

$$Q = v \cdot A \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{23 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{2.01 (m^2)} = 11.44 \frac{m}{h} = 0.003 \frac{m}{s}$$

○ Volumen del Lecho (Bed Volume) (BV): el volumen que ocupa los dos tipos de resinas dentro de la columna, la catiónica y la inerte.

$$BV = (h_{ie} + h_i) \cdot A = (1.135 \text{ m} + 0.274 \text{ m}) \cdot 2.01 \text{ m}^2 = 2.83 \text{ m}^3$$

○ 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 $3/2$.

$$\frac{H}{D} = \frac{h_c}{D_c} = \frac{1.432 \text{ m}}{1.6 \text{ m}} = 0.89$$

$$\frac{2}{3} < 0.89 < \frac{3}{2}$$

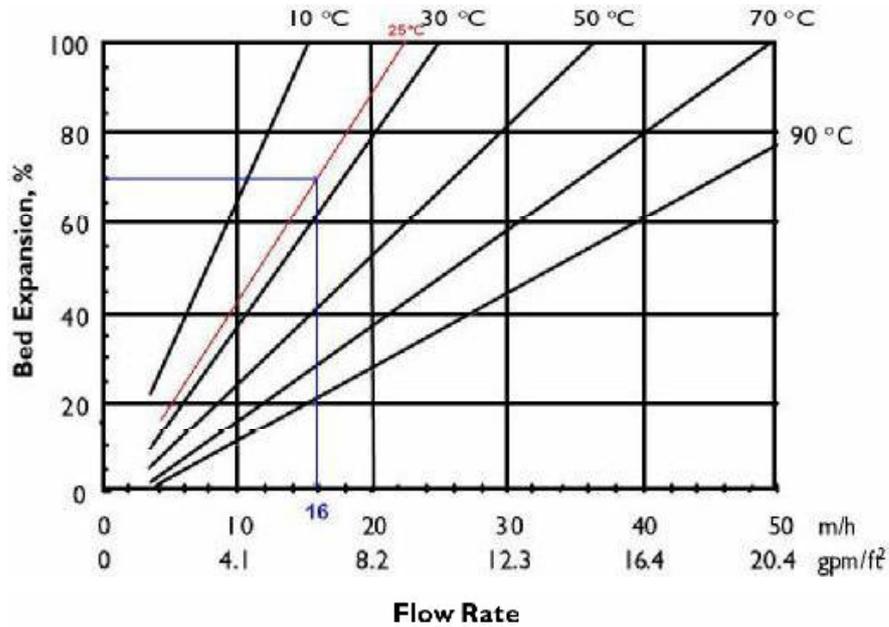
A continuación se muestra una tabla resumen con todos los datos dimensionales de la columna de intercambio catiónico.

Diámetro de columna (D_c)	1.6 m
Área de paso de la columna (A)	2.01 m ²
Altura del lecho (h_l)	1.032 m
Altura del lecho expandido (h_{le})	1.135 m
Altura del lecho inerte (h_i)	0.274 m
Altura del freeboard (h_{FB})	0.023 m
Altura cilíndrica (h_c)	1.432 m
Volumen de resina inerte (V_i)	0.55 m ³
Velocidad lineal del líquido (v)	0.003 m/s
Volumen del lecho (BV)	2.83 m ³
Relación Altura/Diámetro (H/D)	0.89

Ø Diseño del Proceso de Regeneración

- Compactación del Lecho

El fabricante recomienda una velocidad de compactación (v_{comp}) 3 veces la de retrolavado convencional, la cual corresponde al 60-80 % de una expansión en un retrolavado convencional. Se usará el dato medio para la expansión (70%) y usando la gráfica que nos da el fabricante, la cual muestra la velocidad de retrolavado de la resina AMBERLYST 119WET en función de la expansión del lecho y de la temperatura.



$$v_{\text{retrolavado}} = 16 \frac{m}{h}$$

$$v_{\text{comp}} = 3 \cdot v_{\text{retrolavado}} = 3 \cdot 16 \frac{m}{h} = 48 \frac{m}{h}$$

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

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

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

$$Q_{\text{comp}} = v_{\text{comp}} \cdot A = 48 \left(\frac{m}{h}\right) \cdot 2.01 (m^2) = 96.51 \frac{m^3}{h}$$

$$V_{\text{comp}} = Q_{\text{comp}} \cdot t_{\text{comp}} = 96.51 \left(\frac{m^3}{h}\right) \cdot 0.17 (h) = 16.08 m^3$$

- Cantidad de Regenerante

Con el dato de la cantidad de regenerante necesaria por volumen de resina y con el volumen propiamente dicho, se obtiene la cantidad necesaria de H_2SO_4 . Se necesitará 175 g H_2SO_4 /l de resina.

$$m_{H_2SO_4} = V_R \cdot \text{Cantidad regenerante} = 2075 \text{ (l)} \cdot 175 \frac{\text{g } H_2SO_4}{\text{l}}$$

$$m_{H_2SO_4} = 363125 \text{ g } H_2SO_4 = 363.125 \text{ Kg } H_2SO_4$$

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 dato de masa a equivalente.

$$m_{H_2SO_4} = 363.125 \text{ Kg } H_2SO_4 = 3705.36 \frac{\text{eq } H_2SO_4}{\text{ciclo}}$$

$$\text{Excedente}_{H_2SO_4} = \frac{\text{eq } H_2SO_4}{\text{eq OI}} \cdot 100 = \frac{3705.36 \text{ eq}}{3366.65 \text{ eq}} \cdot 100 = 110.06\%$$

- 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 a 8 %. Se toma el valor superior para los cálculos. Este ácido se diluirá en agua descationizada que provenga del desgasificador.

Los datos necesarios para realizar la disolución son los siguientes:

Densidad H ₂ SO ₄ al 98%	1.831 g/ml
Densidad H ₂ SO ₄ al 8%	1.050 g/ml
Masa Molecular H ₂ SO ₄	98 g/mol

Para hacer un litro de disolución al 8% se precisan 0.0468 l de disolución al 98% y el resto, hasta completar el litro, de agua descationizada. Con estas referencias se puede obtener el volumen de regenerante diluido ($V_{H_2SO_4(8\%)}$) que se debe usar en cada regeneración, así como la cantidad de agua descationizada que hay que emplear:

$$V_{H_2SO_4(8\%)} = \frac{m_{H_2SO_4}}{\rho_{H_2SO_4(8\%)}} = \frac{363.125 \text{ Kg } H_2SO_4}{1.050 \text{ Kg / l}} = 345.77 \text{ l } H_2SO_4$$

$$V_{H_2SO_4(98\%)} = 16.19 \text{ l } H_2SO_4$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2SO_4(8\%)} - V_{H_2SO_4(98\%)} = 345.77 - 16.19 = 329.58 \text{ l } H_2O \text{ descationizada}$$

- 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 20 m³/h.

$$Q_{reg} = 20 \frac{m^3}{h} = 0.33 \frac{m^3}{min}$$

$$v_{reg} = \frac{Q_{reg}}{A} = \frac{20 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{2.01 (m^2)} = 9.95 \frac{m}{h}$$

$$t_{reg} = \frac{V_{H_2SO_4(8\%)}}{Q_{reg}} = \frac{0.34577 (m^3)}{0.33 \left(\frac{m^3}{min}\right)} = 1.07 \text{ min}$$

Ø 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.

$$V_{H_2O} = 15 \frac{gal}{ft^3} = 2.01 \frac{m^3}{m^3 \text{ resina}} \cdot V_R = 4.16 m^3 H_2O \text{ descationizada}$$

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:

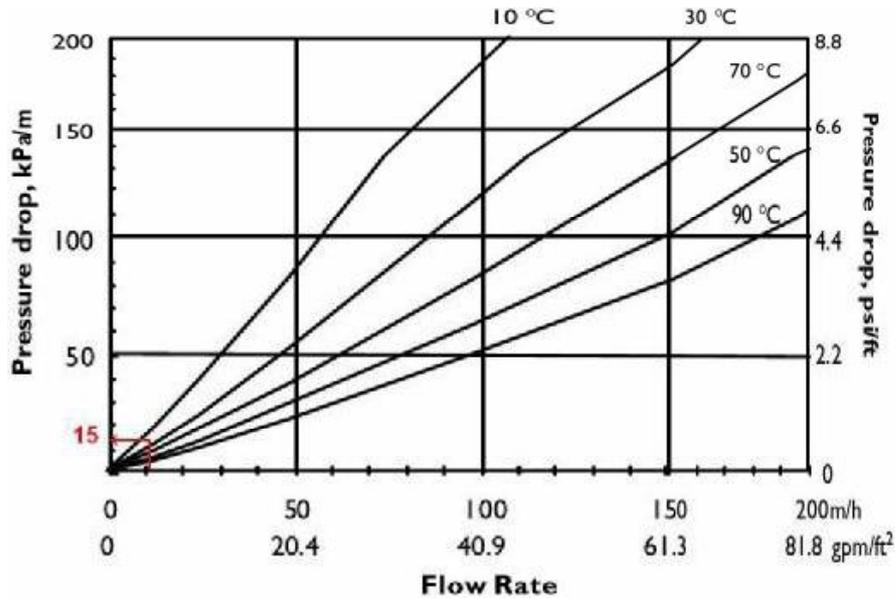
$$t_{lav} = \frac{V_{H_2O}}{Q_{lav}} = \frac{4.16 (m^3)}{0.33 \left(\frac{m^3}{min}\right)} = 12.48 \text{ min}$$

Ø Pérdida de Carga y Peso de la columna

Usando la gráfica que da el fabricante de la resina AMBERLYST 119WET, se obtiene la pérdida de presión en la columna de intercambio catiónico, cuando ésta se encuentra en servicio, en función de la velocidad lineal de flujo y la temperatura:

$$v = 11.44 \frac{m}{h}$$

$$T = 25^{\circ}C$$



El dato que proporciona la gráfica está en función de la longitud del lecho de resina, por lo tanto la pérdida de presión en la columna queda:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta P = 15 \frac{KPa}{m} \\ h_e + h_l = 1.409 m \end{array} \right\} \Delta P = 21.13 KPa$$

La densidad empacitada de la resina catiónica AMBERLYST 119WET es de 800 g/l, mientras que la densidad de la resina inerte es de 620 g/l. Por tanto el peso de las resinas será:

$$P_{\text{resin a catiónica}} = V_R \cdot \rho_{\text{resin a catiónica}} = 2075 \text{ l} \cdot 800 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 1660 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{resin a inerte}} = V_I \cdot \rho_{\text{resin a inerte}} = 550 \text{ l} \cdot 620 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 341 \text{ Kg}$$

Solamente falta por calcular el peso del volumen de agua contenida en la columna de intercambio catiónico, que será una suma del agua que esta en el freeboard o espacio libre y el agua contenida en el empaque, para cuyo cálculo, según la bibliografía, el espacio en el lecho para la circulación de agua es del 33% del volumen del lecho.

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

$$P_{H_2O} = \left[(0.023 \text{ m}) \cdot (2.01 \text{ m}^2) + \frac{1}{3} (1.409 \text{ m}) \cdot (2.01 \text{ m}^2) \right] \cdot 997.045 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = 0.981 \text{ m}^3 \cdot 997.045 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = 978.10 \text{ Kg}$$

Por tanto, el peso de la columna será la suma de todos los anteriores:

$$P_{\text{columna}} = P_{H_2O} + P_{\text{resin a catiónica}} + P_{\text{resin a inerte}}$$

$$P_{\text{columna}} = 978.10 \text{ Kg} + 1660 \text{ Kg} + 341 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{columna}} = 2979.1 \text{ Kg}$$

DISEÑO DE LA COLUMNA ANIÓNICA

Hay que calcular el volumen necesario de resina aniónica AMBERLYST A260H, dimensionar la columna y establecer los diversos caudales que por ella circularán.

La corriente de entrada a la columna de intercambio aniónico es la que procede del desgasificador, en donde se han eliminado el 90% de los compuestos carbonados procedentes de la columna de intercambio catiónico. La composición aniónica del agua de entrada a la columna queda de la siguiente forma:

Aniones	Mg CaCO ₃ /l
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	11,6
Carbonatos (CO ₃ ⁻)	1,6
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	92
Cloruros (Cl ⁻)	88
Nitratos (NO ₃ ⁻)	32
Sílice (SiO ₂)	2

La cantidad de sílice se tiene en cuenta en el recuento de los aniones, ya que aunque no sea un anión propiamente dicho, influye en la resina aniónica.

El caudal máximo de agua, es el mismo que para el caso anterior:

$$Q = 23 \frac{m^3}{h} = 23000 \frac{l}{h}$$

Para este caudal de entrada, la carga aniónica (CA) será la suma de todas las especies aniónicas antes mencionadas.

$$CA = 227.2 \frac{mg \text{ CaCO}_3}{l} = 4.499 \frac{meq}{l}$$

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, 24 horas (t_c). Un ciclo de mayor duración precisará mayor cantidad de resina y por tanto una columna de diámetro mayor, lo cual disminuye la velocidad lineal del líquido por debajo de los valores recomendados por el fabricante y aumentará el coste del inmovilizado.

Ø Capacidad Operativa, Capacidad instalada y Volumen de Resina Necesario

A partir de los datos anteriores se obtiene la oferta iónica (IO)

$$OI = CA \cdot Q \cdot t_c = 4.499 \cdot 10^{-3} \left(\frac{eq}{l}\right) \cdot 23000 \left(\frac{l}{h}\right) \cdot 24 \left(\frac{h}{ciclo}\right) = 2483.45 \frac{eq}{ciclo}$$

La capacidad operativa (C_{op}) depende del regenerante usado, en el caso de la resina aniónica, 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 en este caso el dato es de 50 g/l.

La capacidad operativa se toma 1.2 eq/l, ya que según el fabricante, debe ser mayor de 0.8 eq/l.

$$C_{op} = 1.2 \frac{eq}{l}$$

Con los datos de la oferta iónica y de la capacidad operativa, se puede obtener el volumen necesario de resina aniónica (V_R).

$$V_R = \frac{OI}{C_{op}} = \frac{2483.45 (eq)}{1.2 \left(\frac{eq}{l}\right)} = 2069.54 l$$

Para asegurarnos del dato tomado, se toma 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 para el volumen.

$$V_R = 2069.54 l \cdot 10\% = 2276.50 l \xrightarrow{\text{Sacos 25 litros}} 2300 l$$

$$V_R = 2300 l = 2.30 m^3$$

Otro dato que es necesario conocer es la capacidad instalada (C_{ins}), la cual viene determinada por el volumen de la resina y la capacidad operativa.

$$C_{ins} = V_R \cdot C_{op} = 2300 (l) \cdot 1.2 \left(\frac{eq}{l}\right) = 2760 \frac{eq}{ciclo}$$

Ø Dimensionamiento de la Columna

A continuación se realizará los cálculos necesarios para poder tener dimensionada la columna de intercambio aniónico.

○ Diámetro de la columna (D_c): este dato se tomará de la experiencia, en donde el diámetro es de 1.6 m (1600 mm).

○ Área de Paso de la Columna (A):

$$A = \pi \cdot \frac{D_c^2}{4} = 2.01 m^2$$

○ Altura del Lecho (h_l): tiene que estar dentro de las recomendaciones del fabricante:

$$h_l = \frac{V_R}{A} = \frac{2.30 m^3}{2.01 m^2} = 1.14 m > 0.6 m$$

○ Expansión Máxima (E_{max}): por indicaciones del fabricante, esta expansión es del 20 %.

$$E_{max} = h_l \cdot 20\% = 0.229 m$$

○ Altura del Lecho Expandido (h_{le}):

$$h_{le} = h_l + E_{\max} = 1.373 \text{ m}$$

o Volumen de Resina Inerte (V_I): por recomendaciones del fabricante y por datos de la experiencia, éste será de 0.60 m^3 (600 l).

o Altura de la Resina Inerte (h_i):

$$h_i = \frac{V_I}{A} = \frac{0.60 \text{ m}^3}{2.01 \text{ m}^2} = 0.298 \text{ m}$$

o Altura de la Zona Libre (Freeboard) (h_{FB}): en este caso se toma el valor de la bibliografía, en el cual se nos recomienda una h_{FB} de 42 mm (0.042 m).

o Altura Cilíndrica de la columna (h_c): es el sumatoria de las anteriores alturas.

$$h_c = h_{le} + h_i + h_{FB} = 1.713 \text{ m}$$

o Velocidad de Flujo (v):

$$Q = v \cdot A \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{23 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{2.01 (\text{m}^2)} = 11.44 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 0.003 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

o Volumen del Lecho (Bed Volume) (BV): el volumen que ocupa los dos tipos de resinas dentro de la columna, la catiónica y la inerte.

$$BV = (h_{le} + h_i) \cdot A = (1.373 \text{ m} + 0.298 \text{ m}) \cdot 2.01 \text{ m}^2 = 3.36 \text{ m}^3$$

o 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.

$$\frac{H}{D} = \frac{h_c}{D_c} = \frac{1.713 \text{ m}}{1.6 \text{ m}} = 1.07$$

$$\frac{2}{3} < 1.07 < \frac{3}{2}$$

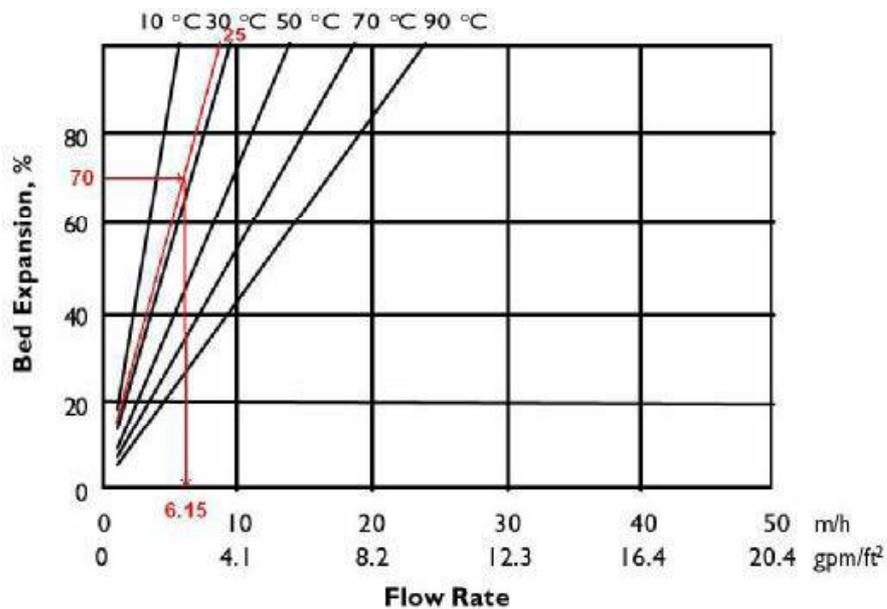
A continuación se muestra una tabla resumen con todos los datos dimensionales de la columna de intercambio catiónico.

Diámetro de columna (D_c)	1.6 m
Área de paso de la columna (A)	2.01 m ²
Altura del lecho (h_l)	1.144 m
Altura del lecho expandido (h_{le})	1.373 m
Altura del lecho inerte (h_i)	0.298 m
Altura del freeboard (h_{FB})	0.042 m
Altura cilíndrica (h_c)	1.713 m
Volumen de resina inerte (V_I)	0.60 m ³
Velocidad lineal del líquido (v)	0.003 m/s
Volumen del lecho (BV)	3.63 m ³
Relación Altura/Diámetro (H/D)	1.07

Ø Diseño del Proceso de Regeneración

- Compactación del Lecho

El fabricante recomienda una velocidad de compactación (v_{comp}) 3 veces la de retrolavado convencional, la cual corresponde al 60-80 % de una expansión en un retrolavado convencional. Se usará el dato medio para la expansión (70%) y usando la gráfica que nos da el fabricante, la cual muestra la velocidad de retrolavado de la resina AMBERLYST A26OH en función de la expansión del lecho y de la temperatura.



$$v_{retrolavado} = 6.15 \frac{m}{h}$$

$$v_{comp} = 3 \cdot v_{retrolavado} = 3 \cdot 6.15 \frac{m}{h} = 18.45 \frac{m}{h}$$

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

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

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

$$Q_{comp} = v_{comp} \cdot A = 18.45 \left(\frac{m}{h}\right) \cdot 2.01 (m^2) = 37.10 \frac{m^3}{h}$$

$$V_{comp} = Q_{comp} \cdot t_{comp} = 96.51 \left(\frac{m^3}{h}\right) \cdot 0.17 (h) = 6.18 m^3$$

- Cantidad de Regenerante

Con el dato de la cantidad de regenerante necesaria por volumen de resina y con el volumen propiamente dicho, se obtiene la cantidad necesaria de NaOH. Se va a necesitar 50 g NaOH/l de resina.

$$m_{NaOH} = V_R \cdot \text{Cantidad regenerante} = 2300 (l) \cdot 50 \frac{g \text{ NaOH}}{l}$$

$$m_{NaOH} = 115000 \text{ g NaOH} = 115 \text{ Kg NaOH}$$

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

$$m_{NaOH} = 115 \text{ Kg NaOH} = 2875 \frac{eq \text{ NaOH}}{\text{ciclo}}$$

$$Excedente_{NaOH} = \frac{eq\ NaOH}{eq\ OI} \cdot 100 = \frac{2875\ eq}{2483.45\ eq} \cdot 100 = 115.77\%$$

- Dilución de Sosa al 50 %

En la planta de intercambio iónico existe un depósito de sosa al 50 %, pero según indicaciones del fabricante, a la hora de regenerar la resina, esta base debe estar diluida al 2%. Esta base se diluirá en agua desmineralizada que provenga del depósito final de almacenamiento de agua desionizada.

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
Masa 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 desionizada. Con estas referencias se puede obtener el volumen de regenerante diluido ($V_{NaOH\ (2\%)}$) que se debe usar en cada regeneración, así como la cantidad de agua desionizada que hay que emplear:

$$V_{NaOH\ (2\%)} = \frac{m_{NaOH}}{\rho_{NaOH\ (2\%)}} = \frac{115\ Kg\ NaOH}{1.032\ Kg/l} = 111.445\ l\ NaOH$$

$$V_{NaOH\ (50\%)} = 3.045\ l\ NaOH$$

$$V_{H_2O} = V_{NaOH\ (2\%)} - V_{NaOH\ (50\%)} = 111.445 - 3.045 = 108.4\ l\ H_2O\ desionizada$$

- 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 0.5 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.

$$Q_{reg} = 6 \frac{m^3}{h} = 0.1 \frac{m^3}{min}$$

$$v_{reg} = \frac{Q_{reg}}{A} = \frac{6 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{2.01 (m^2)} = 2.98 \frac{m}{h}$$

$$t_{reg} = \frac{V_{NaOH(2\%)}}{Q_{reg}} = \frac{0.111445 (m^3)}{0.1 \left(\frac{m^3}{min}\right)} = 1.11 min$$

Ø 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.

$$V_{H_2O} = 30 - 70 \frac{gal}{ft^3} = 4.01 - 10.03 \frac{m^3}{m^3 resina} \cdot V_R = 9.22 - 23.06 m^3 H_2O desionizada$$

En este caso se debe seleccionar un volumen de agua desionizada dentro del rango anterior.

$$V_{H_2O} = 10 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O desionizada}$$

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:

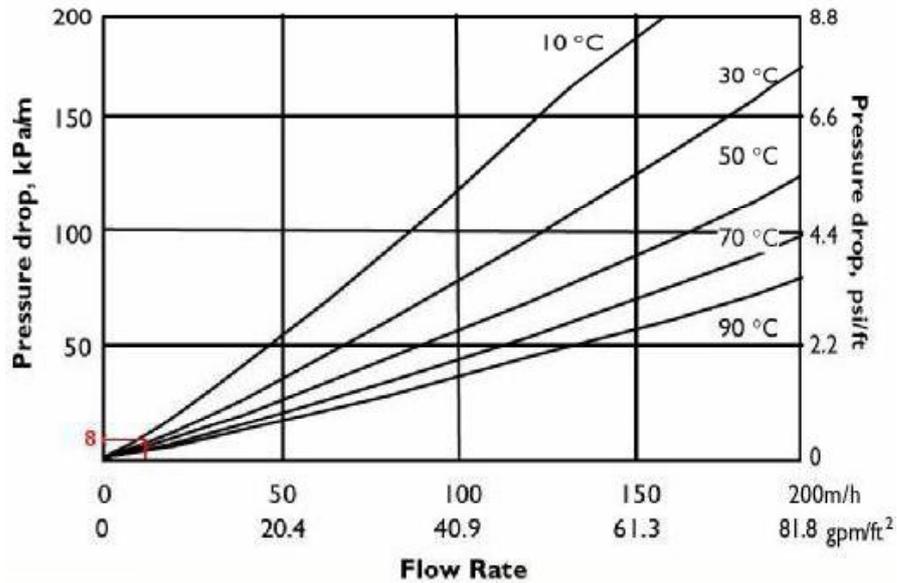
$$t_{lav} = \frac{V_{H_2O}}{Q_{lav}} = \frac{10 \text{ (m}^3\text{)}}{0.10 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)} = 100 \text{ min}$$

Ø Pérdida de Carga y Peso de la Columna

Usando la gráfica que da el fabricante de la resina AMBERLYST A26OH, se obtiene la pérdida de presión en la columna de intercambio aniónico, cuando ésta se encuentra en servicio, en función de la velocidad lineal de flujo y la temperatura:

$$v = 11.44 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$T = 25^\circ \text{C}$$



El dato que proporciona la gráfica está en función de la longitud del lecho de resina, por lo tanto la pérdida de presión en la columna queda:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= 8 \frac{KPa}{m} \\ h_{re} + h_l &= 1.671 m \end{aligned} \right\} \Delta P = 13.37 KPa$$

La densidad empaquetada de la resina aniónica AMBERLYST A260H 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:

$$P_{re\ sin\ a\ cationica} = V_R \cdot \rho_{re\ sin\ a\ cationica} = 2300\ l \cdot 675 \frac{g}{l} = 1552.5\ Kg$$

$$P_{re\ sin\ a\ inerte} = V_I \cdot \rho_{re\ sin\ a\ inerte} = 600\ l \cdot 620 \frac{g}{l} = 372\ Kg$$

Solamente falta por calcular el peso del volumen de agua contenida en la columna de intercambio aniónico, que será una suma del agua que esta

en el freeboard o espacio libre y el agua contenida en el empaque, para cuyo cálculo, según la bibliografía, el espacio en el lecho para la circulación de agua es del 33% del volumen del lecho.

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

$$P_{H_2O} = \left[(0.042 \text{ m}) \cdot (2.01 \text{ m}^2) + \frac{1}{3} (1.671 \text{ m}) \cdot (2.01 \text{ m}^2) \right] \cdot 997.045 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = 1.193 \text{ m}^3 \cdot 997.045 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{H_2O} = 1189.47 \text{ Kg}$$

Por tanto, el peso de la columna será la suma de todos los anteriores:

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

$$P_{columna} = 1189.47 \text{ Kg} + 1552.5 \text{ Kg} + 372 \text{ Kg}$$

$$P_{columna} = 3113.97 \text{ Kg}$$

DISEÑO MECÁNICO DE LA COLUMNA CATIONICA

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

Ø Variables de Diseño

En la siguiente tabla se muestran las variables de diseño de la columna de intercambio de cationes.

Variable	Valor
Presión de diseño (P_D)	3.5 Kg/cm ²
Temperatura de diseño (T_D)	45 °C
Diámetro interno de la columna (D_c)	1.6 m
Altura cilíndrica (h_c)	1.432 m
Longitud de la envolvente cilíndrica (L_c)	2.432 m
Sobreespesor por corrosión (c)	2.3 mm
Eficiencia de la soldadura (ϵ)	0.85
Esfuerzo máximo permisible (S)	1321.76 Kg/cm ² (18799 psi)
Módulo de Elasticidad (E)	2.1 ·10 ⁶ Kg/cm ² (3·10 ⁷ psi)
Límite Elástico (σ)	2109.55 Kg/cm ²
Resistencia máxima a la tracción (σ_R)	5800 Kg/cm ²
Densidad (ρ)	7944 Kg/m ³

El acero que se va a usar en la construcción de la columna es acero inoxidable 316. Los cuatro últimos datos reflejados en tabla anterior, son las propiedades más importantes este acero.

La presión de diseño debe ser superior en todo caso a la máxima de operación o servicio. Esta presión de servicio en este caso es la siguiente:

$$P = P_{atm} + \rho g L = 101325 (Pa) + 765 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \cdot 9.82 \left(\frac{m^2}{s} \right) \cdot 2.44 (m)$$

$$P = 119655 Pa = 14.7 psi$$

$$Pd = 3.5 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 49.8 psi > P$$

La temperatura de diseño, al igual que ocurre con la presión de diseño, debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación y es habitual adoptar como temperatura de diseño el valor de:

$$T_D = T_{Max} + 20^\circ C = 45^\circ C$$

Se ha seguido la norma ANSI-ASME Sección VIII Div. 1 para el diseño de los recipientes a presión que componen la instalación a proyectar.

Ø 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. En el siguiente gráfico se incluyen las fórmulas que determinan los espesores mínimos requeridos según el código ASME VIII Div. 1, asimismo, se añade una ilustración donde se describen los diferentes parámetros geométricos y físicos que se utilizan en las fórmulas.

Fórmulas generales para recipientes

Parte	Fórmula del esfuerzo	Espesor, t		Presión, P		Refuerzo, S	
		Díámetro interior	Díámetro exterior	Díámetro interior	Díámetro exterior	Díámetro interior	Díámetro exterior
Casco							
Longitudinal [Sección UG-27(c)](2)*	$s_t = \frac{PR}{2t}$	$\frac{PR}{2SE + 4P}$	$\frac{PR}{2SE + 1.4P}$	$\frac{2SEt}{R_i - 4t}$	$\frac{2SEt}{R_o - 1.4t}$	$\frac{P(R_o - 4t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - 1.4t)}{2Et}$
Circunferencial [Sección UG-27(c)](1) Sección 1-1(a)(1)*	$s_c = \frac{PR}{t}$	$\frac{PR}{SE - 6P}$	$\frac{PR}{SE + 4P}$	$\frac{SEt}{R_i - 5t}$	$\frac{SEt}{R_o - 4t}$	$\frac{P(R_o + 6t)}{Et}$	$\frac{P(R_o - 4t)}{Et}$
Cabezas							
Semisférico [Sección 1-1(a)](2) Sección UG-32(d)*	$s_t = s_c = \frac{PR}{2t}$	$\frac{PR}{2SE - 2P}$	$\frac{PR}{2SE + 6P}$	$\frac{2SEt}{R_i - 2t}$	$\frac{2SEt}{R_o - 2t}$	$\frac{P(R_i + 2t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - 2t)}{2Et}$
Elíptica [Sección 1-1(a)]*	Véase PROCEDIMIENTO 2	$\frac{PD_K}{2SE - 2P}$	$\frac{PD_K}{2SE + 2P(K - 1)}$	$\frac{2SEt}{KD_i + 2t}$	$\frac{2SEt}{K(R_o - 2t)(K - 1)}$	Véase PROCEDIMIENTO 2	
2:1 SE [Sección UG-32(d)*]		$\frac{PD}{2SE - 2P}$	$\frac{PD}{2SE + 1.6P}$	$\frac{2SEt}{D_i + 2t}$	$\frac{2SEt}{D_o - 1.6t}$		
100% - 6% tolerancia [Sección UG-32(a)]*		$\frac{MSPR_i}{SE - 1P}$	$\frac{MSPR_o}{SE + 3P}$	$\frac{SEt}{MSL_i + 1t}$	$\frac{SEt}{MSL_o - 3t}$		
Toroidales $\frac{1}{2} - 16.66$ [Sección 1-1(d)]*		$\frac{PLM}{2SE - 2P}$	$\frac{PLM}{2SE + PM - 2t}$	$\frac{2SEt}{LM + 2t}$	$\frac{2SEt}{LM - (M - 2)t}$		
Codo							
Longitudinal	$s_t = \frac{PR}{2t \cos \alpha}$	$\frac{PD}{4 \cos \alpha(SE + 4P)}$	$\frac{PD}{4 \cos \alpha(SE + 1.4P)}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_i - 2t \cos \alpha}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_o - 2.8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$
Circunferencial [Sección 1-4(c) Sección UG-32(d)]*	$s_c = \frac{PR}{t \cos \alpha}$	$\frac{PD}{2 \cos \alpha(SE - 6P)}$	$\frac{PD}{2 \cos \alpha(SE + 4P)}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_i - 1.8t \cos \alpha}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_o - 2t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i + 1.8t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - 2t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$

* ASME Boiler and Pressure Vessel Code, sección VIII, división 1, edición de 1982 American Society of Mechanical Engineers.

$$M = 7.5 \left(1 + \sqrt{\frac{t}{R}} \right) \quad K = 1.67 \cdot \left[2 + \left(\frac{D}{2t} \right)^2 \right]$$

Se usaran dos expresiones para el cálculo de este espesor mínimo, la primera usando la tabla anterior y la segunda según las especificaciones técnicas.

- Se aplica la ecuación en el casco por tensión longitudinal, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot SE + 0.4P} = \frac{49.8 \text{ (psi)} \cdot 800 \text{ (mm)}}{(2 \cdot 18799 \text{ (psi)} \cdot 0.85 + 0.4 \cdot 49.8 \text{ (psi)})} = 1.25 \text{ mm}$$

A partir de este momento se nombrará P a la presión de diseño, ya que su dato es más restrictivo que la de servicio. Considerando un sobreespesor de corrosión de 2.3 mm, se tiene un espesor de:

$$t = 3.55 \text{ mm}$$

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

$$t = \frac{D}{1000} + 2.54 + c = \frac{1600 \text{ mm}}{1000} + 2.54 + 2.3 \text{ mm} = 6.44 \text{ mm}$$

De entre los dos espesores hay que quedarse con el mayor, es decir, el espesor obtenido según especificaciones ($t = 6.44 \text{ mm}$). Con el dato de espesor, ya se tiene también el dato de diámetro exterior (D_o)

$$D_o = D_c + 2 \cdot t = 1600 \text{ (mm)} + 2 \cdot 6.44 \text{ (mm)} = 1613 \text{ mm} = 1.613 \text{ m}$$

A continuación se debe comprobar este espesor de la envolvente, para saber si es correcto para resistir la presión externa de diseño o proyecto (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 entre las líneas de tangencia más un tercio de la altura de cada uno de los fondos bombeados, es decir:

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

$$L = 2432 + \frac{1}{3}345 + \frac{1}{3}345 = 2662 \text{ mm}$$

P_e = Presión externa de diseño o proyecto, ($P = 1.05 \text{ Kg/cm}^2$)

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 siguiendo el siguiente procedimiento:

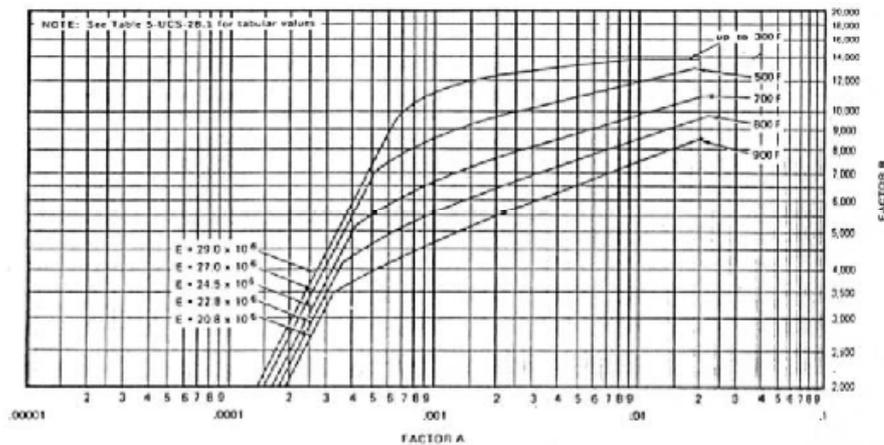
a) Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{2662 \text{ (mm)}}{1613 \text{ (mm)}} = 1.65$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{1613 \text{ (mm)}}{6.44 \text{ (mm)}} = 250.45$$

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

c) Tomando el valor de A, y utilizando la gráfica que se muestra a continuación (Fig. 5-UCS-28.1 s/ASME VIII Div. 1), se calcula el valor de B en función de la temperatura de diseño o de proyecto.



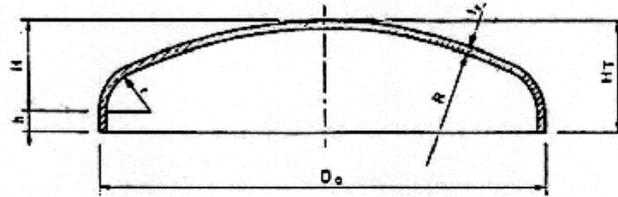
Como no existe una gráfica para el módulo de elasticidad de nuestro material, no se puede usar dicha gráfica, así que obtiene la presión de trabajo de la siguiente forma:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{2 \cdot 0.0002 \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ (psi)}}{3 \cdot \left(\frac{1613 \text{ (mm)}}{6.44 \text{ (mm)}}\right)} = 16 \text{ psi} = 1.12 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$P_a > P_e \Rightarrow$ El espesor (t) es correcto

Ø Características de los Fondos

Para las columnas de intercambio catiónico se usarán fondos torisféricos tipo Korbogen Boden cuyo esquema y dimensiones son las siguientes:



D_o	1.613 m
R	1.290 m
r	248 mm
H	323 mm
h	23 mm
H_f	345 mm
V_f	0,41 m ³

$$R = 0.8 \cdot D_o; \quad r = \frac{D_o}{6.5}; \quad H = 0.2 \cdot D_o; \quad h = 3.5 \cdot t_f; \quad V_f = 0.1 \cdot D_o^3$$

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 Korbboegen Boden, para el cálculo de espesores con el diámetro interno.

$$t_f = \frac{P \cdot R \cdot M}{2 \cdot S_f + 0.2P}$$

$$M = 0.25 \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right) = 0.25 \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{1290}{248}} \right) = 1320 \text{ mm}$$

$$t_f = \frac{P \cdot R \cdot M}{2 \cdot S^F + 0.2P} = \frac{49.8 \text{ (psi)} \cdot 1290 \text{ (mm)} \cdot 1320 \text{ (mm)}}{(2 \cdot 18799 \text{ (psi)} \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 49.8 \text{ (psi)})} = 2.65 \text{ mm}$$

Considerando un sobreespesor de corrosión de 2.3 mm, se tiene un espesor de:

$$t_f = 4.95 \text{ mm}$$

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

$$t_f = \frac{D_o}{1000} + 2.54 + c = \frac{1613 \text{ mm}}{1000} + 2.54 + 2.3 \text{ mm} = 6.45 \text{ mm}$$

De entre los dos espesores hay que quedarse con el mayor, es decir, el espesor obtenido según especificaciones ($t_f = 6.45 \text{ mm}$).

En este punto se debe comprobar este espesor de los fondos, para saber si correctos para resistir la presión externa de diseño o proyecto (P_e).

Para el cálculo de los fondos toriesféricos a presión externa se procede como sigue

a) Se obtiene el valor de A a partir de la fórmula::

$$A = \frac{0.125}{\frac{R_o}{t}} = \frac{0.125}{\left(\frac{1613}{2}\right) \frac{(mm)}{6.45 \text{ (mm)}}} = 0.001$$

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.

$$P_a = \frac{0.0625 \cdot E}{\left(\frac{R_o}{t}\right)^2} = \frac{0.0625 \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ (psi)}}{\left(\frac{\left(\frac{1613}{2}\right) \text{ (mm)}}{6.44 \text{ (mm)}}\right)^2} = 120 \text{ psi} = 8.40 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$P_a > P_e \Rightarrow$ El espesor (t) es correcto

Ø Tensiones Longitudinales en la Envolvente Debidas a la Presión Interior

$$\sigma_{pa} = \frac{P(D_c + 2c)}{4(t - c)} = \frac{3.5 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) \cdot (1600 \text{ (mm)} \cdot 2 \cdot 2.3 \text{ (mm)})}{4 \cdot (6.44 \text{ (mm)} - 2.3 \text{ (mm)})} = 339.14 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Ø 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 = diámetro interno (m)
- D_o = diámetro externo (m)

$$P_{EN} = \rho \cdot (D_o^2 - D_c^2) \cdot L = 7944 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \cdot (1.613^2 (m)^2 - 1.6^2 (m)^2) \cdot 2.44 (m)$$

$$P_{EN} = 802.12 \text{ Kg}$$

§ Peso del Relleno

Con los volúmenes de cada resina y su densidad se obtiene el peso del relleno.

$$P_R = V_R \rho_C + V_I \rho_I = 2075 (l) \cdot 800 \left(\frac{g}{l} \right) + 550 (l) \cdot 620 \left(\frac{g}{l} \right) = 2001 \text{ Kg}$$

§ 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).

$$D_d = 1.12 \cdot D_o + 1.7 \cdot h = 1.12 \cdot 1613 (mm) + 1.7 \cdot 23 (mm) = 1845 (mm)$$

$$V_F = \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot (D_d^2) \cdot (8 \cdot t_f) = \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot (1845^2 (mm^2)) \cdot (8 \cdot 6.45 (mm)) = 0.14 \text{ m}^3$$

$$P_F = V_F \rho = 0.14 (m^3) \cdot 750 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 103.49 \text{ Kg}$$

§ 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 al siguiente expresión.

$$P_{Acc} = 0.05 \cdot (P_{EN} + P_R + 2 \cdot P_F) = 0.05 \cdot (762.93 (Kg) + 2001 (Kg) + 2 \cdot 103.49 (Kg))$$

$$P_{Acc} = 150.51 Kg$$

§ Peso Total de la columna

Sumando todos los pesos calculados resulta el peso total de la columna.

$$P_T = (P_{EN} + P_R + 2 \cdot P_F + P_{Acc}) = (802.12 (Kg) + 2001 (Kg) + 2 \cdot 103.49 (Kg) + 150.51 (Kg))$$

$$P_T = 3160.61 Kg$$

Este peso de esta elevación provoca una tensión igual a:

$$\sigma_{PT} = \frac{4 \cdot P_T \cdot 10^2}{\pi [D_o^2 - (D_c + 2 \cdot c)^2]} = \frac{4 \cdot 3160.61 (Kg) \cdot 10^2}{\pi \cdot [1613^2 (mm^2) - (1600 (mm) + 2 \cdot 23 (mm))^2]}$$

$$\sigma_{PT} = 15.06 \frac{Kg}{cm^2}$$

Ø Tensiones Debidas al Viento

Al igual que la presión interna o externa, el viento produce unas tensiones en las paredes del recipiente que puede producir la inestabilidad mecánica del mismo. Se puede considerar que la acción del viento produce unas cargas distribuidas de forma uniforme a lo largo de la altura del mismo.

- Estudio de las cargas unitarias

El valor de las cargas uniforme son función del área expuesta y de la presión que el viento ejerce sobre éste área, denominada presión de diseño del viento (P_w). La determinación de estas cargas se lleva a cabo con ayuda de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{D_o}{10^3} \cdot P_w$$

Q = Carga debida al viento por metro lineal de altura, Kg/m

D_o = Diámetro exterior del recipiente, en mm

P_w = Presión de diseño del viento, en Kg/m²

La presión de diseño P_w , es función de la presión básica del viento (p), de la forma del recipiente, de la esbeltez y de los accesorios externos del recipiente, pudiendo concretarse todo ello en la fórmula:

$$P_w = p \cdot c \cdot k \cdot r$$

p: presión básica del viento (Kg/m²)

c: factor de forma

k: coeficiente d esbeltez

r: coeficiente de accesorios

La presión básica del viento se ha tomado en función de la zona geográfica con un valor de $p = 73 \text{ Kg/m}^2$. El factor de forma c se obtiene a partir de una tabla en función del área expuesta, en este caso cilíndrica de superficie lisa, por tanto $c = 0.6$. El coeficiente de esbeltez proviene de una relación altura/diámetro, siendo en este caso igual a 1. El coeficiente de accesorios se obtiene de forma similar, $r = 1$.

$$P_w = 73 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right) \cdot 0.6 \cdot 1 \cdot 1 = 43.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$Q = \frac{D_o}{10^3} \cdot P_w = \frac{1.613 (m)}{10^3} \cdot 43.8 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right) = 70.64 \frac{\text{Kg}}{m}$$

- Esfuerzos cortantes y momento debidos al viento

La tensión debida al viento se determina de la siguiente forma:

$$\sigma_v = \frac{M_v}{Z}$$

M_v = Momento debido al viento (Kg· m)

Z = Modulo resistente (m^3)

La expresión del momento flector debido al viento es:

$$M_v = \frac{1}{2} \cdot P_w \cdot D_o \cdot L^2 = \frac{1}{2} \cdot 43.8 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right) \cdot 1.613 (m) \cdot 2.67^2 (m)^2$$

$$M_v = 251.83 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Para el módulo resistente, la expresión es la que sigue:

$$Z = \frac{\pi \cdot [D_0^4 - (D + 2 \cdot C)^4]}{32 \cdot D_0} = \frac{\pi \cdot [1.613^4 \text{ (m)}^4 - (1.6 \text{ (m)} + 2 \cdot 0.023 \text{ (m)})^4]}{32 \cdot 1.613 \text{ (m)}}$$

$$Z = 0.008 \text{ m}^3$$

$$\sigma_v = \frac{M_v}{z} = \frac{251.83 \text{ (Kg} \cdot \text{m)}}{0.008 \text{ (m}^3\text{)}} = 30002 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 3 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Ø Tensiones Debidas a las Pruebas

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de puesta en operación. Esta comprobación consiste en ensayos no destructivos, tales como radiografiados, comprobación con líquidos penetrantes 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 es:

$$P_{Hm} = 1.5 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S}$$

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

$$P_{Hm} = 1.5 \cdot 3.5 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \cdot \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 5.25 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba periódica inicial. Otra prueba periódica a una presión de:

$$P_{Hm} = 1.3 \cdot P \cdot \frac{S_a}{S} = 1.3 \cdot 3.5 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \cdot \frac{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{18300 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)} = 4.55 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

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 deberá 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 deberá tener en cuenta la sobrepresión producida por la columna de líquido.

$$\sigma_i = \frac{D_c \cdot (P_{Hm} + H_t \cdot 10^{-4})}{4 \cdot t}$$

Siendo H_t , la altura de la columna sin tener en cuenta las patas de sujeción.

$$H_t = L + 2 \cdot H_f = 2.44 (m) + 2 \cdot 0.345 (m) = 3.13 m$$

$$\sigma_i = \frac{160 (cm) \cdot \left(5.25 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) + 313 (cm) \cdot 10^{-4} \right)}{4 \cdot 0.644 (cm)} = 345.53 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

Ahora se deduce la tensión producida por la columna de agua.

$$\sigma_{\text{agua}} = \frac{4 \cdot P_w \cdot 10^2}{\pi \cdot [D_0^2 - (D_c + 2 \cdot c)^2]}$$

P_w = peso de la columna de agua, en Kg

$$P_w = V_w \cdot \rho_w = (\pi \cdot R_c^2 \cdot L + 2 \cdot V_F) \cdot \rho_w$$

$$P_w = (\pi \cdot 0.8^2 (m)^2 \cdot 2.44 (m) + 2 \cdot 0.41 (m^3)) \cdot 997.045 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 5708.2 Kg$$

$$\sigma_{\text{agua}} = \frac{4 \cdot 5708.2 (Kg) \cdot 10^2}{\pi \cdot [161.3^2 (cm^2) - (160 (cm) + 2 \cdot 2.3 (cm))^2]} = 27.28 \frac{Kg}{cm^2}$$

En este punto se debe comprobar que la suma de estas tensiones no supera el 90 % del Límite elástico del material (σ).

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_i + \sigma_{\text{agua}} = 372.81 \frac{Kg}{cm^2} \\ 0.9 \cdot \sigma = 1898.60 \frac{Kg}{cm^2} \end{array} \right\} \sigma_i + \sigma_{\text{agua}} < 0.9 \cdot \sigma$$

DISEÑO MECÁNICO DE LA COLUMNA ANIÓNICA

Para el diseño mecánico de la columna aniónica, se opera exactamente igual que en el caso anterior de la columna catiónica, y por lo tanto no se mostrará aquí su metodología de cálculo, sino que se expondrá una tabla resumen con las características más importante de las dos columnas, para que puedan ser comparadas. En el caso de la columna aniónica, decir que cumple totalmente con todas las verificaciones necesarias.

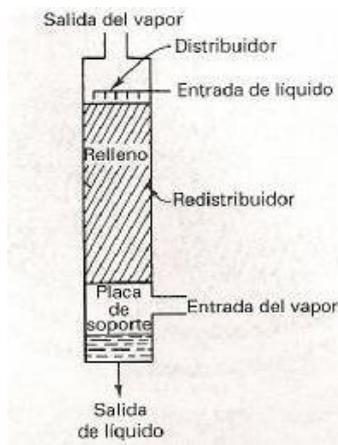
Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

	Columna Catiónica	Columna Aniónica
P_d	3.5 Kg/cm ²	3.5 Kg/cm ²
T_d	45 °C	45 °C
D_c	1.6 m	1.6 m
Material	A-316	A-316
L_c	2.432 m	2.713 m
t	6.44 mm	6.44 mm
D_o	1.613 m	1.613 m
t_r	6.45 mm	6.45 mm
H_r	0.345 m	0.345 m
H_t	3.122 m	3.403 m
P_t	3150.64 Kg	3353.91 Kg

Las columnas de intercambio catiónico y aniónico son casi totalmente exacta, excepto en la altura de la columna, y esto es debido a que en la columna aniónica se necesita un volumen mayor de resina intercambiadora.

ANEXO II: DESGASIFICADOR

INTRODUCCIÓN



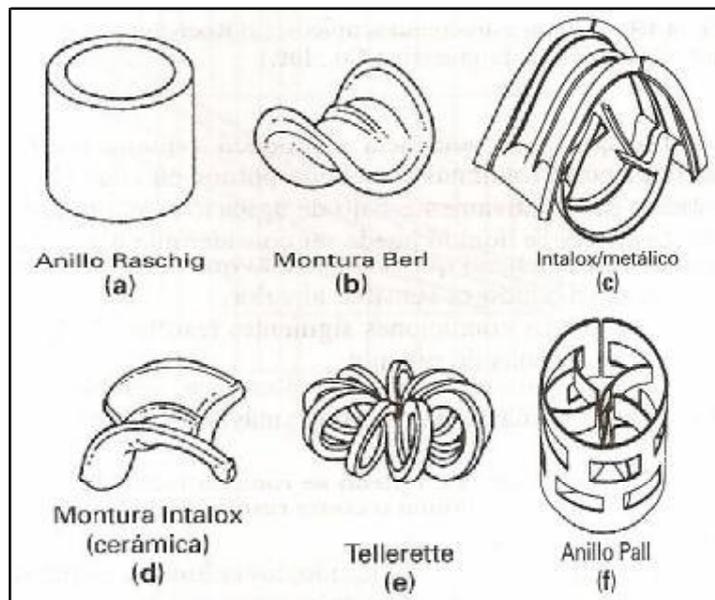
Las columnas de relleno para contacto gas-líquido se utilizan ampliamente en operaciones de absorción, desorción y destilación. Normalmente, las columnas se rellenan con material sólido en forma de partículas orientadas al azar, pero en un número creciente de aplicaciones el relleno se dispone ordenadamente. En las columnas de relleno es característica la operación con flujo de las fases en contracorriente.

En comparación con la columna de platos, la de relleno es un dispositivo sencillo. Una columna típica consta de una virola cilíndrica que contiene una placa soporte del relleno y un dispositivo para la distribución del líquido, diseñado para proporcionar una irrigación efectiva del relleno. Puede añadirse otros dispositivos al lecho para redistribuir el líquido que, por formación de canales junto a la pared de la columna o por otras causas, puede perder la buena distribución a medida que desciende por el lecho. En una misma virola pueden integrarse varios lechos, cada uno con un distribuidor y una placa soporte, formando una única columna.

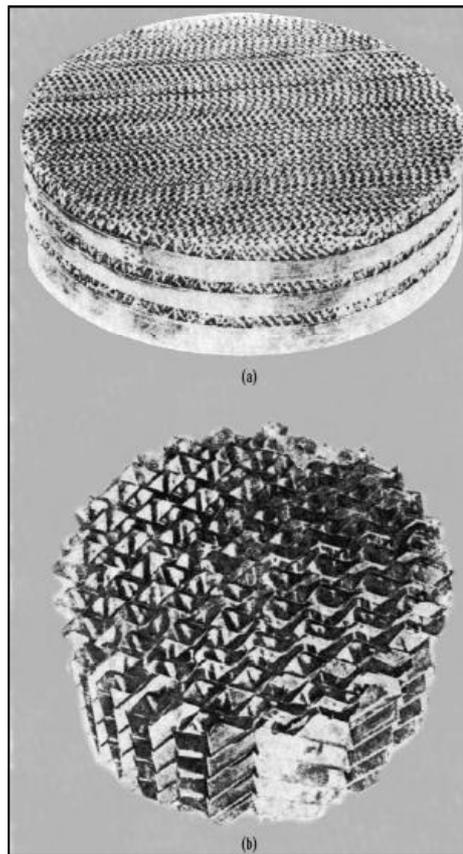
El aspecto clave en el diseño de una columna de relleno es la elección del material del relleno, que debe proporcionar un contacto eficaz entre las fases sin producir excesiva pérdida de carga. Existen numerosos rellenos comerciales, cada uno de los cuales presentan ventajas específicas de coste,

desarrollo superficial, regeneración de interfase, pérdida de carga, peso y resistencia a la corrosión. Los lechos de relleno pueden dividirse en dos categorías: aquellos que contienen elementos de relleno dispuestos en la columna de forma aleatoria y aquellos que contienen elementos cuidadosamente instalados y diseñados específicamente para ajustar a las dimensiones de la columna. Los primeros se denominan rellenos aleatorios. Los segundos se denominan ordenados o estructurados.

En la siguiente imagen se muestran algunos tipos de rellenos aleatorios típicos, en donde los rellenos (a), (c), (e) y (f), son atravesados por el flujo.



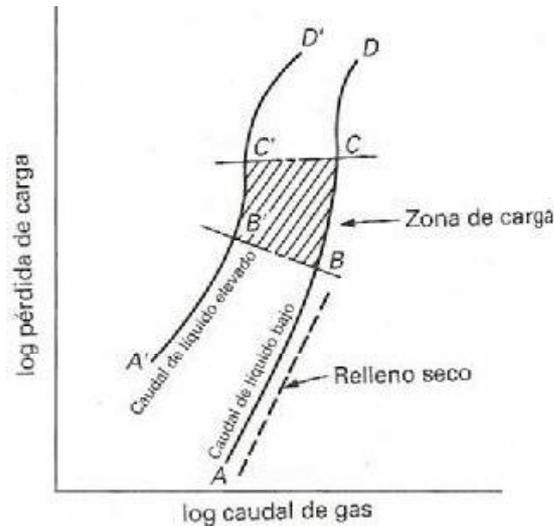
Y en la imagen que se muestra a continuación, se puede observar dos rellenos estructurados típicos:(a) Kach Sulzer, (b) Flexipac.



En el diseño de la columna de desgasificación, se usaran anillos Raschig, de un determinado tamaño, el cual debe ser estudiado para producir poca pérdida de carga y además que su coste no sea muy elevado.

En la figura que se ve a continuación se muestra las características de la pérdida de carga en el flujo de un gas en contracorriente con un líquido a través de un lecho de relleno. Cuando el caudal de líquido es muy bajo, el área abierta eficaz de la sección transversal del lecho no difiere apreciablemente de la que presenta el lecho seco y la pérdida de carga se debe al flujo a través de una serie de diferentes aberturas en el lecho. Por

ello, la pérdida de carga resultará aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad del gas, como indica la región AB.



Para caudales mayores, la presión del líquido hace disminuir el área abierta eficaz y una parte de la energía de la corriente de gas se utiliza para soportar una cantidad creciente de líquido en la columna (región A'B'). Cualquiera que sea el caudal líquido, existe una zona en que la pérdida de carga es proporcional a la velocidad del gas elevada a una potencia distinta de 2 y que se denomina zona de carga, como se puede ver en la figura. El aumento de pérdida de carga se debe a la rápida acumulación de líquido en el volumen vacío del relleno.

A medida que aumenta la retención de líquido, puede ocurrir uno de los dos cambios siguientes. Si el relleno consta esencialmente de superficies extendidas, el diámetro efectivo del orificio se hace tan pequeño que la superficie del líquido se hace continua a través de la sección transversal de la columna, generalmente en la parte alta del relleno. El ascenso en la columna

de una fase continua formada por el líquido conlleva la inestabilidad de la columna. Con sólo un ligero cambio en el caudal de gas aparece un gran cambio en la pérdida de carga (condición C o C'). El fenómeno se denomina inundación o anegamiento.

Si la superficie del relleno es de naturaleza discontinua, tiene lugar una inversión de fase y el gas burbujea a través del líquido. La columna no es inestable y puede volver a la operación con la fase gaseosa continua mediante la simple reducción del caudal del gas. Como en la situación de anegamiento, la pérdida de carga aumenta rápidamente a medida que la inversión de fase progresa.

Puesto que la inundación o inversión de fase representa, normalmente, la condición de máxima capacidad para una columna, es deseable poder predecir su valor a la hora de efectuar un nuevo diseño.

CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA DEL SISTEMA

Para el cálculo de la pérdida de carga de un flujo de gas en contracorriente con un flujo de líquido, a través de un relleno, se usará el método de Robbins, el cual se describe a continuación.

$$\Delta P_t = \Delta P_d + \Delta P_L$$

ΔP_t = Pérdida de carga total, pulgadas H₂O por pie de relleno

ΔP_d = Pérdida de carga en relleno seco

ΔP_L = Pérdida de carga debida a la presencia de líquido

La nomenclatura básica para el método de Robbins es la siguiente:

$C_3 =$	$7.4 \cdot 10^{-8}$, adimensional
$C_4 =$	$2.7 \cdot 10^{-5}$, adimensional
$F_{pd} =$	Factor para el relleno seco, ft^{-1}
$F_s =$	Factor F superficial para el gas, $ft/s(lb/ft^3)^{0.5}$
$G =$	Velocidad másica del gas, $lb/(h \ ft^2)$
$G_f =$	Factor de carga para el gas, $lb/(h \ ft^2)$
$L =$	Velocidad másica del líquido, $lb/(h \ ft^2)$
$L_f =$	Factor de carga para el líquido, $lb/(h \ ft^2)$
$\Delta P =$	Pérdida de carga, pulgadas H_2O/ft relleno
$\rho_G =$	Densidad del gas, lb/ft^3
$\rho_L =$	Densidad del líquido, lb/ft^3
$\mu_L =$	Viscosidad del líquido, cP
$U_t =$	Velocidad superficial del gas (ft/s)

- Pérdida de carga en el relleno seco

La expresión para el cálculo de la pérdida de carga con el relleno seco es:

$$\Delta P_d = C_3 \cdot G_F^2 \cdot 10^{(C_4 \cdot L_F)}$$

Seguidamente se va a aplicar un ejemplo de cálculo para el diseño de una columna de 2 m de diámetro y relleno de 38.1 mm de diámetro nominal (1.5 in). Para este diámetro nominal de los anillos Raschig le corresponden las siguientes propiedades:

Espesor de pared	4.9 mm
Peso del Lecho	664.8 Kg/m ³
Área	138.6 m ² /m ³
Vacío	74 %
Factor relleno (F _p)	391 m ⁻¹ (119.2 ft ⁻¹)
Factor relleno seco (F _{pd})	354.7 m ⁻¹ (108.14 ft ⁻¹)

Para determinar el valor de la pérdida de carga en el relleno seco se debe conocer el valor de G_F y L_F, cuyas ecuaciones son las que siguen:

$$G_F = 986 \cdot F_s \cdot (F_{pd} / 20)^{0.5}$$

$$L_F = L (62.4 / \rho_L) (F_{pd} / 20)^{0.5} \mu_L^{0.2}$$

Para obtener el factor superficial de gas (F_s), se aplica:

$$F_s = U_t \cdot \rho_G^{0.5}$$

En este punto es conveniente indicar los datos de la columna de desgasificación.

$\rho_L =$	997.045 Kg/m ³ (62.243 lb/ft ³)
$\rho_G =$	1.225 Kg/m ³ (0.076 lb/ft ³)
$\mu_L =$	10 cP
$\mu_G =$	1.75 · 10 ⁻⁴ P
Q _w =	46 m ³ /h (0.013 m ³ /s)
Q _G =	875 m ³ /h (0.243 m ³ /s)
L =	4.06 Kg/s m ² (2990 lb/h ft ²)

G =	0.09 Kg/s m ² (69.89 lb/h ft ²)
A _c =	3.14 m ² (33.82 ft ²)
U _t =	0.08 m/s (0.25 ft/s)

El diseño de la columna se realiza para el caudal de agua (Q_w) máximo, que será el caso cuando las dos cadenas de intercambio iónico estén trabajando al mismo tiempo.

Con estos datos se puede continuar con los cálculos:

$$F_s = 0.25 \left(\frac{ft}{s} \right) \cdot 0.076^{0.5} \left(\frac{lb}{ft^3} \right)^{0.5} = 0.917 \left(\frac{ft}{s} \right) \cdot \left(\frac{lb}{ft^3} \right)^{0.5}$$

$$G_F = 986 \cdot 0.917 \left(\left(\frac{ft}{s} \right) \cdot \left(\frac{lb}{ft^3} \right)^{0.5} \right) \cdot \left(\frac{108.14 (ft^{-1})}{20} \right)^{0.5}$$

$$G_F = 2103.94 \frac{lb}{h \cdot ft^2}$$

$$L_F = 2990 \left(\frac{lb}{h \cdot ft^2} \right) \cdot \left(\frac{62.4}{62.243 \left(\frac{lb}{ft^3} \right)} \right) \cdot \left(\frac{108.14 (ft^{-1})}{20} \right)^{0.5} \cdot (10 (cp))^{0.2}$$

$$L_F = 11047.46 \frac{lb}{h \cdot ft^2}$$

Con la obtención de los factores de carga, se puede obtener el valor de la pérdida de carga en el relleno seco.

$$\Delta P_d = C_3 \cdot G_F^2 \cdot 10^{(C_4 \cdot L_F)} = 7.4 \cdot 10^{-8} \cdot \left(2103.94 \left(\frac{\text{lb}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2} \right) \right)^2 \cdot 10^{\left(2.7 \cdot 10^{-5} \cdot 11047.46 \left(\frac{\text{lb}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2} \right) \right)}$$

$$\Delta P_d = 0.65 \frac{\text{inca}}{\text{ft}}$$

- Pérdida de carga debida a la presencia del líquido

Para el cálculo de la pérdida de carga debida a la presencia del líquido se aplicará la siguiente ecuación.

$$\Delta P_L = 0.4 \cdot \left(\frac{L_F}{20000} \right)^{0.1} \cdot \left(C_3 \cdot G_F^2 \cdot 10^{(C_4 L_F)} \right)^4$$

Se va a continuar con el mismo ejemplo, para el caso de 2 m de diámetro de columna y relleno de 38.1 mm de diámetro nominal (1.5 in).

$$\Delta P_L = 0.4 \cdot \left(\frac{11047.46}{20000} \right)^{0.1} \cdot \left(7.4 \cdot 10^{-8} \cdot (2103.94)^2 \cdot 10^{(2.7 \cdot 10^{-5} \cdot 11047.46)} \right)^4$$

$$\Delta P_L = 0.07 \frac{\text{inca}}{\text{ft}}$$

- Pérdida de carga total

Con la suma de las pérdidas de carga en el relleno seco y la debida a la presencia al líquido, se obtiene la pérdida de carga total del sistema desgasificador.

$$\Delta P_t = \Delta P_d + \Delta P_L = 0.1 \left(\frac{\text{inca}}{\text{ft}} \right) + 4.15 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{inca}}{\text{ft}} \right) = 0.72 \frac{\text{inca}}{\text{ft}}$$

$$\Delta P_t = 0.72 \frac{\text{inca}}{\text{ft}} = 587.37 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

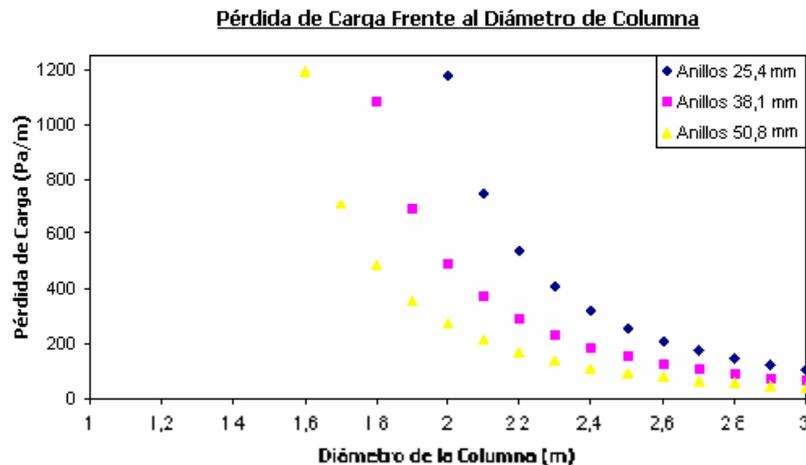
**ESTUDIO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO
DE LA COLUMNA Y EL DIÁMETRO NOMINAL DE LOS ANILLOS**

En este punto se va a realizar un estudio que relacione el diámetro de la columna de relleno, el tamaño nominal del relleno y la pérdida de carga sabiendo que a partir de 1.5 in H₂O/ft de relleno (1226.25 Pa/m de relleno) hay inundación incipiente. Los datos correspondientes a los tres diámetros nominales de los anillos Raschig que se van a estudiar, son los que siguen:

Diámetro Nominal D_n (mm)	Espesor de Pared (mm)	Peso lecho (Kg/m³)	a (m²/m³)	Vacio %	Fp (m⁻¹)	Fpd (m⁻¹)
25,4	3,2	670	190	74	587	492
38,1	4,9	664,8	138,6	74	391	354,7
50,8	6,4	660	92	74	213	230

Siguiendo la misma metodología que en el ejemplo anterior para el cálculo de la pérdida de carga del sistema, se obtienen todos los datos de pérdida de carga para el resto de combinaciones de diámetro de columna y diámetro de los anillos de relleno. Los datos que se muestran en el gráfico son todas las combinaciones que no sobrepasan el valor de la inundación incipiente. Se puede observar, que al aumentar el tamaño de los anillos Raschig, se podrá usar en el proyecto diámetros de columna menores. Desde

el principio se descartará diámetros de menos de 2 metros, ya que la pérdida de carga es bastante mayor con esos diseños.



Se observa que para un mismo diámetro de columna, al aumentar el tamaño de los anillos, desciende la pérdida de carga, por lo que casi se podría descartar los anillos de 25.4 mm, pero no se descartará hasta que no se hayan visto otros factores, como los económicos, que se estudiarán más adelante.

CÁLCULO DE LA ALTURA DE RELLENO DE LA COLUMNA

Para obtener la altura del relleno dentro de la columna de desgasificación, hay que aplicar la ecuación que se muestra a continuación.

$$Z = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

Siendo Z la altura de la columna de relleno, H_{OL} la altura de unidad de transferencia y N_{OL} , el número de unidades de transferencia.

A continuación, se muestra, como en el tema de la pérdida de carga, un ejemplo de cálculo con los mismos datos del caso anterior; una columna de 2 m de diámetro y relleno de 38.1 mm de diámetro nominal.

- Cálculo del número de unidades de transferencia

Para la fase líquida la definición del número de unidades de transferencia es la siguiente:

$$N_{OL} = \int \frac{X_{BM}^e \cdot dx}{(1-X) \cdot (X^e - X)}$$

X_{BM}^e = Media logarítmica de la fracción molar líquida del inerte

X = Fracción molar del soluto en el líquido

X^e = Fracción molar del soluto en el líquido en el equilibrio

Se aplica la aproximación de Wiegand, la cual expone que a menudo X_{BM}^e es igual a la media aritmética, con lo que la expresión anterior queda:

$$N_{OL} = \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{1-X_1}{1-X_2} \right) + \int \frac{dx}{(X^e - X)}$$

En el caso que se estudia, se trata de una disolución diluida, por lo que esta ecuación se simplifica ya que se cumple:

§ Las líneas de operación son rectas, así como la de equilibrio.

§ Es válida la ley de Henry:

$$P_i = P_T \quad ; \quad C_i = C_T$$

§ Los efectos térmicos son despreciables.

Así, la expresión para el cálculo del número de unidades de transferencia queda finalmente como:

$$N_{OL} = \frac{1}{1-\lambda} \cdot \ln \left[(1-\lambda) \left(\frac{X_2 - \frac{Y_1}{m}}{X_1 - \frac{Y_1}{m}} \right) + \lambda \right]$$

$L_m =$	Velocidad molar del líquido, mol/m ² s
$G_m =$	Velocidad molar del gas, mol/m ² s
$m =$	Pendiente de la curva de equilibrio
$L_m/G_m =$	Pendiente de la línea de operación
$H =$	Constante de Henry
$\lambda =$	Relación de pendientes

Se comenzará obteniendo las concentraciones de dióxido de carbono, tanto en el gas y en el líquido.

- o Concentración de CO₂ en el líquido a la entrada

$$C_{CO_2} = 132 \frac{mgCaCO_3}{l} = 2.61 \cdot 10^{-3} \frac{meq}{l} = 2.61 \cdot 10^{-3} \frac{mol}{l}$$

Se supone que el CO₂ es el componente único contenido en el líquido, luego tomando 1 litro (55.39 moles) como base de cálculo se obtendrá el dato de X₂.

$$X_2 = \frac{2.61 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l}}}{55.39 \frac{\text{mol}}{\text{l}} + 2.61 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l}}} = 4.72 \cdot 10^{-5}$$

- o Concentración de CO₂ en el líquido a la salida

Se sigue el mismo procedimiento que en el caso anterior. Como la efectividad del desgasificador es del 90%, la concentración de CO₂ a la salida será de 13.2 mg CaCO₃/l (2.61·10⁻⁴ mol/l). Por lo tanto, X₁ queda de la siguiente forma:

$$X_1 = \frac{2.61 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{l}}}{55.39 \frac{\text{mol}}{\text{l}} + 2.61 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{l}}} = 4.72 \cdot 10^{-6}$$

- o Concentración de CO₂ en el aire a la entrada

El contenido de CO₂ en aire puro es del 0.04% en volumen, luego pasado a fracción molar, esto nos queda como:

$$Y_1 = 4 \cdot 10^{-4}$$

Se continuará calculando el resto de variables necesarias para la obtención del número de unidades de transferencia.

- o Relación de pendientes (λ)

Para el caso de la desorción, esta relación de pendientes se calcula mediante la ecuación que se muestra a continuación:

$$\lambda = \frac{L_m}{m \cdot G_m}$$

En el caso del ejemplo que se estudia, los valores de estas tres variables se muestran en la tabla que sigue.

$L_m =$	112.65 mol/m ² s
$G_m =$	3.27 mol/m ² s
$m =$	1475

$$\lambda = \frac{112.65 \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \text{s}} \right)}{1475 \cdot 3.27 \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \text{s}} \right)} = 0.023$$

Con estos datos ya se puede conseguir el valor del número de unidades de transferencia.

$$N_{OL} = \frac{1}{1 - 0.023} \cdot \ln \left[(1 - 0.023) \frac{\left(\frac{4.72 \cdot 10^{-5} - \frac{4 \cdot 10^{-4}}{1475}}{4.72 \cdot 10^{-6} - \frac{4 \cdot 10^{-4}}{1475}} \right) + 0.023}{1} \right]$$

$$N_{OL} = 2.39$$

- Cálculo de la altura de la unidad de transferencia

La ecuación por la que se obtendrá este dato es la que se muestra:

$$H_{oL} = H_L + \frac{L_m}{m \cdot G_m} \cdot H_G$$

Para el cálculo de la altura de la unidad de transferencia se empleará una correlación empírica. Esta correlación es la correlación de Sherwood y Holloway para absorción contracorriente en relleno aleatoriamente distribuido.

Es una correlación empírica de experimentos de desorción de gases escasamente solubles en agua para el caso del coeficiente de fase líquida y basada en datos experimentales sobre el sistema amoniaco-agua-aire para el caso del coeficiente de la fase gaseosa.

- Cálculo del coeficiente de fase líquida, H_L :

$$H_L = a_L \cdot \left(\frac{L}{f_L} \right)^n \cdot N_{Sc,L}^{0.5} \quad ; \quad N_{Sc,L} = \frac{f_L}{f_L \cdot D_L}$$

Se muestra ahora la nomenclatura utilizada en estos cálculos.

$L =$	Velocidad másica del líquido (2990 lb/h ft ²)
$a_L =$	Constante específica del relleno
$N_{Sc,L} =$	Número de Schmidt líquido
$\mu_L =$	Viscosidad del líquido (1.81 lb/h ft)
$\rho_L =$	Densidad del líquido (62.23 lb/ft ³)
$D_L =$	Difusividad del líquido (8.14·10 ⁻⁷ ft ² /h)

Además de la nomenclatura anterior, para esta correlación, se necesitan de los siguientes valores de las constantes para el relleno:

D_N (mm)	a (m^2/m^3)	a_G	a_L	c	n	b
25,4	200	6,41	0,01	0,51	0,22	0,32
38,1	143,41	5,05	0,01	0,48	0,22	0,37
50,8	92	3,82	0,013	0,45	0,22	0,41

Continuando el ejemplo de cálculo anterior, lo primero es calcular en número de Schmidt para el líquido:

$$N_{Sc,L} = \frac{\mu_L}{\rho_L \cdot D_L} = \frac{1.81 \left(\frac{lb}{h \cdot ft} \right)}{62.23 \left(\frac{lb}{ft^3} \right) \cdot 8.14 \cdot 10^{-7} \left(\frac{ft^2}{h} \right)} = 35731.76$$

Para obtener H_L , simplemente hay que sustituir los datos en la ecuación que se mostraba con anterioridad.

$$H_L = a_L \cdot \left(\frac{L}{\mu_L} \right)^n \cdot N_{Sc,L}^{0.5} = 0.01 \cdot \left(\frac{2990 \left(\frac{lb}{h \cdot ft^2} \right)}{1.81 \left(\frac{lb}{h \cdot ft} \right)} \right)^{0.22} \cdot (35731.76)^{0.5}$$

$$H_L = 9.66 \text{ ft}$$

- Cálculo del coeficiente de la fase gaseosa, H_G :

$$H_G = a_G \cdot \frac{G^b}{L^c} \cdot N_{Sc,V}^{0.5} \quad ; \quad N_{Sc,V} = \frac{\mu_G}{\rho_G \cdot D_{AB}}$$

Al igual que en el caso de la fase líquida, se muestra ahora la nomenclatura utilizada en estos cálculos.

$G =$	Velocidad másica del gas (69.89 lb/h ft ²)
$L =$	Velocidad másica del líquido (2990 lb/h ft ²)
$a_G =$	Constante específica del relleno para el gas
$N_{Sc,V} =$	Número de Schmidt gas
$\mu_G =$	Viscosidad del gas ($1.75 \cdot 10^{-4}$ P)
$\rho_G =$	Densidad del gas (1.225 Kg/m ³)
$D_{AB} =$	Difusividad del gas ($1.56 \cdot 10^{-6}$ m ² /s)

Siguiendo el ejemplo anterior, lo primero que hay que hacer es calcular el número de Schmidt para el gas, el cual queda:

$$N_{Sc,V} = \frac{\mu_G}{\rho_G \cdot D_{AB}} = \frac{1.75 \cdot 10^{-4} (P)}{1.225 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \cdot 1.56 \cdot 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s} \right)} = 9.18$$

El cálculo de H_G queda de la siguiente manera:

$$H_G = a_G \cdot \frac{G^b}{L^c} \cdot N_{Sc,V}^{0.5} = 5.05 \cdot \frac{\left(69.89 \left(\frac{lb}{h \cdot ft^2} \right) \right)^{0.37}}{\left(2990 \left(\frac{lb}{h \cdot ft^2} \right) \right)^{0.48}} \cdot 9.18^{0.5}$$

$$H_G = 1.58 \text{ ft}$$

Una vez obtenidos estos dos coeficientes, ya se puede calcular la altura de la unidad de transferencia.

$$H_{OL} = H_L + \frac{L_m}{m \cdot G_m} \cdot H_G = 9.66 \text{ (ft)} + 0.023 \cdot 1.58 \text{ (ft)}$$

$$H_{OL} = 9.69 \text{ ft} = 2.96 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura del relleno

La altura de relleno requerida, se calcula de acuerdo con la relación:

$$Z = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

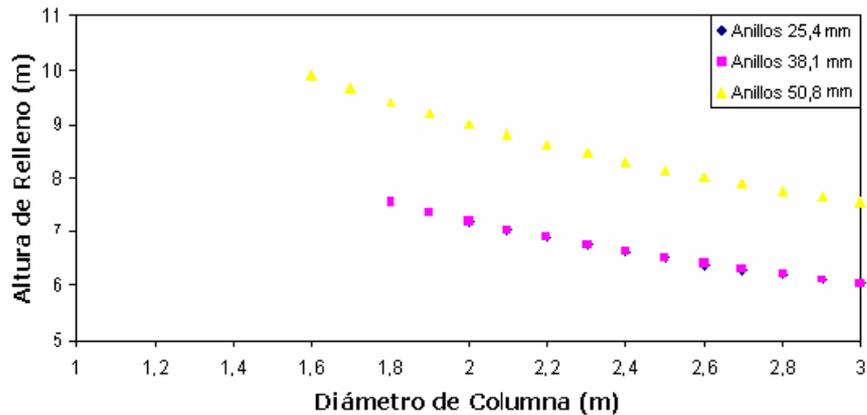


ESTUDIO DE LA ALTURA DEL RELLENO EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA COLUMNA Y EL DIÁMETRO DE LOS ANILLOS

De forma similar de cómo se hizo en el apartado del estudio de la pérdida de carga, ahora se va a realizar un estudio que relacione el diámetro de la columna de relleno y el tamaño nominal del relleno con la altura del mismo.

Siguiendo la misma metodología que en el ejemplo anterior para el cálculo de la altura del relleno en la columna, se obtienen el resto de los datos de altura para el resto de combinaciones de diámetro de columna y diámetro de los anillos de relleno.

Altura de Relleno Frente al Diámetro de Columna



Se ve, que para un mismo diámetro de columna, para anillos Raschig de 25.4 mm y de 38.1 mm, no existe diferencia en cuanto al dato de altura, pero comparándolos con los anillos de 50.8 mm, en éstos, se necesitaría un altura de relleno superior que para los otros dos casos, lo que conllevaría un aumento en el coste de inmovilizado.

CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

Se necesita conocer que potencia necesaria que tenga que aplicar el ventilador al fluido para que pueda introducirse por la parte inferior de la columna, en contracorriente con el líquido. Para el cálculo de la potencia necesaria se aplicará la siguiente ecuación.

$$P = Q \cdot \Delta P_T$$

Siendo en este caso, P la potencia del compresor (W), Q el caudal de aire a trasegar (m³/s), y ΔP_T , la pérdida de carga total en el sistema (Pa).

Continuando con el ejemplo que se ha seguido hasta ahora, los datos para el cálculo de la potencia del ventilador serán:

Q =	0.24 m ³ /s
Z =	7.07 m
ΔP _t =	587.37 Pa/m
ΔP _t =	4152.71 Pa

$$P = Q \cdot \Delta P_T = 0.24 \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot 4152.71 (Pa) = 996.65 W \cong 1 KW$$

Al ser la potencia directamente proporcional a la caída de presión, su relación con el diámetro de la columna y el diámetro nominal de los anillos Raschig será de la misma forma que en el caso de pérdida de carga; por los que el anillos de 25.4 mm tampoco serán satisfactorios en este caso.

COSTE DEL RELLENO Y DE COMPRESIÓN ANUAL

Para calcular el coste del relleno (C_{relleno}), se toma un valor de la bibliografía de 346.18 €/m³ (P_{relleno}). Para estimar el gasto de compresión, por un lado se obtiene la potencia real (P_R) de compresión suponiendo que tiene una eficacia del 80% y por otro lado se estima el precio energético (C_{energía}) en 0.054032 €/kW·h. Una vez que se han mostrado estos valores, se puede terminar el ejemplo calculando los costes del relleno y de compresión.

$$P_R = \frac{P}{0.8} = \frac{1 (KW)}{0.8} = 1.25 KW$$

$$V_{relleno} = \pi \cdot R^2 \cdot Z = \pi \cdot (1 (m))^2 \cdot 7.07 (m) = 22.21 m^3$$

$$C_{relleno} = V_{relleno} \cdot P_{relleno} = 22.21 (m^3) \cdot 346.18 \left(\frac{\text{€}}{m^3} \right) = 7688.66 \text{ €}$$

$$C_{compresión} = P_R \cdot C_{renergía} = 1.25 (KW) \cdot 0.054032 \left(\frac{\text{€}}{KW \cdot h} \right) \cdot \left(8760 \left(\frac{h}{año} \right) \right) = 591.65 \frac{\text{€}}{año}$$

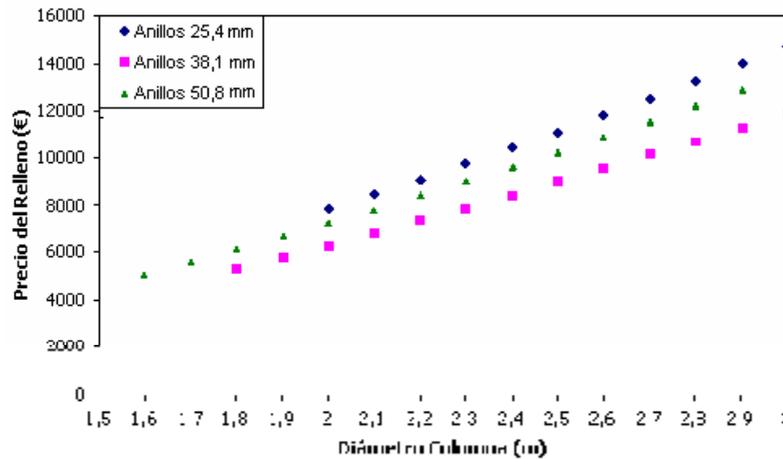
ESTUDIO ECONÓMICO Y ELECCIÓN FINAL DEL SISTEMA DE DESGASIFICACIÓN

Para la elección de la configuración mas adecuada para el sistema de desgasificación se hará un pequeño estudio económico como último paso de los cuatro casos desarrollados anteriormente.

Se realiza, al igual que en casos anteriores, una gráfica para poder visualizar la variación del coste de las dos variables que más pesan en el coste total de la columna, como son el volumen de relleno necesario y los gastos de compresión del ventilador.

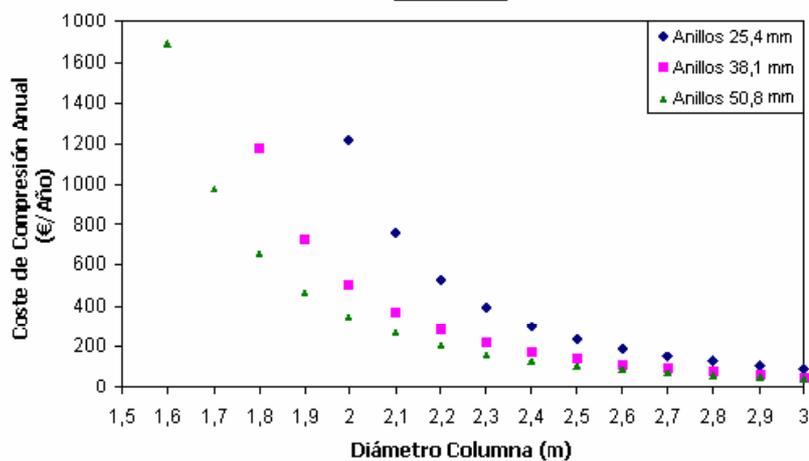
Primeramente se muestran los datos del coste del relleno en relación a los diámetros. Se ve a continuación, como que en este caso se ve claramente como el precio de los anillos de 38,1 mm, es siempre inferior que los otros dos, para cualquier dato de diámetro de columna.

Precio Del Relleno Frente al Diámetro de la Columna



Seguidamente se expone otro gráfico, pero en este caso, se podrá ver la relación del precio de la energía gastada, en la compresión, por el ventilador, con los diámetros de la columna y de los anillos.

Coste de Compresión Anual Frente al Diámetro de la Columna



Desde este punto de vista, se observa como al aumentar el diámetro de columna disminuye el coste de compresión, ya que la velocidad necesaria para satisfacer el caudal de aire, es menor. Desde la perspectiva económica, las columnas con anillos de 50.8 mm son menos costosas, pero no mucho más que los de 38,1 mm.

Por lo tanto, y visto los distintos puntos de estudio, se seleccionará los anillos Raschig de 38,1 mm (1 1/2 in) de diámetro nominal para el presente proyecto, ya que es la opción más óptima de las que se han estudiado. En cuanto al diámetro de la columna, siguiendo datos reales de la experiencia, la opción más usada en la industria es la de columnas de 2 metros de diámetro. Con esta opción se tiene una altura de relleno de 7.07 m.

En cuanto al ventilador que se puede utilizar en la columna, es un ventilador centrífugo modelo MB 22/9 T2 3, que es un ventilador de media presión, cuyas características se muestran a continuación:



CARACTERÍSTICAS GENERALES:
Serie con puesta por 3 tamaños distintos desde el 22/9 hasta el 28/11, provista de motores de 2, 4 y 6 polos trifásicos. Caudales desde 1.800 m³/h hasta 5.000 m³/h. Temperatura máxima de trabajo de 130°C en continua. Presiones estáticas hasta 250 m.m.c.d.a.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:
- Carcasa fabricada en chapa de acero laminado.
- Carcasa totalmente soldada o engastada.
- Turbina multipala de alabes curvados hacia adelante de simple aspiración fabricada en chapa galvanizada.
- Protegidos contra la corrosión mediante recubrimiento en polvo de resina epoxy.
- Motor asincrónico normalizado de jaula de ardilla con protección IP-55 y aislamiento clase F. Voltajes Standard 230/400V 50Hz para motores trifásicos hasta 5,5CV y 400/690V 50Hz para potencias superiores.

APLICACIONES:
Diseñados para montaje en tubería, están indicados básicamente para:
- Enfriamiento, máquinas, motores, piezas.
- Aspiración de humos.
- Procesos industriales, cocinas industriales y climatización.
- Transporte de aire limpio

BAJO DEMANDA:
- Ventiladores para trabajar a 60Hz, voltajes especiales.
- Motor 2 velocidades.
- Ventiladores antiinflamantes o antiexplosivos con motor certificado ATEX.
- Ventilador preparado para 250°C.
- Ventiladores fabricados en chapa galvanizada en caliente o acero inoxidable.

Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A)		P.Nom. (KW)	Q máx. m ³ /h	Sonido dB (A)	Peso (Kg)	P.V.P. (€)
		230	400					
MB 22/9 T2 3	2860	8,26	4,78	2,2	3000	74	30	425,30

DEPÓSITO DE AGUA DESGASIFICADA

El agua que pasa por la columna de desgasificación, antes de pasar a la columna de intercambio aniónico, llega al depósito de agua desgasificada, el cual se encuentra justamente debajo de la columna de desgasificación, es decir, que la parte superior del depósito sirve de soporte y de base para dicha columna.

Este depósito debe tener unas dimensiones específicas, ya que debe poder albergar en su interior el agua procedente de las dos cadenas de intercambio, si se diera el caso en el que las dos trabajaran simultáneamente. Hay que recordar que de este depósito también se usa el agua desgasificada para la regeneración de las columnas catiónicas.

Para este dimensionamiento se usarán los datos de la experiencia de otras instalaciones de desgasificación similares, por lo que se tomará un diámetro para el depósito de 2.8 metros, y una altura de 2.4 m. De esta forma se obtiene una esbeltez (L/D) dentro del rango recomendado por el fabricante. De esta forma el volumen del depósito de agua desgasificada será de:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot L = \pi \cdot \left(\frac{(2.8 \text{ (m)})^2}{4} \right) \cdot 2.4 \text{ (m)} = 17.78 \text{ m}^3$$

DISEÑO MECÁNICO DEL DESGASIFICADOR

Para el diseño mecánico de las dos partes en que consta el desgasificador, se opera exactamente igual que en el caso de intercambio

iónico, y por lo tanto no se mostrará aquí su metodología de cálculo, sino que se expondrá una tabla resumen con las características más importantes.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

	Columna Desgasificación	Depósito Agua Desgasificada
P_d	3.5 Kg/cm ²	3.5 Kg/cm ²
T_d	45 °C	45 °C
D_c	2.000 m	2.800m
Material	PRFV *	PRFV *
L_c	8.070 m	2.400 m
t	4.54 mm	5.34 mm
D_o	2.810 m	2.010 m
t_f	5.28 mm	7.39 mm
H_t	8.488 m	2.98 m

* PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio. La resistencia de la fibra de vidrio a tracción junto con la de la resina a compresión hace de esta mezcla un cuerpo ideal para soportar las sollicitaciones a flexión, tracción, compresión y esfuerzo cortante a la que será sometido el depósito en su vida operativa y durante su manipulación.

ANEXO III: DEPÓSITOS DE REGENERANTES, FILTROS Y AGUA DESIONIZADA

INTRODUCCIÓN

En este anexo se van a comentar las características del resto de depósitos de la instalación, los cuales son:

- § Depósitos de almacenamiento de los regenerantes
- § Depósitos de dilución de los regenerantes
- § Filtros de carbón activo
- § Depósitos de agua desionizada

Se empezará describiendo por los filtros de carbón activo.

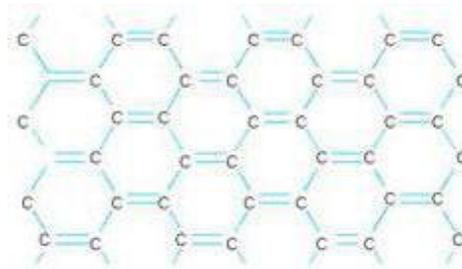
FILTROS DE CARBÓN ACTIVO

El fenómeno físico que se produce en las dos columnas de filtración se denomina adsorción; mediante este proceso, las materias que hay que filtrar se adhieren a la superficie de un sólido, sin reacción química. El compuesto más adsorbente que se conoce en la actualidad es el carbón activo (CA), ya que su gran porosidad hace aumentar la superficie en contacto con el agua. El CA es preparado a partir de diversos materiales, tales como, carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo. El carbón se transforma en "activo" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000 °C) en la ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. Esta enorme cantidad de área superficial proporciona grandes oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción.

Desde el punto de vista de la composición química, el CA es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo, y los diversos carbones minerales, o de leña.

Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido, llamado adsorbente, atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos, y que están contenidas en un líquido o un gas.

La diferencia fundamental entre uno y otro tipo de carbón radica en la estructura de sus átomos. En el caso del CA, éstos se encuentran combinados en forma de placas gráficas, que pueden representarse de acuerdo a la figura.



Las placas están separadas y tienen distintas orientaciones, por lo que existen espacios entre ellas, a los que se denominan poros, que brindan al CA su principal característica: una gran área superficial, y por lo tanto, una alta capacidad adsorbente. El área de la mayoría de los carbones activados comerciales está entre 500 y 1500 m²/g.

- Características del filtro de carbón activo

En este proceso de filtración, 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 desionizada de proceso, en las cuales se precisan de filtros de carbón activo. En estos casos se diseñan las columnas de filtración, con las mismas dimensiones que las de intercambio iónico, y de esta forma se asegura que el sistema de filtración vaya a cumplir con su fin, ya que la columna se va a encontrar sobredimensionada. En el presente proyecto se vana tomar las dimensiones de la columna de intercambio catiónico para asimilar las columnas de filtración, ya que de las dos columnas de intercambio iónico es la de menor tamaño y necesita menor altura de relleno.

De esta forma, el dimensionamiento de las columnas de filtración, siguiendo el mismo procedimiento que se realiza en el Anexo I de Intercambio Iónico, queda de la siguiente forma.

Variable	Filtro de Carbón Activo
t (mm)	6.44
t_r (mm)	6.45
D (m)	1.600
D_o (m)	1.613
Tipo de fondos	KORBBOGEN
H_r (m)	0.345

V_F (m³)	0.41
L_c (m)	2.440
H_t (m)	3.130
P_f (Kg)	103.49
P_t (Kg)	3150.64

- t** = Espesor de la envolvente
- t_f** = Espesor de los fondos
- H_f** = Altura de fondo
- V_f** = Volumen de fondo
- D** = Diámetro interno de la columna
- D_o** = Diámetro externo de la columna
- L_c** = Longitud de la envolvente
- H_t** = Altura total de la columna
- P_f** = Peso del fondo
- P_t** = Peso total de la columna

DEPÓSITOS DE REGENERANTES

En la instalación hay dos depósitos de productos químicos que sirven de regenerantes para las resinas de intercambio iónico. Estos regenerantes son el ácido sulfúrico al 98%, para la resina de intercambio catiónico; y sosa al 50 %, para la resina de intercambio aniónico.

En el Anexo I, se obtuvo la cantidad de regenerante necesaria para regenerar cada columna de intercambio, por ciclo. Estas cantidades son:

Volumen H ₂ SO ₄	16.19 litros
Volumen NaOH	3.05 litros

Estos volúmenes de regenerantes son los necesarios para cada ciclo, que son de 24 horas (1 día). Los depósitos de deberán tener una autonomía suficiente de cómo mínimo 4 semanas.

- Depósito de ácido sulfúrico

El volumen necesario del depósito para tener la autonomía de 4 semanas es de:

$$V_{H_2SO_4} = 453.32 \text{ litros} \approx 500 \text{ litros} = 0.5 \text{ m}^3$$

Aplicando la condición de superficie mínima se obtiene las dimensiones del depósito que minimizan ésta, obteniendo:

$$\left. \begin{aligned} V_{H_2SO_4} &= \pi \cdot R^2 \cdot L \\ S &= (2 \cdot \pi \cdot R \cdot L) + (2 \cdot \pi \cdot R^2) \end{aligned} \right\} \rightarrow S = \frac{2 \cdot V_{H_2SO_4}}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

$$\xrightarrow{\text{DERIVANDO}} \frac{DS}{DR} = 0 = -\frac{2 \cdot V_{H_2SO_4}}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{H_2SO_4}}{2 \cdot \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{0.5 \text{ (m}^3\text{)}}{2 \cdot \pi}} = 0.43 \text{ m} \Rightarrow D = 0.86 \text{ m}$$

Seguidamente se obtiene la longitud de la envolvente así como el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{H_2SO_4}}{2 \cdot R^2} = \frac{0.5 \text{ (m}^3\text{)}}{2 \cdot (0.43 \text{ (m)})^2} = 1.35 \text{ m}$$

$$V_{H_2SO_4} = \pi \cdot R^2 \cdot L = \pi \cdot (0.43(m))^2 \cdot 1.35(m) = 0.79 m^3$$

- Depósito de sosa

Como la cantidad necesaria de sosa por ciclo es muy pequeña, el depósito de sosa va a disponer de una autonomía de 8 semanas

$$V_{NaOH} = 170.80 \text{ litros} \approx 200 \text{ litros} = 0.2 m^3$$

Aplicando la condición de superficie mínima se obtiene las dimensiones del depósito que minimizan ésta, obteniendo:

$$\left. \begin{aligned} V_{NaOH} &= \pi \cdot R^2 \cdot L \\ S &= (2 \cdot \pi \cdot R \cdot L) + (2 \cdot \pi \cdot R^2) \end{aligned} \right\} \rightarrow S = \frac{2 \cdot V_{NaOH}}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

$$\xrightarrow{\text{DERIVANDO}} \frac{DS}{DR} = 0 = -\frac{2 \cdot V_{NaOH}}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{NaOH}}{2 \cdot \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{0.2 (m^3)}{2 \cdot \pi}} = 0.32 m \Rightarrow D = 0.64 m$$

Seguidamente se obtiene la longitud de la envolvente así como el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{NaOH}}{2 \cdot R^2} = \frac{0.2 (m^3)}{2 \cdot (0.32 (m))^2} = 0.98 m$$

$$V_{NaOH} = \pi \cdot R^2 \cdot L = \pi \cdot (0.32(m))^2 \cdot 0.98(m) = 0.32 m^3$$

- Diseño Mecánico depósitos regenerantes

El diseño mecánico de estos depósitos, siguiendo el ejemplo de cálculo de la columna de intercambio catiónico, dan como resultado las siguientes dimensiones de los depósitos de regenerantes:

Variable	Depósito H₂SO₄	Depósito NaOH
t (mm)	3.40	3.18
t_r (mm)	3.41	3.19
D (m)	0.860	0.640
D_o (m)	0.867	0.646
Tipo de fondos	PLANO	PLANO
L_c (m)	1.350	0.980
H_t (m)	1.350	0.980
P_t (Kg)	1573.57	536.01

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

Éste 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 345.77 litros. Este volumen se refiere a H_2SO_4 diluido al 8%, de donde para obtenerlos se mezclan en este depósito de dilución 16.19 litros de H_2SO_4 al 98% con 329.58 litros de agua descationizada.

De la misma forma que se aplicó en los depósitos de regeneración, aplicando la condición de superficie mínima se obtiene las dimensiones del depósito que minimizan ésta, obteniendo:

$$\left. \begin{aligned} V_{H_2SO_4} &= \pi \cdot R^2 \cdot L \\ S &= (2 \cdot \pi \cdot R \cdot L) + (2 \cdot \pi \cdot R^2) \end{aligned} \right\} \rightarrow S = \frac{2 \cdot V_{H_2SO_4}}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

$$\xrightarrow{\text{DERIVANDO}} \frac{DS}{DR} = 0 = -\frac{2 \cdot V_{H_2SO_4}}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{H_2SO_4}}{2 \cdot \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{0.34577 (m^3)}{2 \cdot \pi}} = 0.38 m \Rightarrow D = 0.76 m$$

Seguidamente se obtiene la longitud de la envolvente así como el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{H_2SO_4}}{2 \cdot R^2} = \frac{0.34577 (m^3)}{2 \cdot (0.38 (m))^2} = 1.20 m$$

$$V_{H_2SO_4} = \pi \cdot R^2 \cdot L = \pi \cdot (0.38(m))^2 \cdot 1.20(m) = 0.54 m^3$$

- Depósito de dilución de sosa

Éste 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 111.44 litros. Este volumen se refiere a NaOH diluido al 2%, de donde para obtenerlos se mezclan en este depósito de dilución 3.05 litros de NaOH al 50% con 108.40 litros de agua desionizada.

De la misma forma que se aplicó en los depósitos de regeneración, aplicando la condición de superficie mínima se obtiene las dimensiones del depósito que minimizan ésta, obteniendo:

$$\left. \begin{aligned} V_{NaOH} &= \pi \cdot R^2 \cdot L \\ S &= (2 \cdot \pi \cdot R \cdot L) + (2 \cdot \pi \cdot R^2) \end{aligned} \right\} \rightarrow S = \frac{2 \cdot V_{NaOH}}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

$$\xrightarrow{\text{DERIVANDO}} \frac{DS}{DR} = 0 = -\frac{2 \cdot V_{NaOH}}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{NaOH}}{2 \cdot \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{0.11144 (m^3)}{2 \cdot \pi}} = 0.26 m \Rightarrow D = 0.52 m$$

Seguidamente se obtiene la longitud de la envolvente así como el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{NaOH}}{2 \cdot R^2} = \frac{0.11144 (m^3)}{2 \cdot (0.26 (m))^2} = 0.82 m$$

$$V_{NaOH} = \pi \cdot R^2 \cdot L = \pi \cdot (0.26(m))^2 \cdot 0.82 (m) = 0.17 m^3$$

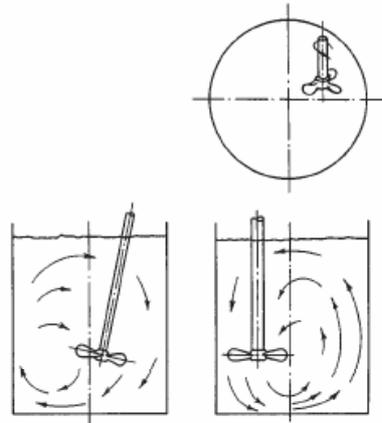
- Diseño Mecánico depósitos de dilución regenerantes

El diseño mecánico de estos depósitos, siguiendo el ejemplo de cálculo de la columna de intercambio catiónico, dan como resultado las siguientes dimensiones para los depósitos de dilución de los regenerantes:

Variable	Depósito Dilución H ₂ SO ₄	Depósito Dilución NaOH
t (mm)	3.30	3.06
t_f (mm)	3.31	3.07
D (m)	0.760	0.520
D_o (m)	0.767	0.526
Tipo de fondos	PLANO	PLANO
L_c (m)	1.200	0.820
H_t (m)	1.200	0.820
P_t (Kg)	607.07	196.34

- Sistemas de agitación

A continuación se presentan los cálculos de la potencia de agitación necesaria para los depósitos de dilución de los regenerantes. Estos sistemas de agitación se instalarán para que se produzca una mejor dilución de los regenerantes.



- Agitación para dilución de H₂SO₄

El diámetro del depósito de dilución de H₂SO₄ es de 0.76 m, y se tomará el diámetro del agitador (D_a) como un tercio de dicho diámetro:

$$D_a = \frac{D_c}{3} = \frac{0.76 (m)}{3} = 0.253 m$$

A continuación debe calcularse el n^o de Reynolds para la agitación en función del valor calculado anteriormente, de las propiedades físicas del ácido sulfúrico, y de la velocidad de agitación (N). En este caso se fija un valor de 200 rpm (3.33 s⁻¹) para la agitación del presente depósito. El valor de densidad del H₂SO₄ a la temperatura de trabajo es de 1050.20 Kg/m³, mientras que para el dato de viscosidad, se ha tomado el valor del agua.

$$Re = \frac{N \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{3.33 (s^{-1}) \cdot (0.253 (m))^2 \cdot 1050.20 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)}{1 \cdot 10^{-3} \left(\frac{Kg}{m \cdot s} \right)} = 223850.0985$$

Re > 300 ⇒ Hay que considerar el n^o de Fraude

A partir del análisis dimensional para un agitador de turbina genérico se establece la relación entre los tres números adimensionales más íntimamente relacionados en los cálculos de agitación:

$$N^o \text{ de Potencia} \Rightarrow P_o = \frac{P}{N^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho}$$

$$N^o \text{ de Reynolds para la agitación} \Rightarrow R_e = \frac{N \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu}$$

$$N^o \text{ de Fraude} \Rightarrow F_r = \frac{N^2 \cdot D_a}{g}$$

Análisis Dimensional $\rightarrow P_o = C \cdot R_e^x \cdot F_r^m$

$C \rightarrow$ factor de forma que representa la geometría del sistema.

En este caso al ser el n^D de Reynolds mayor de 300 se define la función de potencia adimensional como:

$$\psi = \frac{P_o}{F_r^m} = C \cdot R_e^x$$

El valor de m se obtiene mediante la relación:

$$m = \frac{a - \log R_e}{b}$$

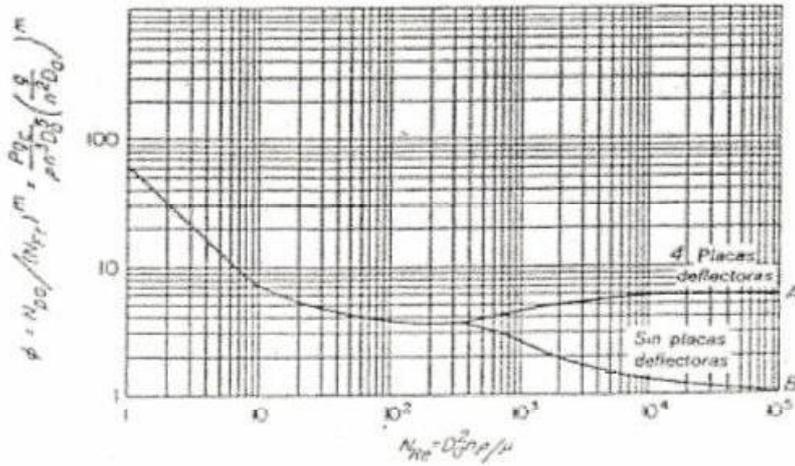
Donde a y b son valores tabulados, que para el caso de usar un agitador de turbina de seis palas sin placas deflectoras, toman los valores de:

$$\begin{cases} a = 1 \\ b = 40 \end{cases}$$

$$m = \frac{1 - \log(223850.0985)}{40} = -0.11$$

$$F_r = \frac{(3.33 \text{ (rps)})^2 \cdot 0.253 \text{ (m)}}{9.82 \left(\frac{m^2}{s} \right)} = 0.29$$

Para obtener Φ , se acude a la siguiente gráfica, donde se relaciona Φ con el n^D de Reynolds.



Función de potencia Φ frente a N_{Re} para un agitador de turbina de seis palas

$$\Phi \approx 1$$

$$P_o = \Phi \cdot F_r^m = 1 \cdot (0.28)^{-0.11} = 1.15$$

$$P = P_o \cdot N^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho = 1.15 \cdot (3.33 \text{ (s}^{-1}\text{)})^3 \cdot (0.253 \text{ (m)})^5 \cdot 1050.20 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$P = 46.23 \text{ W}$$

- Agitación para dilución de NaOH

Operando de forma análoga que para el caso anterior se obtiene una potencia del agitador de:

$$P = 32.15 \text{ W}$$

DEPÓSITO DE AGUA DESIONIZADA

Este depósito tomará la función de almacenamiento final del agua desionizada que se ha producido en el procesote intercambio iónico. De este depósito se abastecerán aquellos procesos que precisen de esta agua desmineralizada.

Se dimensionará el depósito para una hora de producción de agua desionizada, lo cual corresponde a 23 m³, y para este dato se aplicará la condición de superficie mínima, obteniendo de esta forma las dimensiones de dicho depósito:

$$\left. \begin{aligned} V_{H2O} &= \pi \cdot R^2 \cdot L \\ S &= (2 \cdot \pi \cdot R \cdot L) + (2 \cdot \pi \cdot R^2) \end{aligned} \right\} \rightarrow S = \frac{2 \cdot V_{H2O}}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

$$\xrightarrow{\text{DERIVANDO}} \frac{DS}{DR} = 0 = -\frac{2 \cdot V_{H2O}}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{V_{H2O}}{2 \cdot \pi}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{23(m^3)}{2 \cdot \pi}} = 1.54 m \Rightarrow D = 3.08 m$$

Seguidamente se obtiene la longitud de la envolvente así como el volumen final de esta:

$$L = \frac{V_{H2O}}{2 \cdot R^2} = \frac{23(m^3)}{2 \cdot (1.54(m))^2} = 4.85 m$$

$$V_{H2O} = \pi \cdot R^2 \cdot L = \pi \cdot (1.54(m))^2 \cdot 4.85(m) = 36.14 m^3$$

- Diseño Mecánico depósito agua desionizada

El diseño mecánico de este depósito, siguiendo el ejemplo de cálculo, da como resultado las siguientes dimensiones del depósito de agua desionizada:

Variable	Depósito de Agua Desionizada
t (mm)	7.92
t_f (mm)	7.94
D (m)	3.080
D_o (m)	3.100
Tipo de fondos	KORBBOGEN
H_f (m)	0.647
V_F (m³)	2.92
L_c (m)	4.850
H_t (m)	6.144
P_f (Kg)	461.93
P_t (Kg)	42710.89

ANEXO IV: TUBERIAS

INTRODUCCIÓN

Las dimensiones de la tubería dependerán de la línea de la planta. Para la selección del tipo de tubería es preciso calcular el diámetro interno necesario a través de la siguiente expresión obtenida de la ecuación de continuidad.

$$Q = A \cdot v = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot v \Rightarrow D_t = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Q = Caudal de líquido (m³/s)

v = Velocidad lineal del líquido (m/s)

D_t = Diámetro interior de la tubería (m)

El diámetro calculado es el diámetro teórico, que normalmente no coincidirá con un diámetro comercial (nominal) y será necesario elegir, desde un punto de vista práctico, el diámetro nominal inmediatamente superior

El caudal viene ya determinado según las etapas de regeneración y de producción, por tanto el diámetro depende principalmente de la velocidad lineal del líquido. La selección de la velocidad lineal es un aspecto importante en el diseño de tuberías puesto que:

§ Velocidades excesivamente grandes originan excesivas pérdidas de carga, lo cual eleva mucho los costes de bombeo y puede causar erosión de los diversos constituyentes del sistema.

§ Velocidades excesivamente pequeñas obligarían al uso de tuberías y accesorios de gran tamaño, lo cual aumentaría el presupuesto y los costes de instalación.

TABLA DE VELOCIDADES MEDIAS DE CIRCULACIÓN DE FLUIDOS

— Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a presión de 0 a 2 Kg/cm ²	20 m/s
— Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a presión de > 2 Kg/cm ²	30 m/s
— Vapor de agua recalentado a presión < 14 Kg/cm ²	50 m/s
— Vapor de agua recalentado a presión > 14 Kg/cm ²	50-70 m/s
— Agua, en servicios normales	1,2 ÷ 1,8 m/s
— Amoníaco líquido	1,8 m/s
— Amoníaco gas	30 m/s
— Aceites	1,5 m/s
— Cloro líquido	1,5 m/s
— Gas natural	30 m/s
— Hidrógeno	20 m/s
— Aire (0-2 Kg/cm ²)	20 m/s
— Oxígeno (temp. ambiente)	10 m/s
— Acido sulfúrico	1,2 m/s
— Agua de mar (en tubería recubierta de goma) ...	1,5 + 2,4 m/s
— Agua de mar (en tubería recubierta de cemento).	1,5 + 3,5 m/s

Una vez obtenido el diámetro interior, se procede a la elección de una tubería adecuada en el catálogo. En los catálogos de tuberías de PVC se muestran éstas, clasificadas por su diámetro nominal y por su presión nominal. Se escogerá un diámetro nominal superior al diámetro interior anteriormente calculado.

DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS

Como ejemplo de cálculo, se va a obtener el dimensionamiento de las tuberías de PVC correspondientes a la línea que unen el filtro de carbón activo con el intercambiador de cationes.

El caudal de diseño será el mayor de entre todos los que circulen por dicha tubería, los cuales se resumen en esta tabla:

Q (m³/h)	Descripción
23	Proceso normal de producción
20	Caudal de regeneración
20	Caudal de lavado del lecho
96.51	Caudal de compactación del lecho
60	Caudal de lavado del filtro

Por tanto se tomará el caudal de compactación del lecho de resinas de la columna de intercambio catiónico, 96,51 m³/h (0.027 m³/s), como caudal de diseño.

En cuanto al dato de velocidad, según la tabla que se mostró anteriormente, se toma el valor mayor del rango para agua en servicios normales, es decir, una velocidad de 1.8 m/s.

Por lo tanto el diámetro interno de este tramo de tuberías es el siguiente:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.027 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi \cdot 1.8 \left(\frac{m}{s}\right)}} = 0.1382 \text{ m}$$

Con este valor de diámetro interior de la tubería, ahora se hace uso del catálogo de tuberías de PVC, para obtener el diámetro nominal y el espesor de la tubería.

Respecto a la presión nominal, se elige la que se considere adecuada y luego en el cálculo de la potencia de la bomba se verá si su elección es adecuada o no, es decir si la presión de trabajo es menor que la presión nominal.

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	20
200	4	5,9	9,6	14,9	22,3
225	4,5	6,6	10,8	16,7	25
250	4,9	7,3	11,9	18,6	27,8
280	5,5	8,2	13,4	20,8	-
315	6,2	9,2	15	23,4	-
355	7	10,4	16,9	26,3	-
400	7,9	11,7	19,1	29,7	-
450	8,9	13,1	21,5	-	-
500	9,8	14,6	23,9	-	-

D _N	e _N	D	P _N	Q	v
140 mm	2.8 mm	134.4 mm	4 Kg/cm ²	0.027 m ³ /s	1.8 m/s

A continuación se recoge en una tabla el resto de líneas de tuberías, siguiendo el mismo esquema de cálculo que en el caso anterior.

Línea	D _N	e _N	D	P _N	Q	v
1	110 mm	3.2 mm	105.6 mm	6 Kg/cm ²	0.013 m ³ /s	1.8 m/s
2	140 mm	2.8 mm	134.4 mm	4 Kg/cm ²	0.027 m ³ /s	1.8 m/s
3	110 mm	3.2 mm	105.6 mm	6 Kg/cm ²	0.013 m ³ /s	1.8 m/s
4	75 mm	1.8 mm	71.4 mm	4 Kg/cm ²	0.006 m ³ /s	1.8 m/s
5	90 mm	1.8 mm	86.4 mm	4 Kg/cm ²	0.006 m ³ /s	1.2 m/s
6	110 mm	3.2 mm	105.6 mm	6 Kg/cm ²	0.013 m ³ /s	1.8 m/s
7	75 mm	1.8 mm	71.4 mm	4 Kg/cm ²	0.006 m ³ /s	1.8 m/s
8	63 mm	1.9 mm	59.4 mm	6 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s
9	63 mm	1.9 mm	59.4 mm	6 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s
10	63 mm	1.8 mm	59.4 mm	4 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s
11	63 mm	1.8 mm	59.4 mm	4 Kg/cm ²	0.002 m ³ /s	1.2 m/s

Nombre	línea
Alimentación	1
Filtro – I. Cation	2
I. Cation - Desgasificador	3
Regeneración Cation	4
Agua Desgasificada – I. Anion	5
I. Anion – Agua Desionizada	6
Regeneración Anion	7
H ₂ SO ₄ - Dilución	8
NaOH - Dilución	9
Agua Desionizada - Dilución	10
Agua Desgasificada - Dilución	11

ANEXO V: BOMBAS

INTRODUCCIÓN

Las bombas que manejan líquidos pueden clasificarse de manera general y de acuerdo con su principio de funcionamiento en dos grandes grupos:

- Bombas centrífugas o hidrodinámicas (rotodinámicas)
- Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas

Para ofrecer unas características generales se aporta la siguiente tabla:

	Bombas Centrífugas	Bombas Desplazamiento Positivo
Líquidos que manejan	- Aguas limpias y sucias - Aguas con sólidos en suspensión	- Líquidos viscosos - Líquidos pastosos
Presiones de trabajo	Bajas	Altas
Caudales	Grandes	Pequeños
Aspiración	No aspiran. Necesitan cebado	Autoaspirantes
Características	El caudal que entrega la bomba depende de la presión de trabajo	La bomba da un caudal constante independiente de la presión de trabajo
Válvula de seguridad o recirculación	No es necesaria	Es obligatoria
Consumos eléctricos	Tanto mayor cuanto menor sea la presión de trabajo	Tanto mayor cuanto menor sea la presión de trabajo
Pulsaciones	Muy uniformes	Muy pulsantes
Tamaño	Todas las potencias: 0.5 -1000 CV	Potencias pequeñas: 0.5-100 CV

En el presente proyecto se utilizarán bombas centrífugas.

El objeto del bombeo de agua o cualquier otro líquido es transportarlo de un punto más bajo a otro más alto, venciendo presiones, resistencias en las conducciones y desniveles.

Una bomba centrífuga consta de una carcasa, llamada cuerpo o cubierta, dentro de la cual se encuentra uno o varios rodetes o impulsores enchavetados o atornillados al eje de la bomba y que giran movidos por un elemento accionador, normalmente un motor eléctrico, una turbina de vapor o un motor de combustión.

A continuación se procede al diseño de las bombas que componen la instalación a proyectar. Se detallará el cálculo de una de las bombas, calculándose el resto de forma análoga.

BOMBAS DE IMPULSIÓN DEL AGUA DESGASIFICADA

Estas bombas son las encargadas de impulsar el agua desgasificada desde el depósito de agua desgasificada hasta el depósito final de almacenamiento de agua desionizada, pasando antes por la columna de intercambio aniónico. Además, estas bombas son las encargadas de impulsar el agua desgasificada (descationizada) desde el depósito de agua desgasificada hasta el depósito de dilución de ácido sulfúrico. La potencia que necesitarían las bombas para esta segunda impulsión, es inferior a la que necesita para realizar el primer trayecto comentado, por lo que para el cálculo de la potencia de estas bombas se centrará en la impulsión del agua hasta el depósito de agua desionizada, cumpliendo de esta forma también y con creces las necesidades de la otra impulsión.

El cálculo de la potencia de la bomba requerida para impulsar al agua desgasificada hasta el depósito de almacenamiento del agua desionizada, se realiza mediante la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + \Delta z + h_f = \eta \cdot \Delta h$$

$\Delta P / \rho g$	Carga de presión
Δz	Carga estática
$\Delta v^2 / 2g$	Carga de velocidad
h_f	Pérdida de carga por fricción
$\eta \Delta h$	Carga mecánica aportada por la bomba

Para su cálculo, se mantiene constante la sección de tubería y el caudal del fluido, por lo que no existirá variación de velocidad. En el caso de la presión, se supondrá el caso más restrictivo en el cual el depósito de agua desgasificada está prácticamente vacío por lo que el peso de fluido no ayuda a la impulsión del fluido. De esta forma, la ecuación se quedaría de la siguiente forma:

$$\Delta z + h_f = \eta \cdot \Delta h$$

La altura que la bomba debe vencer es de 4.476 metros, que corresponde a la diferencia de alturas entre la salida del depósito de agua desgasificada, hasta la entrada al depósito de almacenamiento de agua desionizada.

Para el cálculo de la pérdida de carga se determina el régimen de flujo a través del número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu}$$

El caudal circulante por la bomba será de 23 m³/h (0.006m³/s), y dado el diámetro de la tubería 0.1143 m (4.5"), se determina la velocidad del fluido.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot \left(\frac{D^2}{4}\right)} = \frac{0.006 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi \cdot \left(\frac{0.1143^2 (m)^2}{4}\right)} = 0.62 \frac{m}{s}$$

Con este dato y con los valores de densidad y viscosidad del agua, se obtiene el número de Reynolds.

$$Re = \frac{997.045 \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \cdot 0.1143 (m) \cdot 0.62 \left(\frac{m}{s}\right)}{10^{-3} \left(\frac{Kg}{m \cdot s}\right)} = 70994.41878$$

El factor de fricción (4f) se determina en función del Reynolds imperante en el sistema, de manera que si Re < 2000 se emplea la expresión [1] y si Re > 2000 se emplea la expresión [2].

$$4f = \frac{64}{Re} \quad [1]$$

$$\frac{1}{\sqrt{4f}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{4f}} \right) \quad [2]$$

En el presente caso, al disponer de un Re mayor que 2000, se tendrá que calcular el factor de fricción, mediante la expresión [2], realizando una pequeña iteración.

$(4f)_{sup}$	$\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{4f}}$	$-2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{4f}} \right)$	$(4f)_{calc}$
0,002	1,15E-03	5,88	0,028901
0,028901	5,63E-04	6,50	0,023672
0,023672	5,84E-04	6,47	0,023915
0,023915	5,83E-04	6,47	0,023902
0,023902	5,83E-04	6,47	0,023903
0,023903	5,83E-04	6,47	0,023903

$$4f = 0.023903$$

La longitud corregida (L_c) que se incluye en la ecuación de Fanning, se determina sumándole a la longitud de tubería real (L_t) la longitud equivalente, que se calculará acudiendo a referencias bibliográficas.

$$L_t = 11.922 \text{ m}$$

$$L_c = L_t + 0.4 \cdot L_t = 16.691 \text{ m}$$

Por lo tanto, con la ya mencionada ecuación de Fanning se determinará la pérdida de carga a la que está sometida el tramo de tubería debido a la fricción.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L_c}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_f = 0.023903 \cdot \frac{16.691 (m)}{0.1143 (m)} \cdot \frac{\left(0.62 \left(\frac{m}{s}\right)\right)^2}{2 \cdot 9.82 \left(\frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_f = 0.069 m$$

La potencia requerida finalmente por la bomba aplicando la ecuación de Bernoulli antes comentada, se obtiene considerando que la bomba funciona a un rendimiento del 70%.

$$\Delta h = \frac{\Delta z + h_f}{\eta} = \frac{4.476 (m) + 0.069 (m)}{0.7}$$

$$\Delta h = 6.493 m$$

Convirtiendo el valor a las unidades de mayor uso en el campo de bombas (multiplicando por el caudal volumétrico, la aceleración de la gravedad y la densidad) se obtiene:

$$\Delta h = 406.16 W \approx 0.5 KW$$

RESUMEN DE BOMBAS

Siguiendo el mismo procedimiento anterior para el resto de las bombas se obtienen los resultados que se presentan a continuación:

Depósito Inicial	Agua desgasificada	Dilución H ₂ SO ₄	Dilución NaOH
Depósito Final	Agua desionizada	Columna Catiónica	Columna Aniónica
Bomba	PG	PR	PR
Potencia	0.5 KW	0.25 KW	0.25 KW

La planta de intercambio iónico necesitaría otra bomba, que sería la que impulsaría el agua desionizada a los procesos que la requieran, pero al desconocer cual será esa necesidad de agua desionizada no está diseñada en el presente proyecto.

También se ha considerado el no disponer de bombas para impulsar el ácido sulfúrico y el hipoclorito sódico hasta sus correspondientes depósitos de dilución, ya que al ser el caudal muy pequeño y la distancia a vencer muy corta, la potencia que requeriría una bomba sería casi nula. Para dicho trasiego, se elevarán los depósitos de los regenerantes lo suficiente, para que no haya problemas en el trasiego de estos líquidos.

En cuanto a las bombas que se podrían utilizar en la instalación, de modo de referencia, se pueden utilizar bombas de la serie IN-, las cuales son bombas centrífugas normalizadas (DIN-24255), de la empresa ITUR. La ficha técnica de estas bombas se encuentra al final del presente proyecto.



ANEXO VI: INFORME AMBIENTAL

IDENTIFICACIÓN DE LA ACTUACIÓN

Según la normativa vigente, para la construcción del presente proyecto sobre el diseño de una planta de intercambio de iones para producir agua desionizada de proceso, es necesaria la presentación y aprobación de un informe ambiental por la administración competente, según la vigente Ley 7/1994.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

En el presente apartado, se recogen las características básicas de la actuación y su posible incidencia ambiental, tanto en la fase de ejecución como en la fase de operación.

Ø Fase de Operación

Durante la fase de operación y bajo condiciones de normal funcionamiento de la instalación, las únicas acciones que generan un cierto efecto que puede interaccionar sobre el entorno son:

- Evacuación de efluentes de regeneración y del lavado de las columnas.
- Evacuación de las aguas sanitarias.
- Ruidos y vibraciones originados por la maquinaria y los vehículos de transporte.

- Evacuación de las aguas de escorrentía superficial.

La actividad proyectada no contempla ningún proceso que implique, en el normal funcionamiento de la actividad, la formación de ningún subproducto en ningún estado de agregación (sólido, líquido o gaseoso) que sea susceptible de impactar sobre el entorno y sobre el que sea necesario adoptar medidas de corrección específicas.

- 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 producirá 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 dispondrá de un edificio auxiliar, donde se encuentran 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. Dado que se prevé que el personal de la planta sea reducido (menor de media docena de personas) el volumen de efluente originado será mínimo, por lo que sólo será necesario construir una pequeña

red de saneamiento hasta que ésta conecte con la propia red de saneamiento de la zona.

- 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 rellenado de los depósitos de regenerantes, así como el funcionamiento de los agitadores y el ventilador del desgasificador.

- Evacuación de escurrimientos 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 escurrimientos de aguas superficiales en épocas de lluvias, requiriendo la adopción de medidas específicas.

Estas medidas correctivas consisten en un sistema de alcantarillado estratégicamente dispuesto para la distribución de dichas esorrentías a la red de saneamiento públicas.

Ø Fase de Construcción

Durante la fase inicial de construcción las acciones susceptibles de producir algún impacto son:

- Movimiento de materiales, equipos y maquinarias para la construcción e instalación de edificios, tanques, tuberías etc.
- Movimiento de escombros y desechos resultantes en la etapa de la construcción e instalación.

La interacción de las acciones anteriores con el entorno será:

- 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.

INCIDENCIA AMBIENTAL

A continuación se describen las medidas correctoras y protectoras adoptadas con objeto con minimizar o eliminar de la incidencia sobre el entorno.

Ø 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.

Ø Incidencias Sobre el Medio Atmosférico

El sistema cuenta con un desgasificador del agua, el cual emitirá una corriente de aire cargado de dióxido de carbono a la atmósfera cuyo caudal másico y concentración en dióxido de carbono se encuentran del rango permitido por la legislación vigente (Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico).

Ø 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 en la emisión de ruidos y contaminantes a través de los gases de escape.

Ø 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 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 16/02, 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 10/98, de 21 de abril, 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.
- Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico.

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL

El presente Plan de Vigilancia Ambiental tiene por objeto:



DISEÑO DE UNA PLANTA DE INTERCAMBIO DE IONES PARA PRODUCIR AGUA DESIONIZADA DE PROCESO



- Velar para que, en lo que afecta a la protección del medio ambiente, las actividades que tienen relación con impactos significativos se lleven a cabo de forma controlada.
- Describir la metodología para las inspecciones periódicas de las operaciones y equipos relacionados con la actividad objeto de control para la que se han propuesto las medidas correctoras.
- Establecer un método sistemático para el tratamiento de la información recogida, que permita obtener conclusiones a partir de la misma.

ANEXO VII: PROTECCIÓN 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.

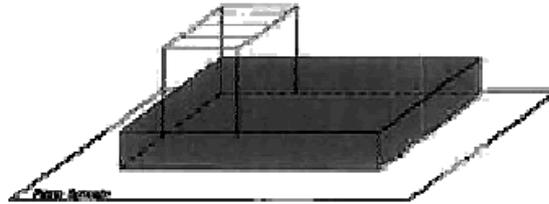
CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA DE INTERCAMBIO IÓNICO

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 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

En primer lugar la planta de intercambio iónico para producir agua desionizada de proceso al ser caracterizada como una planta de configuración tipo E, los sistemas de alarma contra incendios corresponderá 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 deberá instalar extintores de incendios portátiles en todos los sectores de incendio.

El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m.

Su emplazamiento será 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 desionizada 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 PROTECCIÓN 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, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.

ANEXO VIII: FICHAS DE SEGURIDAD

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION		PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO		No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. Desprende humos (o gases) tóxicos o irritantes en caso de incendio.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION		Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores, agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICION			¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION		Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL		Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS		Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION		Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, vómitos, colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje		Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y alimentos y piensos (véanse Notas). Puede ser almacenado en contenedores de	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. símbolo C	

de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	acero inoxidable (véanse Notas).	R: 35 S: (1/2)-(26)-30-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II CE:
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE		
ICSC: 0362	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPC3 y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO SULFURICO

ICSC: 0362

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido higroscópico, incoloro, aceitoso e inodoro.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable, sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.
	PELIGROS QUIMICOS Por combustión, formación de humos tóxicos de óxidos de azufre. 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). 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).	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 mg/m ³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 3 mg/m ³ (ACGIH 1993-1994).	EFFECTOS DE EXPOSICION 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.
PROPIEDADES FISICAS	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
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.	
NOTAS		
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, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.		
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-108 Código NFPA: H 3; F 0; R 2; W		
INFORMACION ADICIONAL		

FISQ. 3-011 ACIDO SULFURICO	
ICSC: 0362	ACIDO SULFURICO
© CCF, IPCS, 1994	
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCF ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.8.95).

HIDROXIDO DE SODIO

ICSC: 0360

<p>HIDROXIDO DE SODIO Hidróxido sódico Sosa cáustica Sosa NaOH Masa molecular: 40.0</p>
<p>Nº CAS 1310-73-2 Nº RTECS WB4900000 Nº ICSC 0360 Nº NU 1823 Nº CE 011-002-00-6</p>

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! EVITAR TODO CONTACTO!	CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, ni beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente adecuado, eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de ácidos fuertes, metales, alimentos y piensos, materiales combustibles. Mantener en lugar seco y bien cerrado (véanse Notas).	No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 35 S: (1/2)-26-37/39-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE	
ICSC: 0360	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas II CCE, IPCS, 1994

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDROXIDO DE SODIO

ICSC: 0360

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Sólido blanco, deliquescente en diversas formas e inodoro.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (combustible y explosivo). Ataca a algunas formas de plástico, de caucho y de recubrimientos. Absorbe rápidamente dióxido de carbono y agua del aire. Puede generar calor en contacto con la humedad o el agua.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).
	LIMITES DE EXPOSICION TLV: 2 mg/m ³ (valor techo) (ACGIH 1992-1993). PDK no establecido. MAK: clase G	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 1390°C Punto de fusión: 318°C Densidad relativa (agua = 1): 2,1	Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 Presión de vapor, kPa a 739°C: 0.13
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.	
NOTAS		
El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. 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, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en una área que disponga de un suelo de hormigón, resistente a la corrosión. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-121 Código NFPA: H 3, F 0, R 1;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-134 HIDROXIDO DE SODIO		
ICSC: 0360	© CCE, IPCS, 1994	HIDROXIDO DE SODIO



DISEÑO DE UNA PLANTA DE INTERCAMBIO DE IONES PARA PRODUCIR AGUA DESIONIZADA DE PROCESO



NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la OCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos de IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (DCE 5.6.95).
-----------------------------------	---

211238 **Carbón Activo** granulado n° 1 QP

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa	
1.1 Identificación de la sustancia o del preparado	Denominación: Carbón Activo granulado
1.2 Uso de la sustancia o preparado:	Para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.
1.3 Identificación de la sociedad o empresa:	PANREAC QUIMICA. S.A.U. C/Garraf, 2 E-08211 Castellar del Vallès (Barcelona) España Tel.:(+34) 937 489 400 Urgencias: Número único de teléfono para llamadas de urgencia: 112 (UE) Tel.:(+34) 937 489 499
2. Composición/Información de los componentes	
Denominación: Carbón Activo granulado Fórmula: C M.=12,01 CAS [7440-44-0] Número CE (EINECS): 231-153-3	
3. Identificación de los peligros	
Sustancia no peligrosa según Directiva 67/548/CEE.	
4. Primeros auxilios	
4.1 Indicaciones generales:	-----
4.2 Inhalación:	-----
4.3 Contacto con la piel:	Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.
4.4 Ojos:	Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.
4.5 Ingestión:	Por ingestión de grandes cantidades: En caso de malestar, pedir atención médica.
5. Medidas de lucha contra incendio	
5.1 Medios de extinción adecuados:	Agua. Dióxido de carbono (CO ₂). Espuma. Polvo seco.
5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:	

<p>-----</p> <p>5.3 Riesgos especiales: Combustible. Riesgo de explosión del polvo.</p> <p>5.4 Equipos de protección: -----</p>
<p>6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental</p> <p>6.1 Precauciones individuales: -----</p> <p>6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente: -----</p> <p>6.3 Métodos de recogida/limpieza: Recoger en seco. Limpiar los restos con agua abundante.</p>
<p>7. Manipulación y almacenamiento</p> <p>7.1 Manipulación: Sin indicaciones particulares.</p> <p>7.2 Almacenamiento: Recipientes bien cerrados. Ambiente seco. Temperatura ambiente.</p>
<p>8. Controles de exposición/protección personal</p> <p>8.1 Medidas técnicas de protección: -----</p> <p>8.2 Control límite de exposición: -----</p> <p>8.3 Protección respiratoria:</p> <p>8.4 Protección de las manos: Usar guantes apropiados</p> <p>8.5 Protección de los ojos: -----</p> <p>8.6 Medidas de higiene particulares: Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.</p> <p>8.7 Controles de la exposición del medio ambiente: Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente. El proveedor de los medios de protección debe especificar el tipo de protección que debe usarse para la manipulación del producto, indicando el tipo de material y, cuando proceda, el tiempo de penetración de dicho material, en relación con la cantidad y la duración de la exposición.</p>
<p>9. Propiedades físicas y químicas</p> <p>Aspecto: Sólido negro.</p> <p>Olor:</p>

<p>Inodoro. pH <~6 (50 g/l) Solubilidad: Insoluble en agua</p>
<p>10. Estabilidad y reactividad</p> <p>10.1 Condiciones que deben evitarse: -----</p> <p>10.2 Materias que deben evitarse: Agentes oxidantes fuertes.</p> <p>10.3 Productos de descomposición peligrosos: -----</p> <p>10.4 Información complementaria: -----</p>
<p>11. Información toxicológica</p> <p>11.1 Toxicidad aguda: -----</p> <p>11.2 Efectos peligrosos para la salud: No son de esperar características peligrosas. Observar las precauciones habituales en el manejo de productos químicos.</p>
<p>12. Información Ecológica</p> <p>12.1 Movilidad : -----</p> <p>12.2 Ecotoxicidad :</p> <p>12.2.1 - Test EC₅₀ (mg/l) : -----</p> <p>12.2.2 - Medio receptor : Riesgo para el medio acuático = ---- Riesgo para el medio terrestre = ----</p> <p>12.2.3 - Observaciones : -----</p> <p>12.3 Degradabilidad :</p> <p>12.3.1 - Test : DBO₅ = ----</p> <p>12.3.2 - Clasificación sobre degradación biótica : DBO₅/DQO Biodegradabilidad = ----</p> <p>12.3.3 - Degradación abiótica según pH : -----</p> <p>12.3.4 - Observaciones : -----</p> <p>12.4 Acumulación :</p> <p>12.4.1 - Test : -----</p> <p>12.4.2 - Bioacumulación : Riesgo = ----</p> <p>12.4.3 - Observaciones : -----</p> <p>12.5 Otros posibles efectos sobre el medio natural :</p>

<p>Producto insoluble en agua. Manteniendo las condiciones adecuadas de manejo no cabe esperar problemas ecológicos.</p>
<p>13. Consideraciones sobre la eliminación</p> <p>13.1 Sustancia o preparado: En la Unión Europea no están establecidas pautas homogéneas para la eliminación de residuos químicos, los cuales tienen carácter de residuos especiales, quedando sujetos su tratamiento y eliminación a los reglamentos internos de cada país. Por tanto, en cada caso, procede contactar con la autoridad competente, o bien con los gestores legalmente autorizados para la eliminación de residuos. 2001/573/CE: Decisión del Consejo, de 23 de julio de 2001, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE de la Comisión en lo relativo a la lista de residuos. Directiva 91/156/CEE del Consejo de 18 de marzo de 1991 por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos. En España: Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Publicada en BOE 22/04/98. ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. Publicada en BOE 19/02/02.</p> <p>13.2 Envases contaminados: Los envases y embalajes contaminados de sustancias o preparados peligrosos, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos contenidos. Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases. En España: Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Publicada en BOE 25/04/97. Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Publicado en BOE 01/05/98.</p>
<p>14. Información relativa al transporte</p> <p align="center">-----</p>
<p>15. Información reglamentaria</p> <p align="center">Etiquetado según Directiva de la CE</p> <p align="center">-----</p>
<p>16. Otras informaciones</p> <p>Número y fecha de la revisión: 0 27.05.03 Los datos consignados en la presente Ficha de Datos de Seguridad, están basados en nuestros actuales conocimientos, teniendo como único objeto informar sobre aspectos de seguridad y no garantizándose las propiedades y características en ella indicadas.</p>



Material Safety Data Sheet

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

AMBERLYST(TM) 119WET 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 (CO ₂) 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

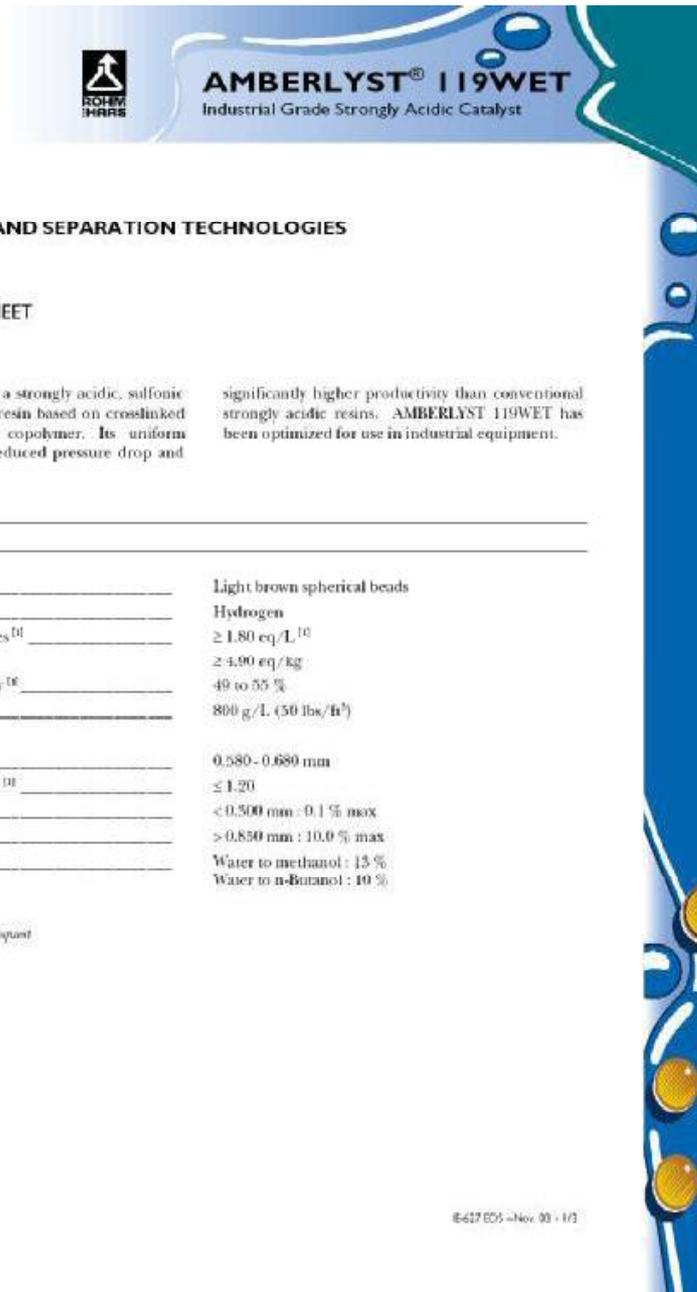
	Health	Fire	Reactivity
HMIS	1	1	0

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.

ANEXO IX: FICHAS TÉCNICAS



AMBERLYST® 119WET
Industrial Grade Strongly Acidic Catalyst

FOR CATALYSIS AND SEPARATION TECHNOLOGIES

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLYST 119WET is a strongly acidic, sulfonic acid, gelular polymeric resin based on crosslinked styrene divinylbenzene copolymer. Its uniform particle size allows for reduced pressure drop and significantly higher productivity than conventional strongly acidic resins. AMBERLYST 119WET has been optimized for use in industrial equipment.

PROPERTIES

Physical form _____	Light brown spherical beads
Ionic form as shipped _____	Hydrogen
Concentration of acid sites ⁽¹⁾ _____	≥ 1.80 eq./L ⁽¹⁾
	≥ 4.90 eq./kg
Moisture holding capacity ⁽²⁾ _____	49 to 55 %
Shipping weight _____	800 g/L (50 lbs./ft ³)
Particle size:	
Harmonic mean size _____	0.580 - 0.680 mm
Uniformity coefficient ⁽³⁾ _____	≤ 1.20
Fines content ⁽¹⁾ _____	< 0.500 mm : 0.1 % max
Coarse beads _____	> 0.850 mm : 10.0 % max
Shrinkage _____	Water to methanol : 15 %
	Water to n-Butanol : 10 %

⁽¹⁾ Contractual value.
Test methods are available on request.

©2003 Rohm and Haas Company E-617 E05 - Nov. 03 - 1/1

▪ **CATALYSIS**

AMBERLYST 119WET has a medium crosslinked structure which makes it the catalyst of choice for esterification reactions. Due to its uniformity it can

be easily separated from the reaction media. In fixed bed reactors it shows a lower pressure drop and a higher productivity compared to polydisperse catalysis.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

Maximum operating temperature _____	130°C (265 °F)
Minimum bed depth _____	60 cm (24 inches)
Operating flow rate _____	1 to 5 BV ^o /h (LHSV) (0.12 to 0.62 gpm/ft ²)
Pressure drop limitation _____	1 bar (15 psig) across the bed

1 BV = 1 m³ solution per m² of resin

• **SEPARATION TECHNOLOGIES**

AMBERLYST 119WET can be used in separation processes where metal ions have to be removed. It is an excellent ion exchange resin for many aqueous and non aqueous applications. Being

delivered in the H form it can be used without regeneration. It can be used in mixed bed applications paired with an anionic ion exchange resin.

Suggested Operating Conditions

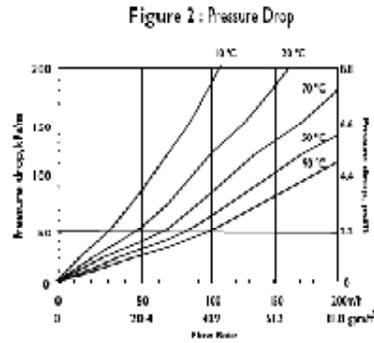
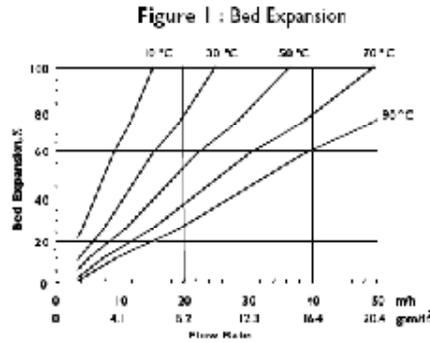
Minimum bed depth _____	60 cm (24 inches)	
Service flow rate _____	5 to 50 BV ^o /h	
Regeneration _____	HCl	H ₂ SO ₄
Flow rate (BV/h) _____	2 to 5	2 to 20
Flow rate (gpm/ft ²) _____	0.25 to 0.625	0.25 to 2.5
Level (g/T) _____	30 to 150	30 to 200
Level (lbz/ft ³) _____	2.5 to 9	2.5 to 12
Concentration (%) _____	4 to 10	1 to 8
Minimum contact time _____	20 minutes	
Slow rinse _____	2 BV (15 gal/ft ²) at regeneration flow rate	
Fast rinse _____	1 to 3 BV (7.5 to 22.5 gal/ft ²) at service flow rate	

1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m² resin

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Figure 1 shows the bed expansion of AMBERLYST 119WET as a function of backwash flow rate and water temperature. Figure 2 shows the pressure

drop data for AMBERLYST 119WET as a function of service flow rate and water temperature.



All our products are produced in ISO 9002 certified manufacturing facilities.

Rohm and Haas Ion Exchange Resins - P.O. Box 1314, PA - Tel: (800) R-1AMBER - Fax: (910) 409-4331
Rohm and Haas Ion Exchange Resins - 75577 Paris Cedex 12 - Tel: (33) 1 46 02 50 00 - Fax: 1 43 43 26 16

WEB SITE: <http://www.amberlyst.com>



AMBERLYST is a trademark of Rohm and Haas Company, Philadelphia, USA.

Ion exchange resins and polymeric adsorbents, as produced, contain by-products resulting from the manufacturing process. These may derive from raw materials and/or by-products must be removed for a safe, long-term and reliable technique to ensure that the appropriate use of units is allowed for. Use and storage complies with all product safety standards and regulatory requirements governing the application. Please refer carefully to these data from our Company, they are not recommended for ion exchange resins or polymeric adsorbents, as supplied, as being suitable or appropriate for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information. Acids and basic regenerant solutions are corrosive and should be stored in a separate metal container and also contact. Strong acids and other strong oxidizing agents can cause explosive type reactions when mixed with ion exchange resin. Proper design of process equipment to prevent build up 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 field of these materials.

Rohm and Haas Company makes no warranties either expressed or implied as to the accuracy or appropriateness of the data or any use or application of the data or any use or application of the data or any use or application of the data. We recommend that the prospective user determine for themselves the suitability of Rohm and Haas products and systems for use in their system. Caution: For use of a mixture of the different ion exchange resins, resin between and the nature of these resins in the Amberlyst Resin should be selected as recommended by the ion exchange resin manufacturer. For more information, contact your Rohm and Haas representative. Amberlyst Resin Resins are not to be used for drinking water. For more products, visit www.amberlyst.com.

©2003 Rohm and Haas Company

E-07-006 Nov-05 3/7



AMBERLYST® A26 OH
Industrial Grade Strongly Basic Polymeric Resin

FOR CATALYSIS AND SEPARATION TECHNOLOGIES

PRODUCT DATA SHEET

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 alkalies, aliphatic and aromatic hydrocarbons, alcohols, ethers and other common solvents.

PROPERTIES

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 _____	200 Å
Total pore volume _____	0.20 ml/g
Shrinkage _____	Water to acetone : 34 %

⁽¹⁾ *Constructual 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 /h (LHSV)
Pressure drop limitation _____	1 bar (15 psig) across the bed

* 1 bu (bed volume) = 1 m³ solution per m³ resin

SEPARATION TECHNOLOGIES

AMBERLYST 26 OH is used to remove anionic transition metal complexes and monoammonium 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 /h (0.125 to 0.5 gpm/ft ²)
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)

4 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 2 shows the pressure drop for AMBERLYST A26 OH as a function of service flow rate and water temperature.

Figure 1: Bed expansion

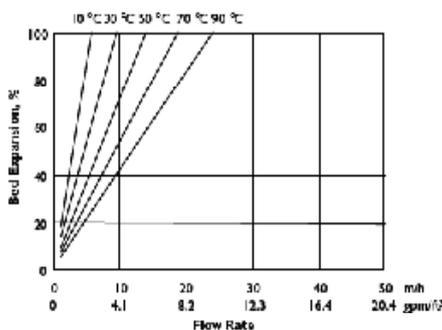
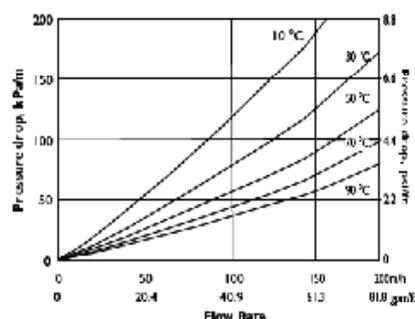


Figure 2: Pressure drop



All our products are produced in ISO 9002 certified manufacturing facilities.

Rohm and Haas Ion Exchange Resins - Philadelphia, PA - Tel: (800) RH-AMBER - Fax: (215) 409-1830
 Rohm and Haas Ion Exchange Resins - 755/79 Park Center Dr - Tel: (351) 440-0250-00 - Fax: 1-48-48-78-19

WEB SITE: <http://www.amberlyst.com>



AMBERLYST is a trademark of Rohm and Haas Company, Philadelphia, USA.

Ion exchange resins are ion-exchange adsorbents, as used and contain by-products resulting from the manufacturing process. The user must determine the extent to which organo-phosphorus may 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 also comply with all product safety standards and regulatory requirements governing the application. Except where specifically otherwise stated, Rohm and Haas Company does not incur any and is not assuming responsibility or liability, as expressed, as being suitable or appropriate, for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information. Avoid contact with organic liquid solutions and corrosive and alkalis, or handling, in a manner that will present an additional hazard, and use other safety, security, agents, or waste separation type reactions when mixed with hazardous wastes. If your design or process requires a stream to be contacted, measure a necessary flow of an oxidizing agent such as chlorine or other oxidant, before using strong oxidizing agents in contact with the bed particles and, source handling, public, or a 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 disclaims any liability for claims arising out of its use. Via agreement, the user hereby assumes the responsibility of Rohm and Haas Company and a general liability or loss to the degree. Suggestions for use of our products are the result of description contained from patents and the absence of thereof herein in this Manual should not be construed as preventing the use of our products in violation of any patent or its extension or as an infringement of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets relating to each ion exchange material for our products are available on request.



VENTILADORES CENTRÍFUGOS MEDIA PRESIÓN

MB

VENTILADORES CENTRÍFUGOS de media presión



CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Serie con puestas por 7 tamaños distintos desde el 8/3 hasta el 20/8, provista de motores de 2 y 4 polos monofásicos y 2, 4, 6 polos trifásicos. Caudales desde 200 m³/h hasta 2.200 m³/h. Temperatura máxima de trabajo de 130°C en continuo. Presiones estáticas hasta 250 mm.c.d.a.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:

- Carcasa fabricada en chapa de acero laminado.
- Carcasa totalmente soldada o engastada.
- Turbina multipala de alobos curvados hacia adelante de simple aspiración fabricada en chapa galvanizada.
- Protección contra la corrosión mediante recubrimiento en polvo de resina epoxy.
- Motor asincrónico normalizado de jaula de ardilla con protección IP-55 y aislamiento clase F. Voltajes Standard 230V 50Hz para motores monofásicos, 230/400V 50Hz para motores trifásicos hasta 5.5CV y 400/690V 50Hz para potencias superiores.

APLICACIONES:

Diseñados para montaje en tubería están indicados básicamente para:

- Enfriamiento, máquinas, motores, piezas.
- Aspiración de humos.
- Procesos industriales, cocinas industriales y climatización.
- Transporte de aire limpio.

BAJO DEMANDA:

- Ventiladores para trabajar a 60Hz, voltajes especiales.
- Motor 2 velocidades.
- Ventiladores antideflagrantes o antideflagrantes con motor certificado ATEX.
- Ventilador preparado para 230VAC.
- Ventiladores fabricados en chapa galvanizada en caliente o acero inoxidable.

SERIE MONOFÁSICA

Código	Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A) 230 400	P. Nom. Kw	Q máx. m ³ /h	Sonido dB (A)	Peso Kg.	PVP €	
253060103	MB 10/4 M2 1/13	2.720	0,4	-	0,05	310	50	2,5	171,70
253060103	MB 12/5 M2 1/7	2.840	0,97	-	0,09	510	62	5	164,40
253060103	MB 12/5 M4 1/10	1.360	0,6	-	0,06	320	50	5	124,50
253100103	MB 14/5 M2 1/3	2.760	2,06	-	0,25	1.050	59	7	136,70
253110103	MB 16/6 M2 1/2	2.760	2,93	-	0,37	1.400	70	9,5	148,30
253160103	MB 16/6 M4 1/4	1.430	1,7	-	0,16	1.100	57	9,5	142,40
253170103	MB 18/7 M2 1	2.810	5,3	-	0,75	1.950	68	15	279,60
253240103	MB 18/7 M4 1/3	1.410	1,4	-	0,25	1.200	63	10	274,90
253240103	MB 20/8 M2 1/2	2.780	2,92	-	0,37	880	68	14	359,90
253190103	MB 20/8 M2 1,5	2.770	8,02	-	1,1	2.100	68	19	334,30
253220103	MB 20/8 M4 1/2	1.380	2,6	-	0,37	2.200	60	15	285,40

SERIE TRIFÁSICA

Código	Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A) 230 400	P. Nom. Kw	Q máx. m ³ /h	Sonido dB (A)	Peso Kg.	PVP €
300235500	MB 8/3 T2 1/7	2.780	0,55 0,32	0,09	200	56	3	109,00
253060106	MB 12/5 T2 1/7	2.780	0,55 0,32	0,09	510	65	5	165,40
253060106	MB 12/5 T4 1/10	1.490	0,7 0,4	0,06	320	50	5	145,90
253100106	MB 14/5 T2 1/3	2.730	1,34 0,78	0,25	1.050	59	7	138,90
253110106	MB 16/6 T2 1/2	2.660	2,47 1,43	0,37	1.400	70	9,5	142,40
253160106	MB 16/6 T4 1/4	1.360	1,08 0,63	0,16	1.100	57	9,5	146,50
253170106	MB 18/7 T2 1	2.840	3,05 1,76	0,75	1.950	68	15	258,40
253240106	MB 18/7 T4 1/3	1.410	1,32 0,76	0,25	1.200	63	10	253,60
253240106	MB 20/8 T2 1/2	2.780	1,97 1,14	0,37	880	68	14	354,20
253190106	MB 20/8 T2 1,5	2.820	5,01 2,9	1,1	2.100	68	19	346,40
253220106	MB 20/8 T4 1/2	1.420	2,1 1,2	0,37	2.200	60	15	269,80

ACCESORIOS





VENTILADORES CENTRÍFUGOS MEDIA PRESIÓN

MB

VENTILADORES CENTRÍFUGOS de media presión



CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Serie compuesta por 3 tamaños distintos desde el 22/9 hasta el 28/11, provisto de motores de 2, 4 y 6 polos trifásicos. Caudales desde 1.800 m³/h hasta 5.000 m³/h. Temperatura máxima de trabajo de 130°C en continuo. Presiones: estáticas hasta 250 m.m.e.d.a.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:

- Carcasa fabricada en chapa de acero laminado.
- Carcasas totalmente soldada o empalmada.
- Turbina multipala de aletas curvadas hacia adelante de simple aspiración fabricada en chapa galvanizada.
- Protegidos contra la corrosión mediante recubrimiento en polvo de resina epoxi.
- Motor asincrónico normalizado de jaula de ardilla con protección IP 55 y aislamiento clase F. Voltajes estándares 230/400V 50Hz para motores trifásicos hasta 5,5 CV y 400/690V 50Hz para potencias superiores.

APLICACIONES:

Diseñados para montaje en tubería, están indicados básicamente para:

- Enfriamiento, máquinas, motores, piezas.
- Aspiración de humos.
- Procesos industriales, cocinas industriales y climatización.
- Transporte de aire limpio.

BAJO DEMANDA:

- Ventiladores para trabajar a 60Hz, voltajes especiales...
- Motor 2 velocidades.
- Ventiladores antideflagrantes o antiexplosivos con motor certificado ATEX.
- Ventilador preparado para 230°C.
- Ventiladores fabricados en chapa galvanizada en caliente o acero inoxidable.

SERIE TRIFÁSICA

Código	Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A) 230/400	P. Nom. Kw	Q máx. m ³ /h	Sonido dB (A)	Peso Kg.	PVP €
2532101.20	NB 22/9 T2 1,5	2.820	5,01 2,9	1,1	1.800	70	24	405,80
2532001.06	NB 22/9 T2 3	2.840	8,26 4,78	2,2	3.000	74	30	425,30
2532001.20	NB 22/9 T4 3/4	1.400	2,8 1,6	0,50	2.700	60	22	377,40
2532801.06	NB 25/10 T2 3	2.840	8,26 4,78	2,2	2.400	77	32	459,70
2532901.06	NB 25/10 T2 4	2.880	12,6 7,2	3	3.200	78	38	501,60
2532101.06	NB 25/10 T4 1,5	1.400	4,65 2,69	1,1	3.500	64	33	494,40
2533601.06	NB 28/11 T2 3,5	2.840	14,9 8,61	4	4.000	81	46	626,40
2532701.06	NB 28/11 T4 3	1.410	9,09 5,26	2,2	5.000	68	44	543,50
2533801.06	NB 28/11 T6 1	900	3,99 2,31	0,75	3.600	58	37	488,70

ACCESORIOS



VENTILADORES CENTRÍFUGOS MEDIA PRESIÓN



MBP

VENTILADORES CENTRÍFUGOS en Polipropileno (Anticorrosivos)



CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Serie con puertos por 10 tamaños distintos desde el 20 hasta el 45, provisto de motores de 2, 4 y 6 polos trifásicos. Caudales desde 100 m³/h hasta 10.000 m³/h. Temperatura máxima de trabajo: 50°C en continuo. Presiones estáticas hasta 1.60 m.m.c.d.a.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:

- Carcasa fabricada en material plástico (PP) anticorrosivo.
- Turbina multipolo de simple aspiración fabricada en material plástico anticorrosivo (PP) en los modelos MBPA y MBPB; el modelo MBP se fabrica con turbina de alabes curvados hacia atrás (o reacción).
- Soporta motor fabricado en chapa de acero recubierta contra la corrosión en polvo de resina epoxy.
- Motor asincrónico normalizado de jaula de castillo con protección IP-55 y aislamiento clase F. Voltajes Standard: 230/400V 50Hz para motores trifásicos hasta 5.5CV y 400/690V 50Hz para potencias superiores.

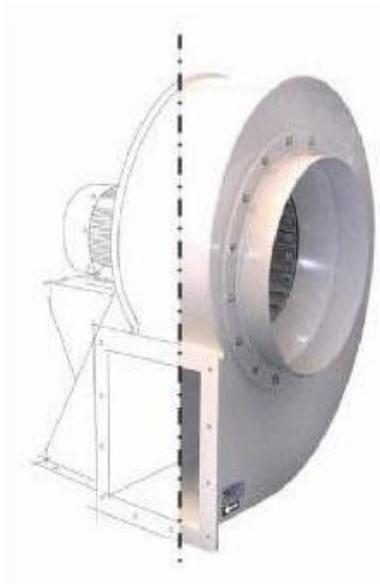
APLICACIONES:

Diseñados para montaje en tubería están indicados básicamente para:

- Extracción de aire con componentes corrosivos.
- Industria química y petroquímica.
- Laboratorios.
- Virutas de gases.

BAJO DEMANDA:

- Ventiladores para trabajar a 60Hz, voltajes especiales.
- Motor 2 velocidades.
- Ventiladores con motor certificado ATEX.



■ **DESCRIPCIÓN**

La nueva serie normalizada IN de bombas centrífugas, monocelulares horizontales, de aspiración axial e impulsión radial, construidas según norma DIN-24255, surge como resultado de las últimas innovaciones hidráulicas y tecnológicas aplicadas al diseño y la fabricación de la muy experimentada y reconocida serie Norma de Bombas ITUR. Preparadas para cubrir una amplia variedad de necesidades de bombeo, aportan soluciones y mejoras con:

- Elevados rendimientos.
- Robustez de diseño.
- Variedad de materiales en función del fluido bombeado.
- Sellado por cierre mecánico o empaquetadura.
- Rodamientos ampliamente dimensionados.
- Piezas normalizadas con alto grado de intercambiabilidad.
- Mínimo y ágil mantenimiento.

Aunque su accionamiento habitual es por motor eléctrico, pueden utilizarse otros accionamientos (diesel, turbina de vapor, motor hidráulico, ...).

■ **APLICACIONES**

La Serie IN de Bombas ITUR ha sido especialmente concebida para el bombeo de fluidos, generalmente limpios o poco cargados. El campo de aplicación de la serie se extiende a todas las necesidades de bombeo para requerimientos de servicios medios:

- Abastecimiento municipal o industrial de aguas
- Sistemas de conducción de agua y de aceite
- Suministro de agua caliente a grandes edificios
- Instalaciones de climatización
- Equipos de agua a presión constante
- Equipos de protección contra incendios
- Regadíos

■ **DENOMINACION DE LA BOMBA**



■ **AMPLITUD DE LA SERIE**

La Serie IN según norma DIN-24 255 comprende un total de 47 modelos diferentes, basados en 34 tamaños, donde cada tamaño admite uno o dos tipos de impulsores (A ó B).

Límites de servicio

- Caudal máximo:	600 m ³ /h
- Altura diferencial máxima:	105 m c.a.
- Presión máxima en carcasa (a 20 °C):	10 Kg/cm ²
- Presión máxima en aspiración:	5 Kg/cm ²
- Velocidad máxima:	3 600 rpm
- Temperatura máxima:	140 °C
- Viscosidad máxima:	20 cSt (2,9 °E)

Nota: Bajo consulta se pueden sobrepasar algunos de los límites de la construcción estándar. Para caudales de hasta 1.600 m³/h existen 13 modelos superiores. (Ver catálogo Serie IN-tamaños complementarios).

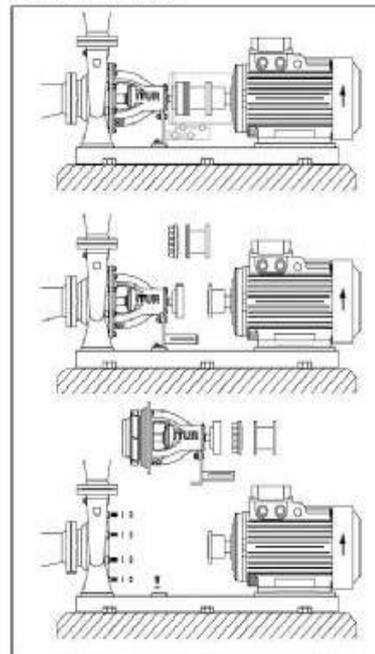


■ **FACILIDAD DE MANTENIMIENTO**

El suministro estándar del grupo electrobomba comprende el acoplamiento semielástico normal. Bajo demanda se puede servir dicho acoplamiento con espaciador. La utilización del acoplamiento semielástico con espaciador, permite acceder al interior de la bomba de una manera ágil y sin necesidad de soltar las tuberías ni el motor.

Soltando el espaciador, se desmonta el conjunto formado por el soporte, tapa e impulsor, quedando el cuerpo de bomba y el motor siempre fijos a la bancada. Las tuberías de aspiración e impulsión permanecen embridadas.

De esta manera se facilitan las labores de mantenimiento, resultando especialmente útil cuando se trata de una instalación fija con varias bombas.



■ **CONSTRUCCION**

Cuerpo de bomba

De voluta con patas de apoyo, contiene las bridas de aspiración (axial) e impulsión (radial hacia arriba), e incorpora anillo de desgaste. La estanqueidad en la unión del cuerpo con la tapa se realiza mediante junta encastrada.

Bridas de aspiración e impulsión

Fundidas conjuntamente con el cuerpo, construidas según norma DIN-2501, acabado con resalte "RF" según DIN2526 forma C. Válidas para conectar a bridas comerciales DIN PN10.



Conexiones auxiliares

La ejecución estándar lleva dos conexiones: una para ventorrotabado ó manómetro y otra para drenaje, taladradas y obturadas con tapones.

Tapa de bomba

Fundida de una pieza, es diseño integral con el cierre ó con la empaquetadura. Incorpora el anillo de desgaste posterior. Permite conexiones para circulación del sellado con el propio fluido bombeado: planos API-01 (interior).

Anillos de desgaste

Todos los modelos incorporan anillo de desgaste anterior en el cuerpo y anillo de desgaste posterior en la tapa, con el fin de evitar costosas reparaciones y hacerlas más económicas, por la natural pérdida de ajuste que se produce a lo largo del tiempo con el impulsor.

Impulsor

Impulsor cerrado de elevado rendimiento, fundido de una pieza, equilibrado hidráulica y dinámicamente. Aliviado hidráulicamente mediante taladros de compensación del empuje axial, se encuentra unido al eje mediante chaveta y fijado mediante dos tuercas.

Eje de bomba

Particularmente resistente a la flexión ya que está generosamente dimensionado. Está provisto de camisa recambiable sellada con el propio eje mediante junta tórica. De esta forma se evita tener que cambiar el eje por desgaste ó abrasión en la zona del cierre ó empaquetadura, logrando un mantenimiento ágil y económico.

Soporte de rodamientos

De moderno diseño, incorpora dos rodamientos de bolas situados a ambos extremos del soporte. Algunos tamaños llevan rodamiento de doble hilera de bolas en el lado bomba. Dispone de un deflector protector contra la entrada de líquido.

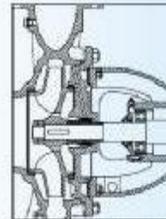
Los rodamientos han sido calculados para una duración de vida mínima de 12.000 horas, aunque la mayoría de los modelos superan las 18.000 horas. Son lubricados por grasa, para lo cual el soporte incorpora engrasadores situados en la parte superior del mismo.

Sistemas de sellado estándar

Mediante cierre mecánico ó empaquetadura. El suministro estándar comprende el plan API-01 de circulación interna.

Cierre mecánico simple DIN

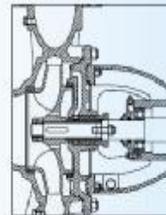
Normalizado según DIN-24960. El material de las caras de roscas y de las juntas depende del fluido bombeado.



Detalle de cierre mecánico con plan API-01 (interior).

Empaquetadura

Exenta de amianto, provista de la correspondiente interna.



Detalle de empaquetadura con plan API-01 (interior).



■ MATERIALES NORMALIZADOS

La **Serie IN de Bombas ITUR** ha sido estudiada en 6 Ejecuciones de Materiales Normalizados de la más alta calidad.

El objetivo que se persigue al estandarizar los materiales es buscar soluciones Normalizadas a la práctica totalidad de los bombeos en servicios medios, con el fin de facilitar un Servicio rápido y versátil a la demanda habitual de este tipo de bombas.

No obstante, si el tipo de servicio al que van destinadas las bombas así lo requiere, bajo demanda pueden construirse en otros tipos de materiales.

En tal caso consulte con el Departamento de Ingeniería de **Bombas ITUR**, donde le asesorarán sobre la solución más favorable en cada caso particular.

Ref.	Denominación	EJECUCION NORMALIZADA											
		500-GG-25		501-MIXTA		502-MISTINOX		503-BRONCE		521-IMPBRON		522-EJENOX	
		Material	Nº DIN	Material	Nº DIN	Material	Nº DIN	Material	Nº DIN	Material	Nº DIN	Material	Nº DIN
192	Cuerpo de bomba	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	RG-5	2.1096.01	GG-25	0.9025	GG-25	0.6025
191	Tapo de bomba	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	RG-5	2.1096.01	GG-25	0.9025	GG-25	0.6025
210	Eje de bomba	F-114 ¹	1.1191 ¹	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	F-114 ¹	1.1191 ¹	AlSi-316	1.4401
230	Impulsor	GG-25	0.6025	G-CuSn 12	2.1050.01	AlSi-316 ²	1.4406	G-CuSn 12	2.1050.01	G-CuSn 12	2.1050.01	GG-25	0.6025
330	Soportes	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	GG-25	0.9025	GG-25	0.6025
452	Presostopos (E)	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	GG-25	0.6025	RG-5	2.1096.01	GG-25	0.9025	GG-25	0.6025
512.1	Anillo desajuste cuerpo	GG-25	0.6025	RG-7	2.1050.01	GG-25	0.6025	RG-7	2.1050.01	RG-7	2.1050.01	GG-25	0.6025
512.2	Anillo desajuste tipo	GG-25	0.6025	RG-7	2.1050.01	GG-25	0.6025	RG-7	2.1050.01	RG-7	2.1050.01	GG-25	0.6025
523	Carica de eje (C)	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401
524	Carica de eje (E)	AlSi-431 B	1.4057	AlSi-431 B	1.4057	AlSi-431 B	1.4057	AlSi-431 B	1.4057	AlSi-431 B	1.4057	AlSi-431 B	1.4057
922	Tuerca del impulsor	F-118	1.0401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401
940.1	Chaveta impulsor	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401	AlSi-316	1.4401
940.2	Chaveta accionamiento	F-114	1.1191	F-114	1.1191	F-114	1.1191	F-114	1.1191	F-114	1.1191	F-114	1.1191

(E) = Versión con empaquetadura

(C) = Versión con cierre mecánico

(1) = Para los tamaños 80/315 a más de 1800 rpm, y 100/315 a más de 1500 rpm, hasta 2200 rpm, el material del eje en estas ejecuciones es F-127 B0 (1.6565).

(2) = CF8M. Terminología para piezas fundidas

■ DATOS TÉCNICOS

En la Tabla inferior se indican los diámetros de cierre, el tamaño y la cantidad de anillas de la empaquetadura correspondientes a las bombas de la **Serie IN** en los tamaños normalizados según DIN-24255. Dichos datos están referidos a la Tabla de Intercambiabilidad de la página siguiente, para bombas construidas con materiales y piezas estándar.

Ejemplo: la bomba IN-85/125B tiene un diámetro de cierre (grupo B de la Tabla de Intercambiabilidad) de 28 mm, o en el caso de empaquetadura (grupo A de la Tabla de Intercambiabilidad) incorpora 4 anillas de cuadrado de 8 mm.

Datos Técnico	Unidad medida	Grupo de la Tabla de Intercambiabilidad			
		A	B	C	D
Diámetro del cierre mecánico simple	mm	25	28	40	50
Tamaño del cuadrado de la empaquetadura	mm	8	10	-	-
Número de anillas de la empaquetadura	un.	4	4	-	-

La Tabla siguiente indica la velocidad máxima de giro para cada tamaño de bomba. Estos valores han sido calculados para un funcionamiento normal y continuo de la bomba, bombeando agua limpia a 20 °C, con un peso específico de 1 Kg/dm³.

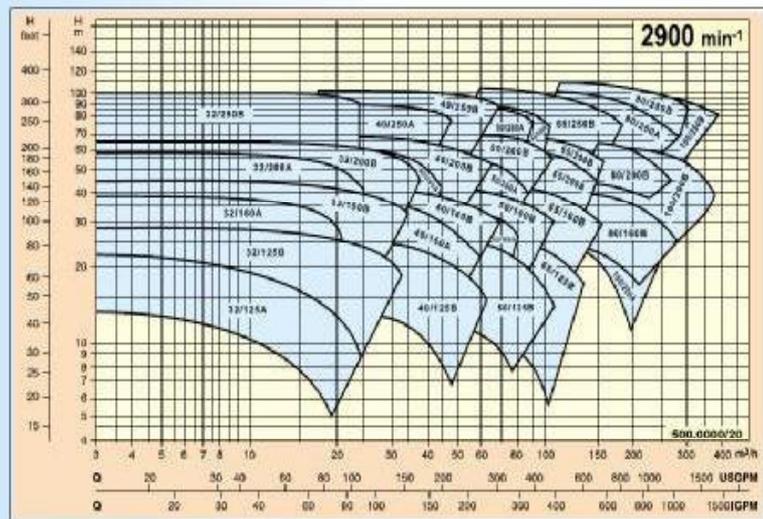
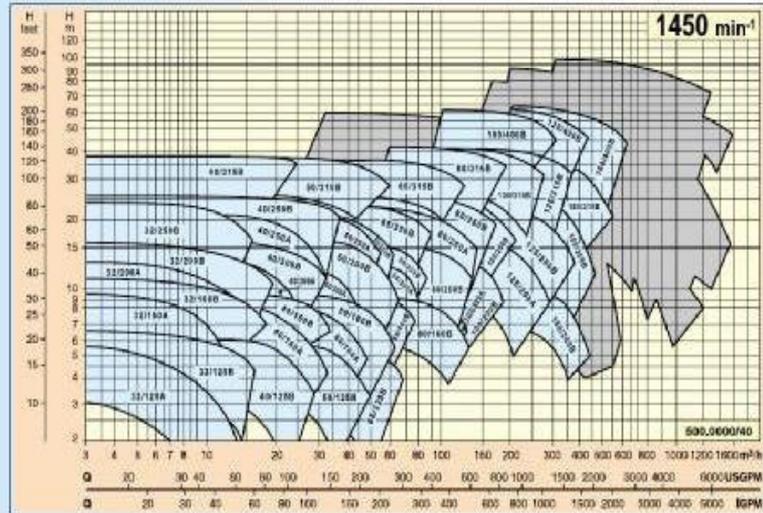
Para casos especiales, bombeos de emergencia u otros, bajo consulta se pueden sobrepasar dichos límites.

TAMAÑOS DE BOMBAS				Máximas R.P.M.
32/125	32/160	32/200		3.600
40/125	40/160	40/200		
50/125	50/160	50/200		
65/125				3.000
			32/250	
			40/250	
	65/160	50/200	50/250	
		65/200	65/250	
		80/160	80/250	2.000
		100/200	100/250	
		150/200		1.800
40/315	50/315	65/315	80/315	
100/315	100/400	125/260	125/315	
125/400	150/250	150/315	150/400	

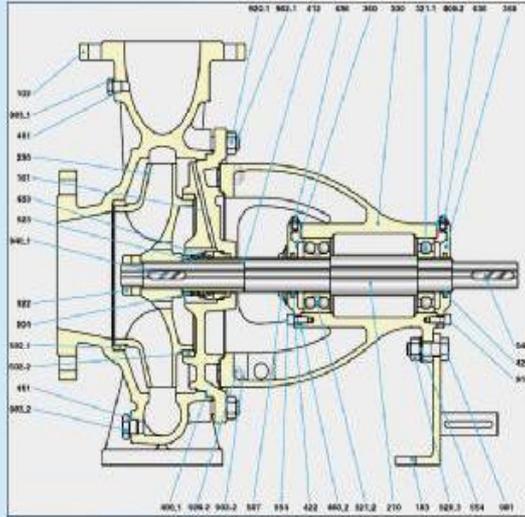


■ DIAGRAMAS DE SELECCION

Estos diagramas permiten una selección rápida del tipo de bomba más adecuado. Habrá ocasiones en que una vez seleccionada una bomba, será posible encontrar también otro modelo que satisfaga las condiciones de trabajo con mejores rendimientos o menor NPSH requerido. En estos casos, la selección final se hará en base a las curvas particulares de cada bomba.



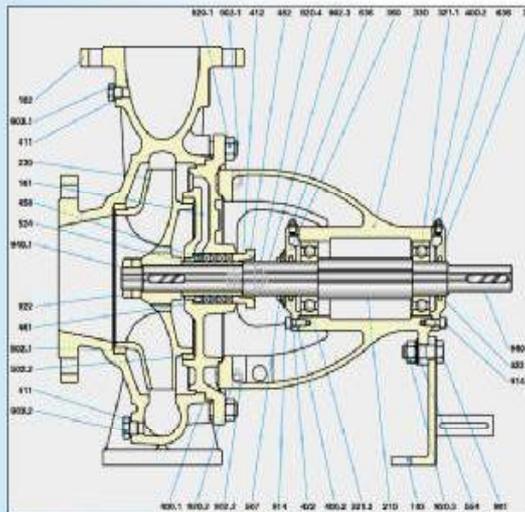
■ DESPIECE DE LA BOMBA



Plano seccional de bomba IN con cierre mecánico.

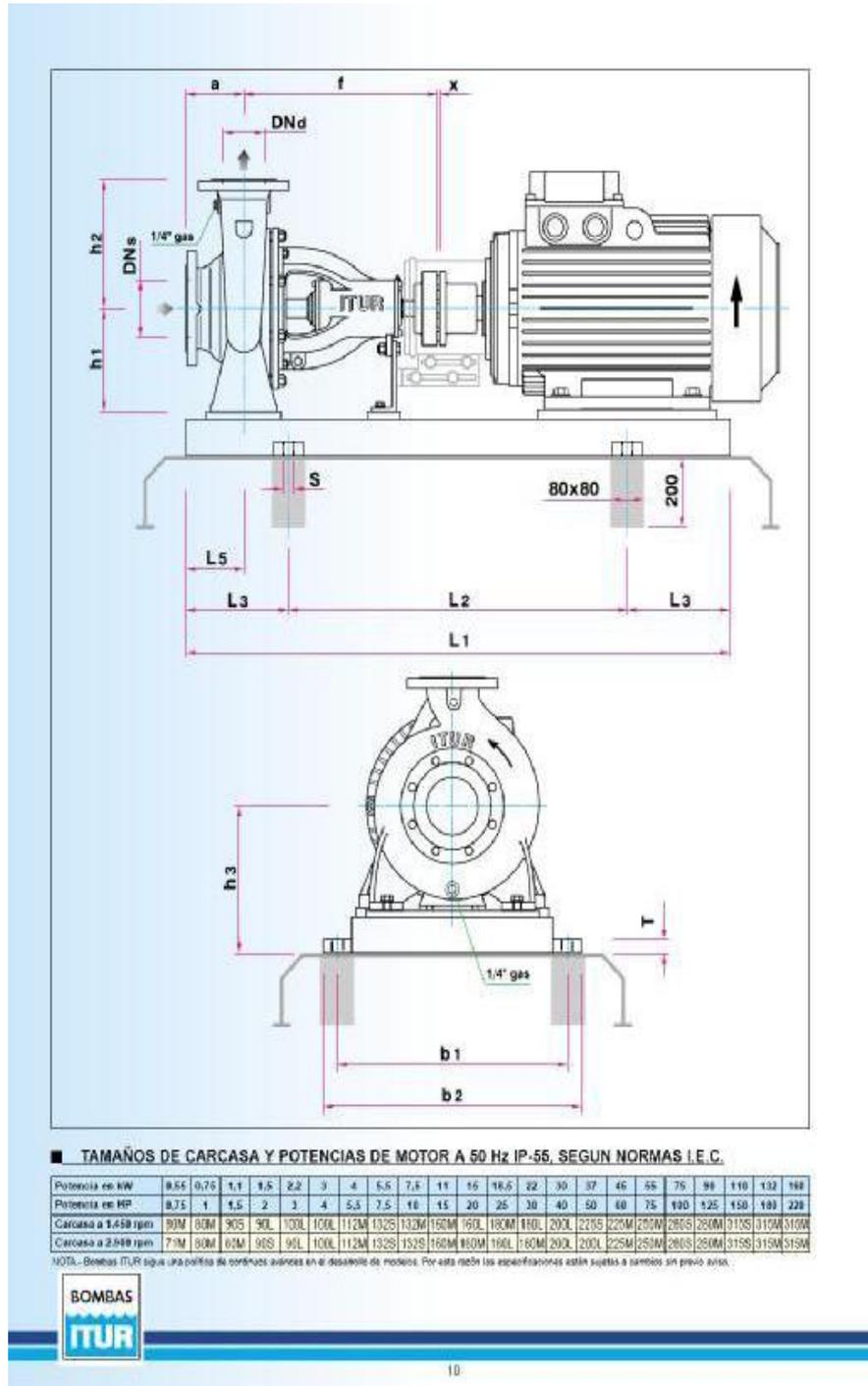
Ref.	Denominación componente
102	Cuerpo de bomba
161	Tapa de bomba
183	Placa de apoyo
210	Eje de bomba
230	Impulsor
321.1	Rodamiento posterior
321.2	Rodamiento anterior
330	Soporte palier
400.*	Junta plana
411	Junta circular
412	Junta tórica
422	Anillo felpo
433	Cierre mecánico
452	Prensaestopas
458	Linterna empaquetadura
461	Empaquetadura
502.1	Anillo de desgaste cuerpo
502.2	Anillo de desgaste tapa
504	Casquillo distanciador
507	Deflector protector
523	Camisa eje (cierre mecánico)
524	Camisa eje (empaquetadura)
636	Engrasador
901	Tornillo cabeza hexagonal
902.*	Espárragos roscados
903.1	Tapón de manómetro/caboviento
903.2	Tapón vaciado bomba
914	Tornillo allen
920.*	Tuercas
922	Tuercas del impulsor
940.1	Chaveta del impulsor
940.2	Chaveta de accionamiento

(* = 1, 2, 3, ...)



Plano seccional de bomba IN con empaquetadura.

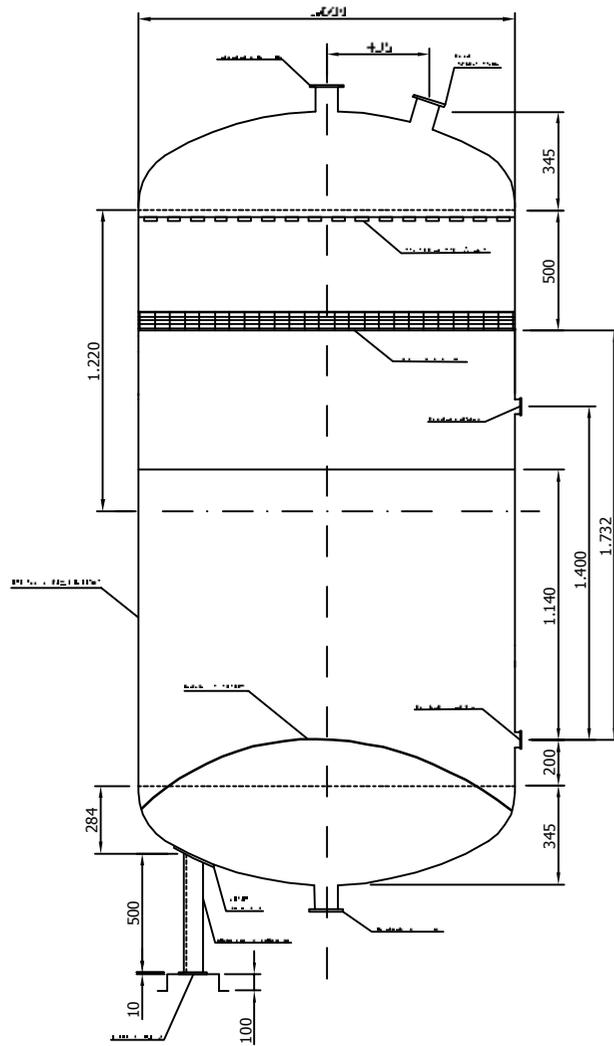




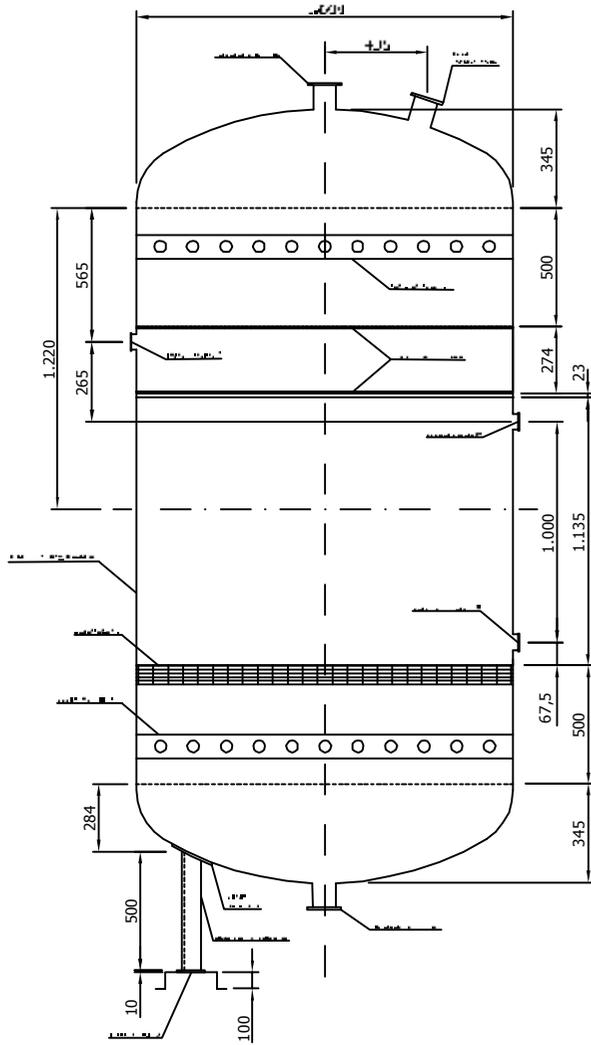
PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS

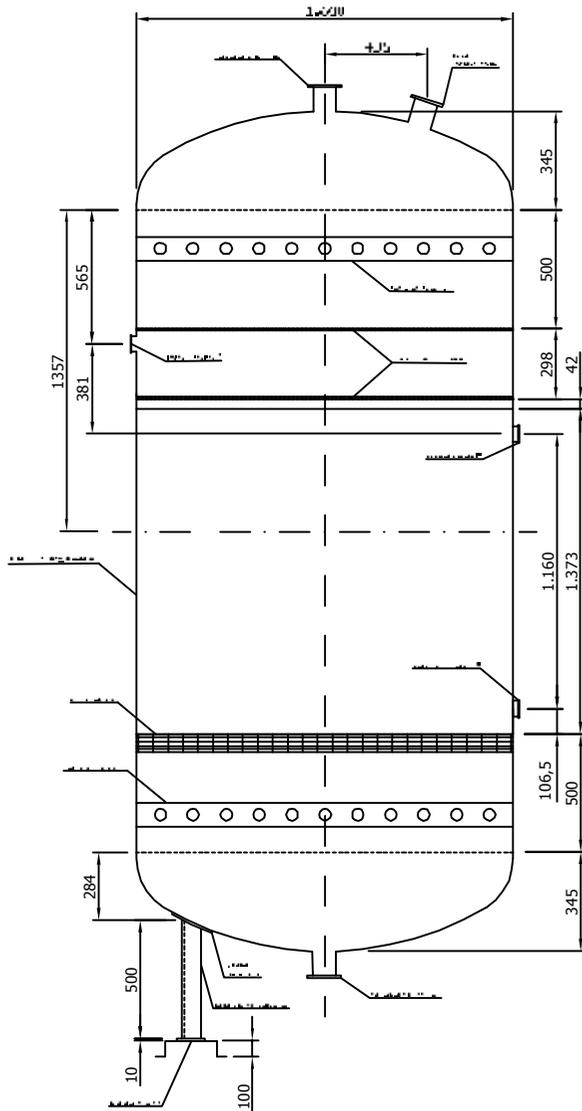
q	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	100
q	COLUMNA DE FILTRACIÓN CON DE CARBÓN ACTIVO.....	200
q	COLUMNA DE INTERCAMBIO CATIONICO.....	300
q	COLUMNA DE INTERCAMBIO ANIONICO.....	400
q	DESGASIFICADOR.....	500
q	DEPÓSITO DE AGUA DESGASIFICADA.....	600
q	DEPÓSITO DE ÁCIDO SULFÚRICO.....	700
q	DEPÓSITO DE HIPOCLORITO SÓDICO.....	800
q	DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DESIONIZADA...	900
q	DEPÓSITO DE DILUCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO.....	1000
q	DEPÓSITO DE DILUCIÓN DE HIPOCLORITO SÓDICO.....	1100
q	DIAGRAMA DE FLUJO.....	1200



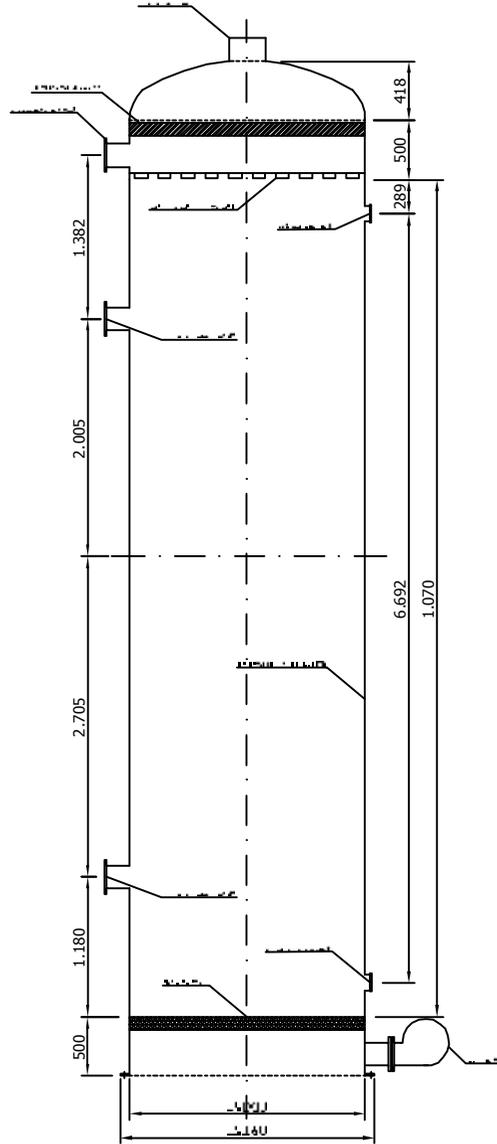
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PRODUCIR AGUA DESMINERALIZADA DE PROCESO	
SISTEMA DE FILTRACIÓN	FECHA: 11/03/2007
	ESCALA: 1/20
	Nº DE PLANO: 001
COLUMNA DE FILTRACIÓN CON CARBÓN ACTIVO	EL INGENIERO QUÍMICO: ALEXANDRO SERRANO ABRAHAM



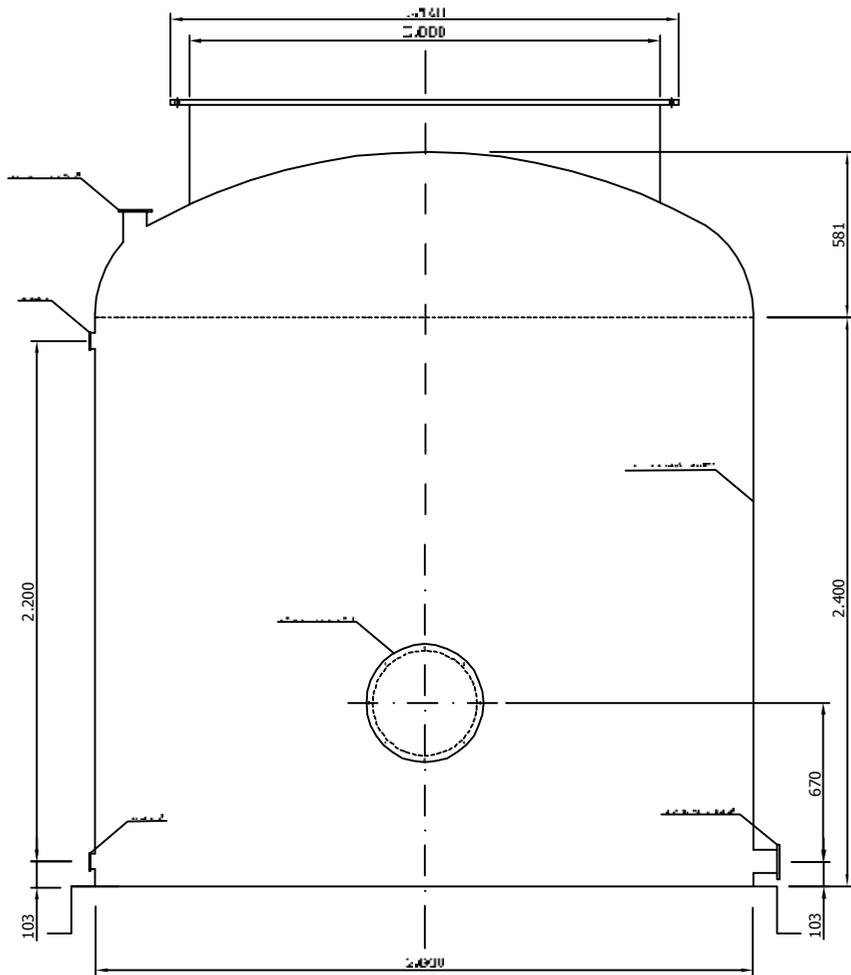
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PRODUCIR AGUA DESALINADA DE PROCESO	
SISTEMA DE IONIZADOR	FECHA: 11/03/2017
	ESCALA: 1/20
	Nº DE PLANO: 101
ESQUEMA DE UN ENSAMBLAJE CA IÓNICO	EL INGENIERO QUÍMICO: ALEXANDRO SERRANO ABARÓN



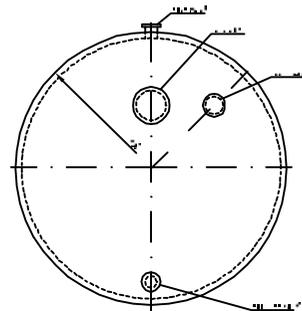
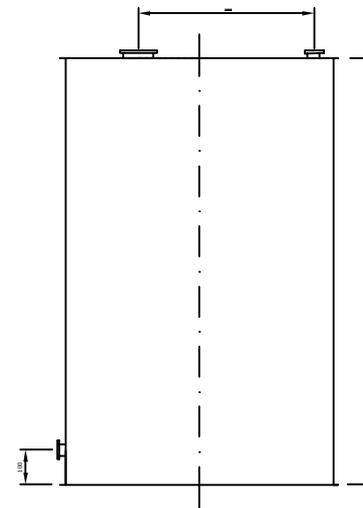
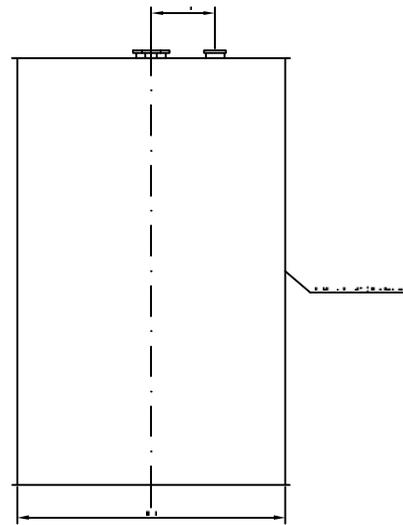
DISEÑO DE UNA PLANTA DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA PRODUCIR AGUA DESMINERALIZADA DE PROCESO	
SISTEMA DESIONIZADOR	FECHA: 15/01/2021
	ESCALA: 1/10
	Nº DE PLANO: 400
COLUNA DE UN INTERCAMBIO IÓNICO	EL INGENIERO QUÍMICO: ALEXANDRO SERRANO ABARÓN



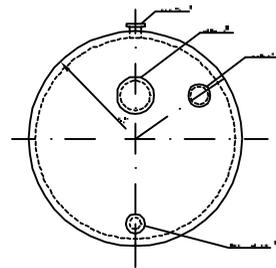
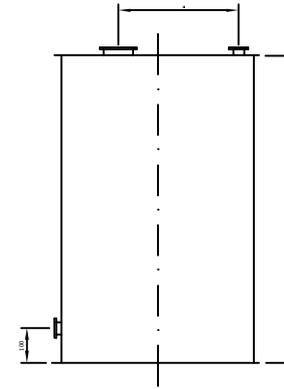
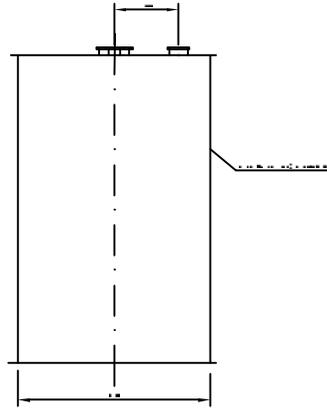
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PRODUCIR AGUA DESMINERALIZADA DE PROCESO	
SISTEMA DE DESGASIFICACIÓN	FECHA: MARZO 2017
	ESCALA: 1/40
	Nº DE PLANO: 100
DESGASIFICADOR	EL INGENIERO QUÍMICO: ALBERTO SERRILLO ABARÓN



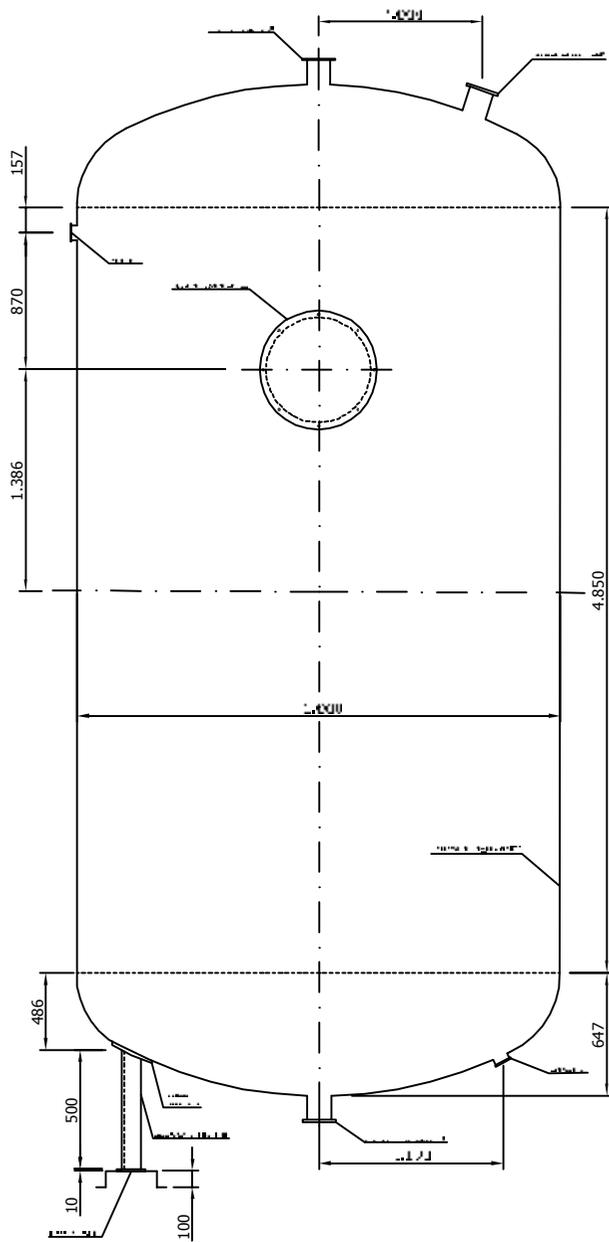
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PRODUCIR AGUA DEBUNDA DE PROCESO	
SISTEMA DE DEGASIFICACIÓN	FECHA: MAYO 2017
	ESCALA: 1:1
	Nº DE PLANO: 001
UNIVERSIDAD DE LA GUAYANA	EL INGENIERO QUÍMICO
UNIVERSIDAD DE LA GUAYANA	ALUMNO: CAROLINA ALARCON



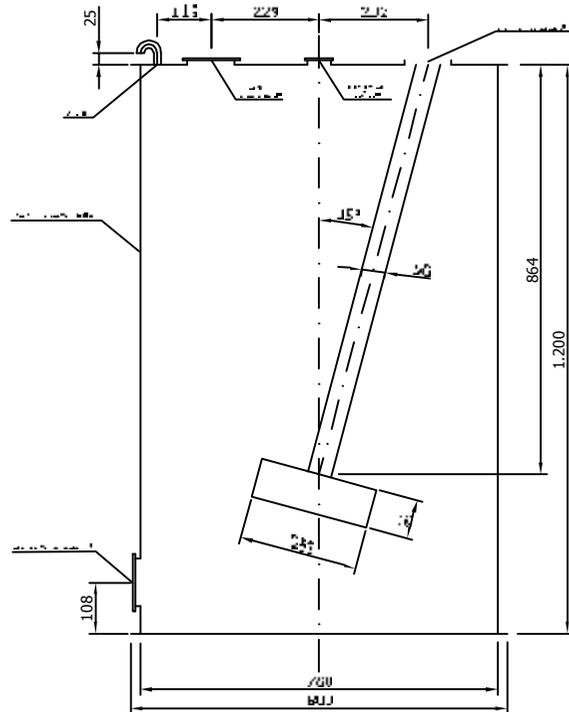
DISEÑO DE UNA PLANTA DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA PRODUCIR AGUA DESMINERALIZADA DE PROCESO	
SISTEMA DE REGENERACIÓN	FECHA: MAYO 2017
	ESCALA: 1/10
	Nº DE PLANO: 1/00
DEPÓSITO DE ÁCIDO SULFÚRICO	EL INGENIERO QUÍMICO: ALEXANDRO SERRANO ALFARO



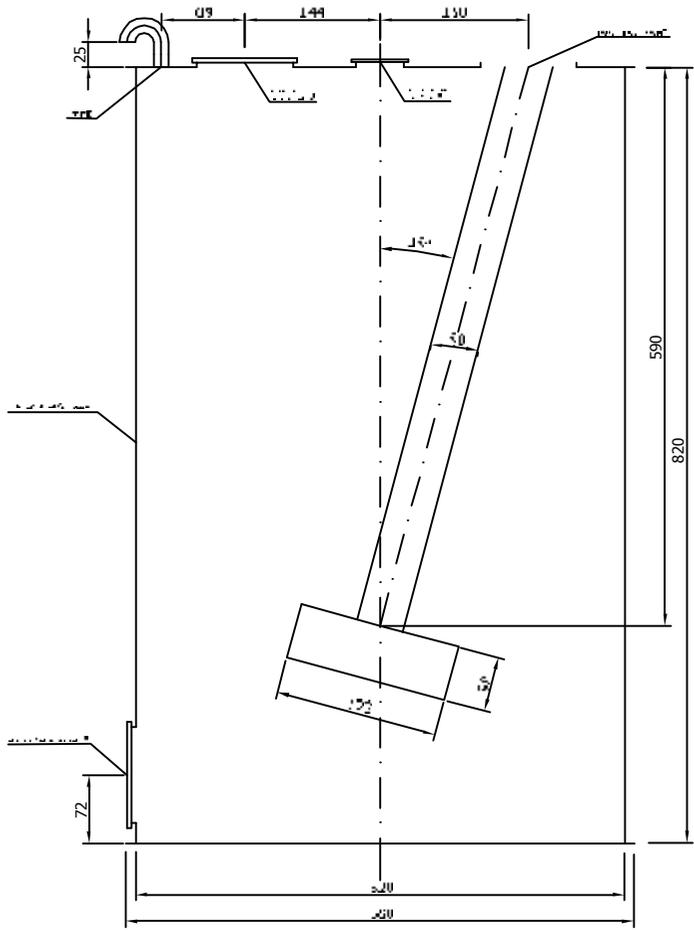
DISEÑO DE UNA PLANTA DE INTERCAMBIO DE CALOR PARA PRODUCIR AGUA DESMINERALIZADA DE PROCESO	
SISTEMA DE REGENERACIÓN	FECHA: 11/01/2017
	ESCALA: 1/10
	Nº DE PLANO: 001
DEPÓSITO DE TIPO DE LECTO SÓLIDO	EL INGENIERO QUÍMICO: ALEXANDRO SERRILLO ABARÓN



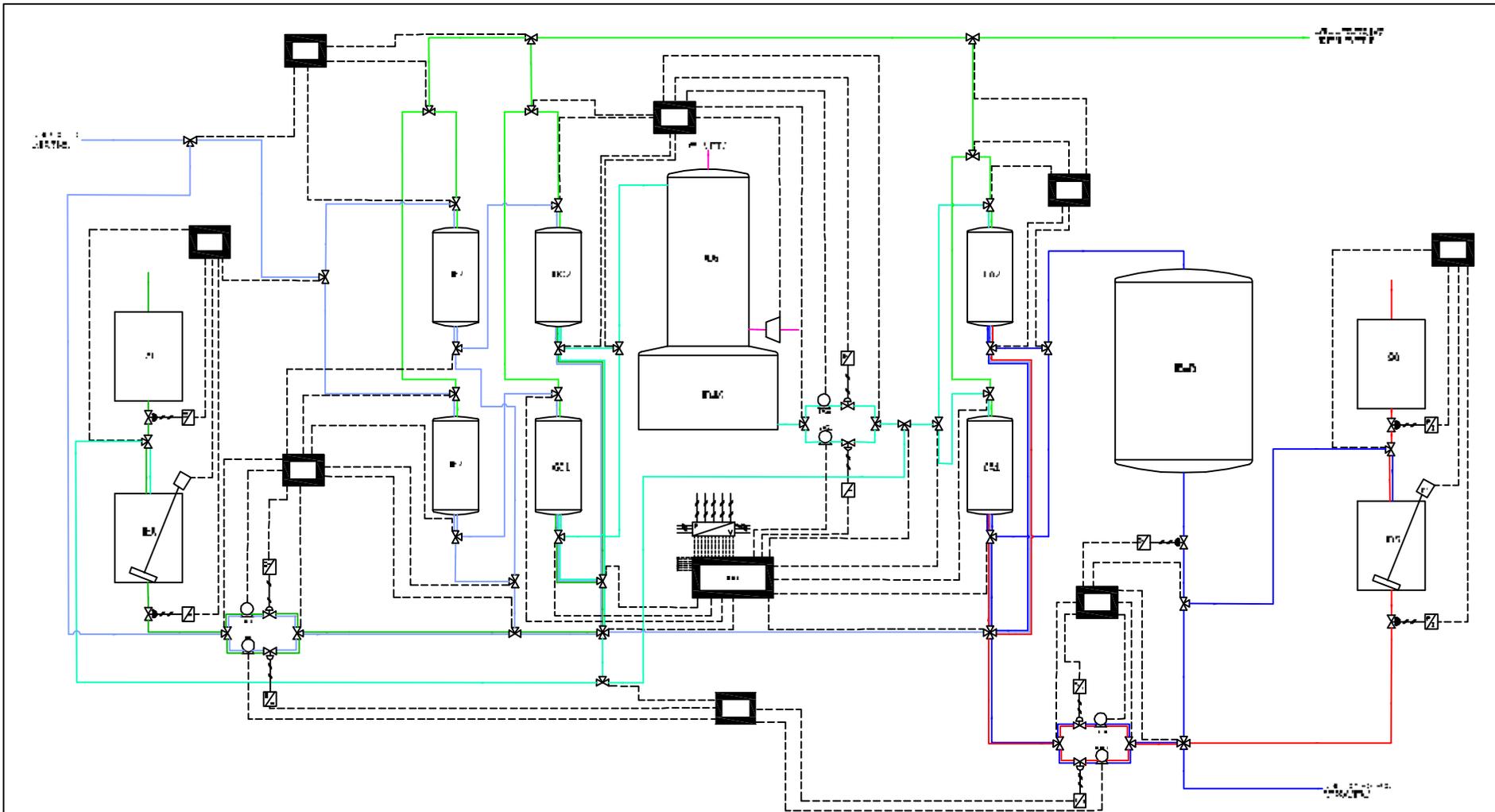
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PRODUCIR AGUA DESIONIZADA DE PROCESO	
AGUA DESIONIZADA	FECHA: 11/03/2017
	ESCALA: 1/10
	Nº DE PLANO: 001
UNIVERSIDAD ALFONSO ROMERO DE AGUA DESIONIZADA	EL INGENIERO QUÍMICO: ALBERTO SERRANO ABARÓN



DISEÑO DE UNA PLANTA DE CONTROL DE CALIDAD PARA PRODUCCIÓN DE AGUA DEBUTANADA DE PROCESO	
SISTEMA DE DILUCIÓN	FECHA: MARZO 2017
	ESCALA: 1:1
	Nº DE PLANO: 1001
DEPÓSITO DE DILUCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO	EL INGENIERO QUÍMICO: ALBERTO SERRILLO ABASÓN



DISEÑO DE UNA PLANTA DE CONTROL DE CALIDAD PARA PRODUCCIÓN DE AGUA DEBUTELADA DE PROCESO	
SISTEMA DE DILUCIÓN	FECHA: 15/05/2024
	ESCALA: 1:1
	Nº DE PLANO: 01/01
DEPÓSITO DE DILUCIÓN DE PRODUCTO SÓLIDO	EL INGENIERO QUÍMICO: ALBERTO SERRANO ABRAÓN



[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
[Line]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]

PROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE...	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	FECHA: 15/05/2024 ESCALA: 1:50 HOJA Nº: 100
MAQUINARIA	ELABORADO POR: [Nombre] APROBADO POR: [Nombre]

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

CAPÍTULO I.- <u>DISPOSICIONES GENERALES</u>.....	340
Artículo 1.- Objeto del Pliego.....	340
Artículo 2.- Cuerpo Normativo.....	340
Artículo 3.- Documentos que Definen el Proyecto.....	341
Artículo 4.- Compatibilidad y relación entre dichos documentos.	342
CAPÍTULO II.- <u>PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS</u>.....	342
Artículo 5.- Salida a Concurso.....	342
Artículo 6.- Retirada de Documentación de Concurso.....	343
Artículo 7.- Aclaraciones de los Licitadores.....	343
Artículo 8.- Presentación de la Documentación de la Oferta.....	344
Artículo 9.- Condiciones Legales que Debe Reunir el Contratista Para Poder Ofertar.....	347
Artículo 10.- Validez de las Ofertas.....	348
Artículo 11.- Planos Provisionales y Definitivos.....	348
Artículo 12.- Adjudicación del Concurso.....	349
Artículo 13.- Devolución de Planos y Documentación.....	350
Artículo 14.- Permisos a Obtener por la Empresa.....	350
Artículo 15.- Permisos a Obtener por el Contratista.....	352
Artículo 16.- Contrato.....	353

Artículo 17.- Gastos e Impuestos Derivados del Contrato.....	354
Artículo 18.- Fianzas Provisional, Definitiva y Fondo de Garantía.....	354
Artículo 19.- Asociación de constructores.....	356
Artículo 20.- Subcontratistas.....	357
Artículo 21.- Relaciones entre la Empresa y el Contratista y entre los Diversos Contratistas y Subcontratistas..	358
Artículo 22.- Domicilios y Representantes.....	359
Artículo 23.- Obligaciones del Contratista.....	360
Artículo 24.- Gastos de Carácter General por Cuenta del Contratista.....	363
Artículo 25.- Gastos de Carácter General por Cuenta de la Empresa.....	365
Artículo 26.- Indemnizaciones por Cuenta del Contratista.....	366
Artículo 27.- Partidas para Obras Accesorias.....	366
Artículo 28.- Partidas Alzadas.....	366
Artículo 29.- Régimen de Intervención.....	367
Artículo 30.- Rescisión del Contrato.....	368
Artículo 31.- Propiedad Industrial y Comercial.....	371
Artículo 32.- Disposiciones Legales.....	372
Artículo 33.- Tribunales.....	373
CAPÍTULO III - <u>PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICO- ECONÓMICAS</u>.....	373

Artículo 34.- Modificaciones del Proyecto.....	373
Artículo 35.- Modificación de los Planos.....	375
Artículo 36.- Replanteo de las Obras.....	376
Artículo 37.- Acceso a las Obras.....	377
Artículo 38.- Organización de las Obras.....	378
Artículo 39.- Vigilancia y Policía de las Obras.....	379
Artículo 40.- Utilización de las Instalaciones Auxiliares y Equipos del Contratista.....	379
Artículo 41.- Uso Anticipado de las Instalaciones Definitivas.....	380
Artículo 42.- Plano de Obra y Montaje.....	380
Artículo 43.- Plazos de Ejecución.....	383
Artículo 44.- Retenciones por Retrasos Durante la Ejecución de la Obra.....	384
Artículo 45.- Incumplimiento de los Plazos y Multas.....	384
Artículo 46.- Supresión de las Multas.....	385
Artículo 47.- Premios y Primas.....	386
Artículo 48.- Retrasos Ocasionados por la Empresa.....	386
Artículo 49.- Daños y Ampliación de Plazo en Caso de Fuerza Mayor.....	387
Artículo 50.- Mediciones de las Unidades de Obra.....	387
Artículo 51.- Certificación y Abono de las Obras.....	389
Artículo 52.- Abono de Unidades Incompletas o Defectuosas.....	393
Artículo 53.- Recepción Provisional de las Obras.....	393



**DISEÑO DE UNA PLANTA DE INTERCAMBIO DE IONES PARA PRODUCIR AGUA
DESIONIZADA DE PROCESO**



Artículo 54.- Plazo de Garantía.....	395
Artículo 55.- Recepción Definitiva de las Obras.....	395
Artículo 56.- Liquidación de las Obras.....	396

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 en los particulares 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 será el formado por toda la LEGISLACIÓN DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO que le sea de aplicación en la fecha de la firma 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 será la Dirección Facultativa quien manifieste por escrito la decisión a tomar en el Libro de Órdenes.

Será responsabilidad del Contratista, cualquier decisión tomada en los supuestos anteriores si 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 considerará 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 y amortización de la planta.

3.4.- El Pliego General de Condiciones Técnicas, Económicas y Legales, que incluirá 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, prevalecerá 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 sólo 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.

CAPÍTULO 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, o si se les presentasen dudas en cuanto a su significado.

La Empresa estudiará las peticiones de aclaración e información recibidas 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 nº 1, 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, prevalecerá el del Cuadro nº 1.

8.2.- Cuadro de Precios nº 2, en el que se especificará claramente el desglose de la forma siguiente:

8.2.1.- Mano de obra por categorías, 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 nº 1, 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 adjudicatario. 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, deberá 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, (o compromiso, en su caso, de su matriculación en este, si resultase adjudicatario de las obras).

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, cañadas, 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 éste 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 par 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 treinta 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 deberá 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 estén 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 será 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 será conjunta y solidaria, con relación al compromiso contraído 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 ésta 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 por que aún estando previstos en la Memoria y/o Planos de Concurso, no se hubiese solicitado para ellos oferta económica, bien por que 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 dificultados o diferencias, tomar la resolución que proceda, o designar 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 deberá 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, éstas 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 deberá 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 señales 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 Secretaría 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 monto 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, ésta le requerirá 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 éste 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 quedará 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 obligará a la Empresa a la prorroga 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 ficha 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, éste 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 utilizations 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 responderá 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 Aéreas de Alta Tensión (O.M. 28-XI-68).
 - Normas para Señalización 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 eximirá 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.

CAPÍTULO III - PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS

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 ésta 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 deberá 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 deberá 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, debido 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 vados 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 pueda 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, definirá lo que se entiende por zona de obras.

38.6.- Si por conveniencia del Contratista, éste 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. Deberá 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 deberá 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 será 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 éste en un mes.

42.2.- Este Plan, que deberá ser lo más completo, detallado y razonado posible, respetará 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 quedará a juicio del Contratista. En el caso de que éste 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 del 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 sí 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 debería 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 realice 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 éste 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 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 ésta, 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 soportará 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 a 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, aún 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, corresponderá 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 del plazo indicado, se devengarán al Contratista, a petición escrita del mismo, intereses y demora.

Estos intereses se devengarán por el periodo transcurrido del último día del 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 observaran 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 éste 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 éstas, hasta que se efectúe la recepción definitiva, excepción hecha de los daños que se deriven del maltrato o uso inadecuado de las obras por parte de la Empresa.

Si el Contratista incumplirse 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 monto del 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 éste 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.

En San Fernando a 1 de Junio de 2007

Fdo: Alberto Carrillo Aragón

**ESTADO DE
MEDICIONES Y
PRESUPUESTO**



ÍNDICE DEL ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1.- INTRODUCCIÓN.....	399
2.- ADQUISICIÓN.....	400
3.- MONTAJE Y ADQUISICIÓN.....	402
4.- PRESUPUESTO TOTAL.....	403

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1.- INTRODUCCIÓN

En el presente documento del proyecto, se realizará el estudio económico del costo que supone la implantación de la instalación proyectada de la planta de intercambio iónico para la producción de agua desionizada de proceso, en el cual se incluirá aquellos elementos que componen y definen la instalación.

El presente presupuesto estará conformado por dos grupos principalmente, el primero de ellos constará de la adquisición de los equipos necesarios en nuestro sistema, mientras que en el segundo apartado se incluirán los gastos derivados del montaje y puesta en funcionamiento de la propia instalación.

Una vez obtenido el presupuesto básico, se le deberá añadir una serie de términos destinados a completar el estudio económico de la instalación de intercambio iónico, siendo esos términos los que se muestra a continuación:

- 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, pues los precios estipulados en los cuadros de precios no lo precisan.
- 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.

- Beneficio industrial, que será el beneficio que obtenga el contratista que se ocupe de la ejecución de la obra.

2.- ADQUISICIÓN

Descripción	Nº Uds	Precio en EUROS	
		Unitario	Total
EQUIPOS			
Bombas			
Bomba centrífuga de 0.5 KW	2	1025.3	2050.6
Bomba centrífuga de 0.25 KW	4	935.8	3743.2
			<hr/> 5793.8
Ventiladores			
Ventilador de 1.25 KW	1	425.3	425.3
			<hr/> 425.3
Agitadores			
Agitador de turbina de 0.18 KW	2	176.4	352.8
			<hr/> 352.8
Depósitos			
Depósito en PRFV, con capacidad de 0.79 m ³ , para almacenamiento de H ₂ SO ₄	1	514	514
Depósito en PRFV, con capacidad de 0.32 m ³ , para almacenamiento de NaOH	1	260	260
Depósito en PRFV, con capacidad de 14.78 m ³ , para almacenamiento de agua desgasificada	1	5615	5615
Depósito en PRFV, con capacidad de 0.54m ³ , para dilución de H ₂ SO ₄	1	351	351

Descripción	Nº Uds	Precio en EUROS	
		Unitario	Total
Depósito en PRFV, con capacidad de 0.17 m ³ , para dilución de NaOH	1	115	115
Depósito en acero 285-C, con capacidad de 36.14 m ³ , para almacenamiento de agua desionizada	1	8650	8650
			15505
Columnas			
Columna en acero 316, con capacidad de 5.73 m ³ , para el intercambio catiónico	2	3090	6180
Columna en acero 316, con capacidad de 6.27 m ³ , para el intercambio aniónico	2	3480	6960
Columna en acero 285-C, con capacidad de 5.73 m ³ , para el filtro de carbón activo	2	1370	2740
Columna en PRFV, con capacidad de 22.21 m ³ , para el desgasificador	1	6545	6545
			22425
Rellenos			
Resina de intercambio catiónica	2.08*	1482**	3082.6
Resina de intercambio aniónica	2.30*	2879**	6621.7
Relleno de carbón activo	2.08*	425.3**	884.6
Relleno de anillos Raschig	22.21*	264**	5863.4
			16452.3
TOTAL ADQUISICIONES			60953.9

* m³ de relleno o de resina

** €/m³ de relleno o de resina

3.- MONTAJE E INSTALACIÓN

Se incluyen en esta partida los costes relativos a las tuberías con sus respectivos accesorios y soportes necesarios para instalar el conexionado de la planta; así como de los costes de la instalación eléctrica y de control e instrumentación. También se incluyen los gastos de transporte y mano de obra del personal que realice el montaje.

Estos costes se calcularán mediante el método de estimación 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% de coste de los equipos)
- Coste de control e instrumentación (13% de costes de los equipos)
- Coste de la instalación eléctrica (9% de costes de los equipos)
- Coste mano obra del montaje (8% de costes de los equipos)

Descripción	Precio en EUROS
	Total
Tuberías y Accesorios	20114.8
Control e Instrumentación	7924
Instalación Eléctrica	5485.9
Mano de Obra del Montaje	4876.3
TOTAL MONTAJE E INSTALACIÓN	38401

4.- PRESUPUESTO TOTAL

	Precio en EUROS
	Total
Ø ADQUISICIONES	60953.9
Ø MONTAJE E INSTALACIÓN	38401
EJECUCIÓN DEL PROYECTO	99354.9
+7.5% DE IMPREVISTOS	
TOTAL	106806.5
+16% DE IVA	
TOTAL	123895.5
+9% DE BENEFICIO INDUSTRIAL	
TOTAL	135046.1

El presente presupuesto de ejecución material asciende a (135046.1€), CIENTO TREINTA Y CINCO MIL CUARENTA Y SEIS EUROS CON UN CÉNTIMO.

En San Fernando a 1 de Junio de 2007

Fdo: Alberto Carrillo Aragón

