

ANEXO IV. CALIDAD DE INSUMOS Y MATERIALES

ÍNDICE

1. CONTENIDO	1
2. PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS COMO INSUMOS PARA LA POTABILIZACIÓN.....	1
2.1. LISTADO DE PRODUCTOS.....	2
2.2. FUNDAMENTACIONES DE SU USO	3
2.2.1. <i>Coagulantes</i>	3
2.2.2. <i>Ayudantes de Coagulación</i>	4
2.2.3. <i>Ajuste de pH</i>	5
2.2.4. <i>Control de Corrosión y de Deposición</i>	5
2.2.5. <i>Ablandamiento</i>	5
2.2.6. <i>Oxidantes</i>	5
2.2.7. <i>Control y Remoción de Olor y Sabor</i>	6
2.2.8. <i>Desinfección</i>	6
2.2.9. <i>Fluoruración</i>	7
2.2.10. <i>Materiales Defluorantes</i>	7
2.2.11. <i>Materiales Para el Intercambio Iónico</i>	7
2.2.12. <i>Carbón Activado</i>	8
2.3. PROPIEDADES DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS	9
2.3.1. <i>Sulfato de Aluminio</i>	9
2.3.2. <i>Cloruro Férrico</i>	10
2.3.3. <i>Caparrosa Clorada</i>	10
2.3.4. <i>Ayudantes de Coagulación</i>	11
2.3.4.1. <i>Poliectrolitos</i>	11
2.3.4.2. <i>Sílice Activada</i>	13
2.3.4.3. <i>Bentonita</i>	13
2.3.4.4. <i>Chitosán</i>	14
2.3.4.5. <i>Alginato de Sodio</i>	14
2.3.5. <i>Sulfato Ferroso</i>	14
2.3.6. <i>Carbón Activado Granular</i>	15
2.3.7. <i>Cloro</i>	15
2.3.8. <i>Hueso</i>	17

2.3.9. Resinas Para Intercambio Iónico	17
2.3.10. Soda Cáustica	20
2.4. CALIDAD DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS COMO INSUMOS	20
2.5. ALMACENAMIENTO Y MANEJO	24
2.5.1. Coagulante	25
2.5.1.1. Sulfato de Aluminio.....	25
2.5.2. Polielectrolitos	26
2.5.3. Cal	27
2.5.4. Cloro.....	28
2.5.4.1. Hipoclorito de Sodio	28
2.5.4.2. Cloro Gaseoso.....	28
2.5.4.3. Dióxido de Cloro.....	28
2.6. SEGURIDAD E HIGIENE EN EL MANEJO DE LOS INSUMOS.....	28
2.6.1. Sulfato de Aluminio	28
2.6.2. Polielectrolitos	29
2.6.3. Soda Cáustica	29
2.6.4. Cal	30
2.6.5. Resinas	30
3. MATERIAL FILTRANTE	31
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL FILTRANTE	31
3.2. CALIDAD DEL MATERIAL FILTRANTE	33
3.2.1. Grava.....	33
3.2.1.1. Características Físicas	33
3.2.1.2. Solubilidad en Ácido.....	34
3.2.1.3. Tamaño de la Grava	34
3.2.2. Arena.....	34
3.2.2.1. Características Físicas	34
3.2.2.2. Solubilidad en Ácido.....	34
3.2.2.3. Tamaño de la Arena	34
3.2.3. Antracita	34
3.2.3.1. Características Físicas	34
3.2.3.2. Solubilidad en Ácido.....	35
3.2.3.3. Tamaño de la Antracita.....	35
4. CAÑERÍAS PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA.....	36
4.1. INTRODUCCIÓN	36
4.2. CLASIFICACIÓN.....	36
4.2.1. Según el Tipo de Esguimiento Hidráulico.....	36
4.2.2. Según su Ubicación en el Sistema de Abastecimiento de Agua.....	36
4.2.3. Según el Tipo de Unión Utilizado.....	37
4.3. PRESIONES.....	37
4.3.1. Presión Máxima de Trabajo PMT.....	37
4.3.2. Presión Máxima de Cálculo PMC	37
4.3.3. Presión de Prueba en Obra PPO.....	37
4.3.4. Presión Máxima Admisible PMA	37
4.3.5. Presión Máxima de Funcionamiento PMF.....	38

4.3.6. Presión Máxima de Prueba PMP.....	38
4.3.7. Presión de Prueba en Fábrica PPF.....	38
4.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS CAÑERÍAS SEGÚN EL TIPO DE MATERIAL	38
4.4.1. Cañerías de Acero (A).....	38
4.4.2. Cañerías de Asbesto Cemento (AC).....	42
4.4.3. Cañerías de Fundición (HF)	46
4.4.3.1. Cañerías de Hierro Fundido Gris.....	46
4.4.3.2. Cañerías de Hierro Dúctil (FD).....	47
4.4.4. Cañerías de Hormigón.....	50
4.4.5. Cañerías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD).....	53
4.4.6. Cañerías de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV).....	56
4.4.7. Cañerías de Policloruro de Vinilo (PVC).....	58
5. COMPUERTAS	62
6. VÁLVULAS DE CIERRE.....	64
7. BIBLIOGRAFÍA.....	66

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Productos utilizados en tratamientos de agua	3
Tabla 2. Nomenclatura de polielectrolitos	12
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del cloro	16
Tabla 4. Sulfato de aluminio líquido – Base bauxita	20
Tabla 5. Sulfato de aluminio líquido – Base Hidrato	21
Tabla 6. Sulfato de aluminio sólido – Base hidrato	21
Tabla 7. Sulfato de aluminio sólido – Base bauxita.....	21
Tabla 8. Hipoclorito de sodio (líquido amarillo verdoso)	22
Tabla 9. Cloro líquido (líquido amarillo verdoso).....	22
Tabla 10. Cal	23
Tabla 11. Materiales para el almacenamiento de insumos	25
Tabla 12. Revestimientos interiores de cañerías	49
Tabla 13. Revestimientos exteriores de cañerías	49
Tabla 14. Características de los distintos tipos de juntas	50

FIGURAS

Figura 1. Análisis granulométrico de una arena	33
---	-----------

1. CONTENIDO

El presente Capítulo trata de los insumos y materiales utilizados en sistemas de abastecimiento de agua.

2. PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS COMO INSUMOS PARA LA POTABILIZACIÓN

Existe una gran cantidad de insumos que pueden ser utilizados para la potabilización de las aguas. Se denominarán aquí indistintamente a estos insumos como productos químicos utilizados para la potabilización o, simplemente, productos químicos.

El uso de cada insumo tiene una determinada finalidad en las distintas etapas y procesos de la potabilización de aguas para consumo humano. Ello obliga a que cada producto sea utilizado en el lugar y en la secuencia que brinde la mayor eficiencia del conjunto con la mayor economía posible.

Además de la consideración anterior de la selección del producto mas adecuado para cada finalidad, es esencial prestar especial atención a la calidad de los mismos. La calidad del insumo utilizado tiene directa relación con la eficiencia de su uso pero además puede afectar la precisión y vida útil del muchas veces costoso equipamiento de dosificación.

Además, a mayor calidad de los productos utilizados, menor es la generación de residuos. Los residuos generados en los distintos procesos de potabilización deben ser posteriormente adecuadamente dispuestos según la normativa ambiental, generando un costo y una complicación operativa muchas veces importante.

Es una premisa para asegurar el buen funcionamiento de un sistema de tratamiento que el proveedor deba garantizar la cantidad y la constancia de la calidad del producto que abastece. Esta calidad no debe verse alterada durante el transporte hasta la Planta.

Otro elemento fundamental a tener en cuenta en la selección y uso de los productos químicos para potabilización, aparte de la calidad, es la disponibilidad de los mismos en forma fácil para el consumidor, es decir, la Planta de Tratamiento.

En particular, se analizarán los siguientes aspectos relativos a los insumos de más frecuente utilización.

- Fundamentación de uso de cada producto.
- Breve descripción del proceso productivo.
- Propiedades y calidad de los insumos.
- Almacenamiento y manejo.
- Seguridad e higiene.

- Bibliografía de referencia y para posteriores consultas.

2.1. LISTADO DE PRODUCTOS

En la **Tabla 1** se clasifican los distintos productos químicos según las etapas del tratamiento en los que pueden ser utilizados:

Etapa	Producto químico
Coagulación	Sulfato de Aluminio Sulfato ferroso Sulfato férrico Cloruro férrico Aluminato de sodio PAC
Ayudantes de coagulación	Bentonita Carbonato de calcio Silicato de Sodio Poliectrolitos sintéticos Sílice activada Alginato de Sodio Chitosán Almidón
Ajuste de pH	Cal hidratada Carbonato de calcio Hidróxido de sodio Gas carbónico Acido clorhídrico Acido sulfúrico
Control de corrosión	Cal hidratada Carbonato de calcio Hidróxido de sodio Gas carbónico Polifosfatos de sodio
Ablandamiento	Cal hidratada Carbonato de sodio Clorito de sodio Gas carbónico Resinas de ablandamiento
Oxidantes	Cloro Hipoclorito de calcio Hipoclorito de sodio Dióxido de cloro Ozono Permanganato de Potasio
Control y remoción de olor y sabor	Carbón activado Dióxido de cloro Cloro Ozono Permanganato de potasio Bentonita

Etapa	Producto químico
Desinfección	Cloro Hipoclorito de calcio Hipoclorito de sodio Dióxido de cloro Amonio anhidra Hidróxido de amonio Sulfato de amonio Ozono
Fluoruración	Fluorsilicato de sodio Acido fluorsilícico Fluoreto de sodio (fluorita)
Desfluoración	Hueso tratado Resinas Alúmina activada Fosfato de calcio
Control de productos orgánicos	Cloraminas Dióxido de cloro

Tabla 1. Productos utilizados en tratamientos de agua

2.2. FUNDAMENTACIONES DE SU USO

2.2.1. Coagulantes

El uso de coagulantes para la potabilización fue enunciado en el año 1900 en la Ley de Schulze-Hardy.

Ciertos factores deben ser tenidos en cuenta para la adecuada selección del coagulante más conveniente para cada aplicación. Algunos de estos factores son:

- Rango de pH: las sales de hierro poseen un rango más amplio de pH donde se produce la coagulación. A valores alcalinos de pH el hidróxido férrico alcanza la mayor insolubilidad mientras que las sales de aluminio forman iones de aluminato solubles en esas condiciones.

Para el sulfato de aluminio la zona de pH de coagulación óptima está entre 6,8 y 7,5 mientras que para el sulfato férrico es de 5,5 a 8,8.

- Disponibilidad, dada como facilidad y economía en el abastecimiento.
- Facilidad de manejo, referido como ataque corrosivo a las instalaciones y al potencial daño al personal por su utilización.
- Eficiencia comparativa y dosis óptima: en función de resultados de Ensayos de Prueba de Jarras.
- Costos.

2.2.2. Ayudantes de Coagulación

En ciertos casos específicos de tratamiento, se requiere del uso de ayudantes de coagulación (que algunos denominan coadyuvantes), los que vienen a asistir al coagulante primario en su acción.

Los casos típicos donde se requiere del uso de ayudantes de coagulación son:

- Coagulación de aguas con baja temperatura.
- Eliminación de color.
- Eliminación de material algáceo.
- Asistencia a la filtración a alta tasa.
- Reducción del período de maduración del filtro.
- Reemplazo de dosis de coagulante primario.

Efectivamente, si bien el sulfato de aluminio es el coagulante primario mas extensivamente utilizado dadas sus propiedades de facilidad en el manejo, disponibilidad en el mercado, su eficiencia probada y la amplia experimentación con la que se cuenta de su uso, tiene algunas limitaciones. El sulfato de aluminio depende mucho en su eficiencia del pH del agua a tratar. Además, más modernamente se han proyectado sobre su uso dos importantes limitaciones. Por un lado, el aluminio residual en el agua tratada que su uso produce debe ser cada vez mas limitado desde el punto de vista de la calidad del agua. Por otro lado, se trata de limitar los volúmenes de barros residuales producidos en función del costo de disposición de los mismos y de las cada vez más exigentes reglamentaciones ambientales.

El uso de ayudantes se orienta a suplementar al coagulante primario más generalmente usado en sus limitaciones. Por ello, el uso de ayudantes con coagulantes primarios o el de ayudantes solos para la coagulación exhiben un interesante potencial futuro.

Ahora bien, los ayudantes, y especialmente los polielectrolitos tienen a su vez algunas limitaciones.

Los polímeros poseen una alta selectividad por ciertos tipos de coloides, forman un flóculo grande y fuerte pero muchas veces el sobrenadante es turbio, su costo es muy superior al del sulfato del aluminio o el cloruro férrico y muchos no son rápidamente biodegradables lo que complica la disposición final de los residuos. Tal vez, una de las mayores limitaciones reside en la incertidumbre sobre su toxicidad a largo plazo, posible carcinogenicidad, y mutagenicidad en humanos. Algunos países, como Japón, han adoptado regulaciones en contra del uso de polielectrolitos sintéticos para potabilización de aguas.

Los ayudantes naturales constituyen, entonces, una alternativa muy interesante de utilización para potabilización de aguas para consumo humano, frente a los polielectrolitos artificiales. Son varias las experiencias que certifican su buen comportamiento.

La mayor limitación de los ayudantes naturales la constituye la dificultad de contar con abastecimiento del mismo en volumen y calidad constante y fiable.

En nuestro país no se ha desarrollado una industria de producción de ayudantes de coagulación naturales, posiblemente por la falta de demanda.

2.2.3. Ajuste de pH

Los procesos de coagulación alteran el pH del agua en tratamiento. Asimismo, el agua a tratar puede no tener el pH más conveniente para la mayor eficiencia con la utilización de ese insumo.

Asimismo, la conservación de la integridad del sistema de distribución y de la calidad del agua potabilizada durante su transporte hasta el consumidor requiere de ajustes del pH del agua para evitar corrosión de las instalaciones.

2.2.4. Control de Corrosión y de Deposición

La corrosión puede ser uno de los principales problemas en un sistema de abastecimiento de agua, ya que puede afectar la salud humana, la aceptación del agua por parte de los consumidores y el costo de provisión.

Lamentablemente, muchas veces se advierte el problema de la corrosión recién cuando se requiere de costosos montos de reparación.

Un ambiente corroído puede generar la aparición en el agua tratada de plomo, cadmio, cobre, bacterias y microorganismos.

Paralelamente, un adecuado manejo de la calidad del agua asegura que no se produzcan condiciones de deposición en las cañerías y conducciones.

2.2.5. Ablandamiento

No es un procedimiento de tratamiento que sea utilizado extensivamente en el campo del abastecimiento de agua para consumo humano en la Argentina.

Se conocen solamente algunos intentos de ablandamiento a efectos de disminuir el contenido salino de aguas, para asegurar su buen gusto. Estos intentos no fueron llevados a cabo hasta el momento en la República Argentina.

2.2.6. Oxidantes

El uso de oxidantes tales como (cloro, ozono, permanganato, etc.) en una Planta de Tratamiento juega varios roles importantes. En función del propósito del oxidante será el lugar de la Planta donde será dosificado.

De esta forma, pueden clasificarse los sitios de adición y los propósitos buscados:

- Fuente
 - Oxidación microbiológica y fotoquímica de los productos orgánicos naturales, del hierro y el manganeso presentes en el agua a tratar.
- Preoxidación
 - Remoción de color, control de olores y gustos, prevención de crecimiento de algas y desarrollos bacterianos en las unidades de proceso, mejoramiento de la coagulación y sedimentación, oxidación del Manganeso, reducción del potencial de formación de THM.
- Sedimentadores
 - Oxidación lenta del Manganeso y de los productos orgánicos naturales.
- Filtros
 - Control del crecimiento biológico y nitrificación del NH_3 .
- Salida
 - Post-desinfección, protección del sistema de distribución de crecimientos bacterianos y algáceos (bio-fouling).

2.2.7. Control y Remoción de Olor y Sabor

Actualmente, se debería hablar de la remoción de compuestos orgánicos en el agua potable.

Los compuestos orgánicos en el agua pueden causar sabores y olores, pero también color, mutagenicidad y toxicidad.

2.2.8. Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de ciertos organismos presentes en el agua.

Tradicionalmente, el contenido bacteriano de un agua estaba adecuadamente controlado con el uso de cloro como desinfectante. El conocimiento de otros organismos hídricos que son causantes de enfermedades, ha llevado al desarrollo y uso de otros desinfectantes. Asimismo, el conocimiento de la existencia de elementos generados en forma asociada con el uso de los distintos desinfectantes ha llevado al desarrollo de técnicas de empleo o de utilización de cada tipo de desinfectante en condiciones óptimas.

En Argentina el cloro es el producto utilizado tradicionalmente para la desinfección de aguas. Los distintos productos para la utilización del Cloro son:

- Cloro, líquido o gaseoso.
- Hipoclorito de Sodio.
- Hipoclorito de Calcio.
- Dióxido de Cloro.

2.2.9. Fluoruración

Constituye en el ajuste del nivel del contenido de flúor en el agua de bebida de acuerdo a recomendaciones científicas y médicas.

El flúor es un elemento traza, que se encuentra en virtualmente la mayoría de los suelos, aguas, plantas y animales.

La fluoración consiste, en la corrección del contenido de flúor en el agua a efectos de mejorar sus cualidades, en referencia a la salud dental.

En efecto, se ha determinado una fuerte relación entre el contenido de flúor y las incidencia de caries dentales.

Indudablemente que esta concentración debe ser ajustada a niveles tales que no produzca, por exceso, manchado de los dientes y, en casos extremos, fluorosis óseas.

Si bien los beneficios del flúor en la salud dental han sido conocidos desde hace mucho tiempo, recientes estudios a nivel mundial reafirman estos conocimientos.

Para la fluoruración puede utilizarse principalmente fluoruro de sodio, fluoruro de calcio, silicofluoruro de sodio y ácido fluorsilícico, si bien existen una serie de productos posibles de ser usados para estos fines.

2.2.10. Materiales Defluorantes

Como complemento del caso anterior que consiste en el agregado de flúor a las aguas de consumo, puede presentarse el caso de que exista un contenido en exceso de flúor en el agua bruta, lo que lleva a requerir su remoción previa al consumo.

Los materiales utilizados para la remoción o corrección en el contenido de flúor en las aguas pueden ser denominados materiales defluorantes.

Los materiales más aptos para la defluoración son el hueso, el fosfato de calcio y la alúmina activada. La conveniencia del uso de cada uno depende del costo y de las posibilidades de obtención en cada caso particular.

Además, puede combinarse el uso de estos materiales, como es el caso del fosfato de calcio el que puede prepararse a partir de ácido fosfórico de elevada pureza y lechada de cal.

También es posible defluorar mediante otros sistemas de tratamiento, como las resinas de intercambio, la electrodiálisis y la ósmosis inversa. Estos métodos presentan la ventaja adicional de su capacidad de desmineralizar el agua.

2.2.11. Materiales Para el Intercambio Iónico

El tratamiento de agua por intercambio iónico es utilizado con varias finalidades.

Entre los principales iones contaminantes que se pretenden remover mediante la aplicación de esta tecnología están cationes de calcio, magnesio, bario, estroncio y radio y aniones de flúor, nitratos, fulvatos, humatos, arsenatos, selenatos, cromatos y complejos aniónicos de uranio.

Para estos objetivos, se recurre al pasaje del agua a tratar a través de un lecho empacado de resinas sintéticas, alúmina activada o zeolitas, hasta que el material está “agotado” es decir, cuando no tiene más capacidad de intercambiar iones.

Para que esta tecnología sea útil para estos propósitos, las reacciones desarrolladas deben ser reversibles. En la forma más sencilla, el material es “regenerado” mediante el pasaje de un exceso del ion de presaturación. De esta forma, el medio puede ser usado repetidas veces, hasta un agotamiento irreversible de la capacidad de intercambio en el caso de las resinas o por pérdidas de carga en el caso de la alúmina.

Los primeros intercambios de iones se realizaron mediante la utilización de zeolitas naturales, constituidas por aluminosilicatos cristalinos.

Posteriormente, las zeolitas fueron reemplazadas por resinas sintéticas.

En el campo del tratamiento de agua, el uso del intercambio iónico tiene el principal objetivo de ablandamiento del agua, es decir, la remoción de calcio y magnesio y otros cationes para reemplazarlos por sodio.

Para la remoción de nitratos, arsenatos, cromatos y selenatos pueden ser usados lechos de resina conteniendo resinas de intercambio aniónicas de ciclo cloruro. La alúmina activada es utilizada para la remoción de fluoruros y arsenatos, particularmente en aguas con alto contenido de sólidos totales disueltos (STD).

La agencia de protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) ha identificado al intercambio iónico como la mejor tecnología disponible (BAT: best available technology) para la remoción de nitratos.

2.2.12. Carbón Activado

El carbón activado constituye una forma del carbón, el que es activado mediante una oxidación cuidadosamente controlada a efectos de desarrollar una estructura carbonácea porosa con gran área superficial.

Esta área superficial le da al carbón una gran capacidad de adsorber materia orgánica disuelta en el agua, muchas de ellas sustancias causantes de olores, sabores, toxicidad y mutagenicidad.

El uso principal del carbón activado ha sido para la remoción de olor. En la actualidad, se prefiere el uso del Carbón Activado Granular frente al Carbón Activado en Polvo. El Carbón Activado Granular permite mayores capacidades de adsorción y control más fácil que el Carbón Activado en Polvo.

Las principales materias primas utilizadas en la fabricación de carbón activado granular son el carbón de petróleo, el carbón bituminoso y la lignita.

Antes de que sean quemados en un horno, estos materiales son calentados a alta temperatura y reaccionan con vapor para desarrollar una gran estructura porosa requerida para la adsorción.

Luego, se procede al granulado, clasificación por tamaño y embolsado.

2.3. PROPIEDADES DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

2.3.1. Sulfato de Aluminio

Si bien existe sulfato de aluminio natural de Calingasta y La Rioja, normalmente se produce por ataque de la bauxita con ácido sulfúrico a alta temperatura y con el uso de agitadores.

El material insoluble se separa por sedimentación. La solución es decantada y vendida en forma líquida o se deja cristalizar a un producto sólido, hidratado.

Otra forma de producción es en base hidrato.

Según la materia prima utilizada para su fabricación será la calidad del producto.

El Sulfato de Aluminio posee la fórmula química $((\text{SO}_4)_3)\text{Al}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ donde n es aproximadamente 14 en vez del valor de 18 que toma en la forma cristalina.

El propósito de que el sulfato de aluminio posea 14 moléculas de agua en vez de las 18 tiene dos propósitos:

- 1). Es una forma estable del producto, que gana y pierde agua en forma lenta bajo condiciones adversas de almacenamiento.
- 2). El sulfato de aluminio con 14 moléculas de agua es aproximadamente un 12 % más activo como coagulante que si tuviese 18 moléculas de agua, lo que reduce el peso a ser manejado, los requerimientos de almacenamiento y los costos de transporte.

Existen otros productos del aluminio que se utilizan en el tratamiento de aguas de piscinas y ciertas aguas industriales, como el sulfato de aluminio amoniacal y potásico, los que, dado su bajo contenido en Al_2O_3 son poco usados, a pesar de su buen comportamiento como coagulante.

Puede ser provisto en forma sólida o líquida (en solución).

Generalmente en el producto líquido se limita la concentración del Al_2O_3 a un 8 % para evitar la cristalización durante su transporte y almacenamiento. El producto sólido hidratado generalmente contiene un 17 % de Al_2O_3 .

Los límites de calidad más importantes a considerar son:

- Granulometría, para el producto sólido.
- Tenor de impurezas insolubles y suspendidas.

- Tenor de ácido libre, como indicativo de la calidad de fabricación.
- Claridad o transparencia.
- Contenido de aluminio.
- Contenido de hierro.

Métodos de ensayo: se deben seguir las metodologías indicadas en la Norma ANSI / AWWA B403-82 o en las Normas IRAM 41159-1 e IRAM 41159-2 del año 1996.

Una de las características del Sulfato de Aluminio lo constituye su contenido de óxidos útiles. Por óxidos útiles totales se consideran el contenido de Al_2O_3 y una parte proporcional de Fe_2O_3 y pueden ser calculados mediante la siguiente fórmula:

$$\text{OUT} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.638 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

La importancia de la determinación de los óxidos útiles se debe a que los mismos constituyen la parte activa del compuesto, capaz de actuar como coagulante de los coloides en el proceso de clasificación del agua.

2.3.2. Cloruro Férrico

- Se provee en solución líquida.
- Se fabrica mediante el ataque de virutas de hierro con ácido clorhídrico.
- La concentración de la solución varía del 39 al 45 % en peso.
- Su peso específico varía de 1400 a 1500 Kg/m^3 .
- Puede ser provisto en bidones, de capacidad variable según el proveedor, pero que normalmente son de 25 litros.
- También puede ser provisto a granel, mediante camiones tanque.

2.3.3. Caparrosa Clorada

Es un producto de poca difusión en nuestro país. Constituye una alternativa interesante al Cloruro Férrico.

Se produce a partir de la oxidación del sulfato ferroso.

Su fórmula es: $\text{Fe SO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$, se presenta bajo la forma de gránulos cristalinos verdes y terrones, es un material higroscópico que se apelmaza en su almacenamiento.

Los materiales adecuados para su almacenamiento y manipulación son: asfalto, hormigón, plomo y madera.

2.3.4. Ayudantes de Coagulación

Existe una gran variedad de productos, principalmente para la asistencia al coagulante primario y eventualmente como reemplazo de aquel.

La primera clasificación posible es según su origen. Si bien en mayor medida, siempre en la producción de un ayudante hay cierta transformación del producto para darle las características deseadas, puede clasificarse como de origen natural o artificial.

Los ayudantes naturales son aquellos que se basan en el uso de productos de la naturaleza, con ligeras transformaciones. Es el caso del alginato de sodio, extraído a partir de ciertas algas, la corteza de ciertas frutas y el almidón.

Los ayudantes artificiales dependen de un proceso de fabricación a escala industrial. Es el caso de los polielectrolitos, generados a partir de la polimerización a escala controlada de un cierto monómero.

2.3.4.1. Polielectrolitos

Son productos orgánicos sintéticos con propiedades electrolíticas.

Su producción se basa en la polimerización de un determinado monómero, en condiciones controladas.

En función de su carga eléctrica pueden clasificarse como:

- Catiónicos.
- Aniónicos.
- Neutros (mal llamados no-iónicos, ya que la acción del polielectrolito se basa en su poder de ionización).

También pueden clasificarse en función de su peso molecular:

- Muy alto peso molecular (MAPM): mayor a 5×10^6 g / mol
- Alto peso molecular (APM): entre 1×10^6 a 5×10^6 g / mol
- Medio peso molecular (MPM): entre 10^5 a 10^6 g / mol
- Bajo peso molecular (BPM): entre 10^4 a 10^5 g / mol

Asimismo pueden clasificarse en función de su estado físico, tal como es provisto por el fabricante:

- Sólidos: pueden ser provistos en polvo o en forma granular, es decir dependiendo de su granulometría.
- Líquidos: sea como soluciones o emulsiones.

Según sea la carga eléctrica y el peso molecular se tienen distintos comportamientos del producto. Por ello es que se recomienda la prueba del producto para cada caso particular de agua a tratar y para cada aplicación según los objetivos buscados, en ensayos de

laboratorio por medio de la realización de una Prueba de Jarras para el posterior ajuste en Planta, en el lugar concreto de aplicación del producto.

Según sea el estado físico en el que el polielectrolito es provisto, serán las necesidades de equipamiento para su manejo, preparación de solución y dosificación.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que existe una abundante nomenclatura para definir los distintos tipos de polielectrolitos.

A efectos de fijar las distintas denominaciones, estas se resumen en la **Tabla 2**.

Designación habitual	Otra designación
Polímero	Polielectrolito, Floculante, Auxiliar de Coagulación, Polímero soluble en agua, Floculante polimérico, Floculante sintético, Polímero coagulante, Floculante, Polímero catiónico (bajo peso molecular) con los siguientes nombres individuales:
Polímero coagulante primario	poliaminas, aminas policuaternarias
Epi.DMA	poli dialdimetilcloruro de amonio
Poli (DADMAC)	poliamina polialkalina, polietileneamina.
Poliaminas	
Polímero auxiliar de coagulación	Floculante, polímero de alto peso molecular con nombres individuales:
Polímero aniónico de alto peso molecular	Polímero aniónico, poliacrilamida aniónica, copolímero acrilamida/ácido acrílico
Polímero no iónico (neutro) de alto peso molecular	Poliacrilamida, emulsión polímero neutro.

Tabla 2. Nomenclatura de polielectrolitos

Todos los polímeros de alto o muy alto peso molecular se basan en la homopolimerización o copolimerización de monómeros de acrilamida.

Para fabricar polímeros neutros de muy alto peso molecular se polimeriza la acrilamida con sí misma (homopolimerización).

Para fabricar polímeros aniónicos de alto peso molecular se pueden seguir dos caminos. El primero consiste en la copolimerización de la acrilamida con ácido acrílico o acrilato de sodio. En el segundo, se sigue la homopolimerización de la acrilamida e hidrólisis de alguno de los grupos de acrilamida a acrilato de sodio.

La viscosidad de la solución limita el uso de los polímeros de muy alto peso molecular. Además, las soluciones diluidas de polímeros basados en acrilamidas pueden ser relativamente inestables.

Por estas razones, los polímeros de muy alto peso molecular son muy raramente vendidos en solución acuosa. La mayoría son suministrados en polvo o emulsiones.

Las emulsiones consisten en partículas coloidales de polímero y agua suspendidos en un aceite mineral. El contenido de polímero en peso varía de 25 a 30 % y el contenido de

agua de 0 a 50 % en peso. La mayoría de los polielectrolitos en emulsión sedimentan durante su almacenamiento, por lo que deben ser agitados antes de su uso, por ejemplo, con un mezclador en el mismo tambor.

Los polielectrolitos en polvo pueden requerir equipamiento especial para su alimentación, los que humedecen las partículas individualmente y agitan la solución por un período de tiempo antes de su trasvase a la cuba de dosificación.

Todos los coagulantes primarios son catiónicos, usualmente fuertemente catiónicos, debido a la presencia de aminas o aminas cuaternarias. La estructura individual del polímero varía de lineal a muy ramificada. Los pesos moleculares están mas frecuentemente entre $3 \text{ a } 20 \times 10^4 \text{ g/mol}$ pero pueden variar de 10^4 a 10^5 .

Conocer si el coagulante primario contiene aminas o aminas cuaternarias es de interés debido al efecto del pH en la carga y los efectos del cloro (precloración) en su eficiencia.

2.3.4.2. Sílice Activada

Fue el producto tradicionalmente disponible para complementar el trabajo de los coagulantes primarios. En la actualidad, con la disponibilidad de los polielectrolitos, su función ha quedado relegada a un lugar meramente histórico.

La sílice activada se obtiene a partir del silicato sódico, parcialmente neutralizada su alcalinidad mediante la adición de ácido, generalmente sulfúrico.

No se conoce exactamente la reacción que se lleva a cabo por lo que la fabricación de la sílice activada tiene mas de arte que de ciencia.

Tiene una gran desventaja, por el hecho que la solución de sílice activada no puede ser almacenada por un tiempo superior a las dos horas, ya que se corre riesgo de solidificación por gelificación. De todas maneras se desarrollaron equipos de generación continua de sílice activada.

Las dosis de sílice activada deben ser determinadas con ensayos de Pruebas de Jarras. Asimismo, en algunos casos la sílice activada es dosificada antes del coagulante primario, aunque en la mayoría de los casos se lo hace después.

Su beneficio, mas allá de los nombrados para los ayudantes es que amplía el rango de pH en el cual es efectivo el coagulante primario, especialmente si se trata de sales de aluminio.

2.3.4.3. Bentonita

Es un tipo de arcilla.

Se utiliza en aguas con bajo contenido de sólidos suspendidos, a efectos de mejorar las características del flóculo formado por el coagulante primario.

Otro uso típico lo constituye el caso de aguas con elevado contenido de color y turbiedad y bajo contenido de sales minerales (alcalinidad).

Dado que en estos casos el flóculo formado por el coagulante primario, sean sales de hierro o de aluminio, es de densidad aproximadamente igual a la del agua, su sedimentación es lenta y, por ende, defectuosa a los objetivos buscados. La adición de la arcilla bentonítica provoca un efecto “ponderante”, aumentando la densidad del flóculo y mejorando su sedimentación. Además, las partículas de arcilla se comportan como núcleos, aumentando la frecuencia de colisión entre partículas (Von-Smoluchowsky).

Si bien las cantidades a dosificar deben determinarse para cada caso particular mediante ensayos de Prueba de Jarras, generalmente se requieren de 10 a 50 mg/l de arcilla bentonítica para lograr los fines buscados.

Tiene baja solubilidad, por lo que se preparan soluciones de aproximadamente 50 g/l de concentración.

2.3.4.4. Chitosán

El chitosán es un polielectrolito catiónico extraído del esqueleto de ciertos crustáceos. Puede ser considerado como un polímero natural de la chitobiosa, un aminopolisacárido con un peso molecular de algunos cientos de miles. El chitosán es virtualmente insoluble en agua y en solventes orgánicos. No obstante, en combinación con ácidos minerales es soluble y produce su hidrólisis.

Es un producto biodegradable y no tóxico.

En el año 1981 la US EPA (Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos) aprobó su uso hasta dosis de 10 mg/l.

La única limitación del chitosán es su virtual insolubilidad en agua, a menos que se mantenga el pH de la solución a dosificar por debajo de 6,5.

2.3.4.5. Alginato de Sodio

Es un polielectrolito aniónico, extraído de ciertas algas. Es usado frecuentemente como aditivo para helados, leche, jugos, cerveza, mayonesa, yoghurt y margarina.

El alginato de sodio ha sido usado por mas de 35 años en el tratamiento de aguas en Japón. La razón de su uso se basa en el costo, la biodegradabilidad del producto, la imposibilidad de producir efectos a la salud para su uso en la potabilización, unido a un rendimiento en la coagulación y el deshidratado de los barros.

2.3.5. Sulfato Ferroso

Se utiliza en procesos de coagulación y cuando se busca precipitar ciertas sales, como CN^- , S_2^- , PO_4^- .

Se trata de un polvo de color verde que es soluble en agua.

La saturación se alcanza a los 15 °C a concentraciones de 500 g/l. La concentración puede ser controlada mediante densímetros.

2.3.6. Carbón Activado Granular

La densidad del carbón activado granular varía de 200 a 600 Kg / m³.

Generalmente, para el manejo y almacenamiento de carbón activado en polvo se utilizan sistemas de transporte neumáticos y silos. Estos silos deben poseer sistemas de tratamiento de los polvos.

Todos los materiales y equipamientos utilizados para el almacenamiento y transporte deben poseer resistencia a la abrasión.

2.3.7. Cloro

Es un elemento de la familia de los halógenos, pero nunca se encuentra en la naturaleza sin combinarse.

Se encuentra en la naturaleza en la forma de cloruros solubles como la sal común (ClNa), carnalita (KMgCl₃·6H₂O) y silvita (KCl).

Es uno de los elementos químicos más y versátiles, dado que sus propiedades varían grandemente en los estados líquido, gaseoso y acuoso.

Fue descubierto en 1774 por Karl W. Scheele, un químico sueco, cuando calentó un óxido negro de manganeso con ácido clorhídrico. El Cloro así liberado es un gas con fuerte olor, color verdoso y es extremadamente irritante de las membranas mucosas.

Se produce por la electrólisis, es decir, por pasaje de una corriente eléctrica a través de una solución de Cloruro de Sodio.

La mayoría del Cloro producido a escala mundial en la actualidad es realizado a través de tres tipos de celdas electrolíticas: diafragma, mercurio y de membrana.

Hay otros métodos de fabricación que consisten en la fijación del material que contiene al ion Cloro, entre los que se encuentran la electrólisis del ácido clorhídrico, el proceso de sal y el de oxidación del HCl.

Mientras que el método de producción electrolítica no ha cambiado, el equipamiento utilizado ha evolucionado fuertemente.

Impurezas en el cloro

Se estima que el consumo de cloro para la potabilización de aguas es sólo una fracción muy pequeña del total, aproximadamente un 5%. Los otros usos del Cloro a nivel industrial no requieren de un nivel de calidad tan exigente como el demandado para la potabilización de aguas.

Las impurezas presentes en el cloro se limitan por dos razones:

- 1). Protección del equipamiento de dosificación: como daño por humedad y posterior corrosión por formación de cloruro férrico en el interior de cañerías y equipamiento de dosificación y la formación de depósitos de hexacloroetano y hexaclorobenceno.

- 2). Reducción en la producción de compuestos peligrosos para la salud: en especial del contenido de hidrocarburos para evitar la formación de THM, principalmente tetracloruro de carbono y cloroformo.

Los valores del Cloro de pureza sugeridos están contenidos en el reporte de la ANSI / AWWA (American National Standard Institute / American Water Works Association) del año 1981.

Este trabajo fija la concentración límite de los siguientes contaminantes:

- Tetracloruro de carbono < 150 mg/l (0.015 %)
- 99.5 % de pureza por volumen, obtenido vaporizando el Cloro como indica la Norma ASTM E 412-70 Ensayo de Cloro Líquido (Método de la Amalgama de Zinc)
- Humedad < 150 ppm (0.015 %) en peso
- Metales pesados < 30 ppm (0.003 %) expresado como Pb
- Mercurio < 1 ppm (0.0001 %)
- Residuo total no volátil < 50 ppm (0.005 %) en peso en camiones y vagones
< 150 ppm (0.015 %) en peso en contenedores de tonelada y cilindros

Fuentes de impurezas

Las principales fuentes de impurezas en el Cloro son:

- Humedad atrapada durante el envasado.
- Nitrógeno amoniacal presente en la solución salina introducida en las celdas electrolíticas. Este nitrógeno puede deberse al agua utilizada, a la sal o a ambas.
- Impurezas orgánicas en la sal.
- Anodos de grafito o carbono de las celdas electrolíticas.
- Restos de hidrocarburos introducidos por lubricantes de válvulas, sellos de bombas, etc.
- Sistemas de recuperación usados para separar el cloro producido del hidrógeno y del aire.

Nombre químico	Cloro
Nombre común	Cloro
Fórmula	Cl ₂
Propiedades:	
Estado físico	Gas a temperatura y presión ambiente. Comercialmente es un gas licuado a presión. El cloro en el contenedor tiene una fase líquida y gaseosa
Punto de ebullición	- 34.05 °C
Color	Gas: verde amarillento Líquido: ámbar claro

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del cloro

2.3.8. Hueso

Es un material que ha demostrado aceptable rendimiento en la remoción de flúor.

Se han ensayado para estos fines huesos vacunos, preferentemente de pata.

Los niveles de calidad exigidos para su uso como material defluorante son más exigentes que los requeridos para otros usos tradicionales en la industria ganadera para este material, por ejemplo como materia prima incorporada a ciertas fórmulas de alimentos para aves y ganado.

El material a ser usado como defluorante recibe una digestión previa, a efectos de retirar la grasa y proteínas y una trituración.

Puede decirse que una granulometría típica del hueso triturado apropiada para el uso como defluorante es la siguiente:

Pasa tamiz N° 4 (4,76 mm)	100 %
Pasa tamiz N° 8 (2,38 mm)	85 %
Retiene tamiz N° 30 (0,59 mm)	95 %
Retiene tamiz N° 40 (0,42 mm)	100 %

Otras de las características adicionales a la granulometría que definen el hueso molido para defluoración la constituyen:

- Contenido material proteico y grasas.
- Forma de las partes.
- Retención de humedad.

Para la remoción de la grasa y proteínas del hueso puede utilizarse los métodos térmicos o la extracción mediante soda cáustica a concentraciones elevadas y repetidos pasajes a temperatura moderada, del orden de los 60 °C.

La materia orgánica de los huesos debe ser removida a efectos de alcanzar mayores eficiencias de intercambio y a no alterar las características organolépticas del agua de consumo.

Un hueso mal desengrasado utilizado para la defluoración puede producir cambios en el; aspecto, sabor u olor del agua, generando su rechazo por parte del consumidor.

2.3.9. Resinas Para Intercambio Iónico

Existen en el mercado resinas de composición diversa, con gran capacidad de intercambio, destinadas a diferentes usos. Se presentan generalmente en dos formas: gel y macroporosas. Las últimas resultan más selectivas para el tratamiento de agua con contaminaciones orgánicas y de hierro ya que son mucho más resistentes.

Para todas las resinas llega un momento en el que se saturan con los distintos elementos que se desea retener. Para devolverles su capacidad de intercambio es necesario proceder a su regeneración haciendo pasar por ellas, sales, álcalis o ácidos específicos con lo que vuelven a quedar en las condiciones operativas originales.

Con la automatización de los equipos se ha logrado reducir al mínimo la incidencia del costo de la mano de obra en la operación de estos equipos.

De acuerdo a sus características las resinas de intercambio se clasifican en:

Resinas catiónicas fuertes:

Sus principales usos:

- **Ablandamiento:** Retienen calcio y magnesio y se regeneran con cloruro de sodio (sal común);
- **Dealcalinización:** Retienen calcio, magnesio, sodio y potasio, y ceden hidrógeno. Se regeneran con ácidos (clorhídrico, sulfúrico, etc.). El agua así tratada reemplaza los elementos metálicos de las sales por hidrógeno; por lo tanto, adquiere características fuertemente ácidas. Resulta importante como primera etapa en la desmineralización del agua.

Resinas catiónicas débiles:

Al igual que las anteriores se usan para dealcalinizar, pero en este caso lo hacen parcialmente (ya que solo se intercambian los cationes existentes en los bicarbonatos o carbonatos, no así con el resto de las sales – sulfatos, nitratos, cloruros, etc.). Se regeneran con ácido.

Resinas aniónicas fuertes:

Son usadas como complemento de las catiónicas, regeneradas con ácidos, para desmineralizar agua (actúan intercambiando cloruros, nitratos, sulfatos, sílice, etc., por oxidrilos (OH): de esta manera, con el hidrógeno que proviene de la resina catiónica se forma agua (H₂O) y queda por lo tanto, la misma sin sales). La regeneración se hace con hidróxido de sodio (HONa = soda cáustica). Regeneradas con cloruro de sodio permiten dealcalinizar parcialmente un agua, ya que reemplazan el bicarbonato por cloruro.

Resinas aniónicas débiles:

Se utilizan para eliminar ácidos minerales, previo paso por un intercambio catiónico; ello es a menudo precedido también por una resina aniónica fuerte, o tratado en unidades de lechos mezclados, asimismo llamados pulidores. También pueden ser regeneradas con hidróxido de sodio, carbonato de sodio, o amoníaco.

Es importante destacar que dado los avances experimentados por la osmosis inversa, en general, no resulta económico el tratamiento de aguas con resinas de intercambio cuando presentan un tenor de sólidos disueltos superior a 300 mg/L.

Normas de aplicación

IRAM 41300: 1971. Definiciones.

IRAM 41301: 1970. Muestreo.

IRAM 41302: 1971. Método de preparación de la muestra para ensayos

IRAM 41303: 1970. Método de determinación del agua retenida luego de la preparación de la muestra para ensayos.

IRAM 41304: 1970. Método de la determinación de la densidad aparente.

IRAM 41305: 1971. Método de ensayo de tamizado.

IRAM 41306: 1974. Método de la determinación de dureza de las aguas empleadas para su ensayo.

IRAM 41307: 1970. Método de la determinación de la alcalinidad de las aguas utilizadas para su ensayo.

IRAM 41308: 1971. Método de la determinación de la acidez de aguas utilizadas para su ensayo.

IRAM 41309: 1974. Separación en columna de una muestra de resina proveniente de un lecho mixto.

IRAM 41310: 1971. Método de determinación de la capacidad total de intercambio de las resinas de intercambio catiónico.

IRAM 41311: 1971. Método de determinación de la capacidad de intercambio catiónico debido a los grupos fuertemente ácidos.

IRAM 41312: 1971. Método del ciclo del sodio para la determinación de la capacidad de intercambio en resinas de intercambio catiónico.

IRAM 41313: 1971. Método del ciclo del hidrógeno para determinar la capacidad de intercambio de las resinas de intercambio catiónico.

IRAM 41316: 1974. Clasificación de las resinas utilizadas para tratamiento industrial de aguas.

IRAM 41319: 1977. Método de determinación de la capacidad para eliminar silicatos de aguas descarbonatadas y desmineralizadas.

IRAM 41320: 1971. Método de determinación de la capacidad total de intercambio en resinas de intercambio aniónico.

IRAM 41321: 1971. Método de determinación de la capacidad de intercambio de cloruros de resinas de intercambio aniónico.

IRAM 41322: 1971. Método de determinación de la capacidad de intercambio aniónico debida a los grupos fuertemente básicos.

IRAM 41323: 1971. Método de determinación de la capacidad de intercambio de los grupos débilmente básicos en resinas de intercambio aniónico.

2.3.10. Soda Cáustica

Soda cáustica es el nombre común dado al hidróxido de sodio (NaOH).

La soda cáustica puede ser encontrada disponible en forma líquida en dos concentraciones:

- Al 50 % de NaOH
- Al 73 % de NaOH

También puede ser provista en forma anhidra, con un contenido de al menos 96 % de NaOH.

La soda al 50 % comienza a cristalizar aproximadamente 12 °C y con el 73 % comienza a cristalizar a aproximadamente 63 °C. De tal forma, deberán preverse las medidas de aislamiento y calefacción que fueran necesarias según el clima local.

2.4. CALIDAD DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS COMO INSUMOS

De acuerdo a las consideraciones anteriores sobre las características de los distintos insumos utilizados para la potabilización y la importancia de los distintos parámetros de calidad, se dan a continuación estas propiedades para cada uno de los principales productos.

Características	Unidad	Contenido	Requisito
Aluminio (III) expresado como Al ₂ O ₃	g/100 g	7	mínimo
Hierro (III) expresado como Fe ₂ O ₃	g/100 g	1.0	máximo
Residuo insoluble en solución de H ₂ SO ₄	g/100 g	1.0	máximo
Acidez libre expresada como H ₂ SO ₄	g/100 g	0.1	máximo
Hierro (II) expresado como FeO	g/100 g	0.015	máximo
Alcalinidad libre expresada como Al ₂ O ₃		0.5	máximo
Manganeso, expresado como Manganeso, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.15	máximo
Detergentes y sustancias que reaccionan con azul de metileno, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.007	máximo
Arsénico, expresado como arsénico, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.05	máximo
Mercurio expresado como mercurio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.0006	máximo
Cadmio, expresado como Cadmio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.004	máximo
Plomo expresado como Plomo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.02	máximo
Cromo expresado como Cromo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.02	máximo

Tabla 4. Sulfato de aluminio líquido – Base bauxita

Características	Unidad	Requisito	Contenido
Aluminio (III) expresado como Al ₂ O ₃	g/100 g	8	Mínimo
Hierro (III) expresado como Fe ₂ O ₃	g/100 g	0.03	máximo
Residuo insoluble en solución de H ₂ SO ₄	g/100 g	0.2	máximo
Acidez libre expresada como H ₂ SO ₄	g/100 g	0.1	máximo
Hierro (II) expresado como FeO	g/100 g	0.015	máximo
Alcalinidad libre expresada como Al ₂ O ₃	g/100 g	0.5	máximo
Manganeso	g/100 g	0.07	máximo
Detergentes y sustancias que reaccionan con azul de metileno, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.007	máximo
Arsénico, expresado como arsénico, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.05	máximo
Mercurio expresado como mercurio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.0006	máximo
Cadmio, expresado como Cadmio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.004	máximo
Plomo expresado como Plomo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.02	máximo
Cromo expresado como Cromo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.02	máximo

Tabla 5. Sulfato de aluminio líquido – Base Hidrato

Características	Unidad	Contenido	Requisito
Aluminio (III) expresado como Al ₂ O ₃	g/100 g	16	Mínimo
Hierro (III) expresado como Fe ₂ O ₃	g/100 g	0.05	máximo
Residuo insoluble en solución de H ₂ SO ₄	g/100 g	0.5	máximo
Acidez libre expresada como H ₂ SO ₄	g/100 g	0.1	máximo
Hierro (II) expresado como FeO	g/100 g	0.015	máximo
Alcalinidad libre expresada como Al ₂ O ₃	g/100 g	0.5	máximo
Manganeso, expresado como manganeso, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.07	máximo
Detergentes y sustancias que reaccionan con azul de metileno, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.007	máximo
Arsénico, expresado como arsénico, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.05	máximo
Mercurio expresado como mercurio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.0006	máximo
Cadmio, expresado como Cadmio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.004	máximo
Plomo expresado como Plomo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.02	máximo
Cromo expresado como Cromo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.02	máximo

Tabla 6. Sulfato de aluminio sólido – Base hidrato

Características	Unidad	Sólido	Contenido
Aluminio (III) expresado como Al ₂ O ₃	g/100 g	14	mínimo
Hierro (III) expresado como Fe ₂ O ₃	g/100 g	2.0	máximo
Residuo insoluble en solución de H ₂ SO ₄	g/100 g	2.0	máximo
Acidez libre expresada como H ₂ SO ₄	g/100 g	0.1	máximo
Hierro (II) expresado como FeO	g/100 g	0.015	máximo
Alcalinidad libre expresada como Al ₂ O ₃	g/100 g	0.5	máximo
Manganeso, expresado como manganeso, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.15	máximo
Detergentes y sustancias que reaccionan con azul de metileno, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.007	máximo
Arsénico, expresado como arsénico, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.05	máximo
Mercurio expresado como mercurio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.006	máximo
Cadmio, expresado como Cadmio, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.004	máximo
Plomo expresado como Plomo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.002	máximo
Cromo expresado como Cromo, referido al Al ₂ O ₃	g/100 g	0.02	máximo

Tabla 7. Sulfato de aluminio sólido – Base bauxita

Características	Unidad	Límites
pH		>11
Alcalinidad libre, expresada como hidróxido de Sodio	g/l	< 5
Alcalinidad total, expresada como carbonato de Sodio	g/l	< 7.5
Concentración de cloro activo	g/l	> 100
Hierro total	mg/l	< 3
Cobre	mg/l	< 0.25
Cloratos, expresado como clorato de Sodio	g/100 g	< 0.7
Arsénico	g/100 g	< 0.001
Mercurio	g/100 g	< 0.0001
Cadmio	g/100 g	< 0.0005
Plomo	g/100 g	< 0.003
Cromo	g/100 g	< 0.001
Antimonio	g/100 g	< 0.001
Selenio	g/100 g	< 0.01
Níquel	g/100 g	< 0.002
Colorantes	g/100 g	No debe contener
Materia en suspensión	g/100 g	No debe contener

Tabla 8. Hipoclorito de sodio (líquido amarillo verdoso)

Características	Unidad	Límites
Aspecto		Líquido amarillo verdoso
Humedad	g / 100 g	< 0.015
Concentración en cloro activo (en volumen)	%	> 99.75
Arsénico	g / 100 g	< 0.0003
Mercurio	g / 100 g	<0.0001
Plomo	g / 100 g	<0.001
Suma de todos los metales pesados que puedan ser expresados (expresados como Plomo)	g / 100 g	< 0.003
Residuos no volátiles		
Camiones cisterna	g / 100 g	<0.005
Cilindros / contenedores	g / 100 g	<0.015
Tetracloruro de carbono	g / 100 g	< 0.015
Tetracloruro de nitrógeno	g / 100 g	No debe contener

Tabla 9. Cloro líquido (líquido amarillo verdoso)

Características	Unidad	Límites
Insoluble / ácido referido al producto	g / 100 g	< 1.5
Elevación de temperatura	(5 minutos)	50 °C
Asentamiento (30 minutos)	'mm	< 50
Oxido de calcio activo (CaO)		> 85
Carbonato de Sodio (Na ₂ CO ₃) referido al producto	g / 100 g	<10
Hierro (Fe ₂ O ₃) referido al producto	g / 100 g	< 1.5
Aluminio (Al ₂ O ₃) referido al producto	g / 100 g	< 2
Manganeso (MnO ₂) referido al producto	g / 100 g	< 1
Magnesio (MgO) referido al producto	g / 100 g	< 3.5
Sulfatos (SO ₄) referido al producto	g / 100 g	< 1.8
Metales pesados (referidos al producto)		
Arsénico	g / 100 g	< 0.002
Mercurio	g / 100 g	< 0.0001
Cadmio	g / 100 g	< 0.0005
Plomo	g / 100 g	< 0.003
Cromo	g / 100 g	< 0.002
Antimonio	g / 100 g	< 0.001
Selenio	g / 100 g	<0.001
Níquel	g / 100 g	< 0.002
Granulometría	mm	< 16
Mínimo del total pasando la malla de 16 mm	%	100
Máximo del total pasando por la malla de 1,5 mm	%	5

Tabla 10. Cal

Hueso molido como material defluorante

- Forma: preferentemente redondeada, sin agujas ni láminas aplanadas.
- Concentración de grasas y material proteico: debe ser la mínima posible. Se recomienda hasta un 0,05 % mediante la técnica del Soxhlet.
- Capacidad de intercambio: no debe ser menor a 1,2 g de flúor por Kg de hueso, medido ensayo en columna.
- No debe llevar incorporado pezuña, siempre menor a 1 %.
- El material debe estar limpio, libre de impurezas como arena, tierra, etc.
- Contenido en fosfato P_s O₅. Este material, junto con la grasa y proteínas es peso de material que se pierde en el proceso previo para hacerlo apto para la defluoración.

2.5. ALMACENAMIENTO Y MANEJO

El almacenamiento de los distintos insumos depende fundamentalmente de:

- El estado: sólido, líquido o gaseoso.
- La naturaleza: en cuanto a la potencial corrosión que pueden generar los insumos y en cuanto a la preservación del producto.
- Las condiciones de transporte: si se realiza en envases individuales retornables o no, o si se realiza a granel.
- Las condiciones de descarga y almacenamiento; tanques, silos, contenedores, tambores, binders o big-bags, etc.

En general, puede decirse que las condiciones de provisión para los distintos insumos depende del estado físico en el que son provistos y pueden ser:

- Insumos líquidos.

Tambores plásticos o bidones de 20 – 30 litros de capacidad.

Contenedores plásticos cuadrados de 800 litros de capacidad montados sobre pallet que pueden ser manejados directamente por un hidroelevador.

- Insumos sólidos.

Bolsas de 25 ó 50 Kg ubicadas sobre pallets.

Tambores plásticos o metálicos.

Big-bags o bolsas de gran capacidad integradas sobre pallets de 500 Kg. o 1000 Kg. de capacidad.

- Insumos gaseosos.

Cilindros metálicos presurizados para la provisión de gases licuados, como el cloro, amoníaco o dióxido de carbono.

En general, las condiciones de almacenamiento de los insumos deben ser tales que aseguren:

- La integridad del insumo, protegiéndolo de humedad, calor, rayos solares, heladas o luz solar.
- La facilidad de su uso, privilegiando el uso por gravedad a excepción de las soluciones peligrosas como ácidos y bases los que no deben ser almacenados en altura.
- Evitar perjuicios de su uso, especialmente en el uso del cloro para lo que se debe disponer de distancias de seguridad, el caso de polvos por la cal o el carbón activado en polvo.

Según el Water Treatment Handbook y el Water Treatment Plant design, los materiales mas recomendados para el almacenamiento de los insumos se indican en la **Tabla 11**.

Materiales Insumos	Tanques de Hormigón sin revestimiento	Tanques de acero			Tanques plásticos	
		Sin recubrimiento	Epoxy, hypalon, polietileno	Ebonitados	PVC, HD, polietileno, polipropileno	Poliéster, viniléster
H ₂ SO ₄ < 20 %			sí	sí	sí	sí
92 < H ₂ SO ₄ < 98 %		sí				
Acido clorhídrico			sí	sí	sí	
NaOH < 50 % t < 50 °C		sí				
Silicato de Sodio	sí	sí				
Sulfato de Aluminio			sí	sí	sí	sí
Cloruro férrico			sí	sí	sí	sí
Permanganato de Potasio			sí	sí	sí	sí
Hipoclorito de Sodio			sí	sí	sí	sí
Bicarbonato de Sodio					sí	sí
Clorito de Sodio					sí	sí
Polielectrolitos	sí				sí	sí

Tabla 11. Materiales para el almacenamiento de insumos

2.5.1. Coagulante

2.5.1.1. Sulfato de Aluminio

Sulfato de Aluminio sólido

- Embalaje

Depende de la forma de provisión.

En forma sólida generalmente es provisto en bolsas plásticas de hasta 40 Kg. de capacidad, según lo indicado en la Norma IRAM 41159-1. También puede ser provisto a granel.

Las dimensiones de las bolsas son de 0.12 por 0.50 por 0.75.

En solución puede ser provisto por camiones cisterna, vagones cisterna ferroviarios y contenedores herméticos. Todos estos transportes deberán ser inviolables, de forma tal de asegurar que no se alteren sus características y no sufran contaminación durante su provisión. A tal fin, deberá asegurarse la higiene y control de contaminantes en los transportes y se evitará el uso de transportes que puedan ser usados alternativamente para el transporte de sustancias tóxicas.

- Almacenamiento

Las condiciones de almacenamiento deben ser tales que no se provoque la rotura de las bolsas y se pierda material, generando su humedecimiento.

A tal fin, las bolsas de sulfato de aluminio se estiban en pilas, preferentemente ubicadas sobre pallets.

Se debe prever dejar espacios entre las pilas para la circulación de personal o de equipos de carga, si fuera necesario y entre las pilas y las paredes.

En caso de movimiento manual de las bolsas, se recomienda que las pilas no exceden una altura de 1.80 metros, por razones ergonómicas y de seguridad.

Los pasillos de tránsito entre las pilas de bolsas deberán tener un ancho mínimo de 0.8 m y las pilas deberán separarse de las paredes al menos 0.6 metros.

Asimismo, es conveniente organizar el almacenamiento de forma tal que sean usadas primero las bolsas más antiguas para luego pasar a las mas nuevas.

Sulfato de Aluminio líquido

- Embalaje

En nuestro país no es común actualmente la provisión de Sulfato de Aluminio líquido aunque se ha usado en la Ciudad de Buenos Aires.

Su utilización sólo sería conveniente para Plantas Potabilizadoras ubicadas suficientemente cerca del productor.

Teóricamente podría ser provisto en bidones de 20 litros de capacidad o en camiones tanque, según el consumo.

- Almacenamiento

En el caso que la provisión sea mediante camiones tanque, la Planta deberá poseer tanques de almacenamiento para trasvase a las cubas de preparación de las soluciones.

En caso que la provisión sea en bidones, los mismos deberán ser almacenados en pilas dejando pasillos para la circulación del personal y separados de las paredes.

2.5.2. Polielectrolitos

- Almacenamiento

El Polielectrolito puede ser provisto en forma sólida o líquida, dependiendo del tipo de producto.

La forma de almacenamiento depende, entonces, de la forma en que es provisto.

Los sólidos son provistos en bolsas de 25 a 45 Kg. Deben ser almacenados en sitios secos, con temperatura ambiente y protegidos de roturas de las bolsas. En esas condiciones, no hay límite de tiempo para el almacenamiento.

Los polielectrolitos líquidos son provistos en tambores plásticos, generalmente de 200 litros de capacidad. Se deben proteger de altas temperaturas en el almacenamiento.

La transferencia de polielectrolito líquido para la preparación de soluciones puede ser realizada por medio de bombas manuales.

La transferencia de polielectrolito sólido a los eyectores de disolución puede ser realizada manualmente.

Es muy importante tener en cuenta las propiedades ambientales de los polielectrolitos. Los polielectrolitos catiónicos, por ejemplo, poseen una muy alta carga orgánica, medida como DBO y DQO pudiendo llegar a valores de 50.000 y 200.000 mg/l respectivamente. Por ello, debe tenerse especial cuidado en su manejo en cuanto a la disposición ambientalmente adecuada de los derrames y pérdidas de producto.

Asimismo, se debe considerar que las dosis a utilizar para el tratamiento deben ser menores o iguales a las aceptadas por los Organismos oficiales de salud. En nuestro país, esta regulación la realiza el ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos y Tecnologías) indicando una dosis límite aceptada para cada producto.

Para evitar corrosión del equipamiento y degradación del producto, se debe evitar el uso de hierro, cobre o aluminio en los contenedores o equipamiento de manejo. Asimismo, no se debe permitir que el producto se congele o sea expuesto a alta carga térmica.

2.5.3. Cal

Se encuentra en el mercado como cal hidratada – hidróxido de calcio – o como cal viva – óxido de calcio.

Cal hidratada: es el más común de los alcalinizantes utilizados en planta de potabilización. Se provee en forma de polvo, cuyas características, condiciones de recepción y métodos de ensayo están descriptas en las Normas IRAM 1638 “Cal aérea hidratada, en polvo, para potabilización de agua”.

Normalmente se provee en bolsas de papel de 25 Kg. En plantas de gran capacidad puede ser almacenada en silos siendo en esos casos transportada a granel en camiones. Las bolsas deben ser almacenadas sobre tarimas de madera en ambiente secos. En caso de almacenamiento manual no es conveniente por razones ergonómicas y de seguridad exceder una altura máxima de 1,80 m.

Se recomienda que las bolsa no tengan un almacenamiento muy prolongado ya que el material reacciona con el CO_2 del aire produciendo CO_3Ca .

Cal viva: se obtiene calcinando el CO_3Ca . No se aplica directamente en el tratamiento de agua, debiéndose transformar en cal apagada o cal hidratada.

Dependiendo del proceso de producción puede ser entregada en terrones en forma granular o en polvo, su peso específico aparente varía entre 800 a 1.200 Kg/m^3 , con 950 Kg/m^3 como promedio. Se provee a granel o envasada en condiciones que la protejan del ambiente. Los envases tienen una masa nominal de 20, 30 ó 40 Kg. Puede entregarse, por convenio, con masas nominales distintas o en bolsones de 1 t.

En forma similar o lo que sucede con la cal hidratada la exposición al aire por demasiado tiempo deteriora el producto.

La cal viva para ser utilizada en procesos de potabilización debe cumplir con los requisitos especificados en las Normas IRAM 1645 – 1 “Cal viva para potabilización de aguas – Requisitos y métodos de ensayos generales” y 1645 –2 “Cal viva para potabilización de aguas – Determinación de contaminantes”.

2.5.4. Cloro

2.5.4.1. Hipoclorito de Sodio

Puede ser provisto en bidones plásticos, de vidrio o a granel, en camiones tanque.

2.5.4.2. Cloro Gaseoso

Puede ser provisto en botellones de 68 Kg de capacidad o en cilindros de 1000 Kg.

Las condiciones de almacenamiento y manejo son las indicadas en el correspondiente Capítulo de Desinfección.

2.5.4.3. Dióxido de Cloro

El dióxido de cloro es generado en el sitio y momento de aplicación, no siendo conveniente su almacenamiento.

Como se ha dicho, se genera a través de la oxidación del clorito de sodio mediante el uso de cloro o de ácido clorhídrico por lo que las condiciones de almacenamiento requeridas se corresponden con las de esos productos.

2.6. SEGURIDAD E HIGIENE EN EL MANEJO DE LOS INSUMOS

2.6.1. Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio no es considerado un producto peligroso.

Es irritante cuando toma contacto con los ojos, piel y mucosas.

Cualquiera de estos problemas puede ser evitado con el uso de equipamiento de protección. Asimismo, se recomienda buena ventilación y prácticas de laboratorio adecuadas.

- Equipamiento de protección

Dado que los polvos de sulfato de aluminio seco pueden causar irritación del sistema respiratorio y de los ojos, se recomienda el uso de máscaras y barbijos.

Se debe tomar especial precaución de evitar salpicaduras de sulfato de aluminio líquido, especialmente cuando está caliente. Se deben usar máscaras faciales para

proteger los ojos. También pueden usarse vestimenta protectores como guardapolvos, capotes y pantalones vinílicos.

- **Primeros auxilios**

Se debe limpiar los ojos con abundante agua. Si la irritación persiste, se debe consultar con un médico.

Análogas medidas deben usarse ante irritación de la piel.

2.6.2. Polielectrolitos

No existen peligros asociados con el manejo de estos productos.

En efecto, la Occupational Safety Health Association (OSHA) de los Estados Unidos no establece límites permisibles de exposición para estos productos. Asimismo, los valores de LD50 dérmicos y oral son suficientemente altos. No se registran irritaciones en los ojos durante estudios primarios realizados sobre conejos.

Desde el punto de vista de la salud y dada la multiplicidad de productos existentes en el mercado es recomendable exigir en cada caso y antes de su uso a escala en potabilización de aguas para consumo humano.

- Certificado de aceptación por el organismo de salud correspondiente, indicando la dosis máxima autorizada y el carácter de la autorización, es decir, si es provisoria o su fecha de vencimiento.
- Certificados de riesgo laboral específico a la exposición.

En general el peligro más grande por el manejo de los polielectrolitos es que los derrames o salpicaduras son muy resbaladizas, por lo que hay que prevenir caídas del personal.

Asimismo, se recomienda seguir las prácticas de higiene, antes de comidas o bebidas y usar guantes y anteojos para protección de piel y ojos.

Son materiales estables bajo condiciones de fuego (incendio) y sujetos a condiciones de fuego no ofrecen peligros adicionales a los de cualquier material en combustión. En el caso de las aminas policuaternarias, por ejemplo, la descomposición térmica o combustión produce gases como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, amoníaco, óxidos de nitrógeno y/o cloruro de hidrógeno. Debido a ello en caso de fuego se recomienda el uso de equipos de respiración autónoma.

2.6.3. Soda Cáustica

Si se utiliza en forma anhidra, se debe tener especial cuidado al ser disuelta en el agua para preparar una solución de la concentración deseada.

El manejo de soda cáustica en todas sus formas envuelve importantes riesgos. En el proceso de dilución se liberan importantes cantidades de calor. Por el, la rata de dilución

y los métodos de enfriamiento deben ser cuidadosamente controlados de tal forma que no se provoquen salpicaduras o ebullición del líquido.

Dado que la soda cáustica puede causar severo daño a la piel y ojos, es necesario disponer de equipamiento de protección, en la forma de antiparas, guantes industriales, ropa de algodón (la soda cáustica disuelve la lana), pantalones y delantal de goma, zapatos de seguridad.

Se debe disponer de ducha de emergencia y lavajojos cerca del equipamiento de dosificación y del lugar donde la soda cáustica es descargada.

2.6.4. Cal

Aunque se adopten precauciones, la manipulación de cal hidratada produce inevitablemente polvo capaz de irritar la piel y las mucosas. Por eso conviene sobre todo en plantas donde la clasificación requiera la apertura y volcado de los tanques de suspensión o en los dosificadores en seco, de una cantidad importante de bolsas prever instalaciones para eliminar el polvo tan pronto como la cal sea introducida en los tanques y barbijos para uso de los operarios encargados de tal tarea.

Cuando se utilice cal viva, deben adoptarse medidas de seguridad para que el apagado se realice en condiciones de perfecta seguridad para los operarios, evitando la posibilidad de salpicaduras que pueden ocasionar quemaduras dado las altas temperaturas que se originan en el proceso.

2.6.5. Resinas

Durante la manipulación de las resinas se debe usar equipos protectores que impidan el contacto del producto con los ojos y la piel, efectuando el trabajo en áreas bien ventiladas. Se recomienda que en el recinto cuente con una pileta para el lavado de los ojos.

En caso de vuelco sobre el solado deben adoptarse precauciones pues son muy resbaladizas y pueden ocasionar caídas.

Se debe evitar exponerlas a altas temperaturas, el contacto con fuego o mezclarlas con agentes oxidantes fuertes como el ácido nítrico.

Deben ser almacenadas en ambientes secos, frescos, oscuros y ventilados. El embalaje en bolsas o tambores debe ser hermético para impedir la introducción de impurezas y humedad.

Las altas temperaturas rápidamente degradan las resinas y por debajo de 0° pueden congelarse. La congelación y subsecuente deshielo de las resinas puede causar la rotura y la desaparición de la granulometría original.

Las resinas usadas deben ser descargadas en rellenos e incineradas de acuerdo a las normas locales. Se requiere para ello un horno especial debido a que SO_x , NO_x , CO_x se generan en la incineración.

Tanto para su disposición en rellenos o incineración debe verificarse que no contengan materiales tóxicos o contaminantes como metales pesados.

3. MATERIAL FILTRANTE

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL FILTRANTE

A continuación se indican las características de los materiales utilizados como lecho o medio para la remoción de material particulado del agua en el proceso de filtración.

Por tal razón, se analizan las características de la antracita y de la arena mineral. Dado que el carbón activado granular puede ser usado para un uso combinado de adsorción y filtración, sus características serán tratadas por separado.

Las características a considerar para la caracterización del material filtrante pueden resumirse como:

- Distribución del tamaño de partículas.
- Solubilidad en ácido.
- Ensayo de resistencia a la abrasión.

Distribución del tamaño de partículas

Expresa los porcentajes de material según los distintos tamaños de partículas. Se denomina comúnmente como Curva Granulométrica, aunque en realidad ésta constituye solamente la graficación de la distribución de los tamaños de partículas.

Existen dos métodos de clasificación de la distribución del tamaño de partícula.

- a) Uno asigna tamaños límites a porcentajes en peso determinados. Por ejemplo, el 10%, en peso, del material a emplear debe tener un tamaño comprendido entre 0,38 y 0,45 mm.

Para encontrar los valores de tamaño predeterminados se recurre a la graficación de la distribución, calculando por interpolación los valores buscados.

- b) El segundo método de clasificación define el porcentaje de material que debe ser menor que un tamaño de partícula dado.

Para la caracterización de un dado material filtrante son tradicionales los coeficientes de Tamaño Efectivo y Coeficiente de Uniformidad. Estos valores surgieron históricamente de los estudios realizados por Williams Hazen en 1892 sobre las propiedades hidráulicas de los distintos materiales filtrantes. Así, el tamaño efectivo era representativo de la porción superior de un manto filtrante, donde se efectuaba mayoritariamente la retención en un filtro tradicional tipo rápido o americano y el Coeficiente de Uniformidad evaluaba justamente lo contrario a la uniformidad, es decir la desuniformidad de la distribución. Cuanto mayor es el valor del Coeficiente de Uniformidad, mayor es la desuniformidad.

No obstante haber perdido parte de su significado, se los sigue utilizando a ambos coeficientes para la caracterización del material filtrante.

El valor del tamaño efectivo T_e expresa el correspondiente al pasaje del 10 % del material de la muestra en peso. Generalmente se la expresa en mm.

El Coeficiente de Uniformidad C_u expresa la relación entre el tamaño por el que pasa el 60 % del material y el Tamaño Efectivo T_e . Es un valor adimensional.

Un ejemplo permite aclarar estos conceptos.

Supongamos que del tamizado de una arena se obtienen los siguientes resultados:

Tamiz N°	Cantidad retenida por el tamiz (gramos)	Total de arena que pasa por el tamiz (gramos)	Porcentajes que pasan por el tamiz (%)
10	0,00	498,17	100,00
16	0,22	497,96	100,00
20	19,5	478,45	96,1
24	131,0	347,45	69,7
30	251,5	95,95	19,2
40	83,0	12,95	2,56
50	11,4	1,55	0,31
60	1,18	0,37	0,07
Menos que 60	0,37		

Si se llevan estos valores sobre un gráfico, ver **Figura 1**, en escala logarítmica, se obtiene la curva allí representada. De esta se deduce que el tamaño de la malla en milímetros por la que pasa el 10% en peso de arena es de 0,51 mm, vale decir, que el tamaño efectivo es 0,51 mm. El tamaño de la malla por la que pasa el 60% en peso es 0,69 mm y por lo tanto:

$$\text{coeficiente de uniformidad} = \frac{0,69}{0,51} = 1,35$$

Otro valor útil para la caracterización del material filtrante lo constituye el Tamaño 90, valor característico del comportamiento del material ante el lavado. Expresa el correspondiente al pasaje del 90 % del material de la muestra en peso. Generalmente se la expresa en mm.

Otras características que definen el material son su peso específico, porosidad y esfericidad.

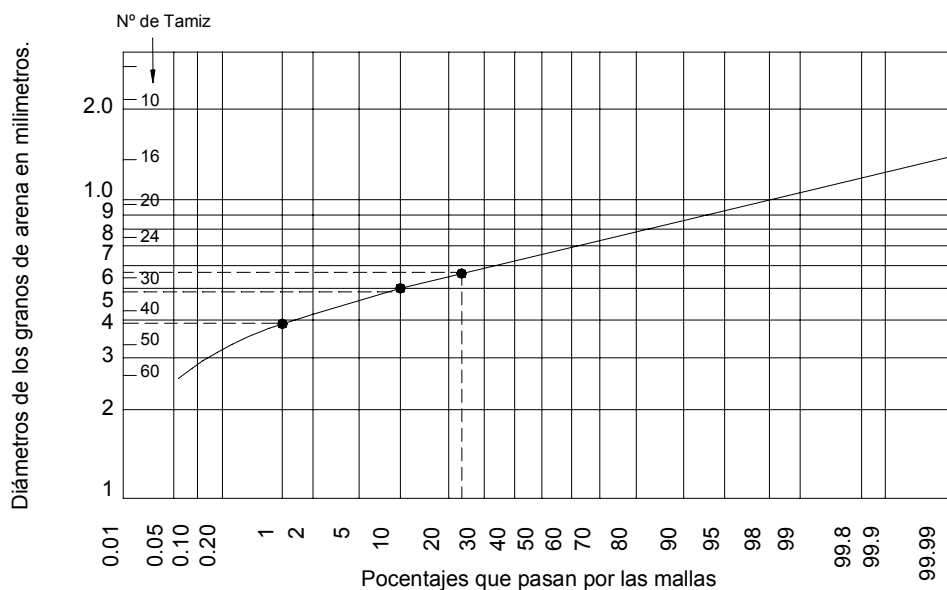


Figura 1. Análisis granulométrico de una arena

Normas de aplicación

IRAM 1501 Partes I, II y III. Tamices de ensayo, definiciones, tamaños nominales de aberturas. Telas de alambre tejido IRAM 1545 – Arenas para filtros. Análisis granulométrico.

3.2. CALIDAD DEL MATERIAL FILTRANTE

3.2.1. Grava

3.2.1.1. Características Físicas

El agregado grueso o grava debe poseer una alta proporción de partículas tendiendo a esféricas, redondeadas.

Debe poseer suficiente dureza y resistencia para soportar la degradación durante su manipulación y uso, debe estar limpia, libre de material disgregable y poseer peso específico mayor o igual al especificado.

Su peso específico debe ser como mínimo de 2,5 a menos que un valor mayor sea especificado en el proyecto.

No más del 25 % de las partículas en peso deben tener una cara fracturada.

No más del 2 % de las partículas en peso deben ser chatas o elongadas, de forma tal que la longitud según el eje más largo no sea más de 5 veces la del eje más corto de un rectángulo que lo contenga.

Debe estar limpia, visiblemente de arcilla e impurezas.

3.2.1.2. Solubilidad en Ácido

La solubilidad en ácido no debe superar el 5 % para tamaños menores al N° 8 (2,36), 17,5 % para tamaños superiores al N° 8 (2,36 mm) pero menores a 25,4 mm y 25 % para tamaños de 25,4 mm y superiores.

3.2.1.3. Tamaño de la Grava

Los tamaños de la grava deben ser los especificados en el proyecto de Manto Sostén correspondiente.

Para cada rango de tamaños, no más de 8 % en peso debe ser menor que el menor tamaño especificado y no más de 8% en peso debe ser mayor que el mayor tamaño especificado.

3.2.2. Arena

3.2.2.1. Características Físicas

Debe consistir en un material duro, denso y durable predominantemente silíceo que resista la degradación durante la manipulación y uso.

Su peso específico debe ser como mínimo de 2,5 a menos que un valor mayor sea especificado en el proyecto.

Debe estar visiblemente libre de arcilla, polvo y material micáceo y orgánico.

3.2.2.2. Solubilidad en Ácido

No debe ser superior al 5 %.

3.2.2.3. Tamaño de la Arena

El tamaño de la arena debe ser especificado en el proyecto así como los porcentajes tolerados de partículas menores y mayores.

3.2.3. Antracita

3.2.3.1. Características Físicas

Debe consistir en un material duro, denso y durable de partículas de carbón de varios tamaños.

La dureza superficial no debe ser menor a 2,7 en la escala de Mohs.

Su peso específico debe ser como mínimo de 1,4 a menos que un valor mayor sea especificado en el proyecto.

La antracita debe estar visiblemente libre de arcilla, polvo y suciedad.

3.2.3.2. Solubilidad en Ácido

No debe superior al 5 %.

3.2.3.3. Tamaño de la Antracita

El tamaño de la antracita debe ser especificado en el proyecto así como los porcentajes tolerados de partículas menores y mayores.

4. CAÑERÍAS PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA

4.1. INTRODUCCIÓN

En el presente ítem se indican sobre las características de las cañerías utilizadas para la conducción del agua en las diferentes etapas del abastecimiento, desde la toma en la fuente, hasta la aducción a la Planta de Tratamiento o Centro de Almacenamiento y la conducción y distribución hasta los consumidores.

4.2. CLASIFICACIÓN

Las cañerías utilizadas en Sistemas de Abastecimiento de Agua pueden clasificarse según distintos criterios.

4.2.1. Según el Tipo de Esguerrimiento Hidráulico

Una primera clasificación sería según las condiciones de esguerrimiento del líquido en su interior:

Cañerías para conducciones forzadas o a presión

Se utilizan principalmente cañerías fabricadas en asbesto cemento, poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV), policloruro de vinilo (PVC), hormigón armado, hierro fundido, hierro dúctil, acero y polietileno de media y alta densidad (PEMD – PEAD).

Cañerías para conducciones a superficie libre

Se utilizan principalmente cañerías fabricadas en asbesto cemento, poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV), policloruro de vinilo (PVC), hormigón armado, hormigón simple, hierro fundido, hierro dúctil, acero y polietileno de baja densidad (PEBD).

4.2.2. Según su Ubicación en el Sistema de Abastecimiento de Agua

Otra clasificación sería según el destino que será utilizada, es decir, la ubicación dentro del sistema de abastecimiento de agua.

- Cañerías para la conducción de agua cruda o bruta.
- Cañerías para la conducción de agua potable.
- Cañerías para la conducción de productos químicos para la potabilización.
- Cañerías para la conducción de aguas residuales.

4.2.3. Según el Tipo de Unión Utilizado

- Unión tipo espiga y enchufe.
- Unión por manguito.
- Unión por bridas.
- Uniones especiales.

El tipo de unión utilizado influye fuertemente en la presentación del conjunto cañería-unión. El tipo de unión debe ser elegido de forma tal que se asegure la estanqueidad con resistencia a los esfuerzos a soportar y que esta resistencia mecánica se sume a la vida útil de las partes componentes de la unión, la que a veces no coincide con la vida útil de la cañería.

4.3. PRESIONES

Es útil definir correctamente una serie de terminologías, usadas corrientemente tanto por el fabricante como por el usuario de cañerías tanto para el diseño como para las pruebas de funcionamiento.

Las principales presiones a considerar son:

4.3.1. Presión Máxima de Trabajo PMT

Corresponde a la máxima presión de funcionamiento en régimen permanente de una cañería en un sistema hidráulico determinado.

4.3.2. Presión Máxima de Cálculo PMC

Corresponde a la presión máxima de trabajo, aumentada en un margen de diseño debido a las incertidumbres de estimación y de funcionamiento, como son las sobrepresiones generadas por los regímenes transitorios.

4.3.3. Presión de Prueba en Obra PPO

Corresponde a la presión a la cual es probada la cañería en Obra. Se obtiene como la presión máxima de trabajo (PMT) aumentada por un incremento, dado por reglamentaciones.

4.3.4. Presión Máxima Admisible PMA

Se refiere a un concepto de fabricación. Corresponde a la máxima presión que según el fabricante puede soportar una cañería en régimen permanente, a una temperatura dada.

4.3.5. Presión Máxima de Funcionamiento PMF

Se refiere a un concepto de fabricación. Corresponde a la máxima presión que según el fabricante puede soportar una cañería en régimen de sobrepresión transitoria, a una temperatura dada.

Generalmente, se expresa como un incremento por sobre la presión máxima admisible (PMA). Por ejemplo, podría ser $PMF = 1,2 \times PMA$.

4.3.6. Presión Máxima de Prueba PMP

Se refiere a un concepto de fabricación. Corresponde a la máxima presión que puede según el fabricante soportar una cañería durante la prueba con presión hidrostática en Obra. Generalmente, se expresa como un incremento por sobre la presión máxima admisible PMA. Por ejemplo, podría ser $PMP = 1,5 \times PMA$.

4.3.7. Presión de Prueba en Fábrica PPF

Se refiere a un concepto de fabricación. Corresponde a la presión a la que son probadas las cañerías en fábrica.

Responde a exigencias de Normas y exigencias operativas propias de cada fabricante.

Para el dimensionamiento de una conducción se deberá cumplir:

$$PMT < PMA$$

$$PMC < PMF$$

$$PPO < PMP$$

4.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS CAÑERÍAS SEGÚN EL TIPO DE MATERIAL

4.4.1. Cañerías de Acero (A)

El tubo de acero para la conducción de agua comenzó a utilizarse desde el siglo XVIII. Hay evidencias de su uso en USA desde aproximadamente 1852 (ver Elliot G.A. The use of steel pipe in water works. Journal AWWA, noviembre de 1922).

Las propiedades del acero que lo hacen tan útil son: primeramente, su gran resistencia; segundo, su capacidad de flexionarse bajo carga sin dejar de ofrecer resistencia; tercero, su capacidad de doblarse sin romperse y cuarto, su resistencia al impacto.

Estas cuatro propiedades se combinan en el tubo de acero para agua, las que sumadas a su durabilidad y bajo peso en función del diámetro constituyen innegables ventajas.

Las desventajas son la necesidad de recubrimiento tanto interno como externo, con su influencia en el costo, dada la gran esbeltez (relación diámetro espesor), función de sus propiedades mecánicas, hace que en muchos diseños se deba considerar un mayor espesor que el necesario por presión interior para así considerar posibles colapsos por pandeo o inestabilidad elástica, conductor de la electricidad, alta conductividad térmica y alta celeridad.

La composición del acero está indicada en las principales normas, siendo de uso habitual las ASTM, IRAM y SAE (ver más adelante).

Existen varios procesos para la producción de tubos soldados partiendo del acero rolado en frío, que puede adoptar la forma de placas, láminas o cintas.

En la soldadura en horno, a tope, se calienta una lámina continua con aristas a escuadra o ligeramente biseladas hasta la temperatura de soldadura.

Esta lámina se retira luego del horno, a través de un dado soldador en forma de embudo o bien a través de rodillos de soldadura de método continuo. Durante esta operación se dobla la lámina o forma tubular y se juntan las orillas con presión suficiente para concretar la soldadura. En el caso a translope la lámina se calienta y se dobla a la forma tubular, haciendo que las orillas se superpongan. Se recalienta la temperatura de soldadura y luego pasa a través de un mandril localizado entre dos rodillos ranurados que la comprimen y sueldan.

En la soldadura eléctrica, para el caso de efectuarse por resistencia eléctrica, primeramente y en frío se conforma el perfil tubular. Luego por aplicación de calor y presión se efectúa la soldadura; el calor se genera por la resistencia al paso de una corriente eléctrica. En el método de arco eléctrico o por fusión de gas, primeramente también se conforma la placa o lámina a un perfil tubular, de manera longitudinal (costura recta) o helicoidal (costura espiral) empleando cintas.

Las orillas se sueldan con o sin depósito simultáneo de metal relleno.

En cuanto a la fabricación de tubos sin costura (sin soldadura) existen dos métodos básicos:

- Perforación en caliente.
- Acoplado y estirado.

En el primer método, los lingotes, bloques o cilindros se perforan en caliente. Posteriormente mediante laminado o estirado en caliente o mediante una combinación de ambos se logra un tubo con las dimensiones estipuladas.

En el segundo procedimiento las placas de acero se acoplan y se estiran en caliente hasta las dimensiones deseadas.

Si fuera necesaria una precisión dimensional más estricta o para el caso de pequeños diámetros (menores de 3 pulgadas en general) el método se completa con un proceso final en frío.

Las características mecánicas principales del acero son:

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| • Módulo de elasticidad de Young | 2100000 Kg/cm ² |
| • Límite elástico | 2100 a 6000 Kg/cm ² |
| • Tensión admisible de trabajo | 1050 a 3000 Kg/cm ² |
| • Peso específico | 7870 Kg/m ³ |
| • Relación de Poisson | 0,30 |

Se dimensionan elásticamente como cuerpos flexibles, no como cuerpos rígidos.

En las cañerías de DN mayores o igual a 14 pulgadas este coincide con el diámetro exterior, es decir con el aumento de las condiciones de diseño la sección hidráulica disminuye. Para los DN menores a 14 pulgadas es un valor de denominación comercial, que no coincide con el diámetro exterior ni con el diámetro interior.

La serie de diámetros normales comprende (en pulgadas): 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 3/4, 1, 1 ¼, 1 ½, 2, 2 ½, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y luego cada dos pulgadas (DN pares).

Dada la posibilidad de ataque al acero, tanto interno por el agua o externo por las condiciones de colocación (suele, clima, agua externa) requieren protección en ambos casos.

Revestimientos interiores

Los revestimientos interiores se clasifican en dos categorías:

- Revestimientos clásicos: que responden a la mayoría de las particularidades de las aguas crudas y potables.
- Revestimientos especiales: para casos muy especiales de agresividad de aguas, como los efluentes industriales.

Para los revestimientos clásicos han sido desarrolladas normas, entre las cuales se destacan las de la AWWA (American Water Works Association), C 203 para esmalte de alquitrán y la C 205 y C 602 para revestimientos de mortero de cemento.

En cuanto a las especiales fundamentalmente comprenden el grupo de las resinas epoxi.

Es de hacer notar que los recubrimientos mencionados se utilizan tanto para los tubos rectos como para las piezas especiales.

Revestimientos exteriores

Los recubrimientos exteriores tales como el esmalte de alquitrán o el mortero de cemento se utilizan para la protección de tubos y piezas especiales enterradas. Las pinturas se usan generalmente para instalaciones exteriores expuestas a la acción atmosférica.

La pintura de aluminio con base de antióxido de plomo se halla especificada en la norma C 203 de la AWWA y es generalmente aceptable para las condiciones atmosféricas

normales, como así también los modernos recubrimientos de pinturas con base en resinas epoxi.

También los recubrimientos metálicos, que son anódicos respecto del metal base, protegen al tubo de acero por acción catódica en presencia de un electrolito. En la generalidad de las aplicaciones ingenieriles, el zinc llega a ser el recubrimiento ideal para el acero y, por lo tanto, es el método más comúnmente empleado ya sea por aplicación en caliente (galvanizado) o por aspersión o electrodeposición.

La unión de los tubos entre sí se realiza por soldadura, junta de espiga enchufe, manguito hembra-hembra o bridado.

Las piezas especiales necesarias para su instalación también se construyen en acero.

Su ámbito de colocación es amplio comprendiendo en zanja, terraplén, curvas de apoyo, túnel e instalación submarina.

Normas de aplicación

AWWA C201. Standard for Fabricated Electrically Welded Steel Water Pipe.

AWWA C202. Standard for Mill Type Steel Water Pipe.

AWWA C203. Standard for Coal-Tar Enamel Protective Coatings for Steel Water Pipe.

AWWA C205. Standard for Cement-Mortar Protective Coatings for Steel Water Pipe.

AWWA C206. Standard for Field Welding of Steel Water Pipe Joints.

AWWA C207. Standard for Steel Pipe Flanges.

AWWA C208. Standard for Dimensions for Steel Water Pipe Fittings.

AWWA C602. Standard for Cement-Mortar Lining of Water Pipelines in Place. Sizes 16 Inches.

IRAM-IAS U 500-102-4: 1987. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de tracción.

IRAM-IAS U 500-164-3: 1989. Soldadura. Caños y tubos. Calificación de procedimientos.

IRAM-IAS U 500-2582: 1980. Caños y tubos de acero. Método de ensayo curvado.

IRAM-IAS U 500-2583: 1982. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de pestañeado.

IRAM-IAS U 500-2584: 1980. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de abocardado.

IRAM-IAS U 500-2585: 1980. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de aplastamiento.

IRAM-IAS U 500-25998: 1980. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de compresión.

IRAM-IAS U 500-2600: 1980. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de aplanado.

IRAM-IAS U 500-2608: 1980. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de tracción.

IRAM-IAS U 500-2613: 1989. Tubos de acero al carbono soldados y sin costura, zincados por inmersión en caliente o sin zincar, para conducción de fluidos.

IRAM 597: 1983. Caños y tubos de acero con costura. Método de ensayo de doblado y guiado.

IRAM 765: 1995. Ensayos no destructivos. Tubos de acero.

IRAM 2587: 1991. Cilindros y tubos de acero. Método de ensayo de presión hidrostática interna.

IRAM 2618: 1969. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de expansión hidráulica de anillo para determinar el límite de fluencia transversal.

IRAM 2621: 1969. Caños y tubos de acero. Método de ensayo de dureza.

4.4.2. Cañerías de Asbesto Cemento (AC)

En el año 1900 el técnico austriaco Luwing Hatschek, desarrolló un nuevo procedimiento para fabricar tejas con cemento y amianto, valiéndose de una instalación parecida a la empleada para la manufactura del cartón y luego en varios países de Europa se comenzó la fabricación de tejas, pizarras artificiales, chapas lisas y onduladas, etc., según el invento de Hatschek, que consiste fundamentalmente en diluir una mezcla de cemento y amianto en una gran cantidad de agua, con lo cual, sin comprometer la capacidad de endurecimiento de la pasta, se podía retardar la iniciación del fraguado todo el tiempo necesario para poder moldear a voluntad el material.

La industria progresa especialmente en Italia, y en 1913 se producen los primeros caños de asbesto-cemento.

El aspecto metálico, denso y fuerte, el sonido claro y la duración de las piezas de amianto-cemento son debidas a sus materias primas constituidas por fibras de amianto, cemento portland de fragüe lento, agua y al proceso por el cual estos materiales son ligados íntimamente y comprimidos bajo fuerte presión.

La proporción de amianto varía del 12 al 20% en peso, según las diferentes calidades de este mineral y la resistencia necesaria.

Se caracteriza por ser casi incombustible y mal conductor del calor y la electricidad.

La primera preparación del amianto se efectúa en el lugar de origen y consiste en la separación de los materiales pedregosos y en la selección de las fibras, según su mayor o menor longitud. En la fábrica se deben eliminar todas las impurezas y transformar los copos de amianto en fibras aisladas, a cuyos fines el material es aplastado en una máquina moledora, constituida por dos grandes ruedas de granito animadas de un movimiento de rotación. Los materiales extraños son pulverizados y la subdivisión de los copos produce fibras separadas, que pasan luego al desintegrado constituido por un

tambor metálico en cuyo interior actúan varias paletas. Una fuerte corriente de aire que atraviesa el cilindro transporta las fibras a un silo, donde el amianto es almacenado.

Luego se hace una mezcla íntima o emulsión, con un exceso de agua, de 12 a 20 %, en peso de amianto y 80 al 88 de cemento, utilizando varios tipos de mezcladoras mecánicas.

Las tuberías se fabrican por alguno de los procedimientos indicados a continuación:

- **Sistema Mazza**

El cilindro formador es un mandril de acero que constituye el alma del caño que se forma a su alrededor.

Dos rodillos por acción de mecanismos a presión hidráulica, transmiten a través de un fieltro una gran compresión a la envoltura cilíndrica formada alrededor del mandril, dando a la pasta la compacidad necesaria.

Cuando el caño llega a tener el espesor deseado, que depende del número de vueltas, se retira el mandril con el caño formado sobre él y se coloca otro mandril.

- **Sistema Dalmine**

Consta de tres máquinas paralelas, cada uno de los cuales tiene un fieltro de 30 cm de ancho y llevan sendas películas que se envuelven alrededor de un mandril logrando una superposición helicoidal de las tres películas de fibro-cemento.

Cada uno de los fieltros recibe su movimiento de un servomotor hidráulico que hace girar el cilindro, contrapuestos al cual hay rodillos que transmiten la presión a través de un fieltro sinfín. Estos tres rodillos constituyen un sistema de centralización automática del mandril. Al mismo tiempo, por tener sus ejes una pequeña inclinación, originan el movimiento de traslación del mandril, que permite ajustar otro al extremo, en forma tal que es posible hacer caños de largos ilimitados.

El espesor del caño en una sola travesía, depende del paso helicoidal del mandril; cuando se desea un mayor espesor como ocurre con los de gran diámetro, se invierte el sentido del paso y se hace otro recubrimiento.

Terminada la formación del caño, se pasa al conjunto mandril-caño a una máquina de rodillos de acero o calandra, en la cual se da una gran compresión para dar mayor compacidad al material al mismo tiempo que se alisa la superficie exterior facilitando la posterior operación de quitar el mandril.

- **Procedimiento Magnani**

Se utiliza una mezcla de amianto-cemento densa, tal cual se la prepara, en lugar de estar disuelta en una gran cantidad de agua.

La máquina consta de dos partes principales, la formadora y la calandra.

La primera está constituida por un cilindro formador que gira por acción de un motor y transmite su movimiento al mandril, sobre el cual se forma el caño.

El mandril es hueco y provisto de una infinidad de agujeros, a través de los cuales se efectúa una succión por medio de una instalación de vacío.

Para fabricar un caño, se reviste el mandril con una tela que sirve de filtro y poniendo en movimiento la máquina, se vierte la pasta, la que por acción del vacío se envuelve alrededor del mandril.

El espesor se regula por el alejamiento del cilindro formador.

Terminada la formación, se transporta el conjunto mandril-caño a la calandra, que está compuesta por dos cilindros, uno comandado por un motor y el otro libre, al cual dos pistones hidráulicos le imprimen un movimiento de traslación normal a su eje, lo que permite dar al caño una gran compresión y que produce la compacidad del material necesaria para obtener tuberías de gran resistencia al mismo tiempo que se alisa perfectamente la superficie exterior.

Durante esta segunda operación se continúa la aspiración para extraer completamente el agua.

Terminadas las operaciones en las máquinas, los productos de fibro-cemento se dejan reposar en los moldes que han servido para darles las formas, hasta obtener el primer endurecimiento del cemento, después del cual se retiran los moldes o mandriles y se depositan los productos manufacturados en plantas de hidratación, ya sea sumergidos en piletas o bajo un riego abundante o en cámaras con vapor de agua, en donde deben permanecer hasta un completo endurecimiento.

Entre las ventajas de las tuberías de asbesto cemento se pueden mencionar la durabilidad, su buena resistencia estructural, las facilidades del montaje (uniones espiga-enchufe), mínimo costo de mantenimiento motivado por la posibilidad de empleo de cemento ARS (altamente resistente a los sulfatos) ante la presencia de suelos agresivos y no conductores de la electricidad.

En cuanto a las desventajas el peso de los tubos de longitud normal (6m), la restricción de efectuar tareas de mecanizado en obra dado lo cancerígeno del amianto inhalado por las vías respiratorias y alta celeridad.

Las características mecánicas principales del asbesto cemento son:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ➤ Módulo de elasticidad de Young | $2400 \text{ N/mm}^2 = 240000 \text{ Kg/cm}^2$ |
| ➤ Rotura por presión interna | $22 \text{ N/mm}^2 = 220 \text{ Kg/cm}^2$ |
| ➤ Aplastamiento (rotura transversal) | $44 \text{ N/mm}^2 = 440 \text{ Kg/cm}^2$ |
| ➤ Rotura por flexión | $24,5 \text{ N/mm}^2 = 245 \text{ Kg/cm}^2$ |

Los caños de diámetros nominales hasta 400mm se clasifican por las presiones hidráulicas de trabajo en las siguientes clases: 3, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 16 y 18 Kg/cm².

Los caños de diámetro nominal mayor que 40 mm se diseñan para adecuarse a los requisitos de cada conducción en particular.

Se diseñan como rígidos por aplicación de las relaciones establecidas por W.J.Schlick.

No requieren recubrimiento interno para la conducción de agua y en cuanto al recubrimiento externo sólo en casos de suelos agresivos se procede a la aplicación de pintura bituminosa.

La unión entre caños se realiza por manguitos hembra-hembra, aro de goma y las piezas especiales necesarias a una instalación se construyen en hierro fundido. Se hace notar que siendo el DN coincidente con el diámetro, con el aumento de la clase crece el diámetro externo y en consecuencia las piezas especiales son propias de cada clase. El ámbito de colocación comprende las zanjas, terraplenes túneles.

Normas de aplicación

AWWA C400 – 93 (R98) Asbestos – Cement Pressure Pipe, 4 in through 16 in. (100 mm through 400 mm), for Water Distribution System – Norma para cañería de distribución en Asbesto – Cemento entre 100 y 400 mm diámetro (4 a 16) para agua.

AWWA C401 – 93 (R98) Selection of Asbestos – Cement Pressure Pipe, 4 in through 16 in. (100 mm through 400 mm) for Water Distribution Systems – Norma de procedimiento para la selección de cañería de distribución de Asbesto – Cemento entre 100 y 400 mm de diámetro (4 a 16 pulgadas) para agua.

AWWA C402 – 95 Asbestos – Cement Pressure Pipe, 18 in through 42 in. (450 mm through 1050 mm), for Water Distribution System – Norma para cañería de distribución en Asbesto – Cemento entre 450 y 1050 mm de diámetro (18 a 42 pulgadas) para agua.

AWWA C403 – 95 Selection of Asbestos – Cement Pressure Pipe, 18 in. Through 42 in. (450 mm through 1050 mm) for Water Distribution System – Norma de procedimiento para la selección de cañería de distribución de Asbesto-Cemento entre 450 y 1050 mm de diámetro (18 a 42 pulgadas) para agua y otros líquidos.

IRAM 11510: 1987. Juntas para caños de asbesto cemento para la conducción de líquidos a presión.

IRAM 11516: 1995. Asbesto cemento. Caños y juntas para usar en conducciones con presión.

IRAM 11517: 1986. Caños de asbesto cemento de sección circular para conducción de fluidos sin presión.

IRAM 11522: 1990. Caños de asbesto cemento. Métodos de ensayos generales.

IRAM 11536: 1992. Caños de asbesto cemento. Directivas para la selección de caños sometidos a cargas externas con presión interna o sin ella.

IRAM 11538: 1991. Asbesto cemento. Directivas para la instalación de cañerías.

IRAM 11542: 1990. Juntas para caños de asbesto cemento para la conducción de fluidos sin presión.

OSN Juntas y accesorios de Hierro Fundido para Cañería de Asbesto Cemento. Planillas de Dimensiones y Pesos. Buenos Aires, Argentina, 1962.

OSN. Piezas Especiales de Fundición para Cañerías de Asbesto Cemento. Planilla de Dimensiones y pesos Buenos Aires, Argentina, 1963.

4.4.3. Cañerías de Fundición (HF)

Las cañerías de fundición son fabricadas a partir de aleaciones de hierro-carbono.

Las aleaciones de hierro carbono pueden ser clasificadas según su contenido de carbono, en porcentaje, en tres grupos:

- Hierros: con contenido de carbono del 0 al 0,1 %.
- Aceros: con contenido de carbono del 0,1 al 1.7 %.
- Fundiciones: con contenido de carbono del 2,5 al 4%

A su vez, se considera que las fundiciones son ordinarias cuando además del carbono sólo poseen pequeñas cantidades de silicio, manganeso, azufre y fósforo. En caso de contener otros elementos, como cromo, níquel y molibdeno, se dicen que son fundiciones aleadas. En caso de estar sometidas a procesos y aditivos para lograr calidades superiores, se dice que son fundiciones especiales.

Dentro de las funciones especiales se tiene la Fundición Dúctil.

Las fundiciones ordinarias pueden ser grises o blancas, dependiendo de la velocidad de enfriamiento.

Dado que las fundiciones blancas son muy duras pero frágiles, no son adecuadas para la fabricación de tuberías.

Las fundiciones grises tienen una serie de cualidades:

- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia a la fricción.
- Capacidad de amortiguación de vibraciones.

Según sea el sistema de fabricación empleado, por centrifugación o por moldes, serán las características de la cañería.

4.4.3.1. Cañerías de Hierro Fundido Gris

Durante siglos fueron utilizadas para la conducción de agua en razón de las cualidades indicadas anteriormente.

Una referencia histórica (ver C.A. Couplet, Memorias de la Academia de París. Ensayo para la determinación de la pérdida de carga en cinco tuberías de hierro fundido en Versailles, 1732) ya menciona su empleo en la provisión de agua al Palacio de Versailles.

En nuestro país existe en la actualidad en operación una importante cantidad de este tipo de material, en su mayoría importado.

Sin embargo, el proceso de incrustación que sufren con el tiempo, que disminuye la sección hidráulica de pasaje y aumenta el coeficiente de rugosidad, sumado a la aparición del hierro dúctil con revestimiento interior de cemento ha puesto fin a su empleo en las conducciones de agua potable, restringiendo su uso a instalaciones internas de cloacas y pluviales en edificios.

Normas de aplicación

IRAM 2501: 1975. Caños de fundición de hierro gris centrifugados para conducción de fluidos a presión.

IRAM 2601: 1967. Unión tipo junta mecánica. Para caños y accesorios de hierro.

IRAM 2606: 1981. Accesorios de fundición de hierro gris para caños destinados a la conducción de fluidos bajo presión.

IRAM 2629: 1981. Junta elástica simple para caños y accesorios de hierro.

IRAM 2630: 1981. Bridas para caños y accesorios de fundición de hierro. Serie métrica.

IRAM-IAS U 500-39: 1978. Fundición de hierro gris. Método de ensayo de la tracción.

OSN. Cañerías de hierro fundido tipo liviano. Dimensiones y pesos. Boletín OSN N° 1295, página 11.076. Buenos Aires, Argentina, 1952.

4.4.3.2. Cañerías de Hierro Dúctil (FD)

Un paso decisivo fue dado en 1948, luego de investigaciones realizadas en los Estados Unidos y Gran Bretaña.

El mismo permitió obtener una fundición de grafito esferoidal, después conocida como fundición o hierro dúctil.

El grafito no está dispuesto en forma de láminas sino cristalizado esferoidalmente y en consecuencia se eliminó la concentración de esfuerzos en ciertos puntos y la posibilidad de fisuras, horizonte que la metalurgia buscaba operando sobre el tamaño de las láminas o su disposición, como el que se lograba por centrifugación. Es decir, con este nuevo material se eliminaban las líneas de propagación de posibles rupturas.

La cristalización del grafito en forma esferoidal se obtiene por el agregado controlado de pequeñas cantidades de magnesio a una fundición preferentemente desulfurada.

Las virtudes de los tubos de hierro dúctil son su buena resistencia a la tracción y al impacto, su alto límite elástico y las posibilidades de alargamientos importantes, las que se suman a las virtudes de las fundiciones grises tales como resistencia a la compresión y a la abrasión e inercia química frente al agua.

Entre sus desventajas merece indicarse el alto peso de los caños, conductos de la elasticidad y alta celeridad.

El proceso de fabricación comprende tres etapas:

- Elaboración de la materia prima: alto horno o cubilotes y tratamiento del metal.
- Fundición / centrifugación.
- Terminación y aplicación de revestimientos.

El metal puede ser obtenido por reducción del mineral de hierro en altos hornos o por fusión de chatarra de hierro en cubilotes; posteriormente se procede a la desulfuración, al ajuste de la temperatura en un horno eléctrico (para lograr la óptima colada) y finalmente a la introducción de magnesio para obtener la fundición dúctil.

En la etapa de fundición-centrifugación se deposita el hierro dúctil en moldes cilíndricos que giran a gran velocidad, los que se enfrían continuamente para lograr la solidificación.

Posteriormente y a la salida de un tratamiento térmico los tubos reciben una cobertura de zinc puro obtenido por fusión mediante arco eléctrico, el cual es proyectado mediante aire comprimido. Finalmente, previa prueba hidrostática, se realiza el revestimiento interior de cemento y el exterior de terminación mediante pintura bituminosa.

Los tubos de hierro dúctil centrifugados tienen las siguientes características mecánicas:

- | | |
|------------------------------------|--|
| • Módulo de elasticidad de Young | $1700000 \text{ Kg/cm}^2 = 170000 \text{ MPa}$ |
| • Resistencia mínima a la tracción | $4200 \text{ Kg/cm}^2 = 420 \text{ Mpa}$ |
| • Límite elástico mínimo | $3000 \text{ Kg/cm}^2 = 300 \text{ Mpa}$ |
| • Tensión admisible | $1376 \text{ Kg/cm}^2 = 138 \text{ Mpa DN} \leq 1000$ |
| • Alargamiento mínimo a la ruptura | $\begin{cases} \text{DN} \leq 1000 & 10\% \\ \text{DN} > 1000 & 7\% \end{cases}$ |
| • Relación de Poisson | 0,30 |
| • Dureza máxima | 230 HB |
| • Peso específico | 7050 Kg/m^3 |

Se diseñan como semirígidos.

Los diámetros normales de fabricación son:

DN 60, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, y 1200 donde el DN coincide con el diámetro interior.

Revestimientos interiores

Los revestimientos interiores pueden clasificarse en tres categorías:

- Revestimientos clásicos: que responden a la mayoría de las características de aguas crudas y potables.

- Protecciones reforzadas: adaptadas a las aguas agresivas para los cementos, como las aguas dulces, ácidas y las altamente abrasivas.
- Revestimientos especiales: para casos muy especiales de agresividad de aguas, como efluentes industriales.

En la **Tabla 12** se presentan las características de las distintas alternativas de revestimientos interiores:

Tipo de revestimiento	Cañerías	Uniones
Revestimientos clásicos	Mortero de cemento	Barniz bituminoso
Protecciones reforzadas	Mortero de cemento aluminoso	Epoxy
Revestimientos especiales	Según características del líquido	Según características del líquido

Tabla 12. Revestimientos interiores de cañerías

Revestimientos exteriores

Deben garantizar protección duradera contra la agresividad de los terrenos.

Los distintos tipos de revestimientos exteriores se clasifican según el grado de protección en clásicos, reforzados y especiales.

Tipo de revestimiento	Cañerías	Uniones
Revestimientos clásicos	Zinc metálico + barniz bituminoso	Barniz bituminoso
Protecciones reforzadas	Zinc metálico + barniz bituminoso + manga de polietileno aplicada in situ	Barniz bituminoso + manga de polietileno aplicada in situ
Revestimientos especiales	Según características del líquido	Revestimiento especial epoxy

Tabla 13. Revestimientos exteriores de cañerías

La manga de polietileno es un film de polietileno de baja densidad con el que se enfunda la cañería en el momento de colocarla, a efectos de complementar la protección brindada por el revestimiento de base constituido por Zinc metálico más barniz bituminoso en casos de alta corrosividad de los suelos o la existencia de corrientes vagabundas.

El espesor mínimo de este revestimiento es de 200 micrones y el material debe cumplir los requerimientos de la Norma NASI / ASTM D1248.

Las mangas de polietileno se encuentran reguladas por la Norma ISO 8180 y la Norma ANSI /AWWA C105 / A21.5.

Las tuberías y las piezas especiales (también de hierro dúctil) se pueden vincular por los siguientes tipos de juntas:

Características	Junta			
	Automática	Mecánica	Acerrojada	Con Bridas
Juego axial	Sí	Sí	Sí	No
Desviación angular	Sí	Sí	Sí	No
Resistencia a esfuerzos axiales	No	No	Sí	Sí
Sencillez en el montaje	Muy sencillo	Sencillo	Sencillo	Sencillo
Esfuerzo de enchufado	Sí	No	Sí	No

Tabla 14. Características de los distintos tipos de juntas

En cuanto a su colocación son aptas para cualquier ámbito: zanja, terraplén, túnel, cunas de apoyo y submarina.

Normas de aplicación

ISO 2230-1973. Elastómeros vulcanizados – Condiciones de almacenamiento.

ISO 2531-1991. Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil para canalizaciones con presión.

ISO 4179-1985. Tubos de fundición dúctil para canalizaciones con o sin presión – Revestimiento interno con mortero de cemento centrifugado – Prescripciones generales.

ISO 4633-1996. Juntas herméticas de caucho – Anillos de juntas para tuberías de suministro de agua, desagüe y alcantarillado = Especificación de materiales.

ISO 7005 Parte 2 – 1988. Bridas metálicas – Parte 2: bridas de fundición.

ISO 8179 Parte I – 1995. Tubos en fundición dúctil – Revestimiento exterior al zinc – Parte I: Zinc metálico y capa de acabado.

ISO 8180-1985. Canalizaciones de fundición dúctil – Revestimientos tubulares de polietileno.

ISO 9002. Modelo para el aseguramiento de la calidad en producción e instalación.

ANSI/AWWA/C151. Tuberías de hierro dúctil.

ASTM 377. Tuberías de hierro dúctil.

4.4.4. Cañerías de Hormigón

Las cañerías ejecutadas en hormigón han sido tradicionalmente utilizadas en los sistemas de abastecimiento de agua, especialmente en las aducciones de agua bruta y tratada, de gran diámetro.

Prueba de ello son las instalaciones de agua y desagües de la Ciudad de Colonia, Alemania, que, usadas por los Romanos, fueron encontradas en condiciones aceptables 1800 años después.

Las cañerías ejecutadas en hormigón pueden llevar o no armaduras de acero de refuerzo a fin de suplementar su falta de resistencia a la tracción.

En función de la existencia y tipo de armadura, se distinguen los siguientes tipos de cañerías:

- Cañerías de hormigón simple, es decir, sin armadura de refuerzo (HS).
- Cañerías de hormigón armado, es decir, con armaduras de refuerzo (H°A°).
- Cañerías de hormigón armado pre o pos-tensadas, según se le aplique a las armaduras una tensión antes o después de colocar el hormigón.
- Cañería de hormigón con alma continua de acero.

Las cañerías de hormigón simple se utilizan como conducciones a superficie libre, es decir, sin presión interna.

Las cañerías de hormigón armado se utilizan para baja presión (hasta 3 Kg/cm²) y media presión (de 3 a 10 Kg/cm²).

Las cañerías de hormigón pretensado y de alma de acero se utilizan para servicios a alta presión (más de 10 Kg/cm²).

Hasta la década del cuarenta, el mercado estaba compuesto en su mayoría por tuberías de hormigón armado.

Con la aparición en Estados Unidos en 1942 de cañerías pretensadas se revierte esta tendencia, en especial por la posibilidad de aumento de las presiones de trabajo.

Las ventajas principales de este material pueden sintetizarse en durabilidad, buena resistencia estructural al combinar los elevados valores del acero a la tracción con las tensiones del hormigón a la compresión y bajo mantenimiento en condiciones normales de instalación, dada la posibilidad de empleo de cemento ARS (altamente resistente a los sulfatos) ante la presencia de suelos agresivos.

Sus desventajas pasan por el elevado peso de cada tramo de caño, la necesidad de posible instalación de protección catódica para prevenir la corrosión por la acción de corrientes vagabundas y alta celeridad.

La fabricación de las tuberías de hormigón simple o armado siguen los lineamientos generales de toda estructura elaborada con este material. En cuanto a los con alma de acero (Norma AWWA C300) la manufactura comienza con un cilindro de acero soldado al que luego de colocados los aros para las juntas y soldados al cilindro, se lo somete a un ensayo de presión interior para comprobar su estanqueidad.

Se procede a la colocación en posición de los hierros de armadura y a su hormigonado en moldes. El proceso termina con un curado mediante vapor o agua.

En las cañerías pretensadas con alma de acero (Norma AWWA C301) el proceso de manufactura del alma de acero es el descrito anteriormente.

A posterioridad se aplica un recubrimiento interno por centrifugado con un espesor de 1/16 de diámetro en los del tipo recubiertos ("lined") o en molde vertical en los de tipo embebidos ("embebed"), seguido de un curado por agua o vapor.

Se procede entonces a colocar las armaduras de pretensado en forma helicoidal, controlando su tensión, que generalmente es del orden de 1000 a 1500 Kg/cm² y se la recubre con mortero de hormigón, seguido también del correspondiente curado final.

En cuanto a las pretensionadas con alma de acero (Norma AWWA C303) sólo difieren de las pretensadas en que se utilizan barras de acero a las que se les aplica moderada tensión, siendo su sección y separación proporcionales a la presión del diseño y en que el recubrimiento interno ("lined") es de un espesor de ½ pulgada hasta el diámetro de 16 pulgada y de ¾ de pulgada para los de diámetro superior.

Las tuberías de hormigón se calculan como rígidas.

Los diámetros para HS son: 65, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700, 800, 900, 1000 y 1100 mm. Para H°A°: 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400 y 1500 mm en clase I, II, III y IV (ver IRAM 11503).

Es de resaltar que se han fabricado en los EE.UU. tubos pretensados de diámetro DN 6000 mm.

No requieren recubrimiento interno y en cuanto al externo sólo en el caso de suelos agresivos se aplica una terminación de pintura bituminosa.

Las uniones entre tramos se realizan por juntas espiga-enchufe con aro de goma. Las piezas especiales se construyen mediante un cilindro o chapa soldada de acero con recubrimiento interno de mortero de cemento y externo de hormigón armado.

Su ámbito de colocación comprende zanja, terraplén, túnel, cunas de apoyo e instalación submarina.

El peso específico del hormigón es de aproximadamente 2400 Kg/m³ por lo que se puede adoptar para cañerías de hormigón simple un valor de 2450 Kg/m³ y para las de hormigón armado un valor de 2600 Kg/m³ aproximadamente.

Normas de aplicación

Las características de las cañerías de hormigón se encuentran en las siguientes normas:

ASTM C76-77: Standard Specification for Reinforced Concrete culvert, storm drain and sewer pipes.

ASTM C443-79: Joints for circular concrete sewer culvert pipe, using rubber gaskets.

AWWA C300-97: Reinforced Concrete Pressure Pipe, Steel Cylinder Type.

AWWA C301-92: Prestressed Concrete Pressure Pipe, Steel Cylinder Type, for Water and Other Liquids.

AWWA C302-95: Reinforced Concrete Pressure Pipe, nonCylinder Type.

AWWA C304-92: Design of Pretenssed Concrete Pressure Pipe

IRAM 11503: Caños de hormigón no pretensado destinados a la conducción de líquidos sin presión.

IRAM 11513: Caños y piezas de mortero de cemento portland y de hormigón simple, destinados a obras de desagüe cloacal y pluvial. Métodos de Ensayo.

IRAM 11519: 1980. Caños de hormigón pretensado sin cilindro de acero.

IRAM 11570: 1989. Caños de hormigón pretensado. Método para la determinación del coeficiente de permeabilidad al agua del mortero de recubrimiento.

IRAM 11629: 1995. Caños de hormigón armado con malla soldada doblada o en espiral, no pretensados, destinados a la conducción de líquidos sin presión.

OSN 2504/54: Normas para la fabricación y recepción de cañerías de Hormigón Armado.

4.4.5. Cañerías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Las tuberías de polietileno para conducción de fluidos se encuentran en servicio desde hace más de 40 años en Estados Unidos, Canadá y en varios países de Europa.

Las que corresponden a agua potable poseen cuatro bandas equidistantes de color azul coextruidas a los efectos de su identificación, según las normas IRAM.

Entre sus ventajas pueden señalarse la preservación del medio ambiente, ser reciclables, no contaminantes, no transferir sabor a los fluidos que transportan, químicamente inertes, no se incrustan ni corroen, no son atacadas por aguas duras, algas, hongos, bacterias ni la mayoría de los ácidos, poseen muy bajo coeficiente de fricción y elevada resistencia mecánica y ductibilidad, presentan resistencia a la abrasión (fluidos con partículas en suspensión), baja conductibilidad térmica y elevada elasticidad que protegen a los fluidos del congelamiento y se evitan roturas por dichas causas, no son conductores de la electricidad y tienen bajo valor de la celeridad.

Las tuberías de hasta DN 125 mm se fabrican en bobinas continuas de hasta 250 m de longitud que reducen la cantidad de uniones y las posibilidades de pérdidas, manejo que se ve facilitado por su liviandad (peso específico menor que el agua).

El radio de curvatura guarda una relación 15:1 con respecto al diámetro nominal y en el caso de tuberías con uniones 25:1.

El material con que se fabrica el tubo comprende las resinas convencionales o de segunda generación MRS 63 tensión admisible de 6,3 Mpa y los fabricados con resinas de tercera generación MRSD 80 (8 Mpa) y MRS 100 (10 Mpa).

El tubo se manufactura por extrusión en caliente. Esto es un proceso en el cual el material fundido es forzado a pasar a través de un orificio o matriz dimensional acorde con la sección del elemento continuo a producir.

La serie de diámetros nominales, que coincide con el diámetro exterior son: 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1200, 1400, y 1600 mm.

En cuanto a las clases o presión nominal de trabajo son 3,2; 4; 6; 8; 10; 12,5 y 16 bar (Kg/cm²).

Se hace notar que siendo el DN coincidente con el diámetro exterior con el aumento de clase el espesor crece en sentido interno disminuyendo en consecuencia la sección hidráulica neta de pasaje.

Sus principales características mecánicas son:

• Módulo de elasticidad de Young (50 años/20°C)	2340 Kg/cm ²
• Tensión a la tracción (50 años/20°C)	112 Kg/cm ²
• Tensión admisible a la tracción (50 años/20°C)	56 Kg/cm ²
• Peso específico relativo	0,95
• Relación de Poisson	0,40

Para un dimensionamiento se consideran en régimen elástico, es decir como tubos flexibles.

Al ser el polietileno un material altamente resistente a los ataques químicos no se utiliza recubrimiento interno ni externo.

Para su instalación y debido a su elevado coeficiente de dilatación térmica, deben tomarse precauciones especiales tales como juntas de dilatación, liras, ondulación de su eje en zanjas, etc.

Las piezas especiales se fabrican también con polietileno.

La unión de los tramos de tubería entre sí o con las piezas especiales se realiza por bridas previo pestañeo del tubo o por soldadura mediante termofusión.

En la termofusión la superficie de unión de tubos y accesorios son calentados hasta una temperatura específica mediante una herramienta calefactora durante un período de tiempo predeterminado hasta obtener superficies fundidas. Estas son entonces unidas con una presión constante manteniéndolas firmes durante un corto período durante el cual tiene lugar el enfriamiento. El material fundido de las superficies se une entre sí formando una unión completamente homogénea. Los tipos de termofusión más usados son “montura” para derivaciones; enchufe para diámetros menores de 90 mm y a tope para diámetros iguales o mayores de 90 mm.

Para condiciones de difícil accesibilidad el proceso denominado electrofusión permite la soldadura mediante una resistencia eléctrica inserta en el accesorio, que es la que posee el calentamiento necesario para efectuar la fusión. Es de hacer notar que la resistencia es a uso perdido, es decir queda incorporada en la pieza utilizada.

Su ámbito de colocación no tiene restricciones: zanja, terraplén, túnel, cunas de apoyo, instalación submarina y flotante.

Este último tipo de colocación es especialmente apto para cruces de pantanos, mallines, etc. en razón de la flotabilidad del tubo de polietileno debido a su peso específico menor que el agua.

Normas de aplicación

AWWA C901-96: Tuberías y cañerías a presión en Polietileno (PE) de 13 a 76 mm (1/2 a 3 pulgadas) para conducción agua.

AWWA C906-90: Tuberías y cañerías a presión en Polietileno (PE) de 101 a 1600 mm (4 a 63 pulgadas) para conducción de agua.

IRAM 13330: 1967. Tubos de polietileno. Dimensionados por diámetros interiores.

IRAM 13345: 1980. Tubo de polietileno de media y alta densidad. Medidas.

IRAM 13346: 1967. Tubos de polietileno. Métodos de ensayos dimensionales y mecánicos.

IRAM 13464: 1981. Tubos de polietileno de media y alta densidad para conducción de líquidos. Características.

IRAM 13485: 1998. Tubos de polietileno (PE) para suministro de agua y/o conducción de líquidos bajo presión. Requisitos.

ISO 161-1: 1996. Thermoplastic pipes for the transport of fluids – Nominal outside diameters and nominal pressures – Part 1.

ISO 1133: 1996. Plastic-determination of the melt flow rate of thermoplastics.

ISO 1167: 1996. Plastic pipe for the transport of fluid – Determination of the resistance to internal pressure.

ISO 2505-1: 1994. Thermoplastic pipes – Longitudinal reversion – Part 1 – Determination methods.

ISO 2505-2: 1994. Thermoplastic pipes – Longitudinal reversion – Part 1 – Determination parameters.

ISOP 3126: 1974. Plastic Pipes – Measurement of dimensions.

ISO 4065: 1996. Thermoplastic pipes – Universal wall thickness table.

ISO 4427: 1996. Polyethylene (PE) pipes for Water supply – Specifications.

ISO 6964: 1986. Polyolefin pipes and fittings – Determination of carbon black content by calcination and pyrolysis – Test method and basic specification.

ISO TR 9080: 1992. Thermoplastics pipes for the transport of fluids – Standard exploration method for the long term resistance to constant internal pressure.

ISO TR 10837: 1991. Determination of the thermal stability of polyethylen (PE) for use in gas pipes and fittings.

ISO/DIS 12162:1995. Thermoplastic materials for pipes and fittings for pressure applications pipes – Clasification and designation – overall service (design coefficient).

4.4.6. Cañerías de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV)

En la década del ochenta se comienza la fabricación en el país de las tuberías de PRFV.

En este material se han combinado la estabilidad de las resinas a los ataques químicos con la resistencia a la tracción de las fibras de vidrio, pudiéndose lograr así tuberías con esbelteces (relación diámetro espesor) elevadas.

Entre sus principales ventajas pueden mencionarse no transferir sabor a los fluidos transportados, químicamente inerte, no se incrustan ni corroen al no ser atacado por los diversos tipos de agua, bajo coeficiente de fricción, elevada resistencia mecánica, durables, livianas, atóxicas, resistentes a la abrasión, no conductores de la elasticidad y baja celeridad.

Los principales materiales componentes para la fabricación de los tubos son:

- Resinas poliésteres.
- Fibra de vidrio.
- Sílice.

La pared de la tubería es una estructura monolítica compuesta de tres capas a saber:

- Liner. Es una barrera química interna en contacto con el fluido, la que garantiza estanqueidad y resistencia a ataques químicos.
- Núcleo. Garantiza las características mecánicas del tubo.
- Gel Coat. Es la protección externa de la tubería con el agregado de inhibidores de la acción de los rayos ultravioletas.

Los principales tipos de resinas utilizadas para la fabricación del núcleo son:

- Resina de poliéster Isoftálica.
- Resina de poliéster Bisfenólica.
- Resina de poliéster Viniléster.

Se utilizan dos procesos principales para la fabricación del tubo, el de arrollamiento discontinuo y de arrollamiento continuo de las fibras.

En el arrollamiento discontinuo el proceso permite la producción de tuberías de PRFV en longitudes normalizadas (12 m generalmente) en un mandril rotativo. La tubería con refuerzo helicoidal se forma ajustando las velocidades relativas de rotación del mandril y el movimiento horizontal del tren que distribuye la fibra de vidrio impregnada en resina.

Las propiedades de la tubería pueden cambiarse ajustando las proporciones de las materias primas, pudiéndose añadir arena sílicea de alta pureza.

En el proceso continuo se utiliza un mandril reformado en el cual las fibras de vidrio se arrollan de forma continua para posteriormente cortarse a la longitud deseada.

Resinas, fibras de vidrio cortadas, arena sílicea de alta pureza (si se especifica), y fibras pretensadas se aplican en las proporciones adecuadas para conferirle al tubo las características requeridas.

Las principales características mecánicas del material comprenden:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| • Módulo de elasticidad de Young | 70000 a 300000 Kg/cm ² |
| • Tensión a la tracción | 1100 a 7000 Kg/cm ² |
| • Relación de Poisson | 0,35 |

Este tipo de cañería se calcula como flexible.

Los diámetros normales de fabricación son: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 y 2400 mm en las clases 4, 6, 10, 16, 20 y 25 bar (Kg/cm²). Se hace notar que el DN coincide con el diámetro interior por lo que el aumento de clase no modifica la sección hidráulica de cálculo.

Las tuberías y piezas especiales (fabricadas también de PRFV) se vinculan por juntas espiga y enchufe con aro de goma, común o acerrojada; uniones mecánicas (manguitos hembra-hembra con aro de goma); bridas; unión mediante adhesivo o unión soldada.

La colocación puede realizarse en zanja, terraplén, túnel o instalación submarina.

Normas de aplicación

IRAM 13431: 1985. Tubos poliéster insaturado reforzado con fibra de vidrio. Destinados al transporte de agua y líquidos cloacales, con presión o sin ella. Medidas.

IRAM 13432: 1996. Tubos de poliéster insaturado, reforzados con fibra de vidrio, destinados al transporte de agua y líquidos cloacales, con presión o sin ella.

IRAM 13433: 1997. Tubos de plástico reforzados con fibra de vidrio. Determinación de la resistencia química bajo tensión por deformación.

IRAM 13436: 1987. Tubos de plástico reforzado. Método de ensayo de compresión axil.

IRAM 13437: 1987. Tubos de plástico reforzado. Método de ensayo de tracción axil.

IRAM 13438: 1985. Tubos de plástico reforzado. Método de determinación de la resistencia a la tracción circunferencial.

IRAM 13439: 1986. Tubos de plástico reforzado con fibra de vidrio. Método de determinación del coeficiente de rigidez.

IRAM 13440: 1988. Tubos de plástico reforzado. Método de determinación de la estanqueidad de la junta.

IRAM 13480: TPIRFV, (Tubo de Poliéster Insaturado Reforzado con Fibra de Vidrio) directivas para su instalación.

IRAM 13483: TPIRFV, Tubos de PRFV, Criterios y Requisitos de Diseño.

IRAM 13484: TPIRFV, Tubos de PRFV, Bases de Diseño Hidrostático. Ensayo de presión hidrostática a largo plazo.

ASTM D638. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

ASTM D695. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.

ASTM D790. Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

ASTM D1598. Standard Test Method for Time-to-Failure of Plastic Pipe Under Constant Internal Pressure.

ASTM D1599. Standard Test Method for Short Term Hydraulic Failure Pressure of Plastic Pipe, Tubing and Fittings.

ASTM D2105 Standard Test Method for Longitudinal Tensile Properties of "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Tube.

ASTM D2290. Standard Test Method for Apparent Tensile Strength of Ring of Tubular Plastics and Reinforced Plastics by Split Disk Method.

ASTM D2412. Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristic of Plastics Pipe by Parallel-Plate Loading.

ASTM D2924. Standard Test Method for External Pressure Resistance of Reinforced Thermosetting-Resin Pipe.

ASTM D3681. Standard Test Method for Chemical Resistance of "Fiberglass" (Glass-Fiberglass-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe in a Deflected Condition.

ASTM D3839-89. Standard Practice for Underground Installation of "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe.

AWWA C950/95. Appendix A-Design Requirements and Criteria for Fiberglass Pressure Pipe for Water Service.

4.4.7. Cañerías de Policloruro de Vinilo (PVC)

Cuando el policloruro de vinilo fue descubierto en el siglo XIX su futuro no era para nada promisorio. Los científicos observaron la formación de una acumulación blanca en el fondo de los tubos que contenían gas cloruro de vinilo cuando eran expuestos a la luz

solar. Habían observado la polimerización de dicho gas, que significaba la creación de un nuevo material termoplástico.

A pesar de que los primeros resultados de las investigaciones posteriores fueron muy alentadores, ya que se comprobó que este material era prácticamente inerte a la mayoría de los agentes químicos, rápidamente se observó que era muy difícil de procesar. Por lo tanto el PVC fue considerado un descubrimiento científico que no tenía ninguna aplicación aparente.

Recién en la década de 1920 se retoma el tema en EE.UU. y en Europa y en 1930 en Alemania se comienza, con una producción limitada, la fabricación de tuberías de PVC.

La segunda guerra mundial, con su secuela de destrucción hace que en Alemania con su experiencia diera nacimiento a la industria del caño de PVC y en 1941 aparecen las primeras normas (DIN 8061 y 8062) al respecto.

Entre sus ventajas se destacan: no transferir sabor a los líquidos conducidos, químicamente inerte, no se incrusta ni corroe, no es atacado por el agua, muy bajo coeficiente de fricción, durable, no conductor de la electricidad, y liviano lo que facilita su colocación.

En cuanto a sus desventajas, si bien es un producto difícilmente inflamable, se descompone a altas temperaturas generando gases tóxicos y el cuidado que se debe tener en la selección de estabilizantes y compuestos lubricantes para la extrusión dado que pueden ser extraídos del PVC por el agua. A este respecto la norma IRAM 13352 establece los requisitos bromatológicos que deben cumplir las tuberías destinadas a la conducción de agua potable.

El material se obtiene por polimerización (cadenas de muchas moléculas) del monómero, contenido aproximadamente un 5 % del cloro.

Para la fabricación de los tubos se utiliza el proceso de extrusión continua en caliente, es decir el pasaje del material a través de un orificio o matriz acorde al diámetro y espesor del tubo a producir. Posteriormente se lo calibra y enfría con agua para terminar el proceso de fabricación con un tratamiento térmico para formar el enchufe mediante un mandril expansible y el enfriado final.

Las principales características mecánicas del material son:

• Módulo de elasticidad de Young (50 años/20°C)	15800 Kg/cm ²
• Tensión admisible de trabajo	100 Kg/cm ²
• Relación de Poisson	0,40
• Peso específico relativo	1,40

Se calculan como tubos flexibles.

Los diámetros nominales de fabricación local son: 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160, 200, 250, 315, 355, 400 y 500 mm.

Se hace notar que el DN coincide con el diámetro exterior por lo que la sección hidráulica neta de pasaje disminuye con el aumento de clase.

Se producen en clase 6, 10 y 16 bar (Kg/cm²).

Como se ha indicado son químicamente inertes y no se emplea recubrimiento interior ni exterior.

Las tuberías y las piezas especiales, también fabricadas en PVC, se unen mediante junta espiga-enchufe con aro de goma.

El ámbito de colocación habitual es en zanja, terraplén o túnel.

Normas de aplicación

IRAM 13317: 1993. Tubos y conexiones de policloruro de vinilo (PVC) no plastificado. Determinación de la temperatura de ablandamiento "VICAT".

IRAM 13322: 1967. Piezas de conexión de material plástico, de enchufe, para tubos de plástico rígido destinadas a la conducción de fluidos bajo presión. Dimensiones básicas.

IRAM 13324: 1990. Piezas de conexión policloruro de vinilo rígido para tubos del mismo material destinadas a la conducción de fluidos bajo presión. Medidas, Métodos de ensayos y características.

IRAM 13349: 1967. Tubos de material plástico. Dimensiones de presiones normales.

IRAM 13350: 1998. Tubos de policloruro de vinilo (PVC) no plastificado destinado al transporte de líquidos bajo presión. Medidas.

IRAM 13351: 1998. Tubos de policloruro de vinilo no plastificado, destinado al transporte de líquidos bajo presión.

IRAM 13352: 1968. Tubos de material plásticos para conducción de agua potable. Requisitos bromatológicos.

IRAM 13359: 1970. Piezas de conexión de material plástico para tubos destinados a la conducción de agua potable. Requisitos bromatológico.

IRAM 13442-2: 1980. Tubos de policloruro de vinilo rígido. Directivas de procedimiento para efectuar uniones desmontables deslizantes.

IRAM 13445:1979. Tubos de policloruro de vinilo rígido. Directivas generales para el correcto manipuleo, carga y descarga, transporte, almacenamiento y estibaje.

IRAM 13446-1: 1980. Tubos de policloruro de vinilo rígido. Directivas de procedimiento para efectuar la instalación subterránea de tubos y piezas de conexión. Excavación y preparación de zanjas.

IRAM 13446-2: 1980. Tubos de policloruro de vinilo rígido. Directivas de procedimiento para efectuar la instalación subterránea de tubos y piezas de conexión. Preparación tendido de la tubería.

IRAM 13446-3: 1979. Tubos de policloruro de vinilo rígido. Directivas de procedimiento para efectuar la instalación subterránea de tubos y piezas de conexión que no transportan gases inflamables.

IRAM 13446-4: 1980. Tubos de policloruro de vinilo rígido. Directivas de procedimiento para efectuar instalaciones subterráneas. Método de ensayo de resistencia a la presión hidrostática.

IRAM 13397: 1994. Tubos de policloruro de vinilo no plastificado. Determinación de la resistencia a la presión hidrostática interna de larga duración.

IRAM 132399: 1993. Tubos de policloruro de vinilo no plastificado. Determinación de las medidas.

5. COMPUERTAS

Son elementos de cierre que se emplean para regular el caudal en orificios y vertederos.

No se consideran aquí, debido al ámbito de su uso, las compuertas de tipo segmento, basculante, de alza, cilíndricas, Greisser, sector y verticales ya sean de ruedas, orugas o Stroney, de aplicación en grandes obras hidráulicas.

Sólo se analizan las denominadas de tablero vertical deslizantes.

Compuertas de tablero vertical

La denominación de compuertas de tablero vertical se emplea incluyendo todas las compuertas rectangulares apoyadas en guías verticales y en las cuales las compuertas se mueven verticalmente en su propio plano. Los mecanismos están generalmente en un puente superior, y la compuerta se levanta o desciende, según sea el proyecto, desde su posición normalmente cerrada, por medio de cables o vástagos. La compuerta propiamente dicha consiste en un bastidor revestido de una placa, normalmente por su cara de aguas arriba. Esto no presenta dificultades excepcionales para el proyecto, siendo el problema principal la determinación de la disposición de vigas, refuerzos y el grueso del mamparo que ha de conducir a la construcción más económica.

Sin embargo, los elementos tales como juntas estancas, mecanismos de elevación, dispositivos de enclavamiento, guías y otros accesorios necesitan un cuidado meticuloso en su proyecto.

Compuertas deslizantes

En este tipo de compuertas, el bastidor apoya directamente sobre el elemento de guía de aguas abajo, formándose la junta estanca por el mismo contacto de aquellos elementos.

En este tipo de compuerta, el bastidor apoya directamente sobre el elemento guía de aguas abajo, formándose la junta estanca por el mismo contacto de aquellos elementos. El coeficiente de rozamiento de deslizamiento puede variar desde 0,5 a 0,9, por lo que se precisa un mecanismo de gran potencia no solamente para la elevación, sino también para el descenso, ya que únicamente en los tamaños pequeños el peso de la compuerta es mayor que la resistencia de rozamiento que se presenta cuando la compuerta está cercana a la posición de máxima carga de agua.

Las compuertas deslizantes pueden construirse de madera, de acero o hierro fundido según las necesidades de resistencia y duración. Los tabloncillos utilizados para el mamparo de las compuertas deben tener bordes ranurados en los cuales se introducen lengüetas que se dejan sueltas. Los tabloncillos se colocan sin apretar para permitir el aumento de volumen; de otra forma, la compuerta se alabearía al sumergirse, y el contacto de los cantos quedaría destruido. En las compuertas de acero que permanecen normalmente cerradas, bien la guía o bien la pletina de estanqueidad de la compuerta deben ser de bronce, acero inoxidable o elastómeros tales como poli-isopreno (caucho natural), butadieno acrilonitrilo o polímero de etileno propileno para evitar un agrietamiento por oxidación, lo cual sucedería en caso de contacto del acero sobre el acero.

En las construidas en acero se hace necesario un recubrimiento protector de pintura tipo epoxi bituminosa para evitar la acción de los fluidos agresivos al mismo.

Mecanismos de cierre o apertura

Los mecanismos, maniobrados exclusivamente a mano se emplean en general para las compuertas de tamaño más pequeño, aunque muchos de los accionados a motor tienen previsto el accionamiento manual para el caso de emergencia.

Para levantar las compuertas pueden emplearse tanto cables como cadenas, pero los primeros no son recomendables a menos que se tomen precauciones especiales a fin de reducir a un mínimo el deterioro producido por la sumersión.

En una compuerta, el esfuerzo inicial de elevación puede ser considerablemente mayor que el necesario cuando la compuerta está en movimiento. Esto puede ser ocasionado por el esfuerzo necesario para liberar las juntas de estanqueidad, por rigidez en cojinetes, por corrosión de las superficies metálicas, etc. y puede ser importante cuando la maniobra es poco frecuente. En el caso de motores de accionamiento, una reserva del 50 al 100% de potencia o par de marcha normal es deseable.

Los accionamientos manuales son generalmente del tipo pedestal de maniobra provisto de un volante en posición horizontal o vertical y engranajes simples o dobles que accionan un tornillo.

Se los puede proveer de indicador de apertura ya sea del tipo aguja indicadora o por la posición del vástago (tornillo) sobre el volante.

Las compuertas se diseñan sin existir una normatización al respecto.

En cuanto a los materiales a utilizar se debe efectuar una cuidadosa selección en relación al medio y condiciones de durabilidad requeridas y es aconsejable que el proyectista los especifique basado en la normatización habitual tal como ASTM, IRAM, SAE, etc.

6. VÁLVULAS DE CIERRE

Las válvulas de cierre deben estar diseñadas de tal de lograr los siguientes objetivos:

- Seguridad de funcionamiento.
- Garantía de larga vida útil.
- Evitar la corrosión de sus componentes.

En relación a la seguridad de funcionamiento el mismo se logra por una buena estanqueidad entre la compuerta o la mariposa y sus asientos, la disminución del frotamiento de las partes móviles que la componen y un bajo par de maniobra necesario para su maniobra.

La garantía de una larga vida está en relación directa con la selección de los materiales que componen el cuerpo, tapa, eje de maniobra, elemento de cierre, tuercas, etc.

Finalmente si bien la corrosión está ligada a la selección de los materiales empleados, la misma complementariamente se evita por aplicación de revestimiento interior y externos tales como elastómeros o empolvado mediante resina epoxi.

La valvulería de última generación ha incorporado en gran medida los objetivos indicados, con el resultado final de un cuerpo normativo amplio para las de uso en conducción de agua cruda y tratada.

La parte descriptiva de las válvulas esclusas y mariposas se halla tratada en el Capítulo XI Conducción de Agua Cruda y Tratada de las presentes Fundamentaciones.

Los diámetros habituales de fabricación incluyen para las esclusas los DN 40, 50, 65, (bridas DN 60), 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 mm y para los tipo mariposa los DN 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 y 1200 mm.

Se fabrican para una presión de trabajo DN 10,16 y 25 bar (Kg/cm²).

Normas de aplicación

IRAM 556: 1951 N10. Fundición de hierro para válvulas, sus accesorios y piezas de conexión.

IRAM 2518: 1973. Válvulas de fundición de hierro con bridas. Medidas y características de la serie 8,5.

IRAM 2543: 1974 Válvulas de fundición de hierro con bridas. Características generales y métodos de ensayo comunes.

IRAM 2649: 1994. Válvulas de fundición de hierro accionadas con llaves, para instalaciones enterradas.

IRAM 2653: 1997. Válvulas mariposa metálicas para usos generales.

IRAM 2664: 1995. Válvulas esclusas de fundición de hierro.

ISO 4633-1996. Juntas herméticas de caucho – Anillos de juntas para tuberías de suministro de agua, desagüe y alcantarillado – Especificación de materiales.

ISO 5208-1982. Grifería industrial – Pruebas de presión para los aparatos de grifería.

ISO 5752-1982. Aparatos de grifería metálicos utilizados en las tuberías de bridas – Dimensiones entre caras y de cara a eje.

ISO 7005 Parte 2-1998. Bidas metálica – Parte 2: Bidas de fundición.

ISO 7529-1988. Válvulas de compuerta de fundición generalmente maniobradas con una llave de cubo para instalaciones subterráneas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Allied Chemical. Liquid Alum- General Chemical Division.
- Allied Chemical-Aluminium Sulphate.
- American Concrete Pipe Association. Concrete Pipe Handbook. Viena, USA. 1980.
- American Concrete Pipe Association. Concrete Pipe Design Manual. Viena, USA. 1980.
- American Water Works Association. Concrete Pressure Pipe. M9, USA. 1979.
- American Water Works Association. Control de Calidad y Tratamiento del Agua.
- American Water Works Association. Standard for Aluminium Sulfate.
- American Water Works Association. Steel Pipe Design and Installation. M11, USA. 1964.
- American Water Works Association. Syntesis and Properties of Polymers Used in Water Treatment in "Use of Organic Polyelectrolites in Water Treatment".
- American Water Works Association. Water Quality and Treatment. 1991.
- ASCE / American Water Works Association. Water Treatment Plant Design. 1991.
- Azevedo Netto- Richter. Tratamento de Agua.
- Azevedo Netto. Técnica de Abastecimento e Tratamento de Agua.
- Benson – Allied Colloids Group. Basic Principles of Preparing Solutions of High Molecular Weight Polymers.
- Benson – Allied Colloids Group. Selection and Application of Flocculants – Laboratory Evaluation.
- Chlorine Institute. Chlorine Manual.
- Chlorine Institute. The Chlorine Manual.
- Empresa Aguas Argentinas. Especificaciones para la Compra de Cal.
- Empresa Aguas Argentinas. Especificaciones para la Compra de Sulfato de Aluminio, Hipoclorito de Sodio, etc.
- Empresa Obras Sanitarias de la Nación. Normas de Compra de Cal.
- Empresa Obras Sanitarias de la Nación. Normas de Compra de Sulfato de Aluminio.
- Enterprises Cxa. Manejo de Cilindros de una tonelada.
- Fischer & Porter. Manejo y Dosificación de Cloro Gas.
- Fischer & Porter. Technical Information for Handling Chlorine, Sulfur Dioxide & Ammonia from Supply to Point of Application.

- Indian Standard- Specifications for Aluminium Sulphate.
- Instituto Dominicano de Tecnología Industrial. Especificaciones para Sulfato de Aluminio
- Manufacturing Chemist Association, Inc. Chlorine Safety Data Sheet.
- Norma Colombiana N 531 – Sulfato de Aluminio.
- Norma IRAM 1645-2 Cal Viva Para Potabilización de Aguas. Abril de 1997.
- Norma IRAM 1638 Cal Aérea Hidratada en Polvo, Para Potabilización de Aguas. Diciembre de 1996.
- Norma IRAM 41159-1 Sulfato de Aluminio para Potabilización de Agua y Para Usos Generales. Mayo de 1996.
- Norma IRAM 41159-2 Sulfato de Aluminio para Potabilización de Agua y Para Usos Generales. Noviembre de 1996.
- Productos Allied Colloids y American Cyanamid. Hojas de Datos y de Seguridad en el Manejo.
- Proveedores Varios. Especificaciones de Provisión de Cal.
- Proveedores Varios. Especificaciones de Provisión de Sulfato de Aluminio, Hipoclorito de Sodio, etc.
- R. Chamberlain. Polyelectrolite Makeup and Handling – Cyanamid.
- South African Bureau of Standards. Specifications for Aluminium Sulphate.
- Wallace & Tiernan. Chlorine.
- Water Treatment Handbook – Vols 1 y 2. Sixth Edition. Degremont, 1991.
- White. Handbook of Chlorination.