

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA.
Departamento de Ingeniería Química.

**Tesis para Optar por el Grado
de
Master en Saneamiento Ambiental.**



**Definición de Modelo General para el Sistema de Tratamiento de
Agua en Plantas de Obtención de
Agar-Agar.**

Autor:

Ing. Alina García Rodríguez

Tutor:

Dr. Ing. Luis Gómez Rodríguez.

MSc. Ignacio Morrel Flores.

Consultante:

Ing. Ramón Corona Martínez.

Santa Clara , 2001.

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla un Modelo General para el Sistema de Tratamiento de Agua en Plantas de Obtención de Agar Agar, donde partiendo de una revisión bibliográfica sobre los sistemas de tratamiento de agua y el proceso de obtención del agar se alcanzó el desarrollo de un algoritmo de cálculo para el diseño del sistema de tratamiento de agua. La concepción de análisis parte de hacer un análisis de ubicación de la planta, puesto que la misma es alta consumidora de agua y de la calidad de agua requerida. Se valoran las propuestas de macro y microlocalización dentro de la zona central del país, realizándose un estudio de las características del agua en estas zonas. A modo de ejemplo se concibió en la Universidad Central de las Villas un sistema de tratamiento de agua para servir a la tecnología A-3, puesto que esta fuente presenta sus aguas con una composición que se encuentra dentro del rango permisible, con bajo contenido de dureza, apareciendo en pequeñas proporciones el hierro y el manganeso, aunque presenta alta turbiedad y color, pero a su vez presenta buena disponibilidad.

Se analizaron diferentes sistemas de tratamientos, de diferentes categorías y magnitud, para hacer una valoración de la concepción final del sistema de tratamiento de agua, así como se definió las cantidades de agua a utilizar en el proceso por un modelo implementado en Software EXCEL y los tipos de agua (cruda, potable, suavizada y desmineralizada), llegándose a la conclusión de emplearse una Estación de Potabilización Compacta como la que ofrece la Firma ALASTOR-PRENDES.S.A, para el agua potable, un suavizador del tipo M-24 para el agua suavizada utilizada en el sistema de generación de vapor y el sistema de enfriamiento y un desionizador del tipo 346 EPDM para el agua utilizada en el proceso, estando presente en dicho trabajo todos los cálculos de diseño y selección de los equipos, con su correspondiente evaluación económica siendo esta de \$ 11741.50 / año (MN) y \$ 1136.34 / año (MLC).

INDICE

Introducción.....	.....
Capítulo I: Fundamentos teóricos y bibliográficos.	
1.1. Fundamentos sobre el manejo de las aguas en la Industria de	
Procesos Químicos.....	.....
1.1.1. Generalidades sobre el empleo del agua en la industria.....	.....
1.1.2. Particularidades según el empleo del agua en la industria.....	.....
1.2. Fundamentos sobre los Sistemas de Tratamiento del agua para la	
Industria de Procesos Químicos.....	.....
1.2.1. Elementos conceptuales.....	.....
1.2.2. Criterios de diseño y evaluación.....	.....
1.3. Aspectos generales sobre el Proceso de Obtención de Agar Agar.....	.....
1.3.1. Generalidades sobre el Agar Agar.....	.....
1.3.2. Procedimientos de obtención.....	.....
1.3.3. Aspectos sobre la implementación tecnológica de la obtención	
del Agar Agar.....	.....
1.4. Conformación de los Sistemas y Subsistemas, de estudio y evaluación	
en este trabajo.....	.....
1.5. Conclusiones parciales.....	.....
Capítulo II: Identificación de las condiciones y conformación de los Sistemas.	
2.1. Definición de las alternativas de implementación de las tecnologías para la	
obtención de productos a partir de las macroalgas marinas.....	.....
2.1.1. Alternativas de macrolocalización.....	.....
2.1.2. Alternativas ingenieras.....	.....
2.1.3. Alternativas tecnológicas.....	.....
2.2. Identificación y reconocimiento de condiciones de las Fuentes de Suministros.....	.....
2.2.1. Análisis de las fuentes para la ciudad de Santa Clara.....	.....

2.2.2. Análisis de las fuentes para la ciudad de Cienfuegos.....	
2.2.3. Análisis de las fuentes para la ciudad de Sancti Spíritus.....	
2.3. Identificación y reconocimiento de condiciones en los Procesos Consumidores.....	
2.3.1. Identificación de los consumos de agua.....	
2.3.2. Cálculo de los consumos de agua de proceso.....	
2.3.3. Cálculo de necesidades de agua para los Sistemas de Generación de Vapor y Enfriamiento.....	
2.4. Conclusiones parciales.....	
Capítulo III: Desarrollo de Modelo Conceptual para el Sistemas de Tratamiento de Agua.	
3.1. Análisis de sistemas típicos para el tratamiento de agua.....	
3.1.1. Análisis de un Sistema de Potabilización Municipal.....	
3.1.2. Análisis de un Sistema de Tratamiento Industrial.....	
3.1.3. Análisis de otros Sistemas de Tratamientos.....	
3.2. Desarrollo de Modelo Conceptual para el Sistema de Tratamiento de Agua.....	
3.2.1. Definición y representación del Modelo Conceptual.....	
3.2.2. Sub-sistema para agua potable.....	
3.2.3. Sub-sistema para agua de caldera y enfriamiento.....	
3.2.4. Sub-sistema para agua de proceso.....	
3.3. Conclusiones parciales.....	
Capítulo IV: Evaluación del Modelo para una alternativas de implementación concreta	
4.1. Definición de las condiciones.....	
4.2. Estructura del Sistema.....	
4.3. Modelo Matemático para el diseño del Sistema.....	
4.4. Diseño del Sistema.....	
4.4.1-. Cálculo y estimación de los consumos de agua.....	
4.4.2-. Diseño de la Planta Potabilizadora de Agua.....	
4.4.3-. Diseño del resto de los componentes del Sistema de Tratamiento.....	
4.5. Evaluación económica del Sistema.....	
4.5.1-. Costo de la Estación de Tratamiento de Agua Potable.....	

4.5.2-. Costo del Sistema de Suavizado de Agua.....
4.5.3-. Costo del Sistema de Desionizado de Agua para el Proceso.....
4.5.4-. Indices de Costo Generales del Sistema de Tratamiento de Agua.
4.6. Conclusiones parciales.....

Conclusiones.

Recomendaciones

Bibliografía.

Anexos

Introducción

Se ha estimado que no menos del 80 % de todas las enfermedades en el mundo se asocian con el agua no potable o de mala calidad. Para evitar todos estos riesgos y garantizar la potabilidad de la misma es de gran importancia su tratamiento y desinfección, por ello el agua segura es un factor importante para la prevención de enfermedades hídricas. Una de las materias primas más importantes e indispensables en la Industria Química es el agua, destinada a diferentes usos en el proceso y con determinadas características según los requerimientos.

Para los procesos industriales, al igual que para la obtención de agua potable, se establecen criterios de calidad que determinan los parámetros que se deben cumplir en el tratamiento de agua de acuerdo al uso a que se destine.

En el proceso de obtención de Agar Agar el consumo de agua es elevado, por lo que es necesario, elevar la calidad de la misma con un adecuado tratamiento tanto para agua potable como para agua utilizada en las calderas, enfriamiento, en el proceso (agua desionizada, suavizada, etc.), lo cual se puede lograr a través de procesos físico-químico, biológico, operaciones de separaciones mecánicas (convencionales y no convencionales) y operaciones de transferencia de masa.

El tratamiento de agua potable para flujos pequeños se puede establecer a partir de un sistema compacto que tiene alta eficiencia y garantiza la calidad de agua deseada, además los costos son menores y ocupa un espacio menor.

Por todo lo antes expuesto se pone de manifiesto la importancia de abordar el estudio de la temática del tratamiento de agua para usos industriales, hacia lo cual se dirige este trabajo, en el que se plantea la siguiente hipótesis:

Hipótesis: Se logra concebir un sistema de tratamiento de agua para las exigencias de una planta de obtención de Agar Agar, con lo cual queda establecida toda una concepción metodológica que puede perfectamente emplearse en diferentes situaciones y alternativas.

Para demostrar la misma se trazan los siguientes objetivos:

Objetivos

- 1º. Desarrollar, a partir de una revisión bibliográfica general, una Base de Información sobre los sistemas de tratamiento de agua para la industria que facilite en un futuro la concepción de dichos sistemas para posibles inversiones de la obtención de agar agar en Cuba.
- 2º. Enriquecer la Base de Información con elementos característicos de las Fuentes de Abasto que pudieran participar en los suministros de agua en posibles microlocalización de tales inversiones.
- 3º Identificar las condiciones y definir las exigencias, en el empleo del agua en el Proceso Tecnológico de obtención de Agar Agar.
- 4º Concebir un Modelo General de Sistema de Tratamiento de Agua para una Planta de obtención de Agar Agar.
- 5º Demostrar la utilidad del Modelo General a partir de la definición, diseño y evaluación de un Sistema de Tratamiento de Agua para una condición de implementación concretamente considerada.

Para dar cumplimiento a estos objetivos se desarrollarán las siguientes tareas:

Tareas

- 1º Revisión de la bibliografía especializada relacionada con el tema objeto de estudio, así como informaciones recientes obtenidas a través de la INTERNET, criterios de expertos y consulta de otras fuentes.
- 2º Caracterización de las fuentes de abasto que pudieran participar en los suministros de agua en posibles localizaciones para la implementación de una de obtención Agar Agar.
- 3º Identificación y definición de las exigencias de la calidad del agua a utilizar en el Proceso Tecnológico de Obtención de Agar Agar.
- 4º Descripción de una estrategia metodológica para la concepción de un modelo general de tratamiento de agua para una planta de obtención de Agar Agar.
- 5º Aplicación de la metodología que define el modelo general de diseño y evaluación de un sistema de tratamiento de agua para una planta de obtención Agar Agar de acuerdo a una metodología establecida y su microlocalización.

Capítulo I: Fundamentos teóricos y bibliográficos.

1.1. Fundamentos sobre el manejo de las aguas en la Industria de Procesos Químicos.

El agua es una de las sustancias más difundidas y abundantes en el planeta Tierra. Es parte integrante de la mayoría de los seres vivos tanto animales como vegetales, y está presente en cantidad de minerales. Apropriadamente se le denomina "el solvente universal" y es un raro caso de sustancia que está presente en nuestro entorno, en los tres estados físicos: gas, líquido y sólido. En el Anexo I se resumen algunas propiedades significativas del agua.

La misma constituye una sustancia que la industria usa en tan vastas cantidades que sobrepasan por mucho a todos los otros materiales: por ejemplo se requieren más de 250 toneladas de agua para fabricar una tonelada de acero, más de 700 toneladas para fabricar una tonelada de papel y más de 1200 toneladas para hacer una tonelada de Aluminio. Esta lista se puede proseguir y se verá que, prácticamente, en cualquier industria el mayor tonelaje de material manejado es el agua.

1.1.1. Generalidades sobre el empleo del agua en la industria.

La literatura, (*Díaz, R., 1987*), de forma general, establece de modo primario la siguiente clasificación para el agua en función de su empleo:

- I. Agua para el consumo humano (agua potable).
- II. Agua para consumo industrial.

Es de señalar que en la industria se emplea también el agua potable.

Las fuentes de suministro de agua pueden ser aguas superficiales (presas, ríos, lagunas, canales, lagos, etc.) o pueden ser aguas subterráneas (pozos profundos, manantiales o galerías filtrantes, etc.). Cualquiera que sea la fuente de abastecimiento el agua contendrá impurezas, ya que no existe agua material que sea químicamente pura. En diferentes fuentes de abastecimientos, estas impurezas pueden variar, ya sea en el tipo y cantidad que contengan.

De hecho en muchas fuentes de abastecimiento, la composición del agua varía en diferentes períodos y sobre un rango más o menos amplio. Este es especialmente el caso con las corrientes superficiales que pueden mostrar, no únicamente cambios debido a las estaciones del año, sino también debido a las

lluvias y a menudo presentan variaciones de hora en hora. Por lo tanto cada industria exige características especiales, las cuales pueden ser mas o menos en concordancia con el proceso productivo en particular. Los suministros de agua industrial, según *Nordel, 1984*, deben ser:

suficientemente abundantes para cubrir los requerimientos presentes y futuros,

(1) disponibles a suficientes niveles de flujo y presiones para satisfacer las máximas demandas y proveer una protección adecuada contra incendios y

(2) ser de calidad apropiada para los usos finales.

Aún cuando estos tres requisitos parezcan casi obvios, comenta *Nordel, 1984*, se ha dicho cínicamente que la única cosa que no se considera al seleccionar los sitios de instalación de plantas son los suministros de agua. Hasta cierto punto, esto ha sido verdadero, especialmente en el pasado, pero no de una manera exclusiva. Las plantas se han erigido donde no hay la suficiente agua disponible; se ha supuesto que los suministros de pozo profundo son inextinguibles; consumidores de grandes cantidades de agua se han amontonado en pequeñas áreas; se han instalado tomas adyacentes a las salidas de drenaje; los efectos de la marea en las corrientes que descargan en los océanos han sido pasados por alto; y muy a menudo se ha supuesto que un suministro natural de agua que era claro, incoloro y potable, requeriría ningún otro tratamiento, excepto, posiblemente, para usarse en las calderas.

Actualmente en Cuba, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente ha venido estableciendo reglamentaciones que exigen la disposición de una licencia ambiental como requisito para el acometimiento de inversiones. Por ello, en la etapa de proyección de las obras, los inversionistas tienen que acometer un estudio de impacto ambiental que entre un conjunto amplio de efectos medioambientales se encuentra el manejo e interacción por la inversión de las fuentes de abasto del agua. Además de ello, el Departamento de Planificación Física territorial tiene que otorgar otra licencia para el aprovechamiento de cualquier fuente, lo cual se otorga luego de cuidadosos estudios de disponibilidad.

Para considerar que la fuente está disponible a una obra concreta deben tenerse en cuenta los aspectos ya comentados por *Nordel, 1984* y expuestos a continuación:

Abundancia. Al seleccionarse un sitio para una planta nueva, las investigaciones mostrarán cuáles son apropiados para proporcionar suficiente agua de una calidad que pueda ser tratada simple y económicamente para llenar los requisitos de sus varios usos. Abastecer agua en cantidad adecuada a una planta cuyos suministros están disminuyendo o son sobrepasados, no es una cosa simple. Si se trata

de un pozo profundo, el primer paso que se toma usualmente, es profundizar el pozo, pero esto no se puede hacer indefinidamente. Espaciar los pozos o adquirir un nuevo campo de bombeo, es la mejor medida. En algunos casos el uso de pozos de absorción para aprovechar las aguas superficiales o en todo caso hacer uso de ellas directamente, puede ser posible. Si el suministro de agua superficial disminuye con las estaciones, puede ser posible o necesario un embalse para su desarrollo. Otros pasos que se deben tomar en muchas plantas industriales, son:

- Disminuir las pérdidas,
- Estudiar las operaciones de la planta y encontrar la manera de volver a usar el agua.
- Tratar, de recobrar y reusar tanta agua como sea posible.

Los ahorros de agua que se pueden alcanzar por estos medios son sorprendentemente grandes. Cuando un gran número de usuarios tienen el interés común de conservar el agua, se puede concertar una acción común regida por juntas de comités reguladores y por el libre intercambio de información.

Flujos, Presiones y Almacenamiento. Los flujos de que se debe disponer, deben siempre basarse en las demandas máximas y no en los promedios. De aquí que las tuberías, bombas, sistemas de distribución, válvulas, etc., deben ser lo suficientemente grandes para manejar estas cargas. Asimismo, todo el equipo que vaya directamente al servicio, deberá ser lo suficientemente grande para manejar los máximos flujos. Con equipo tal como filtros, o intercambiadores de iones, usualmente se emplea una batería de unidades, de manera que, cuando una unidad de la batería está fuera de línea, en lavado o regeneración, las otras unidades de la batería puedan tomar toda la carga. El equipo de tratamiento no deberá forzarse más allá de su capacidad de diseño. De hecho, debe recalcarse que las garantías de manufactureros se aplican solamente cuando no se excedan esos límites. Los tanques de almacenamiento elevados intercalados en la línea, son de valor para mantener una presión constante del agua, proveer agua bajo presión para protección contra incendios, especialmente en caso de falla de fuerza. Tanques almacenadores al nivel de suelo pozos claros, también se emplean frecuentemente para tomar las fuertes demandas y reducir el tamaño de los filtros u otros equipos, los cuales, si estos depósitos son lo suficientemente grandes, pueden ser operados bajo flujo constante. Donde se emplean plantas de bombeo, casi siempre se usa equipo gemelo movido por motores de combustión interna, para proveer de agua en caso de falla de fuerza.

Calidad: La calidad de agua requerida depende de su uso o usos finales. Ya que la tolerancia para algunas impurezas varía con estos usos, la calidad del agua requerida en cada caso puede diferir grandemente. Por ejemplo, el agua de mar, con clorinación intermitente, puede ser bastante satisfactoria para algunos propósitos de enfriamiento, y completamente inadecuada para calderas, para otros usos en equipo de enfriamiento, para muchos procesos húmedos, y obviamente, como agua de beber.

Si un agua dura es adecuada para ciertos usos, no hay ninguna necesidad de tratar la porción requerida para ellos. Para aquellas porciones requeridas para otros usos, en algunos casos, puede ser necesario, únicamente una forma de tratamiento, tal como ablandamiento, mientras que en otros casos puede requerirse tratamientos separados.

Si el agua dura no es apropiada para todos los usos de la planta, por ejemplo si es muy turbia, si tiene alto color o contiene hierro y manganeso, puede emplearse una planta central para eliminar estas impurezas, seguida o acompañada de cualquier otro tratamiento o tratamientos que puedan requerirse para proveer agua de la calidad adecuada para esos varios usos.

Para ciertas aplicaciones, la calidad del agua requerida es tan alta, que demanda prácticamente la remoción completa de todas las impurezas. Para la gran mayoría de los usos, sin embargo, la calidad del agua requerida no es tan alta y sería innecesario y antieconómico proceder a remover todas las impurezas en tales casos. En lugar de esto, lo que se requiere es, ya sea una remoción prácticamente completa de sólo las impurezas dañinas, o su reducción a márgenes no perjudiciales (tolerancias).

Ahora, independientemente del destino del agua, resulta necesario seguir las siguientes orientaciones (*Díaz, R., 1987*):

1. Es imprescindible definir un criterio de calidad para el agua, que tenga en cuenta que sustancias y en qué concentraciones son permisibles para la misma.
2. Cualquier criterio de calidad que se plantee dependerá del uso que se le de al agua posteriormente.
3. Los criterios de tratamiento de agua deben responder a los criterios de calidad establecidos y por lo tanto al uso que se le de al agua.
4. Los criterios de calidad no deberán ser rígidos y deberán estar sometidos continuamente a análisis.
5. Al establecer cualquier criterio de calidad, no deberán ignorarse ni la factibilidad técnica ni la económica para lograrlo.

Para el agua potable deben seguirse normas de calidad establecidas para cada país (*Normas NC-93-02*). Existen normas de calidad también para aguas de uso industrial.

1.1.2. Particularidades según el empleo del agua en la industria.

Según (*Díaz, R., 1987*), las aguas industriales se clasifican en:

1. Aguas que intervienen directamente dentro del Proceso (como Materia Prima).

Las normas dependen del tipo de producción y tecnología utilizada.

2. Aguas que intervienen en servicios generales del proceso

- Generación de vapor.
- Calentamiento.
- Enfriamiento.

Deben cumplir requisitos específicos.

3. Agua para la limpieza de equipos e instalaciones (Puede ser Agua Potable).

Mejor calidad en dureza.

4. Agua para resolver los requerimientos higiénicos sanitarios del personal (Agua Potable).
5. Aguas para el sistema contra incendio.

Por su parte, *E. Nordel, 1984*, en su obra de dos tomos clasifica también las aguas industriales de una manera muy parecida, como a continuación se presenta:

- 1) Agua de alimentación de calderas.
- 2) Agua de enfriamiento.
- 3) Agua de proceso.
- 4) Agua para propósitos generales.

Agua Potable. (Winnacker, 1958).

Las aguas potables deben ser limpias, inodoras y frescas, carecen de materias en suspensión, siendo las temperaturas más convenientes las comprendidas entre 7° y 10 °C. Estas aguas no deben contener sulfídrico. La presencia de nitritos, nitratos y amoníaco en pequeñas cantidades no es dañina en sí, pero indica que el líquido ha estado en contacto con albuminoides en descomposición y que, por lo tanto,

solo puede ser usado con precaución. Las sales de hierro y de manganeso no son deseables porque comunican al agua un sabor astringente, manchan las ropas y promueven el desarrollo de ciertas algas que asimilan éstas sales metálicas. Un contenido moderado de sales, sobre todo de bicarbonatos, mejora el sabor del agua. El agua pobre en sales, especialmente si es destilada, tiene sabor soso. La cantidad de sales puede llegar a 600 mg/l.

El agua captada no siempre reúne las precisas condiciones de potabilidad. No sólo es necesario eliminar las materias que son nocivas para la salud, sino las substancias que pueden corroer las tuberías y dificultar en alguna forma el suministro de agua. Existen impurezas que, sin dañar la salud, son perjudiciales, como, por ejemplo, las que hacen que las aguas sean turbias, contengan materias en suspensión o sales de hierro y de manganeso, productos todos que enlodan las tuberías de la red de distribución y aumentan sensiblemente el costo del servicio. También es preciso eliminar el carbónico que ataca sensiblemente algunos materiales, tales como el hierro y el hormigón.

Agua de Proceso.

La calidad de agua requerida para diferentes procesos varía en un amplio rango. También puede ser puntualizado que la calidad de agua requerida para un proceso dado, hoy en día, puede ser bastante diferente de la calidad usada en el pasado. Frecuentemente, se ha encontrado que un mejoramiento en la calidad del agua de proceso no únicamente mejora la calidad del producto final, sino que también incide en la economía del proceso y en el mantenimiento (*Nordel, 1984*).

Como agua de proceso puede utilizarse calidades de agua que van desde el agua cruda (proceso de obtención de cemento) hasta el agua estéril (proceso de elaboración de sueros fisiológicos). En este rango se incluyen aguas con diferentes grados de desmineralización.

En particular el agua estéril puede o no contener minerales, pues su condición fundamental es que sea un agua desprovista de microorganismos vivos, pero lo más frecuente en los procesos tecnológicos que la emplea, es que esta agua esté prácticamente desionizada. Por ejemplo, según *NC 26-87-4/1984*, el agua estéril para inyectables debe estar exenta de partículas o sustancias extrañas, transparente, inodora e incolora, sin sustancias oxidables, sin metales pesados y un mínimo de resistencia eléctrica de 25 Kohm.

Agua para Servicios (Díaz, R., 1987).

Entre los servicios generales que utilizan agua se encuentran los de generación de vapor y enfriamiento. En la Tabla 1.1 se resume una subclasificación de las aguas empleadas en estos sistemas.

Aguas para Calderas (Díaz, R., 1987).

Se debe contar con agua de alta calidad, pues existe la posibilidad de que se arrastren sólidos en el vapor, los cuales se depositan en los álabes de las turbinas y reducen su eficiencia.

Para calderas donde el vapor se recircula totalmente como condensado, solamente se requiere protección anticorrosiva y chequeos periódicos del agua del sistema para verificar su contenido de sólidos disueltos, las concentraciones de cromato de sodio recomendadas oscilan entre 500 – 2000 mg/dm³ si se utiliza nitrato de sodio tamponado con borato de sodio, es necesario como mínimo 2000 mg/dm³.

Con respecto a las aguas de alimentación de caldera, según American Water Work Association (AWWA) y la American Boiler Manufacturers Association (ABMA) plantea las características recomendadas para aguas de alimentación a calderas en función de la presión de operación expresadas en la tabla 1.2. (1 MPa = 10⁶ Pa = 10 atm). En la tabla 1.3 se presenta las normas de calidad del agua para Calderas según *I. K. Winnaker et al., 1958*.

Aguas para Calentamiento (Díaz, R., 1987).

Se debe mantener un bajo contenido de sólidos suspendidos en el sistema, lo que permite evitar trastornos en los equipos de bombeo siempre que no existan fugas. Por lo general, las fuerzas, escapes, salideros, etc. determinan que como promedio el sistema pierda un volumen completo de agua durante un mes de trabajo, de ser esto así requiere mantener un control de la corrosión con cromato de sodio entre 500 – 2000 mg/dm³, nitrato de sodio, 2500 mg/dm³, o sulfito de sodio 50 – 100 mg/dm³.

A medida que la presión de trabajo del sistema aumente a partir de 1.5 MPa será necesario utilizar un agua completamente desionizada y desaerada para la alimentación del sistema.

El agua del sistema deberá mantenerse en un valor de pH mínimo de 9.5, una concentración de sulfito de sodio entre 50 – 100 mg/dm³ y una concentración de fosfatos entre 30 – 60 mg/dm³.

Aguas de Enfriamiento con circulación en sistemas abiertos (Díaz, R., 1987).

Para los sistemas abiertos con recirculación la dureza de calcio y la alcalinidad del agua de reposición deberán ser lo suficientemente bajas como para que al ocurrir la evaporación en el sistema (torre de enfriamiento, etc.) y concentrarse los sólidos no se produzcan incrustaciones apreciables, por otra parte el agua del sistema deberá ser tratada periódicamente con inhibidores de la corrosión, secuestrantes, así como, con inhibidores de algas y bacterias.

Los sólidos disueltos totales del sistema no deben sobrepasar los 2000 mg/dm³. Otras especificaciones recomiendan emplear un agua de reposición con una alcalinidad entre 15 – 25 mg/dm³, mantener la alcalinidad del sistema entre 50 – 100 mg/dm³, el pH entre 6 – 8 y los sólidos suspendidos entre 100 y 150 mg/dm³.

En los sistemas que emplean torres de enfriamiento de madera, el contenido de cloro activo no debe ser superior a 1 mg/dm³ y el pH no debe ser superior a 7.0.

Tabla 1.1. Aguas Industriales en Servicios Generales. (Díaz, R., 1987)

Aguas de Generación de Vapor.	Aguas de Calentamiento	Agua de Enfriamiento		
		Sistemas con Circulación		Sistemas sin Circulación
		Sistema Abierto	Sistema Cerrado	
<p>Estas varían en dependencia del tipo de caldera utilizada y la presión de trabajo. Los problemas más frecuentes son de corrosión y formación de incrustaciones en la caldera y accesorios.</p> <p>Los problemas más grave en las turbinas y calderas son causados por los silicatos, que a presiones de 4 MPa 40 atm subliman pasando al vapor, depositándose en las álabes en forma de incrustaciones cristalinas severas.</p>	<p>Se puede producir en lugar de vapor, agua caliente a una presión superior a la atmosférica. Esto es provechoso cuando se trata de industrias grandes, los diámetros de tubería requeridos son muy inferiores a los necesarios para el vapor, comúnmente se produce agua entre 120 – 220 °C a presiones entre 0.2 – 2 MPa o 2 - 20 atm.</p> <p>Esta agua se transforman vapor a bajas presiones o agua a menor temperatura en los intercambiadores de calor.</p>	<p>Incluyen torres de enfriamiento, piscinas y otros equipos donde el agua se enfría nuevamente por contacto con el aire, en estos casos, debido a la evaporación que ocurre, los sólidos se concentran en el agua, el agua se satura de gases de la atmósfera O₂, N₂, CO₂, recoge polvo en cantidades apreciables, así como microorganismos y esporas y su exposición al sol puede provocar frecuentemente en crecimiento masivo de algas, tanto en los equipos como en las aguas.</p>	<p>Frecuentemente producto de escapes y salideros de agua se contaminan y existen pérdidas.</p> <p>En los sistemas cerrados con recirculación no suelen presentarse problemas de incrustaciones siempre que el agua de reposición mantenga su calidad, pero son frecuentes los problemas de corrosión.</p>	<p>Toman el agua de enfriamiento de una fuente natural y una vez utilizada la devuelven a dicha fuente en un punto donde no la contaminen térmicamente.</p>

Tabla 1.2. Características recomendadas para aguas de alimentación a calderas (Díaz, R., 1987)

Presión en MPa		Constituyente (mg / dm ³)													
		Dureza total	Alcalidad total	Hidróxido (como CaCO ₃)	Silicato (como SiO ₂)	Oxígeno disuelto	Sólidos disueltos	Sólidos Suspendedos	pH	Aceite	Hierro	Cobre	Sulfato de Na.	Fosfato	Dispersante Orgánico
Presión Baja	hasta 1.7	0	-	150-300	100-133	0.015	3000-5000	300-600	9.5	1.0	-	-	30-60	40-80	50-75
Presión Media	1.7-2.0	0	700	-	50-67	-	3500	300	-	-	-	-	-	30-50	-
	2.0-3.0	0	-	130	50-67	-	3000	-	-	-	-	-	-	30-50	-
	3.0-3.3	0	500	100	50-67	0.07	2500	150	-	1.0	-	-	-	20-40	-
Presión alta	3.3-4.0	0	500	100	19-25	-	2500	150	-	-	-	-	-	20-40	-
	4.0-5.0	0	400	100	19-25	-	2000	100	-	-	-	-	-	20-40	-
	5.0-6.0	0	300	100	7.5-10	-	1500	60	-	-	-	-	-	20-40	-
	6.0-6.7	0	250	50-75	7.5-10	-	1250	40	-	-	-	-	-	20-40	-
	6.7-8.3	0	200	50-75	3.8-5	-	1000	20	10.3-10.8	-	-	-	-	20-40	-
	8.3-10.0	0	200	50-75	2.1-9	-	1000	20	10.3-10.8	-	-	-	-	20-40	-
Presión muy alta	10.0-13.3	0	150	-	0.8-1.1	-	750	-	10.3-10.8	-	-	-	-	20-40	-
	13.3-16.7	0	100	-	0.3-0.5	-	500	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.7-20.0	0	100	-	0.09-0.13	-	500	-	-	-	-	-	-	-	-
Super-crítica	Más de 20	0	-	-	0.02	0.05	0.05-0.5	-	90-96	-	0.01	0.01	-	-	-

Tabla 1.3 : Normas para las aguas de alimentación de calderas de vapor (<i>Winnacker et al. 1958</i>).							
Presión de la caldera en atm. abs	Tipo de Caldera	Carga de la superficie de calefacción en Kg/m ² h	Materia en Suspensión mg/l	Coloides		Pureza Grado Alemana dH°	O ₂ mg/l
				Aceite mg/l	SiO ₂ mg/l		
1-15	Tubular de caldeo interior	< 20	0.01		< 20	< 8	
	Multitubular	< 18				< 6	
	Cilindrica	< 15					< 0.5
	Con hervideros y poca carga.	< 25				< 1	
15 - 25	Tubular. Carga moderada	< 35	0	< 5		< 0.3	< 0.1
25 – 50	Tubular	Ilimitada	0		< 10	< 0.2	< 0.05
50 – 100	C. de radiacion			0		< 0.1	< 0.05
100 – 150	C. Benson	Ilimitada únicamente para agua condensada purísima.					

Aguas de Enfriamiento con recirculación en sistemas cerrados (Díaz, R., 1987).

Se recomienda mantener el sistema con una concentración mínima de 200 mg/dm³ de cromato de sodio como agente anticorrosivo y un pH entre 7.0 – 8.5.

Aguas de Enfriamiento sin recirculación (Díaz, R., 1987).

Las aguas de enfriamiento sin recirculación deberán estar libres de sólidos suspendidos que puedan depositarse en el sistema y causar tupiciones, así como de contaminación apreciable con organismos vivos.

La turbiedad no debe ser superior a 50 unidades, el hierro y el manganeso en conjunto, inferior a 0.5 mg/dm³ y los sulfatos menos de 5 mg/dm³, estos valores se pueden aplicar también a sistemas abiertos con recirculación.

Aguas para usos generales (Nordel, 1984).

Este término se usa para cubrir el agua empleada en otros usos además del de alimentación de calderas, enfriamiento y proceso húmedo. Obviamente, el agua que se suministra para el uso del personal, debe

cumplir con calidad bacteriológica y deberá también estar libre de olores y sabores objetables. Por lo que respecta al agua para lavaderos, regaderas, etc., no debe ser muy dura.

1.2. Fundamentos sobre los Sistemas de Tratamiento del agua para la Industria de Procesos Químicos.

El tratamiento de agua consiste en un conjunto de operaciones o procesos de carácter mecánico, físicos y/o químicos que permitan la reducción de las impurezas que la acompañan hasta un grado tal que esté acorde con las especificaciones que demanda el uso a que se destine.

Para propósitos industriales, las impurezas que pueden estar presentes en el agua se pueden agrupar de la siguiente manera:

- sustancias minerales disueltas,
- gases disueltos,
- turbidez y sedimento,
- color y materia orgánica,
- olores, sabores y microorganismos.

Perjuicios que se derivan del uso de las aguas no tratadas.

El agua sin tratar o indebidamente tratada puede ocasionar serias interferencias y graves contra tiempos en la mayor parte de los procesos industriales, por ejemplo, en un equipo industrial prácticamente utilizado en todas las industrias: los Equipos Generadores de Vapor o Calderas.

Los principales inconvenientes y perjuicios ocasionados en estos equipos por el agua no tratada caen fundamentalmente dentro de algunas de las siguientes características:

- a) Incrustaciones
- b) Corrosión
- c) Arrastre
- d) Cristalización

Es por ello que se hace obligatorio y riguroso el tratamiento de las agua para la alimentación a las calderas.

En general el agua debe ser tratada en dependencia de su función en el modo siguiente:

La FILTRACIÓN o la DECANTACIÓN es indispensable si hay arrastres de barros o limos.

El ABLANDAMIENTO tiene como objeto evitar la presencia de sales de calcio y magnesio, responsables de las incrustaciones.

La DESMINERALIZACIÓN evita un elevado contenido en sales disueltas. Algunos métodos tienen fines específicos, como evitar la presencia de sílice, hierro o manganeso, etc.

La DEGSASIFICACIÓN elimina gases disueltos, generalmente oxígeno y anhídrido carbónico, que producirán corrosiones.

La ÓSMOSIS mediante membranas semipermeables está adquiriendo gran importancia en la desalinización de aguas con elevado contenido salino y estabilización de aguas problemáticas.

1.2.1. Elementos conceptuales asociados a sus Tratamientos.

Además de que las aguas se clasifican por sus aplicaciones, ligado a estas también se clasifican según sus propiedades organolépticas y su dureza. Las propiedades organolépticas están muy vinculadas con el agua potable, sin embargo con relación a la dureza, esta tiene mayor incidencia en las aguas industriales.

Caracteres organolépticos (Winnacker et al., 1958)

Cuando el agua se infiltra en los terrenos va disolviendo las sales más diversas, según sea la composición de los estratos que atraviesa. De la capa superior donde se disuelve la vida orgánica, va tomando, en primer lugar, cantidades de CO₂ y de compuestos nitrogenados, como NH₃, nitritos y nitratos. Esta agua, que es rica en CO₂, al profundizar más ataca las rocas sedimentadas y, sobre todo, a los compuestos de calcio, hierro y manganeso, que son muy abundantes. Estos elementos pasan al agua casi siempre en forma de bicarbonatos. De los sedimentos de origen marino el agua toma yesos y cloruros de los metales alcalinos o alcalinotérreos. De esta forma el agua se va cargando de sales y en este estado aflora en los manantiales.

El agua de río, en cambio, por su fuerte proporción de agua superficial, contiene las sales en mucha

menor cantidad, pero está mucho más impurificada por las diversas materias que las enturbian, tales como productos en suspensión, lodos orgánicos e inorgánicos, porque el agua de manantial experimenta una filtración natural al atravesar las capas del terreno.

Para calificar un agua se juzga por su color, su sabor y su olor, siendo este el criterio más primitivo, sin embargo, es el más imprescindible para decidir sobre la bondad de un agua natural.

Dureza.

Las aguas pueden considerarse según la composición de sales minerales presentes en:

- Aguas Duras: Importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.
- Aguas Blandas: Su composición principal está dada por sales minerales de gran solubilidad.
- Aguas Neutras: Componen su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor de pH.
- Aguas Alcalinas: Las forman las que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando en consecuencia el valor del pH presente.

Para su utilización práctica las aguas se clasifican según la cantidad de sales de calcio y de magnesio que contengan, o sea, por su dureza (*Winnacker et al., 1958*). Esta confiere al agua una propiedad característica, fácil de determinar. El concepto de dureza, que indica el contenido total de un agua en sales alcalinotérreas, se expresa en grados, que son diferentes según los países.

Las sales de magnesio se deducen de la valoración de la cal en la proporción siguiente: MgO: CaO = 1,4 : 1. Como la dureza de las aguas se debe casi siempre y de manera preponderante a la presencia de sales cálcicas, el valor de las magnésicas puede despreciarse.

Las aguas se clasifican, por su dureza, de esta manera:

Grados alemanes	Categoría
0 – 4	muy blandas
4 - 8	blandas
8 - 12	semiduras,
12 – 18	algo duras
18 - 30	duras
más de 30	muy duras.

Por lo general, las aguas de río no son más blandas que las de los manantiales, y cuando éstas brotan en terrenos de rocas primitivas dan aguas más blandas que las que atraviesan terrenos calizos. Los pozos y manantiales dan aguas de una dureza bastante constante, mientras que las de río pueden experimentar oscilaciones según las épocas del año. En primavera, época del deshielo, o si se producen lluvias abundantes, la dureza puede disminuir de una manera rápida y considerable; en cambio, durante el estío y en épocas de grandes calores puede sobrepasar sus valores normales. Estos factores deben ser tenidos en cuenta para el empleo del agua en sus diversos usos.

Formas de las durezas: Dureza debida a los carbonatos y no debida a los carbonatos (Winnacker et al., 1958).

Según lo que ocurra con la dureza al hervir un agua, se distinguen dos clases de durezas:

- Dureza debida a los carbonatos, denominada dureza temporal, es la que procede de los bicarbonatos de Ca y Mg, y desaparece por ebullición.
- Dureza permanente, es la que no se debe a los carbonatos y no desaparece al hervir el agua; debe ser atribuida a la presencia en el agua de sulfatos, cloruros, nitratos y silicatos alcalinotérreos.

La dureza temporal produce las conocidas incrustaciones de color gris amarillento, debidas a los carbonatos de Ca y Mg formados por descomposición de los bicarbonatos:



La dureza permanente sólo produce éstas precipitaciones cuando se evapora muy fuertemente, por ejemplo en las calderas de vapor. Estas sales que dan lugar a la dureza se caracterizan porque a medida que aumenta la temperatura va disminuyendo su solubilidad. Por esta causa, cuando se vaporiza muy fuertemente se forman incrustaciones, con mayor facilidad en las proximidades de las superficie de caldeo que en el resto de la solución, las cuales se depositan en los tubos calefactores, o sobre las paredes de la caldera, formando una incrustación sólida y compacta.

Desmineralizado del Agua.

Teniendo en consideración de que el agua cruda contiene sustancias sólidas en suspensión y sustancias disueltas, las sustancias sólidas en suspensión pueden ser eliminadas por el proceso de coagulación, sedimentación, filtración y las sustancias disueltas sin “embargo” se encuentran íntimamente mezcladas con el agua incluso la mayor parte disociadas en sus respectivos iones, por cuyo motivo no pueden separarse de aquella mediante simples procesos mecánicos, y es necesario recurrir a un tratamiento químico más complejo.

La desmineralización del agua puede efectuarse siguiendo las siguientes vías (**LIPEZA**):

- ❑ EVAPORACION / DESTILACION
- ❑ MEMBRANAS
 - Ultrafiltración, ósmosis inversa
- ❑ PRECIPITACIÓN QUÍMICA
 - Cal en caliente, cal en frío
- ❑ INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico es la forma industrial más frecuente, y puede desarrollarse para:

- Suavización.
- Desalcalinización.
- Desmineralización.

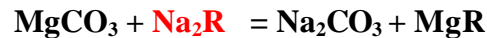
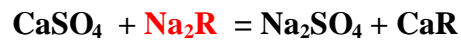
En la tabla 1.5 se ofrece de forma resumida una comparación entre los tres efectos.

Suavizado: El agua cruda al contener sales productoras de durezas tales como el calcio y magnesio, para la remoción se aplica el proceso de suavizamiento por intercambio iónico, mediante el cual se elimina la dureza hasta valores de 0-2 ppm, en este caso se utiliza una resina donde ocurre el proceso de intercambio iónico entre los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) del agua y los iones sodio (Na^+) de una solución de sal (NaCl) saturada (*Laza, A., 1987*).

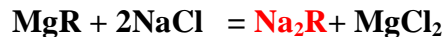
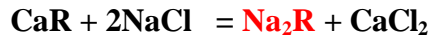
Reacción que ocurre durante (*Laza, A., 1987*):

Na_2R (Sustancia intercambiadora, resina, donde R, representa el radical complejo de la resina y Na representa el sodio). En la tabla 1.6 se presenta la clasificación de las sustancias intercambiadoras.

a) Ciclo de suavizamiento.



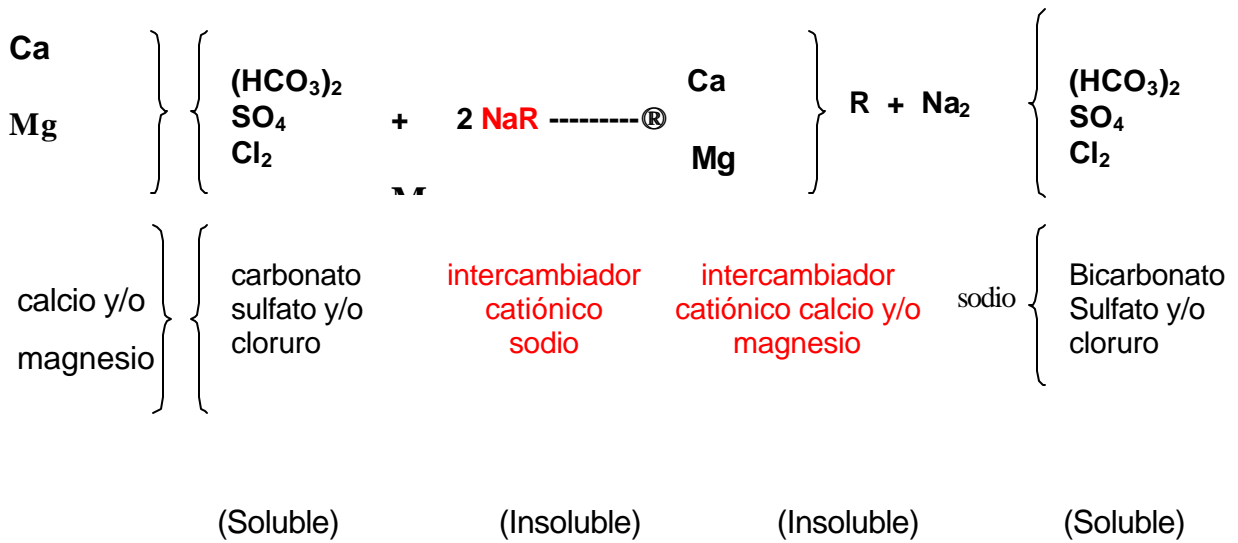
b) Ciclo de regeneración.



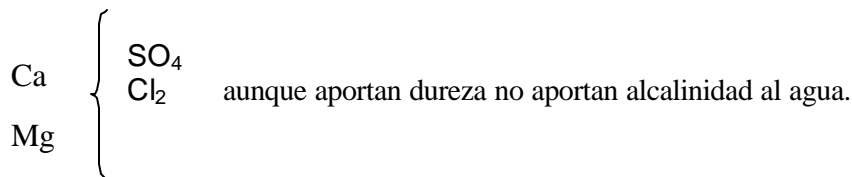
Resina

Regenerada

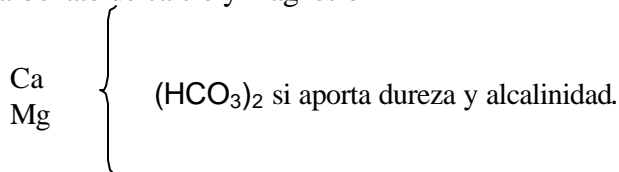
Desmineralización: Cuando el agua dura se pasa a través de un lecho de un intercambiador catiónico el calcio y el magnesio se fijan en el intercambiador catiónico, el que transfiere a la solución una cantidad equivalente de sodio, como se explicó en el suavizado del agua. Usando el símbolo R para el radical intercambiador, las reacciones de ablandamiento son:



Como se puede observar en la reacci\u00f3n anterior de los componentes del agua dura que entra a los suavizadores el sulfato y el cloruro de calcio y magnesio (*D\u00edaz, R., 1990*).



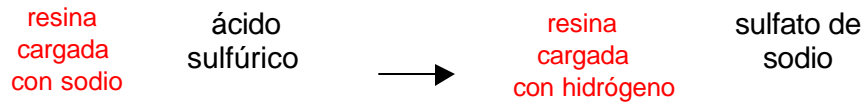
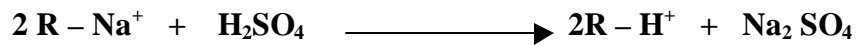
El bicarbonato de calcio y magnesio



De los componentes del agua ya suavizada ninguno aporta dureza, pero el bicarbonato de sodio $[\text{Na}_2 (\text{HCO}_3)_2]$ si aporta alcalinidad por lo que se deduce que toda la alcalinidad que entra al suavizador sale; es decir, los suavizadores no eliminan alcalinidad s\u00f3lo eliminan dureza (*D\u00edaz, R., 1990*).

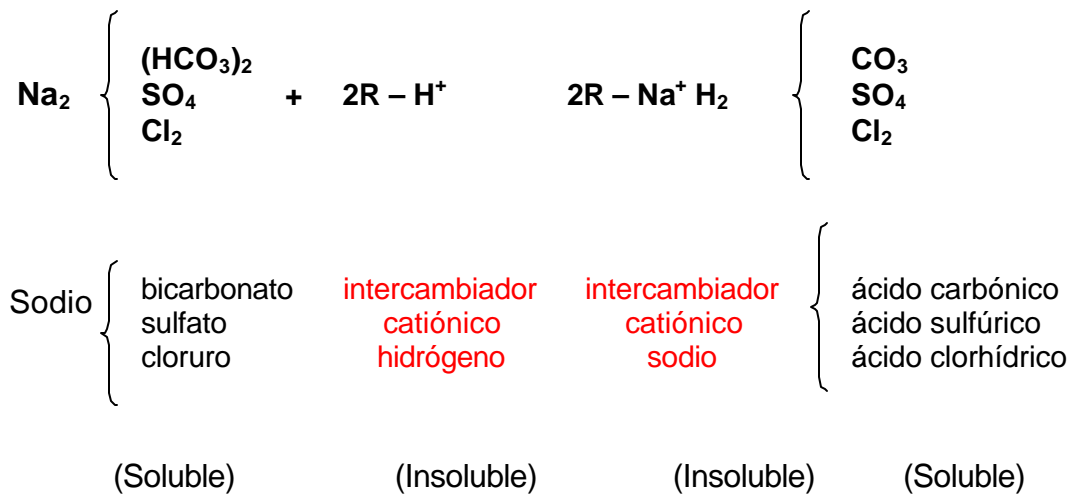
Precisamente esa agua suavizada (sin dureza y con alta alcalinidad) es el agua que se alimentará a los intercambiadores i\u00f3nicos de una Planta Desmineralizadora que tienen intercambiadores cargados con resina cati\u00f3nica fuertemente \u00e1cida en ciclo sodio (Na^+) similar a la resina de los suavizadores, con la diferencia de que la resina trabajar\u00e1 en ciclo hidr\u00f3geno (H^+), por lo que se hace necesario antes de poner en l\u00ednea la Planta regenerar la resina con la soluci\u00f3n de \u00e1cido sulf\u00farico.

La reacción que ocurre en la resina es la siguiente (Díaz, R., 1990):



ya teniendo la resina cargada con iones hidrógeno (H⁺) estamos en condiciones de hacerle pasar el agua suavizada (sin dureza y con alcalinidad).

Al realizar esta operación ocurrirán las siguientes reacciones de intercambio.



Debemos señalar que de los tres componentes del agua suavizada de alimentación a los intercambiadores el sulfato y el cloruro de sodio tiene valores muy bajo en comparación con el contenido de bicarbonato de sodio, lográndose el agua desmineralizada.

Descarbonatación (Díaz, R., 1990).

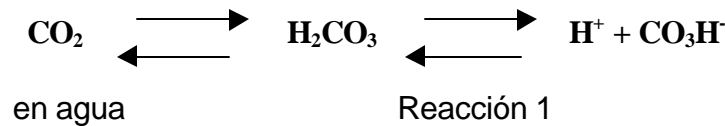
Los gases disueltos en el agua, provienen de la atmósfera, de desprendimientos gaseosos de determinados subsuelos, y en algunas aguas superficiales de la respiración de organismos animales y vegetales. Los gases disueltos que suelen encontrarse son el oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico presente, que proceden de la atmósfera arrastrados y lavados por la lluvia, de la respiración de los

organismos vivos, de la descomposición anaeróbica de los hidratos de carbono y de la disolución de los carbonatos del suelo por acción de los ácidos, también puede aparecer como descomposición de los bicarbonatos cuando se modifica el equilibrio del agua que los contenga

El gas carbónico se disuelve en el agua, una parte, en forma de gas y la otra, reaccionando con el agua para dar ácido carbónico de naturaleza débil que se disocia como ión bicarbonato e ión hidrógeno, el que confiere al agua carácter ácido.

También el agua sometida a desmineralización presenta un alto contenido de bicarbonato provocando su carácter ácido. Como puede observarse en la reacción anterior al alimentársele al agua contenidos de bicarbonato de sodio (alcalino), en la resina cargada con iones hidrógeno (H^+) ocurre una reacción de intercambio; donde la resina “secuestra” al sodio y cede el hidrógeno, por lo que el agua de salida contendrá grandes cantidades de ácido carbónico (H_2CO_3) y acidez mineral libre (AML) en valores de aproximadamente 60 ppm y un pH extremadamente bajo (3-4).

El ácido carbónico (H_2CO_3) es un ácido débil y no siempre está totalmente disociado:



La disociación depende de la disponibilidad de los componentes en la reacción, de éstos la concentración de iones H^+ es el factor más influyente. A altos pH cuando la concentración de iones H^+ es baja la reacción 1 va completamente a la derecha mientras que en soluciones fuertemente ácidos (como es nuestro caso) todo el CO_2 permanece como gas disuelto en el agua.

Para uso normal la teoría plantea que para valores de pH inferiores a 3,8 no existe el ion CO_3H^- porque la reacción 1 se desplaza hacia la izquierda.

De todo lo anterior se deduce que el agua de salida de los intercambiadores iónicos tiene AML y que todo el ácido carbónico se encuentra como CO_2 disuelto en el agua, lo que le imprime a ésta un carácter extremadamente agresiva o corrosiva.

Esta agua posteriormente se mezcla con agua suavizada (de alta alcalinidad) en proporciones definidas (aproximadamente 70% de agua suave y 30% de agua ácida) obteniéndose un agua con baja alcalinidad 40-60 ppm de AT), un pH aproximado de 6-6,5 y continúa siendo muy corrosiva, pues todavía

contiene todo el CO_2 disuelto el cual será fácilmente eliminable de la solución. El CO_2 es escasamente soluble en agua y puede ser eliminado si el agua es puesta en contacto con una atmósfera que tenga poco contenido de CO_2 . Esto puede ser hecho en una torre decarbonatadora o desgasificadora. Como es obvio el pH del agua aumentará producto de la eliminación del CO_2 ; se obtendrá valores de 7-8.

Tabla 1.5: Procesos típicos de tratamientos de intercambio iónico. (LIPEZA)

Criterios		Suavización o ablandamiento	Desalcalinización				Desmineralización
Función		Remoción de la dureza (Ca y Mg)	Reducción de alcalinidad constituida principalmente por bicarbonatos normalmente asociados con dureza.				Remoción completa de los minerales disueltos.
Características		Sólidos totales disueltos del agua no cambia Se intercambia el Ca y Mg por sodio	Proceso requerido en tratamiento de aguas de caldera, fabricación de bebidas, licores, fábricas de hielo y otros productos alimenticios				Para aguas totalmente puras
Tipo de Resina		Resinas catiónicas fuerte en ciclo sodio	Resina catiónica débil	Resina catiónica débil Resina catiónica fuerte	Resina catiónica débil Resina aniónica fuerte	Resina catiónica fuerte Resina aniónica fuerte	Resina catiónica fuerte Resina aniónica fuerte
Regeneración		Con salmuera	Con ácido sulfúrico.	Con ácido sulfúrico y con salmuera		Con salmuera ambas	Con ácido sulfúrico y con hidróxido de sodio
Remoción	Ca²⁺	Total	Parcial	Total			Total
	Mg²⁺	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	
	Na⁺				Total		
	HCO₃⁻						
	Cl⁻						
	SO₄²⁻				Total		
	NO₃⁻						
SiO₄	Nula						
Ventajas		Bajo costo de equipos Bajo costo de operación Alta capacidad de intercambio	Suaviza el agua Bajo costo de operación Equipo menos costoso				Producción de agua para calderas de presión mediana, alta y supercrítica Remoción de Sílice
Limitaciones:		Agua para calderas de baja presión (< 450 psi)					

Tabla 1.6. Clasificación de Sustancias intercambiadoras. (Díaz, R., 1987)

Según su función química				Según su naturaleza			
Catiónicos		Aniónicos		Minerales naturales	Minerales artificiales	Orgánicos	
Intercambian cationes		Intercambian aniones		Son compuestos minerales que se encuentran en yacimientos naturales.	Son preparados artificialmente por el hombre.	Son compuestos orgánicos.	
Fuertes	Débiles	Fuertes	Débiles	Sílicoaluminato		Resinas sintéticas	Carbones sulfonados
(RSO_3^-)	(RCOO^-)	Aminas cuaternarias	Grupos funcionales de distinto tipo.	. Zeolitas		Se confeccionan de poliestireno o estireno con divinil benceno.	Se producen por sulfonación controlada de carbón antracítico.
Intercambian todo tipo de cationes.	Intercambian cationes de sales de ácidos débiles.	Fijan todos los aniones.	Solo fijan los aniones de ácidos fuertes	. Glucoritas			
				. Bentonitas			
				. Algunas arcillas			

1.2.2. Criterios de diseño y evaluación de sus Tratamientos.

Depuración de las aguas potables (Winnacker et al.,1958).

Se realiza en tres fases:

- Clarificación y filtración.
- Desacidificación, desferrado, desmanganización.
- Esterilización.

Clarificación y filtración. Las sustancias en suspensión en el agua, sea de naturaleza inorgánica u orgánica, pueden ser eliminados por filtración o por clarificación, o bien usando procesos simultáneamente. Para separar impurezas de un tamaño relativamente grande se emplean los decantadores. Los decantadores suelen ser estanques planos de unos 2 a 3 m de profundidad, cuyas dimensiones se calculan basándose en una permanencia del agua en ellos, de más de 6 horas; la velocidad de paso es de 60 a 100 mm por hora. Ni las arcillas finas, materias húmicas o coloides pueden ser separadas por simple clarificación mecánica.

Para conseguirlo se incorporan al agua agentes floculantes que, coagulándolos, se arrastran hacia el fondo. Corrientemente se emplean con este fin el sulfato de alúmina, el cloruro de hierro o el aluminato sódico, cuerpos que reaccionan con los carbonatos del agua de la manera siguiente.



El hidróxido de hierro a aluminio se precipita en capas voluminosas que dan lugar al efecto de clarificación. Por lo general, es suficiente una dosis de 40 g por metro cúbico. Conviene tener en cuenta que un exceso de sales de hierro puede dar lugar a una modificación en el sabor del agua y que el punto óptimo de efecto de la clarificación depende del pH del líquido. Ambos factores deben determinarse por ensayos previos, y si hace falta debe ser corregido el pH del agua añadiéndole cal.

Sigue a la clarificación la filtración, pues nunca se consigue en un tiempo breve la separación total de las materias en suspensión. Para facilitarla, se hace pasar el agua a través de capas de arena que retienen

las sustancias en suspensión. Los granos del filtro de arena no actúan simplemente de una manera mecánica, sino que también eliminan los gérmenes vivos y retienen por adsorción los coloides.

Los filtros pueden ser lentos o abiertos, y cerrados o rápidos. El material más apropiado para filtros es el cuarzo en gravilla o arena, de grano de 0.5 hasta 1 mm . El agua se filtra pasando por el filtro de arriba hacia abajo, y la limpieza de éstos se realiza circulando el agua en sentido contrario, removiendo la capa filtrante de arena por soplado, con aire a presión o agitándola mecánicamente. Tratándose de filtrar pequeñas cantidades, dan buen resultado los filtros de tierra de infusorios, de porcelana porosa, o las bujías huecas de Berkefeld. Estos aparatos, además de la filtración, producen una notable esterilización del agua.

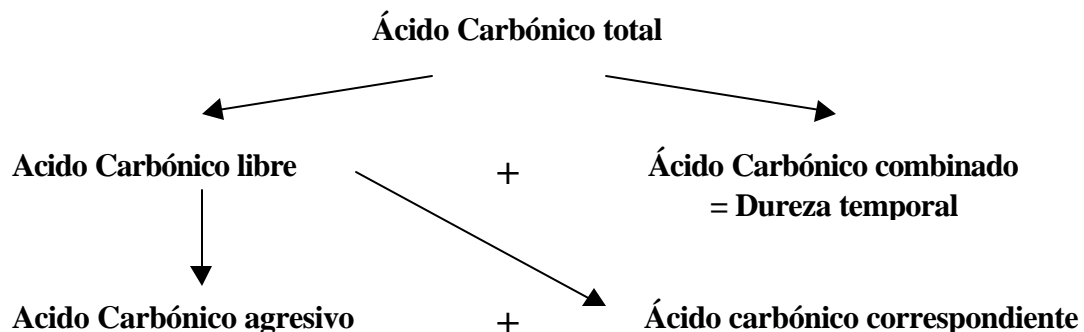
Desacidificación, desferrado, desmanganización. La depuración de las aguas potables por clarificación y filtración, únicamente se suele realizar tratándose de aguas superficiales, pues las subterráneas, de fuente o de pozo, suelen salir por lo regular exentas de materias en suspensión; en cambio, contiene casi siempre ácido carbónico y hierro.

El ácido carbónico está presente en diversas formas, una parte combinada en forma de bicarbonatos, por cuya causa se denomina ácido carbónico combinado. Los carbonatos alcalino térreos no son estables en solución por sí mismo, sino que necesitan la presencia de una cantidad de CO₂ variable con la temperatura, es decir, requieren el CO₂ preciso para mantener el equilibrio.



Tillmann, 1932 propuso denominarle carbónico libre correspondiente. Únicamente el CO₂, que excede la cantidad de CO₂ libre correspondiente, es agresivo, es decir, puede disolver la cal.

Esquemáticamente puede representarse estas condiciones de la manera siguiente:



Sólo poseen propiedades agresivas aquellas aguas que presentan una proporción bien definida entre la dureza y el ácido carbónico. Como se comprende, las aguas blanda, que tienen una escasa cantidad de CaO, pueden ser más agresivas que las duras. Es suficiente un pequeño exceso de CO₂ para rebasar las condiciones del equilibrio CaO/CO₂. Si un agua contiene CO₂ agresivo, al pasar por una tubería de hierro la ataca y finalmente la destruye por disolver al hierro en forma de bicarbonato. Si en el agua existe equilibrio CaO/CO₂, tan pronto como la tubería sufre el más mínimo ataque dicho equilibrio se rompe y se precipita CaCO₃ ; como este cuerpo se deposita sobre las paredes de la tubería en una forma muy compacta, la capa compacta, la capa formada impide que el ataque continúe. En consecuencia, en la práctica se elimina el CO₂ de las aguas agresivas hasta que se restablezca el equilibrio CaO/CO₂.

Técnicamente, la desacidificación se realiza de muy diversas maneras, a veces se deja caer el agua en forma de lluvia sobre rejillas o cañizos, o se pulveriza. Otras veces se combina el CO₂ en exceso con lechada de cal, o filtrando el agua a través de mármol. Se emplea la pulverización de agua cuando es considerable la dureza que el agua experimenta al adicionar lechada de cal o por la filtración a través del mármol. Los dosificadores de cal trabajan automáticamente y no siguen ninguna atención; en lugar de filtros de mármol se emplean con éxito los filtros Magno. La masa filtrante es una dolomita semicalcinada, o sea, una mezcla de CaCO₃ + MgO.

Las aguas carbónicas casi siempre son ferroginosas, conteniendo el hierro disuelto en forma de bicarbonatos. Para una buena agua potable, destinada a la bebida, la cantidad de hierro nunca debe exceder de 0.1 mg Fe/L. El hierro no se separa fácilmente por clarificación y filtración, sino que es preciso oxidarle convirtiéndole en hierro trivalente. Esta operación se lleva a cabo en instalaciones abiertas, en las que el agua cae en forma de lluvia, o cerradas con aire a presión. El aire expulsa el CO₂ mientras que el agua se precipita en forma de capas de Fe(OH)₃ que pueden separarse fácilmente por filtración.

Como se ve el desacidificado y el desferruginado puede llevarse a efecto en una sola operación. La oxidación y el filtro se colocan en serie en el interior, en recipiente cerrado. El manganeso también se separa por oxidación, aunque no con tanta rapidez como el hierro. Para eliminar el manganeso se emplean filtros especiales, llenos de gravillas que contiene dióxido de manganeso, o también pirolusita granulada. Tanto para la eliminación del hierro como para la del manganeso es conveniente separar

previamente las materias orgánicas.

Las materias orgánicas, de ordinario no son dañinas en tanto no procedan del metabolismo animal o humano. Estas materias se pueden coagular por tratamientos con sulfato de aluminio, o FeCl_3 , combinando con otro tratamiento con cal. La materia orgánica contenida en el agua se determina por oxidación con KMnO_4 en solución ácida.

Esterilización. La mayor parte de las aguas naturales contienen seres vivos, gérmenes que casi nunca son productores de enfermedades. Los servicios de agua que suelen centralizarse en depósitos reguladores deben determinar, de un modo continuo, el número de gérmenes contenidas en ellas, investigando además su clase, y sobre todo, determinando los colibacilos que dan origen a enfermedades intestinales. El número de gérmenes no debe exceder de 10 unidades por cm^3 y nunca debe contarse entre ellos el *Bacterium Coli*. Cuando hay sospechas de contaminación, y los análisis sucesivos revelan un número considerable de gérmenes, es preciso esterilizar las aguas. El método más corriente se basa en el empleo de cloro. Según ciertos métodos se inyecta cloro gaseoso directamente en las tuberías, operando a presión; también se puede incorporar al agua una solución de cloro (procedimiento Clorator y Bamag). Otros métodos usan cloramina, cloruro de cal concentrado (Caporit), o simplemente lejías de blanqueo (hipoclorito sódico). Por lo regular, una cantidad de 0,3 a 0,5 mg/L es suficiente para matar todos los gérmenes.

Como el cloro, aún usado en dosis mínimas, irrita las mucosas, muchas veces las aguas esterilizadas de esta manera resultan desagradables. Este inconveniente se evita sometiendo el agua al método Adter, que consiste en clorar fuertemente el agua y frotarla después por carbón activado. Este procedimiento se emplea en especial tratándose de aguas superficiales que siempre es preciso esterilizar con cloro.

Comparados con la cloración, los demás procedimientos de esterilización sólo tiene una importancia muy relativa. La esterilización por el ozono o por la acción de los rayos ultravioletas, que también se aplican circunstancialmente, sólo son practicables donde la energía eléctrica es barata. Tampoco se ha generalizado el método Katadyn, propuesto por Krause, que filtra el agua y la esteriliza obligándola a pasar a través de anillos Rasching plateados o cobreados, a causa de su instalación complicada y sensibilidad a las materias en suspensión. Estos procedimientos conservan su interés para pequeñas instalaciones.

Depuración de las aguas industriales.

Cuando se requiere un tratamiento para ajustar el agua a uno de sus usos, el tipo de equipo de tratamiento que se usará depende de cierto número de factores, entre los cuales los más importantes son, la composición del agua dura y la calidad del efluente requerido. Así, la calidad requerida por un agua de alimentación de calderas, por ejemplo, no es necesariamente la calidad que debe tener otra agua de calderas; similarmente, la calidad requerida por agua de enfriamiento o un proceso, no es necesariamente la misma que la requerida por otro proceso u otro sistema de enfriamiento (*Nordel, 1984*).

Agua de Proceso (*Nordel, 1984*).

Algunas aguas, por supuesto, pueden no requerir ningún tratamiento o posiblemente sólo clorinación para ser usadas en ciertos procesos. Otras pueden requerir únicamente una reducción en la dureza del bicarbonato. Por otra parte, otros muchos procesos requieren un agua que esté prácticamente libre de dureza y el tratamiento que usualmente se emplea será el del proceso de intercambio catiónico ciclo sódico, o en algunos casos, un proceso en dos pasos, cal en frío e intercambio catiónico ciclo sódico.

Respecto a la remoción prácticamente completa de impurezas, ha habido siempre algunos procesos que demandan tan alta calidad de agua, pero hasta el advenimiento de los procesos de desmineralización por intercambio iónico, el único método disponible para la producción de agua de tan alta calidad, fue el proceso relativamente caro de la destilación. De aquí que, debido al alto costo del agua destilada, su uso estaba limitado a procesos en que era completamente necesaria, y aún entonces se usaba con suma mesura. Pero, el intercambio iónico, que tiene bajo costo de operación con relación al costo de operación de la destilación, ha sido usado no solamente a procesos que anteriormente usaban agua destilada, sino que también a un gran número de otros procesos donde antiguamente los costos de un agua de tan alta calidad los hacía prácticamente prohibitivo.

Agua para calderas.

Para lograr un agua adecuada para la alimentación de calderas se emplean los sistemas de intercambio, estos pueden variar en su complejidad en dependencia de la calidad del agua requerida. El intercambio único se conoce como tratamiento externo del agua para la caldera (*Díaz, R., 1987*).

Si se trata de calderas que operan a baja presión, es suficientemente remover la dureza, lo que puede ser efectuado usando un intercambiador catiónico de sodio. Para calderas que operen a una presión un poco más alta, la remoción de la dureza y reducción en la alcalinidad y sólidos totales, puede ser requerida, y esto se efectúa ya sea por un proceso en caliente o por un tratamiento en dos pasos, cal en frío o intercambio catiónico, o por intercambio catiónico en ciclo de hidrógeno seguido por neutralización con sosa cáustica, o más comúnmente con el efluente de un proceso de intercambio catiónico en ciclo sódico. Para calderas que operan a presiones aún más altas, puede requerirse no solamente la remoción de la dureza y la reducción de los sólidos totales y alcalinidad, sino que también se requiere una marcada reducción en el contenido de sílice, y esto se puede efectuar en un proceso simple usando ablandadores en caliente, haciendo uso del principio de los lodos suspendidos, o mejor, usando un proceso de dos pasos utilizando el ablandador anterior en el primer paso seguido de un intercambiador catiónico o un tratamiento por fosfatos en el segundo paso. Las calderas que operen a presiones muy altas, pueden requerir la remoción prácticamente completa de todas las impurezas, lo que puede efectuarse por una desmineralización por intercambio iónico o por destilación. También, debe añadirse que el grado de desaeración requerido por todas las calderas, excepto por las que operan a baja presión, es tan alto que demanda prácticamente la remoción completa de todos los gases disueltos para oxígeno disuelto, menos de 0.005 ml/L. (*Nordel, 1984*)

En la tabla 1.7 se ha resumido los criterios presentados por (*Díaz, R., 1987*) sobre la aplicación de tratamientos al agua para calderas en función de la presión de operación de las mismas. Como se observa, con el incremento de la presión se incrementan las exigencias de desmineralizado y más exigente son los tratamientos necesarios.

El tratamiento completo de las aguas utilizadas para la generación de vapor incluye además, la adición de sustancias anticorrosivas, antiespumantes, reguladoras del pH, etc. Las adiciones se hacen directamente al domo de la caldera. Esta práctica es conocida como tratamiento interno.

Agua de enfriamiento.

Los tratamientos de aguas de enfriamiento, también difieren de acuerdo con la composición del agua cruda desde el descubrimiento de los procesos de desmineralización por y de uso, como sigue: (1) un paso y al drenaje; (2) un paso y luego usadas para otros propósitos; (3) recirculadas en un sistema abierto (con torres enfriadoras); (4) recirculadas en sistemas cerrados. Para (1) con algunas aguas, posiblemente no se requiere tratamiento, o únicamente clorinación, mientras que para otras, la posible reducción de la dureza de bicarbonato puede ser necesaria para tratamiento ácido. Para (2) el agua puede ser tratada de manera de hacerla útil para propósito de enfriamiento y otros usos posteriores como por ejemplo, reducción de la dureza de bicarbonato por el proceso de cal en frío, o su completo ablandamiento por intercambio catiónico o por el proceso en dos pasos, cal en frío e intercambio catiónico en ciclo sódico (*Nordel, 1984*).

Para (3) puede posiblemente requerirse un tratamiento de cal en frío más una pequeña dosis de ácido, y para (4) el posible tratamiento por proceso de intercambio catiónico ciclo sódico, o en algunos casos, desmineralización por proceso de intercambio iónico (*Nordel, 1984*).

Teniendo en cuenta los grandes volúmenes de agua empleados en los sistemas sin circulación, no suele usarse tratamiento alguno para el acondicionamiento de estas aguas, pues no resulta económico (*Díaz, R., 1987*).

Tabla 1.7: Variantes en Tratamiento de Agua para Calderas. (Díaz, R.,1987)					
Criterios	Presión de Operación (MPa)				
	< 0.6	0.6-1.0	1.0-10		10-15
Suavizado	X Cat.F/ciclo Na ⁺	-	-		-
Desmineralizado Resinas Separadas	-	X Cat.F/ciclo H ⁺ Anion.D	X Cat.F/ciclo H ⁺ Anion.F | Cat.F/ciclo H ⁺ 2 (Anion.D)		X Cat.F/ciclo H ⁺ Anion.F
Desmineralizado Lecho Mixto	-	-	-		X
Descarbonatación	-	X	X		X
		Después de Interc Anión.	Entre Interc. Cat.-Anión.	Entre Interc. Anion-Anión	Entre Interc. Cat.-Anión.
Parámetros					
Dureza	Baja (5-10 mg/L)	Baja	Baja		Baja
Salinidad	Constante	Baja (10-20 S)	Baja (5-10 µS)		Baja < 0.2 µS
Contenido de SiO ₃ ⁻²	Constante	Constante	Baja		
Categorías					
Tipo de Agua	Agua Blanda	Agua Desmineralizada			
Número de Columnas de Intercambio Iónico	1	2	2	3	3

Agua para usos generales (Nordel, 1984).

En muchos casos donde se requiere ablandamiento, únicamente el suministro de agua caliente se ablanda y esto puede ser efectuado por intercambio catiónico en ciclo sódico, el agua se ablanda antes de pasar a los calentadores, pero con suministros de agua extremadamente dura, también el agua fría se ablanda ya sea total o parcialmente. Cuando se efectúa en las plantas cualquier operación de lavado, toda el agua usada, tanto caliente como fría, deberá ablandarse por un proceso de intercambio catiónico en ciclo sódico, ya que el agua completamente blanda es mucho mejor para otras muchas operaciones de limpieza. El agua requerida para limpieza de suelos, no requiere tratamiento.

Especificidades para las Aguas de alimentación de Calderas de Vapor (Winnacker et al.,1958).

En primer lugar hay que separar las materias más gruesas, después las coloidales y, finalmente, las substancias disueltas y los gases.

Clarificación: Las impurezas más bastas arrastradas por las aguas fluviales, tales como hojas, trozos de madera, etc., se retienen con una criba, muchas veces, éstas cribas son movidas mecánicamente, como las cribas ordinarias de tambor o los cedazos mecánicos. Las cribas se mantienen siempre limpias regándolas con chorros de agua. Enseguida se eliminan por sedimentación las arenas y los cuerpos que se sedimentan con facilidad. Los depósitos horizontales de sedimentación se disponen de tal manera que el agua pueda permanecer en ellos durante varias horas, más paredes transversales hacen dar al agua repetidos cambios de dirección para que se depositen las materias en suspensión. El cierre se evacúa de una manera continua o intermitente. Por lo regular, los depósitos levantadores suelen tener una profundidad de 2 a 3 m, y la clarificación en ellos dura más de seis horas, no debiendo exceder la velocidad del agua de 60 a 100 mm/h.

Filtración: Los decantadores aligeran considerablemente el trabajo de los filtros que se colocan a continuación de ellos. Pueden ser filtros lentos de poca altura, o filtros rápidos altos. En ambos casos pueden ser cerrados o abiertos. Los filtros lentos son depósitos de hormigón, de poca altura, que, como es natural, ocupan bastante sitio. Como material filtrante se emplea la arena de cuarzo, de granos de diverso tamaño. Como material de soporte se emplea grava bastante gruesa, y encima se coloca la capa realmente filtrante de arena de grano fino, 0.5 hasta 1 mm. Cuando esta capa superior se ha ensuciado tanto que disminuya el rendimiento del filtro, es sustituida por otra nueva.

La velocidad de la filtración es de 10 a 12 cm/h. Los filtros rápidos se llenan de arenas uniformes, de 0,3 a 0,6 mm, depositadas sobre un emparrillado o un fondo perforado. Se limpian por lavado en sentido contrario al de la filtración, y casi siempre ayudándose de aire comprimido; otras veces el material filtrante se esponja con agitadores apropiados.

Procedimientos de floculación: Los coloides no se eliminan por simple filtración; es preciso añadir al

agua sustancias que los coagulan. Se suelen emplear con este fin el FeCl₃, el sulfato de aluminio y el aluminato sódico, ya se ha hablado de sus efectos al tratar de la depuración de las aguas potables. La acción de las sales de aluminio depende mucho del pH del agua, como era de esperar de su carácter anfótero, el pH debe estar entre 5,7 y 6,5. En este aspecto las sales de hierro son menos sensibles. Si hace falta, al agua se le adiciona cal o sosa con el fin de darle el pH más favorable.

En general, se emplean 40-50 g de agente de floculación por m³ de agua, procurando que la mezcla sea lo más íntima posible; después se clarifica el agua por sedimentación en un depósito cilíndrico de fondo cónico por lo general, el agua con los coloides coagulados penetra en el aparato por un tubo central y por la parte superior, y luego sube de nuevo desde la parte inferior a través del espacio exterior; la conducción forzada del agua favorece la separación de las materias suspendidas. El agua debe permanecer en el clarificador unas dos horas. Terminada la clarificación se procede a filtrar. En los filtros rápidos de capas filtrantes de gran espesor se suprime el clarificador (Tipo Permutit AG). El agente coagulante se incorpora al agua antes de que esta penetre en el filtro. Encima de las capas filtrantes se forma así, una capa de hidróxidos metálicos que clarifica de un modo realmente extraordinario. Este sistema permite eliminar el aceite de las aguas de condensación, y también separar las materias húmicas. En cambio, de la sílice únicamente queda retenida la parte coloide. Su separación completa exige un tratamiento especial. Este procedimiento da un agua completamente clara.

Suavizado del Agua:

Para el suavizado del agua por intercambio iónico la Empresa **ALASTOR S.A.** dispone de una metodología de diseño y selección la cual se incluye en el Anexo II. Una síntesis de la misma se presenta a continuación:

1.- DEFINICIÓN DE LOS DATOS:

a) Datos fijos:

- Consumo de Agua Suave
- Dureza total
- Sólidos Totales Disueltos

- Proporción entre el contenido de Dureza Total y Sodio

b) Datos que debe definir el técnico:

- Dureza Residual
- Ciclo de Regeneración
- Cantidad de Equipos a Instalar

2.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO EFECTIVA.

Los factores que influyen sobre la capacidad de intercambio efectiva son:

- Proporción entre el contenido de sodio y dureza.
- Dureza residual deseada.
- Contenido de Sólidos disueltos totales (coloidales).
- Calidad de la resina utilizada.

3.-DETERMINACION DEL VOLUMEN DE RESINA.

El volumen de resina necesario para el ciclo de regeneración asumido se determina por la siguiente expresión:

$$V_w = \frac{D_{total} \times VolumenTotal}{CIE \times 1000} \quad [1]$$

De donde:

V_w : Volumen de resina Woffatit KPS [m³]

D_{total} : Dureza total en Meq/l.

Volumen Total: Volumen de agua suave necesaria por ciclo en m³

CIE: Capacidad de Intercambio Efectiva [Eq/l].

1000 : Factor de conversión.

4.- SELECCIÓN DE EQUIPOS:

5.- COMPROBACION DEL FLUJO DE SERVICIO.

El ciclo de regeneración de las resinas comprende las operaciones siguientes (*Laza, A., 1987*):

Contralavado: Se hace llegar una corriente de agua por el fondo del suavizador a una velocidad tal que asegure la expansión de la resina, lo que hace que los granos de resina queden suspendidas en el agua y destruya cualquier atorrón que puede haber ocurrido durante la operación de suavizamiento. También son extraídas del equipo y arrojadas al vertedero las suciedades a otros cuerpos extraños a causa de la acción filtrante de la resina.

Regeneración: La inyección del regenerante constituye el segundo paso, durante el mismo la solución de sal es llevada hasta los difusores superiores, situados encima del nivel del lecho a una distancia apropiada para su uniforme distribución, durante esta etapa la dirección del flujo es de arriba abajo.

Enjuague: La tercera etapa del ciclo de regeneración es el enjuague, se circula agua cruda por el suavizador y la descarga es efectuada a través de la línea de drenaje al vertedero. Al principio esta agua contiene grandes cantidades de cloruro de calcio conjuntamente con el cloruro de sodio que no ha reaccionado, pero a medida que el lecho se enjuague, se elimina del cloruro de calcio en el afluente y exceso de sales expulsado gradualmente al continuar añadiendo mayores cantidades de agua limpia.

El enjuague se efectúa en dos pasos: El llamado enjuague lento, se introduce agua por la misma tubería de inyección del regenerante, a una velocidad igual a la de regeneración durante un cierto período de tiempo.

En el enjuague rápido se circula, agua al igual que cuando está en servicio y pasa a aumentar la velocidad hasta hacerla igual a la de servicio. Esto se continúa hasta que elimina todo el exceso de sal para lo cual se toman muestras periódicas hasta que su dureza esté dentro de los límites deseados (*Laza, A., 1987*).

Los suavizadores tienen forma cilíndrica, y para asegurar que el agua que está siendo tratada pase uniformemente a través del lecho de agua es introducida en la parte superior y recogida en el fondo por un sistema de tuberías llamado distribuidores. Para evitar que la resina salga por el sistema distribuidor inferior el lecho de resina está soportado por tres capas de grava de diferentes tamaños y espesor y encima de esta grava una capa de arena fina (*Laza, A., 1987*).

Decarbonatación:

En dependencia de la presión de operación de la Caldera el agua puede exigir su desmineralización total, aplicando un tratamiento de intercambio total (catiónico y aniónico). Para evitar la acidez resultante del agua desmineralizada es conveniente la decarbonatación. La torre empleada para ello consiste en una columna rellena con anillos rashig (empaques) para dispersar el agua en finísimas gotas a fin de aumentar la superficie de contacto de las gotas de agua con el aire suministrado por el ventilador a contracorriente: Este aire elimina el CO₂ a la atmósfera sin variar prácticamente el valor de alcalinidad total (AT) del agua.

1.3. Aspectos generales sobre los Procesos de Obtención de Productos a partir de macroalgas marinas.

Las *algas marinas* constituyen un recurso natural de relevante importancia, por cuanto representan la materia prima para la obtención de productos exclusivos con aplicación en la industria alimenticia, farmacéutica y biotecnológica. Entre los productos (o metabolitos) separados de las algas marinas se encuentran los ficocoloides.

Los ficocoloides son biopolímeros producidos por algunas especies de algas marinas entre los que se destacan el agar agar, la carragenina y los alginatos. En Cuba no existe infraestructura para la explotación de tales recursos pero se trabaja en el campo científico técnico para su inmediato establecimiento.

El *agar agar* es el ficocoloide más importante obtenido de las macroalgas marinas, y es metabolizado específicamente por las algas rojas. En Cuba están localizados importantes placeres en la zona sur central de la isla, con abundancia favorable de las especies *Gracilaria cylindrica* y *Bryothamnium triquetum*, las cuales representan una base favorable para su aprovechamiento y explotación comercial. Otro ficocoloide importante lo representa la *carragenina* extraído también de especies de macroalgas rojas, de las cuales diversas variedades de *Hypnea* están disponibles también en la región sur central de la isla. Además en el Instituto de Oceanología en Ciudad de La Habana se encuentra una importante

Granja para el cultivo del *Kappaphycu*, especie adaptada al ecosistema cubano y productora con alto rendimiento de la carragenina.

Los *alginatos* representan otro grupo de productos que se obtienen como sales del *ácido algínico* extraído de macroalgas pardas. En Cuba se producen significativas arribazones de especies de *Sargasum* las cuales son productoras de este metabolito.

Teniendo en cuenta los estudios que se desarrollan en la Universidad Central en el campo de la explotación de las algas marinas, el agar agar representa el producto más atractivo sobre el cual se centra la actividad investigativa, constituyendo la propuesta más fundamentada para desarrollar una infraestructura productiva y comercial para los ficocoloides en Cuba.

1.3.1. Generalidades sobre el Agar Agar.

Definición.

En estado natural el Agar se encuentra formando parte de la pared celular de las especies que lo contienen (agarófitas), existiendo fundamentalmente como sales de calcio y magnesio. Otros nombres con los que se conoce este producto en el mundo son: Kanten, Chinesse moss, Seaweed isinglass y Gelatina. La materia prima fundamental de la que se extrae el Agar son las algas rojas, específicamente las especies *Gelidium* y *Gracilariace*.

Es un mucílago rico en sustancias pépticas (proteínas), que se obtiene de numerosas especies de algas marinas (ficocoloide). Polisacárido de alto peso molecular (galactana de cadena recta) formado por unidades de galactosa que puede fraccionarse a su vez en dos polisacáridos, la agarosa y la agaropéctina.

Entre sus propiedades físicas exclusivas está su capacidad de gelificación y su amplio margen de hístérisis. Es insoluble en agua fría y soluble en agua caliente. En la proporción de 1% cuaja entre 35 y 50 °C en un gel consistente de aspecto parecido a la gelatina, que funde entre 80 y 100 °C. Este producto se presenta en forma de polvo blanco o laminillas delgadas (*McHugh, D. J. 1987*).

Fuentes de Obtención.

La obtención del agar es exclusivo de las algas rojas, no puede ser sintetizado químicamente. En Cuba, las especies de mayor perspectivas para su extracción se corresponden con el género *Gracilariace*, dentro de las que se destaca la *Gracilaria cylindrica*, especie muy abundante en todo el litoral costero en el sur de la zona central de la isla. Esta especie aunque se manifiesta de forma natural, ensayos de cultivo en Granja fueron desarrollados exitosamente en 1993, (*Castellanos, M. E., 1994*).

Aplicaciones. (Oliva, Y; Corona, R., 1999)

Las grandes aplicaciones del Agar, están dadas en lo fundamental por la dureza de sus geles a concentraciones bajas, lo que determina sus propiedades estabilizadoras, emulsificantes, espesantes y gelificantes. Así por ejemplo su utilización es muy amplia en la industria alimenticia en la producción de helados, salsas y alimentos enlatados, entre otros.

En la industria farmacéutica también tiene diversos usos, dentro de los que se destaca como laxante neutro no hidratante debido a su capacidad de aumentar el volumen, ya que no es digerible. Diversos antibióticos, sulfas, vitaminas y otros medicamentos se administran en cápsulas de Agar para garantizar una difusión lenta en el organismo; además de otros usos en la preparación de cremas y jaleas.

En biotecnología, como medio de cultivo es insuperable, los microorganismos son susceptibles de nutrirse y de dividirse, pero no de moverse, por estar incluidos en un gel semirrígido, haciendo visible el crecimiento de las colonias.

1.3.2. Procedimientos de obtención.

La obtención del agar agar constituye un proceso extractivo que utiliza como materia prima determinadas especies de macroalgas marinas, especialmente del tipo rojas. En función del tipo de alga y de la calidad del agar agar a producir se aplican diferentes tecnologías, que a su vez generan diferentes coproductos y residuos que pueden destinarse a diferentes utilidades o someterse a diferentes tratamientos respectivamente. Una representación esquemática básica del sistema tecnológico para la

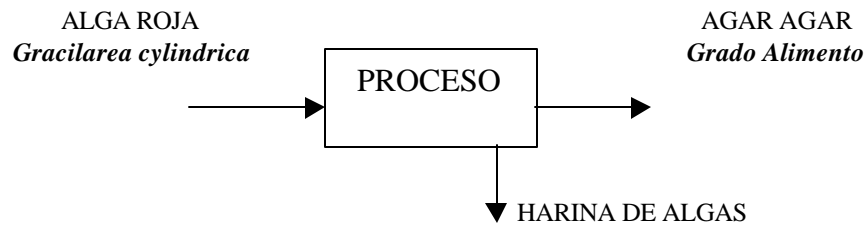


Fig. 1.1: Representación del Sistema Tecnológico

obtención del **Agar Agar** de la *Gracilaria cylindrica* se muestra en la figura 1.1. (Manrique, M. C., 2000)

Para la obtención del agar agar se puede utilizar la variante tecnológica que involucra los ciclos de congelación-descongelación como método de deshidratación. Esta tecnología puede describirse de forma general separándose en seis etapas básicas. (Corona, R., 1992) Tratamientos primarios.

- Tratamiento alcalino o desulfatación.
- Extracción.
- Tratamientos intermedios.
- Deshidratación (congelación - descongelación)
- Tratamientos finales.

La figura 1.2 corresponde a un diagrama general con las Etapas Básicas del Proceso Tecnológico Principal. En la figura 1.3 se presenta un diagrama en el que se señalan algunas utilidades establecidas para el Proceso.

1.3.3. Aspectos sobre la implementación tecnológica de la obtención del Agar Agar.

Sobre características técnicas de las instalaciones productivas.

Según los análisis desarrollados por el GPQDT, se ha valorado que las instalaciones productivas para obtener ficocoloides en Cuba deben disponer de alta flexibilidad tecnológica, o sea, instalaciones con carácter multipropósito capaces de obtener cualquiera de estos biopolímeros en cualquiera de las variantes tecnológicas establecidas para cada uno. M. García y R. Corona, 1992, discuten diferentes factores que exigen alta flexibilidad para una industria de los ficocoloides en Cuba. Por ello cualquier

análisis ingenieril de las exigencias del agua para tales instalaciones y sus tratamientos, debe considerar las diversas alternativas tecnológicas previstas, no definiendo esquemas rígidos, sino por el contrario disponer de toda una información técnica que pueda ajustarse a determinadas condiciones dadas.

Así mismo, no existen en Cuba instalaciones productivas para estos productos, sino que se desarrollan las tecnologías y se elaboran Modelos Conceptuales de Plantas como anteproyectos para posibles inversiones, por lo que un análisis general de las necesidades cualitativas del agua, sus calidades y sus tratamientos resulta de especial interés.

Sobre la capacidad de las instalaciones productivas.

En la fase de desarrollo tecnológico en la que se encuentran la explotación del recurso algas se han valorado diferentes capacidades para las futuras instalaciones productoras de ficocoloides, dado a la limitada disponibilidad de materia prima (poca prospección del litoral costero y la plataforma) y a relativa incertidumbre del mercado. Pero en cualquier circunstancia, la ingeniería propuesta para las instalaciones se corresponde con la de bajo tonelaje en régimen discontinuo. Este régimen debe ser considerado al establecer las condiciones operacionales de los sistemas de tratamiento del agua por cuanto los procesos ofrecen una demanda no constante tanto de agua potable, de proceso y de servicios.

Sobre macro y microlocalización de las instalaciones productivas.

Los estudios técnicos e ingenieriles para la explotación de las algas, en particular para la obtención del agar agar, manejan diferentes alternativas de macrolocalización en la zona central del país. Por las características de los procesos, su localización se favorece en el marco de perímetros urbanos por lo que se da la posibilidad de requerir del servicio de agua potable para población. No obstante, considerando que el recurso se encuentra en el mar y que dentro de las alternativas de microlocalización también se encuentra su ubicación cerca del litoral costero es conveniente valorar como concepción

general de los sistemas para el tratamiento del agua, partir de las condiciones de mayor exigencia, o sea, empleando agua cruda de una fuente natural.

Sobre los requerimientos de agua de las instalaciones productivas.

La literatura (***McHugh, D. J. 1987***) reconoce que estos procesos son altos consumidores de agua por lo que un análisis de la disponibilidad de la fuente (acceso y abundancia) es importante para su microlocalización. Así mismo, la aplicación de los productos en la esfera de los alimentos, los fármacos y los medios de cultivo microbiológicos y biotecnológicos establecen determinadas exigencias de calidad en las cuales las calidades del agua tienen un efecto muy importante.

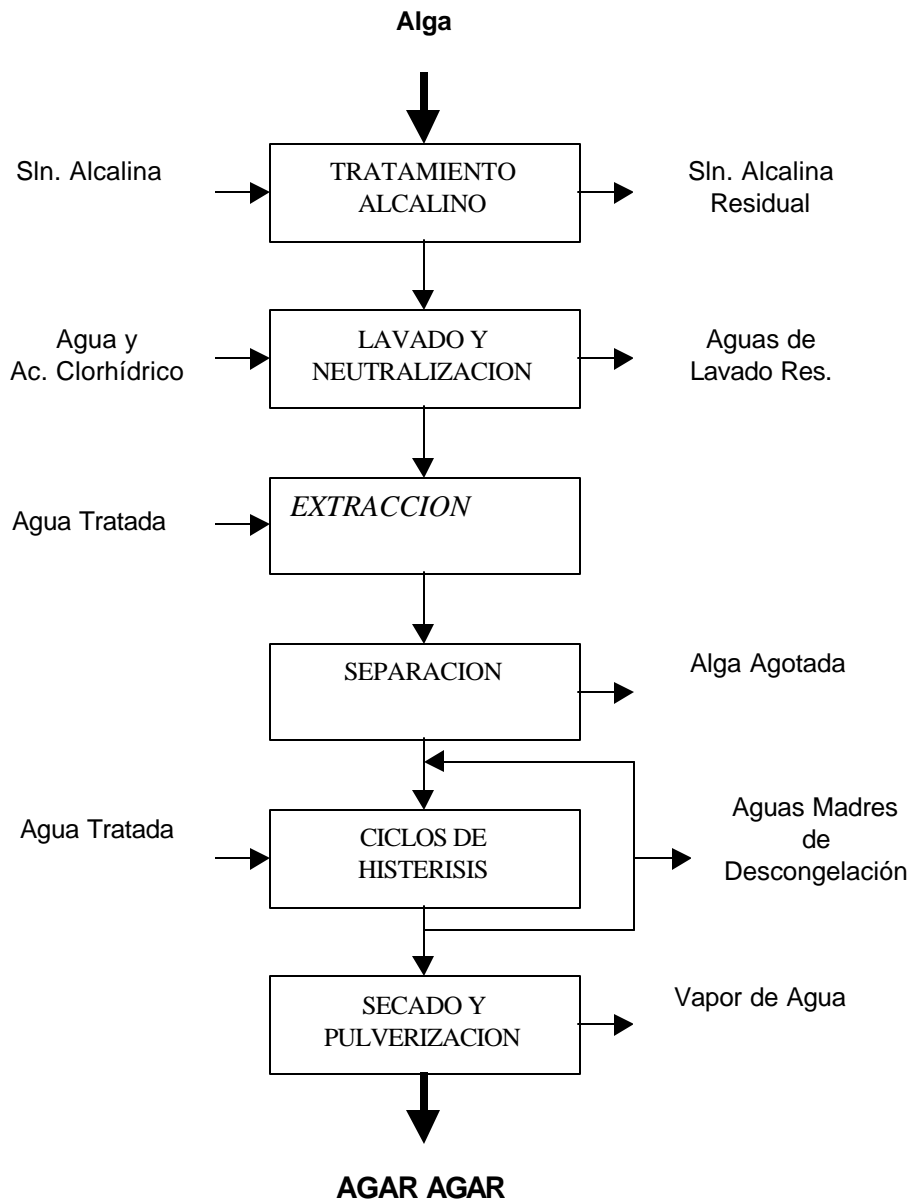


Figura 1.2: Procedimiento general de obtención de Agar Agar

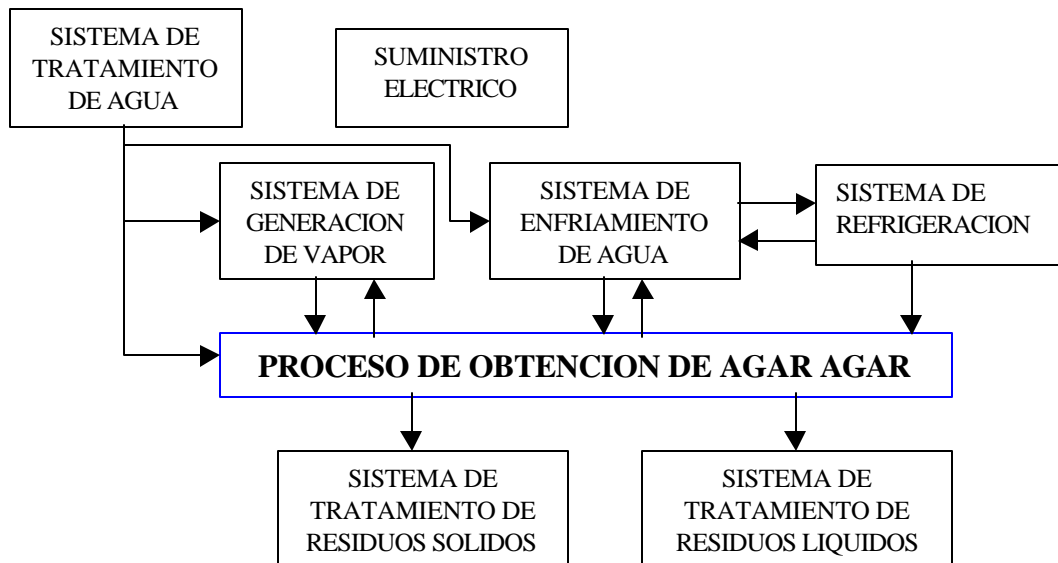


Fig. 1.3: Representación del Proceso Principal y Auxiliares en la obtención del Agar Agar.

1.4. Conformación de los Sistemas y Subsistemas, de estudio y evaluación en este trabajo.

Una vez desarrollado el análisis bibliográfico expuesto en los epígrafes 1.1, 1.2 y 1.3, puede considerarse a los efectos de este trabajo, la conformación de un sistema general estructurado como se representa en la figura 1.4.

El mismo está constituido por tres componentes fundamentales. La Fuente de Agua, el Proceso Productivo consumidor y el Subsistema de Tratamiento. A su vez este último se descompone en dos subcomponentes; el Tratamiento para Agua Potable y el Tratamiento para Agua Industrial, y donde los términos; AC significa Agua Cruda, AP significa Agua Potable, AA significa Agua Alimentada y AT significa Agua Tratada.

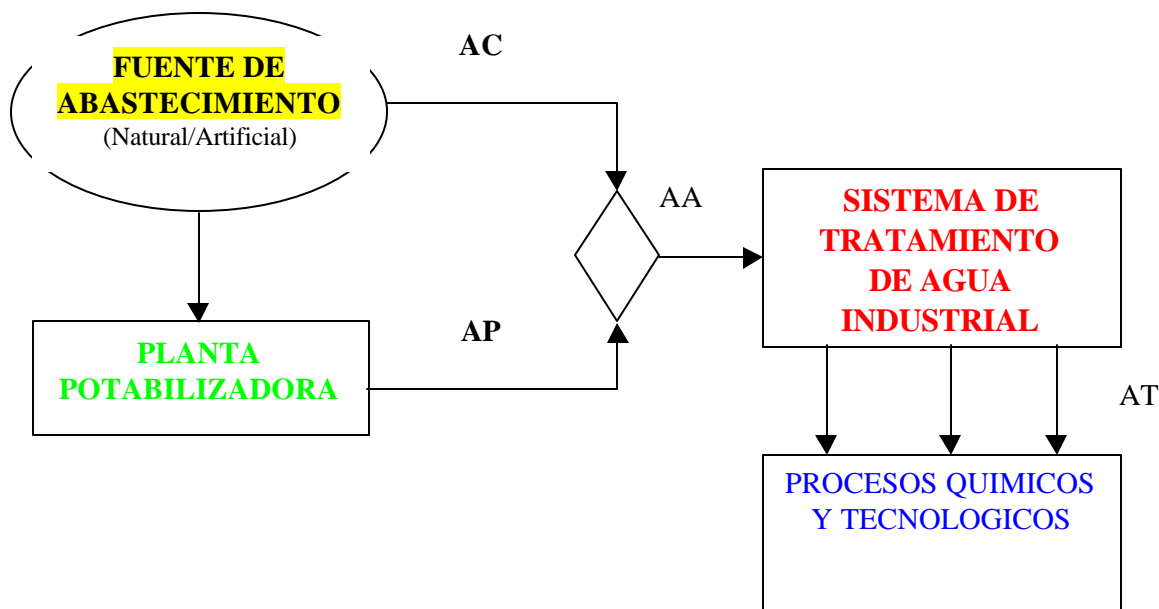


Fig. 1.4: Representación del Sistema para el Análisis.

Como se puede apreciar, se distingue separadamente el tratamiento para agua potable debido a que en este caso se está considerando este en una función independiente al del proceso productivo al abarcar el servicio de población, pero que sin lugar a duda que en función de la ubicación del proceso productivo, y la demanda y calidad de agua para el mismo, este subsistema de tratamiento puede convertirse en su fuente de suministro.

Para descomponer el subsistema tratamiento de agua industrial pueden considerarse los elementos que se ofrecen en la tabla 1.8, donde se pueden identificar categorías de agua a escala de laboratorio y a escala industrial. La figura 1.5 muestra las calidades de agua y su secuencia en función de los tratamientos discutidos en el epígrafe 1.2.

Tabla 1.8: Categorías de Agua.	
AGUAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO	AGUAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA
Agua Potable. Agua Destilada. Agua Desionizada. Agua Esteril	Agua Cruda. Agua Potable Agua de Procesos. Agua para Calderas Agua Esteril

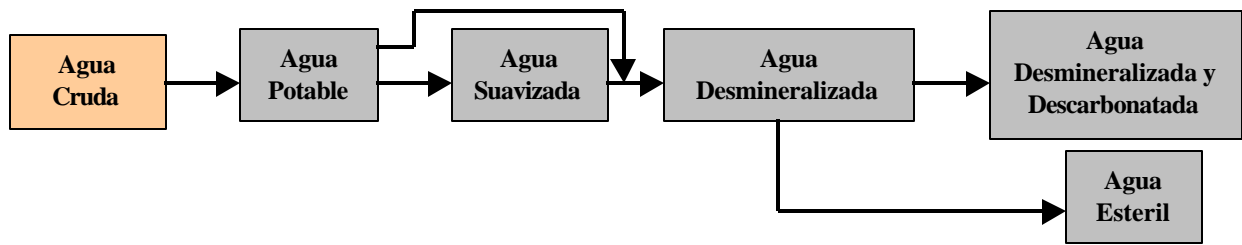


Fig.1.5: Calidades de Agua

El sistema representado en la figura 1.4 tiene un carácter general y no es únicamente aplicable a la industria de la obtención de los ficocoloides, pero constituye un punto de referencia para organizar el análisis del problema concreto al que se ocupa este trabajo. De aquí que, para la concepción general de un Modelo Ingenieril de los Sistemas de Tratamiento de Agua para la obtención de Agar Agar, se parta del estudio y análisis de los subsistemas de partida y de salida representados en el esquema de la figura 1.5, propuesto para exponerse en el Capítulo II, para dejar claro qué características presenta el agua de partida y que exigencias tiene el agua en el proceso tecnológico que la demanda, de que cantidades se dispone y de que cantidades se necesita. Dicho análisis crea las condiciones para entonces valorar las particularidades de los subsistemas intermedios, los tratamientos, los cuales se discuten en el Capítulo III de este trabajo.

Esta concepción de análisis permite de cierta forma conformar un fundamento metodológico que puede ser perfectamente utilizado no solo para la definición de los sistemas de tratamiento de agua para Plantas de Obtención de Agar Agar, sino para otros Ficocoloides en particular y para otros productos en general. Así mismo, este tipo de análisis no solo repercute en la definición del sistema de tratamiento, sino que además permite el aporte de criterios para la toma de decisiones en materia de macro y microlocalización de los procesos industriales. Así entonces, en el Capítulo IV se tratará de ejemplificar el desarrollo analítico de esta concepción metodológica a través de una condición de aplicación concreta.

1.5-. Conclusiones Parciales.

- 1- Para determinar si una fuente de suministro de agua puede ser utilizada en un proceso tecnológico es inicialmente imprescindible el análisis de la composición del agua que oferta la misma, y seleccionándose a continuación los tratamientos que aseguren la eliminación de las discrepancias de calidad entre esta y la que exige dicho proceso.
- 2- Las aguas para el empleo en la industria se clasifican como aguas que intervienen directamente dentro del proceso (como materia prima), aguas que intervienen en servicios generales del proceso (generación de vapor, calentamiento y enfriamiento), agua para la limpieza de equipos e instalaciones, agua para resolver los requerimientos higiénicos sanitarios del personal y aguas para el sistema contra incendio.
- 3- El tratamiento de agua para la industria de procesos químicos se realiza en dependencia de la función que va a ejercer la misma basado en el cribado, la filtración o la decantación, el ablandamiento, la desmineralización, la desgasificación, la ósmosis y la desinfección.
- 4- La implementación de la Planta de Obtención de Agar Agar requiere de un análisis de disponibilidad de la fuente de suministro de agua ya que estos procesos son altos consumidores de este líquido.
- 5- Teniendo en cuenta las particularidades de la obtención del agar a escala de laboratorio se propone que una planta comercial para su obtención utilice diferentes calidades de agua tales como agua cruda, agua potable, agua de proceso, agua de caldera y enfriamiento.

Capítulo II: Identificación de las condiciones y conformación de los Sistemas.

2.1. Definición de las alternativas de implementación de las tecnologías para la obtención de productos a partir de las macroalgas marinas.

Actualmente, en el país no se dispone de instalaciones productivas para el procesamiento de las macroalgas marinas. Hasta nuestros días, solo se desarrollan las tecnologías y se valoran posibilidades de su implementación. Esta situación ofrece un cierto componente de incertidumbre en la definición técnica de los elementos de ingeniería con que deben funcionar tales producciones.

La definición del Sistema de Tratamiento de Agua para estos procesos tiene relativa importancia por cuanto a la par del desarrollo de las tecnologías resulta imprescindible la valoración de la efectividad técnico-económica de su implementación, lo cual exige la conformación de los sistemas ingenieros encargados de soportarlas y de los cuales el tratamiento de agua forma parte.

A continuación se analizan algunos aspectos que permiten acotar las condiciones de evaluación del proceso de obtención del agar y los ficocoloides, dentro del nivel de indefinición que aún se tiene dentro de la etapa de desarrollo tecnológico en que se encuentra.

2.1.1. Alternativas de macrolocalización.

Como se discutió en el capítulo I, en la definición de un esquema de tratamiento de agua es necesario considerar la fuente de abasto de agua, lo cual está estrechamente relacionado con la microlocalización del proceso consumidor.

Para la obtención de agar agar, el GPQDT tiene valorada varias propuestas de macro y microlocalización dentro de la zona central del país. La tabla 2.1 recoge la información correspondiente y la figura 2.1 ilustra aproximadamente su ubicación geográfica.

Tabla 2.1: Alternativas de localización.		
Provincia	Macrolocalización	Microlocalización
Villa Clara	Santa Clara	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facultad de Química-Farmacología. UCLV. ▪ Instituto Politécnico “Lázaro Cárdenas”
Cienfuegos	Cienfuegos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparto de Reina ▪ Reparto Punta Gorda
Sancti Spíritus	Sancti Spíritus	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fábrica de Quitina.

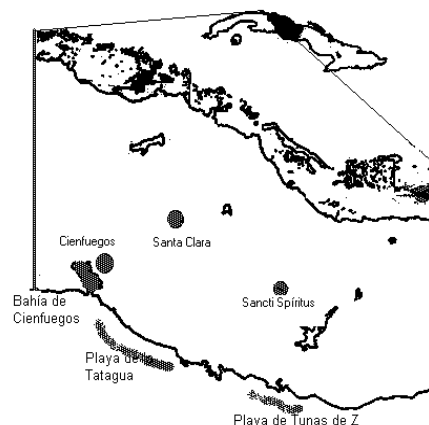


Fig.2.1: Ubicación geográfica

Estas variantes de localización determinan que sea conveniente reconocer las características fundamentales de las fuentes de abasto de agua a las ciudades de Santa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus.

2.1.2. Alternativas ingenieras.

El GPQDT tiene contemplado la futura producción comercial del agar agar en dos alternativas fundamentales. La obtención de este ficocoloide en una Planta Independiente o su obtención en una Planta Multipropósito. En este último caso se tienen dos posibilidades; su extracción en una planta en la que se obtienen otros ficocoloides, o en una planta con otros productos no de algas. Precisamente, para la implementación en la ciudad de Sancti Spíritus, ver tabla 2.1, se tiene valorado insertar la obtención del agar en una Planta para producir Quitina.

La idea de emplear plantas multipropósitos implica valoraciones más profunda del sistema de tratamiento pues requiere del análisis de condiciones críticas tanto de calidad como de consumo, para definir tipos de tratamientos y capacidades, respectivamente.

De cualquier modo, en el epígrafe 1.3.3 se hizo referencia a que las instalaciones para la obtención del agar agar deben tener un nivel de flexibilidad, pues las propias variaciones en el comportamiento del alga como materia prima de origen natural determinan una conducción dinámica de la operación tecnológica.

Por otra parte la operación discontinua de las instalaciones provoca un consumo irregular del agua en el proceso y aunque se opera con un cronograma de operación, pequeños ajustes generalmente deben a diario tener que aplicarse, provocando también irregularidades en los cronogramas de consumo.

Es por todo ello que se recomienda definir los sistemas de tratamiento de agua para este proceso con un relativo sobrediseño que sea capaz de absorber cualquier exceso no previsto originalmente.

2.1.3. Alternativas tecnológicas.

Independientemente de la posibilidad de que el agar se produzca en una instalación en la que se obtienen otros productos (multipropósito), las aplicaciones previstas para este, determinan que existan diferentes grados de calidad para el mismo, con sus correspondientes variantes tecnológicas. Además, según lo reportado por el GPQDT (*R. Corona, Y. Oliva, 1999*) se disponen de tres especies de algas potencialmente aptas como materia prima para la obtención de agar, las que determinan algunas variaciones del procedimiento general de obtención.

Revisando esta propia fuente de información, se puede comprobar que la Tecnología A2-M (ver Fig. 2.2) propuesta para obtener un agar grado biotecnológico, empleando el alga *Gracilaria cylindrica* representa la variante tecnológica que matiza las mayores exigencias en calidad y cantidad para un sistema de tratamiento de agua, por lo que debe emplearse como referencia para concebir en principio dicho esquema de tratamiento.

2.2. Identificación y reconocimiento de condiciones de las Fuentes de Suministros.

Como se puede reconocer en el epígrafe 2.1.1, las instalaciones están previstas en las inmediaciones de las capitales provinciales, cerca o dentro del perímetro urbano, por lo que pudieran operar con agua cruda de las fuentes de suministro a dichas ciudades, con agua semitratada (potable) del servicio municipal o con fuentes propias e independientes.

A continuación se ofrece una caracterización aproximada del sistema de suministro de agua a los lugares donde con alguna probabilidad se pudieran implementar las tecnologías de obtención del agar agar según lo presentado en la tabla 2.1.

2.2.1. Análisis de las fuentes para la ciudad de Santa Clara.

La ciudad de Santa Clara es abastecida por cuatro fuentes fundamentales, embalse Minerva, embalse Palmarito, embalse Hanabanilla – Jibacoa y embalse Agabama – Gramal.

Este trabajo está enfocado a la fuente de abasto Minerva, puesto que una de las microlocalizaciones para la Planta de Agar está valorada en el Consejo Popular Universidad, que recibe el agua fundamentalmente de esta fuente.

El embalse Minerva tiene una capacidad de 123.00 Hm³, (Nivel de Aguas Normales, *N.A.N.*), con una entrega por acueducto a través de una estación de bombeo de 200 L/s cada unidad en 24 horas, esta agua es trasvasada a un tanque compensador de una capacidad de 180 m³, de ahí va hacia otro tanque que tiene una capacidad de 900 m³, donde brinda servicio al Combinado Textil “Desembarco del Granma”, el resto es procesada en la Planta de Tratamiento de Ochoita, abasteciendo a la población con 500 l/s. Antes de llegar a este tanque de 900 m³ existe una red de abastecimiento de agua a la Comunidad Universitaria, así como al barrio de Las Antillas, Camilitos y parte de la población del Callejón de los Patos con 45 l/s. En el Anexo III se muestra un esquema de esta RED.

En estudios realizados por especialistas de la temática aseguran que las aguas de la presa Minerva tienen como una de sus principales características la presencia de un color elevado, debido a la descomposición de la materia orgánica, además aparece en pequeñas proporciones hierro y manganeso.

Demostrándose esto en un estudio realizado en el año 1999, tomando diferentes puntos de muestreo a diferentes profundidades.

- . Punto 1 - Toma del embalse
- . Punto 2 - Entrada del río Primero
- . Punto 3 - Entrada del río Manajanabo
- . Punto 4 - Entrada del río Sagua La Chica

Siendo este último punto el de mayor aporte de carga contaminante.

En el Anexo VI se puede observar los resultados de este estudio. Además existe un promedio histórico de las características del agua, mostrándose en la tabla 2.2.

2.2.2. Análisis de las fuentes para la ciudad de Cienfuegos.

La ciudad de Cienfuegos es abastecida por dos fuentes fundamentales, el embalse Hanabanilla – Jibacoa y el río Lagunilla.

El embalse Hanabanilla – Jibacoa tiene una capacidad de 286.00 Hm³, con una entrega por acueducto Cienfuegos de 32 Hm³.

El agua es bombeada desde el embalse Hanabanilla – Jibacoa hasta el embalse Paso Bonito, donde se le incorpora una parte de agua trasvasada por el tunel, proveniente de la Hidroeléctrica, y la otra parte de esta agua es desviada al embalse del Túnel, donde es tratada en la Planta Potabilizadora de Cienfuegos. El agua que se encuentra en el embalse Paso Bonito, donde le entra el agua del río Navarro (Río Rojo), es tratada en la Planta de Tratamiento de Paso Bonito, esta agua en períodos de lluvia sufre transformaciones ya que el efluente del río Navarro presenta características de un agua con alto contenido de color y esto trae consigo un empeoramiento de la calidad del agua, de ahí es trasvasada a el tanque de almacenamiento de Cienfuegos, con una capacidad de 45 000 m³, donde se le incorpora el agua de la Planta de Tratamiento de Cienfuegos, que trata, como ya se había mencionado anteriormente, una parte del agua del Tunel y el agua proveniente del río Lagunilla. En el Anexo IV se presenta un esquema aproximado de la conformación de la RED.

Específicamente este trabajo presenta un marcado interés en la red de distribución de agua que llega al Reparto Reina pues constituye una variante de microlocalización ya señalada.

En este embalse se ha realizado un estudio lignológico del mismo durante varios años, el cual arribó a la conclusión de que esta agua presenta características favorables, con una turbiedad y color adecuado, en ocasiones se han encontrado pequeñas proporciones de hierro y manganeso, debido a que la toma es de fondo, influyendo esto en la presencia de sulfídrico (la toma de fondo es favorable para la vida del

embalse, pero empeora la calidad del agua, ya que esto hace que limpie el fondo del embalse de los asolvamientos producto de la descomposición de la materia orgánica que presenta).

En el trabajo se presentan las características del agua de la fuente, del río Lagunilla y de la que llega al Reparto Reina en Cienfuegos, a través de las tablas 2.3, 2.4 y 2.5.

2.2.3. Análisis de las fuentes para la ciudad de Sancti Spíritus.

La ciudad de Sancti Spíritus es abastecida por cuatro fuentes fundamentales, embalse Tuinicú, embalse Siguaney, el río Yayabo y el río Zaza.

El embalse Tuinicú embalsa 57 Hm³, entrega a través de la estación de bombeo de Tuinicú a la Planta Potabilizadora, donde se trata 1200 l/s, esta agua es destinada una parte a la ciudad de Cabaiguán y la otra a los tanques apoyados, los cuales tienen una capacidad de 20 000 m³, distribuyendo a la población de Sancti Spíritus. A este tanque también llega el agua de la estación de bombeo Yayabo, proveniente del río Yayabo, después de haber sido tratada en la Planta de Filtro, aledaña a este río. Esta agua en épocas de lluvia aumenta su turbiedad, haciéndose más riguroso su tratamiento.

El embalse Siguaney embalsa 9.33 Hm³, entrega a través de la estación de bombeo de Siguaney a un tanque apoyado de 1 000 000 galones de agua, donde se le incorpora el agua proveniente del río Zaza, y de ahí es distribuida a la población. Una representación de la RED de suministro se representa en el Anexo V.

Estas aguas que llegan a la ciudad de Sancti Spíritus presentan características diferentes, y los resultados de los análisis de las mismas se presentan en las tablas 2.6.

Tabla 2.2: Comparación de algunas características del agua actual de presa Minerva con respecto a la Media Histórica																	
Zona : Presa Minerva												Provincia : Villa Clara					
	Cond.	pH	Sales solubles en mg/l										COD	DT	NO ₂	NH ₄	Color
	μs/cm		CO ₃	NO ₃	CO ₃ H	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Total					
Media Histórica	365	7.7	-	0	-	21	11	25	25	-	15	294	4.67	170	0.107	0.075	11
Valor Prom. 1999	335	8.6	-	0	-	14	7	24	12	-	18	220	4.56	110	0	0	20

Fuente: Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Villa Clara. INRH.

Tabla 2.3: Análisis Físico – Químico del promedio de varios años, de algunas características del agua a tratar en la Planta Potabilizadora de Paso Bonito.																				
Zona : Plata de Filtro Paso Bonito														Provincia : Cienfuegos						
Fecha	Cond.	pH	Sales solubles en mg/ l										COD	Alc.	Mat.	NO ₂	Turb	DT	Color	Mn
	μs/cm		CO ₃	NO ₃	CO ₃ H	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Total			Org.					
1990	335	7.9	-	2.44	-	17.2	8.1	41.4	16.4	-	-	247	5,7	145	3.92	-	2.3	171	30	-
1993	240	7.4	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	4.0	114	3.65	0.089	16	98	18	0.332
1998	255	7.5	-	-	-	17.5	1.053	-	-	-	-	-	-	118	-	0.017	1.9	141	15	-
1999	262	7.6	-	0.009	-	20.2	8.3	-	-	-	-	-	-	127	3.98	0.051	2.9	151	20	-

Fuente: Acueducto Municipal de Cienfuegos. INRH.

Tabla 2.4: Análisis Físico – Químico del promedio de varios años, de algunas características del agua tratar proveniente del río Lagunilla.																				
Zona : Río Lagunilla													Provincia : Cienfuegos							
Fecha	Cond. µs/cm	pH	Sales solubles en mg/ l										COD	Alc.	Mat Org	NO ₂	Turb	DT	Color	NH ₄
			CO ₃	NO ₃	CO ₃ H	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Total								
1990	738	7.8	-	3.43	-	28.3	20.8	38.7	31.9	-	-	-	4.1	250	7.56	0.248	53	227	83	0.85
1993	-	8.0	-	-	241	44	-	49	34	-	-	-	-	203	-	-	-	243	-	-
1998	562	8.1	-	5.99	-	33.6	7.36	-	-	-	-	-	-	209		0.047	30	242	90	0.029
1999	637	8.0	-	1.61	-	30.3	3.16	-	-	-	-	-	-	231	6.27	0.017	38	258	100	0.286

Fuente: Acueducto Municipal de Cienfuegos. INRH.

Tabla 2.5: Análisis Físico – Químico del promedio de varios años, de algunas características del agua tratada que se distribuye a la población.																				
Zona : Cienfuegos													Provincia : Cienfuegos							
Fecha	Cond. µs/cm	pH	Sales solubles en mg/ l										COD	Alc.	Mat. Org.	NO ₂	Turb.	DT	Color	Mn
			CO ₃	NO ₃	CO ₃ H	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Total								
1990	464	7.8	-	-	-	12.5	15.2	37.3	22.7	-	-	-	-	169	2.75	-	1.26	187	10	-
1993	-	7.4	-	-	132.6	29	-	35	24	-	-	-	-	107	-	-	-	176	10	-
1998	430	7.7	-	-	-	28.3	3.69	-	-	-	-	-	-	173	4.6	-	3.05	166	10	-
1999	285	7.4	-	-	-	25.3	1.58	-	-	-	-	-	-	131	3.81	-	4.4	157	15	-

Fuente: Acueducto Municipal de Cienfuegos. INRH.

Tabla 2.6: Análisis Físico – Químico de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua en la Provincia de Sancti Spíritus.

Provincia : Sancti Spíritus															
Fuente	pH	Sales solubles en mg/ l								DCa	DMg	Cl _R	Turb.	DT	Color
		CO ₃	CO ₂	CO ₃ H	Cl ⁻	Ca ⁺	Mg ⁺	K	Na						
1. Agua cruda – Río Yayabo	7.5	0	-	204	36	41	31	-	-	106	121	-	-	216	10 U
2. Agua tratada – Río Yayabo	7.4	0	-	244	36	32	24	-	-	105	96	3	-	172	< 5 U
3. Mezcla del agua del río Yayabo y embalse Tuinicú.	7.4	0	-	145	28	21	18	3.0	9.0	-	-	-	-	39	< 10 U
4. Agua cruda – Embalse Tuinicú	7.6	0	-	175	19	37	12.1	-	-	93	50	> 5	2.8	142	5 U
5. Agua tratada – Embalse Tuinicú	7.5	0	-	175	19	36	11.2	-	-	93	47	> 5	2.0	138	5 U

Fuente: Acueducto Municipal de Sancti Spíritus. INRH.

2.3. Identificación de condiciones y establecimiento de modelos de cálculo en el Proceso Consumidor.

A continuación se presenta los análisis de exigencia en calidad y cantidad del agua para la obtención del agar agar según la variante tecnológica **A2-M** empleando el alga *Gracilaria cylindrica*.

2.3.1. Identificación de los consumos de agua.

Una Planta para la producción de agar agar exige el empleo del agua con diferentes fines, que a su vez implica diferentes calidades (*García, M; Corona, R., 1992*). En la tabla 2.7 se ha establecido en un orden cualitativo las exigencias de aguas para la Planta de conjunto, pues se incluyen al proceso tecnológico principal, los requerimientos por servicios generales que intervienen y la emplean, y otros consumos. En el diagrama de bloques del proceso (*Oliva, Y., Corona, R., 1999*), representado en la figura 2.2 y 2.3 se puede identificar particularmente las etapas de proceso en las que el agua interviene y en la tabla 2.8 la definición cualitativa del tipo de agua necesaria para la Planta.

Tabla 2.7: Aguas empleadas en una Planta de Agar Agar.		
Categoría	Función	Condiciones
Agua de Proceso	Lavados del vegetal. Preparación de soluciones acuosas.	Agua exenta de sólidos suspendidos y coloidales, y desinfectada.
	Solvente para extracciones Purificación de los Geles.	(Equivalente al agua destilada en Laboratorio). Agua con bajo contenido de sales minerales
Agua de Caldera	Para convertir en vapor y permitir el calentamiento en equipos.	(Calderas a Baja Presión). Agua exenta de carbonato de calcio y magnesio.
Agua de Enfriamiento	Condensadores de Reflujo. Condensadores de Refrigeración.	Agua exenta de carbonato de calcio y magnesio.
Agua de Limpieza	Limpieza de Equipos.	Agua exenta de sólidos suspendidos y coloidales, y desinfectada.
	Limpieza de áreas externas.	Agua con bajo contenido de sólidos suspendidos
Agua para Personal	Servicio a Comedor. Servicio a Baños.	Agua exenta de sólidos suspendidos y coloidales, y desinfectada.

Tabla 2.8: Definición de Tipos de Agua para Planta de Agar Agar.

Etapas Tecnológicas	Tipo de Agua
Preparación de Solución Alcalina.	Agua Desmineralizada
Preparación de Solución Neutralizante	Agua Potable
Preparación de Solución Decolorante	
Lavados del Alga Tratada	
Neutralización	
Extracción	Agua Desmineralizada
Fusión del Gel	Agua Suavizada
Generación de Vapor	
Enfriamiento con Agua	
Limpieza Tecnológica	Agua Potable
Limpieza Externa	Agua Cruda
Consumo Humano	Agua Potable

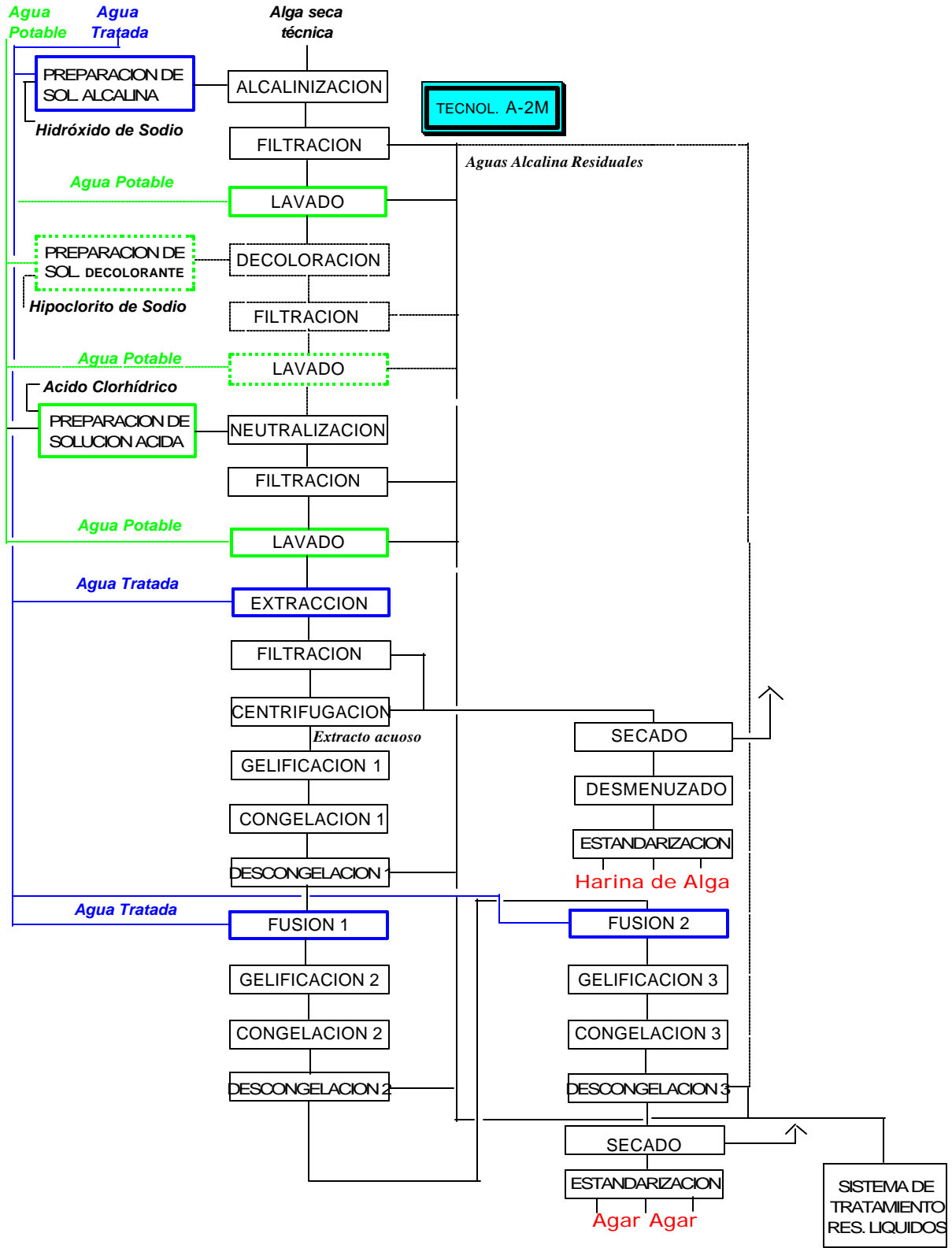


Fig. 2.2: Distribución del Agua de Proceso.

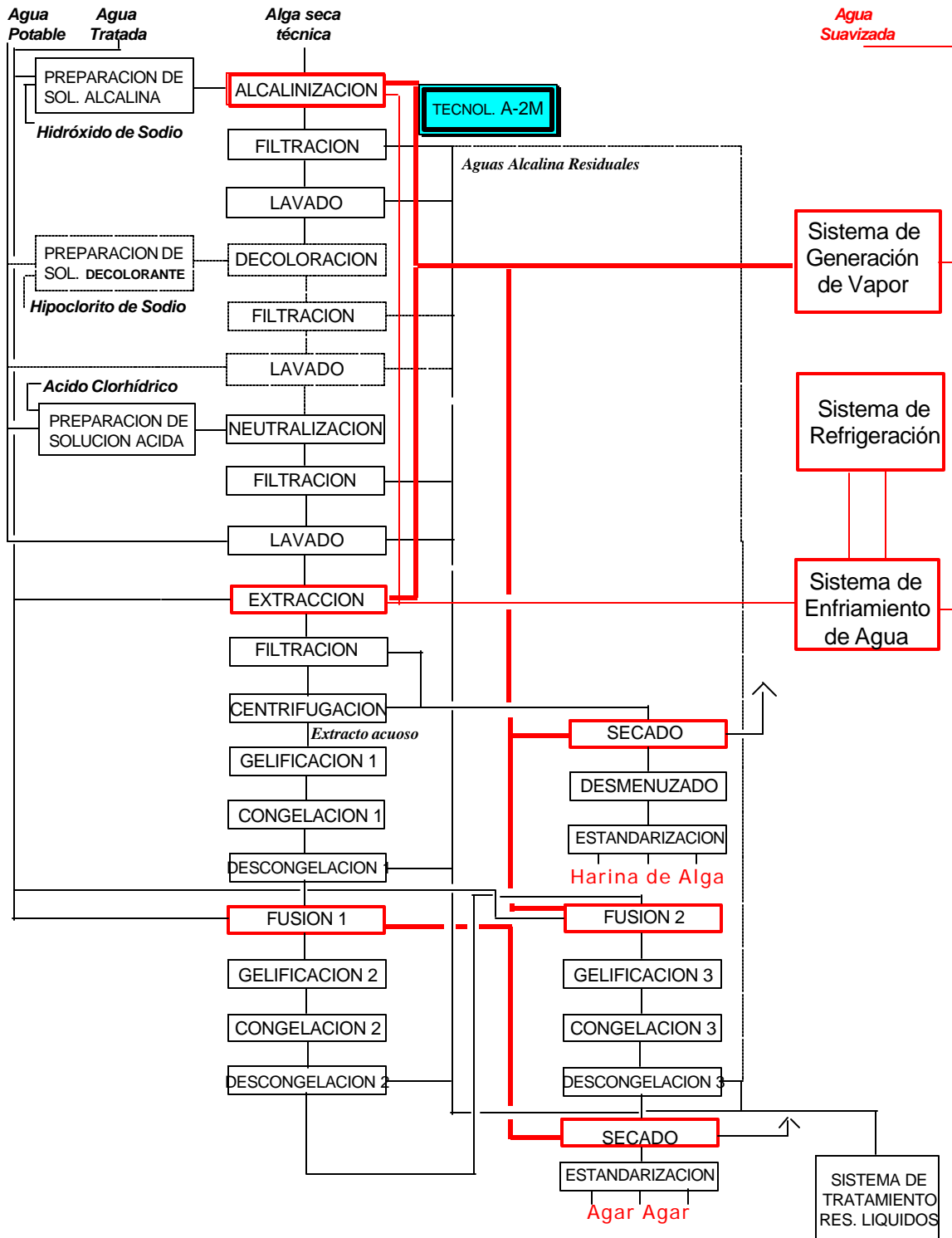


Fig. 2.3: Distribución del Agua en Sistemas de Servicio.

2.3.2. Modelo de Cálculo para la cuantificación de los consumos de agua de proceso.

A continuación se presenta el esquema de balance de materiales del proceso de obtención de agar.

Tabla 2.9: Modelo del Balance de Materiales para la obtención de Agar Agar		
ETAPAS	ECUACIONES	OBSERVACIONES
Preparación de Sln. Alcalina	$AT_1 \approx SA$	$SA = 20\text{Lt/Kg de AMS}$
Alcalización	B.T: $A. Alc = SA + AMS$	
Filtración	BT: $A. Alc = AF + RA$ $AF=47\%A.Alc$	
Lavado	BT: $AL = AP_1 + AF$	$AP_1 = 20\text{Lt/Kg de AMS}$
Preparación de Sln. Acida	$AP_2 = 0.9 SN$	$SN = \text{HCL al } 10\% \text{ peso.}$
Neutralización	BT: $AN = SN + AP_3 + AL$ $AP_3 = AP_1$	$AP_3 = 20 \text{ Lt/Kg de AMS}$ La solución que llega con un pH=11 se lleva a un pH=7
Filtración	BT: $AN = AF_1 + RL_1$ $AF_1 = 33\%AL$	
Lavado	BT: $AF_1 + AP_4 = RL_2 + ALF$ $AP_3 = RL_2 = 40\text{Lt/Kg de AMS}$ $AF_1 = ALF$	$AP_4 = 20\text{Lt/Kg de AMS}$
Extracción I	BT: $E = ALF + AT_2$	
Filtración	BT: $E = ASA + EF$ $ASA = 30\%E$	
Filtración fina	BT: $EF = Rs + EL$ $Rs = 12\%EF$	
Gelificación: (1 ^{er} ciclo)	BT: $G = EL$	
Congelación	BT: $GC = G$	
Descongelación	BT: $GC = GD + AM$ BP: $X \text{ agar } \times GC = X \text{ agar } \times GD$	X agar en $GD = 2\%$
Fusión	BT: $GF = AT_3 + GD$ $AT_{31} = AM$	
Gelificación: (2 ^{do} ciclo)	BT: $G_2 = GF$	
Congelación	BT: $GC_2 = G_2$	
Descongelación	BT: $GC_2 = GD_2 + AM_2$ BP: $X \text{ agar } \times GC_2 = X \text{ agar } \times GD_2$	X agar en $GD_2 = 2\%$
Fusión	BT: $GF_2 = GD_2 + AT_4$ $AT_{32} = AM$	
Gelificación: (3 ^{er} ciclo)	BT: $G_3 = GF_2$	
Congelación	BT: $GC_3 = G_3$	
Descongelación	BT: $GC_3 = GD_3 + AM_3$ BP: $X \text{ agar } \times GC_3 = X \text{ agar } \times GD_3$	X agar en $GD_3 = 2\%$
Secado	BP: $GD_3 = AE + AL$ BP: $X \text{ agar } \times GD_3 = X \text{ agar } \times AL$	X agar en $AL = 93\%$
Pulverizado	BT: $AP = AL$	

El Modelo del Balance de Materiales para el proceso de obtención de Agar Agar está implementado en Microsoft EXCEL'97 para WINDOW que facilita el cálculo para cualquier base de cálculo y variante tecnológica (Oliva, Y., Corona, R., 1999)

El Balance de Agua de Tratada queda: $AT_1 + AT_2 + AT_3 + AT_4 = AT$

El Balance de Agua Potable para Proceso queda: $AP_1 + AP_2 + AP_3 + AP_4 = AP$

2.3.3. Modelo de Cálculo para la cuantificación de las necesidades de agua para los Sistemas de Generación de Vapor y Enfriamiento.

En el Proceso de Obtención de Agar Agar se distinguen varias etapas en las que se requiere de calentamiento, mientras el servicio de enfriamiento con agua se necesita para los condensadores de Reflujo y del Sistema de Refrigeración. Esas etapas se muestran en la tabla 2.10. El planteamiento de los Balances de Energía se expresan en la tabla 2.11 y a través de estas ecuaciones pueden estimarse los consumos de vapor y de agua de enfriamiento en el sistema tecnológico.

Tabla 2.10	
Servicio de Calentamiento	Servicio de Enfriamiento
Alcalinización. Extracción. Fusión 1 y 2 Secado	Alcalinización Extracción. Sistema de Refrigeración.

Tabla 2.11: Modelo de los Balances de Energía.		
ETAPAS	ECUACIONES	OBSERVACIONES
<i>Alcalinización</i> <i>Extracción</i>	$Q_c = (1.4) \times Q_g$ $Q_c = Mv \times \lambda_v$ $Q_g = M \times C_p \times (t_2 - t_1)$	
<i>Secado</i>	$Q_g = Q_c - Q_{perd.}$ $Q_g = M_s \times C_p \text{ aire} \times (t_2 - t_1)$ $Q_c = Mc \times \lambda_c$	<i>Q_{perd.} = 5% Q_c</i>
<i>Alcalinización</i> <i>Extracción</i> <i>(condensadores)</i> <i>Sistema de Refrigeración</i>	$Q_c = Q_g$ $Q_c = m_0 \times \lambda_0$ $Q_g = Ma \times C_p \times (t_2 - t_1)$	

Así en consumo de Vapor puede estimarse por:

$$M_{total_VAPOR} = M_{VA} + M_{VE} + M_{VF1} + M_{VF2} + M_C$$

Por otra parte la cantidad de agua de enfriamiento se estima por:

$$M_{total_ENFRIAMIENTO} = M_{aA} + M_{aE} + M_{aR}$$

La masa de agua suavizada para la Generación de Vapor puede estimarse entonces sobre la base del por ciento de reposición a la Caldera, al igual que el agua suavizada para el Sistema de Enfriamiento.

$$M_{agua_SUAVIZADA} = [M_{T_vapor}] \times \% \text{ Reposición en Caldera} + [M_{T_enfriamiento}] \times \% \text{ Reposición en Torre.}$$

2.4-. Conclusiones Parciales.

1. Las aguas de las fuentes de abasto de las posibles localizaciones para la Planta de Agar Agar presentan diferencias en la composición, pero están todas dentro del rango permisible para su explotación. En el caso del agua proveniente de la Presa Minerva se destaca su mejor calidad en cuanto a la dureza.
2. Debido a las localizaciones propuestas para la planta, el agua puede tomarse directamente de las fuentes de abasto (como agua gruda) o de la red urbana (agua potable).
3. Para la localización de la Planta de Agar para la toma de agua se tuvieron en cuenta tres fuentes fundamentales, el agua en Cienfuegos parte del embalse Hanabanilla, en Sancti Spiritus del embalse Tuinicú y para la localización más probable en Villa Clara el agua parte del embalse Minerva.
4. De acuerdo a la posible localización prevista en la Universidad sería necesario acometer una planta potabilizadora por cuanto la capacidad de la planta de tratamiento actual que abastece dicha institución no es capaz de absorber la demanda de un nuevo usuario.
5. La tecnología A2-M, propuesta para obtener un Agar Agar grado biotecnológico representa la variante tecnológica de mayor exigencia en calidad y cantidad para un sistema de tratamiento de agua, siendo esta empleada como referencia para concebir en principio dicho esquema de tratamiento.

Capítulo III: Desarrollo de Modelo Conceptual para el Sistemas de Tratamiento de Agua.

3.1. Análisis de sistemas típicos para el tratamiento de agua.

Para la concepción final de un Sistema de Tratamiento de Agua (STA) en una Planta de obtención de Agar Agar, se desarrolló un análisis de diferentes sistemas de tratamiento, de diferentes categorías y magnitud, para distinguir aspectos particulares de dichos sistemas que muchas veces son ignorados en los materiales teóricos-bibliográficos sobre el tema.

Teniendo en cuenta;

- la no existencia de Plantas de Obtención de Agar en Cuba,
- imprecisiones de las exigencias cualitativas y cuantitativas en los requerimientos de agua,
- incertidumbre en la microlocalización de estas instalaciones, y
- propósito de este trabajo en concebir un Modelo de Planta de Tratamiento General para este Proceso,

se reafirma la conveniencia de desarrollar este estudio y recopilación. Además, esto permitió identificar las características que presentan estos sistemas en nuestro país, y sobre todo en el entorno geográfico asociado a la posible macrolocalización de estas instalaciones objeto de análisis.

3.1.1. Análisis de un Sistema de Potabilización Municipal.

Tomando en consideración el esquema 1.4 donde se muestra que la fuente de suministro de agua a una Planta puede ser directamente de la fuente natural o de la RED de agua potable a población, y que el proceso de obtención de agar agar utiliza una elevada cantidad de agua potable, se profundizó en aspectos ingenieriles vinculados a la obtención de esta agua, para lo cual se examinó la carpeta técnica de una Planta Potabilizadora Municipal (*Informe Técnico, Manicaragua, 1988*).

Capacidad de la Planta.

Es una Planta de Tratamiento a un gasto de 80 L/s

Descripción de la tecnología de la Planta.

La Planta Potabilizadora ha sido diseñada de forma tal que la misma presente buena flexibilidad de operación en el tratamiento de las aguas, teniendo que adaptarse a las variaciones estacionales de sus características, pero destacando que en lo fundamental, se dispondrá de un agua cruda con gran contenido de color, baja turbiedad y presencia de Hierro y Manganeseo en cantidades que sobrepasan los valores admisibles para las normas cubanas, también se pueden presentar otras complejidades en algunos períodos del año, como valores de pH de 8 y alcalinidad en rango de 60 a 70 mg/l e inferiores. Para hacer frente a las características y complejidades antes mencionadas, el sistema parte de una cámara de mezcla rápida con un vertedor rectangular donde será dosificado el sulfato de alúmina, tras esta etapa inicial comienza la formación de pequeños flóculos que segundos más tardes son favorecidos con la incorporación de silicato de sodio que es activado en la misma masa del agua con la ayuda de la alúmina antes incorporada.

En esta tecnología se aprovecha un floculador de paletas existente con las revoluciones y gradientes de velocidad adecuados y seguidamente un sedimentador de lecho en suspensión.

El pH después de los procesos antes descritos será ajustado mediante la dosificación de hidrato de cal hasta un medio ligeramente alcalino con un rango de valores de 7.1 a 7.8.

Como ulterior operación para la potabilización será aplicado cloro como agente oxidante antes de la etapa de filtración que junto a la arena recubierta de $MnO_2 (s)$ existente en la actualidad en la planta, hace posible la remoción del Manganeseo por filtración catalítica. El cloro libre residual a la salida de los filtros se mantendrá entre 2.5 y 3.5 mg/l , valor este suficiente en esta planta para lograr una óptima filtración catalítica y la desinfección del agua.

Identificación de los órganos que componen la Planta.

- Cámara de entrada.
- Floculador.
- Sedimentador.
- Cisterna de aguas sedimentadas
- Caseta de bombas
- Batería de filtros a presión.
- Edificio de química.
- Tanques apoyado y elevado.

En la caseta de bombas están situadas las bombas de cloración, las bombas de filtrado y lavado. Además la Planta dispone de un Laboratorio Químico para el control.

Dosificación de productos químicos.

La dosificación de productos químicos solo podrá ser definida después de la realización de un gran número de “Pruebas de jarras”; aunque después de efectuados los ensayos realizados a distintas aguas superficiales de la antigua provincia de las Villas por el equipo de trabajo del Laboratorio Provincial del Poder Popular de Santa Clara, se puede establecer para aguas con gran contenido de color y baja turbiedad la siguiente dosificación de partida:

- . Solución de sulfato de Alúmina 60 a 100 mg/l
- . Solución de silicato de sodio 2 a 5 mg/l (SiO₂)
- . Solución de hidrato de cal 20 a 30 mg/l
- . Cloro líquido (Catálisis y desinfección)

3.1.2. Análisis de un Sistema de Tratamiento Industrial.

Para profundizar en la tecnología e ingeniería de un sistema de tratamiento de agua industrial se examinó la documentación técnica de la Planta de Tratamiento de Agua del Combinado Textil “Desembarco del Granma” (*Laza, A., 1987; Díaz, R., 1990*), por ser esta una de las más completas que se conoce en el entorno de la región central del país, así como que procesa agua cruda proveniente de la Presa Minerva, la misma que debe ser la fuente de suministro a la Planta de Agar si se microlocaliza en la Universidad Central de Las Villas (ver figura 2.2).

Capacidad de la Planta.

Esta planta tiene una capacidad máxima de 1000 m³/h y una capacidad nominal de 820 m³/h.

Descripción general del proceso tecnológico.

El abastecimiento de agua cruda al Combinado procede de la presa Minerva a través de una estación de bombeo ubicada en ese lugar, dicha agua antes de ser tratada es almacenada en la cisterna de agua cruda que a la entrada posee una válvula motora mariposa, que controla el flujo de acuerdo al nivel de agua en dicha cisterna. Esta posee cuatro bombas, una de ellas se mantiene en stand – by, las cuales suministran agua al clarificador, de estas bombas una se opera manualmente y las dos restantes operan de acuerdo con el nivel de la cisterna de agua filtrada.

A la entrada del clarificador se añaden los siguientes productos químicos:

- . Sulfato de alúmina Al₂(SO₄)₃, el cual se utiliza como coagulante.
- . Hipoclorito de sodio, (NaClO), se utiliza como desinfectante y alguicida en la pre-cloración.

Otros productos químicos se mezclan con el agua cruda y los sólidos disueltos, son coagulados y sedimentados.

El agua tratada en el clarificador fluye hacia el filtro a donde es conducida por unos canales y vertederos de distribución a cada una de las ocho celdas de que está formado el filtro. Cada una de estas celdas contiene el medio filtrante, que está constituido por diferentes capas superpuestas de gravilla y arena.

Una vez que el agua ha sufrido este proceso pasa a la cisterna de agua filtrada de donde succionan las bombas que alimentan el agua a los equipos de suavizar, que están constituidos por cuatro suavizadores; pero previamente se le hace una inyección de tiosulfato de sodio ($S_2O_3Na_2$) para eliminar el cloro residual que perjudicaría la resina intercambiadora de dichos equipos.

El agua tratada es almacenada en la cisterna de agua suavizada de la cual succionan cuatro bombas, una se mantiene en Stand – by y las tres restantes operan de acuerdo al nivel del tanque elevado, donde llevan esta agua al comportamiento correspondiente, de allí se alimenta por gravedad a los distintos consumidores de la fábrica.

De la cisterna de agua filtrada toman las bombas de agua filtrada, una en Stand – by y la otra funciona de acuerdo al nivel del tanque elevado, desde donde llevan el agua al segundo compartimiento del tanque elevado, siendo previamente clorada, de aquí por gravedad se suministra a los consumidores.

Para las calderas del Combinado que trabajan a alta presión el agua continua sus tratamientos. Precisamente esa agua suavizada (sin dureza y con alta alcalinidad) es el agua que se alimentará a los intercambiadores iónicos de una Planta Desmineralizadora que tienen intercambiadores cargados con resina catiónica fuertemente ácida en ciclo sodio (Na^+) similar a la resina de los suavizadores, con la diferencia de que la resina trabajará en ciclo hidrógeno (H^+), por lo que opera en línea con la Planta para regenerar la resina con la solución de ácido sulfúrico.

El agua de salida de los intercambiadores iónicos tiene acidez mineral libre (AML) en valores de aproximadamente 60 ppm y un pH extremadamente bajo (3-4), donde todo el ácido carbónico se encuentra como CO_2 disuelto en el agua, lo que le imprime a ésta un carácter extremadamente agresiva o corrosiva.

Esta agua posteriormente se mezcla con agua suavizada (de alta alcalinidad) en proporciones definidas (aproximadamente 70% de agua suave y 30% de agua ácida) obteniéndose un agua con baja alcalinidad 40-60 ppm de AT), un pH aproximadamente de 6-6,5 y continúa siendo muy corrosiva, pues todavía contiene todo el CO_2 disuelto el cual es fácilmente eliminable de la solución en una torre descarbonatadora o desgasificadora.

En este caso la torre consiste en una columna rellena con anillos rashig (empaques) para dispersar el agua en finísimas gotas a fin de aumentar la superficie de contacto de las gotas de agua con el aire suministrado por el Ventilador a contracorriente: Este aire elimina el CO_2 a la atmósfera sin variar prácticamente el valor de alcalinidad total (AT) del agua.

Como es obvio el pH del agua aumenta producto de la eliminación del CO_2 ; se obtendrá valores de 7-8 y el agua que se almacena en la cisterna para alimentarse directamente a las Calderas.

Identificación de los órganos que componen la Planta.

Planta de Agua Potable y Suavizada.

- Cisterna de agua cruda
- Clarificador
- Filtro de arena
- Cisterna de agua filtrada
- Cisterna de agua suave
- Cisterna de drenaje
- Suavizadores
- Cisterna de disolución de cloruro de sodio (Cl Na)
- Tanque de medición de solución de cloruro de sodio.
- Tanque de disolución de alúmina ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$)
- Tanque de disolución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3$)
- Tanque de alimentación de hipoclorito de sodio (Na O Cl)
- Bomba de alimentación a los suavizadores
- Bomba de agua filtrada
- Bomba de agua suave
- Bomba de agua al eyector
- Bomba de lavado superficial
- Bomba de agua residual
- Bomba de transferencia de cloruro de sodio

- Bomba dosificadora de cloruro de sodio
- Bomba de alimentación de alúmina
- Bomba de alimentación de tiosulfato de sodio
- Bomba de pre-cloración
- Bomba de pos-cloración

Planta de Desmineralización y Descarbonatación.

- Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico concentrado.
- Tanque de preparación de la solución diluida de ácido sulfúrico a 18 °Be.
- Columnas intercambiadoras de iones.
- Sistema de mezcla.
- Columna descarbonadora, Aereador ó Torre.
- Cisterna de almacenamiento de agua descarbonatada.
- Sistema de bombeo de agua descarbonatada.

En el Anexo VII se presenta en diagramas de bloques la representación de los tratamientos del Sistema para el agua del Combinado Textil, así como el esquema original con la ingeniería de dicha Planta

Reactivos químicos involucrados en el proceso:

NaClO ----- (Hipoclorito de sodio)

Al₂(SO₄)₃ --- (Sulfato de alúmina)

Na₂SO₃ ----- (Tiosulfato de sodio)

NaCl ----- (Cloruro de sodio)

H₂SO₄ ----- (Acido sulfúrico concentrado) Para Planta Descarbonadora.

3.1.3. Análisis de otros Sistemas de Tratamientos.

A partir de las propias indefiniciones aún existentes en cuanto a los requerimientos de la calidad del agua para la producción del agar agar (recordar que estas tecnologías están en desarrollo), se consideró tomar en cuenta las aplicaciones fundamentales previstas para la producción de este biopolímero en nuestro país (*Hernández, A., Corona, R., 2000*), y con ello seleccionar sistemas de tratamiento de agua vinculados a esas aplicaciones para usarlos como referencia en el establecimiento de tratamientos y calidades de agua.

Tratamiento para procesos alimenticios.

Una de las aplicaciones importantes del agar agar es en la producción de puré de frutas y en los lácteos. Es por ello que como parte de la búsqueda de información para este trabajo se visitó el Combinado Lácteo “Escambray” en Cumanayagua, que emplea agua del Sistema Hanabanilla que se corresponde con la fuente origen para una posible microlocalización de una Planta de Agar Agar en Cienfuegos. La tabla 3.1 muestra algunos criterios de indicadores para algunas aguas en el Combinado.

Tabla 3.1: Aguas del Combinado Lácteo “Escambray”					
Muestra de Agua	Dureza Total	Sólidos Disueltos Totales	Alcaliz Total	Cloro libre residual	Otros
Agua Potable				0,3 – 0,5 mg/L	Cumplir NC 93-02
Agua Suavizada	0 – 10				
Alimentación Caldera	a 0 – 10			0,3 – 0,5 mg/L o menor	
Vapor condensado		máx. 50 mg/L			PO ₄ ⁻³ libre = 0
Interior Caldera	0	3000-3500 mg/L	máx. 2000 OH ⁻ min. 150 OH ⁻		PO ₄ ⁻³ libre = 20-60 SO ₄ ⁻³ libre = 20-40
Torre de Enfriamiento	máx.25				Turbiedad máx. 10 No presencia de alga Is 0 – 0,3
Banco de Hielo					Is 0 – 3 a 4 °C
Proceso				0.2 – 2 ppm máx.	

Tratamientos para procesos farmacéuticos.

Se visitaron dos unidades con orientaciones diferentes; el Laboratorio Provincial de Plantas Medicinales, en Santa Clara, dedicado a la elaboración de fitofármacos, y la Planta de Bioactivos Químicos, adjunta a la Universidad Central de Las Villas, dedicada a principios activos de origen químico. Ambas tienen en común ser Laboratorios de Producción y dedicadas a la elaboración de productos con calidad farmacéutica.

El Laboratorio de Plantas tiene en común con la producción de agar los siguientes aspectos:

- Procesan ambas productos naturales de origen vegetal, con procedimientos extractivos.
- El agar puede lograrse en pequeñas plantas con medios e instalaciones similares.
- El agar puede utilizarse en las producciones de fitofármacos participando como producto auxiliar en papeles de agente estabilizante, espesante o emulsificantes.

En esta instalación se pudo conocer la utilización de las siguientes aguas:

- Agua Destilada. (Para Proceso).
- Agua Desionizada. (Para Proceso).
- Agua Potable. (Para el Lavado).

El agua destilada se logra mediante un equipo de destilación de laboratorio. El agua desionizada se logra por un equipo desmineralizador de tres columnas modelo DC-3 con capacidad teórica de 4 m³/día.

En la Planta de Bioactivo el proceso es de síntesis química y en el mismo el agua destilada empleada para los procedimientos aquí desarrollados cuando se investigaban a escala de laboratorio fue sustituida por agua desionizada para la operación comercial. Para ello parten de agua potable y la someten a un desionizador tipo 346 EPDM de nacionalidad suiza.

Tratamientos para procesos biotecnológicos.

Se visitó una Biofábrica, específicamente la ubicada en el Instituto de Biotecnología de las Plantas en la Universidad Central de Las Villas. En esta instalación se emplean tres tipos de agua:

- Agua Desmineralizada.
- Agua Acéptica.
- Agua Potable

3.2. Desarrollo de Modelo Conceptual para el Sistema de Tratamiento de Agua.

Una vez recopilada información bibliográfica y práctica sobre los sistemas de tratamiento de agua, y luego de haber caracterizado las fuentes de suministro para las posibles microlocalizaciones de Plantas de Agar Agar, así como de definir cualitativamente los requerimientos de agua por este proceso y las vías de cuantificación se presentará un Modelo Conceptual General del Sistema de Tratamiento de Agua.

3.2.1. Definición y representación del Modelo Conceptual.

Tomando en consideración el esquema representado en la figura 1.4 y valorando lo expuesto para el proceso de obtención de agar agar en la tabla 2.8 se puede definir el Sistema de Tratamiento. Su representación puede observarse en la figura 3.1. Además de los tratamientos necesarios se ofrece información del destino del agua.

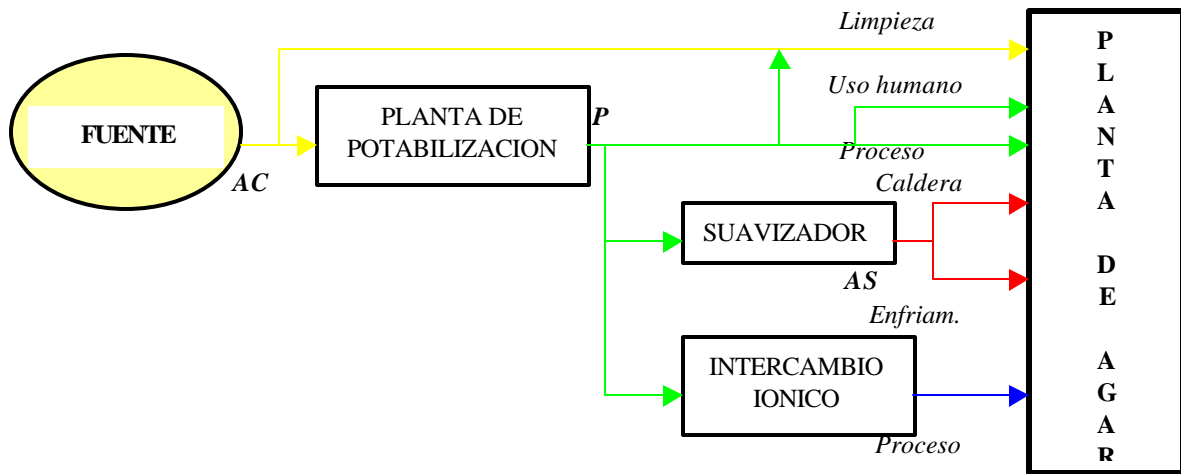


Figura 3.1: Modelo Conceptual de Planta de Tratamiento de Agua para Fábrica de Agar
Agar.

AC - Agua Cruda, AP – Agua Potable, AS – Agua Suavizada, AD – Agua Desmineralizada.

3.2.2. Sub-sistema para agua potable.

Una Planta de Agar Agar requiere de importantes cantidades de agua potable. Si la Fábrica se ubica en el perímetro urbano puede utilizar directamente la RED Municipal siempre y cuando exista capacidad, y entonces no será necesario incorporar este tratamiento. Si la fuente de suministro es agua cruda entonces será necesario potabilizar una significativa parte de la consumida en general por la Planta. El esquema particular de los tratamientos para la potabilización se muestra en la figura 3.2. Si la capacidad de la Planta de Agar es pequeña puede emplearse una Estación de Potabilización Compacta como la que ofrece la firma **ALASTOR-PRENDES.SA.**

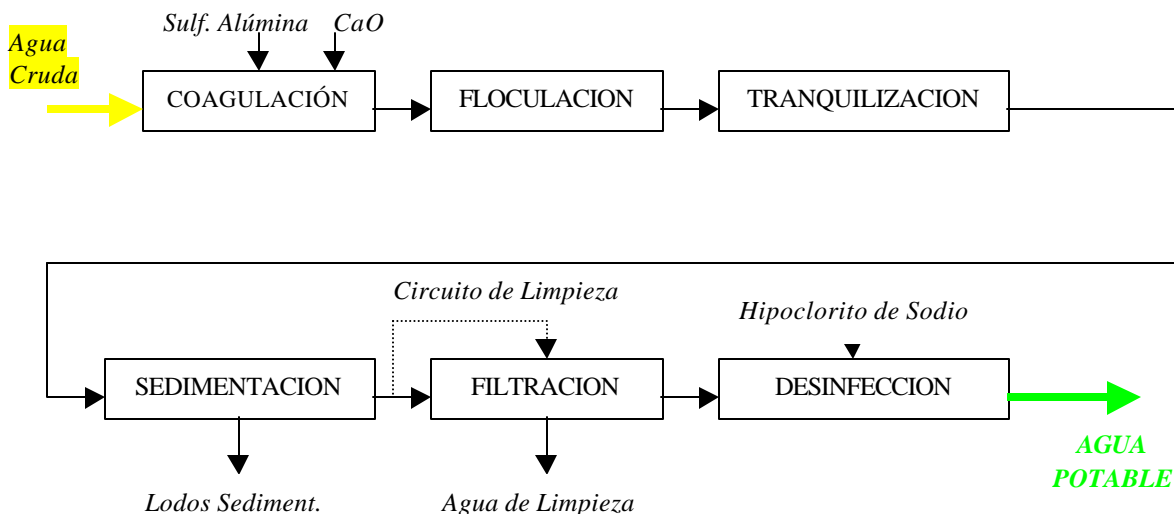


Figura 3.2: Esquema del Sistema de Potabilización.

3.2.3. Sub-sistema para agua de caldera y enfriamiento.

El Proceso del Agar Agar no utiliza máquinas de vapor ni co-genera energía eléctrica por lo que utiliza vapor a bajas presiones. Así mismo, la red de enfriamiento no intercambia con medios muy calientes, no se exceden de los 100 °C. El agua para la Caldera puede solo suavizada, sin tratamiento complementario pues el equipamiento del proceso principal es de acero inoxidable reduciéndose las acciones de corrosión, mientras el agua de enfriamiento debe además de suavizarse, mezclarse con productos antialgas.

Este suavizador puede ser convencional como los que propone, diseña y comercializa la empresa **ALASTOR. SA.** que cuenta con una etapa de intercambio catiónico fuerte ciclo sodio. En la figura 3.3 se representa este subsistema, que emplea el agua potable del subsistema correspondiente.



Figura 3.3: Esquema del Sistema de Suavizado.

3.2.3. Sub-sistema para agua de proceso.

Para el proceso se utilizará en buena medida agua potable, pero las etapas que requieren de agua tratada pueden ser satisfechas por medio de un tratamiento de intercambio iónico. Se propone un sistema de 3 columnas con intercambio catiónico fuerte ciclo hidrógeno, intercambio aniónico fuerte e intercambio con lecho mixto. Este sistema es totalmente independiente del sub-sistema de agua suavizada y utiliza el agua procedente del sub-sistema de potabilización. La figura 3.4 representa a este sistema.

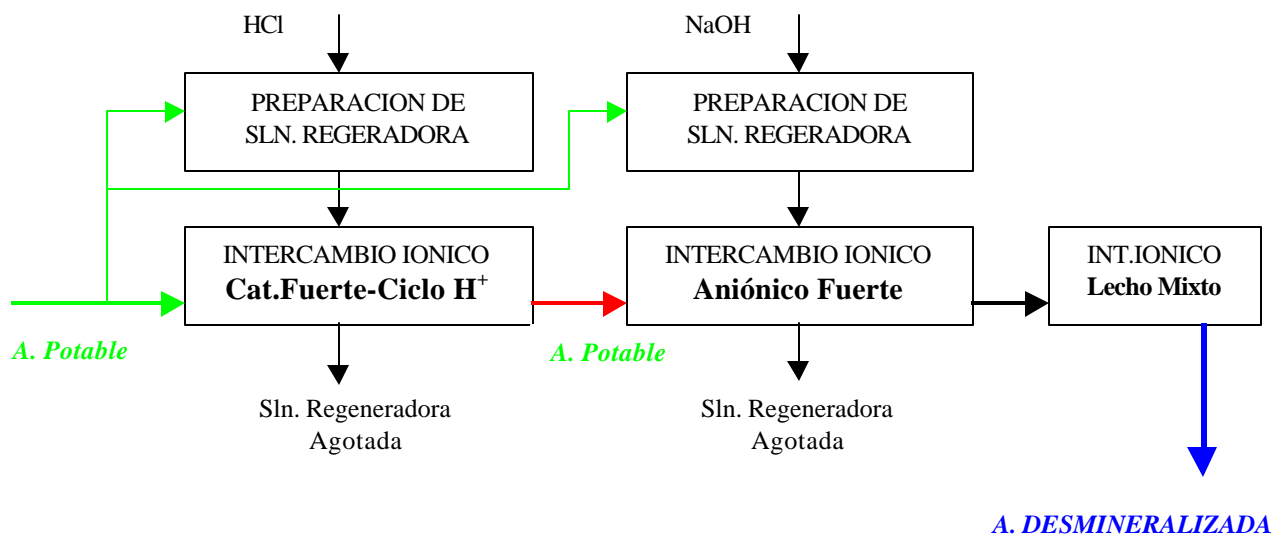


Figura 3.4: Esquema del Sistema de Desmineralización.

3.3-. Conclusiones Parciales.

1. Los sistemas típicos en Cuba para el tratamiento del agua potable constan por lo general de varias operaciones unitarias típicas consistentes en; coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección utilizando como productos auxiliares (coagulación y desinfección) sulfato de alúmina, hidróxido de calcio e hipoclorito de sodio.
2. Se analizó el sistema de tratamiento de la Textilera como proceso industrial por cuanto este procesa agua prevista para una localización de la Planta de Agar Agar en Villa Clara y produce calidades de agua equivalentes a las que demanda el proceso de obtención de agar.
3. En correspondencia con las aplicaciones del agar agar se analizaron los sistemas de tratamiento de instalaciones productivas asociadas a las mismas.
4. El sistema de tratamiento de agua para una planta de obtención de agar agar quedó integrado por los siguientes componentes: subsistemas para agua potable, subsistema para agua de caldera y enfriamiento y subsistema para agua de proceso.

Capítulo IV: Evaluación del Modelo para una alternativa concreta de las consideradas para este trabajo.

A continuación, y a modo de ejemplo, se procede a presentar el análisis y diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua para una Planta de Agar Agar de pequeña capacidad ubicada en la Universidad Central de Las Villas, que se corresponde con el Anteproyecto desarrollado por *M. C. Manrique y R. Corona, 2001* y que utiliza la Tecnología A-3 (*Oliva, Y., Corona, R., 1999*) para la obtención del agar. De esta forma se muestra el modo de aplicar el Modelo General concebido.

4.1. Definición de las condiciones.

En la tabla 4.1 se presentan de forma resumida las condiciones fundamentales del ejemplo de utilización del Modelo de Planta de Tratamiento establecido en el epígrafe 3.2.

Generales	Macrolocalización:	Ciudad de Santa Clara.
	Microlocalización:	Universidad Central de Las Villas.
Fuente de Suministro	Fuente Natural (FAN):	Presa Minerva.
	Características de FAN:	(Ver Tabla 2.2 de este trabajo).
	Fuente Inmediata:	Planta Potabilizadora de la Universidad Central de Las Villas
Proceso	Producto Principal:	Agar Agar
	Capacidad de la Planta	2000 kg/año
	Materia Prima	Alga <i>Gracilaria cylindrica</i>
	Tecnología:	A3 (agar grado alimento)

Según un *Proyecto del Acueducto, 2001*, la Planta Potabilizadora Universitaria no opera de forma efectiva por cuanto su tecnología se remonta a la década del 50, con marcado deterioro técnico, así como originalmente concebida para tratar las aguas del Río Ochoita y no de la Presa Minerva que es hoy quien la abastece. Por esta razón no debe emplearse el agua potable proveniente de esta unidad de tratamiento.

4.2. Estructura del Sistema.

Fuente: El agua cruda de la Presa Minerva será tomada de la derivada que llega al Establecimiento de Transporte de la Universidad Central que se conecta a la línea de central de abastecimiento a la Universidad en un punto antes de la Planta Potabilizadora Local.

Proceso: La tecnología de obtención de agar agar A-3 se representa en la figura 4.1 en la que se ha señalado la red de suministro de agua a las secciones y etapas principales.

Sistema de Tratamiento: Se corresponde con el representado en la figura 3.1 y se muestra en plena armonía con el proceso tecnológico seleccionado en la propia figura 4.1. Su esquema de ingeniería se presenta en la figura 4.2. En el Anexo VIII se ilustra mediante fotos los diferentes componentes del Sistema de Tratamiento. Se muestra un Módulo Compacto de Potabilización de 30 m³/día, el Filtro de Operación Rápida que utiliza, los Suavizadores y un Sistema de Intercambio Iónico para Desmineralización, para ofrecer una idea de las características del equipamiento propuesto.

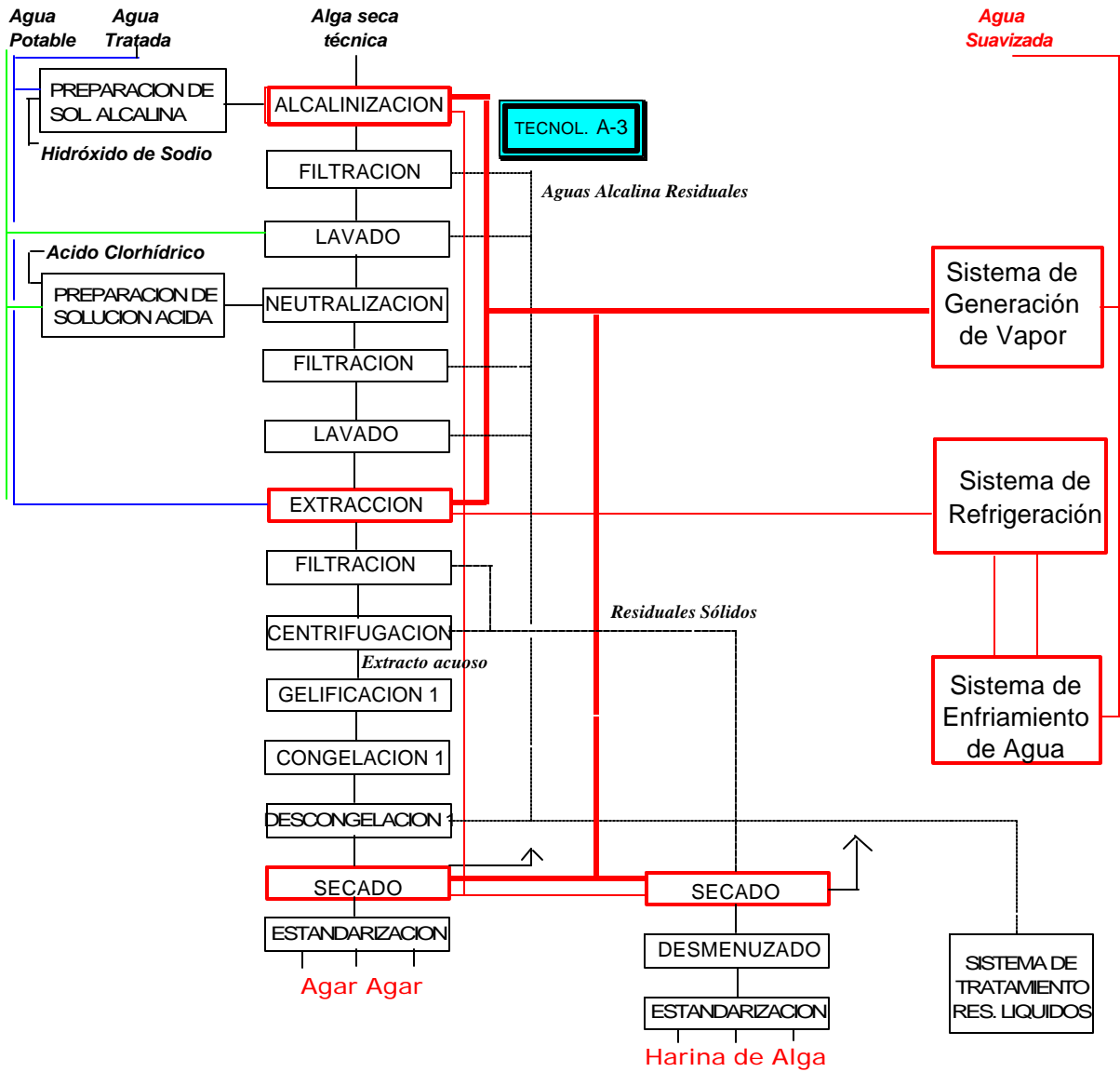


Fig. 4.1: Esquema Tecnológico Integrado para la Planta de Agar Agar.

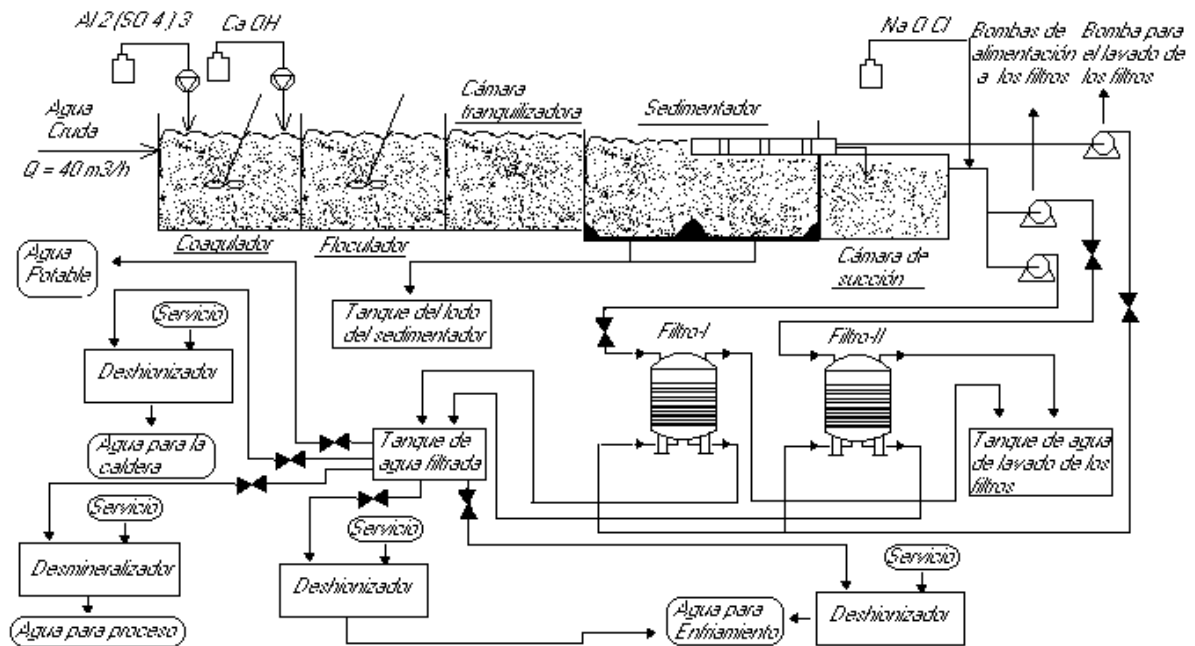


Fig. 4.2: Esquema de Flujo para la Planta de Tratamiento de Agua.

El Módulo Compacto de Potabilización es un objeto de obra externo a la Nave de Producción, el Sistema de Suavizado debe estar localizado en el Edificio de Calderas con facilidades de acceso a la Torre de Enfriamiento, mientras el Módulo de Desmineralización se incluye dentro de la Nave de Producción.

4.3. Modelo Matemático para el diseño del Sistema.

En el Anexo IX se presenta el algoritmo de cálculo que se estableció como modelo matemático para el cálculo del Sistema de Tratamiento definido en el epígrafe anterior, y será ejemplificado a través de los cálculos para el diseño de los componentes de este Sistema, los cuales se presentarán en el epígrafe que continua.

4.4. Diseño del Sistema.

4.4.1.- Cálculo y estimación de los consumos de agua.

Cronograma de Operación de la Planta: Tomando en consideración los tiempos de operación ofrecidos por *Y. Oliva, R. Corona, 1999*, se define en su propio trabajo, un cronograma de operación para la Planta de Agar en el que se establecen 5 batch al día. Los resultados del programa de operación se muestran en la tabla del Anexo X.

Macrobalances: En la tabla 4.2 se muestran los resultados básicos del balance de carga y capacidades para la Planta. Estos valores son obtenidos al emplear una hoja de cálculo en EXCEL empleando los parámetros establecidos para esta tecnología por *Y. Oliva, R. Corona, 1999*.

Tabla 4.2: Macrobalances			
Días Totales de Producción	240		
Total de Batch Semanales	25		
	Total	Semanal	Batch
Masa Total de Alga	13333.33	277.78	11.11
Producción de Agar Agar	2000.00	41.67	1.67
Producción de Harina de Alga	3333.33	69.44	2.78

Microbalances: La tabla 4.3 contiene los valores en masa para las corrientes del proceso tecnológico procesados en la hoja de cálculo en EXCEL empleando los datos y parámetros definidos por *Y. Oliva, R. Corona, 1999*, y el modelo matemático definido en la tabla 2.9.

Tabla 4.3: Balances de Materiales para un Batch.						
CORRIENTES	AST	SAL	AAL	RA	AF0	API
VEGETAL	7.833		7.833		7.833	
AGAR EXT	1.500		1.500		1.500	
NaOH		22.222	22.222	22.222		
HCl						
AIGINATO	1.111		1.111	1.111		
AGUA	0.667	200.000	200.667	100.333	100.333	666.667
TOTAL	11.111	222.222	233.333	123.667	109.667	666.667
CORRIENTES	RL11	AL11	AP2	ACD	AN	RL21
VEGETAL		7.833			7.833	
AGAR EXT		1.500			1.500	
NaOH						
HCl				14.222	14.222	14.222
AIGINATO						
AGUA	666.667	100.333	222.222	30.222	352.778	237.921
TOTAL	666.667	109.667	222.222	44.444	376.333	252.143
CORRIENTES	AFN	AP3	RL22	ANL	ATI	E
VEGETAL	7.833			7.833		7.833
AGAR EXT	1.500			1.500		1.500
NaOH						
HCl	0.000					
AIGINATO						
AGUA	114.857	222.222	222.222	114.857	222.222	337.079
TOTAL	124.190	222.222	222.222	124.190	222.222	346.412
CORRIENTES	TAA	EF	RSAA	EL	EG	EC
VEGETAL	7.677	0.157	0.157	0.000	0.000	0.000
AGAR EXT		1.500		1.500	1.500	1.500
NaOH						
HCl						
AIGINATO						
AGUA	69.090	267.989	1.410	266.579	266.579	266.579
TOTAL	76.767	269.646	1.567	268.079	268.079	268.079
CORRIENTES	AMD	GD	AEI	AS	AM	AF
VEGETAL		0.000		0.000	0.000	0.000
AGAR EXT		1.500		1.500	1.500	1.500
NaOH						
HCl						
AIGINATO						
AGUA	187.655	78.924	78.757	0.167		
TOTAL	187.655	80.424	78.757	1.667	1.667	1.667

Balace de Energía por Etapas: Para el Balance de Energía se usaron ecuaciones elementales con vistas a calcular los requerimientos de vapor de los equipos. Las ecuaciones y consideraciones se presentan en

la tabla 2.11. Este modelo está implementado en el Software EXCEL y los resultados para las etapas con consumo de calor en el Proceso de Obtención de Agar Agar específicamente se presentan a continuación en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Consumos de Energía en etapas de calentamiento			
Etapas	Alcalinización	Extracción	Secado
Datos	m=123.667 Kg T ₂ =60 ⁰ C T ₁ =20 ⁰ C C _p =4.18 KJ/Kg	m=346.412 Kg T ₂ =95 ⁰ C T ₁ =25 ⁰ C C _p =4.18 KJ/Kg	λ=2312.7 KJ/Kg T ₂ =80 ⁰ C T ₁ =20 ⁰ C C _p =4.18KJ/Kg m ₁ =1.667 Kg m ₂ =79.49 Kg
Resultados	Q _g = 20677 KJ	Q _g = 101360.15 KJ	Q _g =184275.42 KJ

En la tabla 4.5 se presentan las condiciones de operación supuestas para la Caldera considerada, y en base a ello y el cronograma del Anexo X, se estimó mediante una hoja de cálculo en EXCEL, los consumos horarios de vapor y a su vez producción de condensado en la Planta para un día de operación, mostrándose en la tabla 4.6.

Tabla 4.5: Condiciones operacionales de la Caldera	
Condiciones del Vapor	Caldera
Presión de Operación (kg/cm ²)	7-8
Condición del Vapor	Saturado
Calor Latente de Vaporización. (KJ/kg)	2120

Tabla 4.6: Cronograma para la Caldera				
Horario		Consumos de Caldera		
		Vapor		Condensado
Hora Inic.	Hora Final	M(kg/min)	m(kg/h)	m (kg)
7.15	7.21	1.477773	88.66636	7.4
9.20	9.45	1.593712	95.62274	39.84281
9.45	9.50	3.071485	184.2891	15.35742
9.50	9.51	1.477773	88.66636	1.477773
11.00	11.30	0.643868	38.63208	19.31604
11.30	11.50	0.643868	38.63208	12.87736
11.50	12.00	1.593712	95.62274	15.93712
12.00	12.06	4.037287	242.2372	24.22372
12.06	12.20	2.559514	153.5708	35.8332
12.20	13.50	0.965802	57.94811	86.92217
13.50	13.56	1.799707	107.9824	10.79824
13.56	14.05	0.965802	57.94811	8.692217
14.05	14.35	0.965802	57.94811	28.97406
14.35	15.30	2.559514	153.5708	140.7733
15.30	15.55	0.965802	57.94811	24.14505
15.55	16.00	2.23758	134.2548	11.1879
16.00	16.05	2.23758	134.2548	11.1879
16.05	16.11	3.393419	203.6051	20.36051
16.11	16.25	2.23758	134.2548	31.32612
16.25	16.30	0.643868	38.63208	3.21934
16.30	18.10	0.643868	38.63208	64.38679
18.10	18.40	2.23758	134.2548	67.12741
18.40	20.30	0.643868	38.63208	70.82547
20.30	21.00	0.321934	19.31604	9.658019
Total de Condensado / día				855.652

A continuación se presentan los resultados de los balances de energía en las etapas consumidoras de agua de enfriamiento para los condensadores de reflujo (condiciones de operación en tabla 4.7) y del sistema de refrigeración (congelación).

Tabla 4.7: Condiciones operacionales de los Condensadores de Reflujo				
Etapa	Temp. de Operación	Tiempo de Operación	% de agua evaporada	Masa de Agua a Condensar
Alcalinización	60 °C	60 min	5	12 kg
Extracción	95 °C	120 min	15	52 kg

- Condensador de la etapa de alcalización

$$Q_c = m \cdot v \cdot \lambda$$

$$\lambda = 2358 \text{ KJ/Kg}$$

$$Mv = 12 \text{ Kg/h}$$

$$Q_c = 28296 \text{ KJ/h}$$

- Condensadores de la etapa de extracción(2)

$$Q_c = m \cdot v \cdot \lambda$$

$$\lambda = 2270 \text{ KJ/Kg}$$

$$Mv = 26 \text{ Kg/h}$$

$$Q_c = 59020 \text{ KJ/h}$$

- Balance de Energía en la Etapa de Congelación.

Datos:

$$M = 268.079 \text{ Kg/batch}$$

$$\lambda(0^{\circ}\text{C}) = 2493.1 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_c = M \cdot C_p \cdot (0-30) + M \cdot C_{p_{\text{sol}}} \cdot (-15-0) + M \cdot \lambda_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$Q_c = 268.079 \cdot 4.23 \cdot (-30) + 268.079 \cdot 4.18 \cdot (-15) + 268.075 \cdot 2493.1$$

$$Q_c = 617519.98 \text{ KJ/batch}$$

$$\frac{Q}{12h} \cdot 5\text{batch} = 257299.9 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} = 71.47 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

- Balance de Energía en Condensador del Sistema de Refrigeración.

Asumiendo que en el condensador se debe retirar el calor extraído por el refrigerante al gel de agar que congela en cada batch, más el calor de compresión del refrigerante considerando un 20 % del primero, entonces el calor cedido por el gel de agar debe afectarse por un factor de 1.2.

$$Q_c = Q \cdot 1.2 = 85.76 \text{ KJ/s}$$

Cálculo del consumo de agua diario:

Los consumos de Agua de Proceso pueden reconocerse en la tabla 4.3 (para un batch). Los consumos reales se estiman con un 20 % por encima de los valores teóricos.

$$\text{Agua Potable} = (666.66 + 222.22 + 222.22) \text{ kg/batch} \times 5 \text{ batch/día} \times 1.2 = 6666.6 \text{ kg/día.}$$

$$\text{Agua Desionizada} = (200 + 222.22) \text{ kg/batch} \times 5 \text{ batch/día} \times 1.2 = 2533.32 \text{ kg/día}$$

$$\text{Total de Agua de Proceso} = (6666.6 + 2533.32) = \mathbf{9199.92} \text{ kg/día.}$$

Para definir los consumo de agua suavizada para la Caldera se observa en la tabla 4.6 que a las 12.00 m se evidencia el máximo consumo de vapor por espacio de 6 minutos con valor 242.2372 kg/h. El total de condensado durante un día es de **855.652** kg. Considerando un consumo de vapor de 1.5 veces el teórico y asumiendo la necesidad de reponer diariamente el 10 % del agua para caldera entonces se puede estimar el consumo por:

$$\text{Agua Suavizada para Caldera} = (855.652 \text{ kg/día}) \times 1.5 \times 0.10 = \mathbf{128.35} \text{ kg/día}$$

Por el Modelo del Balance de Energía en los Condensadores de Reflujo se puede estimar los flujos de Agua de Enfriamiento necesarios en cada una de las etapas que lo requiere. Estimando que el agua entra a 32 °C y sale a 39 °C se procede al cálculo de la masa de agua.

- Condensador de la etapa de alcalización

F.F

$$T_i = 32^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = 39^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 4.18 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{c}$$

$$Q_c = Q_g$$

$$m_v \cdot \lambda = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_p \cdot (39-32)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \mathbf{966.6 \text{ kg/h}}$$

F.C

$$M_v = 12 \text{ Kg/h}$$

$$\lambda = 2358 \text{ KJ/Kg}$$

- Condensadores de la etapa de extracción

F.F

$$T_i = 32^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = 39^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 4.18 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{c}$$

$$Q_c = Q_g$$

$$m_v \cdot \lambda = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_p \cdot (39-32)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \mathbf{2001.6 \text{ kg/h}}$$

F.C

$$M_v = 26 \text{ Kg/h}$$

$$\lambda = 2270 \text{ KJ/Kg}$$

En la tabla 4.8 se presentan los resultados del consumo horario de agua de enfriamiento calculado mediante el software *EXCEL* para los condensadores de las etapas de alcalinización y extracción.

Tabla 4.8: Consumo de agua para Reflujo						
Horario		Etapas con Enfriamiento		Agua de Enfriamiento		
Hora Inic.	Hora Final	Alcaliniz.	Extracc.	Flujo kg/min	Masa kg	Acumulad o kg
7.15	8.15	966.6		16.11	966.6	966.6
9.20	9.45		2001	33.35	833.75	1800.35
9.45	10.45	966.6		16.11	966.6	2766.95
10.45	11.20		2001	33.35	1167.25	3934.2
11.50	12.00		2001	33.35	333.5	4267.7
12.00	13.00	966.6	2001	49.46	2967.6	7235.3
13.00	13.50		2001	33.35	1667.5	8902.8
13.50	14.05	966.6		16.11	241.65	9144.45
14.05	14.50	966.6	2001	49.46	2225.7	11370.15
14.50	16.05		2001	33.35	2501.25	13871.4
16.05	17.05	966.6	2001	49.46	2967.6	16839
17.05	17.55		2001	33.35	1667.5	18506.5

Para los condensadores de reflujo se recirculan **18 506.5** kg/día de agua. Considerando un consumo real de 1.1 veces el consumo teórico:

$$\text{Agua Suavizada para Reflujo en Proceso} = 18506.5 \text{ kg/día} \times 1.1 = \mathbf{20\ 357.15 \text{ kg/día}}$$

El agua de enfriamiento necesaria para el sistema de refrigeración puede estimarse del modo siguiente:

$$q_c = 85.76 \text{ KJ/s}$$

$$q_g = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \mathbf{2.93 \text{ kg/s} = 10\ 548 \text{ kg/h}}$$

Tabla 4.9: Consumo de agua en Refrigeración.			
Horario			Agua de Enfriamiento
Hora Inic.	Hora Final	Número de Batch en Congelación	Flujo kg/min
7.00 am	7.30	4	140.64
7.30	8.00	3	105.48
8.00	12.00	2	70.32
12.00	12.30	2	70.32
12.30	12.40	0	0.00
12.40	15.10	1	35.16
15.10	17.25	2	70.32
17.25	19.15	3	105.48
19.15	21.30	4	140.64
21.30	7.00 am	5	175.8

Para el condensador de congelación puede estimarse que las cámaras operan todo el día y por tanto el consumo total de agua real puede considerarse 1.1 veces el teórico, entonces:

$$\text{Agua Suavizada para Enfriamiento de Congelación} = 10\ 548 \text{ kg/h} \times 24 \text{ h/día} \times 1.1 = \mathbf{278\ 467.2 \text{ kg/día.}}$$

Asumiendo que la reposición al sistema de enfriamiento es del 5 % de la recirculación entonces:

$$\text{Total de Agua Suavizada} = (20357.15 + 278467.2) \times 0.05 = \mathbf{14\ 941.2 \text{ kg/día}}$$

Balance Total de Agua: En la Tabla 4.10 se presenta el balance final de los servicios de agua para la Planta de Agar Agar. La Tabla 4.11 muestra las necesidades diarias de agua por su tipo.

Tabla 4.10: Necesidades de los Servicios de Agua				
Servicios de Agua		Total kg/día	Total (kg/día)	Total (m³/día)
Agua a Proceso	Semitratada	6666.6	9199.92	9.19992
	Tratada	2533.32		
Agua a Calderas		128.3478	128.3478	0.1283478
Agua a Enfriamiento	Cond. de Reflujos	1017.8575	14941.217	14.941217
	Cond. de Refriger.	13923.36	5	5
Agua Consumo Humano		15000	15000	15

Tabla 4.11: Consumos de Tipos de Agua		
Tipo de Agua	Total (kg/día)	Total (m³/día)
Agua Desmineralizada	2533.32	2.533
Total		
Agua Suavizada Total	15069.57	15.070
Agua Potable Total	39269.49	39.269

4.4.2.- Diseño de la Planta Potabilizadora de Agua.

Para establecer la capacidad de la Planta Potabilizadora se consideró los requerimientos de agua potable definidos en la tabla 4.11. El valor definido se aproxima a 40 m³/día.

Tabla 4.12: Datos iniciales para el diseño				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Flujo	$Q = V / T$	$V = 40 \text{ m}^3$ $T = 8 \text{ h}$	$Q = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q = 1.38 \text{ L/s}$	Pavlov, K. 1981
Flujo de diseño	$Q_{\text{Diseño}} = 5\% Q$	$Q_{\text{Diseño}} = (5-10\%)Q$	$Q_{\text{Diseño}} = 1.45 \text{ L/s}$ $Q_{\text{Diseño}} = 5.22 \text{ m}^3/\text{h}$	Manual técnico del agua, 1979

Tabla 4.13: Diseño de la cámara de coagulación y el agitador				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Volumen	$V = Q_{\text{Diseño}} \times t$	$t (1 - 5 \text{ min})$ $t = 4.0 \text{ min}$	$V = 0.348 \text{ m}^3$	Mectalf and Edeth, 1995
Potencia	$P = G^2 \times m \times V_c$	$G = (100 - 1000 \text{ s}^{-1})$ $G = 200 \text{ s}^{-1}$ $m_{H_2O} = 1.0087 \times 10^{-3}$	$P = 14 \text{ w}$	Mectalf and Edeth, 1995 Manual técnico del agua, 1979 Pavlov, K. 1981
Numero de Reynolds Diámetro	$N_R = \frac{D^2 \times n \times \rho}{\mu}$ $D = \frac{1}{3} a$	$a = 0.5 \text{ m}$ $n = (10 - 150 \text{ rpm})$ $n = 150 \text{ rpm} = 2.5 \text{ rps}$ $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3$	$D = 0.15 \text{ m}$ $N_R = 55764.8$ $N_R > 10\ 000$ El flujo es turbulento.	Mectalf and Edeth, 1995 Manual técnico del agua, 1979 Pavlov, K. 1981
Area total de paletas Velocidad de la paleta Velocidad relativa	$P = F_D \times V_R$ $P = \frac{C_D \times A_T \times \rho \times (V_R)^3}{2}$ $A_T = \frac{2(P)}{C_D \times \rho \times (V_R)^3}$ $V_P = \frac{P \times n \times D}{60}$ $V_R = 75\% \times V_P$	$C_D : 1.8$ (Para palas rectangulares)	$V_P = 1.18 \text{ m/s}$ $V_R = 0.88 \text{ m/s}$ $A_T = 0.002 \text{ m}^2$	Manual técnico del agua, 1979
Area de paleta	$A_p = L_p \times a_p$	$L_p = 0.05$ $a_p = 0.15$	$A_p = 0.0075 \text{ m}^2$	Aguila, K. 2001
Numero de paletas	$N^\circ \text{ paletas} = \frac{A_T}{A_p}$		$N^\circ \text{ paletas} = 3$	Manual técnico del agua, 1979

Tabla 4.14: Diseño de la cámara de floculación y el agitador.				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Volumen	$V = Q_{\text{Diseño}} \times t$	t (10 – 30 min) t = 15 min	$V = 1.305 \text{ m}^3$	Mectalf and Edeth, 1995
Potencia	$P = G^2 \times m \times V_C$	$G = (20 - 50 \text{ s}^{-1})$ $G = 20 \text{ s}^{-1}$ $m_{\text{H}_2\text{O}} = 1.0087 \times 10^{-3}$	$P = 0.53w$	Mectalf and Edeth, 1995 Manual técnico del agua, 1979 Pavlov, K. 1981
Numero de Reynolds Diámetro	$N_R = \frac{D^2 \times n \times \rho}{\mu}$ $D = \frac{1}{3}a$	$a = 0.7 \text{ m}$ $n = (5 - 10 \text{ rpm})$ $n = 10 \text{ rpm} = 0.02 \text{ rps}$ $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3$	$D = 0.35 \text{ m}$ $N_R = 2428.9$ $N_R < 10\ 000$ El flujo es laminar.	Mectalf and Edeth, 1995 Manual técnico del agua, 1979 Pavlov, K. 1981
Area total de paletas Velocidad de la paleta Velocidad relativa	$P = F_D \times V_R$ $P = \frac{C_D \times A_T \times \rho \times (V_R)^3}{2}$ $A_T = \frac{2(P)}{C_D \times \rho \times (V_R)^3}$ $V_p = \frac{P \times n \times D}{60}$ $V_R = 75\% \times V_p$	$C_D : 1.8$ (Para palas rectangulares)	$V_p = 0.2 \text{ m} / \text{s}$ $V_R = 0.14 \text{ m} / \text{s}$ $A_T = 0.2 \text{ m}^2$	Manual técnico del agua, 1979
Area de paleta	$A_p = L_p \times a_p$	$L_p = 0.15$ $a_p = 0.7$	$A_p = 0.105 \text{ m}^2$	Aguila, K. 2001
Numero de paletas	$N^{\circ} \text{ paletas} = \frac{A_T}{A_p}$		$N^{\circ} \text{ paletas} = 2$	Manual técnico del agua, 1979

Tabla 4.15: Diseño de la cámara tranquilizadora				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Area	$A = L \times a$	L = 0.7 a = 1.5	$A = 1.05 \text{ m}^2$	Aguila, K. 2001
Volumen	$V = A \times H$	H = (1 – 2 m) H = 1 m	$V = 1.05 \text{ m}^3$	Manual técnico del agua, 1979
Tiempo de retención	$t = \frac{V}{Q}$		$t = 0.2 \text{ h}$	Manual técnico del agua, 1979

Tabla 4.16: Diseño del sedimentador.				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Area de sedimentación	$A_{Sed} = \frac{Q}{v_{Sed}}$	Decantador rectangular $Q < 20 \text{ m}^3/\text{h}$ $v_{sed} = (0.5 - 1) \text{ m/h}$ $v_{sed}: 0.8 \text{ m/h}$ $t = (1 - 2 \text{ h})$ $t = 2 \text{ h}$	$A_{Sed} = 6.52 \text{ m}^2$	Manual técnico del agua, 1979
Volumen de sedimentación	$V_s = A_{Sed} \times h$	$h = (2 - 3) \text{ m}$ $h = 2 \text{ m}$	$V_s = 13.04 \text{ m}^3$	

Tabla 4.17: Diseño de la canaleta colectora.				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Area	$A = L \times a$	$L = 5.6$ $a = 0.25$	$A = 1.4 \text{ m}^2$	Aguila, K. 2001
Volumen	$V = A \times H$	$H = 0.2 \text{ m}$	$V = 0.28 \text{ m}^3$	Manual técnico del agua, 1979
Tiempo de retención	$t = \frac{V}{Q}$		$t = 0.05 \text{ h}$	Manual técnico del agua, 1979

Tabla 4.18: Diseño de la cámara de succión.				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Area	$A = L \times a$	$L = 2.0$ $a = 1.5$	$A = 3.0 \text{ m}^2$	Aguila, K. 2001
Volumen	$V = A \times H$	$H = 1 \text{ m}$	$V = 3.0 \text{ m}^3$	Manual técnico del agua, 1979
Tiempo de retención	$t = \frac{V}{Q}$		$t = 0.6 \text{ h}$	Manual técnico del agua, 1979

Selección de los filtros.

La selección del filtro se realiza a partir de una filtración rápida con velocidades de filtración entre (5-20 m/h) y un agua tratada anteriormente por una coagulación y una decantación, según Catálogo Comercial de una firma (**PRENDES ALASTOR**). Esta selección tiene en cuenta el flujo a tratar, el sistema de filtración, la aplicación y las características del filtro (Ver Anexo XI).

En este caso se seleccionan dos filtros del tipo BP – 200, con un flujo de $2.61 \text{ m}^3/\text{h}$ cada uno y la cada uno y aplicación (Turbiedad).

Aparte de la selección se calculan algunos parámetros necesarios:

Tabla 4.19: Parámetros del Filtro.				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Velocidad de filtración real Flujo de entrada a un filtro	$A_F = \frac{p \times D_F^2}{4}$ $V_{F-Real} = \frac{Q_1}{A_F}$ $V_{F-Real} = \frac{4 \times Q_1}{p \times D_F^2}$ $Q_1 = \frac{Q}{2}$	$p = 3.14$ $D_F = 0.5m$ Anexo XI	$Q_1 = 2.61 \frac{m^3}{h}$ $V_{F-Real} = 13.3 \frac{m}{h}$	Manual técnico del agua, 1979 PRENDES, ALASTOR. Cátalogo para filtros.
Area real de filtración	$A_{Real} = \frac{Q_1}{V_{Real}}$		$A_{Real} = 0.4 m^2$	Manual técnico del agua, 1979

Selección de las bombas.

Las bombas se seleccionaron a partir del flujo a tratar por el Catálogo Comercial de una firma (**PRENDES ALASTOR**).

Una bomba centrífuga de pequeña capacidad para el agua a utilizar en el retrolavado de los filtros con un tiempo de operación de 0.2 h diariamente.

Tabla 4.20: Parámetros de la Bomba				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Potencia instalada	$P_{inst} = \frac{Q \times H}{102 \times E} \times 1.1$	$Q = 8 \frac{m^3}{h}$ $H = 20 m.c.a$ $E = 78 \%$.	$P_{inst} = 0.61 Kw$	Rosabal, J. M. 1983. PRENDES, ALASTOR. Cátalogo para filtros.

Dos bombas centrífuga de pequeña capacidad para impulsión de agua a losa filtros con un tiempo de operación de 8 h diariamente. Se proponen dos bombas con el fin de mantener una de reserva.

Tabla 4.21: Parámetros de las Bombas				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Potencia instalada	$P_{inst} = \frac{Q \times H}{102 \times E} \times 1.1$	$Q = 5.22 \frac{m^3}{h}$ $H = 15 \text{ m.c.a}$ $E = 78 \%$	$P_{inst} = 0.30 \text{ Kw}$	Rosabal, J. M. 1983. PRENDES, ALASTOR. Cátalogo para filtros.

En el Anexo XII se muestra una vista superior de la Unidad Compacta de Potabilización diseñada.

4.3.3.- Diseño del resto de los componentes del Sistema de Tratamiento.

Selección del sistema para agua suavizada.

Para establecer la capacidad del sistema de tratamiento para el agua suavizada se suman las cantidades demandadas por el sistema de generación de vapor y el sistema de enfriamiento de agua cuyo valor se expone en la Tabla 4.11 y tiene magnitud de 15.07 m³ que puede aproximarse a 16 m³.

Tabla 4.22: Datos iniciales para el diseño				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Flujo de diseño total para los dos suavizadores	$Q_T = V_T / T$	$V_T = 16 \text{ m}^3$ $T = 8 \text{ h}$	$Q_T = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_T=0.55\text{L/s}$	Manual técnico del agua, 1979

Suavizador.

Se propone seleccionar dos suavizadores similares con capacidad de 1 m³/h.

Datos fijos:

Consumo de agua suave: $C_{as} = 1 \text{ m}^3/\text{h}$

Se determina la dureza (D) al agua de alimentación al suavizador por análisis químico en el laboratorio:

$D = 120 \text{ ppm}$

Se busca el equivalente del CaCO₃ (50) por la tabla en el Anexo XIII.

Tabla 4.23: Determinación de la Dureza Total.				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Dureza Total	$D_T = \frac{\text{Dureza}}{\text{Equivalente}}$	Dureza = 120 pmm Equivalente CaCO ₃ =50 Ver anexo XIII.	$D_T = 2.4 \text{ Meq/l}$	González, I. 2002. ALASTOR,S.A Diseño de suavizadores. Santiago, J.F. 1997.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

$\text{STD} = (\text{Alcalinidad Total} + \text{Cl}^-) \times 1.3$

La proporción entre el contenido de dureza total y sodio en el caso de Santa Clara se toma el 90 % de dureza y 10 % eq de sodio por lo que utilizamos la tabla No. 3 y 4.

b). Datos que debe definir el técnico:

Dureza residual: 0.1 meq/l

Ciclo de regeneración: 3 días

Cantidad de equipos a instalar: 2 - Se proponen dos suavizadores con el fin de mantener uno de reserva por ser mayor el flujo a tratar.

Tabla 4.24: Cálculo del contenido total de cationes				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Contenido total de cationes	$C_T = \left(\frac{Cl^{-1}}{58.3} + \frac{Alc.T}{50} \right) \times 1.3$	$Cl^{-1} = 30$ $Alc.T = 100$	$C_T = 3.26 < 5$ Meq. Por lo tanto se toma 5 Meq/l.	ALASTOR,S.A Diseño de suavizadores.

El Nivel de Regeneración se determina en la tabla No.3 con la dureza residual (0.1 meq/l) y el contenido total de cationes de (5 Meq/l).

Nivel de Regeneración (N_R) es 63 g/l

Con el Nivel de Regeneración (63 g/l) y el contenido total de cationes (5 Meq/l), se determina en la tabla No.4 la capacidad de intercambio efectiva, interpolando en el caso que sea necesario, la CIE es 0.84 eq/l (CIE).

Tabla 4.25: Determinación del volumen de resina				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Volumen de resina	$V_w = \frac{D_r \times V_1}{CIE \times 1000}$		$V_w = 7.06$ Pie ³	ALASTOR,S.A
Volumen de agua en la regeneración	$V_1 = C_{as} \times C_{Re.g.}$		$= 0.20$ m ³ $= 200$ lts $V_1 = 72.0$ m ³ / ciclo	Diseño de suavizadores.

Tabla 4.26: Otros parámetros que se deben calcular				
Parámetro	Fórmula	Datos	Resultado	Referencia
Consumo de sal por regeneración	$C_R = N_R \times V_W \times r_{H_2O}$		$C_R = 12.6 Kg$	ALASTOR,S.A Diseño de suavizadores.
Volumen de agua suave entre regeneraciones	$V_{as} = \frac{CIE \times V_W}{D_T}$	$V_W = 2 lts$	$V_{as} = 70.0 m^3$	
Indice de consumo de sal	$IC = \frac{C_R}{V_{as}}$		$IC = 0.18 Kg$ de sal/m ³ de agua suave	
Consumo anual de agua	$C_{aa} = C_{as} \times T$		$C_{aa} = 2112 \frac{m^3}{a}$	
Consumo anual de sal	$C_S = Q \times IC$		$C_S = 380.16 Kg$ de sal/a	

Con el volumen de resina de 8.6 pie³ en la tabla del Anexo II se selecciona el suavizador modelo M - 24 cumpliendo los requerimientos del proceso, utilizando resina Waffatit.

Tanque de agua suavizada.

$$V = 5 m^3$$

Selección del desionizador para el agua de Proceso.

La selección del desionizador, teniendo en cuenta que el flujo de agua desionizada que se requerirá es muy pequeño (2.2 m³/d), similar a la que requieren las plantas del Centro de Bioactivos Químicos e Instituto de Biotecnología de las Plantas de la Universidad Central, se decide proponer un equipo

desionizador con características y dimensiones similares a las existentes en dichas plantas. Las especificaciones necesarias para solicitar este equipo en el mercado son:

- Definir la calidad de agua según la norma (NC – 092)
- El uso del equipo

Cumpliendo estas especificaciones con el objetivo de la selección del desionizador.

4.5. Evaluación económica del Sistema.

4.5.1-. Costo de Sistema de Tratamiento para Agua Potable.

Tabla 4.27 (a): Costo de inversión. (Equipamiento)				
	Referencia	Fórmula	Costo	
			MN (\$)	USD (\$)
EQUIPOS				
Cámara múltiple	Castillas, A.L. 1983 ALASTOR. S.A. Planta Potabilizadora	(Peso 1 m ² =espesor x r_{acero} Plancha) $r_{acero} = 7.85 \text{ Kg/dm}^3$ 1000 Kg de acero = \$ 630.00 Determino el área del equipo y se aplica la regla de tres.	-	1730.00
2-Filtros rápidos, cerrados a presión modelo BP-200	PRENDES, ALASTOR. Cátalogo para filtros	La unidad (\$ 235.00) x cantidad (2)	-	470.00
3-Tanques de almacenaje de productos, con capacidad de 55 Gl	Especialistas de costos. INRH. 2002.	La unidad (\$ 15.00) x cantidad (3)	-	45.00
Agitadores de paletas planas	Peters, M. S. 1968. Figura 5.42	. De tres paletas con N=0,014 Kw . De dos paletas con N=0.00053 Kw Los costos se ajustan con la ecuación : $CostoA = CostoB \left(\frac{CapacidadA}{CapacidadB} \right)^{0.6}$	-	116.20
Bombas centrífugas	Especialistas de costos. INRH. 2002.	.Una de retrolavado (\$ 174.00 la unidad) .Dos para impulsión a los filtros (\$ 146.00 la unidad)	-	466.00
Costo total de equipamiento				2827.20

Tabla 4.27 (b): Costo de inversión. (Tubería y accesorios)				
	Referencia	Fórmula	Costo	
			MN (\$)	USD (\$)
TUBERIAS Y ACCESORIOS				
Tuberías de acero de 2 pulgadas de DN	Anniella, 2002. A.	Costo (\$ 3.00) x Longitud (20 m)	-	60.00
Tuberías de acero de ½ pulgada de DN		Costo (\$ 1.70) x Longitud (10 m)	-	17.00
. Codos 90° de acero y de 2 pulgadas de DN		Costo (\$ 3.00) x cantidad (14)	-	42.00
. Codos 90° de acero y de ½ pulgada de DN		Costo (\$ 1.30) x cantidad (2)	-	2.60
. Te de acero de 2 pulgadas DN		Costo (\$ 2.70) x cantidad (5)	-	13.50
. Universal de acero 2 pulgadas de DN		Costo (\$ 2.00) x cantidad (5)	-	10.00
. Válvula de 2 pulgadas		Costo (\$ 36.00) x cantidad (5)	-	180.00
.Válvula de ½ pulgada		Costo (\$ 12.00) x cantidad (2)	-	24.00
Costo total de tuberías y accesorios				349.10

Tabla 4.27 (c): Costo de inversión. (Final)				
	Referencia	Fórmula	Costo	
			MN (\$)	USD (\$)
COSTO DE EDIFICACION				
Costo de estructura	Ulrich, D. 1986	18 % costo de equipamiento	-	508.90
Costo de electricidad	Mojarrieta, F. 2002.	. Bombilla de mercurio. Costo (\$ 8.00) x cantidad (2)	-	16.00
		. Cable eléctrico N° 8. Costo (\$ 0.32) x longitud (20 m)	-	6.40
		. Cable eléctrico N° 10. Costo (\$ 0.20) x longitud (20 m)	-	4.00
		. Cable eléctrico N° 12. Costo (\$ 0.15) x longitud (20 m)	-	3.00
Costo total de edificación				538.30
TOTAL C. DE INVERSION			-	3714.60

Tabla 4.28: Costo de operación				
	Referencias	Fórmula	Costo	
			MN (\$/a)	USD (\$/a)
Costo del agua cruda	Menas. D. 2002	Costo (\$ 0.00625/m ³ de agua cruda) x 40 m ³ /d	66.00	-
Costo de insumos	Martín, L. CBQ, 2002.	. Hipoclorito de sodio (\$145.33/T) x cantidad (0.76T/a)	110.45	-
		. Sulfato de alúmina (\$155.96/T) x cantidad (3.5T/a)	545.86	-
		. Hidróxido de calcio (\$58.87/T) x cantidad (1.10T/a)	64.76	-
Costo de electricidad	Mojarrieta, F. 2002.	Potencia x horas de trabajo (Kw-h) x Factor (0.054982)		
		. Bomba de retrolavado con potencia (0.61 Kw) x 0.2 h x 0.054982)	1.85	-
		. Dos bombas de impulsión a los filtros con potencia (0.30 Kw) x 8 h x 0.054982)	68.70	-
		. Dos bombillas de mercurio con potencia (0.16 Kw) x 12 h x 0.054982)	55.44	-
		. Agitador con potencia (0.14 Kw) x 8 h x 0.054982	1.64	-
		. Agitador con potencia (0.00053 Kw) x 8 h x 0.054982	0.062	-
Costo de depreciación y mantenimiento	Colectivo de autores. Informe técnico. 1988.	. Depreciación anual – 10 % de los costos de inversión	-	371.46
		. Mantenimiento general - 5 % de los costos de inversión	-	185.73
Costo de salario		. Jefe de planta (\$ 198/ mes) x 12 meses	2376.00	-
		. Operadores (\$ 171/ mes) x 12 meses x cantidad (2)	4104.00	-
COSTO TOTAL de OPERACION			7394.76	557.20

Esta Planta de Tratamiento de Agua Potable Compacta presenta un período de 15 años de vida útil.

Tabla 4.29: Costo Total de Operación del Sistema de Tratamiento para Agua Potable	
MN (\$/a)	USD (\$/a)
7394.76	557.20

4.5.2.- Costo del tratamiento de Agua Suavizada para el sistemas de generación de vapor y el sistema de enfriamiento.

Tabla 4.30: Costo de inversión				
	Referencias	Fórmula	Costo	
			MN (\$)	USD (\$)
EQUIPO				
Suavizador con sus válvulas y accesorios	Empresa de calderas ALASTOR	Costo del suavizador (\$675.00) x cantidad de equipos (2)	-	1350.00
Resina	González, I. 2002.	1 Pie ³ de resina cuesta (\$ 32.85) Volumen de resina (Vw = 8.6 pie ³) x 32.85 = costo de la resina x cantidad de equipos (2)	-	565.02
COSTO TOTAL de INVERSION			-	1915.02

Tabla 4.31: Costo de operación				
	Referencias	Fórmula	Costo	
			MN (\$/a)	USD (\$/a)
Costo de regeneración	Empresa de calderas ALASTOR González, I. 2002	. Cloruro de sodio (\$ 217.00/T) x cantidad (0.38 T/a) x cantidad de equipos a regenerar (2)	165.00	-
Costo de salario		. Operadores (\$ 171/ mes) x 12 meses x cantidad (1)	2052.00	-
COSTO TOTAL de OPERACION			2217.00	-

Este equipo suavizador modelo M-24 presenta un período de 10 años de vida útil.

Tabla 4.32: Costo Total de Operación del sistema para agua suavizada	
MN (\$/a)	USD (\$/a)
2217.00	191.50

4.5.3-. Costo del tratamiento de Agua Desionizada para proceso.

Tabla 4.33: Costo de inversión			
	Referencias	Costo	
		MN (\$)	USD (\$)
EQUIPO			
Desionizador con sus válvulas y accesorios	Martín, L. CBQ, 2002.	-	400.00
Costo de la resina		-	1000.00
COSTO TOTAL de INVERSION		-	1400.00

Tabla 4.34: Costo de operación				
	Referencias	Fórmula	Costo	
			MN (\$/a)	USD (\$/a)
Costo de regeneración	Martín, L. CBQ, 2002.	. Acido clorhídrico (\$0.92/Kg) x cantidad (84.5 Kg/a) x cantidad de equipos a regenerar (1)	77.74	-
Costo de salario		. Operadores (\$ 171/ mes) x 12 meses x cantidad (1)	2052.00	-
COSTO TOTAL de OPERACION			2129.74	-

Este equipo desionizador presenta un período de 10 años de vida útil.

Tabla 4.35: Costo Total de Operación del sistema para agua desionizada	
MN (\$/a)	USD (\$/a)
2129.74	140.00

4.5.4-. Indices de Costo Generales del Sistema de Tratamiento de Agua.

Tabla 4.36: Costo Total de Operación de los sistemas de tratamiento de agua para la Planta de Obtención de Agar-Agar de 2 Tn / año		
TIPOS DE AGUAS A TRATAR	COSTO	
	MN (\$/a)	USD (\$/a)
Agua potable	7394.76	557.20
Agua suavizada	2217.00	191.50
Agua deshionizada	2129.74	140.00
TOTAL	11741.50	888.7

Tabla 4.37: Costo unitario del agua			
TIPOS DE AGUAS	m³ de agua/año	Costo unitario	
		MN (\$/m³)	USD (\$/m³)
Agua potable	9600	0.770	0.058
Agua suavizada	3840	1.347	0.134
Agua desionizada	624	4.183	0.308

4.6-. Conclusiones Parciales.

1. El diseño del sistema de tratamiento de agua para la planta de Agar Agar de pequeña capacidad ubicada en la Universidad Central de las Villas se corresponde con las exigencias establecidas para el agua según Tecnología A-3 y utiliza como fuente de abasto la presa Minerva.
2. Teniendo en cuenta que el agua proveniente de la presa Minerva no cumple con los requisitos, puesto que presenta alta turbiedad y color, se hace necesario tratarla para evitar mal funcionamiento en los equipos de suavizado y desmineralizado del agua, mejorando así su calidad y haciéndola adecuada para su uso en la planta de obtención de Agar Agar.
3. El agua potable representa el 55 % del agua utilizada en el proceso de obtención de Agar Agar.
4. A partir de los balances de energía y consideraciones teóricas de acuerdo a la literatura se puede cuantificar la necesidad de agua requerida en los sistemas de generación de vapor y enfriamiento. Del total del agua suavizada, el proceso requiere de un 0.86 % de agua para la generación de vapor y 99.14 % para enfriamiento.
5. El balance de material se puede realizar de forma rápida y sencilla a través de un programa implementado en Microsoff EXCEL 97 para Window.
6. Para la obtención del agua potable en el proceso de obtención de Agar se definió un sistema compacto de la Firma ALASTOR-PRENDES.S.A.
7. Para la obtención del agua suavizada necesaria para la caldera y el sistema de enfriamiento en el proceso de obtención Agar Agar se requiere de suavizadores manuales del tipo M-24 para un flujo de 1 m³/h cada uno.

8. Para la obtención del agua desionizada necesaria para el proceso, se propone un desionizador del tipo 346 EPDM.
9. Se propone un diagrama algorítmico que muestra la secuencia metodológica de cálculo a seguir en el diseño del sistema de tratamiento de agua en plantas de obtención de Agar Agar.
10. Se define el sistema de tratamiento de agua para este proceso con un relativo sobrediseño que sea capaz de absolver cualquier exceso no previsto originalmente.
11. El costo total de operación del sistema de tratamiento de agua para los diferentes usos es de 11741.50 (MN) y 888.7 (USD) pesos por año.

Conclusiones

1- Se logró recopilar información general sobre los sistemas de tratamiento de agua en la industria, así como, sobre las particularidades de algunos sistemas de tratamientos vinculados de una forma u otra a las variantes de microlocalización previstas para la producción de Agar Agar ó relacionadas con procesos vinculados con las aplicaciones del Agar Agar.

2- En toda la literatura consultada, así como, los sistemas de tratamientos examinados coinciden en que un sistema de tratamiento depende de las características de la fuente de abasto y de la calidad de agua que exige el proceso, siendo típicos los tratamientos de cribado, decantación, filtración, ablandamiento, desmineralización y desinfección, empleándose agentes químicos tales como sulfato de alúmina, hidróxido de calcio e hipoclorito de sodio y con ello alcanzándose como calidades de agua más representativas el agua potable, el agua suavizada y el agua desmineralizada.

3- Se examinaron las fuentes de abasto más probables para las variantes de microlocalización de una planta de Agar Agar en las provincias de Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spíritus, recopilándose información de la calidad de agua de fuentes, tales como, presa Hanabanilla, presa Minerva, presa Tuinicú y río Yayabo, así como la descripción de las redes de suministro hasta los puntos de microlocalización sugeridos en trabajos previamente realizados.

4- La Tecnología A2-M, propuesta para obtener un Agar Agar grado biotecnológico representa la variante tecnológica de mayor exigencia en calidad y cantidad para un sistema de tratamiento de agua, exigiéndose para el mismo las siguientes calidades de agua , agua potable para proceso y funciones higiénico sanitaria, agua suavizada para el sistema de enfriamiento y generación de vapor, agua desmineralizada para proceso y agua cruda para limpieza y para el sistema de contra incendio.

5- Los mayores consumos de agua están definidos en las necesidades de agua potable para el proceso y el agua suavizada para los sistemas de enfriamiento.

6- Quedó establecido un Modelo de Sistema de Tratamiento de Agua para una Planta de Obtención Agar Agar conformado básicamente por tres subsistemas, el sistema para agua potable, el sistema para agua de caldera y enfriamiento y el sistema para agua de proceso.

7- Quedó ejemplificado el Modelo General para el sistema de tratamiento a través de un caso para el cual se consideró la Tecnología A-3 para la obtención del Agar Agar, con la supuesta microlocalización

de la planta en una zona que utiliza como fuente de suministro la presa Minerva, quedando demostrada la utilización de dicho modelo y complementándose a su vez con un algoritmo de cálculo para emplearse como guía para el diseño.

8- Teniendo en cuenta la pequeña capacidad considerada en el ejemplo desarrollado resultó factible el empleo de un Sistema Compacto de Potabilización muy recomendado en la actualidad para esta función.

9- El costo total de operación del sistema de tratamiento diseñado en el ejemplo desarrollado (Planta de Obtención de Agar de 2 toneladas al año) es de \$ 11741.50 /año (MN) y de \$ 888.7 / año (MLC).

Recomendaciones.

- 1) Buscar más información sobre el diseño de los intercambiadores iónicos para tratamiento de agua, por las fuentes de información consultada solo hacen referencia al cálculo del intercambio catiónico.
- 2) Profundizar sobre la situación que presenta el agua en cada microlocalización analizada, según los períodos de estación del año, capacidad de agua disponible en cada lugar (Fábrica de Quitina en Sancti Spíritus, Reparto Reina y Reparto Punta Gorda en Cienfuegos y Universidad Central de las Villas e Instituto Lázaro Cárdenas en Villa Clara).
- 3) Desarrollar los cálculos de diseño de los sistemas de tratamiento de agua según la metodología establecida para las dos restantes macrolocalizaciones, así como para las demás variantes tecnológicas del proceso de obtención agar agar.
- 4) Emplear la metodología de cálculo no solo para los sistemas de tratamiento de agua en plantas de obtención Agar Agar sino también para otros ficocoloides.

Bibliografía.

- Academia de Ciencias de Cienfuegos : Microproducción de agar - agar a partir de algas del genero Glacilaria existente en la bahía de Cienfuegos.

- Aguila, K. Comunicación personal. Empresa de proyecto. Villa Clara. INRH. Noviembre del 2001.

- ALASTOR. S. A. Diseño de Suavizadores. Empresa de calderas. Villa Clara.

- ALASTOR. S. A. Plantas Compactas de Potabilización. Empresa de Proyecto. INRH.

- ALASTOR, PRENDES. Tratamiento de agua ingeniería y fabricación. Grupo R. C. Catálogo para filtros.

Anniella, J. Comunicación personal. Empresa de calderas ALASTOR. Febrero 2002.

Berverena, V. Elementos de diseño de plantas químicas y sistemas químicos productivos. (por publicar).

Castellanos, M. E.: Microproducción de agar - agar a partir de algas del genero Glacilaria existente en la bahía de Cienfuegos. Academia de Ciencias de Cienfuegos. 1994

Castillas, A. L. Máquinas. Cálculo de taller. Editorial Pueblo y Educación. 1983.

Colectivo de autores. Manual técnico del agua de la DEGREMONT. 1979.

Colectivo de Autores. Planta Potabilizadora de Manicaragua. Parte Tecnológica. Informe Técnico. Empresa de Proyecto. INRH. Villa Clara, 1988.

Comunicación personal . Especialistas de costos. Empresa Cuba hidráulica. Villa Clara. INRH. Enero 2002.

Corona, R. Análisis tecnológico para el anteproyecto de una planta piloto. II Simposio de análisis de proceso. UCLV. 1992.

Díaz, R. Manual de tratamiento de agua y aguas residuales. Editorial Instituto del libro. 1987.

Dueñas, A. D. Diseño y evaluación de planta comercial para la obtención de Agar-Agar. Trabajo de Diploma UCLV. 1998.

Fair, G y Okun. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales. Parte I. Edición Revolucionaria. 1984.

García S, Migdalia. Análisis tecnológico de la obtención de agar- agar y ante proyecto de una planta piloto para el escalado y definición de tecnología. Trabajo de diploma. UCLV.1992.

García Suz, Migdalia. Análisis tecnológico de obtención de agar - agar y anteproyecto de planta piloto para el escalado y definición tecnológica. Migdalia García Suz, Ramón Corona Martínez. Trabajo de Diploma UCLV. 1992 .

González, E. y Niebla, A. Hidrología III. Departamento de Ediciones del ISCAH. 1986.

González, I. Comunicación personal. Empresa de calderas ALASTOR. Enero del 2002.

Henryk, W. Evaluación del Impacto en el ambiente y la salud de acciones proyectadas. Editorial Pueblo y Educación. 1993.

Jordán, D. G. Chemical Process Development. 1968.

Kasatkin, R. operaciones básicas y aparatos en la industria química. Moscú. 1980.

Kern, D. Proceso de transferencia de calor. Editorial Revolucionaria. 1984.

LIPEZA: Resinas de Intercambio Iónico. Conceptos Básicos. Documento en Soporte Electrónico. Resinas Intercambio.pdf. Facultad de Química Farmacia. UCLV.

Machado Morales, Danilo. Diseño de una planta multipropósito para la obtención de productos a partir de algas. Trabajo de diploma UCLV. 1997.

Manrique, M. C. Análisis de soluciones tecnológicas para el aseguramiento de los servicios generales en una posible inversión para la obtención de Agar Agaren la Universidad Central de las Villa. Proyecto de curso. 2000.

Manual de Producción. Ministerio de la Industria Alimenticia. Combinado Río Zaza, S. Spíritus.

Martín, L. Especialista. CBQ. UCLV. Febrero 2002.

Mc Graw Hill Series in Chemical Engineering. Chemical Engineering Cost Estimation. 1955.

McHugh, D. J. (1987). Production and utilization of products from comercial seaweeds. FAO fish. Tech. p189.

Mectalf and Edeth. Manual de depuración. Ingeniería de aguas residuales. Edición Interamericana España. 1995.

Menas , D. Especialista. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Villa Clara . INRH. Enero 2002.

Mijalev, V. elementos de diseño mecánico de equipos tecnológicos. Moscú. 1985.

Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.El potencial de explotación y manejo sostenible de los bancos naturales de Gracilaria en la bahía de Cienfuegos, Cuba. Laboratorio costero de Cienfuegos.

Modular the desing - Where it fits. Chemical Engineering 86. October 1990. pp 76-80.

Mojarrieta, F. Especialista. Empresa de Hidroenergía. Manicaragua. INRH. Enero 2002.

Montagna, Jorge M. The design of multiproduct batch plants with process performance models. Instituto de desarrollo y diseño. Ingar – Conicet. Argentina.

Nordel, E. Tratamiento de agua para la industria y otros usos. Parte II. Editorial Pueblo y Educación. 1984.

Norma Cubana NC – 092. Agua desionizada.

Norma Cubana NC - 93 – 02. Agua potable. Agua de fuentes de abasto.

Oliva, Y. Diseño integral de una planta de Agar Agar a partir de macroalgas marinas de la zona sur central del país. Trabajo de diploma. 1999.

Página Web. AGAR AGAR marzo 2000.

Pavlov, K. Ejemplos y problemas del curso de procesos y aparatos de tecnología química. Editorial MIR. 1981.

Perry and Chilton. Chemical Engineering Handbook. Editorial Revolucionaria. 1970.

Peters, M. S. Plant Design and Economics for Chemical Engineering. Editorial Instituto del libro. 1968.

PRENDES, ALASTOR. Tratamiento de agua ingeniería y fabricación. Grupo RC. Catálogo para Filtros.

Reklaitis, G. Balances de materia y energía. 1989.

Remeniera, G. Hidrología del Ingeniero. Editorial Instituto del libro. 1968.

Rodríguez, J. R. Tratamiento de agua para las instalaciones energéticas nucleares. Editorial Revolucionaria. 1988.

Rosabal J. M. Hidrodinámica y separaciones mecánicas. Parte II. Editorial Pueblo y Educación. 1983.

Rudd, Watson. Strategy of Process Engineering 1968.

Santiago, J. F. Manual de potabilización de aguas. Centro de información de agua y saneamiento, INRH. 1997.

Scheduling in batch proceses. Chemical Engineering Progress 83. Agosto 1987. pp35-45.

Tillmanns, L. Análisis químico de aguas y aguas residuales, 9.^a edición. 1932.

Treybal, R. Operaciones con transferencia de masa. Edición Revolucionaria. La Habana. 1985.

Tumarkina, E. S. Tecnología Química General. Editorial Mir Moscú. 2.^a edición. 1985.

Uhlman. Enciclopedia 1993.

Ulrich, D. Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química. Nueva editorial interamericana. 1986.

Vilbrandt, F. Chemical engineering plant design. NY. McGraw-Hill. 1995.

Winnacker, K. y Weingertner, E. Tecnología Química. Parte I. Editorial Gustavo Gili. 1958.

Wisles, C. O. y Brater, E. F. Hidrología. Editorial Instituto del libro. 1969.

Anexos

Anexo I: Propiedades y características fundamentales del Agua.

- El agua puede encontrarse en la naturaleza en sus tres estados, sólido, líquido y vapor, pudiendo existir en un momento dado en equilibrio entre sus tres formas.
- El hielo tiene una densidad inferior a la del agua líquida, (0.92 veces) y flota, lo que tiene gran importancia para la vida en mares, lagos, etc.
- El calor específico del agua es muy alto (1 cal/g °C)
- El calor latente de vaporización del agua es muy grande: a 20 °C hay que comunicar 585 cal. para evaporar un gramo de agua.
- La conductividad térmica del agua es la mayor de todos los líquidos, con la única excepción del mercurio.
- La estructura molecular del agua es un dipolo: su constante dieléctrica es muy alta, mayor que para cualquier otro líquido, lo que le confiere la propiedad de disolver cualquier sustancia aunque sea en cantidades extremadamente pequeñas. Ello hace que el agua no sea nunca químicamente pura, llevando siempre diversas sustancias, como gases, sales o grasas, disueltas.
- El agua es débilmente ionizable, conteniendo siempre algunos iones hidrógeno, dando un pH próximo a 6. La concentración de iones en el agua es muy importante para los organismos.

Este conjunto de propiedades, apenas esbozadas, hacen que el agua sea un excelente disolvente de sales y gases, y por ello es causa de problemas de incrustaciones, sedimentos, corrosiones y picaduras en las tuberías y calderas, cuya prevención exige tratamientos específicos para cada instalación en función del tipo de agua que se utiliza y del fin a que se destina.

DEMANDAS DE AGUA PARA LA INDUSTRIA

- 3,500 litros para 1 ton de cemento
- 250,000 litros para 1 ton de acero
- 220,000 a 380,000 litros para 1 ton de papel
- 500 litros para 1 kg de cebada
- 1,800 litros para 1 kg de azúcar
- 550 litros para 1 kg de lana
- 250 litros para 1 kg de papel
- 1,400 litros para 1 kg de caucho sintético
- 400 litros para 1 kg de acero

NORMA para AGUA POTABLE.

TABLA # - 1 Características físicas del agua potable.

CARACTERISTICAS	CONCENTRACION MAX. DESEABLE (CMD)	CONCENTRACION MAX. ADMISIBLE (CMA)
Turbiedad (Escala sílice)	5 U	10 U
Color (Escala platino cobalto)	5 U	15 U
Olor y sabor	Agradable	No desagradable

TABLA # - 2 Características químicas del agua potable.

COMPONENTES	CONCENTRACION MAX. DESEABLE (CMD) (mg/l)	CONCENTRACION MAX. ADMISIBLE (CMA) (mg/l)
Sólidos totales disueltos	500	1000
Sulfoalquil Benceno	0.20	0.5
Aceite Mineral	0.01	0.3
Extracto de carbón con cloroformo	0.01	0.15
Compuesto fenólico (referidos al fenol)	0.001	0.002
Dureza total como carbonato de:		
Calcio	100	400
Magnesio	75	200
Cloruro	200	250
Cobre	0.05	1.0
Hierro total	30 (Si existen 250 mg/l o mas de sulfato)	150 (*) (Si existen menos que 250 mg/l de sulfato).
Manganeso	0.05	0.1
Sulfato	200	400
Cinc	5	15
Sodio	50	200
Plata	0.05	0.05
Aluminio	0.05	0.2
Níquel	0.01	0.02
Alcalinidad	(**)	(**)

(*) Cuando se utiliza agua subterránea sin tratamiento para la eliminación del hierro, se permitirá que entre al sistema de abastecimiento hasta un mg/l.

(**) Se valorara junto con el pH y la dureza total.

Nota: El pH será deseable de 7 a 8 y máximo admisible de 6.5 a 8.5.

TABLA # - 3. Concentración de los Componentes Inorgánicos del Agua Potable Nocivos a la Salud.

COMPONENTE INORGÁNICO.	CONCENTRACION MAX. DESEABLE (CMD) (mg/l)	CONCENTRACION MAX. ADMISIBLE (CMA) (mg/l)
Arsénico	Ausente	0.05
Cadnio	Ausente	0.005
Cianuro	Ausente	0.05
Mercurio total	Ausente	0.001
Plomo	Ausente	0.05
Selenio	Ausente	0.01
Bario	Ausente	0.03
Cromo total	Ausente	0.05
Berilio	Ausente	0.0002
Molibdeno	Ausente	0.5
Cobalto	Ausente	1.0
Estroncio	Ausente	2.0
Vanadio	Ausente	0.1
Boro	Ausente	1.0
Fluoruro	0.7	1.0 (*)
Amoniaco	Ausente	0 (**)
Nitrito	Ausente	0 (**)
Nitrato	Ausente	45

(*) Esta dosis se permitirá cuando el agua lo contenga en forma natural. En sistemas de abastecimiento publico con fluoración aplicada, la concentración media diaria será de (0.7 – 0.1) ml/l. Las variaciones de esta concentración no excederá en mas del 4 % de los días del ano y en ningún día excederá la concentración máxima admisible.

(**) Como indicadores de contaminación se considerara el amoniaco y nitrógeno orgánico a 0.5 ml/l y el nitrito a 0.01 ml/l, concentraciones cercanas a los limites propuestos indicarian la posibilidad de contaminación orgánica que seria comprobada por el análisis bacteriológico.

TABLA# - 4 Concentración de los componentes orgánicos nocivos a la salud en el agua potable.

Componentes Orgánicos	CONCENTRACION MAX. DESEABLE (CMD) (mg/l)	CONCENTRACION MAX. ADMISIBLE (CMA) (mg/l)
Nitrógeno orgánico	Ausente	Ausente
Hidrocarburos aromáticos		
Policíclicos (Benzo a Pireno)	Ausente	0.01
Benceno	Ausente	10
Cloroformo	Ausente	30
Tetracloruro de Carbono	Ausente	3
1,2 Dicloroetano	Ausente	10
1,1 Dicoetileno	Ausente	0.3
Tetracloro Etileno	Ausente	10
Tricloro Etileno	Ausente	30
2,4,6 Tricloro Fenol	Ausente	10 (*)
Formaldehído	Ausente	500
Cloruro de etilmercurio	Ausente	0.1
Pentaclorofenol	Ausente	10
Dietilmercurio	Ausente	0.1

(*) Umbral oloroso, concentración: 0.1 ml/l.

NORMA para FUENTE DE ABASTECIMIENTO.

TABLA # 1: Características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas de las fuentes de abastecimiento que requieren solo desinfección como tratamiento.

CARACTERISTICAS	LIMITE MAXIMO
pH	De 6.5 a 8.5
Aceites y grasas	0.3 mg/l
Sólidos totales disueltos	1000 mg/l
Turbiedad (escala sílice)	10 U
Color (escala platino cobalto)	15 U
Olor y sabor	No desagradable
Sustancias tóxicas y plaguicidas	Según la NC - 93 – 02 : 85 “HC agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo”
Nitratos	45 mg/l
Fluor	1.0 mg/l
Cloruro	250 mg/l
Calcio, Hierro, Manganeso, Cobre, Manganesio,Sulfato, Cinc, Plata.	Según la NC - 93 – 02 : 85 “HC agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo”
Bacterias coliformes totales	250 coliformes totales por 100 ml (en un 100 % de las muestras examinadas en el año, se permitirán hasta 1000 coliformes totales.
Coliformes fecales (por 100 ml)	Nunca será superior al 20 % de los coliformes totales (50 colifecales)

TABLA # 2 Características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas de las fuentes de abastecimiento que requieren tratamiento convencional.

CARACTERISTICAS	LIMITE MAXIMO
PH	De 6 a 9
Temperatura (° C)	Condiciones normales mas de 2.5
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ a 20 °C)	4 mg/l
Oxígeno disuelto (OD)	4mg/l (limite mínimo)
Turbiedad (escala sílice)	Reducible por métodos convencionales de tratamiento hasta obtener un máximo de 10 U
Color (escala platino cobalto)	Reducible por métodos convencionales de tratamiento, hasta obtener un máximo de 15 U
Olor y sabor	Reducible por métodos convencionales de tratamiento, hasta que no sean desagradables
Aceites y grasas	0.3 mg/l
Sólidos totales disueltos	1000 mg/l
Materia flotante	Ausente
Sustancias tóxicas y plaguicidas	Según la NC - 93 – 02 : 85 “HC agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo”
Nitratos	45 mg/l
Fluor	1.0 mg/l
Calcio, Hierro, Manganeso, Cobre, Manganesio, Sulfato, Cinc, Plata.	Según la NC - 93 – 02 : 85 “HC agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo”
Bacterias coliformes totales (NMP 100 ml)	5000 coliformes totales por 100 ml (en no mas de 10 % de las muestras tomadas en un año, se permitirán hasta 10000 coliformes totales.
Coliformes fecales (por 100 ml)	Nunca sera superior al 20 % de los coliformes totales.

Anexo II: Suavizadores (Metodología de ALASTOR).

SECUENCIAS DE CALCULOS:

1.- DEFINICIÓN DE LOS DATOS:

Antes de comenzar el calculo es necesario tener definidos todos los datos necesarios. Estos datos se dividen en dos tipos:

a) Datos fijos:

Consumo de Agua Suave: Se determina teniendo como dato la producción de vapor de la caldera, el % estimado de recuperación de condensado y las Horas de trabajo de la caldera.

Dureza total: se determina mediante un análisis químico.

Sólidos Totales Disueltos: Se determina por conductividad, análisis gravimétrico de Residuos, por evaporación o se realiza un estimado.

Proporción entre el contenido de Dureza Total y Sodio: Se realiza por cálculos estimados o mediante análisis del contenido de cationes y aniones (por diferencias se determina el contenido de Sodio).

b) Datos que debe definir el técnico:

Dureza Residual: El contenido de Dureza Residual nunca debe ser mayor de 0.1 Meq/l (5ppm como CaCO_3 en aguas para alimentación de calderas de baja presión) para instalaciones de media y alta presión los requerimientos son mas rigurosos.

Ciclo de Regeneración: El ciclo de regeneración_ debe ser entre 8hrs como mínimo y 5 días como máximo. Otros ciclos pueden considerarse pero solo bajo condiciones especiales.

Cantidad de Equipos a Instalar: Se definirá según sea el caso, para ello tener en cuenta el tiempo de retención de los tanques de almacenamiento de agua tratada y el consumo de agua horario de la caldera.

2.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO EFECTIVA.

- a) Con la proporción del contenido de dureza se determina el par de tablas de trabajo.
- b) Con la dureza residual requerida en las tablas 1,3,5 y 7 para el contenido total de cationes se determina el nivel de regeneración.
- c) Con el nivel de regeneración en las tablas 2,4,6, y 8 y para el contenido total de cationes del agua se determina la capacidad de intercambio efectiva.

Los factores que influyen sobre la capacidad de intercambio efectiva son:

- Proporción entre el contenido de sodio y dureza.
- Dureza residual deseada.
- Contenido de Sólidos disueltos totales (coloidales).
- Calidad de la resina utilizada.

Las tablas 1,2,3,4,5,6,7 y 8 fueron construidas a partir de las literaturas suministradas por los fabricantes de la Woffatit KPS, que es la mas conveniente utilizada.

Las tablas 1,3,5,y7 relacionan la dureza residual y el nivel de regeneración para diferentes contenidos de cationes totales. Además la tabla a utilizar se determina por la proporción entre el contenido de dureza y sodio del agua.

Las tablas 2,4,6, y 8 relacionan el nivel de regeneración para diferentes contenidos de cationes totales y también para diferentes proporciones del contenido de dureza y sodio.

Las tablas son validas bajo las siguientes condiciones:

- La regeneración se debe efectuar en un tiempo entre 45 y 60 minutos y con salmuera entre el 8 y el 12 % para tiempos de regeneración de 30minutos, la capacidad de intercambio disminuye el 10% y la dureza residual se incrementa en un 30 %.
- Para concentraciones variables de salmuera, es decir regeneraciones que se caracterizan por altas concentraciones iniciales y bajas concentraciones finales, la capacidad de intercambio efectiva disminuye en un 15% (modelos 15 y 20).
- La velocidad de flujo en servicio debe ser de 10 m/h (flujo optimo de las tablas 9 y 10). Para velocidades de 30 m/h la capacidad de intercambio efectiva decrece en un 15 % (Flujo máximo de las tablas 9 y 10).

3.-DETERMINACION DEL VOLUMEN DE RESINA.

El volumen de resina necesario para el ciclo de regeneración asumido se determina por la siguiente expresión:

$$V_w = \frac{D_{total} \times \text{Volumen Total}}{CIE \times 1000} \quad [1]$$

De donde:

V_w : Volumen de resina Woffatit KPS [m^3]

D_{total} : Dureza total en Meq/l.

Volumen Total: Volumen de agua suave necesaria por ciclo en m^3

CIE: Capacidad de Intercambio Efectiva [Eq/l].

1000 : Factor de conversión.

4.- SELECCIÓN DE EQUIPOS:

En las tablas 9 y 10 se selecciona el equipo adecuado comparando el volumen de resina calculado con el de los equipos. Se debe seleccionar un equipo con igual volumen de resina o el inmediato superior. en el caso de que el equipo seleccionado 15 o 20 se debe afectar la capacidad de intercambio efectiva por el factor 0,85 y chequear que el ciclo de regeneración esta entre los valores deseados.

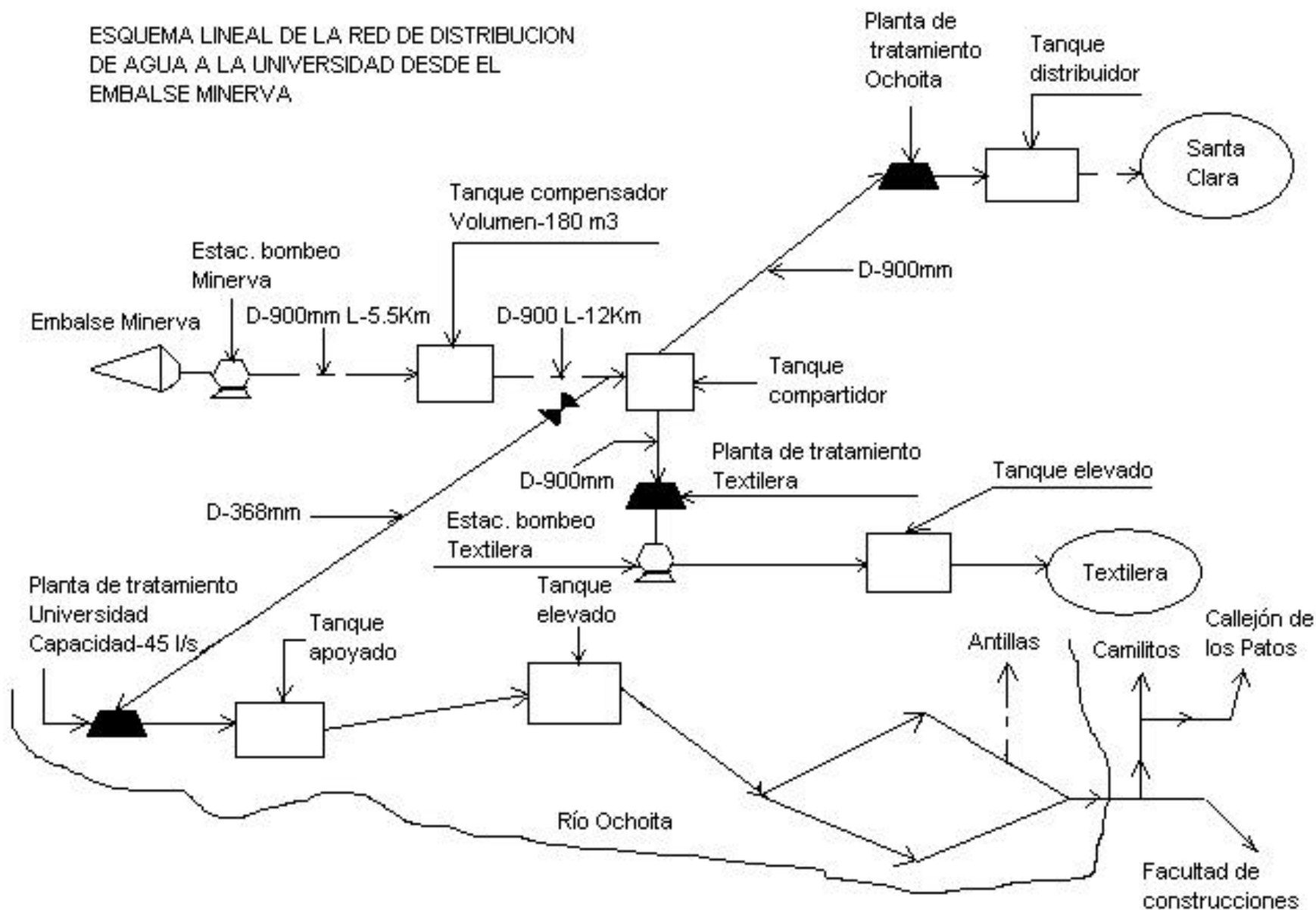
5.- COMPROBACION DEL FLUJO DE SERVICIO.

Se determina el consumo de agua en GPM y se compara con los flujos óptimos de servicios de las tablas 9 y 10. Si el flujo es menor que el mínimo este equipo no sirve, si el flujo es mucho mayor que el optimo es necesario ajustar la capacidad de intercambio efectiva. Si el flujo es mayor que el máximo, el equipo tampoco es adecuado.

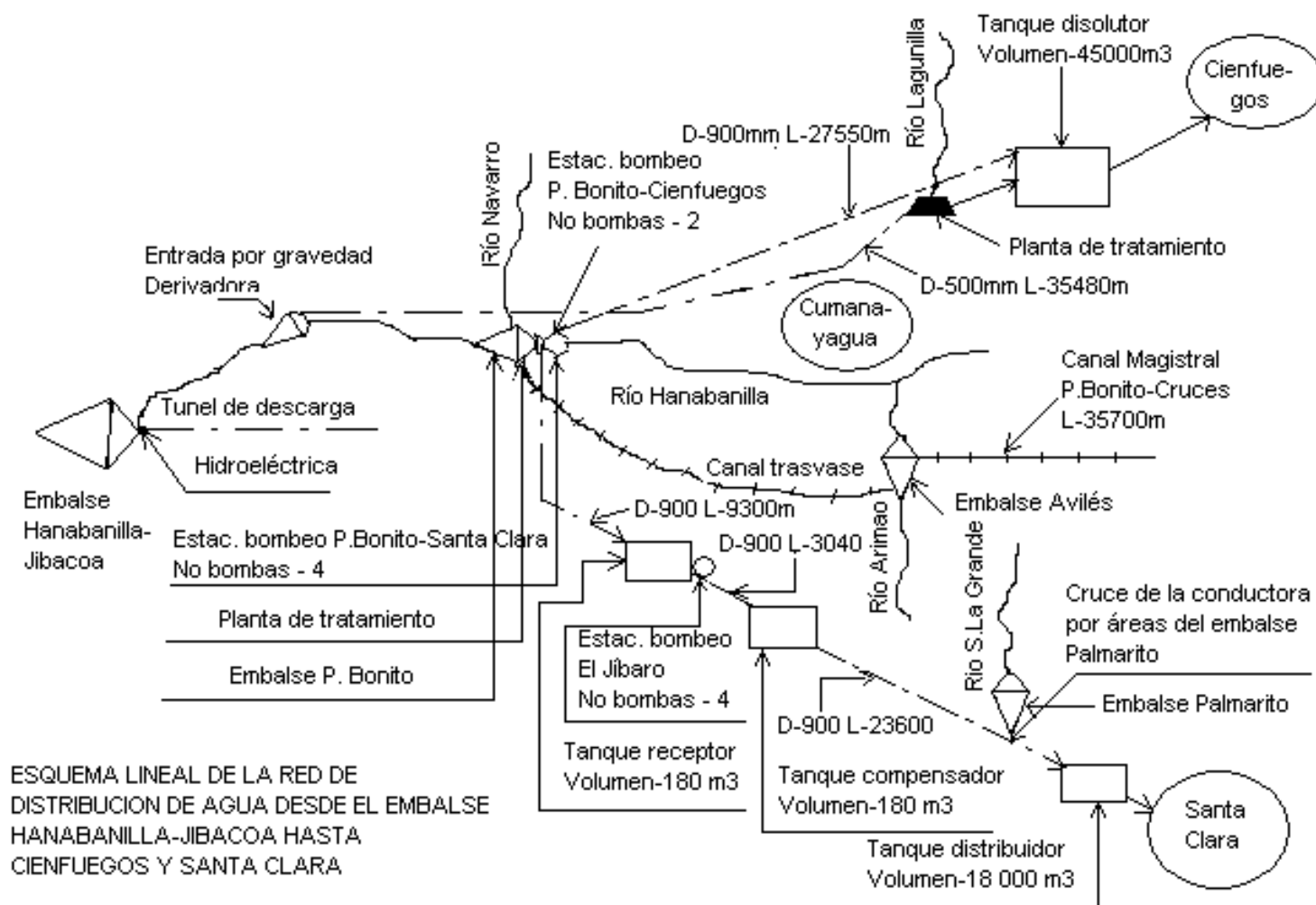
Si el consumo de agua suave se encuentra entre el flujo mínimo y óptimo del equipo calculado, este equipo es el adecuado y se puede seleccionar para la instalación en cuestión.

Anexo III: Esquemas de Red de Suministro de Agua para la microlocalización de Santa Clara.

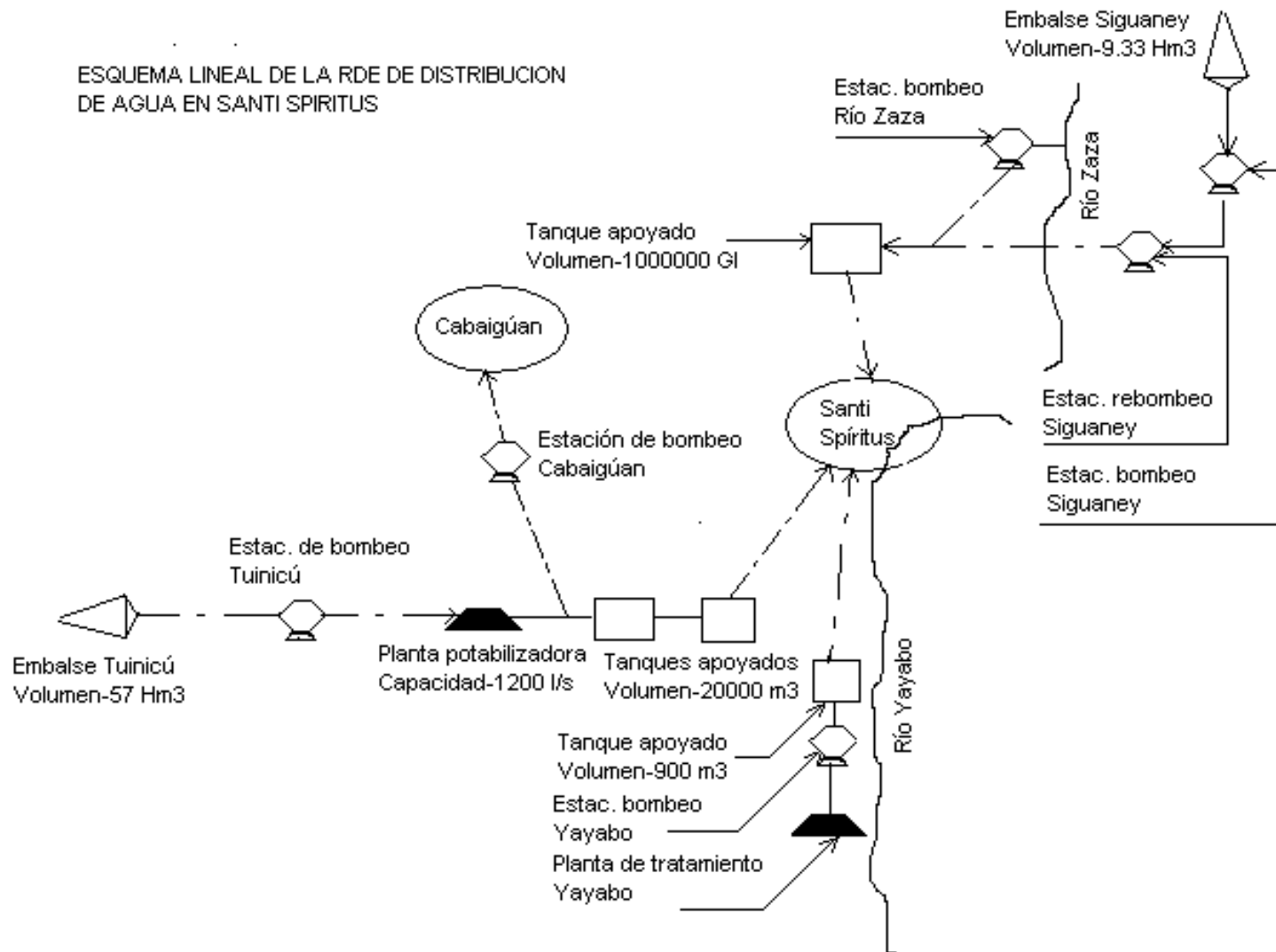
ESQUEMA LINEAL DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA A LA UNIVERSIDAD DESDE EL EMBALSE MINERVA



Anexo IV: Esquemas de Red de Suministro de Agua para la microlocalización en Cienfuegos.



ESQUEMA LINEAL DE LA RDE DE DISTRIBUCION DE AGUA EN SANTI SPIRITUS



Anexo V: Esquemas de Red de Suministro de Agua para la microlocalización en Sancti Spiritus.

Zona : Embalse Minerva			Muestreo N° - 3										Provincia : Villa Clara								
Puntos de muestreo	Cond. l s/cm	pH	Sales solubles en me/l mg/l										COD	DT	Si	NO ₂	NH ₄	PO ₄	Fe	Mn	Pt
			CO ₃	NO ₃	CO ₃ H	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Tot.									
E1 M1	230	8.06	0	0	2.4 146	0.4 14	0.11 5	0.8 16	1.4 17	0.055 2	0.655 15	215	6.16	110	2.81	0.002	0.004	0.009	0	6	0.056
E1 M2	230	8.03	0	0	2.4 146	0.4 14	0.11 5	1.0 20	1.2 14	0.055 2	0.655 15	216	6.16	110	4.27	0.008	0.004	0.002	0	0	0.029
E1 M3	225	8.02	-	-	2.4 146	0.4 14	0.13 6	1.0 2	1.2 14	0.055 2	0.655 15	217	6.0	110	4.30	0.008	0.003	0.004	0.31	0.001	0.032
E1 fondo	340	7.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.13	-	-	-	2.16	1.45	0.162
E2 M1	250	8.03	-	-	2.8 170	0.5 17	0.12 6	1.2 24	1.6 19	0.055 2	0.55 13	251	6.24	140	5.57	0.007	0.004	0.004	0.29	0.002	0.026
E2 fondo	260	7.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.50	-	-	-	1.97	1.56	0.160
E3 M1	260	8.01	-	-	2.8 170	0.5 17	0.11 5	1.2 24	1.6 19	0.055 2	0.555 13	250	6.0	140	4.34	0.014	0.004	0.006	0	0	0.026
E3 M2	260	8.02	-	-	2.8 170	0.5 17	0.11 5	1.2 24	1.6 19	0.055 2	0.555 13	250	6.24	140	4.86	0.015	0.009	0.006	0	0	0.034
E3 M3	260	8.03	-	-	2.8 170	0.5 17	0.14 7	1.2 24	1.6 19	0.055 2	0.60 14	253	6.48	130	4.76	0.016	0.017	0.006	0.31	0.002	0.020
E3 fondo	360	7.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.85	-	-	-	1.61	2.19	0.086

Muestreo N° 1.

Punto de muestreo E1	Prof. Máx : 12 mts Transparencia : 1.1			Punto de muestreo E3	Prof. Máx : 6.6 mts Transparencia : 1.4		
	Profundidad (mts)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto		Profundidad (mts)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto
	Superficie	30.4	8.2		Superficie	29.4	6.2
	2	29.8	8.4		2	29.2	6.0
	4	29.4	7.8		4	28.6	2.0
	6	28.7	3.2		6	28.4	0.20
	8	28.4	2.4				
	10	28.2	1.8				
Punto de muestreo E2	Prof. Máx : 2 mts Transparencia : 1.5			Punto de muestreo E4	Prof. Máx. : 10 mts Transparencia : 1.1		
	Superficie	29.5	6.4		Superficie	29.4	6.0
	2	29.4	6.0		2	28.7	6.0
					4	28.6	5.2
					6	28.0	4.4
					8	27.9	4.0
					10	27.9	3.4

Muestreo N° 2

Punto de muestreo E1	Prof. Máx : 17 mts Transparencia : 1.6			Punto de muestreo E3	Prof. Máx : 7.5 mts Transparencia : 1.6		
	Profundidad (mts)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto		Profundidad (mts)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto
	Superficie	30.2	7.8		Superficie	30.3	8.2
	2	29.9	7.2		2	30.2	7.4
	4	29.4	7.0		4	30.0	7.4
	6	29.0	5.4		6	29.2	2.6
	8	28.6	3.0				
	10	28.0	0.8				
	12	27.6	0.8				
	14	27.1	0.2				
Punto de muestreo E2	Prof. Máx : 2 mts Transparencia : 1.4			Punto de muestreo E4	Prof. Máx. : 10.8 mts Transparencia : 1.6		
	Superficie	34.0	8.0		Superficie	30.0	8.0
	2	34.0	7.4		2	29.9	7.0
					4	29.4	7.0
					6	29.0	4.8
					8	28.8	4.2
					10	28.6	4.0

Muestreo N° 3.

Punto de muestreo E1	Prof. Máx : 16 mts Transparencia : 1.6			Punto de muestreo E3	Prof. Máx : 13 mts Transparencia : 1.5		
	Profundidad (mts)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto		Profundidad (mts)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto
	Superficie	24.9	4.4		Superficie	26.3	5.2
	2	24.9	4.3		2	26.3	5.0
	4	24.9	3.6		4	26.3	5.0
	6	24.9	4.1		6	26.3	4.7
	8	24.9	3.8		8	26.3	3.8
	10	24.9	3.4		10	26.3	1.8
	12	25.6	0.0		12	24.0	0.0
	14	25.4	0.0				
	16	25.4	0.0				
Punto de muestreo E2	Prof. Máx : 6 mts Transparencia : 1.4			Punto de muestreo E4	No se muestreó.		
	Superficie	26.4	5.2				
	2	26.1	5.2				
	4	26.1	5.0				
	6	26.1	4.8				

Anexo X: Cronograma de Operación del Planta de Agar. Tecnología A-3.

Tabla: Cronograma de Operación de la Planta										
Etapas	Batch 1		Batch 2		Batch 3		Batch 4		Batch 5	
	Hora inicial	Hora final	Hora inicial	Hora final	Hora inicial	Hora final	Hora inicial	Hora final	Hora inicial	Hora final
Prep.sln	7.00	7.15	9.30	9.45	11.45	12.00	13.35	13.50	15.50	16.05
Alcaliniz	7.15	8.15	9.45	10.45	12.00	13.00	13.50	14.50	16.05	17.05
Filtrado	8.15	8.30	10.45	11.00	13.00	13.15	14.50	15.05	17.05	17.20
Lavado	8.30	8.45	11.00	11.15	13.15	13.30	15.05	15.20	17.20	17.35
Neutraliz.	8.45	9.00	11.15	11.30	13.30	13.45	15.20	15.35	17.35	17.50
Filtrado	9.00	9.10	11.30	11.40	13.45	13.55	15.35	15.45	17.50	18.00
Lavado	9.10	9.20	11.40	11.50	13.55	14.05	15.45	15.55	18.00	18.10
Extracc	9.20	11.20	11.50	13.50	14.05	16.05	15.55	17.55	18.10	20.10
Filtrac	11.20	11.35	13.50	14.05	16.05	16.20	17.55	18.10	20.10	20.25
Centrifug	11.35	11.40	14.05	14.10	16.20	16.25	18.10	18.15	20.25	20.30
Gelific	11.40	12.40	14.10	15.10	16.25	17.25	18.15	19.15	20.30	21.30
Congelac	12.40	7.00	15.10	7.30	17.25	8.00	19.15	12.00	21.30	12.30
Descong	7.00	11.00	7.30	11.30	8.00	12.00	12.00	16.00	12.30	16.30
Secado	11.00	15.30	11.30	16.00	12.00	16.30	16.00	20.30	16.30	21.00

Anexo VIII: Ilustraciones sobre unidades de tratamiento de agua equivalentes a las establecidas en el Ejemplo considerado dentro del Capítulo IV.



Figura 1: Unidad Compacta de Potabilización de Agua.



Figura 2: Unidad de Filtración Rápida.



Figura 3: Bombas PRENDES.



Figura 4: Suavizadores de Agua.



Figura 5: Unidad de Desionizadora de Agua.

Anexo XIII: Tabla auxiliar para cálculos del Suavizador.

Valores de los equivalente gramo Eq – g para expresar el contenido de cada especie iónica o la alcalinidad en mg/l.	
Especie	Eq - g
Carbonato de calcio Ca CO ₃	50
Hidrógeno carbonato (Bicarbonato) HCO ₃ ⁻	61
Carbonato CO ₃ ²⁻	30
Hidroxilo OH	17

Anexo XIV: Aspectos sobre la Dureza del Agua.

Alcalinidad: bicarbonato, carbonato y caústica.

La alcalinidad se determina por titulación usando soluciones ácidas estándar y fenolftaleína y anaranjado de metilio como indicadores. Los resultados de la titulación con anaranjado de metilio se expresan como “alcalinidad al anaranjado de metilio” o “alcalinidad total”. Los resultados de la titulación con indicador de fenolftaleína se expresan como “alcalinidad de fenolftaleína, (muchas aguas naturales contienen bióxido de carbono libre y no muestran alcalinidad a la fenolftaleína).

- 1) Si no hay alcalinidad a la fenolftaleína, se supone que toda la alcalinidad es debida a bicarbonatos.
- 2) Si hay alcalinidad a la fenolftaleína y el doble de ésta es menor o igual a la alcalinidad al anaranjado de metilio, se supone que es alcalinidad de carbonatos.
- 3) Si el doble de la alcalinidad a la fenolftaleína es mayor que la alcalinidad al anaranjado de metilio, se presume que el exceso es alcalinidad de hidróxidos o “caústica”.

Obviamente, en soluciones tan diluidas como es el agua dulce, las sales no están presente como tales, sino que prácticamente se disocian en sus correspondientes aniones y cationes.

Sin embargo, es a menudo conveniente y simple imaginar algunas de las sales como si estuvieran sin disociar. Así, la práctica común referirse al bicarbonato de calcio o sulfato de calcio en el agua, como si estas sustancias estuvieran presentes como sales sin disociar, en lugar de iones. En otros casos, es más simple considerar solamente iones.

Dureza, calcio y magnesio.

La dureza del agua se debe a su contenido de calcio y magnesio. La dureza se expresa en términos de carbonato de calcio. La dureza de calcio es aquella debida a las sales solubles de calcio; la de magnesio a las sales solubles de magnesio. La dureza total es la suma de las durezas de calcio y magnesio.

Dureza de carbonato, de bicarbonato y dureza temporal, son términos sinónimos para la dureza atribuida a bicarbonatos de calcio y/o magnesio. La primera de estas, la dureza de carbonato, es el término que ahora se prefiere. Dureza de no carbonatos, dureza de sulfatos y dureza permanente, son términos sinónimos para la dureza debida a la presencia de sulfatos, cloruros y/o nitrato de calcio, y/o magnesio. El primero de estos, o sea la dureza de no carbonatos, es el término preferido.

La cantidad de dureza de carbonato y no carbonato que está presente en el agua en particular, se determina por inspección de su análisis, de la manera siguiente:

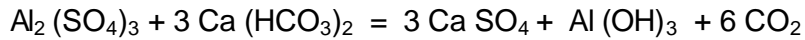
- 1) Si la alcalinidad al anaranjado de metilio es igual o mayor que la dureza total, toda la dureza está presente como dureza de carbonato.
- 2) Si la alcalinidad al anaranjado de metilio es menor que la dureza total, la dureza de carbonato es igual a la alcalinidad.
- 3) La dureza de no carbonatos bajo las condiciones en (2) es igual a la dureza total, menos la alcalinidad al anaranjado de metilio.

Anexo XV: Aspectos sobre Coagulantes y Floculantes.

Principales Coagulantes:

I) Sales de Aluminio.

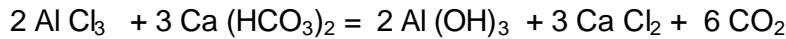
1) Sulfato de Aluminio (Forma líquida o Sólida).



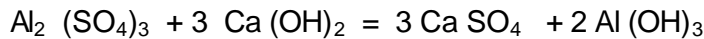
Dosis: en clarificación, 10 a 150 g/m³ (expresado en producto comercial) según la calidad del agua bruta.

2) Cloruro de Aluminio (Forma líquida).

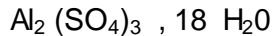
De empleo excepcional.



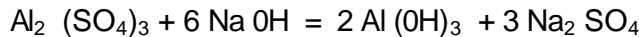
3) Sulfato de Aluminio + Cal



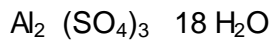
Dosis: en clarificación, se necesita de cal $\text{Ca} (\text{OH})_2$, un tercio de la dosis de sulfato de alúmina comercial.



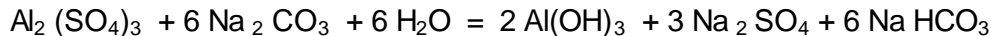
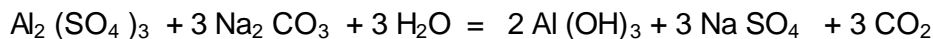
4) Sulfato de Aluminio + Sosa Cáustica.



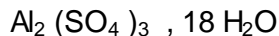
Dosis: En clarificación, se necesita, de Sosa Cáustica $\text{Na} \text{OH}$, el 36 % de la dosis de Sulfato de Aluminio comercial.



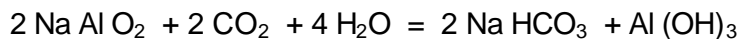
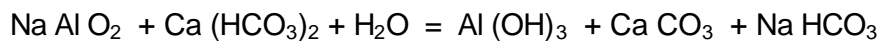
5) Sulfato de Aluminio + Carbonato Sódico.



Dosis: Se necesita, de sosa solvay, entre el 50 y 100 % de la dosis de sulfato de aluminio comercial.



6) Aluminato sódico

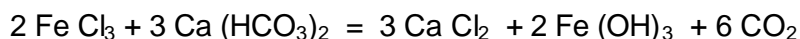


Dosis: En clasificación, 5 a 50 g/m³ de reactivo comercial del 50 % de Al₂ O₃.

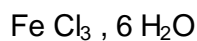
7) Polímeros de Aluminio.

II) Sales de Hierro.

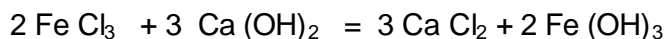
1) Cloruro Férrico (generalmente en forma líquida, a veces cristalizado).



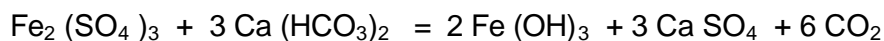
Dosis: En clasificación, 5 a 150 g/m³ de cloruro férrico comercial



2) Cloruro Férrico + Cal:

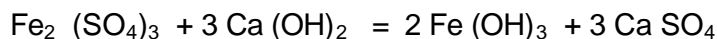


3) Sulfato Férrico:



Dosis: En clasificación, se necesitan 10 a 150 g/m³ de reactivo comercial Fe₂ (SO₄)₃ , 9 H₂O.

4) Sulfato Férrico + cal



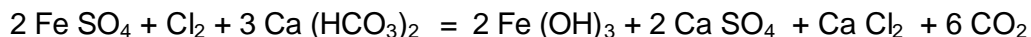
Dosis: En clasificación, se necesita, de cal Ca (OH)₂ , el 40 % de la dosis de sulfato férrico Fe₂ (SO₄)₃ ,9 H₂O

5) Sulfato Ferroso:

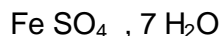


Dosis: En clarificación, se necesitan de 10 a 100 g/m³ de reactivo comercial Fe SO₄ ,7 H₂O

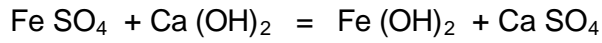
6) Sulfato Ferroso + Cloro



Dosis: Se necesita, de cloro el 12 % de la dosis de sulfato ferroso.

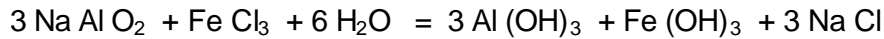


7) Sulfato Ferroso + Cal



Dosis: En clarificación, se necesita de cal Ca (OH)_2 , el 26 % de la dosis de sulfato de hierro $\text{Fe SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

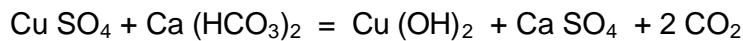
8) Cloruro Férrico + Aluminato Sódico



Dosis: Se necesita tanto aluminato sódico comercial del 50% de $\text{Al}_2 \text{O}_3$ como cloruro férrico comercial $\text{Fe Cl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$.

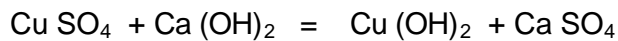
III) Otros Coagulantes.

1) Sulfato cúprico



Dosis: 5 a 20 g/m³ (empleo excepcional)

2) Sulfato cúprico + cal



Dosis: Se necesitan 30g de cal Ca (OH)_2 por cada 100 g de sulfato cúprico, $\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ (empleo excepcional).

IV) Ozono

Principales floculantes:

Los floculantes, llamados también ayudantes de la floculación e incluso ayudantes de filtración, son productos destinados a favorecer cada una de estas operaciones. La acción puede ejercerse al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del flóculo (flóculo más pesado, más voluminoso y más coherente).

Los flóculos pueden clasificarse por su naturaleza (mineral u orgánica), su origen (sintético o natural) o el signo de su carga eléctrica (aniónico, catiónico o no iónico).

1. Sílice activada.

La sílice activada fue el primer floculante que se empleó, y sigue siendo, en la actualidad, el que mejores resultados puede dar, principalmente si se utiliza juntamente con sulfato de alúmina. Se introduce generalmente después del coagulante, y se prepara neutralizando principalmente la alcalinidad de una solución de silicato de sodio.

2. Otros floculantes minerales.

A veces se utilizan ciertos productos para cargar un agua cruda que no contienen suficiente materia en suspensión.

Entre ellos pueden citarse:

- . Algunas arcillas
- . Blanco de Meudon o carbonato cálcico precipitado
- . Carbón activo en polvo (cuando se impone este tratamiento)
- . Arena fina, Rieselguhf (diatomeas).

3. Floculantes orgánicos.

El proceso de la química orgánica ha permitido el desarrollo de otros floculantes más activos.

1º Origen:

Algunos se fabrican a partir de productos naturales: alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales), derivados de la celulosa, ciertas gomas, etc.

Los alginatos se utilizan especialmente como ayudantes de floculación de las sales férricas, aunque a veces, también dan buenos resultados con sales de aluminio.

Se obtienen a partir del ácido algínico, el cual, a su vez, se extrae de algas marinas (en especial, del género laminaria).

Su empleo en el tratamiento de aguas de abastecimiento público, está autorizado en todos los países.

Otros floculantes son totalmente sintéticos. Se distinguen, por una parte, las poliácridamidas, de larga cadena y gran masa molar (2 a 4 x 10⁶ g/mol), y, por otra, las poliaminas, que tienen, generalmente, cadenas más cortas y menores masas molares (1 x 10⁶ g/mol).

Las poliácridamidas se utilizan en el tratamiento de clarificación de aguas y en la deshidratación de fangos, mientras que las poliaminas se emplean sobre todo en clarificación.

2º Empleo:

Los floculantes orgánicos se descomponen en dos clases de empleo: productos sólidos y productos líquidos.

Existen gran cantidad de floculantes orgánicos, entre los cuales pueden citarse los siguientes: Praestol, Superfloc, Magnafloc, Alginatos, Prosédim, Purifloc.

No hay ninguna regla que permita deducir a prioridad cual de los floculantes dará mejores resultados, por lo que siempre deberán efectuarse ensayos de laboratorio. Asimismo se determinará el tiempo que debe transcurrir entre la introducción del coagulante y la del floculante, factor este que tiene gran importancia, por empleo en el caso de la sílice activada.

Si bien los fabricantes, generalmente, facilitan los datos necesarios para la optimización óptima de sus productos, puede seguirse en líneas generales, las indicaciones que figuran en el cuadro. En el caso de descarbonatación con cal, la elección debe orientarse hacia un floculante no iónico o aniónico.

En el caso de una clarificación la elección debe hacerse entre un floculante no iónico, o ligeramente aniónico y un floculante catiónico. Si el pH está próximo al de equilibrio se ensayará en primer lugar un floculante catiónico.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS FLOCULANTES ORGÁNICOS.					
Origen del producto		Almidón, Alginatos	Acrílicos sólidos	Acrílicos líquidos	Poliaminas
Almacenamiento, embalaje		Sacos	Sacos o barriles	Bidones o cisterna	Bidones
Manipulación		Pesado o dosificadores en sacos	Pesado o dosificadores en sacos	Dosificador por bidones enteros o por bomba dosificadora. Paso por gravedad o mediante aire comprimido (cisternas).	
Empleo	Preparación de una solución madre	Difusor útil o necesario. Concentración de la solución madre: 0.5 a 1 %	Difusor indispensable. Concentración de la solución madre: 0.3 a 0.5 %. Excepcional 1%.	Miscible en agua con agitador lento.	
	Dosificación	Por bombas dosificadoras	Por bombas dosificadoras	Bombeo en solución al 10% (bomba dosificadora lenta, a causa de la viscosidad de la solución)	
	Preparación de la solución de empleo	Dilución después de la dosificación	Dilución después de la dosificación	Dilución después de la dosificación	
	Concentración en la inyección	1 a 3 ‰	0.5 a 2 ‰	Aproximadamente 1%	
	Tiempo de reacción	30 a 300 segundos, según el producto	20 a 120 segundos, según el producto	20 a 120 segundos, según el producto	

Práctica de la Floculación:

La floculación será tanto mejor cuanto mejor cuanto más eficaz sea la coagulación previa. El coagulador, en el que tiene lugar la agitación rápida, va seguido de un floculador, en el que se mantiene una agitación lenta durante cinco minutos (agua residual muy cargada), o durante un tiempo mucho mayor en tratamiento de agua de abastecimiento público.

Esta agitación lenta puede tener lugar en un floculador separado, o bien en el interior del decantador propiamente dicho. En este caso puede utilizarse turbinas de recirculación o la acción del propio lecho de fango.

La elección del tipo de mezclador y del tipo de floculador está en esta relación con la elección del procedimiento de separación utilizado en la continuación del tratamiento. Debe estudiarse

cuidadosamente esta elección cuando la floculación es del tipo difuso y va seguida de una decantación estática, o de una flotación.

Floculadores:

La floculación se efectúa en este caso en depósitos previstos de sistemas de agitación que giran con relativa lentitud para no romper los flóculos ya formados, pero con la velocidad suficiente para conseguir el engrosamiento progresivo del flóculo e impedir que se formen sedimentos sobre el fondo del depósito.

El volumen de la cuba de floculación debe ser necesario para que se consiga el tiempo de floculación determinado mediante ensayos de laboratorio.

Los sistemas de agitación utilizados pueden estar constituidos por hélices, especialmente estudiados con este fin o por un conjunto de palas fijadas sobre un eje giratorio, vertical u horizontal. Es conveniente obtener en el floculador un gradiente de velocidad comprendido entre 20 y 50 S^{-1} .

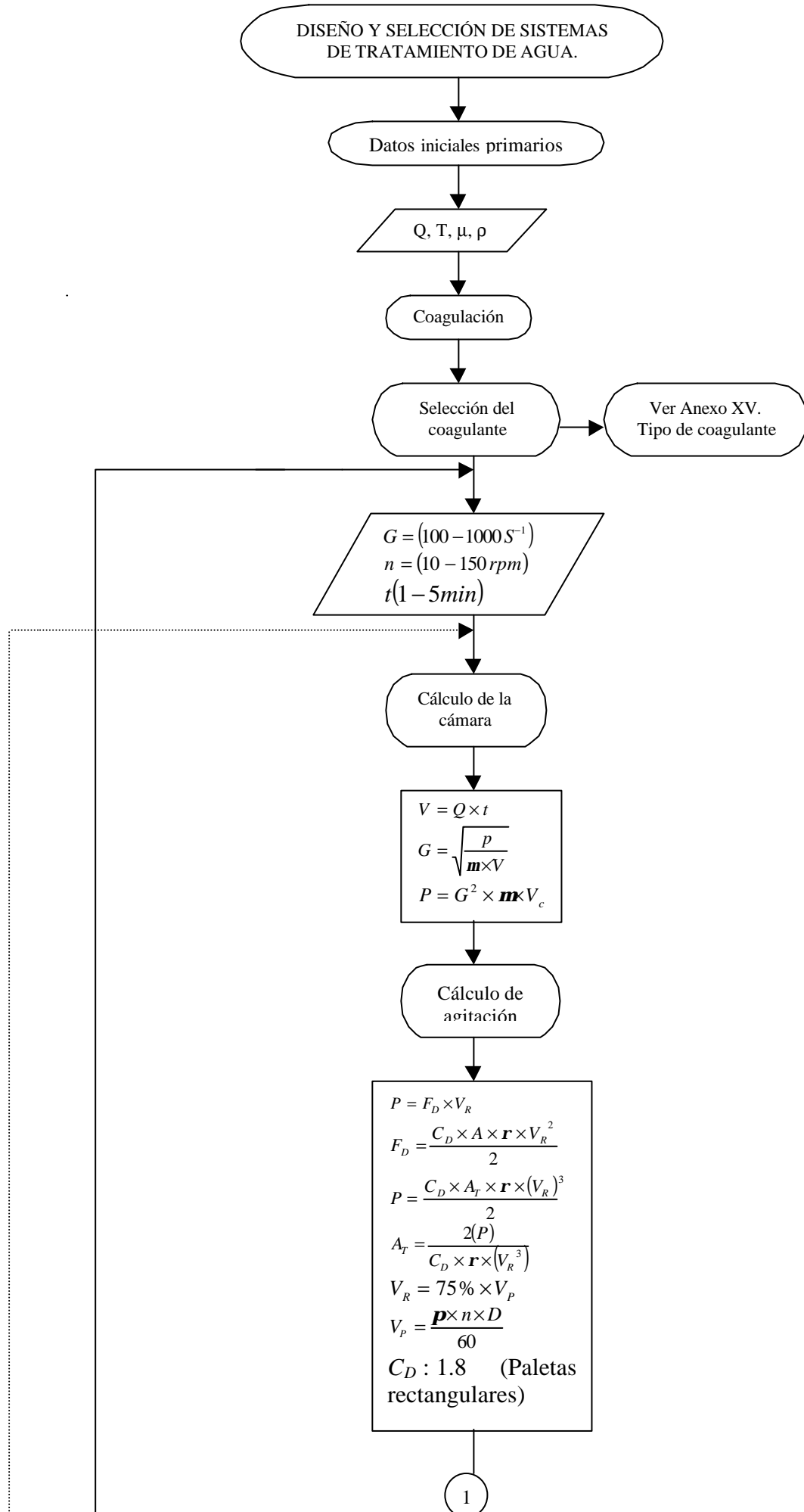
También conviene prever, en la transmisión del sistema de agitación, un conjunto motoreductor – variador, para que pueda regularse mejor la velocidad de agitación en función de la calidad de la floculación.

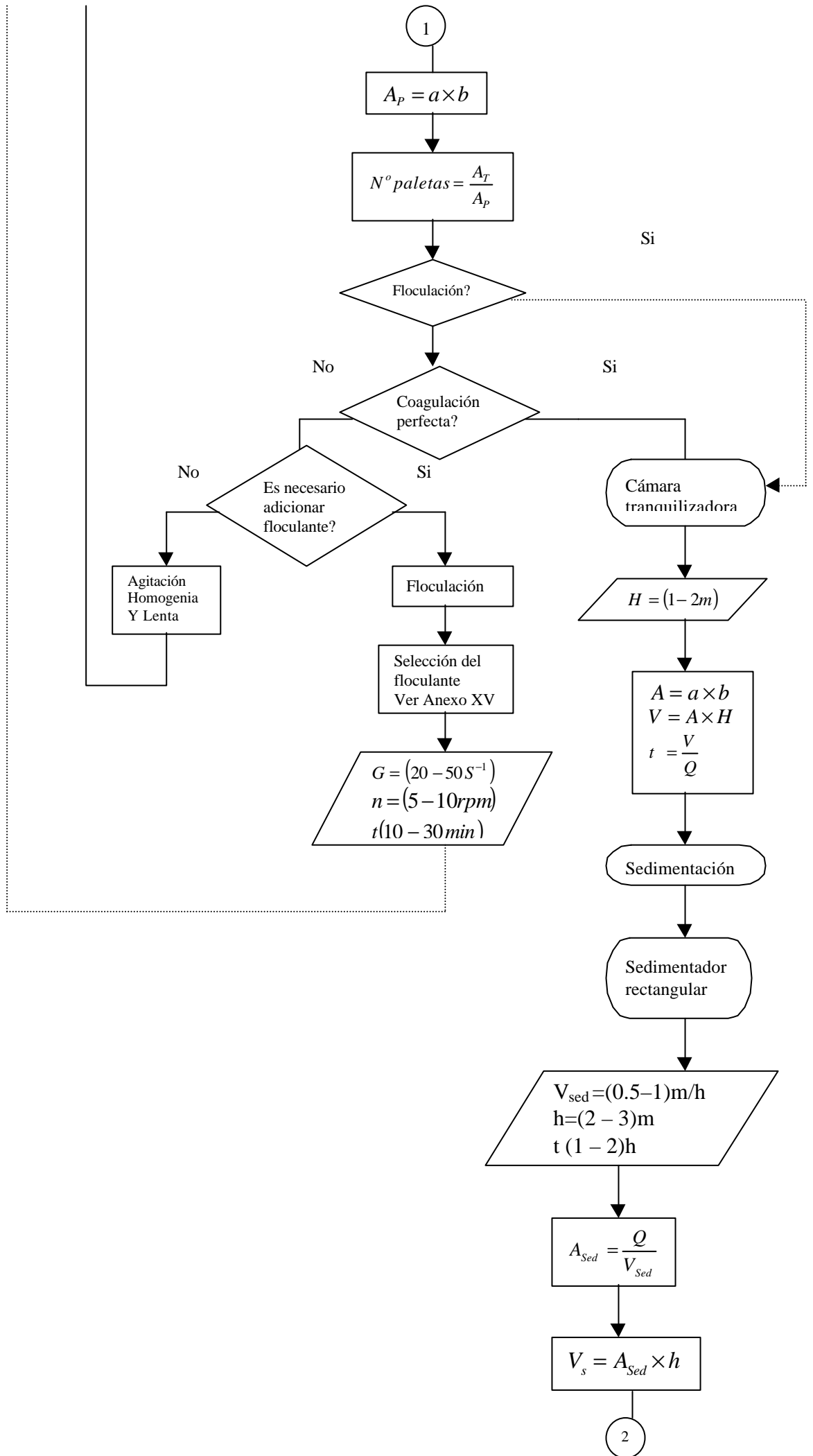
Si es grande el volumen necesario para la floculación, es preferible utilizar varios depósitos de pequeñas dimensiones, colocados en serie. En este caso cada uno de los depósitos va previsto de un sistema de agitación independiente, cuya velocidad, regulable, puede adaptarse mejor a la calidad de la floculación.

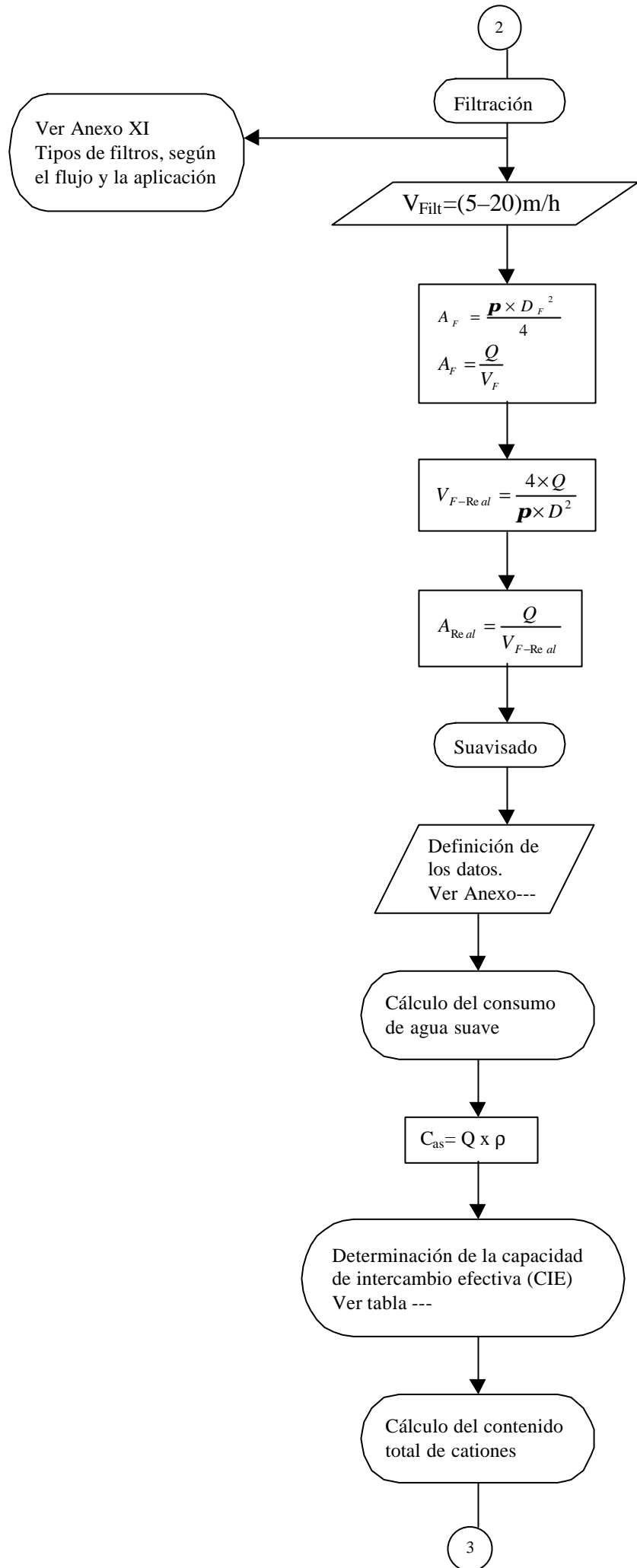
Por último es importante que no se rompa el flóculo al pasar del floculador a la zona de decantación. Según la calidad del agua tratada, las velocidades de paso deberán limitarse a los siguientes valores:

- Flóculos de hidróxido metálico frágil $V= 0.20$ m/s
- Flóculos de hidróxido metálico resistente $V= 0.50$ m/s
- Flóculos de aguas residuales. $V= 1$ m/s

Anexo IX: Secuencia de cálculo para el diseño de Planta de Tratamiento.







3

$$C_T = \left(\frac{Cl^{-1}}{58.3} + \frac{Alc.T}{50} \right) \times 1.3$$

Determinación del nivel de regeneración (N_R) Tabla ---

Cálculo del volumen de resina

$$V_w = \frac{Dtota \times Volumen.}{CIE \times 1000}$$

Cálculo del volumen

$$V_i = Q \times C_{Reg}$$

Selección del suavizador Anexo II

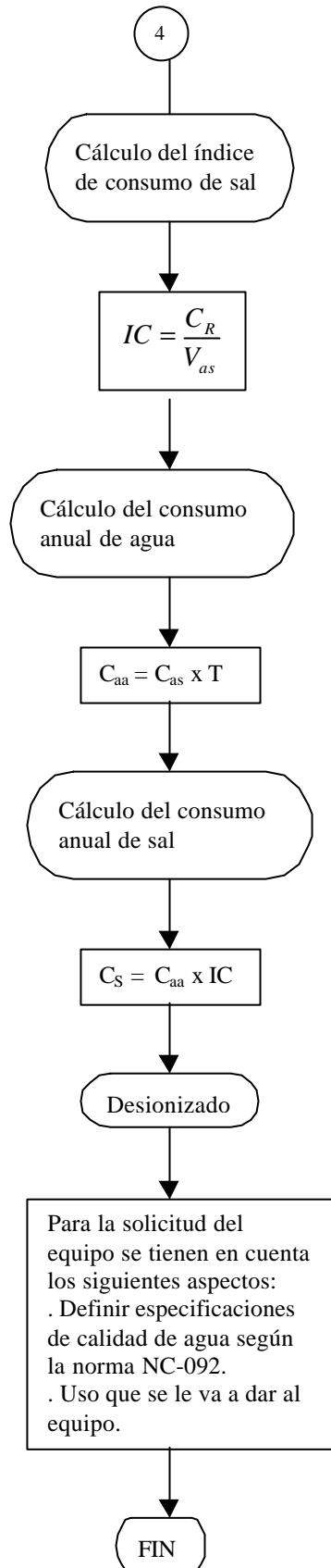
Cálculo del consumo de sal por regeneración

$$C_R = N_R \times V_w \times \mathbf{r}_{H_2O}$$

Cálculo del volumen de agua suave entre regeneraciones

$$V_{as} = \frac{CIE \times V_w}{Dt}$$

4



NOMENCLATURA:

Q – Flujo a tratar, m^3/s
T – Tiempo de trabajo de la planta, s
G – Gradiente de velocidad, s^{-1}
n - Revoluciones por segundos, rev/s
t - Tiempo de retención, s
 V_C – Volumen de la cámara, m^3
P – Potencia necesaria, w
 μ - Viscosidad dinámica del fluido, N-Pa/ m^2
 ρ - Densidad del fluido, Kg/m^3
 F_D – Fuerza de resistencia del fluido sobre las paletas, N
 V_R – Velocidad del extremo de las paletas, m/s
 V_P – Velocidad relativa de las paletas respecto al fluido, m/s
 C_D – Coeficiente de las paletas
 A_T – Area transversal de las paletas, m^2
D – Diámetro de las paletas, m
 A_P – Area de la paleta, m^2
 L_P – Largo de la paleta, m
 a_p – ancho de la paleta, m
 N^o paletas – número de paletas
H – Altura de la cámara tranquilizadora, m
A – Area de la cámara tranquilizadora, m^2
L – Largo de la cámara tranquilizadora, m
a – Ancha de la cámara tranquilizadora, m
V – Volumen de la cámara tranquilizadora, m^3
 V_{sed} – Velocidad de sedimentación, m/h
h – Altura del sedimentador, m
 A_{sed} – Area de sedimentación, m^2
 V_s – Volumen del sedimentador, m^3
 V_F – Velocidad de filtración, m/h
 A_F – Area de filtración, m^2
 D_F – Diámetro del filtro, m
 V_{F-Real} – Velocidad de filtración real, m/h
 A_{Real} – Area real del sedimentador, m^2
 C_{as} – Consumo de agua suave, m^3/h
CIE – Capacidad de intercambio efectiva, eq/l
 D_t – Dureza total, Meq/l
 C_T – Contenido de cationes, Meq
 N_R – Nivel de regeneración, g/l
 V_w – Volumen de resina, pie^3
 V_1 – Volumen total de agua, $m^3/ciclo$ de regeneración
 C_{Reg} – Ciclo de regeneración, Días/ciclo
 C_R – Consumo de sal por regeneración, Kg
 V_{as} – Volumen de agua suave entre regeneraciones, m^3
IC – Indice de consumo de sal, Kg de sal/ m^3 de agua suave
 C_{aa} – Consumo anual de agua, m^3/a
 C_S – Consumo anual de sal, T/a