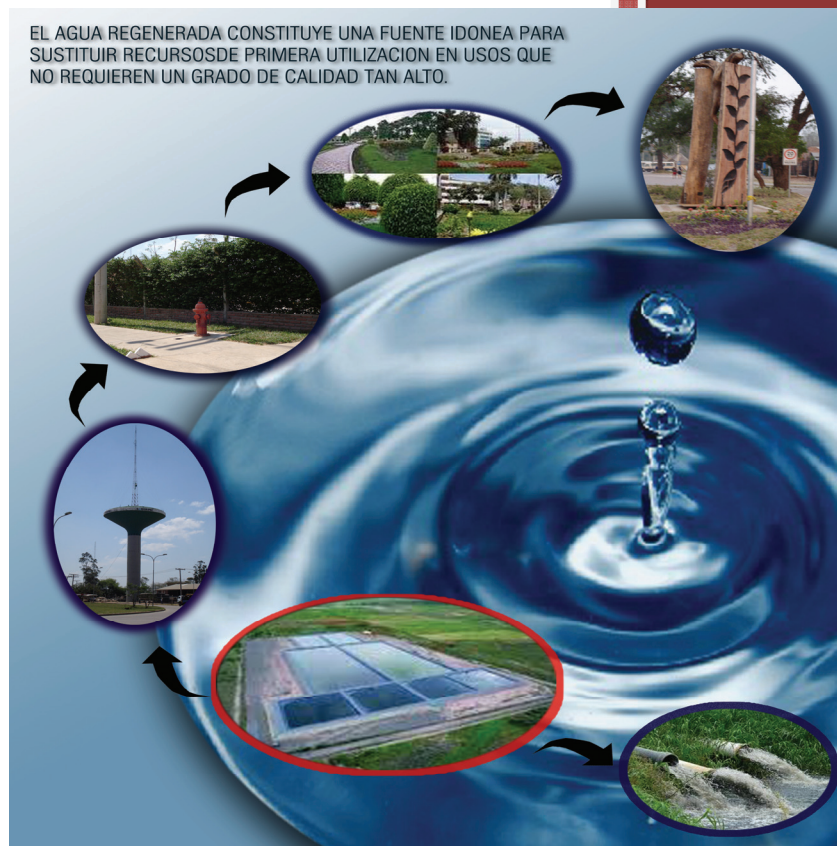


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "GABRIEL RENÉ MORENO"  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### ESTUDIO SOBRE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA USO EN BENEFICIOS DE ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS



Santa Cruz de la Sierra – Bolivia  
Marzo de 2011

2011

# **ESTUDIO SOBRE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA USO EN BENEFICIOS DE ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS**

## **EQUIPO DE TRABAJO**

Dr. Carlos Orlando Hernández Suárez  
Ing. Carmen Ofelia Maida Vargas  
Univ. Lorena Urdininea González  
Univ. Daniela Patricia Hinojosa Mamani  
Univ. Carola Orellana Martínez  
Univ. Ana Karen Montoya Padilla  
Univ. Romer Ayala Guzmán  
Univ. Gary Salvatierra Méndez  
Univ. Germán Vaca González  
Univ. Franz Diego Aramayo Mark

**Santa Cruz de la Sierra – Bolivia**  
**Marzo de 201**

# **ESTUDIO SOBRE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA SU USO EN BENEFICIO DE ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS**

## **ALCANCE**

### **CAPITULO I: GENERALIDADES**

- 1.1. Introducción /3/
- 1.2. Justificación del trabajo de investigación /4/
- 1.3. Fundamentación teórica /5/
- 1.4. Metodología de la investigación /6/

### **CAPITULO II: OBJETIVOS Y LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN**

- 2.1. Objetivo general /7/
- 2.2. Objetivos específicos /7/
- 2.3. Límites temporales /7/
- 2.4. Límites espaciales /8/

### **CAPITULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

- 3.1. Introducción /9/
- 3.2. El recurso agua residual /12/
- 3.3. Tecnologías de tratamiento de las aguas residuales para la obtención del agua regenerada /13/
- 3.4. Reutilización de las aguas grises producidas en los domicilios /19/
- 3.5. Saneamiento y rehúso de las aguas residuales /25/
- 3.6. Rehúso de agua en una vivienda /31/

### **CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA**

- 4.1. Análisis de la información recopilada /35/

## **CAPITULO V: RECOMENDACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

- 5.1. Generalidades /39/
- 5.2. Fases que componen un sistema de reutilización de las aguas residuales /39/

## **CAPITULO VI: APLICACIONES DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES. CRITERIOS TÉCNICOS**

- 6.1. Introducción /45/
- 6.2. Reutilización en el medio urbano /45/
- 6.3. Reutilización industrial /48/
- 6.4. Reutilización agrícola /49/
- 6.5. Usos recreativos y medioambientales. Conservación y gestión de espacios naturales /51/

## **CAPITULO VII: POSIBLES APLICACIONES DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE SANTA CRUZ DE LA SIERRA**

- 7.1. Introducción /53/
- 7.2. Algunos ejemplos de reutilización de las aguas regeneradas identificados en Santa Cruz /54/
- 7.3. Diseño hidráulico de la red de agua regenerada que alimenta el sistema contraincendios del parque industrial y el sistema de riego de la jardinería del canal chivato /56/

## **CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- 8.1. Conclusiones generales /74/
- 8.2. Recomendaciones /75/

## **BIBLIOGRAFÍA /76/**

## **ANEXOS /77/**

- I. Resultados de la aplicación del software a la red contraincendios

# **ESTUDIO SOBRE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA SU USO EN BENEFICIO DE ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS**

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1. Introducción**

Las aguas residuales por su naturaleza y composición requieren de una renovada visión para un uso alternativo, encaminado a sustituir recursos de primera utilización en actividades que no requieren un grado de calidad tan alto. El aprovechamiento apropiado de este recurso está sujeto a encontrar soluciones congruentes y de largo plazo, encaminadas a resolver una problemática multifacética y compleja, que va de lo urbano a lo rural; y que desde lo económico incide en lo social e impacta en lo político.

El natural crecimiento demográfico de la entidad y la generación de aguas residuales, particularmente en las zonas urbanas, están provocando serias alteraciones ecológicas, deteriorando paulatinamente los recursos naturales del entorno.

Si a lo anterior se le adiciona, la precaria, obsoleta e insuficiente infraestructura con que se cuenta para el tratamiento de las aguas residuales, aunado al inadecuado manejo de aguas crudas, ello representa un serio riesgo no solo a los habitantes de las zonas marginales, por donde circulan estas aguas, sino a la sociedad en su conjunto.

Por todas las razones antes mencionadas, con en el presente trabajo, se pretende abordar un estudio acerca de la reutilización de las aguas residuales en actividades productivas, con alternativas que además de responder al paradigma de desarrollo, y a una necesidad social, estas rigurosamente cumplan con dos componentes esenciales; primera, ser técnicamente viables y segunda, ser socialmente aceptadas.

## **1.2. Justificación del trabajo de investigación**

El continuo aumento de la población, el progresivo deterioro de las aguas superficiales y subterráneas, la desigual distribución de los recursos hídricos y las sequías periódicas, han forzado a los agentes involucrados en la gestión del agua a la búsqueda de nuevas fuentes de suministro. La dificultad para atender demandas crecientes y proteger a la vez los recursos disponibles, ha afianzando el criterio, hoy ya universal, de que la utilización de las aguas una sola vez, antes de su devolución al ciclo natural es un verdadero lujo.

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas que actualmente se vierten a los cauces, acuíferos y mares, está recibiendo cada vez más atención como una fuente fiable de nuevos recursos, muy constante en el tiempo e independiente de las sequías climáticas. La regeneración y posterior reutilización de las aguas supone un importante medio para paliar la escasez, al tiempo que reduce el vertido de sustancias contaminantes al medio ambiente.

El agua regenerada constituye una fuente idónea para sustituir recursos de primera utilización en usos que no requieren un grado de calidad tan alto. Muchas aplicaciones urbanas, comerciales, industriales y, por supuesto, agrícolas del agua, pueden satisfacerse con calidad inferior a la potable.

Si a lo antes mencionado, se le suma el hecho de que en Bolivia sólo el 24,5 (%) de la población del área urbana y el 1(%) de la población acentada en el área rural, cuenta con el tratamiento de las aguas residuales y el resto realiza las descargas a los cuerpos receptores dañando el medio ambiente, tal es el caso de los ríos Choqueyapu (La paz), Piraí (Santa Cruz) y Rocha (Cochabamba), el Lago Titicaca (La Paz), por mencionar algunos, esto ha sido razón suficiente para motivar el desarrollo de presente trabajo de investigación, donde se pretende al finalizar el mismo, poner en mano de especialistas vinculados con el tema y de las autoridades un documento que les permita una nueva visión, no sólo de la necesidad del tratamiento de las aguas residuales, sino un nuevo enfoque encaminado a sustituir recursos de primera utilización en usos que no requieren un grado de calidad tan alto.

### **1.3. Fundamentación teórica**

En el año 1958, el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas propugnó la política de no utilización de recursos de mayor calidad en usos que pueden tolerar calidades más bajas.

Esta política equivale en la práctica a una mejor planificación en el uso de los recursos hídricos, teniendo en consideración su calidad, y conduce obligatoriamente al desarrollo del concepto de reutilización.

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas que actualmente se vierten a los cauces está recibiendo cada vez más atención como una fuente fiable de nuevos recursos, muy constante en el tiempo e independiente de sequías climáticas. La regeneración y posterior reutilización de las aguas supone un importante medio para paliar la escasez, al tiempo que reduce el vertido de sustancias contaminantes al medio ambiente.

La reutilización es una práctica que viene desarrollándose desde hace más de 2000 años, bien sea de modo organizado, espontáneo, directo o indirecto. Actualmente, son cada vez más los países que consideran la reutilización de las aguas residuales un elemento fundamental dentro de sus políticas hídricas.

El establecimiento de un programa eficaz de reutilización, es hoy en algunos países un requisito obligatorio para el otorgamiento de concesiones de gestión de aguas residuales. Un ejemplo claramente ilustrativo es el caso de Israel, que posee una amplia tradición en el campo del aprovechamiento de las aguas residuales. Aquí, el agua regenerada constituye un recurso vital. De hecho, los planes de gestión a largo plazo prevén disponer de un volumen anual de 420 millones de m<sup>3</sup> para el año 2010, lo que supone un 10% del total de recursos hídricos y un tercio del agua empleada en el sector agrícola.

Actualmente, el destino fundamental de las aguas recicladas es el riego agrícola, pero ya surgen nuevas demandas para usos urbanos y medioambientales, con mayores exigencias de calidad.

#### **1.4. Metodología de la investigación**

Para lograr este objetivo, se plantea realizar una investigación teórica, donde se empleará como técnica el análisis teórico, en la cual se llevará a cabo la recopilación y el análisis de la información relacionada con el tema de la reutilización de las aguas residuales, para a partir de ella, proponer opciones en beneficio de diferentes alternativas productivas.



## **CAPITULO II: OBJETIVOS Y LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Objetivo general**

Llevar a cabo un estudio acerca de la reutilización de las aguas residuales en beneficios de diferentes alternativas productivas, de manera tal que permitan la protección del medio ambiente, preservando el recurso agua y contribuyendo a su disponibilidad.

### **2.2. Objetivos específicos**

- a. Identificar las diferentes alternativas productivas con posibilidades de aplicación real en el medio.
- b. Definir los parámetros de calidad del agua tratada según la alternativa productiva.
- c. Contribuir al aprovechamiento apropiado del recurso agua, tendiendo a encontrar soluciones congruentes y de largo plazo en relación con el vertido y la reutilización del agua residual.
- d. Contribuir a la solución de una problemática multifacética y compleja, que va de lo urbano a lo rural; que desde lo económico incide en lo social e impacta en lo político.

### **2.3. Límites temporales**

El presente estudio, tiene como limitación temporal la actualidad, abarcando en la búsqueda, la bibliografía técnica histórica que sobre el tema existe, proyectándose hacia el futuro con la contribución al aprovechamiento apropiado del recurso agua, tendiendo a encontrar soluciones congruentes y de largo plazo en relación con el vertido y la reutilización del agua residual.

## **2.4. Límites espaciales**

El estudio tiene como limitación espacial el departamento de Santa Cruz, en el cual se procederá a identificar las diferentes alternativas productivas con posibilidades de aplicación real en el medio, esta área, tiene como referencia los planos oficiales del departamento, que se pueden obtener en la Gobernación del Departamento de Santa Cruz o en el Instituto Geográfico Militar .

## **CAPITULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Introducción**

El desarrollo económico está vinculado con la necesidad de disponer de recursos hídricos adicionales para poder llevar a cabo las nuevas actividades industriales o agrícolas, o para abastecer la demanda correspondiente a las actividades domésticas, turísticas y de ocio. Por otra parte, este desarrollo se ve acompañado de un aumento de población, aspecto este que incrementa aún más la demanda de agua.

Estas circunstancias conducen en muchos lugares de clima árido o semiárido a la escasez de recursos hídricos, tanto temporal como estructural, lo que conlleva diversas disfunciones y en general una disminución de la calidad del agua. Incluso en determinados lugares con lluvia suficiente, climas no áridos, la acumulación de la demanda en el tiempo y el espacio crea deficiencias. En uno y otro caso, las situaciones de sequía hacen más grave la escasez.

Las consecuencias de la escasez son variadas, y tienen repercusiones sociales, lo que hace que los caudales de agua destinados a determinados usos, como los considerados lujosos, sean objeto de controversia. Esta discusión se está extendiendo en los últimos años a otros usos tradicionales, como algunos riegos agrícolas o determinados usos industriales; sin que por el momento se estén discutiendo los usos urbanos.

En Europa, y más concretamente en España, dependiendo de las actividades económicas de la zona y de la escasez relativa de recursos, así como de presiones de tipo político-social, se intenta reducir e incluso negar caudales a campos de deporte, zonas verdes o determinados cultivos.

El empleo posible de las aguas residuales se ha desarrollado en función de la implantación globalizada, y marcada por la ley en muchos países. Esto ha tenido diversas consecuencias, por una parte han disminuido localmente los caudales disponibles, ya que las aguas residuales sin depurar han sido canalizadas y

desviadas de los puntos habituales de vertido y por otra, la situación administrativa ha cambiado, ya que al estar el recurso agua residual controlado teóricamente, se debe seguir una vía legal para utilizarlo.

Además, se están estudiando y extendiendo diversas teorías encaminadas a potenciar el ahorro del agua y que nos interesa mencionar ya que en cierta medida son complementarias a la reutilización.

Por lo que respecta a los usos agrícolas, los que consumen mayores volúmenes de agua, de entrada, se plantea la posibilidad de no producir determinados cultivos con demanda elevada. Se trata de aplicar el concepto de agua virtual, por el cual la producción se “externaliza” a otros lugares con más agua. Esta posibilidad está extraordinariamente contestada por la mayor parte de productores agrícolas, ya que en cierta manera presupone una cierta limitación a la elección del tipo de cultivo y además, los productos agrícolas con contenido elevado de agua (tomates, melón entre otros) suelen ser los de más precio. Sin ningún ánimo de entrar en discusiones de política agrícola, podemos indicar también que otros tipos de cultivo, como el maíz, grandes consumidores de agua, también están suscitando controversias importantes entre diversos actores sociales.

También se considera la posibilidad de aplicar la denominada elasticidad de la demanda. Con este concepto económico, se pretende que al aumentar los precios disminuya el consumo del agua, lo que también se aplica a otros bienes de consumo.

Cuando se considera el precio del agua agrícola, en la mayor parte de ocasiones el costo es comparativamente muy reducido frente a otros usos. En este contexto, el usuario difícilmente aceptará utilizar otros tipos de agua (regenerada) si el precio que tiene que pagar es superior.

En los últimos 20 años, han aumentado exponencialmente en muchos lugares del mundo los usos de riego no agrícola, más concretamente los relacionados con las prácticas deportivas y los parques urbanos. Este aumento exponencial es

importante en términos de número de usuarios, pero no exactamente en cuanto a volúmenes globales de recurso.

Los campos de golf son paradigmáticos en este caso y suscitan criterios encontrados. El desarrollo económico (asociado al turismo en muchas ocasiones) de un país conlleva también mayores exigencias paisajísticas, lo que se traduce en un aumento de las demandas de zonas verdes y parques en las zonas urbanizadas. Medianas de autopista, cementerios, y otras instalaciones asociadas al desarrollo urbano o a las comunicaciones son también ejemplos claros de nuevos usos de agua para riego.

En otros lugares, sistemas para los que no se planteaba el riego, como parcelas de producción de árboles para madera, reciben agua para aumentar la productividad; y por tanto poder reducir los turnos de corte.

Con todo lo expuesto, parece obvio que la demanda de agua para riego ha aumentado a escala global, lo que implica que se deben establecer nuevos trasvases para cubrir las mismas. En este marco, definido muy sucintamente, aparecen como alternativa los recursos no convencionales de agua. La definición de recurso no convencional es relativamente laxa, aunque se podría decir que es todo aquel recurso distinto de las aguas superficiales y subterráneas epicontinentales. Aquí entran los recursos que se presentan en la tabla 3.1, por tanto, las aguas residuales regeneradas.

RECURSOS CONVENCIONALES	RECURSOS NO CONVENCIONALES
Agua superficial Agua superficial	<p>Escorrentía Agua residual regenerada Agua de mar desalinizada Agua salobre desalinizada Transportes no convencionales</p> <p>Dentro de estos recursos no convencionales, caben destacar como los más importantes en volumen y disponibilidad, las aguas residuales regeneradas.</p>

Tabla 3.1. Tipos de recursos de agua

Si el precio del agua de origen convencional viene claramente definido por todos los pasos necesarios para ponerlo a disposición del usuario en el punto de uso; el precio de los recursos hídricos no convencionales debería reflejar también todas las inversiones y operaciones necesarias; en el marco de las políticas económicas actuales de trasladar al precio final del agua todos los costos asociados a su “producción y transporte”. Esta diferencia, que puede resultar importante, puede tener efectos relevantes sobre la aceptación del recurso.

### **3.2. El recurso agua residual**

El agua residual se produce de una forma relativamente continua; es decir, se trata de una “fuente teórica” de agua con características de continuidad en el tiempo. Por consideraciones sanitarias y socio-políticas, las autoridades siempre tienden a asegurar el suministro de agua urbano con prioridad a cualquier otro.

En todos los países de la cuenca mediterránea y en muchos lugares de Centro y Sudamérica se ha practicado desde hace siglos la reutilización, directa o indirecta, de las aguas residuales, ya sea para usos agrícolas (riego de cultivos en las afueras de las ciudades) o como agua de boca después de diversos vertidos. El conocimiento del riesgo asociado a estas prácticas propició por una parte la construcción de sistemas de alcantarillado (también se deben incluir aquí los perjuicios estéticos y sensoriales) que extraían de los núcleos de población las aguas usadas, y bastante posteriormente la construcción de plantas depuradoras en los casos en que la sociedad es capaz de asumir este gasto.

En cierta manera, el objetivo de la depuración fue inicialmente la reducción del impacto del vertido a las aguas receptoras y la consideración sanitaria del riesgo asociado al contacto del agua residual con las personas. En algún momento de la historia reciente, prevalecieron otras consideraciones, más de tipo hídrico, y en este sentido, el objetivo de los planes de saneamiento pasó a ser el mantenimiento de la calidad de los cauces de agua, para asegurar el turismo balneario o hacer disminuir los costos de la potabilización del agua.

Con la aparición histórica de problemas de escasez de agua, de tipo temporal o estructural, se generó una atención a un recurso cercano, concentrado y cuya calidad era relativamente constante y conocida: el agua residual. Por otra parte, es sobradamente reconocido que determinados vegetales regados con agua residual tienen un crecimiento excelente y una apariencia que permite su venta con buenos beneficios. Así, aguas abajo de los albañales de muchas ciudades, han aparecido a lo largo del tiempo explotaciones agrícolas de hortalizas, que se venden en los mercados de la misma ciudad donde se han generado las aguas residuales. Esta práctica sigue vigente en la actualidad, por ejemplo en la ciudad de México o en muchas urbes de África e incluso en algunos lugares de España.

Aparte de ser una forma de reciclar el agua, es también la mejor manera de mantener extraordinariamente prósperas las infecciones asociadas a las enfermedades de origen hídrico.

### **3.3. Tecnologías de tratamiento de las aguas residuales para la obtención del agua regenerada**

En la elección de las tecnologías de regeneración (tratamiento avanzado) para agua residual suelen preferirse aquellas que no emplean mucha energía. Esto se justifica por el hecho de que el agua residual suele emplearse para riego u otros usos relativamente poco “nobles”. A continuación se procede a mencionar algunas de las tecnologías más empleadas en la actualidad.

#### **3.3.1. Tecnologías de membrana**

Las tecnologías de membrana para desalinización se suelen emplear en islas en las que no hay otro recurso o en zonas costeras donde los recursos existentes ya están sobreexplotados. También en algunos casos cuando no se conceden permisos de explotación para determinados usos suntuarios o en campos de golf o en explotaciones agrícolas en las que el cultivo permite la inversión y el mantenimiento en estas plantas.

En este sentido, se están instalando en muchas áreas con aguas salobres numerosas mini-instalaciones de desalinización, creando un problema grave de eliminación de las salmueras y de demanda de electricidad. En el caso de que se empleen estos procesos la reutilización posterior podría considerarse absolutamente obligatoria desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Las tecnologías de membrana para regeneración de aguas residuales se emplean únicamente en aquellos casos en que el uso del agua regenerada justifica el precio final. Las tecnologías de membrana cumplen diversos cometidos; la regeneración eliminando diversos compuestos y prácticamente todos los microorganismos, y al mismo tiempo la desalinización del efluente. También en aquellos casos en que el agua regenerada se empleará como agua de bebida, la osmosis inversa será la tecnología de elección (campos de refugiados, naves espaciales, abastecimientos de emergencia). También puede justificarse la elección en recarga de acuíferos con agua regenerada. Debemos recordar, no obstante, que para poder aplicar la osmosis inversa de manera adecuada, se requiere un buen pre tratamiento, que puede ser también una ultrafiltración o similar.

Las tecnologías de membrana que se pueden emplear son la Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración, y la Ósmosis Inversa entre otras.

### **Microfiltración**

Elimina los sólidos en suspensión de tamaño superior a 0,1 – 1,0 mm. Es efectiva eliminando los patógenos de gran tamaño como Giardia y Cryptosporidium. Se suele emplear la ultrafiltración cuando la concentración de sólidos totales disueltos (STD) no es problemática, ya que los poros de la membrana son comparativamente grandes para filtrar partículas muy pequeñas. Más usualmente se emplea como pre tratamiento de sistemas con las membranas más delicadas, como la osmosis inversa o la nanofiltración.



## **Ultrafiltración**

Puede emplearse para eliminar esencialmente todas las partículas coloidales y alguno de los contaminantes disueltos más grandes (0,01 mm). Se utiliza la UF cuando deben eliminarse prácticamente todas las partículas coloidales (incluyendo la mayor parte de microorganismos patógenos). Estos sistemas, capaces de eliminar bacterias y virus se suelen utilizar como pre tratamiento para sistemas de nanofiltración, hiperfiltración u osmosis inversa, ya que los coloides se eliminan, y el agua tratada posee una turbidez prácticamente nula.

## **Nanofiltración**

Elimina los contaminantes de tamaño superior al nanómetro (0,001mm). Las membranas de NF se emplean cuando se requiere eliminar prácticamente, aunque no todos, los sólidos disueltos. La tecnología se llama también ablandamiento por membrana, ya que se eliminan del agua los iones de la dureza que tienen 2 cargas (calcio y magnesio) mejor que los que solo tienen una (sodio, potasio, cloro).

## **Osmosis inversa**

Es una tecnología de membrana en la cual el solvente (el agua) es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular. La OI elimina prácticamente todas las sales y los solutos de bajo peso molecular. Se considera una eliminación prácticamente total de las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión. Debido a esto, las membranas de OI son la elección cuando se necesita agua muy pura o de bebida, especialmente si la fuente es agua salobre o agua de mar.

### **3.3.2. Tecnologías de filtración para tratamiento avanzado de aguas residuales**

Aparte de los sistemas naturales que ejercen una acción de filtrado se pueden emplear en los procesos de regeneración los filtros clásicos de arena (solos o asociados a procesos físico-químicos; monocapa o multicapa) o bien diversos

procesos innovadores de filtración, entre los que se pueden destacar los filtros de anillas.

### **Filtros de anillas**

En este proceso, la filtración tiene lugar usando anillas planas de material plástico provistas de ranuras. Dichas anillas están colocadas una sobre otra y comprimidas, formando el elemento filtrante. Los cruces entre las ranuras de cada par de discos adyacentes forman pasos de agua, cuyo tamaño varía según las anillas utilizadas y la situación relativa de los discos.

### **3.3.3. Reactores secuenciales discontinuos (cieno activado)**

Se trata de un desarrollo de los lodos activados en el cual las funciones de aireación, sedimentación y decantación se llevan a cabo en el mismo reactor. Normalmente se emplea un mínimo de dos tanques de reacción para poder garantizar un tratamiento del agua en continuo. Ocupan muy poca superficie y tienen unos costos muy competitivos, generando un efluente de buena calidad fácilmente tratable para regeneración.

### **3.3.4. Biodiscos**

Los biodiscos son reactores de biomasa fija, y consisten en discos montados sobre un eje rotatorio. Mediante esta rotación, el conjunto de discos situados en paralelo está expuesto alternativamente al aire y al agua a depurar. Los microorganismos fijados descomponen la materia orgánica empleando procesos aerobios.

El proceso es fiable y barato en cuanto a la energía empleada, y especialmente en pequeñas instalaciones bien dimensionadas el efluente es de muy buena calidad por lo que suele bastar una desinfección para la reutilización posterior.

### **3.3.5. Sistemas físico-químicos**

Se trata básicamente de sistemas en los que mediante un reactivo se procede a la coagulación-floculación, seguida habitualmente de una filtración por arena u otro sistema. Los reactivos empleados suelen ser coagulantes inorgánicos (sales de hierro o aluminio) o bien polímeros orgánicos (polielectrolitos) y a veces se combinan.

Tienen una cierta acción desinfectante, ya que las bacterias y virus fijados a los sólidos en suspensión son eliminados con éstos.

### **3.3.6. Infiltración-Percolación**

La Infiltración-Percolación (IP) es un sistema de tratamiento avanzado, natural y extensivo, basado en el uso de arena. Se trata de un filtro secuencial, aerobio y con biopelícula. Se emplea arena fina (entre 0,1 y 2 mm) y es importante que esta arena sea uniforme. Se infiltra un efluente primario o secundario a través de un espesor de material definido de forma secuencial y programada. Es importante que el lecho no quede saturado para permitir el intercambio de gases; para ello sólo se puede aplicar una carga máxima calculada en función de la DQO y del contenido en NTK. Es un proceso muy fiable si se le da un mantenimiento adecuado. Puede incluso llegar a cumplir las especificaciones para generar agua con la que se puede regar sin restricciones.

### **3.3.7. Sistemas de lagunas**

Es una tecnología conocida desde hace mucho tiempo y que se basa en la potenciación de la eutrofización, mediante la simbiosis de algas y bacterias. La biomasa está en suspensión y se suelen emplear diversas lagunas en serie (anaerobias, facultativas y de maduración; aunque estas pueden a su vez subdividirse y actuar en paralelo). Si se debe reutilizar el agua cobra especial importancia la fase de maduración. El sistema es capaz de lograr una buena desinfección por la acción de la radiación UV del sol.

Es imprescindible una buena gestión evitando los caminos preferenciales. Se considera que son capaces de tratar efluentes domésticos de hasta 300 mg/l de DBO<sub>5</sub> con rendimientos aceptables. Su principal problema es la superficie que ocupan.

Se está recuperando esta tecnología (a menudo únicamente los estanques de maduración después de un tratamiento intensivo) para la regeneración de aguas residuales.

### **3.3.8. Tecnologías de desinfección para regeneración**

Es importante precisar que no se incluye aquí la cloración, puesto que se desaconseja para el tratamiento de las aguas residuales ya que genera muchos subproductos.

#### **Ozonización**

En el agua residual el ozono puede perderse en la atmósfera, reaccionar directamente con la materia orgánica y entrar en una serie de reacciones con sustancias radicales. Parte de estas acciones tienen como efecto desinfectar el agua. Actúa principalmente contra virus y bacterias.

Al mismo tiempo reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes. Se genera in situ mediante equipos comerciales.

Si el contenido en materia orgánica es elevado, se requieren dosis comparativamente elevadas para obtener una buena desinfección.

#### **Dióxido de cloro**

Se considera como una de las mejores alternativas a la cloración convencional. Es un oxidante efectivo que se emplea en aguas con fenoles y elimina los problemas de olores. Al mismo tiempo tiene el inconveniente que oxida un gran

número de compuestos e iones, como hierro, manganeso, nitritos. No reacciona con el amonio ni con el bromo. Se tiene que generar in situ debido a su inestabilidad y no genera subproductos en cantidad apreciable. Se considera un buen biocida y afecta también a las algas.

### **Radiación ultravioleta**

Se basa en la acción de una parte del espectro electromagnético sobre ácidos nucleicos y proteínas, con lo que se altera la reproducción de determinados patógenos. Se emplea la radiación a 253,7 nm, que se considera la más adecuada para el proceso. Es activo especialmente contra bacterias y virus y se describe con lámparas de media intensidad, una acción contra Giardia y Cryptosporidium.

Se emplean lámparas de alta, media y baja presión. Hasta el momento las más utilizadas en desinfección de aguas residuales son las de baja presión. Es importante que el efluente a desinfectar tenga pocos sólidos en suspensión. Uno de los problemas más importantes de esta tecnología es la limpieza de las lámparas.

## **3.4. Reutilización de las aguas grises producidas en los domicilios**

Para conseguir un uso eficiente del agua se puede actuar en los distintos equipos de consumo mejorando su rendimiento (grifería, inodoros, cisternas, lavadoras, lavavajillas, etc.), y también, sobre los hábitos diarios ( ducharse en vez de bañarse, no fregar ni lavarse los dientes con el agua corriendo constantemente). Pero aún se puede mejorar la eficacia del agua utilizada si alargamos su ciclo de vida en nuestro domicilio, es decir si la reutilizamos.

### **3.4.1. Reutilizando las aguas grises**

Las aguas grises son aquellas que salen por los desagües de bañeras, lavabos, grifos de la cocina, lavavajillas o lavadoras, y que, con un tratamiento sencillo, pueden ser reutilizadas. El uso más común es en los tanques de los inodoros, los

cuales no requieren aguas de gran calidad, aunque también se emplean para el riego de zonas verdes o en la limpieza de exteriores.

Al reutilizar las aguas grises en los tanques de los inodoros se estarían ahorrando en torno a 50 (l/persona.día), que para una familia media de 4 personas, supondría un ahorro de unos 200 l/día, es decir, entre un 24 % y un 27 % del consumo diario de la vivienda. Si este sistema se implanta en hoteles o instalaciones deportivas, estaríamos hablando de cifras aún más importantes, en torno al 30% de ahorro.

### **3.4.2. Descripción del sistema**

El sistema a implantar requiere la conexión de los desagües de lavabos y bañeras a un depósito, donde se realizan dos tratamientos de depuración:

- Uno físico, mediante unos filtros que impiden el paso de partículas sólidas: estos filtros tiene que ser de tamaño adecuado para retener aquellas partículas que pueden aparecer en los desagües.
- Otro tratamiento químico, mediante la cloración del agua con hipoclorito sódico con un dosificador automático, que la deja lista para ser reutilizada.

Para devolver el agua hacia los tanques de los inodoros se utilizan bombas de bajo consumo que conducen el agua desde el depósito cuando las cisternas, tras su uso, deben ser llenadas de nuevo.

Para dimensionar el sistema es fundamental el depósito de recogida. En función del número de personas que habitan la vivienda o de los usuarios de las instalaciones, se calcula su tamaño, para llegar a un equilibrio entre el espacio utilizado y la capacidad del mismo.

Para viviendas unifamiliares o plurifamiliares, depósitos de 0,5 ó 1,00 (m<sup>3</sup>) son los más habituales y para instalaciones hoteleras se suele instalar de uno o varios depósitos de 25 (m<sup>3</sup>).

Generalmente son depósitos de mampostería de ladrillo, fibra de vidrio o plástico, siendo el lugar habitual de ubicación el sótano de la vivienda. Si por algún motivo no hay aporte de aguas grises o existe un consumo muy alto en los inodoros, el depósito tiene un mecanismo de boyas y válvulas que suple esta carencia tomando agua de la red de abastecimiento general. Si, por el contrario, es muy alta la producción de aguas grises y se produce un sobrellenado del depósito, éste dispone de un rebosadero que recoge y lleva el sobrante hasta la red general de desagües.

El mantenimiento de todo el sistema de recogida se limita a una revisión anual de los filtros y del sistema de cloración, que no necesita ser realizada por personal especializado.

Los costos de estas instalaciones dependen de la empresa instaladora y del momento de su instalación. Para viviendas en construcción de carácter unifamiliar los precios están en torno a los 1.600 \$us y para instalaciones deportivas u hoteleras las cifras estarían entre los 12.600 \$us y 38.000 \$us, dependiendo de las dimensiones de la instalación.

En el caso de viviendas o instalaciones ya existentes, el precio se encarece, pues debemos añadir el precio de la obra; por ello se recomienda implantarlos aprovechando reformas del hogar.

La ventaja en la aplicación de estos sistemas es obvia en cuanto al ahorro de agua que se genera. Además se evita la potabilización de un volumen de agua que, por el uso a que se destina, como agua de arrastre, no es necesario que sea potable, produciéndose de esta manera un segundo ahorro significativo.

Según estudios realizados, los ahorros estimados de agua son los que se presentan en la tabla 3.2, los mismos que están en función de los lugares en que se realice la instalación.

TIPO DE VIVIENDA	HABITANTES	AHORRO ESTIMADO
Unifamiliar	1	24%
Plurifamiliar	4	27,3%
Instalaciones deportivas y hoteleras (Grandes consumidores)		32,7%

Tabla 3.2. Ahorros estimados de agua

### 3.4.3. Instalaciones más comunes de los sistemas de reutilización de aguas grises

Los sistemas de reutilización de aguas grises se han instalando en:

- Viviendas unifamiliares
- Comunidades de vecinos
- Instalaciones deportivas: Campos de fútbol, piscinas
- Hoteles
- Universidades

#### Ejemplos de lugares donde se han instalado sistemas de recuperación de aguas grises

##### a. Vivienda unifamiliar en Santa Coloma de Gramenet (Barcelona)

Este sistema consiste en recolectar las aguas grises en un depósito de pequeña capacidad (ver figura 3.1), desde donde se bombean las aguas recolectadas a un depósito de mayor capacidad (500 litros), para su tratamiento.





Deposito recolector en vivienda unifamiliar



Interior del depósito recolector donde va instalada la bomba

Figura 3.1. Foto de un depósito recolector en una vivienda unifamiliar

**b. Vivienda unifamiliar en Cobrera de Llobregat (Barcelona).**

Se ha instalado una depuradora de aguas grises de 500 litros de capacidad en el sótano de la vivienda (ver figura 3.2).



Vivienda unifamiliar con sistema de reutilización de aguas grises



Depósito instalado en el sótano

Figura 3.2. Foto de un depósito recolector en una vivienda unifamiliar instalado en el sótano

**c. Viviendas plurifamiliares de promoción pública en Artá (Mallorca)**

Entre dos bloques de viviendas, se ha instalado un depósito-depuradora de 16 (m<sup>3</sup>) para la recolección, tratamiento y distribución a los tanques de los inodoros (ver figura 3.3).



Comunidad de viviendas en Artá, dónde se instaló el sistema de reutilización



Instalación del depósito-depuradora

Figura 3.3. Foto de un depósito depurador para bloques de viviendas

#### d. Campo de fútbol en Vila nova Geltrú (Barcelona)

Se ha instalado un depósito enterrado de 16 (m<sup>3</sup>) para la reutilización de las aguas grises procedentes de las duchas y la recogida de las aguas pluviales. El agua depurada sirve para alimentar los tanques de los inodoros y para regar el campo de fútbol (ver foto 3.4).



Construcción de campos de fútbol en Vila nova Geltrú (Barcelona), dónde se instaló el sistema



Depósito de recogida de aguas grises Y pluviales.

Figura 3.4. Foto de un depósito enterrado para el reuso del agua en un campo de fútbol

**e. Hotel Golden Bahía en Tossa de Mar (Gerona)**

En esta instalación turística se reutilizan 50 (m<sup>3</sup>) diarios de agua, gracias a la instalación de dos depósitos de aguas grises de 25 (m<sup>3</sup>), que sirven para el riego de jardines, alimentación de fuentes y tanques de inodoros.

**f. Universidad de las Islas Baleares**

El sistema recoge las aguas grises en un depósito de 5 (m<sup>3</sup>), donde tras la depuración se vierte el agua en un aljibe, y desde este se bombea a las cisternas para su uso en el riego de los jardines y canchas de fútbol (ver foto 3.5).



Depósito que, a su vez, envía el agua a un aljibe

Figura 3.5. Foto de un depósito enterrado para el reuso del agua en jardines y canchas de fútbol

### **3.5. Saneamiento y rehúso de las aguas residuales**

La expansión urbana y el aumento del consumo hídrico consecuente, han provocado un crecimiento proporcional de las aguas residuales generadas. Entre un 70 y 80% de las aguas recibidas a nivel domiciliario se transforman en residuales vertiéndose en las redes de saneamiento, si las hay, o en drenajes de diverso tipo, para terminar engrosando los cuerpos de agua naturales. Del mismo modo, las aguas utilizadas por la industria, ya sea para ser consumidas en los procesos industriales, en el enfriado o en la limpieza, también se vierten en las redes y canales de desagüe, culminando su itinerario en ríos, lagos y mares.

Los establecimientos agropecuarios consumen volúmenes considerables de agua, sobre todo cuando plantan sus cultivos bajo riego. A la salida de los drenajes agrícolas, el agua sale cargada de agroquímicos, materia orgánica y partículas de suelos, de las formaciones superficiales o geológicas.

Todos estos vertidos residuales tienen un impacto muy fuerte en la ecología acuática. Su irrupción repentina introduce modificaciones en las características habituales de los sistemas hídricos: cambia el contenido y composición de las sales, la materia orgánica y los tenores de gases disueltos, se producen variaciones de temperatura, de color y turbidez y alteraciones del pH, y se introducen elementos extraños, a menudo agresivos para los organismos del lugar.

Para evitar, o por lo menos para paliar esa situación, algunas ciudades e industrias han establecido plantas de tratamiento tendientes a mejorar la calidad de sus residuos líquidos. Sin embargo, el costo elevado de estos sistemas, unido a la falta de comprensión de los riesgos ambientales, lleva a que en muchos lugares, las aguas residuales sean arrojadas al medio natural en estado crudo, sin ningún tipo de tratamiento. El efecto de este tipo de acción es la contaminación más o menos rápida de los cuerpos de agua, con la consiguiente mortandad de los organismos que en ellos habitan.

Esta situación está transformándose gradualmente en un problema crítico en muchas partes del mundo. El resultado es una degradación creciente y la destrucción de los recursos biológicos que de ellos dependen. Este problema se ha vuelto común en todas las grandes urbes de América Latina, África y Asia.

Existen numerosas razones, ambientales, sociales, sanitarias e incluso económicas, que impelen a extremar esfuerzos en esa tarea. El tratamiento generalizado y completo de todas las aguas residuales urbanas y agropecuarias se ha transformado en una necesidad urgente, si queremos evitar que el planeta se transforme en un mundo de aguas residuales.

### **3.5.1. Rehúso de aguas residuales**

En general, y en particular en las áreas urbanas, el costo de obtener nuevos recursos hídricos es elevado. En casi todos los casos es más alto que lo que costó el desarrollo de las fuentes actuales. Sin embargo, a menudo es posible evitar nuevas inversiones y aumentos de costos mediante la reutilización de las fuentes actuales.

Una opción posible es la optimización del recurso a través del reciclado de las aguas residuales. Esta estrategia es particularmente atractiva en las ciudades localizadas en el interior de los continentes que deben tratar sus aguas para evitar la contaminación aguas abajo.

El desarrollo de sistemas de reciclado de aguas residuales tiene limitaciones de diverso tipo. En primer lugar, para que puedan instalarse se requiere cobertura de saneamiento. Esto limita su aplicación pues en la mayor parte de los países menos desarrollados la cobertura sanitaria es inferior al 50%. A ello se agrega, que para un mejor aprovechamiento de las aguas crudas y sus productos tratados, se requiere que las redes de saneamiento sean diseñadas de una cierta forma, normalmente diferente a la existente en las redes que han sido planificadas como mera descarga.

### **3.5.2. Calidad del agua reciclada**

Desde el punto de vista de la calidad las aguas obtenidas luego de un proceso de reciclado deben ser claras, incoloras e inodoras para ser estéticamente aceptables. La presencia de color, turbiedad u olores disminuye sus posibilidades de uso y su valor.

Cuando se logran buenos estándares de calidad, las aguas residuales recicladas pueden ser utilizadas para diversos fines, riego de jardines públicos, lavado, enfriamiento, etc. De todos modos, aún en los casos en que se obtienen óptimos resultados, estas aguas tienen ciertas restricciones de uso, particularmente en las redes de agua potable.

Los sistemas de tratamiento más comunes para la obtención del agua de reciclado requieren:

- a. Que el agua de la tubería de alcantarillado, se dirija a un tanque de sedimentación primario para formar un lodo primario (que vuelve a la red de alcantarillado).
- b. Por encima de éste, se liberan líquidos que van a un tanque de aireación (cieno activado), desde donde bajan más lodos.
- c. Luego el líquido pasa a un tanque de sedimentación final de donde también descienden lodos.
- d. El líquido sobrenadante es tratado con cloro y coagulante.
- e. El líquido con el coagulado se hace pasar a través de un filtro de recuperación intermedio para ser sedimentado.
- f. Al líquido filtrado y descoagulado se le echa más cloro y luego se bombea el agua para el rehúso. Todos los lodos vuelven a la alcantarilla, recuperándose el agua despojada de ellos.

Las experiencias e investigaciones de los Distritos de Sanidad de Los Ángeles mostraron que un efluente secundario de buena calidad tratado con pequeñas dosis de coagulante y/o polímero, filtrado directo convencional con arena y desinfección con cloro, puede producir fácil y económicamente un producto satisfactorio.

### **3.5.3. Tipos de plantas de rehúso**

Dependiendo del destino de las aguas recicladas, hay dos tipos principales de sistemas de rehúso:

- a. Las plantas cuyo producto solamente se ha de verter en los cuerpos receptores.
- b. Las plantas que producirán aguas recicladas para su utilización y/o comercialización posterior. Estas últimas son también aptas para ser inyectadas en los acuíferos subyacentes.

En el primer caso se procesa toda el agua recibida y el lodo producido es tratado en la planta para reducir los volúmenes vertidos a los sistemas naturales.

En el segundo caso se procesan tan sólo los volúmenes requeridos y los lodos producidos se retornan a la red de alcantarillado o a otra planta para su disposición final.

La reutilización del agua tiene varias limitaciones tecnológicas, económicas y sociales. Debe existir la posibilidad técnico-económica para que la depuración sea adecuada y garantizada, y finalmente, el producto final debe ser aceptable y aceptado por parte de los usuarios.

A diferencia de las plantas de tratamiento convencionales, que pueden estar ubicadas aguas abajo de la zona de generación de aguas residuales (lo cual facilita su instalación y operación, y abarata los costos), las plantas de tratamiento y reciclado que persiguen fines comerciales deben tener en cuenta la localización de los mercados para asegurar su competitividad.

Al mismo tiempo, el resultado del reciclado con fines comerciales debe ser un producto vendible, de calidad y cantidad confiables como para satisfacer a los “clientes”. Por ese motivo, estas plantas son diseñadas con unidades duplicadas, fuentes de energía de emergencia, monitoreo continuo de la turbidez y de los residuales clorados.

### **3.5.4. Costo del agua reciclada**

El agua reciclada debería ser mucho más barata que el agua potable. Sin embargo, a menudo ello no ocurre porque el diseño de las redes de saneamiento hace muy costosa su utilización.

Desde el punto de vista económico el principal problema de los países industrializados consiste en que las redes de saneamiento ya están construidas. Por esa razón, las plantas de tratamiento deben ser instaladas en lugares situados en posiciones topográficas más bajas. En esos casos, muchas de ellas quedan ubicadas lejos de los “clientes” que a menudo están aguas arriba, como es el caso de ciertos parques industriales localizados en áreas topográficamente elevadas. Esto último se debe a que muchas zonas costeras más bajas son más valiosas y más bien se dedican al uso residencial o turístico.

En algunas zonas urbanizadas, las áreas bajas son de menor valor inmobiliario y por ende, se han instalado numerosas industrias. En esta situación la utilización de aguas residuales tratadas puede ser rentable.

También es de hacer notar que la instalación de sistemas duales que se requeriría para ampliar el espectro de usuarios, es una obra de alto costo. Debido a que las redes ya están instaladas y el costo del tendido de nuevas redes haría antieconómica su instalación.

Curiosamente, en los países más pobres no hay tantas diferencias de costo entre un sistema dual y uno que no lo es. En los casos en que no se puedan obtener fondos de inversión para un sistema dual en el presente, puede ser conveniente dejar “espacio” para una red adicional de aguas recicladas, así como para las tuberías de un futuro sistema dual.

A veces se puede alimentar el sistema de rehúso con aguas del alcantarillado pluvial. Para ello se requiere que estos sistemas sean especialmente diseñados. Solamente se puede almacenar el agua pluvial para verter en las tuberías en los casos en que existe sistema de saneamiento.



En los países más pobres también es posible diseñar las redes teniendo en cuenta estas posibilidades.

Como se señalaba anteriormente, se prefiere que las plantas de reciclado estén ubicadas aguas arriba, que es donde se encuentran los compradores industriales. En los casos en que las aguas tratadas no se usen, de todos modos es posible alimentar los cursos de agua urbanos.

La utilización de agua reciclada se debe en general al costo o inaccesibilidad del agua potable. En los últimos años se establecieron varios sistemas de tratamiento y rehúso en California, Arizona y otras zonas áridas de los Estados Unidos. También se les encuentra en Israel, en varios países del Golfo, en Singapur y en varias Islas turísticas pequeñas. A partir de 1988 se desarrolló una experiencia exitosa en São Paulo, Brasil.

### **3.6. Rehúso de agua en una vivienda**

Es un método muy sencillo, pero requiere de previsión al momento de diseñar, rehabilitar o modificar una vivienda. Una persona consume entre 20 (m<sup>3</sup>) y 25 (m<sup>3</sup>) cada año de agua potable en el tanque del inodoro.

Hay muchas maneras de reutilizar una parte del agua de abastecimiento, y una de las viables es simplemente reutilizar el agua de la ducha y lavamanos para emplearla en el tanque del inodoro.

El tanque de un inodoro utiliza, comúnmente el 33,33% del agua potable que se consume en un domicilio (ver figura 3.6), consumiendo regularmente de 6 a 8 litros en dependencia del tipo de taza sanitaria utilizada.

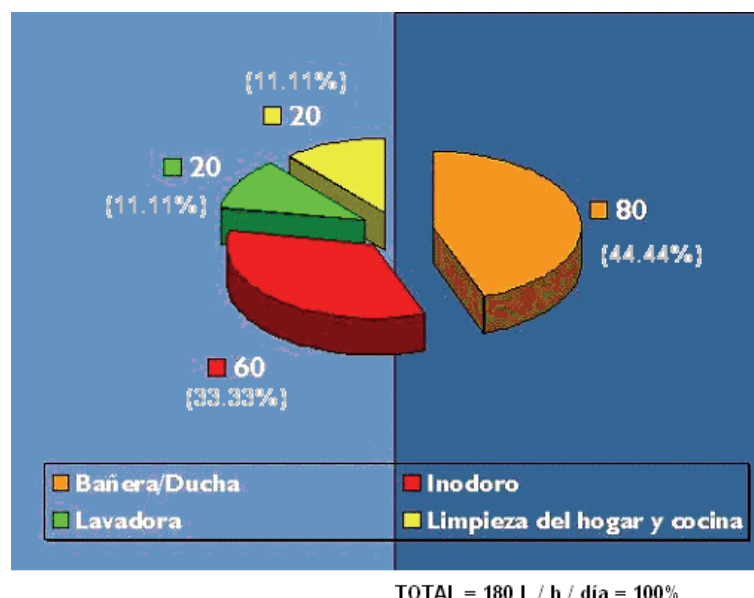


Figura 3.6. Consumo de agua en litros por persona y día en América Latina, zona urbana

Reutilizando el agua de la ducha y lavamanos para su empleo en el tanque se pueden ahorrar aproximadamente quinientos litros a la semana, ya que más de un tercio del agua que se utiliza es para el inodoro (Reporte de ECOAGUA, 1999).

El agua de las duchas, bañeras y lavamanos se puede reutilizar para el tanque del inodoro, donde las aguas grises son almacenadas en un depósito acumulador y por medio de tubería de PVC el agua es conducida para la alimentación del tanque del inodoro. En la reutilización de aguas grises se necesita una mayor seguridad en su manipulación, por lo que se recomienda la depuración físico – química de las aguas procedentes de duchas, lavamanos y bañeras, donde por medio de una malla fina sirva como tamiz para no permitir el ingreso de sólidos y con la aplicación de cloro se desinfeste el agua del depósito ya que se encuentra contaminada.

Hay muchas formas de instalar un sistema de reutilización de agua, la viable energéticamente es aquella que permite prescindir de bombas aprovechando la misma presión del agua, para esto el depósito acumulador y el tanque del inodoro han de estar ubicados a diferentes niveles, o bien se puede aprovechar el agua de un piso superior para alimentar los tanques inodoros de pisos inferiores.

En el caso en que no se tenga esta diferencia de altura, o sea una vivienda de un solo nivel, es necesario utilizar una bomba la cual permitiría subir el agua del depósito a otro ubicado en un nivel superior para distribuirla en todo el nivel inferior, o directamente podrá alimentar los tanques de inodoros. Por lo tanto es imprescindible un depósito de almacenaje intermedio, un filtro sencillo (para pelos y otros posibles restos) y un sistema que permita al tanque tomar agua limpia en caso de necesidad, si es que el agua regenerada no fuera suficiente. Esto último se puede conseguir disponiendo una entrada de agua regulada con una llave de paso en el tanque del inodoro o bien mediante una simple llave regulada con flotador en el interior del depósito acumulador.

La recogida o almacenaje de las aguas procedentes de duchas, bañeras y lavadoras para su reutilización en los tanques de los inodoros, consigue un ahorro aproximado entre el 35 y el 45% del consumo normal (es necesario tener en cuenta la estructura de la unidad familiar, es decir, la cantidad de personas que forman la familia).

El agua consumida por duchas, bañeras y lavadoras es canalizada hasta el depósito de aguas grises, situado en el lugar más idóneo de la casa, como se puede ver en la propuesta del diseño del depósito acumulador este lugar sería una bodega, sótano o por falta de espacio podría ir enterrado en el jardín.

Cuando se acciona el dispositivo de descarga de los tanques de los inodoros y se descarga ésta, la bomba que lleva incorporada el depósito acumulador impulsa las aguas grises para volver a cargar los tanques de los inodoros.

La mejor forma de poder adaptar estos sistemas es en viviendas en construcción ya que ello permite prever las necesidades de preinstalación. En viviendas construidas, es necesario considerar las características específicas de dichas viviendas para poder aconsejar la instalación de los sistemas de reutilización de aguas grises.

Las posibles incompatibilidades con instalaciones antiguas se basan en la posibilidad de poder instalar la doble canalización para las aguas grises. En este sentido se aconseja la evaluación de la instalación como cualquier otro tipo de instalación de fontanería. En caso de una reforma es necesario plantearse las posibilidades que ofrece nuestra vivienda para instalar los sistemas de reutilización de aguas grises.

Las aguas negras procedentes de inodoros, son conducidas a una fosa séptica, para luego pasar a un sistema de riego subterráneo en el área de jardinería, con tuberías perforadas que se entierran en el suelo a una determinada profundidad creando un riego por goteo constante. En el caso en donde las aguas negras están conectadas al colector municipal, el sistema de riego propuesto no se aplicaría y por lo tanto no sería necesaria la construcción de una fosa séptica.

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA**

### **4.1. Análisis de la información recopilada**

Del análisis de la información recopilada de la bibliografía especializada se puede concluir que:

1. El desarrollo económico está vinculado con la necesidad de disponer de recursos hídricos adicionales para poder llevar a cabo las nuevas actividades industriales y agrícolas, o para abastecer la demanda correspondiente a las actividades domésticas, turísticas y de ocio.
2. El desarrollo económico suele implicar un aumento de población, lo que incrementa aún más la demanda de agua.
3. Las consecuencias de la escasez de agua ha hecho que los caudales de agua destinados a determinados usos, como los considerados lujosos, algunos riegos agrícolas o determinados usos industriales; se vean limitados en su aplicación.
4. En Europa, y más concretamente en España, dependiendo de las actividades económicas de la zona y de la escasez relativa de recursos, se intenta reducir o incluso negar caudales a campos de deporte, zonas verdes o determinados cultivos.
5. La limitante en el recurso agua, está influyendo fundamentalmente en el uso agrícola, ya que actualmente se plantea en muchos países la posibilidad de no producir determinados cultivos con demanda elevada.
6. La escases de agua ha generado la necesidad de aplicar el aumento de los precios del agua consumida, con el propósito de disminuir el consumo del agua, aspecto este que también se aplica a otros bienes de consumo.

7. Es importante producir agua regenerada con precios para su entrega menores a los del agua potable. En este contexto, el usuario difícilmente aceptará utilizar agua regenerada si el precio que tiene que pagar es superior.
8. En los últimos 20 años, han aumentado en muchos lugares del mundo el uso del agua regenerada para el riego de los campos relacionados con las prácticas deportivas y los parques urbanos.
9. El desarrollo económico asociado al turismo en un país, conlleva también mayores exigencias paisajísticas, lo que se traduce en un aumento de las demandas de zonas verdes y parques en las zonas urbanizadas. Medianas de autopista, cementerios, y otras instalaciones asociadas al desarrollo urbano son también ejemplos claros de nuevos usos de agua para riego.
10. El riego de parcelas de producción de árboles para madera, hoy en día emplean agua regenerada para aumentar la productividad; y por tanto poder reducir los turnos de corte.
11. El precio del agua regenerada deberá reflejar todas las inversiones y operaciones necesarias asociadas a su “producción y transporte”. Este aspecto puede resultar importante a efectos de la aceptación de este recurso.
12. La practica desde hace siglos de la reutilización, directa o indirecta, de las aguas residuales, en muchos países, ya sea para usos agrícolas (riego de cultivos en las afueras de las ciudades) o como agua de boca después de diversos vertidos, propició por una parte la construcción de sistemas de alcantarillado y posteriormente la construcción de plantas depuradoras en los casos en que la sociedad es capaz de asumir este gasto.

13. Con la aparición histórica de problemas de escasez de agua, de tipo temporal o estructural, se generó la atención sobre un recurso cercano, concentrado y cuya calidad era relativamente constante y conocida: el agua residual.
14. El uso del agua regenerada, aparte de ser una forma de reciclar el agua, es también la mejor manera de mantener extraordinariamente prósperas las infecciones asociadas a las enfermedades de origen hídrico.
15. Existen numerosas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales. En la elección de las tecnologías de regeneración (tratamiento avanzado) para agua residual suelen preferirse aquellas que no emplean mucha energía. Esto se justifica por el hecho de que el agua residual suele emplearse para riego u otros usos relativamente poco “nobles”.
16. Existen experiencias sobre la aplicación de las aguas residuales depuradas en el medio urbano, entre las que se pueden citar:
  - a. Vivienda unifamiliar en Santa Coloma de Gramenet (Barcelona)
  - b. Vivienda unifamiliar en Corbela de Llobregat (Barcelona).
  - c. Viviendas plurifamiliares de promoción pública en Artá (Mallorca)
  - d. Campo de fútbol en Vila nova Geltrú (Barcelona)
  - e. Hotel Golden Bahía en Tossa de Mar (Gerona)
  - f. Universidad de las Isla Baleares
  - g. Riego de zonas públicas (parques y jardines, campos de deportes, medianas y andenes de autopistas, etc.).
  - h. Riego y limpieza de urbanizaciones o áreas residenciales.
  - i. Riego y limpieza de zonas comerciales, polígonos industriales, etc.
  - j. Riego de campos de golf.
  - k. Usos comerciales: lavado de automóviles, limpieza de ventanas y cristalerías de grandes edificios.
  - l. Usos ornamental y decorativo: fuentes.
  - m. Red de agua para uso contra incendios.

17. Existen las tecnologías adecuadas para instalarlas en cualquier parte, y si hubiera voluntad social y política, sería posible tratar todas las aguas residuales urbanas e industriales a un costo inferior del que se incurre cuando se desarrollan nuevas fuentes superficiales o subterráneas.
18. Por todos es conocido que los recursos hídricos naturales son escasos e irreemplazables, que los volúmenes disponibles están disminuyendo en forma rápida en todos los continentes. Las aguas residuales, en cambio, aumentan a un ritmo similar al de la urbanización e industrialización. Si a ello se agrega el daño irreparable que las aguas residuales no tratadas infligen en el ambiente natural, ríos y lagos contaminados, acuíferos degradados irreversiblemente, ecosistemas dañados, especies y variedades desaparecidas. Estos perjuicios repercuten inevitablemente en las poblaciones que habitan las zonas degradadas, generándose un impacto creciente sobre la salud y la calidad de vida en general.
19. Si el crecimiento demográfico y económico continúa, la opción del reciclado integral de las aguas residuales será seguramente la única salida para la sobrevivencia social en el futuro.



## **CAPITULO V: RECOMENDACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

### **5.1. Generalidades**

Las características técnicas de los proyectos de reutilización varían de un caso a otro, dependiendo fundamentalmente: del tipo de reutilización que se pretende, de la disponibilidad de agua residual y de los usuarios del agua regenerada. Por lo tanto, es necesario que la planificación de los sistemas de reutilización se realice sobre la base de objetivos claramente definidos. En general, la planificación se lleva a cabo en tres fases sucesivas, que incluyen una primera etapa a nivel conceptual, una segunda a nivel investigación preliminar de viabilidad y la tercera que consiste en la planificación de las instalaciones. En todo el proceso es muy importante mantener la participación activa de la opinión pública, que aportará orientación muy valiosa.

Inicialmente, los proyectos de reutilización solían tener un propósito único, en el que generalmente se trataba de responder, bien a un problema de control de contaminación, o bien a un problema de abastecimiento. Hoy día, los planteamientos están cada vez más condicionados por dos factores: los niveles crecientes de calidad exigidos para el vertido y la limitada disponibilidad de recursos de primera utilización (agua limpia) para hacer frente a las crecientes demandas.

### **5.2. Fases que componen un sistema de reutilización de las aguas residuales**

#### **5.2.1. Fase de planificación conceptual**

En esta fase se deben realizar las siguientes actividades:

- a. Un esquema del proyecto
- b. Una estimación aproximada de costos

- c. La identificación de aquellos elementos que conforman el mercado potencial para el agua regenerada.

En el caso en que se obtenga como resultado que la reutilización de las aguas residuales en la zona es viable, se debe pasar a la fase de investigación preliminar.

### **5.2.2. Fase de investigación preliminar**

Esta fase se inicia con la localización de las posibles fuentes de agua residual susceptibles de aprovechamiento y la elaboración de un censo de consumidores potenciales de agua regenerada. Deben también definirse los aspectos legales y administrativos que afectan al proyecto, identificando posibles trabas regulatorias, así como entidades y organismos competentes en las diferentes materias relacionadas con el proceso de reutilización. Las cuestiones fundamentales que han de abordarse en esta fase son:

- a. Fuentes de agua residual que pueden ser adecuadas para reutilizar.
- b. Mercados potenciales del agua regenerada.
- c. Problemática de salud pública asociada a la reutilización y modo de afrontarla.
- c. Posible impacto ambiental del proyecto.
- d. Costos actuales del agua y su proyección futura en el área del proyecto.
- e. Legislación existente y la propuesta que afecta a la reutilización.
- f. Organismos estatales, autonómicos y locales que han de aprobar el desarrollo de un programa de aprovechamiento de aguas residuales.
- g. Responsabilidades legales de los proveedores y usuarios del agua regenerada.
- h. Vías de financiación disponibles para el desarrollo de un posible proyecto de reutilización.
- i. Tipo de sistema de reutilización que recibiría mejor apoyo e interés por parte de la opinión pública.

La cuestión más importante suele ser la realización del estudio de mercado, en el que se definan los elementos que lo integran y se identifiquen los principales usuarios potenciales. La determinación de las fracciones de demanda que se pueden satisfacer con el agua regenerada, el grado de calidad necesario para cada uno de los usos y los efectos que el empleo de agua regenerada pueda tener en las condiciones de operación y consumo de los usuarios, requerirá en la mayoría de los casos el contacto directo con los mismos.

### **5.2.3. Fase de planificación de las instalaciones**

Terminada la investigación preliminar, se procede a la selección de los mercados potenciales. Esta fase consiste básicamente en la comparación de costos unitarios del agua potable y del agua regenerada para cada uno de los mercados. En base a información recopilada previamente, podrán esbozarse varios proyectos o alternativas que deben ser estudiadas en detalle.

Habitualmente, el paso siguiente es seleccionar el grupo de alternativas más favorables para ser sometidas a evaluación detallada. Es importante que durante la selección se tenga en consideración el mayor número de alternativas posibles. Para ello, no sólo han de considerarse los diferentes tipos posibles de reutilización, sino también factores como los que se enumeran a continuación:

- a. Diferentes niveles de tratamiento, especialmente en los casos en que para el vertido sea necesario alcanzar el tratamiento avanzado.
- b. Escala del proyecto, que puede pretender una cobertura amplia de clientes, centrarse sobre un único gran usuario, o cualquier otra combinación.
- c. Empleo de diferentes redes de distribución.

Una posterior evaluación de los mercados seleccionados permitirá ir conformando el programa de reutilización. Tras la selección, los proyectos deberán clasificarse en función de su factibilidad, y deberán determinarse los costos y consumos actuales de agua potable de los usuarios potenciales.

En esta fase, tras un estudio más detallado de las líneas de distribución y necesidades de almacenamiento de cada uno de los proyectos alternativos, pueden afinarse las estimaciones preliminares de costos de distribución a cada usuario.

También podrán compararse las alternativas de financiación, los costos para los usuarios, y los costos unitarios de agua potable y agua renovada para cada alternativa. Así mismo, será posible evaluar con más detalle los aspectos medioambientales, institucionales y sociales de cada proyecto. En general, las cuestiones que habrán de detallarse incluyen:

- a. Requisitos de calidad impuestos por cada usuario y márgenes de tolerancia.
- b. Patrones de la demanda diaria y estacional de cada usuario potencial.
- c. Posibilidad de responder a las fluctuaciones de demanda mediante capacidad de bombeo y/o mediante capacidad de almacenamiento, y situación más adecuada de las instalaciones de almacenamiento.
- d. Régimen de propiedad y operadores de las plantas de tratamiento más favorables para cada proyecto.
- e. Gastos de conexión de los usuarios a los sistemas de distribución.
- f. Posibilidad de aumento del costo del tratamiento de aguas residuales para los usuarios industriales, derivados del uso de agua regenerada. Posible influencia sobre sus usos del agua.
- g. Aceptación de la distribución de costos por parte de los usuarios.
- h. Posibilidades de financiación por parte de diferentes organismos y requisitos para la concesión de ayuda económica.
- i. Influencia sobre los hábitos de riego agrícola.
- j. Períodos de amortización aceptables para los usuarios que deban invertir en instalaciones adicionales de tratamiento, almacenamiento o distribución del agua regenerada.
- k. Estabilidad de los usuarios, tanto desde el punto de vista de su localización, como de la posible introducción de nuevos procesos que afecten al consumo de agua renovada.

El estudio de las características y rendimiento de las instalaciones depuradoras existentes, permitirá valorar si las fuentes se adecúan a las características de la demanda de agua regenerada, tanto en calidad como en cantidad y frecuencia de disponibilidad. Los factores más importantes que han de entrar en consideración durante esta valoración son:

- a. Nivel de tratamiento y procesos empleados.
- b. Calidad final de efluente. Márgenes de fluctuación.
- c. Cantidad de efluente producido, en términos de caudales medios, mínimos y máximos diarios y estacionales.
- d. Fracción de aportes industriales al caudal global.
- e. Fiabilidad del proceso de tratamiento.
- f. Instalaciones complementarias existentes (almacenamiento, bombeo, distribución, etc.).

Puesto que el cumplimiento de los requisitos de tratamiento para la producción segura y fiable de agua regenerada es una de las claves de la operación de sistemas de reutilización, su diseño precisa un análisis cuidadoso de todos elementos de proceso necesarios para obtener el nivel de tratamiento deseado.

Los proveedores de agua regenerada deben adaptarse siempre a las variaciones diarias de la demanda, al igual que ocurre para el agua potable. La producción de aguas brutas también sufre variaciones diarias, que son generalmente más acusadas cuanto menor es la población del área de servicio. Por ejemplo, durante la noche, los caudales de entrada en las EDAR son muy bajos, sin embargo, la demanda para riego en medio urbano suele ser alta.

Además, se producen también variaciones estacionales, especialmente en zonas turísticas o de temporada. Los aumentos súbitos de población y de los caudales de aguas residuales, tampoco tienen por qué coincidir con los períodos de mayor demanda de agua regenerada. La información sobre caudales y variaciones temporales es crítica para el dimensionamiento de las instalaciones de regulación destinadas a adaptar disponibilidad y demanda.

En la tabla 5.1. se presenta un resumen de las fases que componen un sistema de reutilización de las aguas residuales.

FASE I	FASE II	FASE III
PLANIFICACIÓN CONCEPTUAL	INVESTIGACIÓN PRELIMINAR	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Esquema de proyecto</li> <li>✓ Estimación de costos</li> <li>✓ Identificación de mercados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Localización de fuentes</li> <li>✓ Censo de usuarios potenciales</li> <li>✓ Adaptación</li> <li>✓ Comparación de costos</li> <li>✓ Aspectos legales y administrativos</li> <li>✓ Opinión pública</li> <li>✓ Aspectos ambientales</li> <li>✓ Financiación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Definición de alternativas</li> <li>✓ Tratamientos requeridos</li> <li>✓ Escala de proyecto</li> <li>✓ Modulación de demanda</li> <li>✓ Redes de distribución</li> <li>✓ Instalación de bombeo y almacenamiento</li> <li>✓ Inversiones</li> <li>✓ Financiación</li> </ul>

Tabla 5.1. Resumen de las de las actividades principales que componen las fases del sistema de reutilización de las aguas residuales

## **CAPITULO VI: APLICACIONES DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES. CRITERIOS TÉCNICOS**

### **6.1. Introducción**

La aplicación de las aguas residuales regeneradas abarca todo el espectro de usos del agua en general. Para su estudio se suelen establecer seis grupos:

1. Reutilización en el medio urbano
2. Usos industriales
3. Usos agrícola. Riego
4. Aplicación a la conservación y gestión de espacios naturales
5. Recarga artificial de acuíferos
6. Adaptación a recursos de agua potable
7. Usos recreativos (en la creación de lagos y lagunas artificiales ornamentales)

Cada uno de estos grupos de aplicación plantea una problemática específica en su desarrollo práctico, cuyo estudio y solución ayudará a una mejor gestión de estos recursos. En los siguientes apartados se analiza brevemente la problemática particular de cada grupo.

### **6.2. Reutilización en el medio urbano**

Entre las aplicaciones más habituales de las aguas residuales depuradas, en el medio urbano se pueden citar:

- a. Riego de zonas públicas (parques y jardines, campos de deportes, medianas y andenes de autopistas, etc.).
- b. Riego y limpieza de urbanizaciones o áreas residenciales.
- c. Riego y limpieza de zonas comerciales, polígonos industriales, etc.
- d. Riego de campos de golf.

- e. Usos comerciales: lavado de automóviles, limpieza de ventanas y cristalerías de grandes edificios.
- f. Usos ornamental y decorativo: fuentes.
- g. Red de agua para uso contra incendios.
- h. Para el llenado de tanques de inodoros públicos.
- i. Para el lavado de calles y avenidas.

La reutilización de aguas urbana puede incluir sistemas de servicios específicos para cada gran usuario, tales como grandes parques, campos de golf, complejos industriales con alto consumo de agua y áreas residenciales o comerciales.

En la planificación de un sistema de reutilización de aguas en el medio urbano se debe fijar si el suministro de agua regenerada ha de ser continuo o discontinuo. En general es aceptable un sistema discontinuo, a menos que el agua regenerada sea la única fuente de suministro de la red de agua contra incendios.

### **Demanda de agua regenerada**

La demanda diaria de agua regenerada de un determinado sistema urbano se puede estimar como suma de los consumos diarios en sus diversos campos de aplicación. La estimación de cada uno de ellos siguen los mismos criterios que si el suministro se hace con agua potable.

### **Diseño del sistema de distribución**

La red de distribución de agua regenerada debe garantizar la seguridad del servicio y la protección de la salud de los ciudadanos. Por ello, el diseño de todo sistema de distribución debe responder a los siguientes requerimientos:

- a. Asegurar que el agua servida tiene la calidad requerida por el consumidor.
- b. Evitar posibles conexiones accidentales con la red de agua potable.
- c. Evitar cualquier uso incorrecto del agua regenerada (no potable).



La reutilización de agua en la ciudad exige habitualmente una calidad superior que en otras aplicaciones, por lo que suele ser necesaria la incorporación de tratamientos específicos como filtración y desinfección, así como algunos ajustes finales de la calidad.

En un sistema de reutilización de agua depurada, no sólo se debe construir una red de distribución, sino que además es necesario disponer de un medio de almacenamiento y del correspondiente equipo de bombeo, esenciales para una correcta modulación del caudal.

El volumen de almacenamiento requerido se determina a partir de las curvas diarias de demanda y de producción de agua regenerada. Se prefiere habitualmente que los depósitos sean cubiertos para impedir la actividad y el crecimiento biológicos, y mantener una cantidad residual de cloro.

El diseño y dimensionamiento de la red de distribución son similares a los de la red de agua potable, pudiéndose emplear incluso los mismos materiales de construcción. No obstante, es importante diferenciar claramente ambas redes para evitar interconexiones. Generalmente se emplean diferentes colores en cada una de ellas, para una identificación visual inmediata.

En caso de emplearse el agua regenerada en la extinción de incendios, al caudal en hora punta se debe añadir el caudal de apagado de incendios. Este parámetro condiciona el diámetro mínimo de las conducciones en todos los tramos de la red, pues el fuego puede producirse en cualquier punto de la ciudad.

El sistema debe estar diseñado con cierta flexibilidad para afrontar aumentos potenciales de la demanda en horas punta. Una forma de estabilizar la curva de demanda y evitar consumos muy elevados en determinados momentos, consiste en programar los riegos, asignando diferentes días de la semana a cada zona de la ciudad.

### **6.3. Reutilización industrial**

La reutilización en usos industriales representa un importante mercado potencial para el agua regenerada. Las industrias cuyos procesos no requieran aguas de alta calidad, y aquellas otras que se encuentren localizadas cerca de poblaciones con capacidad de generación suficiente de agua residual, son las candidatas ideales para incorporar la reutilización en sus procesos industriales.

El agua tratada destinada a este tipo de usos puede proceder, bien de aguas industriales recicladas en la propia instalación, o bien de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. El aprovechamiento de los efluentes urbanos en la reutilización industrial todavía no es una práctica muy desarrollada.

Las aplicaciones industriales más frecuentes para las aguas reutilizadas son:

- a.     Sistemas de refrigeración
- b.     Aguas de alimentación de calderas
- c.     Aguas de proceso

Siendo el primer grupo el más habitual.

#### **a.     Sistemas de refrigeración**

Los sistemas de refrigeración se clasifican de forma general en sistemas abiertos y cerrados. En los primeros, el agua se pone en contacto una sola vez con el equipo a refrigerar y después es descargada caliente. Este método requiere grandes volúmenes de fluido y por ello raramente puede considerarse el agua depurada como alternativa viable en el suministro. En los sistemas cerrados, el agua absorbe el calor del proceso y luego lo transfiere por vaporación, siendo posteriormente re circulada al sistema de refrigeración, completándose el ciclo. Este sistema puede emplear torres o balsas de refrigeración para llevar a cabo la evacuación del calor. La reposición de las pérdidas por evaporación suele ser muy variable.

Las exigencias de calidad para aguas de refrigeración están relacionadas con la prevención de los siguientes fenómenos:

- formación de costras
- crecimiento biológico
- obstrucciones
- formación de espumas
- corrosión

**b. Agua de alimentación de calderas y aguas de proceso**

El tratamiento adicional que requiere el agua residual tratada con el objeto de ser reutilizada en la alimentación de calderas, difiere poco del que debe afrontar el suministro convencional de agua para estos sistemas.

El considerable nivel de tratamiento y las cantidades relativamente pequeñas de agua que se manejan, convierten la reutilización en alimentación de calderas en una pobre alternativa, poco utilizada por el momento.

La idoneidad del uso de agua regenerada dentro de los procesos industriales depende de las necesidades específicas de calidad de cada proceso. Hasta la fecha existe poca experiencia en este campo, estando siempre el reciclado orientado a la recirculación dentro de la misma industria.

**6.4. Reutilización agrícola**

El volumen de agua que es empleado a nivel mundial en la actualidad en la agricultura es diez veces mayor que la demanda existente en cualquier otro uso. Este hecho, unido al evidente ahorro de recurso que proporciona la reutilización agrícola, y la oportunidad de integrarla con otros tipos de aprovechamientos, hace que la mayoría de los proyectos de reutilización la contemplen.

Tres son los aspectos fundamentales que deben tenerse en cuenta en los programas de reutilización en agricultura (como para cualquier tipo de agua):

- Necesidades de riego
- Nivel de calidad requerido
- Consideraciones acerca del diseño del sistema

### **Demanda de riego**

Las necesidades de riego de los cultivos varían de forma mensual en función de las precipitaciones, la temperatura, el tipo de cultivo, el estado de crecimiento de las plantas y el método de riego empleado.

El suministrador de agua residual tratada que quiera atender una zona de riegos debe cuantificar esa demanda estacional para asegurar que puede hacer frente en todo momento a las necesidades. Si no existen datos reales acerca de los caudales empleados será necesario realizar una estimación de las necesidades hídricas, basada en los cálculos agroclimáticos tradicionales.

En dichos cálculos deben introducirse algunas consideraciones específicas para el agua residual, especialmente en lo referente a agua infiltrada (por la posibilidad de contaminación de acuíferos) y a la escorrentía superficial (que debe ser controlada al tratarse de agua residual).

### **Calidad del agua residual tratada**

Los constituyentes del agua residual que tienen mayor importancia en el riego agrícola son la salinidad, el sodio, el exceso de cloro residual y algunos componentes minoritarios, según el cultivo de que se trate. En el agua regenerada los contenidos de estos constituyentes son generalmente mayores que en las aguas blancas habitualmente empleadas en riegos.

Las causas más frecuentes que influyen desfavorablemente en la calidad original del agua residual, con vistas a su aprovechamiento agrícola son:

- a. Descargas industriales de componentes potencialmente tóxicos dentro del sistema de alcantarillado urbano.

- b. Infiltración de agua salada en el sistema de alcantarillado de las zonas costeras.
- c. Elevada mineralización del agua de primera utilización.

### **Otras consideraciones**

El riego con agua residual tratada requiere el cuidado de otros aspectos aparte de los citados anteriormente. La fiabilidad del sistema en cuanto al suministro de los caudales adecuados, así como de unas calidades establecidas, es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta.

El sistema de monitorización es otro aspecto fundamental. En la mayoría de los casos, el suministrador debe controlar la calidad de sus aguas a intervalos específicos, a través de determinados parámetros, tanto en la planta de tratamiento, como en el sistema de distribución.

También es necesaria la monitorización de las aguas subterráneas. El nivel recomendable de este control varía en función de la calidad del agua reutilizada en el riego y de la hidrogeología de la zona.

El sistema de observación indicado puede variar entre una serie de pozos superficiales y un complejo sistema de sondeos con toma de muestras a distintas profundidades. En zonas kársticas donde el agua puede infiltrarse con mucha facilidad hacia acuíferos subterráneos que se exploten en abastecimientos de agua potable, la reutilización puede tener que limitarse o incluso que prohibirse.

La monitorización debe ser considerada en los presupuestos del sistema, así como en los costos de operación.

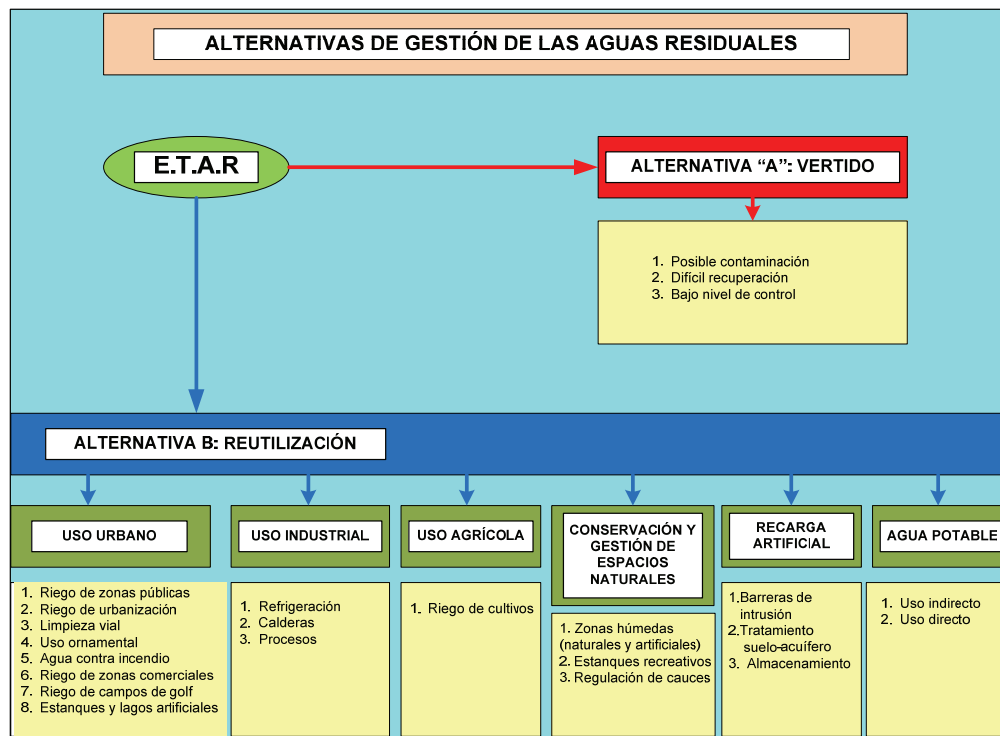
### **6.5. Usos recreativos y medioambientales. Conservación y gestión de espacios naturales**

Los distintos usos recreativos y medioambientales del agua regenerada comprenden desde los estanques artificiales, al riego de campos de golf, pasando

por una amplia gama de posibilidades, como entes ornamentales, producción de nieve artificial, creación de humedales para servir de refugio a la vida animal, o la creación de lagos en los que se pueda practicar la pesca y otras actividades.

En la figura 6.1 se presenta un resumen sobre las alternativas de gestión de las aguas residuales, donde se tienen dos alternativas fundamentales en la actualidad:

- a. Una, que consiste en que una vez tratadas las aguas residuales en una planta, se pueden verter los líquidos efluentes en un cuerpo receptor. Esta alternativa es actualmente la más empleada para la evacuación de las aguas residuales tratadas.
- b. Otra, que consiste en reutilizar el agua residual tratada en beneficio de diferentes alternativas productivas, convirtiendo estos líquidos en una nueva fuente de agua de gran importancia para la zona y la región donde se generan.



E.T.A.R – Empresa de tratamiento de las aguas residuales  
Figura 6.1 Resumen sobre las alternativas de gestión de las aguas residuales

## **CAPITULO VII: POSIBLES APLICACIONES DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE SANTA CRUZ DE LA SIERRA**

### **7.1. Introducción**

El continuo aumento de la población, el progresivo deterioro de las aguas superficiales y subterráneas y las sequías periódicas que tienen lugar en Santa Cruz, son razones más que suficientes para que las autoridades comiencen a pensar en la búsqueda de nuevas fuentes de suministro, que sustituyan las actuales, sobre todo en aquellas actividades que no requieren un grado de calidad tan alto.

Como se ha venido señalando en el trabajo, la dificultad para atender las demandas crecientes y proteger a la vez los recursos disponibles, ha afianzando el criterio, hoy ya universal, de que la utilización de las aguas una sola vez, antes de su devolución al ciclo natural es un verdadero lujo. En tal sentido el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas que actualmente se vierten a los cauces, acuíferos y mares, está recibiendo cada vez más atención como una fuente fiable de nuevos recursos, muy constante en el tiempo e independiente de las sequías climáticas. La regeneración y posterior reutilización de las aguas supone un importante medio para paliar la escasez, al tiempo que reduce el vertido de sustancias contaminantes al medio ambiente.

En Santa Cruz existen muchas aplicaciones que abarcan desde las urbanas, comerciales, industriales y, por supuesto, las agrícolas, donde el agua que se requiere para ellas pueden ser de calidad inferior a la potable.

## **7.2. Algunos ejemplos de reutilización de las aguas regeneradas identificados en Santa Cruz**

Múltiples pudieran ser los ejemplos que se pudieran enumerar en Santa Cruz relacionado con las aplicaciones de la reutilización del agua regenerada en diferentes actividades donde el agua que se requiere para su ejecución puede ser de calidad inferior a la potable. A continuación se enumeran algunos ejemplos identificados, a raíz de la repercusión y su impacto sobre la fuente de abastecimiento de la cual actualmente se abastece la población de Santa Cruz.

### **a. Riego de parques y jardines.**

En la actualidad existen parques y jardines en Santa Cruz, que se riegan con agua que es extraída del acuífero que sirve de fuente de abastecimiento al sistema que dota de agua potable a la ciudad, por citar un ejemplo la jardinería que se encuentra ubicada en el paseo central del primer anillo.

Sin embargo si se tiene en cuenta la experiencia recogida en el presente estudio, es posible afirmar que para la realización de esta actividad, la fuente actual de abastecimiento del agua para el riego, se podría sustituir por el agua regenerada que se produce en los sistemas de tratamiento que dispone actualmente SAGUAPAC, por medio de una conductora que conecte directamente la fuente más cercana con el sistema de alimentación de la red de riego existente en el lugar.

### **b. Lavado de automóviles.**

Una de las actividades que ha cobrado gran auge en la ciudad de Santa Cruz en los últimos tiempos es el lavado de automóviles, y por todos es conocido que el agua que se utiliza para el desarrollo de la misma es el agua de la fuente que alimenta el sistema de distribución de la ciudad.



Si se tiene en cuenta por un lado que para el lavado de un auto se consumen aproximadamente 500 litros de agua, si el mismo se efectúa con manguera a presión y entre 60 a 100 litros si realiza con cubetas, y por otro lado el número de motorizados que circulan por las calles de Santa Cruz (169.798 unidades), según reporte del 30 de enero de 2007 de la Superintendencia de Pensiones, Valores y Seguros (SPVS), es posible arribar a los resultados que se presentan en la tabla 7.1, en relación a la cantidad de agua potable que se emplea como resultado de esta actividad.

# de autos	Consumo de agua estimado por auto	Consumo de agua mensual si la frecuencia de lavado fuera de una vez por semana	Consumo anual para la frecuencia de lavado considerada
(unidades)	(litros/auto)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
<b>SI EL LAVADO SE REALIZARA A PRESIÓN</b>			
169.798,00	500,00	339.596,00	4.075.152,00
<b>SI EL LAVADO SE REALIZARA CON CUBETAS</b>			
169.798,00	100,00	67.919,20	815.030,40
<b>SI EL LAVADO SE REALIZARA CON EL PROMEDIO DE LOS CONSUMOS A PRESIÓN O CON CUBETAS</b>			
169.798,00	300	203757,60	2.445.091,20

Tabla 7.1. Simulación de la cantidad de agua potable que se emplea para el lavado de autos en Santa Cruz

Si se tienen en cuenta por un lado los resultados obtenidos en la tabla 7.1, y por otro lado que la calidad del agua que se requiere para esta actividad no necesita ser potable, resultan razones más que suficientes como para recomendar el uso del agua regenerada que se produce en los sistemas de tratamiento que dispone actualmente SAGUAPAC.

### c. Para uso contraincendios.

A raíz del voraz incendio que se produjera en industrias Belén en agosto de 2010, localizada en el Parque Industrial de Santa Cruz, donde se consumieron aproximadamente 100.000 litros de agua, según reporte de la unidad de bomberos de Santa Cruz, donde el agua consumida para sofocar el incendio, fue extraída del sistema de hidrantes que actualmente se encuentran conectados a la red de distribución de agua potable de la cooperativa SAGUAPAC, surge la idea de desarrollar una red de agua regenerada que alimente todo el sistema contraincendios instalado en el parque industrial, utilizándose como fuente de

alimentación el agua regenerada que se obtiene del sistema de lagunas de estabilización de SAGUAPAC localizada en dicha zona, empleándose para ello el tanque elevado que se ubica en el cuarto anillo, de propiedad de SAGUAPAC y que actualmente se encuentra en deshuso.

Para prevenir la acumulación del agua en dicho tanque por un periodo muy largo, se ha considerado la alimentación con esta agua regenerada del futuro sistema de riego de la jardinería del paseo del canal chivato previsto por la Honorable Alcaldía Municipal de Santa Cruz.

En atención a la repercusión y el impacto que tendría la solución anterior, sobre la fuente de agua de la cual actualmente se abastece la población de Santa Cruz, a continuación se procede al diseño hidráulico del mismo, a partir de utilizar como fuente de abastecimiento el agua regenerada que se produce en el sistema de lagunas del Parque Industrial y lagunas Este localizadas en la zona objeto de estudio.

### **7.3. Diseño hidráulico de la red de agua regenerada que alimenta el sistema contraincendios del parque industrial y el sistema de riego de la jardinería del canal chivato**

#### **7.3.1. Descripción del sistema previsto**

El sistema previsto para la alimentación de la red actual contra incendio que existe en el parque industrial y el riego de la jardinería del paseo del canal chivato, estará compuesto por las siguientes partes:

- a. Una fuente de alimentación de agua regenerada, la misma que se obtendrá del sistema de lagunas de estabilización existentes en el Parque Industrial y Lagunas Este, pertenecientes a la cooperativa SAGUAPAC.

- b. Un depósito enterrado o cisterna para el almacenamiento del agua regenerada necesaria localizado en las cercanías del punto de descarga actual del sistema de lagunas antes mencionado.
- c. Una estación de bombeo localizada en las inmediaciones de la cisterna, que se encargará de conducir el agua almacenada hacia el tanque elevado encargado de la distribución por gravedad del agua regenerada a los sistemas de distribución previstos.
- d. Una tubería conductora acoplada a la impulsión de la bomba, encargada de conducir el agua necesaria para el llenado del tanque elevado.
- e. Un tanque elevado con capacidad para para 500 (m<sup>3</sup>), que permitirá la distribución por gravedad a los sistemas concebidos. Es importante resaltar que este tanque existe en la zona y es de propiedad de SAGUAPAC y actualmente se encuentra en deshuso.
- f. Una red de distribución que se encarga de la alimentación del sistema contraincendios conformado por 17 hidrantes, existente en la actualidad en el Parque Industrial.
- g. Una red de distribución que se encarga de la alimentación del futuro sistema de riego de la jardinería del paseo del canal chivato.

### **7.3.2. Información disponible**

La información disponible para el diseño que fuera facilitada por la cooperativa de servicios públicos SAGUAPAC, consiste en:

- a. Plano en planta del parque industrial con la localización de los hidrantes existentes ver figura 7.1.
- b. Información sobre los parámetros fundamentales de las lagunas de estabilización ubicadas en el parque industrial (zona este), ver tabla 7.2.

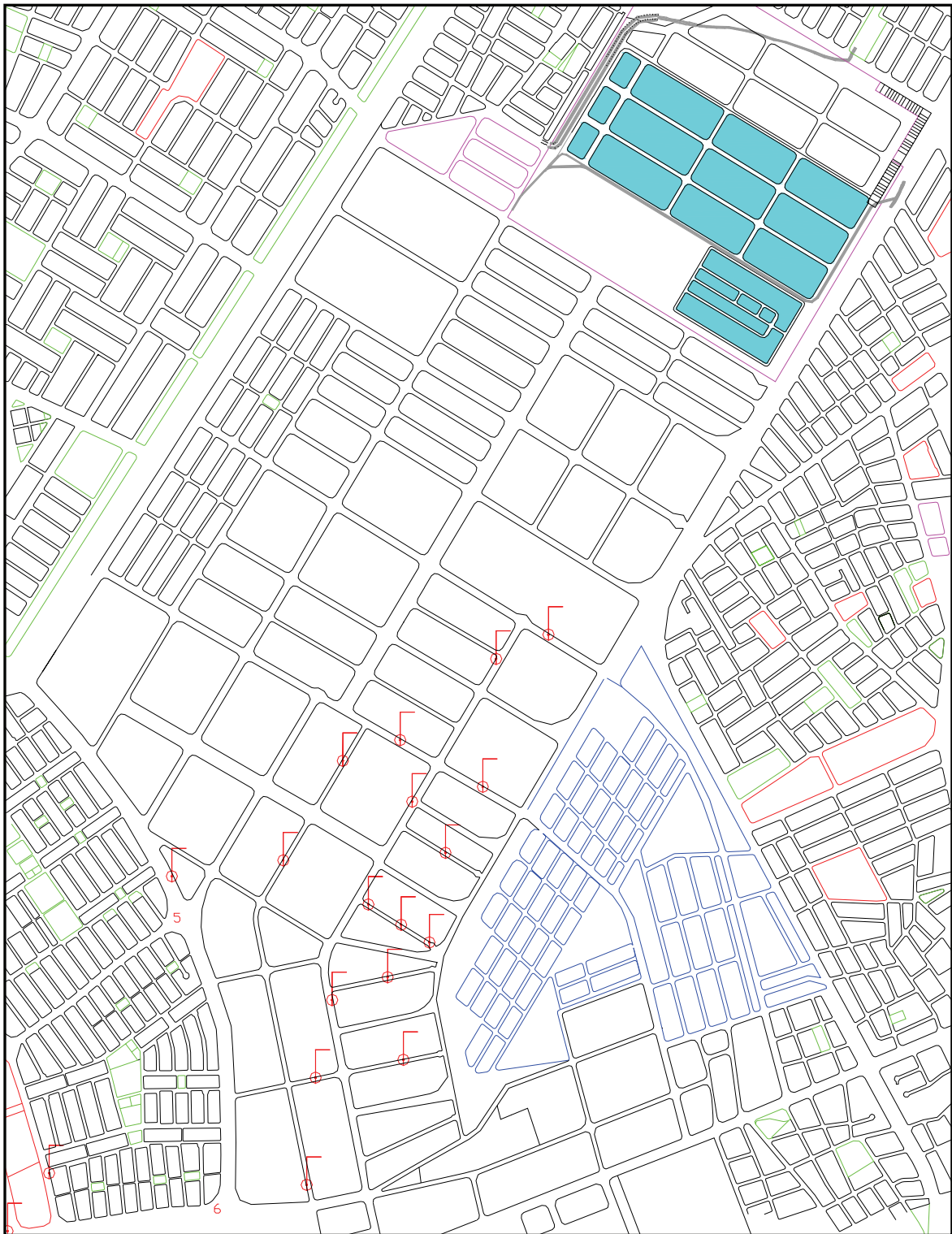


Figura 7.1. Plano en planta del parque industrial con la localización de los hidrantes

SISTEMA	PARÁMETRO	UNIDAD	EFLUENTE	EFICIENCIA (%)
PARQUE INDUSTRIAL	Caudal máximo	(m <sup>3</sup> /día)	36.000	-
	DBO <sub>5</sub> promedio	(mg/l)	45	91,60
LAGUNA ESTE	DQO promedio	(mg/l)	200	83,61
	Coliformes Fecales promedio	(NMP/100 cc)	4,8E+03	99,99

Fuente: SAGUAPAC

Tabla 7.2. Parámetros fundamentales del efluente de las lagunas de estabilización ubicadas en el Parque Industrial

- c. Límites permisible para las descargas líquidas de los sistemas de tratamientos en Bolivia, según el Reglamento de contaminación hídrica, Ley de Medio Ambiente 1333 (Anexo A-2), ver tabla 7.3.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES
DBO <sub>5</sub>	(mg/l)	80
DQO	(mg/l)	300
Coliformes Fecales	(NMP/100 cc)	1.000,00

Fuente: Reglamento en contaminación hídrica, Ley de medio ambiente, 1333 (ANEXO A-2)

Tabla 7.3. Límites permisibles para descargas líquidas

- d. Información sobre el tanque elevado de propiedad de SAGUAPAC:

**CAPACIDAD:** 500 (m<sup>3</sup>)

**ALTURA:** 35 (m)

**UBICACIÓN:** cuarto anillo, zona parque industrial

### 7.3.3. Cálculos hidráulicos

#### A. Cálculo hidráulico del tanque cisterna para almacenar el agua a bombear al tanque elevado

$$V_{te} = 500 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_c = 3/4 V_a$$

$$V_{te} = 1/4 V_a$$

Despejando  $V_a$ , se tiene que:

$$V_a = V_c + V_{te}$$

$$V_a = \frac{V_{te}}{0.25}$$

$$V_a = \frac{500}{0.25}$$

$$V_a = 2000 \text{ (m}^3\text{)}$$

Por tanto el volumende la cisterna se obtiene:

$$V_c = 3/4 \text{ (} V_{te} \text{) (m}^3\text{)}$$

$$V_c = 0.75 \text{ (2000) (m}^3\text{)}$$

$$V_c = 1500 \text{ (m}^3\text{)}$$

## **B. Cálculo hidráulico de la estación de bombeo hacia el tanque elevado**

Información existente:

$$V_{te} = 500 \text{ (m}^3\text{)}$$

t: 6 (hr) = 21600 (s) Tiempo estimado para el llenado del tanque

### **+ Cálculo del caudal de bombeo**

$$Q_b = \frac{V_{te}}{t}$$

$$Q_b = \frac{500}{21600}$$

$$Q_b = 0,023 \text{ (m}^3\text{/s)} = 23 \text{ (l/s)}$$

### **+ Cálculo de la carga dinámica total de bombeo requerida por la bomba**

$$H_t = AMS + AMI$$

$$H_t = 3,03 + 77,58$$

$$H_t = 80,61 = 81,00 \text{ (m)}$$

$$AMS = H_s + h_{f1s} + h_{fas}$$

$$AMS = 3,00 + 0,026 + 0,007$$

$$AMS = 3,03 \text{ (m)}$$

$$AMI = H_i + h_{f1i} + h_{fai}$$

$$AMI = 36 + 41,57 + 0,011$$

$$AMI = 77,58 \text{ (m)}$$

#### BOMBEO ABASTECIMIENTO RED

Caudal	l/s		23,000
Diámetro tubería de succión	pulg	6	0,152
C H-W (PVC)			150

TRAMO	TIPO DE PÉRDIDA	LONGITUD	NÚMERO DE UNIDADES	j	PÉRDIDA
		(m)	(#)	(m/m)	(m)
Tubería de succión	por longitud	3,000	1,000	0,009	0,026
	por válvula de retención de pie con criba	0,670	1,000	0,009	0,006
	por cambio de dirección (codo 90°)	0,127	1,000	0,009	0,001
PÉRDIDA TOTAL EN LA SUCCIÓN (hft <sub>suc</sub> )					0,0033

Caudal	l/s		23,000
Diámetro tubería de impulsión	pulg	6	0,152
C H-W (PVC)			150

TRAMO	TIPO DE PÉRDIDA	LONGITUD	NÚMERO DE UNIDADES	j	PÉRDIDA
		(m)	(#)	(m/m)	(m)
Tubería de impulsión	por longitud	4782,570	1,000	0,009	41,573
	por válvula de compuerta abierta	0,037	1,000	0,009	0,000
	por válvula de retención	0,343	1,000	0,009	0,003
	por cambio de dirección (codo 90°)	0,127	6,000	0,009	0,007
	por salida de la tubería	0,104	1,000	0,009	0,001
PÉRDIDA TOTAL EN LA IMPULSIÓN (hft <sub>imp</sub> )					41,583

**+ Cálculo de la potencia requerida por la bomba**

$$P = \frac{Q_b \cdot H_t}{75 \cdot \eta} \text{ (HP)}$$

$$P = \frac{23 \cdot 81}{75 \cdot 0.85}$$

$$P = 29,22 \text{ (HP)}$$

**+ Resumen de las características de la bomba requerida**

$$Q_b = 23 \text{ (l/s)}$$

$$H_t = 81,00 \text{ (m)}$$

$$P = 29,22 \text{ (HP)}$$

El trazado en planta del sistema de alimentación del tanque elevado concebido se puede ver en la figura 7.2.

**C. Cálculo hidráulico de la red de distribución que alimentará el sistema contraincendios**

**+ Caudal de diseño**

Según lo establecido en la bibliografía especializada, Norma Básica de Protección contraincendios y Norma Tecnológica de sistemas de Abastecimiento, en caso de incendio se debe asegurar como mínimo el suministro a dos hidrantes que funcionaran simultáneamente durante 2 horas, cada uno de ellos con un caudal de 500 l/min (8.33 l/s) y una presión mínima de 10 (m.c.a). Recomendándose para el cálculo del caudal contraincendios en un sistema de este tipo la siguiente expresión:



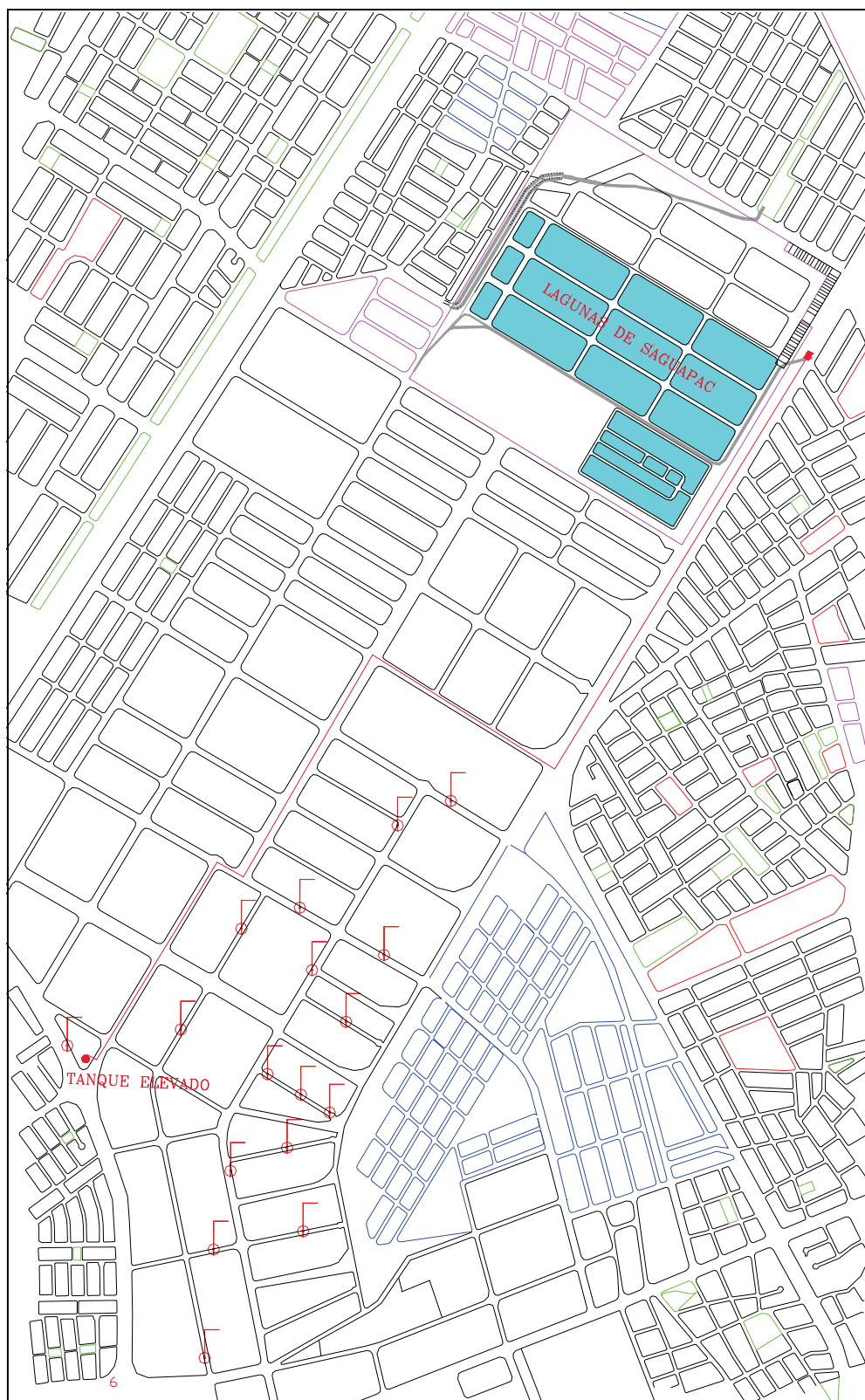


Figura 7.2. Plano en planta del sistema de alimentación al tanque elevado

$$Q_i = N^{\circ} \text{ hidrantes} \times 500 \text{ l/min} = N^{\circ} \text{ hidrantes} \times 8.33 \text{ l/s}$$

Donde:

$N^{\circ}$  hidrantes: número de hidrantes que funcionarán simultáneamente.

$Q_i$ : Caudal de incendio a considerar en el cálculo de la red.

En el caso específico del diseño que nos ocupa se consideró para el cálculo hidráulico el trabajo simultáneo de cinco hidrantes tomándose como criterio el hecho de que la red contraincendios se encuentra ubicada en un parque industrial donde existen muchas empresas con riesgos de incendio, lo que hace posible la ocurrencia de más de un incendio de manera simultánea.

Si se toma en cuenta lo planteado anteriormente, y se aplica la ecuación anterior, se tiene que:

$$Q_i = N^{\circ} \text{ hidrantes} \times 8.33 \text{ l/s}$$

$$Q_i = 5 \times 8.33 \text{ l/s}$$

$$Q_i = 41.65 \text{ l/s}$$

Resultando este valor de 41.65 (l/s), el caudal de diseño de la red contraincendio concebida.

#### **+ Velocidades de diseño**

Las velocidades consideradas como límites en el diseño de la red, son las recomendadas en la norma boliviana, siendo los valores a utilizarse en el diseño los siguientes:

- La velocidad máxima de circulación en la red de distribución será de 2.00 m/s.
- La velocidad mínima de circulación en la red de distribución será de 0.30 m/s.

#### **+ Presiones de diseño**

La presión que se deberá considerar en cualquier punto de la red deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- La presión máxima estática admitida en la red será de 70.00 (m.c.a).
- La presión mínima estática admitida en la red será de 10.00 (m.c.a).

#### **+ Tipo de red utilizada para el diseño**

El tipo de red utilizada de acuerdo a las instalaciones de las tuberías, es la red mallada o cerrada, totalmente interconectada, donde cada nodo de la red puede recibir agua desde dos direcciones opuestas, ya que todas las tuberías se comunican entre sí.

#### **+ Cotas topográficas**

Una de las dificultades encontradas a la hora de realizar el presente diseño fue la falta de información topográfica de la zona objeto de estudio. Por tal motivo se adoptó como valor de cota topográfica en cada punto la cota 400 (m.s.n.m). En caso de que existieran entidades interesadas en el presente proyecto sólo se tendría que hacer el levantamiento topográfico de los nodos que componen la red e introducirlo al paquete computacional empleado para el diseño.

#### **+ Cálculo de la red óptima**

Para el cálculo se utilizó la variante del software denominada **proyección**, donde para su ejecución se le introduce la información referida a los diferentes tramos de tubería, las longitudes de las mismas, el costo por metro de longitud, los caudales entregados en los nodos, la presión mínima y las cotas topográficas entre otros datos y una vez corrido el software, se obtiene como información los diámetros necesarios en cada tramo de tubería para garantizar el cumplimiento de las presiones y las velocidades fijadas para este tipo de instalaciones.

Es importante destacar que el software utilizado tiene un fuerte tratamiento económico a la hora de recomendar estos diámetros, seleccionando para ello la variante más económica (óptima), con bajo costo de construcción, lo cual permite lograr soluciones verdaderamente eficientes de redes.

Los resultados de esta corrida se pueden ver en los Anexo I.A y I.B del presente trabajo. Del análisis de los mismos se puede concluir que:

1. La solución que se ofrece con esta corrida constituye sin lugar la más eficiente dentro de las estudiadas para las condiciones específicas que se presenta en el área de estudio, pues con esta variante se combinan de manera simultánea eficiencia, economía y correcta adecuación a lo estipulado en la norma boliviana.
2. Las presiones que se registran en los nodos de la red, según los resultados obtenidos que se presentan en la tabla II.B del Anexo I, cumplen a plenitud lo estipulado por la norma (presiones entre 10 y 70 m.c.a). Nótese como en todos los nodos se cumple con la presión mínima de 10 (m) de columna de agua requerida por los hidrantes para su adecuado funcionamiento.
3. Un resumen de los diámetros requeridos en la red y las longitudes correspondientes se pueden apreciar en la tabla 7.4. Nótese de la misma como el 84 (%) de la tubería a colocarse en la red se corresponden con el menor diámetro (4”), lo que permite lograr ahorros sustanciales de recursos.

<b>D (mm)</b>	<b>L (m)</b>	<b>% sobre el total</b>
100	8.605,79	84,00
150	1.434,93	14,00
200	222,65	2,00
<b>Totales</b>	<b>10.263,37</b>	<b>100,00</b>

Tabla 7.4. Resumen de los diámetros y longitudes obtenidos

4. Del análisis de los resultados obtenidos en la tabla II.B, acerca del comportamiento de las presiones en los nodos, se puede concluir que el **nodo crítico** de la red es el **NODO 6**, toda vez que es el nodo donde se registra la mínima presión en el sistema (10 m.c.a), mientras que la **máxima presión** que se registra en la red tiene lugar en el **NODO 1** y alcanza un valor máximo de 22,16 (m.c.a).

El trazado en planta de la red contraincendios calculada y la indicación de los diámetros, el tipo de tubería y la longitud de cada tramo se presentan en la figura 7.3.

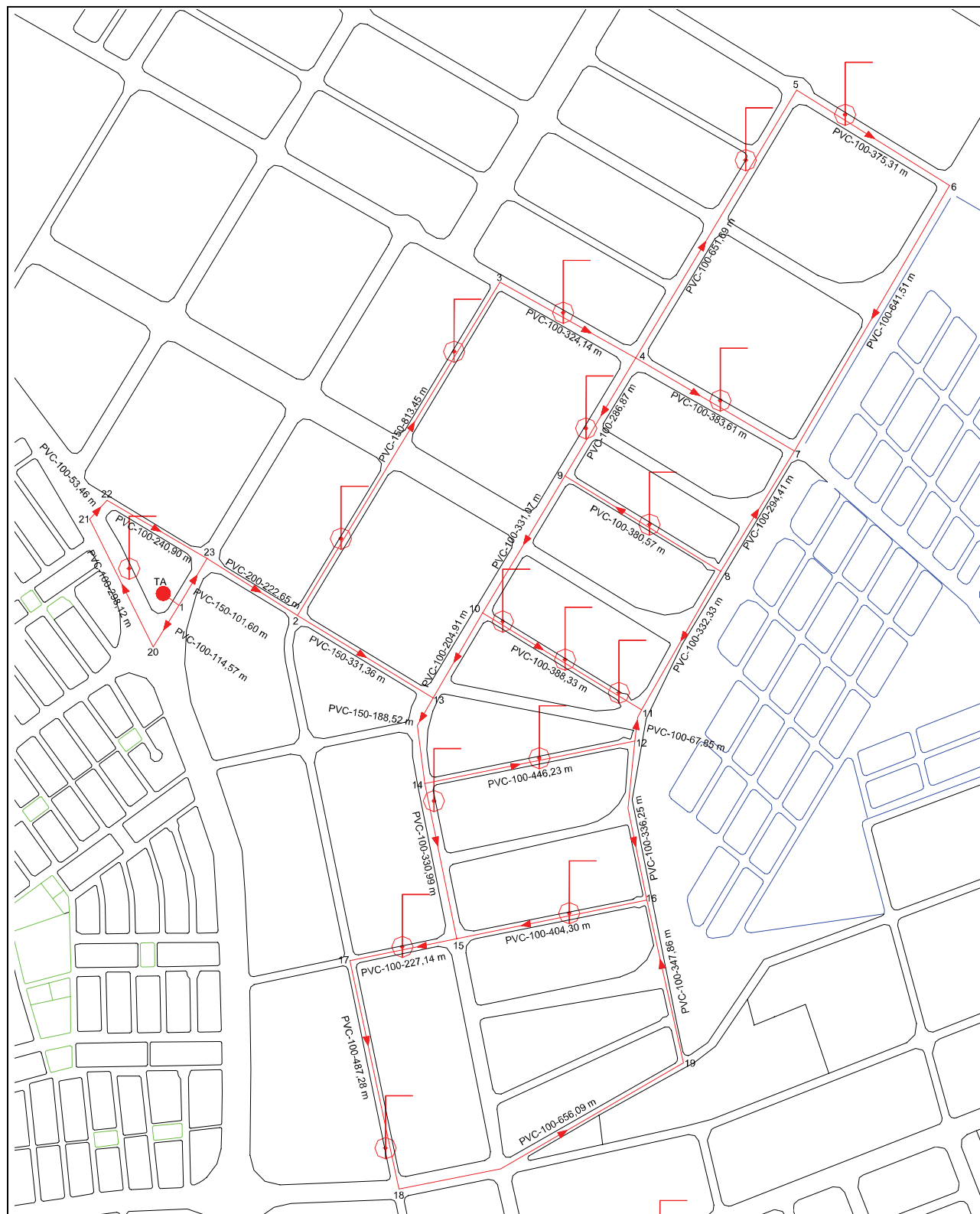


Figura 7.3. Plano en planta de la red de contraincendios calculada

#### **D. Cálculo hidráulico de la red de distribución que alimentará el sistema de riego de la jardinería del paseo del canal chivato**

El cálculo de la red de distribución que alimentará el sistema de riego de la jardinería del paseo del canal chivato, sólo se calculará en el tramo comprendido entre el cuarto y el sexto anillo de circunvalación, pues es el tramo que actualmente se encuentra construido.

##### **+ Caudal de diseño**

Según lo establecido en la bibliografía especializada, se recomienda como dotación prevista para el riego de áreas verdes 5 (l/m<sup>2</sup>.día). Si se parte de que el área verde a regar en la jardinería del canal chivato es de aproximadamente 70.981 (m<sup>2</sup>), entonces se tiene que:

$$Q_{\text{riego}} = \text{Dotación} \times \text{área a regar} = 5 \text{ (l/m}^2\text{.día)} \times 70.981 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Q_{\text{riego}} = 354.905 \text{ (l/día)} = 4,11 \text{ (l/s)}$$

##### **+ Velocidades de diseño**

Las velocidades consideradas como límites en el diseño de la red, son las recomendadas en la norma boliviana, siendo los valores a utilizarse en el diseño los siguientes:

- La velocidad máxima de circulación en la red de distribución será de 2.00 m/s.
- La velocidad mínima de circulación en la red de distribución será de 0.30 m/s.

##### **+ Presiones de diseño**

Si se parte de que los aspersores mas utilizados en riegos de jardines, son los llamados **emergentes** (ver foto 7.1), los mismos que en situación de NO funcionamiento, se esconden bajo el terreno dejando ver solo una pequeña tapa, y permitiendo el paso por encima del aspersor de maquinas cortacésped o de personas y cuando entran en funcionamiento, por efecto de la presión del agua

"emerge" del suelo y efectúa el riego. Es posible afirmar que la presión mínima requerida por estos aspersores es de 25 (m.c.a).



Foto 7.1. Aspersor emergente (enterrado cuando no funciona y se eleva cuando riega)

#### **+ Tipo de red utilizada para el diseño**

El tipo de red utilizada de acuerdo a las instalaciones de las tuberías, es la red abierta o ramificada.

El trazado de la red para el riego objeto de cálculo se presenta en la figura 7.4.

#### **+ Cotas topográficas**

Al igual que en el caso de la red contraincendios, una de las dificultades encontradas a la hora de realizar el presente diseño fue falta de información topográfica de la zona objeto de estudio. Por tal motivo se adoptó como valor de cota topográfica en cada punto la cota 400 (m.s.n.m). En caso de que existieran entidades interesadas en el presente proyecto sólo se tendría que hacer el levantamiento topográfico de los nodos que componen la red e introducirlo al paquete computacional empleado para el diseño.



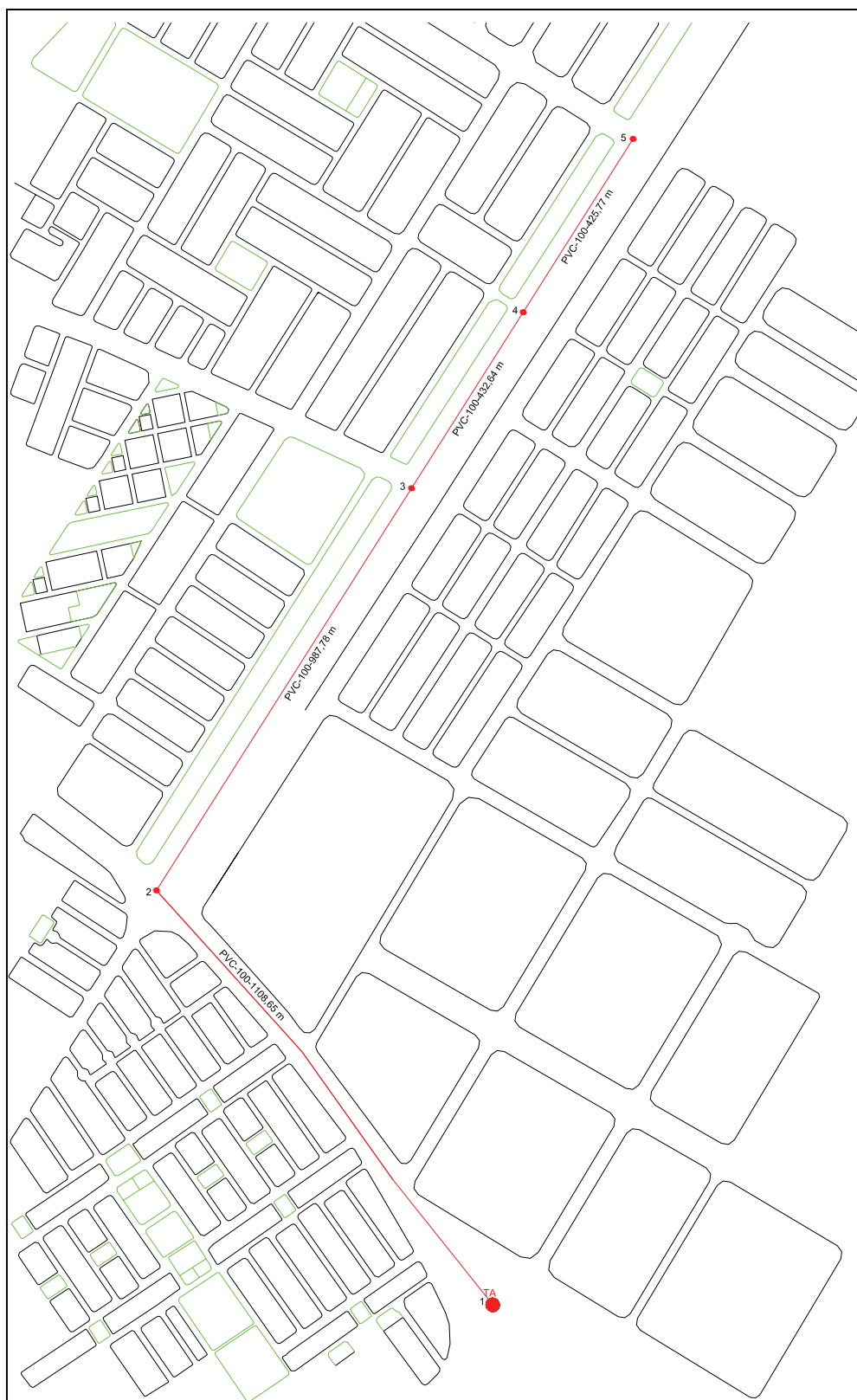


Figura 7.4. Plano en planta de la red de riego calculada

## + Cálculo de la red

Información existente:

$H_{disponible} = 35 \text{ (m)}$  (equivalente a la elevación del tanque sobre el terreno)

$Q_b = 4,11 \text{ (l/s)}$

$H_{aspensor} = 25 \text{ (m.c.a)}$  (carga de trabajo requerida por el aspensor)

## + Cálculo de la carga requerida

$H_t = H_{aspensor} + h_{fli} + h_{fai}$

$H_t = 25 + 7.63 + 0,0008$

$H_t = 32,63 \text{ (m)}$

RED DE RIEGO					
Caudal		l/s			4,110
Diámetro tubería de impulsión		pulg	4		0,102
C HZW (FoGo)		Adim.			150
TRAMO	TIPO DE PÉRDIDA	LONGITUD (m)	NÚMERO DE UNIDADES (#)	j (m/m)	PÉRDIDA (m)
Tubería de impulsión	por longitud	2954,840	1,000	0,003	7,6259
	por válvula de compuerta abierta	0,031	1,000	0,003	0,0000
	por cambio de dirección (codo 90°)	0,105	3,000	0,003	0,0008
PÉRDIDA TOTAL EN LA IMPULSIÓN ( $h_{ft_{imp}}$ )					7,6268

De los resultados obtenidos anteriormente se puede concluir que:

1. La solución que se ofrece con esta variante constituye la más eficiente dentro de las estudiadas para las condiciones específicas que se presenta, pues con ella se combinan de manera simultánea eficiencia, economía y correcta adecuación a lo estipulado en la norma.

2. La carga requerida para el nodo más desfavorable (**NODO 5**), es de 32,63 (m.c.a), valor inferior a los 35 (m.c.a.) que garantiza el tanque elevado que servirá de alimentación.
3. El diámetro requerido en la red, para la longitud de trayecto, es de 100 (mm), en todos los tramos del mismo, pues para valores inferiores la altura del tanque no satisface el requerimiento de presión del aspersor a colocar (25 m.c.a).

El trazado en planta de la red de riego calculada y la indicación de los diámetros, el tipo de tubería y la longitud de cada tramo se presentan en la figura 7.4.

## **CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1. Conclusiones generales**

1. El desarrollo económico actual, está estrechamente vinculado con la necesidad de disponer de recursos hídricos adicionales.
2. La escasez de fuentes de agua potable ha hecho que los caudales de agua destinados a determinados usos, como los considerados lujosos, algunos riegos agrícolas o determinados usos industriales; se vean limitados en su aplicación.
3. La aparición histórica de problemas de escasez de agua, de tipo temporal o estructural, generó la atención sobre la necesidad del uso del agua residual.
4. El uso del agua regenerada, aparte de ser una forma de reciclar el agua, es también la mejor manera de mantener extraordinariamente prósperas las infecciones asociadas a las enfermedades de origen hídrico.
5. Existen numerosas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, lo cual justifica el empleo de estas aguas en actividades de índole productiva, económica y social.
6. Existen las tecnologías adecuadas para instalarlas en cualquier parte, y si hubiera voluntad social y política, sería posible tratar todas las aguas residuales urbanas e industriales a un costo inferior del que se incurre cuando se desarrollan nuevas fuentes superficiales o subterráneas.
7. Se ha podido identificar en Santa Cruz numerosas aplicaciones en relación con la reutilización del agua regenerada en diferentes actividades donde el agua que se requiere para su ejecución puede ser de calidad inferior a la potable.

8. Entre las actividades identificadas de aplicación inmediata del rehúso del agua regenerada se encuentran: El riego de parques y jardines, el lavado de automóviles y el uso contraincendios. Una aplicación directa de este último uso se puede apreciar en el presente trabajo.
9. Independientemente de estas conclusiones generales, se recomienda seguir atentamente las que se presentan en los diferentes capítulos que componen el trabajo.

## **8.2. Recomendaciones**

1. Se recomienda la publicación total o parcial del presente trabajo para resaltar la necesidad y la importancia del uso del agua regenerada en diferentes alternativas productivas, que no requieren de un agua con calidad potable para su ejecución.
2. Se sugiere la presentación de los resultados obtenidos en el trabajo a los estudiantes de las carreras afines al tema, mediante conferencias y cursos que le permitan conocer nuevas fuentes de abasto, sobre todo para alternativas productivas que se pueden desarrollar con aguas de inferior calidad a la potable.
3. Se recomienda la divulgación entre las autoridades competentes de la aplicación específica del agua regenerada en las lagunas de SAGUAPAC, para el abasto del sistema contraincendios del parque industrial y el riego de la jardinería del paseo del canal chivato, cuya aplicación se respalda en el presente trabajo, con el cálculo hidráulico de los elementos que intervienen en ambos sistemas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Allende, I. V: Tratamiento de aguas residuales. Conferencias.

Barnes, G: Tratamiento de aguas negras y desechos industriales, Manuales UTEHA, México, 1967.

Degremont, G: Manual técnico del agua, 1973.

López, G. E: Plantas de tratamiento, México, 1996.

Martínez, C: Reutilización de las aguas residuales, Agosto, 1974.

Metcalf & Eddy: Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, Volumen I, Ed. Mc Graw Hill, Madrid, España, 1995

Rivas, M. G: Tratamiento de aguas residuales, Segunda Edición, Editorial Vega, 1978.

Catalinas, P.; Ortega, E.: Reutilización de aguas residuales en España. Informe no publicado, 2002.

CEDEX: Borrador de Decreto sobre reutilización de aguas residuales; no publicado. 1999.

Sampol, P: La desalinización de las aguas salobres de mar. Cap. 6 en Recursos de agua.

Sánchez, A. Torrens (editores). Fundación AGBAR, Barcelona, 1999.