



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE POSTGRADO

UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES
UN ENFOQUE ECOENÉRGICO

Ingeniero Civil Carlos Humberto Aguilar Tumax
Asesor: Msc. Ing. Mario Roberto Hernández Morán

Guatemala, 13 de Octubre de 2,010.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE
AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES
UN ENFOQUE ECOENERGÉTICO

TESIS

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

Ing. Civil Carlos Humberto Aguilar Tumax

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

Maestro en Energía y Medio Ambiente

ASESOR: Msc. Ing. Mario Roberto Hernández Morán

GUATEMALA, 13 DE OCTUBRE DE 2,010.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO/A	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR/A	Ing. Cesar Akú
EXAMINADOR/A	Ing. Hugo Ramírez
EXAMINADOR/A	Ing. Mario Hernández
SECRETARIO/A	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE
AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES
UN ENFOQUE ECOENÉRGICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado
Con fecha 1 de septiembre de 2,010.

Ing. Carlos Humberto Aguilar Tumax.

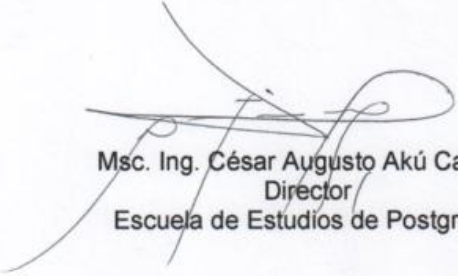
**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Energía y Ambiente del trabajo de tesis de graduación titulado **UTILIZACION DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES UN ENFOQUE ECOENERGÉTICO**, presentado por el Ingeniero Civil **Carlos Humberto Aguilar Tumax**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES UN ENFOQUE ECOENÉRGICO**, presentado por el Ingeniero Civil **Carlos Humberto Aguilar Tumax**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Leonel Ramírez Ortiz', written over a horizontal line.

Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado

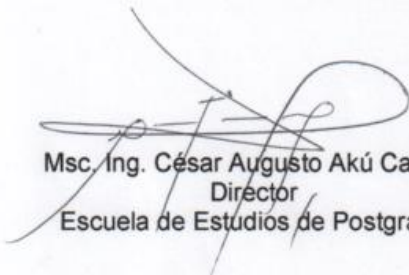
**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES UN ENFOQUE ECOENÉRGICO** presentado por el Ingeniero Civil **Carlos Humberto Aguilar Tumax**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

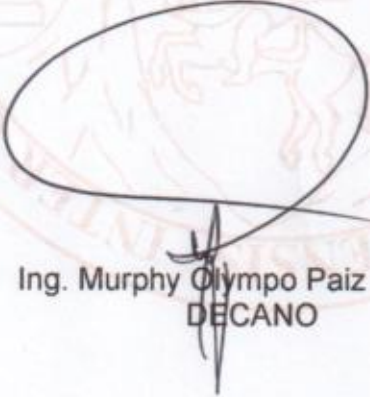


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 006.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES EN EDIFICACIONES UN ENFOQUE ECOENÉRGICO**, presentado por el Ingeniero Civil **Carlos Humberto Aguilar Tumax** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, octubre de 2010

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y a cada una de las personas que de alguna manera me han apoyado para seguir adelante....

INDICE	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS	4
JUSTIFICACIÓN	5
DEFINICION DEL PROBLEMA	5
HIPOTESIS	5
VARIABLES	5
1. EL AGUA, FACTOR FUNDAMENTAL DENTRO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE	9
1.1 Cobertura de servicios de agua y drenaje en Guatemala	10
1.2 El agua es vital para la economía	13
1.3 Contaminación del agua	16
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS DE DESECHO	16
3. ORIGEN Y DESTINO DE LAS AGUAS A REUTILIZAR	25
3.1 Utilización de las aguas grises y pluviales.	25
3.2 Consumo eficiente y reducción de la contaminación	27
3.3 Análisis del aprovechamiento del agua	29
3.4 Reuso del agua residual para riego	32
4. CLASIFICACION DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	34
4.1 Aplicación de los métodos de tratamiento	35
4.2. Selección de los procesos de tratamiento	38
5. APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL	39
6. ASPECTOS LEGALES EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	43
6.1 Situación institucional respecto a la gestión del agua	43
6.2 Aspectos legales	45
6.3 Dominio de las aguas	45
6.4 Uso de las aguas	46
6.5 Consideraciones finales	49
7. METODOLOGÍA	53
8. CONCLUSIONES	54
9. RECOMENDACIONES	55
10. BIBLIOGRAFÍA	56
11. ANEXOS	57
11.1. Memorias de cálculo	58
11.2 Planos	70

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable tiene desde luego, muchas vertientes: disponibilidad y gestión integrada del recurso hídrico, recursos naturales, demandas sociales, impacto en el cambio climático, contaminación ambiental, etc. Existiendo gran variedad de soluciones para resolverlos, muchas de ellas en artículos publicados, pero relativamente pocas llevadas a la práctica que tengan una solución sencilla y que sean aplicables a países en desarrollo como el nuestro. La sociedad en su desarrollo y aumento de bienestar, ha modificado sus hábitos respecto al consumo del agua, especialmente para la higiene personal que elevaron notablemente el consumo per cápita. En diversas publicaciones se ha evidenciado la contaminación de los mantos freáticos y cuerpos de agua superficiales, y de la dificultad que enfrentan las Municipalidades y diversas entidades de prestar un servicio de agua aceptable en cantidad y calidad para el consumo humano. Dentro del sistema de gestión del agua para consumo humano, siempre se pone empeño en el tratamiento y abastecimiento, aspectos muy importantes y de costo elevado, proporcionando agua “*de un solo uso*”, pasando a ser posteriormente aguas de desecho, que en buen porcentaje poseen escasa contaminación, y pueden potencialmente ser reutilizadas para diversos usos por los consumidores. Específicamente las aguas denominadas grises que provienen de la ducha o de la tina que puede representar hasta el 40% del consumo, al que puede dársele un tratamiento básico para ser reutilizada en el sanitario y riego de jardines, así como lavado del automóvil o ropa, que no requieren de agua potable para ese servicio. Las instalaciones para el reciclaje de este tipo de agua puede resultar de costo elevado para el caso de una sola vivienda, pero para instalaciones de instituciones de medianas y grandes dimensiones, así como edificios de apartamentos, el ahorro en el consumo de agua es significativo, sobre todo en lugares donde el servicio es escaso y por ende caro, pudiendo aplicarse similares principios para el aprovechamiento del agua pluvial.

ANTECEDENTES

La reutilización del agua es un fenómeno que se produce de forma natural en el planeta desde que los seres vivos existen sobre él, lo cual se conoce como el Ciclo Hidrológico. El agua evapotranspirada por las plantas y cuerpos superficiales de agua se acumula en la atmósfera en forma de vapor de agua, desde donde cae posteriormente sobre el suelo en forma de lluvia, para ser utilizada de nuevo por otros seres vivos. Se estima aproximadamente que en el ciclo del agua, ésta experimenta de 5 a 6 usos antes de evaporarse en el follaje, la tierra, los ríos, lagos y el océano donde se cierra el ciclo hidrológico. En definitiva, la recuperación del agua no es más que una manifestación del proceso cíclico continuo que experimentan los recursos naturales del planeta.

Junto a esta forma natural de reutilización del agua, ha surgido durante la última década un enorme interés y necesidad por la reutilización planificada del agua. Por reutilización planificada o directa se entiende la utilización para un nuevo empleo las aguas procedentes de un uso previo, sin mediar para ello el vertido en un cauce natural. De este modo, un agua empleada es sometida a un tratamiento que le permita alcanzar cierta calidad antes de ser enviada a otra parte para ser aprovechada de nuevo en un uso adicional. Es importante destacar que la reutilización planificada ha alcanzado un gran desarrollo no sólo en países con una escasez tradicional de recursos hídricos, sino especialmente en países con grandes recursos y con un elevado nivel de vida. Los altos incrementos de la demanda de agua, con frecuencia en lugares donde son escasos los recursos hídricos, han motivado a dirigirse hacia los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como una fuente alternativa de recursos hídricos. Una vez sometidos a un proceso adecuado de regeneración, estos efluentes son reutilizados para riego agrícola y de jardinería, para refrigeración industrial, para recuperación ambiental y para recarga de acuíferos, entres otros reusos.

OBJETIVOS

GENERALES:

- La utilización de aguas grises tratadas y aprovechamiento de pluviales en edificaciones, con un enfoque econenérgico.

ESPECIFICOS:

- Aprovechar más efectivamente el agua potable distribuida.
- Reducir los costos que implica la potabilización del agua.
- Reducir del impacto ambiental que generan de aguas de desecho.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente las entidades encargadas de proveer agua para consumo humano enfrentan importantes problemas para cumplir su cometido, a esto se suma que proveen solo agua apta para consumo humano de gran calidad y que además se despilfarra. El aumento en el aprovechamiento del uso del agua, diferenciando las calidades de la misma para diferentes usos específicos, hará que se obtenga un mejor rendimiento de la misma con el consiguiente ahorro en la captación, tratamiento y distribución. La difusión de tecnología relativamente económica y sencilla permitirá aprovechar el consumo de agua al máximo y disminuir los impactos al medio ambiente por la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos beneficiando tanto al entorno como a las usuarios que implementen este tipo de sistemas.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Guatemala posee diversos problemas ambientales. Entre uno de los más acuciantes están la falta de agua potable y la limitación del abastecimiento de la misma. En los diseños de proyectos de infraestructura civil pocas veces se toma en cuenta el concepto de desarrollo sostenible como un elemento que define las características de los mismos, la adaptación del entorno y la minimización de impactos. En la actualidad la mayoría de edificaciones, no están diseñadas para aprovechar en lo posible el agua potable que la abastece

HIPÓTESIS

El aprovechamiento de las aguas grises y pluviales en edificaciones, reducirá el consumo de agua potable, minimizando el impacto ambiental negativo generado.

VARIABLES

1. Agua
2. Agua Potable
3. Agua Residual
4. Agua Residual Doméstica
5. Aguas Grises
6. Aguas Negras
7. Reutilización

DEFINICIÓN DE VARIABLES

AGUA

- *Definición Conceptual:* Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales (Raluy, 1991).

AGUA PARA CONSUMO HUMANO

- *Definición Conceptual:* Agua que no contiene organismos patógenos en cantidades suficientes para transmitir enfermedades, libre de concentraciones excesivas, sustancia mineral y orgánica, de toxicidad y agradable a los sentidos (Díaz, 2003).

AGUA RESIDUAL

- *Definición Conceptual:* Agua alterada en su calidad por el uso que se ha hecho de ella (Díaz, 2003).

AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

- *Definición Conceptual:* Desechos Líquidos provenientes de viviendas y edificios comerciales e institucionales, que son conducidos por medio de una red de drenaje hacia una planta de tratamiento. (Salazar, 2003).

AGUAS GRISES

- *Definición Conceptual:* Es el agua residual producida de lavaderos, duchas, pilas, etc. Su característica principal es que contiene grandes cantidades de jabón y escasa presencia de bacterias coliformes. (Salazar, 2003).

AGUAS NEGRAS

- *Definición Conceptual:* Estas son las producidas en los inodoros y mingitorios, contienen sólidos y elementos patógenos que son expulsados por el cuerpo humano (Salazar, 2003).

REUTILIZACIÓN

- *Definición Operacional:* Acción y efecto de reutilizar. Utilizar en este caso el agua que se ha utilizado una vez, con otro propósito. (Raluy, 1991).

ALCANCES Y LÍMITES

ALCANCES

- Esta investigación propone la utilización de aguas residuales grises tratadas en una vivienda, beneficiando al medio ambiente y optimizando al máximo el aprovechamiento del agua que llega al inmueble, utilizando materiales adaptados a la región, implementando formas alternativas en el uso de agua residual, y métodos de diseño y construcción locales que cumplen con reglamentación vigente.
- Se pretende reutilizar las aguas residuales grises para el llenado de tanque de inodoro, lavado y riego, permitiendo la reducción en el consumo de agua con una medida práctica y fácilmente aplicable, que propone el presente estudio.
- Esta investigación propone la reutilización del agua residual doméstica. Para el estudio se ha analizado un edificio de apartamentos.

LÍMITES

- La reutilización de agua residual será exclusivamente doméstica donde se tomarán como agua grises las procedentes de duchas y lavamanos.

- Se realizó el diseño para determinar el diámetro de las tuberías a utilizar tanto en la red de abastecimiento de agua como en la red de conducción de agua residual.
- No se realizó diseño estructural de los tanques a utilizar, cualquier referencia sobre parámetros de diseño que se pueda necesitar se deberá consultar literatura especializada.
- No se realizó un análisis de costos o presupuestos de materiales de un sistema tradicional contra un sistema de reutilización. Este tipo de análisis puede realizarse en un trabajo posterior.

APORTES

- Este estudio propone métodos para la reutilización de aguas grises tratadas, con beneficios para los usuarios de servicios de agua potable, universidades, profesionales de ingeniería sanitaria y ambientalistas.
- Provee una propuesta sobre una forma alternativa de construcción de la red de abastecimiento de agua, como también de la red de conducción de agua residual en una vivienda, para la reutilización del agua y aprovechamiento de la misma.
- Disminuir la utilización de agua potable utilizada en el abastecimiento del tanque del inodoro.
- Reducir el aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua, debido a la reutilización del agua gris tratada.

1. EL AGUA, FACTOR FUNDAMENTAL DENTRO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

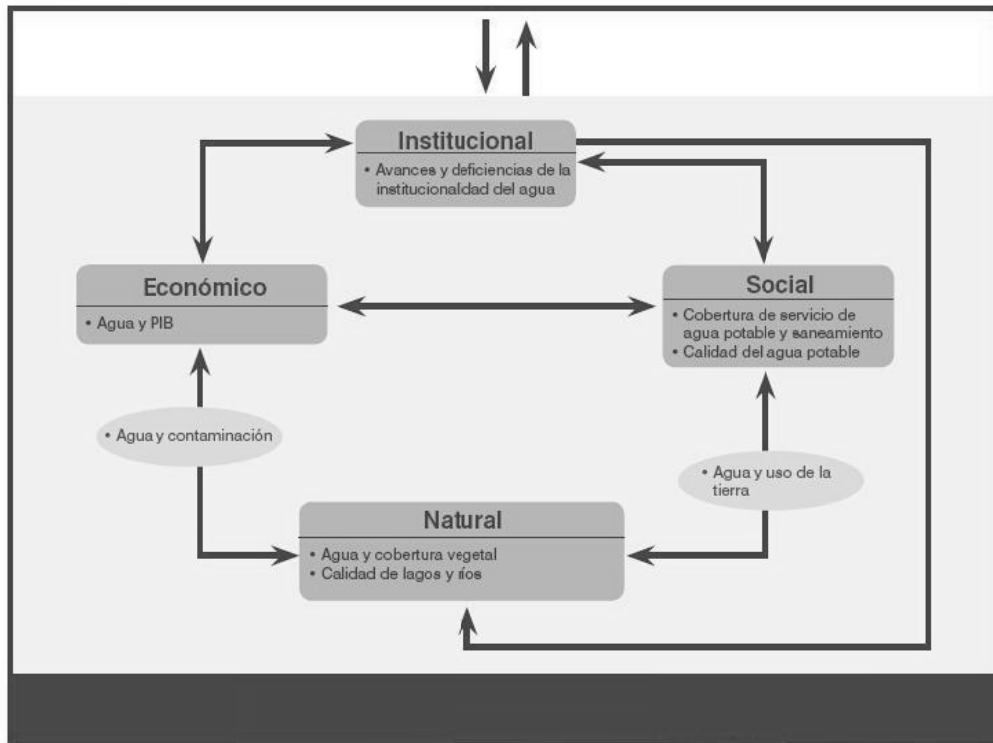
El agua, como uno de los elementos que constituyen el subsistema natural, determina directamente el desarrollo, al menos, a través de los siguientes aspectos relacionados: el estado de los cuerpos de agua, el acceso y la disponibilidad de agua apta para todos los usos socialmente necesario, la existencia de infraestructura de saneamiento, la existencia de un régimen regulatorio eficiente en relación al uso del agua y la prioridad que el Estado de a las políticas públicas relacionadas con los bienes hídricos.

La situación de los bienes hídricos se puede evaluar en función de la forma en que éstos interactúan dentro del subsistema natural y con los subsistemas social, económico e institucional. En condiciones de desarrollo sostenible, la relación entre el agua y cada uno de los elementos del sistema socio ecológico adquiere las siguientes características:

- **Natural:** a lo largo de las diferentes fases del ciclo hidrológico, el agua actúa como catalizador de diferentes procesos físicos y biológicos necesarios para el funcionamiento adecuado de los ecosistemas.
- **Social:** el agua tiene la calidad adecuada y es accesible para todos los grupos sociales sin menoscabo de su condición económica, étnica o de otro tipo, de tal manera que favorece la situación nutricional, de higiene y bienestar de la población.
- **Económico:** el agua es un insumo disponible para completar los procesos de producción industrial, agropecuaria y de generación eléctrica; sin alterar la calidad del recurso ni arriesgar su disponibilidad futura.
- **Institucional:** en virtud de la importancia del agua en el desarrollo sostenible, los temas relacionados con los bienes hídricos del país deben estar presentes en el marco legal e institucional nacional y figurar dentro de las prioridades en materia de política pública. Una mala gestión integral de los recursos hídricos implica, por un lado, deficiencias y limitaciones que afectan el desarrollo sostenible y por ende el bienestar del país; siendo un indicio de que la sociedad apunta sus esfuerzos de desarrollo por la ruta incorrecta. Por el impacto de dicho incumplimiento se deduce, además, la magnitud del esfuerzo que la sociedad debe hacer para alcanzar un plan más coherente y equilibrado de interacción con el sistema hídrico. En la Figura 1 se identifican los indicadores-señal utilizados para abordar el análisis de los bienes hídricos nacionales.

FIGURA 1

Los indicadores-señal de los bienes hídricos de Guatemala



Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

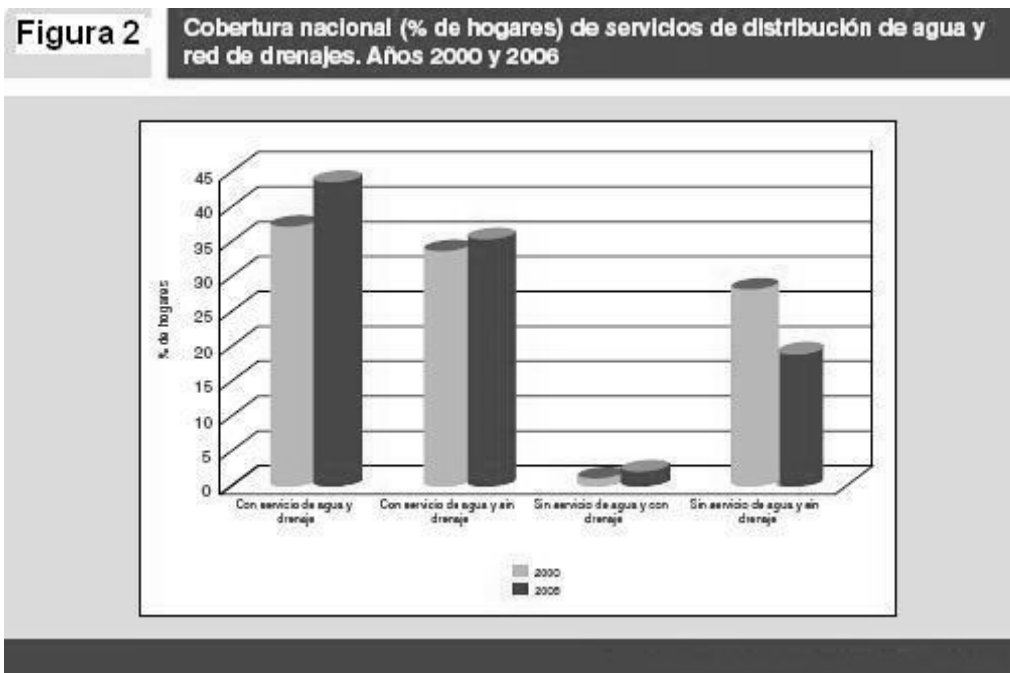
A lo largo de la superficie territorial de Guatemala se dan cita características naturales y climáticas particulares, cuya combinación afecta las diversas condiciones hídricas del país. Las particularidades hídricas del país hacen que éste pueda considerarse abundante en agua. La oferta hídrica anual excede los 90,000 millones de m³ (URL, IARNA e IIA, 2006; SEGEPLAN y BID, 2006). Las demandas consuntivas y no consuntivas del recurso suman alrededor de los 7,650 millones de m³ de acuerdo al Perfil Ambiental 2006 y de los 9,596 millones de m³ de acuerdo a la Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala (SEGEPLAN y BID, 2006). Estas estimaciones consideran básicamente el riego, el uso industrial, el uso doméstico y el uso de agua para la generación de electricidad.

La contabilidad ambiental y económica integrada amplía esta información considerando el agua de lluvia utilizada por los cultivos agrícolas (temporales y permanentes), y desagregando la economía en 127 actividades, lo que permite estimar el uso industrial con mayor precisión. En este sentido, la Cuenta Integrada de Recursos Hídricos (BANGUAT y URL, IARNA, 2009) reporta la utilización de 11,901 millones de m³ de lluvia por las actividades agropecuarias en el año 2003, y estima el uso industrial en 8,740 millones de m³ para el mismo año. Se estima que la utilización total de agua en el año 2003 fue de 29,490 millones de m³, lo que equivale a un uso per cápita de 2,439 m³ por habitante. Al considerar el agua bienes hídricos El Instituto Nacional de Bosques, por ejemplo, describe los beneficios que el bosque proporciona a los sistemas hídricos,

garantizando la calidad del agua (regulando sedimentos, turbidez, temperatura y oxígeno disuelto) y estabilizando el flujo sub superficial.

1.1 COBERTURA DE SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE

A lo largo de la historia, el progreso humano ha dependido en gran parte del acceso a agua limpia. De hecho, una de las funciones más importantes del agua es satisfacer la necesidad humana de beber y tener higiene. Se estima que en Guatemala el consumo de agua en los hogares es de 393 millones de metros cúbicos anuales (URL, IARNA, 2008). Este aspecto corresponde al análisis del sub-sistema social, pues comprende el ámbito inmediato de la acción humana y atañe directamente al sujeto del desarrollo sostenible: el ser humano. La Figura 2 ilustra la evolución de la cobertura del servicio de provisión de agua y drenajes, de acuerdo con datos de la Encuesta de Condiciones de Vida (Encovi) 2000 y 2006 (INE, 2000 e INE, 2007). La tendencia es positiva. En el ámbito nacional se ha incrementado el número de hogares con acceso a agua y drenajes. El Cuadro 1 muestra que, en el año 2006, el 90% de los hogares urbanos tenían acceso a una red de agua dentro de la vivienda, o al menos dentro del terreno. En el caso de los hogares rurales, más del 30%, equivalente a 498,191 hogares, debían acarrear agua desde un chorro público o privado, un pozo o un río, lago o manantial.



Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

Los contrastes entre la cobertura y la calidad de los servicios sanitarios son mayores si se compara el área urbana con el área rural, que si se consideran únicamente los departamentos. La Figura 3 muestra la evolución de la Necesidad Básica Insatisfecha de servicio sanitario durante los años 1981, 1994 y 2002. La NBI de servicio sanitario es un

indicador de la disponibilidad y acceso a la infraestructura sanitaria y de sistemas de eliminación de excretas consideradas mínimas para el bienestar y la salud de las personas en los hogares. El umbral de servicio sanitario mínimo aceptable difiere entre el área rural y urbana ¹.

Tipo de acceso	Tipificación del acceso al agua de los hogares según condición urbana o rural, año 2006					
	Urbanos		Rurales		Total	
	Urbanos	%	Rurales	%	Total	%
Tubería (red) dentro de la vivienda	1,111,338	78.0	534,138	43.5	1,645,476	62.0
Tubería (red) fuera de la vivienda, pero en el terreno	170,651	12.0	209,864	17.1	380,515	14.3
Chorro público o privado	16,831	1.2	43,839	3.6	60,670	2.3
Pozo perforado público o privado	61,427	4.3	218,120	17.8	279,547	10.5
Río, lago, manantial	9,270	0.6	148,704	12.1	157,974	6.0
Camión cisterna	24,484	1.7	11,331	0.9	35,815	1.4
Agua de lluvia	928	0.1	22,413	1.8	23,341	0.9
Otro	29,828	2.1	39,805	3.2	69,633	2.6
Total	1,424,757	100.0	1,228,214	100.0	2,652,971	100.0

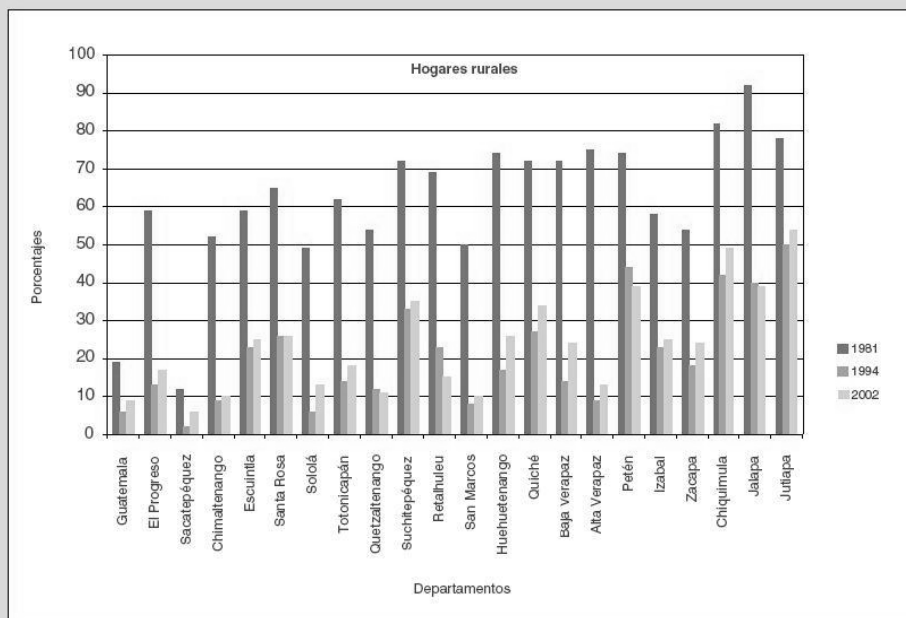
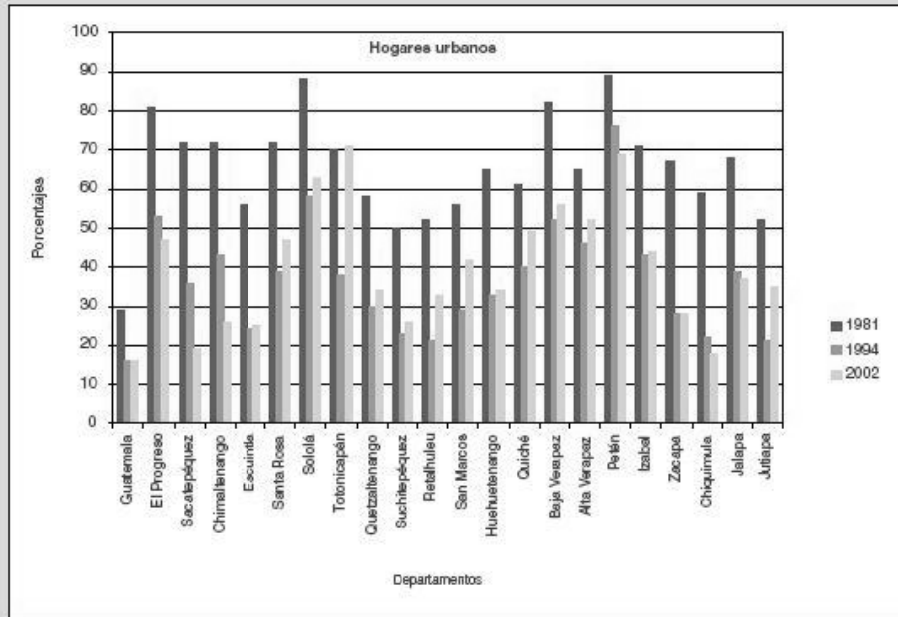
Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

El análisis de la Figura 3 muestra que, en lo que respecta a saneamiento, aún queda mucho por hacer en el ámbito nacional. Una consideración importante es que, exceptuando los casos de Escuintla, Suchitepéquez, Chiquimula, Jutiapa y Jalapa, el porcentaje de hogares con una necesidad básica insatisfecha de servicio sanitario es bastante más alto en las ciudades que en el área rural. Es importante destacar que, en el área urbana, el indicador aumentó en 14 departamentos durante el período 1994-2002. Esto supone una necesidad básica insatisfecha de servicio sanitario en un mayor porcentaje de viviendas. Los datos confirman la necesidad del saneamiento básico en gran parte de las ciudades de Guatemala. La Figura 3 muestra también que las condiciones sanitarias del conjunto de viviendas del área rural departamental han mejorado únicamente en 4 departamentos, durante el periodo 1994-2002. La falta de acceso a condiciones mínimas de saneamiento y de un medio adecuado de deposición y eliminación de excretas pone en riesgo la salud humana, particularmente la de la población más vulnerable.

1. En el área urbana se consideró como un hogar con NBI de servicio sanitario, aquel que no disponía de un sistema de evacuación de excretas o de ningún tipo de servicio sanitario, o que éste fuera un inodoro lavable, letrina o pozo ciego. Para el área rural se consideró hogar con NBI de servicio sanitario la vivienda que no disponía de ningún sistema de eliminación de excretas o que no disponía de servicio sanitario (INE, 2006).

Figura 3

Necesidades básicas insatisfechas de servicio sanitario, por departamento (% de hogares según zonas urbanas y rurales). Censos de 1981, 1994 y 2002



Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

El agua es un recurso vital y el mismo requiere una gestión institucional adecuada. Sin embargo, la tendencia a creer que se trata exclusivamente de un derecho, hace que en la

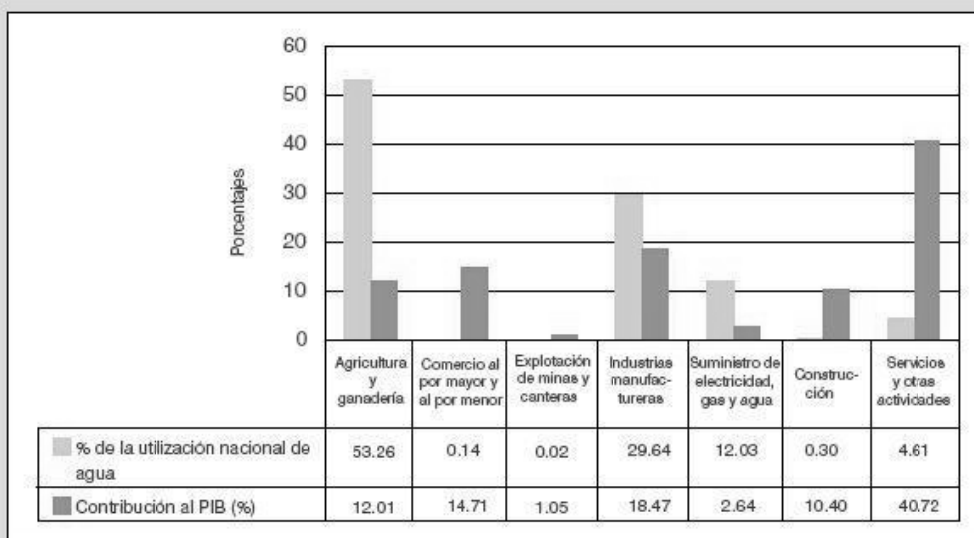
sociedad no exista conciencia suficiente acerca de aquella necesidad. Todas las municipalidades subsidian el servicio de agua potable, pero éste se cobra a los usuarios sin considerar su volumen de consumo. Las poblaciones se resisten a cubrir los costos del servicio, razón por la que las tarifas se establecen mediante decisiones políticas y no con base en criterios técnicos. Esta situación condiciona la sostenibilidad, eficiencia y calidad de los servicios y, por consiguiente, de los sistemas de gestión integral del agua. Por ejemplo, se estima que los hogares guatemaltecos que cuentan con todos los servicios detallados a continuación, realizaron mensualmente los siguientes gastos promedio: Q169.51 en servicio de energía eléctrica, Q157.62 en telefonía móvil, Q67.61 para servicio de cable; pero sólo Q28.30 por servicio de agua (Vargas, 2009).

1.2 EL AGUA ES VITAL PARA LA ECONOMÍA

El agua, además de ser un elemento esencial para la vida y parte del funcionamiento de los ecosistemas, es un insumo indispensable e insustituible para una gran variedad de actividades económicas. La producción agrícola y animal, por ejemplo, depende completamente de la provisión oportuna y suficiente de agua. Estas actividades económicas en su conjunto (incluido el aprovechamiento del agua de lluvia in situ) alcanzan más del 50% de la utilización de agua en Guatemala. Otras actividades que por su naturaleza demandan grandes cantidades de agua son el beneficiado de café, la industria azucarera y las industrias de alimentos y de bebidas. Según datos reportados en el Censo Nacional Agropecuario 2002-2003 (INE, 2004), la agricultura de riego ocupa el 11% de las tierras agrícolas en fincas censales, y el 24% de las áreas aptas para riego del país (SEGEPLAN y BID, 2006) y es una práctica con un potencial importante de crecimiento. La promoción de la agricultura de riego es esencial para satisfacer la creciente demanda de producción de alimentos; es por ello que se recomienda adoptar técnicas eficientes de uso de agua. Se estima que el volumen de agua utilizada en el riego rondó los 3,800 millones de m³, de los cuales el 38% se produjo por inundación y el 46% por aspersión (URL, IARNA, 2008). Las estrategias de promoción de agricultura de riego deben favorecer técnicas más eficientes en el uso del agua (como la micro-aspersión y el riego por goteo), para hacer factible el crecimiento agrícola y disminuir la tensión que genera la competencia por el uso del agua para otros fines. Tal como las actividades económicas difieren en grado de importancia conforme agregan valor a la economía nacional, así ocurre en la participación como usuarios de agua. Cotejar ambos parámetros –el volumen de agua utilizada y la participación en la economía nacional– brinda un panorama de la relación entre los bienes hídricos y la economía, que puede considerarse como una expresión de la intensidad en el uso del bien natural. En la Figura 4 se presentan estimaciones de la utilización de agua por grupos de actividades económicas, expresada como porcentaje del volumen total utilizado por la economía; y la contribución porcentual de cada una de ellas en la conformación del valor agregado nacional. El volumen total de agua utilizada por las diferentes actividades económicas, se estimó en 29,489 millones de m³ para 2003. En el caso de la utilización de agua para generar energía eléctrica (actividad de suministro de electricidad, gas y agua), se considera que el uso no es consuntivo.

Figura 4

Utilización total de agua por sector de la economía (%) y contribución al valor agregado nacional. Año 2003

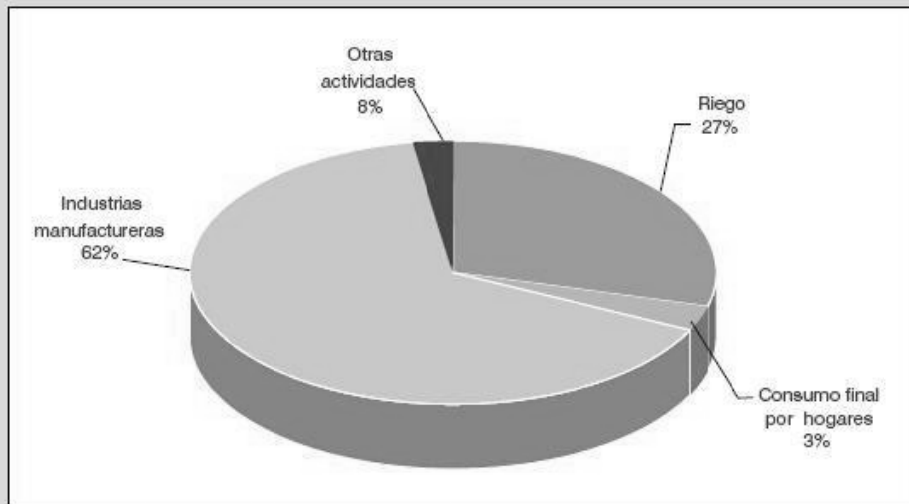


Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

La Figura 4 muestra que, en lo concerniente a la utilización de agua para fines económicos, los sectores de agricultura y ganadería, y de manufactura son los más destacados, al utilizar 53% y 29% del volumen de agua anual en el país, respectivamente. Su contribución a la economía nacional, aunque es alta, es superada por otros sectores cuyo uso de agua es menor, como el sector de comercio y de prestación de servicios. Estos datos revelan hallazgos clave para mejorar la planificación del uso del agua en el país, con miras a incrementar su eficiencia. Sobre todo, en el caso de la agricultura, en consideración a su contribución a la seguridad alimentaria, la generación de empleo y su contribución al desarrollo rural. Es importante hacer notar que el 76% del agua utilizada para la agricultura proviene del aprovechamiento in situ de la precipitación natural, por lo que no es extraída de ninguna fuente superficial o subterránea. Este uso del recurso no implica competencia con otras actividades por el uso de las fuentes superficiales o subterráneas de agua. La Figura 5 muestra la proporción de la participación de las distintas actividades económicas en la extracción de agua. A diferencia de la Figura 5, en el análisis no se considera el aprovechamiento del agua de lluvia para la agricultura ni la utilización de agua para la generación eléctrica. El volumen total de agua extraída en 2003 se estimó en 14,038 millones de m³. Como se puede observar en la Figura 6, bajo estas condiciones, las industrias manufactureras extraen el 62% del agua en el ámbito nacional.

Figura 5

Extracción de agua para diferentes actividades económicas (porcentaje). Año 2003



Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

En cuanto a la producción hidráulica de energía eléctrica, para el año 2005, alrededor del 38% de la energía eléctrica generada fue de origen hídrico y la tendencia es a crecer. Ante un contexto mundial de búsqueda de opciones energéticas, y tomando en cuenta que el potencial de generación hidroeléctrica es mucho mayor que la capacidad actual de generación, se puede esperar, y es deseable, que su participación como fuente energética para la economía siga aumentando. La disponibilidad y estado de los recursos hídricos nacionales es y será un factor decisivo para suplir las demandas energéticas de una economía en crecimiento y en la ruta de la diversificación.

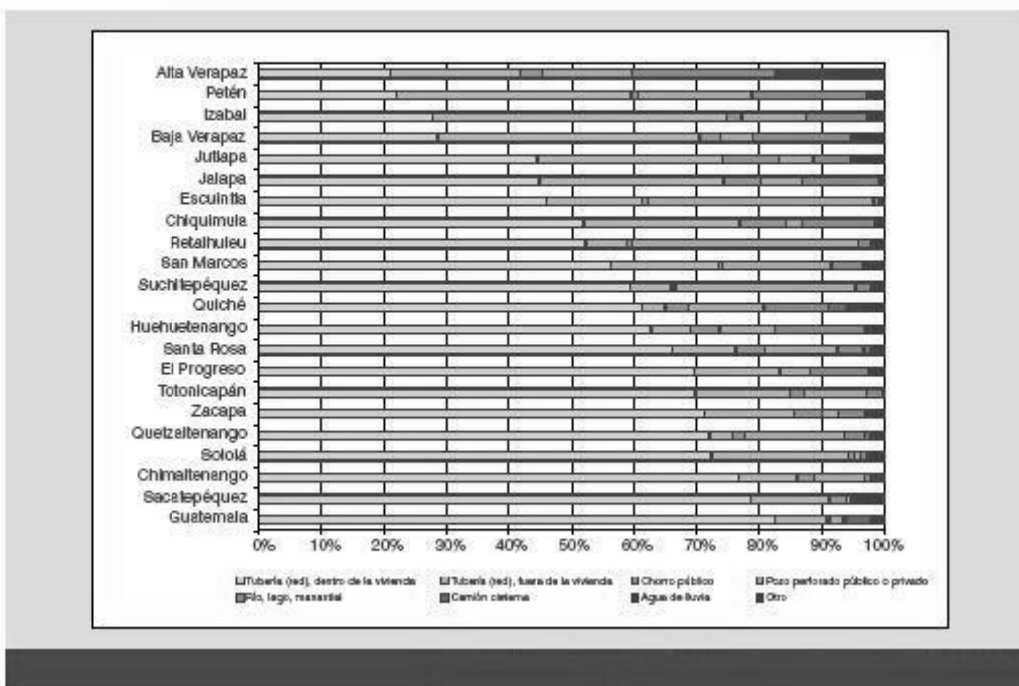
Una segunda consideración tiene que ver con el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Se sabe que gran parte de la contaminación de los cuerpos de agua en el país proviene de las aguas residuales de los centros urbanos del país, las cuales son vertidas, en su mayoría, sin ningún tipo de tratamiento (URL, IARNA e IIA, 2006). Lo importante a hacer notar es que este tipo de descargas son ricas en nutrientes, bacterias y patógenos, lo que favorece la proliferación de algas en los cuerpos receptores y son factores de riesgo para la salud humana. El Perfil Ambiental 2004 menciona que para el año 2000 estaban registradas 49 plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional, de las cuales únicamente 15 funcionaban correctamente. Del total de plantas, 23 estaban ubicadas en el área metropolitana.

1.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Aunque en términos generales el acceso de los hogares a servicios de agua ha mejorado sustancialmente en el área urbana (99%) y en el área rural (92%), la calidad del líquido sigue siendo un problema serio para la salud humana. De acuerdo con los resultados de la Encuesta de Condiciones de Vida de 2006, únicamente una cuarta parte del agua que llega a las áreas urbanas recibe algún tipo de tratamiento de desinfección. La Figura 6 muestra que, aunque el 80% de los hogares de la región central y más del 70% de los hogares del altiplano occidental están conectados directamente al servicio de agua, 30% de los hogares de los departamentos ubicados en el norte del país todavía se abastece de fuentes superficiales de agua, y se estima que la población sin acceso a fuentes mejoradas de agua crece anualmente en cerca de 100 mil personas.

Figura 6

Fuentes de abastecimiento de agua potable por departamento (en porcentaje de hogares). Año 2006



Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS DE DESECHO

Aguas Negras

El agua procedente de las entidades suministradoras es en teoría, agua declarada apta para el consumo humano, es decir química y bacteriológicamente apta. De forma aproximada en nuestra comunidad, consumimos esta agua en cantidades que esta alrededor de los 100-200 litros por persona por día.

De esta cantidad, una pequeña parte es destinada realmente al consumo humano, pero ésta no suele ser superior a los 10-15 litros, es decir, menos del 10%. El resto se emplea para distintas actividades como limpieza, riego de jardines, duchas, etc.

Apta para el consumo humano significa que el agua nos llega de municipalidades y empresas que está exenta de contaminantes, o al menos que su contenido es tan pequeño que no puede afectar de forma significativa a la salud humana en caso de ingerirlos.

Estos contaminantes, de forma genérica, los podemos clasificar en dos tipos:

1. **Contaminantes microbiológicos**, es decir microorganismos patógenos para el ser humano. Suele añadirse al agua un desinfectante en cantidades suficientes para destruir los posibles gérmenes que llevara el agua antes de su tratamiento y en la mayoría de casos se deja una parte de este desinfectante como forma de preservar el agua durante su transporte hasta los edificios donde vaya a ser finalmente empleada. Habitualmente se emplea cloro en las plantas potabilizadoras y ozono en el agua envasada.
2. **Contaminantes químicos**, es decir sustancias que pudiera haber en el agua, tales como ciertas sales minerales (nitratos, nitritos, arsénico, mercurio, etc.), pesticidas diversos (herbicidas, insecticidas, etc.), elementos radioactivos (cesio, estroncio, etc.), compuestos orgánicos (disolventes, derivados del benceno, tolueno, etc.) y muchos más generados por la actividad humana desde medicamentos hasta abonos. Algunas de estas sustancias pueden afectar la salud en concentraciones muy bajas que oscilan desde unos pocos miligramos por litro hasta algunos nanogramos por litro. Su efecto tóxico puede ser inmediato, como el caso de algunos metales pesados o bien mostrarse al cabo de mucho tiempo como con los disruptores hormonales. La tabla 1 muestra los parámetros mas comunes a tomar en cuenta en las aguas residuales.

TABLA No. 1: Parámetros de interés en el agua residual municipal.

Componente	Parámetro de calidad	Descripción
Materia en suspensión	Materia en suspensión, incluyendo la porción volátil y la inorgánica	La materia en suspensión puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratamiento a un medio acuático. Una cantidad excesiva de materia en suspensión puede obstruir el sistema de riego.
Materia orgánica biodegradable	Demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno	Estas sustancias están compuestas principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Una vez vertidas en el medio ambiente, su descomposición biológica puede dar lugar al agotamiento del oxígeno disuelto en las aguas receptoras y a la aparición de condiciones anaerobias.
Patógenos	Organismos indicadores, coliformes totales y coliformes fecales.	Los organismos patógenos presentes en un agua residual, tal como bacterias, virus y parásitos, pueden producir numerosas enfermedades transmisibles.
Elementos nutritivos	Nitrógeno, Fósforo, Potasio	El nitrógeno, el fósforo y el potasio son elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas y su presencia en el agua aumenta el valor para el riego. Cuando se vierte nitrógeno o fósforo en el medio acuático, puede darse el desarrollo de formas de vida acuáticas indeseables. Cuando se vierten cantidades excesivas de estos elementos en el terreno, el nitrógeno puede llegar a contaminar las aguas subterráneas.
Componente	Parámetro de calidad	Descripción
Substancias orgánicas estables o refractarias al proceso de tratamiento.	Compuestos específicos, como fenoles, pesticidas e hidrocarburos clorados.	Estas sustancias orgánicas ofrecen gran resistencia a los métodos convencionales de tratamiento de agua residual. Algunas son tóxicas en el medio ambiente y su presencia puede limitar la idoneidad de las aguas residuales para riego.
Actividad del ion hidronio	Potencial de hidrógeno (pH)	El pH del agua residual afecta a la solubilidad de los metales así como a la alcalinidad del suelo. El intervalo normal para el pH de un agua residual municipal se sitúa entre 6.5 y 8.5 todo y que la presencia de agua residual industrial puede modificar el pH de forma significativa.
Metales pesados	Elementos conocidos como Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Mercurio (Hg).	Algunos metales pesados se acumulan en el medio ambiente son tóxicos para los animales y las plantas. Su presencia en el agua residual puede limitar su idoneidad para agua de riego.
Substancias inorgánicas disueltas	Materia disuelta total, conductividad eléctrica, elementos concretos como Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cloro (Cl) y Boro (B).	Un grado excesivo de salinidad puede perjudicar ciertos cultivos. Determinados iones como los cloruros, el sodio y el boro son tóxicos para ciertas plantas. El sodio puede causar problemas de permeabilidad en los suelos.
Cloro residual	Cloro libre y cloro combinado	Una concentración excesiva de cloro libre, superior a 0.05 mg/l, puede provocar quemaduras en las puntas de las hojas y estropear algunas especies de plantas sensibles. No obstante, la mayor parte del cloro presente en un agua residual es cloro combinado, que no perjudica a las plantas. Existe cierta preocupación por los efectos tóxicos derivados de los compuestos organoclorados que puedan llegar a contaminar las aguas subterráneas.

REF: Mujeriego (1990) y Metcalf y Eddy (1991).

La composición del agua residual viene definida por las cantidades reales de los componentes físicos, químicos y biológicos presentes en ella y puede variar según la composición del agua de cada población. Los valores típicos que estos parámetros toman en el agua residual municipal bruta (sin tratar) son los presentados a en la Tabla No. 2.

TABLA No. 2: Parámetros en el agua residual municipal sin tratar.

Componente	Intervalo de concentraciones		
	Alta	Media	Baja
Materia sólida, (mg / L)	1200	720	350
1. Disuelta total	850	500	250
Inorgánica, (mg / L)	525	300	145
Orgánica, (mg / L)	325	200	105
2. En suspensión	350	220	100
Inorgánica, (mg / L)	75	55	20
Orgánica, (mg / L)	275	165	80
Sólidos Sedimentables, (mg /L)	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOs) a 20°C, (mg / L)	400	220	110
Carbono orgánico total, (mg / L)	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno (DQO) , (mg / L)	1000	500	250
Nitrógeno, (mg / L)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniaco	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo, (mg / L)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad, (mg / L)	200	100	50
Grasa, (mg / L)	150	100	50

NOTA: (mg / L) = miligramos por litro

REF: Metcalf y Eddy (1991).

Esta tabla presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. Según las concentraciones de estos constituyentes, el agua residual se clasifica en alta, media o baja. Estos datos pretenden sólo servir de guía y no como base de proyecto ya que las concentraciones varían con la hora del día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales.

Los parámetros presentados son los que se analizan con mayor frecuencia; pero a medida que aumentó el conocimiento de la química y de la microbiología del tratamiento de agua residual se ha puesto de manifiesto la importancia de realizar análisis adicionales de algunos metales (necesarios para el crecimiento de ciertos microorganismos: Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Magnesio (Mg) y Zinc (Zn)), presencia o ausencia de sulfuro de hidrógeno (para investigar condiciones corrosivas, precipitación de

metales, etc.), concentraciones de sulfato, presencia de organismos filamentosos, etc (Metcalf y Eddy, 1991).

La calidad de un agua residual se determina normalmente con parámetros globales de contaminación como lo son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Pero estos no son los parámetros de calidad que toman mayor importancia cuando se trata de utilizar el agua residual como agua de riego sino aquellos elementos químicos que afectan al crecimiento de las plantas o a las propiedades del suelo. En este contexto el principal parámetro de calidad es el contenido de sustancias inorgánicas o minerales disueltas que, además, no experimenta una variación importante en la mayoría de procesos de tratamiento de agua residual.

Además de los parámetros físicos y químicos presentados en el agua residual municipal, contiene microorganismos patógenos de origen fecal, tal como bacterias, virus, protozoos y gusanos parásitos. Debido al alto número de microorganismos patógenos presentes tanto en el agua como en el agua residual, y de la dificultad práctica para determinarlos, se usan bacterias del grupo coliforme (ver Tabla No. 3) mucho más numerosas y fáciles de determinar, como indicadoras de la presencia de entero patógenas en el afluente tratado y en el agua regenerada. La presencia de coliformes fecales en una agua se considera como indicación de la posible presencia de microorganismos patógenos, mientras que la ausencia de coliformes se considera como indicación que el agua está libre de microorganismos patógenos (Mujeriego, 1990).

TABLA No. 3: Normas para la calidad del agua potable en Guatemala.

PARÁMETRO	UNIDAD	OMS	GUATEMALA
		1995	1998
Año		1995	1998
Origen		Valores guía	NGO 29001
Microbiológicos			
Coliformes fecales o <i>E. coli</i> (CF)	CF/100 mililitros	0	< 2,2
Coliformes totales (CF)	CF/100 mililitros	0	< 2,2
Bact. heterotróficas	CF/100 mililitros	-	-

Fuente: Norma COGUANOR. NGO 29.001.98

Según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, en su publicación del “Reglamento de la Calidad de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores”, los parámetros físicos, químicos y biológicos que deberán ser determinados en las aguas residuales para ser vertidos en un cuerpo receptor se presentan en la Tabla No. 4:

TABLA No. 4: Límites máximos permisibles de contaminantes básicos para descargas en cuerpos receptores en Guatemala. Fuente: Acuerdo Gubernativo No. 236-2006

Fecha máxima de cumplimiento			Dos de mayo de	Dos de mayo de dos	Dos de mayo de	Dos de mayo de dos mil
			Etapas			
Parámetros	Dimensionales	Valores inicial	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1,500.00	100.00	50.00	25.00	10.00
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3,500.00	600.00	400.00	150.00	100.00
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1,400.00	100.00	50.00	25.00	20.00
Fósforo total	Miligramos por litro	700.00	75.00	30.00	15.00	10.00
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	1×10^8	1×10^6	1×10^5	1×10^4	1×10^4
Arsénico	Miligramos por litro	1.00	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1.00	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6.00	3.00	1.00	1.00	1.00
Cobre	Miligramos por litro	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1.00	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6.00	4.00	2.00	2.00	2.00
Plomo	Miligramos por litro	4.00	1.00	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

Color	Unidades platino cobalto	1,500.00	1,300.00	1,000.00	750.00	500.00
TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.						

Agua Para Riego

Según Mujeriego (1990), en su publicación "Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Calidad de un Agua de Riego", el tipo de agua que se utilice como agua de riego tiene dos efectos importantes, a corto plazo influye en la producción y a largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar el suelo.

Sea cual fuere el origen del agua debe de cumplir la calidad que se exige a un agua de riego natural y únicamente en ciertas situaciones o para ciertas producciones pueden variarse los márgenes establecidos, siempre que no afecte las propiedades del suelo. Para la evaluación de la calidad de un agua de riego se han desarrollado índices empíricos que suponen una guía práctica y de uso generalizado. Esta evaluación no requiere el grado de precisión analítica propio de un estudio de investigación, se trata de obtener una indicación de los posibles problemas a tener en cuenta en la toma de decisiones, según Mujeriego (1990).

El conjunto de parámetros a considerar en la evaluación de la calidad del agua para riego, han de contemplar el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que definen su buen uso. Habitualmente las determinaciones que se realizan al agua de riego se observan en la tabla No. 5:

TABLA No. 5: Parámetros de calidad del agua para riego.

Parámetro de Calidad Usual	Símbolo	Unidad	Intervalo
SALINIDAD			
Contenido en sales			
Conductividad eléctrica	CEa a 25°C	(uS/cm)	0 - 3000
Material disuelta total	MDT	(mg / L)	0 - 2000
Cationes y Aniones			
Calcio	Ca ²⁺	(mg / L)	0 - 400
Magnesio	Mg ²⁺	(mg / L)	0 - 60
Sodio	Na ⁺	(mg / L)	0 - 900
Carbonatos	CO ₃ ⁻²	(mg / L)	0 - 3
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	(mg / L)	0 - 600
Cloruros	CL ⁻	(mg / L)	0 - 1100
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	(mg / L)	0 - 1000
Parámetro de Calidad Usual	Símbolo	Unidad	Intervalo
Diversos			
Boro	B	(mg / L)	0 - 2
Ion Hidronio	pH	(mg / L)	6.5 - 8.5

NOTA: (mg / L) = miligramos por litro (uS/cm) = Micro Siemens por centímetro

REF: Mujeriego (1990).

Los datos presentados son, en principio, suficientes para evaluar la idoneidad de un agua para riego y tener en cuenta los posibles problemas que esta agua pueda causar al suelo o a las plantas. En algunos casos cuando se sospecha de una anomalía en el agua es importante la determinación de otros parámetros como: el contenido en metales pesados y boro (por su incidencia en la cadena trófica y su alta toxicidad), los sólidos en suspensión (pueden condicionar el tipo de riego), los detergentes (para evitar problemas en las conducciones y en las superficies activas del suelo); si se realiza la preparación de soluciones nutrientes, para la fertirrigación, se han de analizar además de los iones habituales otros como: hierro, manganeso, cobre, nitratos y fosfatos, a fin de tener en cuenta sus concentraciones en el agua de riego.

A la vez es importante realizar análisis adicionales que contemplen los siguientes parámetros:

1. Elementos nutritivos (mg/L) Nitratos, amoníaco, nitrógeno orgánico, potasio, nitrógeno total, fósforo ortofosfato, fósforo total.

2. Cloro residual (mg/L).

3. Microelementos: Aluminio, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, fluoruros, hierro, plomo, litio, manganeso, mercurio, níquel, selenio, plata, Vanadio y Zinc.

Antimonio, berilio, cobalto, molibdeno, talio, estaño, titanio y tungsteno (este segundo grupo sólo si se sospecha su presencia).

El análisis de los microelementos es interesante realizarlo una vez antes del inicio de las operaciones de riego y posteriormente para realizar un seguimiento periódico de aquellos elementos presentes en cantidades importantes y significativas (Mujeriego, 1990).

3. ORIGEN Y DESTINO DE LAS AGUAS A REUTILIZAR

3.1. UTILIZACION DE LAS AGUAS GRISES Y PLUVIALES

En el tema del agua que llega a las viviendas, procedente de las plantas potabilizadoras, podríamos estimar aproximadamente que un 60% se emplea para distintas aplicaciones como limpieza doméstica, aseo personal, riego en general, etc. De forma mayoritaria esta agua no precisaría estrictamente que fuera apta para el consumo humano excepto en el delicado caso del aseo personal, en que parte de esta agua (especialmente en el caso de los niños) podría ingerirse accidentalmente. De cualquier forma un agua “razonablemente” limpia, podría ser empleada para limpieza y riego sin precisar de una previa potabilización. En general a este tipo de aguas, sin contaminación fecal, se les suele denominar “aguas grises”.

Cerca del 30-40% del agua que entra en una vivienda se suele emplear en inodoros para la eliminación de orina y heces. Esta agua es la que lleva un alto grado de contaminación bacteriológica, siendo patológica para el ser humano. Solemos llamar a estas aguas, aguas negras. Habitualmente en las viviendas el 100% del agua que entra en ellas, es agua apta para el consumo humano, alrededor del 70-80% acaba convirtiéndose en aguas negras sin reutilización en ninguno de los procesos intermedios.

En función de lo mencionado las entidades suministradoras podrían proveer dos calidades distintas de agua, una apta para el consumo humano y otra para inodoros, lavar, regar, etc. Esto implicaría que solo una pequeña parte del agua a suministrar incurriera en el alto coste que supone el tratamiento de potabilización. Definitivamente esta separación de aguas conllevaría un estricto control para evitar la posible mezcla o confusión entre ambas.

Este concepto de separatividad, es de importancia relevante en nuestros días para evaluar sus ventajas e inconvenientes. El llevarlas a la práctica es un proceso puede ser lento, aunque tomando en cuenta el coste de potabilización y los impactos generados por las aguas de desecho, este será una realidad. En muchas poblaciones alrededor del mundo que ya sufren de escases de agua, la clasificación de las mismas permite que el riego y la limpieza se hagan con agua sin potabilizar. Este proceso se ha implementado ya hace varios años y pueden aplicarse paralelismos con el agua en las viviendas, puede deducirse que es mucho más sencilla su implementación.

Actualmente esta separatividad es inexistente y se sigue suministrando de agua de una sola calidad, apta para el consumo humano, la iniciativa menos extendida pero más real viene practicándose en algunos países europeos: la reutilización de las aguas procedentes de duchas, bañeras y lavamanos para ser empleadas en lavadoras, depósitos de inodoro y en algunos casos incluso para otras limpiezas domésticas. Estas son algunas características de esta reutilización:

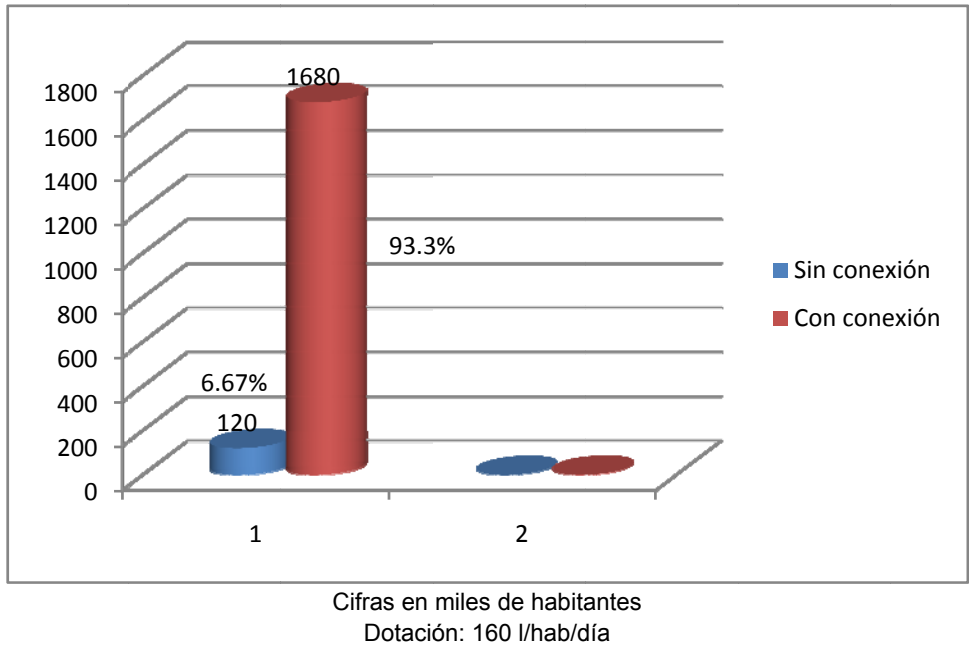
En primer lugar, las aguas procedentes de duchas, bañeras y lavamanos, son aguas sin contaminación de coliformes fecales y que suelen representar cerca de 40% del total del agua consumida en una casa. Actualmente al haber un solo circuito de desagües, estas se mezclan con las aguas negras procedentes de inodoros.

En el caso un edificio de viviendas en las que este tipo de aguas fuera recogido por un circuito independiente de desagüe y almacenadas en la parte más baja del edificio. En este lugar y con un mínimo tratamiento, podrían volver a ser bombeadas hacia cada una de las viviendas a través de una instalación (independiente de la del agua apta para consumo humano), que suministraría esta agua a las cisternas del inodoro y lavadora a coste cero para sus habitantes. En caso de así desearse, podría también suministrar agua a un grifo especial para toma de agua de limpieza de suelos o espacios susceptibles de poder aprovechar esta agua.

Esta decisión implica el doble circuito de desagües y suministro en el interior del edificio, convenientemente identificado para evitar posibles confusiones. Prácticamente la totalidad de estas instalaciones serían reaprovechables en el hipotético caso de una futura separatividad de aguas suministradas por las entidades potabilizadoras. Este tipo de proyecto es mucho más viable a corto plazo que el suministro de dos redes de agua independientes, provenientes de la red municipal, al depender casi exclusivamente de la propiedad del edificio. La legislación ni los reglamentos de los municipios consideran la separación de las aguas grises, como de obligado cumplimiento en algunas nuevas edificaciones, y generalmente los proyectos no incluyen el sistema de reutilización de aguas.

El agua ha sido tema de interés debido al papel vital que este recurso juega en la vida humana y su creciente escasez para abastecer los servicios requeridos. Como se puede ver en la Figura No. 7 se muestra la cobertura de agua potable en la Ciudad de Guatemala, específicamente en el área metropolitana, donde se observa que solo el 93.33 % tiene conexión mediante el servicio municipal.

FIGURA No. 7: Cobertura de agua potable domiciliar para la Ciudad de Guatemala. Año 2,000.



Fuente: CEPIS 2004.

En “El Reuso del Agua y sus Implicaciones”, García (1982), se señala que se ha incursionado en una fase de mayor alcance al enfocarse al reuso del agua. La razón es sencilla: el aumento en el uso de agua potable (agua con niveles de calidad para el consumo humano) para otros fines, por ejemplo, el riego de prados y jardines. En regiones en donde el agua es escasa, no es posible que se sigan desarrollando los centros urbanos, con el aumento en la actividad humana e industrial correspondiente, sin tener que recurrir a grandes inversiones en obra de infraestructura hidráulica para cubrir la demanda de una manera sustentable. Aparte de agotar todos los recursos tecnológicos a nuestro alcance para disminuir el uso de agua en el hogar y en las actividades comerciales e industriales, es necesario pensar en esquemas que permitan el buen uso del agua en las ciudades; es decir, reutilizar el agua, que de otra manera se convertiría en agua residual, tantas veces como sea posible mediante tratamientos adecuados. Con estos esquemas, que no son nuevos pero que hasta ahora han sido apenas desarrollados.

3.2. CONSUMO EFICIENTE Y REDUCCION DE LA CONTAMINACION

El ahorro de agua potable es fundamental para economizarla en cualquier comunidad. Sobre todo en zonas donde el servicio o suministro público de agua suele ser costoso y algunas veces irregular y de calidad variable. Como se puede observar en la Figura No. 8 se muestra los indicadores de la calidad del servicio del agua potable en la Ciudad de Guatemala, específicamente en el área metropolitana. Existen una serie de técnicas y tecnología muy sencilla para lograr ahorros importantes de agua, sin afectar la calidad de

vida de los consumidores. Una de las principales, es la que propone una medición eficiente del consumo en cada inmueble.

El empleo de electrodomésticos, grifería y sanitarios de bajo consumo puede generar un ahorro que puede oscilar entre un 25 - 40%. Estos elementos se hallan poco difundidos y deberían ser no sólo más conocidos, sino de instalación obligatoria, especialmente la grifería, que cuesta muy poco comparado con las utilizadas comúnmente y permite ahorros importantes (Agrodesierto, 1999).

FIGURA No. 8: Indicadores de la calidad de los servicios del agua potable para la Ciudad de Guatemala.

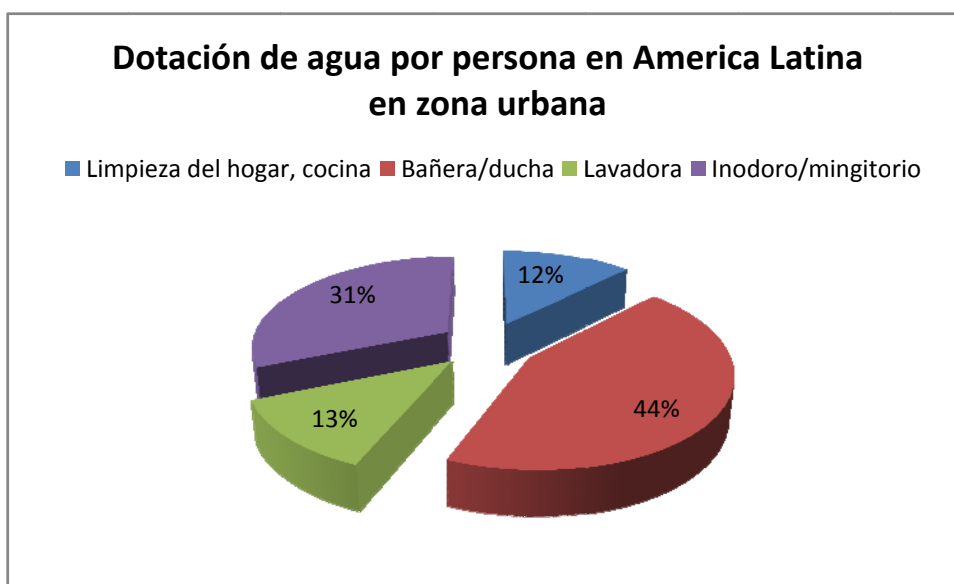
	Agua potable distribuida a través de la red: ➡ 290,000 m³/ día
	% de agua no contabilizada ➡ 43
	% de agua perdida por fugas ➡ 35
	Producción per cápita total ➡ 280 l/per cápita/ día
	% viviendas con medidores ➡ 95
	% medidores reemplazados en el año ➡ 8
	Calidad del agua potable: (<i>% de pruebas microbiológicas, químicas, físicas, estáticas que infringen normas nacionales / total pruebas</i>) ➡ n/d
	% agua potable a través de la red de distribución que se desinfecta efectivamente ➡ 100
	% de población servida por sistemas de distribución de agua potable intermitente ➡ 40
	Número típico de horas por día de suministro de agua potable ➡ 7

REF: CEPIS (2004)

3.3. ANALISIS DEL APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Es un método muy simple, pero requiere de previsión al momento de diseñar, rehabilitar o modificar un edificio, vivienda, o cualquier instalación. Una persona consume entre 20 m³ y 25 m³ cada año de agua potable en el tanque del inodoro. Hay muchas maneras de reutilizar una parte del agua del 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 utiliza, comúnmente, agua potable (ver Figura No.3), regularmente consume de 6 a 8 litros (depende del tipo de taza sanitaria utilizada). 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 (Ecoagua, 1999).

FIGURA No. 9: Consumo de agua en litros por persona y día en América Latina, zona urbana.



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 el tratamiento de las aguas procedentes de duchas, lavamanos y bañeras.

En países donde se ha iniciado el aprovechamiento de las aguas grises se han implementado métodos sencillos, generalmente para viviendas en la que el agua de lavamanos se emplea después de usada, en el tanque del inodoro, para estos casos se han diseñado artefactos sanitarios unidos como puede apreciarse en las siguientes fotografías.



Fotografía 1



Fotografía 2



Fotografía 3

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. 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 al segundo nivel o distribuirla en todo el nivel inferior.

Por lo tanto es imprescindible un depósito de almacenaje intermedio y un sistema que permita al tanque tomar agua limpia en caso de necesidad. Esto último se puede conseguir 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).



Figura 10. Separatividad de las aguas en una vivienda

El agua consumida por duchas, bañeras y lavadoras es canalizada hasta el depósito de aguas grises, situado en el lugar más idóneo del inmueble, este lugar sería una bodega o por falta de espacio podría ir enterrado en áreas verdes, parqueos, etc. 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 plomería. En caso de una reforma es necesario plantearse las posibilidades que ofrece la edificación para instalar los sistemas de reutilización de aguas grises.

Las aguas negras procedentes de inodoros, son conducidas a una planta de tratamiento, para luego pasar al drenaje municipal o 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.

3.4. USO DE AGUA RESIDUAL PARA RIEGO

La reutilización directa de aguas residuales depuradas, ha estado desarrollada en aquellos países con elevada capacidad tecnológica, escasez de agua y un nivel económico alto (Salgot, 1994).

Estas circunstancias se han dado principalmente en dos lugares, California (EUA) e Israel. Posteriormente también se desarrollaron en Arizona, Florida y otros estados de los EUA, en Japón y en los países árabes con potencial económico. Últimamente, en América Latina se está detectando un interés creciente por este recurso, afirma Salgot (1994). Las reutilizaciones más importantes son las que, por diferentes motivos consisten en la aplicación de agua residual depurada al suelo. La reutilización donde predominan criterios de riego, es decir, aquella en la cual el uso del agua se efectúa en función del agua residual depurada como agua de riego.

Como se puede observar en la Tabla No. 6, el agua residual depurada tiene diferentes aplicaciones de reutilización dependiendo del tipo de clasificación. En este caso la finalidad de la reutilización es aumentar el rendimiento aprovechando la materia orgánica y los nutrientes del agua residual.

TABLA 6: Tipos de reutilización del agua residual depurada.

Tipo de reutilización		Aplicaciones	
Usos urbanos	Sin restricciones (calidad máxima)	<ul style="list-style-type: none"> • Riego de zonas verdes • Otros usos 	<ul style="list-style-type: none"> • Parques urbanos • Jardines • Patios de escuela • Aire acondicionado • Fuentes ornamentales • Agua para incendios • Campos de deporte
	Riego en zonas de acceso restringido (control del uso)	<ul style="list-style-type: none"> • Riego en zonas en la que el acceso de público es poco frecuente y controlado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cementerio • Cinturones verdes • Áreas residenciales • Zonas verdes en vías de comunicación.
	Otros usos sin calidad máxima		<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de vehículos • Limpieza de calles • Tanque de inodoro • Construcción

Tipo de reutilización		Aplicaciones	
Riegos agrícolas	Consumo humano		<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos para consumo humano no procesados
	Cuidar que no se consumen o que se consumen después de procesarlos.		<ul style="list-style-type: none"> • Forrajes, pastos • Fibra • Viveros, semillas • Acuicultura • Biomasa vegetal
	Riego localizado superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de contacto con público y trabajadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin limitación de calidad para conreos aéreos.
	Riego localizado subterráneo.	<ul style="list-style-type: none"> • Sin posibilidades de contacto con público y trabajadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin limitación de calidad para conreos aéreos
Sin restricciones (calidad máxima)	<ul style="list-style-type: none"> • Con contacto agua/ usuario 	<ul style="list-style-type: none"> • Natación • Fabricación de nieve 	
Usos recreativos	Cuidado de uso	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades sin contacto 	<ul style="list-style-type: none"> • Campos de golf y pesca • Remo/ navegación
Mejora ambiental		<ul style="list-style-type: none"> • Creación de estanques • Creación de zonas húmedas • Mejora de paisajes 	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas húmedas para tratamientos • Recuperación/ mantenimiento de zonas húmedas • Implantación/ cambios de vegetación.
Recarga de aguas subterráneas.	Calidad de agua potable	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación en profundidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Recarga de acuíferos explotados para abastecimiento
	Otras calidades	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación en superficie • Aplicación en profundidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Lucha contra subsidencia • Lucha contra intrusión • Tratamiento de aguas residuales

Tipo de reutilización		Aplicaciones	
Ganadería	Calidad potable		<ul style="list-style-type: none"> • Agua de bebida
	Calidad no potable		<ul style="list-style-type: none"> • Limpiezas • Arrastre de residuos
Acuicultura animal			<ul style="list-style-type: none"> • cría de peces y moluscos
Reutilizaciones industriales		<ul style="list-style-type: none"> • Agua de proceso • Agua para limpieza/ lavado • Enfriamientos • Obras públicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Calderas • Agua para refrigeración • Agua para enfriamiento • Control del polvo • Compactación de suelos
Reutilización potable	Calidad potable	<ul style="list-style-type: none"> • Agua de abastecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro total • Mezcla con otras fuentes
	Concepto de barrera múltiple		

REF: Salgot (1994).

4. CLASIFICACION DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento para un proyecto específico, y revisada la reglamentación vigente, el grado de tratamiento necesario puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente, analizando las diferentes alternativas de evacuación o reutilización aplicables para obtener la combinación óptima. Es por ello que, llegados a este punto, parece conveniente hacer una revisión de la clasificación de los diferentes métodos empleados el tratamiento del agua residual, y considerar la aplicación de los diferentes métodos con el fin de alcanzar los objetivos establecidos para el proceso de tratamiento.

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y/o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios procesos biológicos unitarios. A pesar de que estas operaciones utilizan conjuntamente en los sistemas de tratamiento, se ha considerado ventajoso estudiar las bases científicas de cada uno de ellos por separado ya que los principios básicos son comunes.

Operaciones físicas unitarias

Los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerza se conocen como operaciones físicas unitarias. Puesto que la mayoría de métodos han

evolucionado directamente a partir de las primeras observaciones de la naturaleza por parte del hombre, fueron los primeros en ser aplicados al tratamiento de las aguas residuales. El desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración son operaciones unitarias típicas.

Procesos químicos unitarios

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios. Fenómenos como la precipitación, adsorción y la desinfección son ejemplos de los procesos de aplicación más común en el tratamiento de las aguas residuales. En la precipitación química, el tratamiento se lleva a cabo produciendo un precipitado que se recoge por sedimentación. En la mayoría de los casos, el precipitado sedimentado no sólo contendrá los constituyentes que puedan haber reaccionado con los productos químicos añadidos, sino que también estará compuesto por algunas sustancias arrastradas al fondo durante

la sedimentación del precipitado. La adsorción es un proceso mediante el cual se eliminan compuestos específicos de las aguas residuales sobre superficies sólidas basándose en las fuerzas de atracción entre cuerpos.

Procesos biológicos unitarios

Los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se conocen como procesos biológicos unitarios. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual, tanto en forma coloidal, como en disolución. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación. Los tratamientos biológicos también se emplean para eliminar nitrógeno contenido en el agua residual mediante un adecuado control del medio, el agua residual se puede tratar biológicamente en la mayoría de los casos. Por consiguiente, es responsabilidad del ingeniero asegurar la adecuación y el control efectivo del medio.

4.1. APLICACION DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO

Tratamiento del agua residual

Los procesos y operaciones unitarias se combinan y complementan para dar lugar a diversos niveles de tratamiento de las aguas. Históricamente, los términos "pretratamiento" y "primario" se referían a las operaciones físicas unitarias; el término "secundario" se refería a los procesos químicos o biológicos unitarios, y se conocía con el nombre de "tratamiento terciario" o "avanzado", a las combinaciones de los tres. No obstante, estos términos son arbitrarios y, en muchos casos, carecen de valor alguno. Un enfoque más racional consiste, en primera instancia, en establecer el nivel de eliminación de contaminantes (tratamiento) necesario para reutilizar o verter las aguas residuales al medio ambiente. A partir de momento, basándose en consideraciones posibles fundamentales, es posible agrupar las diferentes operaciones y procesos unitarios necesarios para alcanzar el tratamiento adecuado.

En la Tabla 7 aparecen los contaminantes más importantes de las aguas residuales junto con las operaciones y procesos unitarios que se pueden emplear para eliminarlos. En los siguientes párrafos se describe cómo llevar a cabo los diferentes procesos, operaciones y métodos para conseguir objetivos específicos.

TABLA 7

Operación unitaria, proceso unitario
Contaminante o sistema de tratamiento

Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón Ozonación terciaria Sistemas naturales
Metales pesados	Precipitación química Intercambio iónico Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico Osmosis inversa Electrodialisis

Pretratamiento de las aguas residuales

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como ejemplos de pretratamientos podemos citar el desbaste y dilaceración para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos. En este texto se diferencia el pretratamiento del pretratamiento industrial, en el que se tratan los constituyentes en sus fuentes de origen, antes de verterlos a la red de alcantarillado.

Tratamiento primario de las aguas residuales. En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. En el futuro, las plantas de tratamiento que sólo incluyen tratamiento primario irán quedando desfasadas, conforme se vayan implantando la reglamentación vigente en cuanto a la necesidad de disponer de tratamientos secundarios. Sólo en casos especiales (para aquellas comunidades a las que se dispense de disponer de tratamientos secundarios) se empleará los tratamientos primarios como único método de tratamiento. El principal papel del tratamiento primario continuará siendo el de previo al tratamiento secundario.

Tratamiento secundario convencional

El tratamiento secundario de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con fangos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación.

Control y eliminación de nutrientes

La eliminación y control de los nutrientes presentes en el agua residual es importante por diversas razones. Normalmente, es necesaria debido a (1) vertido a cuerpos de agua receptores confinados, en los que se pueda crear o acelerar los procesos de eutrofización; (2) vertidos a cursos de agua en los que la nitrificación pueda limitar los recursos de oxígeno o en los que puedan proliferar el arraigamiento de plantas acuáticas, y (3) recarga de aguas subterráneas que puedan ser usadas, indirectamente, para el abastecimiento público de agua. Los principales nutrientes contenidos en las aguas residuales son el nitrógeno y el fósforo, y su eliminación puede llevarse a cabo por procesos químicos, biológicos, o una combinación de ambos. En muchos casos, la eliminación de nutrientes se realiza en combinación con el tratamiento secundario; por ejemplo, se pueden añadir sales metálicas en los tanques de aireación para provocar la precipitación del fósforo en el proceso de decantación final, o se puede llevar a cabo un proceso de desnitrificación biológica como continuación de un proceso de fangos activados que produzca un efluente nitrificado.

Tratamiento avanzado y recuperación del agua residual

El término «tratamiento avanzado» tiene diversas definiciones. En el contexto de este libro, definiremos como tratamiento avanzado el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación, y sedimentación seguida de filtración y carbono activado. Para la eliminación de iones específicos y para la reducción de sólidos disueltos, se emplean métodos menos comunes, como el intercambio iónico o la ósmosis inversa. También se emplea el tratamiento avanzado para diversas posibilidades de inutilización de las aguas residuales para las cuales es preciso conseguir efluentes de alta calidad, como puede el caso del agua empleada para refrigeración industrial o para la recarga de aguas subterráneas. En términos de calidad del efluente, algunos procesos de tratamiento natural (antes llamado tratamiento en el terreno) pueden resultar equivalentes al tratamiento avanzado de las aguas residuales.

4.2. SELECCIÓN DE PROCESOS Y TRATAMIENTOS

El proyecto de las plantas de tratamiento es uno de los aspectos más sugestivos de la ingeniería ambiental. Tanto el conocimiento teórico, como la experiencia práctica son necesarios en la elección y análisis de los diagramas de flujo de procesos y flujo son representaciones gráficas de las combinaciones de las operaciones y los procesos unitarios que se emplean para alcanzar los objetivos específicos del tratamiento.

Necesidades del propietario

Un factor que a menudo se pasa por alto en la elección del proceso tratamiento son las necesidades del propietario. Estas pueden ser de diversa índole; razones de coste y facilidades de financiación del proyecto, posibilidad de explotación que requieran personal, preferencias en el tipo de procedencia basadas en la experiencia personal, preocupación por el desarrollo de proceso, y equipos de contrastada eficacia o por la innovación en los procesos, y las preocupaciones por los posibles impactos ambientales. Las necesidades del propietario son especialmente importantes en el caso de pequeñas comunidades, en las que no existe experiencia: previa alguna en la construcción y explotación de los sistemas de tratamiento.

Tanto para proyectos grandes como pequeños, es importante que el propietario y el ingeniero encargado del proyecto lleguen a un acuerdo total acerca de sus metas y objetivo individuales, de manera que se satisfagan las necesidades del propietario y que el proceso de tratamiento diseñado sea capaz de cumplir con las funciones básicas para las cuales ha sido concebido (p.e., cumplir con la normativa de vertidos optimizando la relación coste-efectividad y mitigando los impactos ambientales negativos).

Experiencia previa

Cada vez se presta mayor atención al rendimiento de las plantas de tratamiento y a su fiabilidad en el cumplimiento estricto de las cada vez más restrictiva en las limitaciones de los vertidos de aguas residuales. La experiencia previa en el proyecto y explotación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es importante en la selección del proceso de tratamiento de manera que conozca de manera realista las posibilidades y limitaciones de los diversos procesos. El trabajo con sistemas cuyos rendimientos son conocidos elimina muchas de las incertidumbres que se plantean en el proyecto de las instalaciones y evita los errores que se producen como consecuencia de un proyecto inadecuado. A partir de las plantas ya construidas y de su explotación, posible obtener información de sus rendimientos, problemas de mantenimiento, facilidad o dificultad en el control de los procesos, y de su capacidad de adaptación a la variación en las condiciones de trabajo. Debido a que no existe referencia histórica alguna sobre el funcionamiento de los sistemas innovadores, éstos deben ser analizados cuidadosamente mediante una serie de evaluaciones progresivas. Dado que el marco normativo es cada vez más exigentes importante analizar los riesgos asociados a cada uno de los procesos antes hacer la elección final.

Selección de los procesos

El análisis y la elección de los procesos de tratamiento es uno de los aspectos más interesantes del diseño de las plantas de tratamiento. Es preciso contar con cimientos teóricos y la experiencia práctica del ingeniero para evaluar diferentes alternativas. Los principales aspectos que hay que tener en cuenta en el análisis de los procesos de tratamiento se estudian detalladamente se incluyen los siguientes temas:

- Desarrollo del diagrama de procesos;
- Establecimiento de los criterios de proyecto de los procesos y dimensionamiento de las unidades de tratamiento;
- Preparación del proyecto
- Consideraciones relativas a la implantación de la instalaciones

Compatibilidad con las instalaciones existentes

Algo que no se debe pasar por alto en la ampliación y mejora del nivel de mejoramiento de las plantas de tratamiento es la compatibilidad con las unidades de proceso existentes. La introducción de una nueva unidad de proceso existente, comporta nuevas exigencias de explotación y una mayor capacidad del personal de la planta para abordar la explotación y mantenimiento de las unidades nuevas.

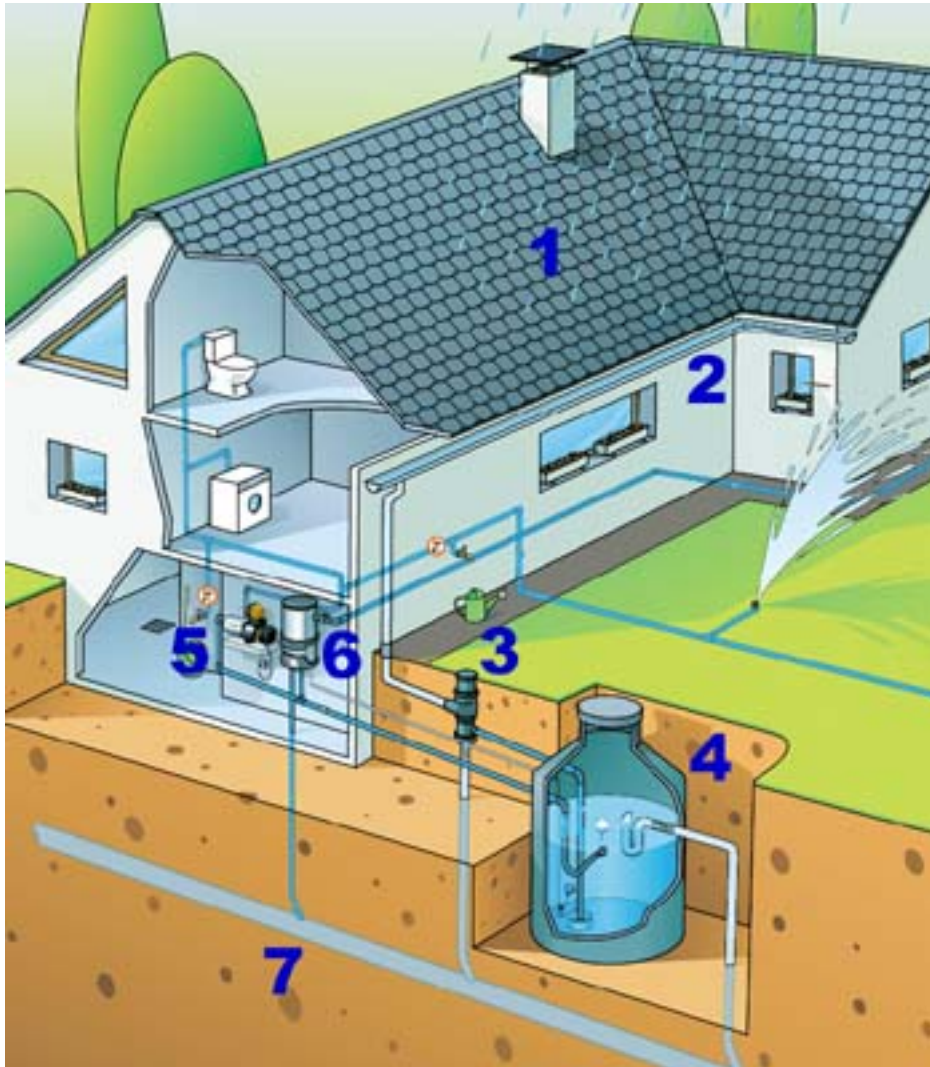
5. APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL

Para instalar un sistema de captación y utilización de agua de lluvia, previamente debe hacerse un análisis en el que se tengan en cuenta los factores que afectan directamente al sistema, como son la pluviometría de la zona, la existencia de fuentes adicionales de suministro y los consumos de agua para el aprovechamiento.

Realizar este análisis nos ayudará a ajustar el sistema de recogida de agua de lluvia a las necesidades concretas de cada inmueble, de manera que se pueda aprovechar el máximo de agua posible pero evitando sobredimensionar innecesariamente el sistema o que se quede corto por un mal cálculo de los consumos.

El estudio personalizado de aprovechamiento de agua de lluvia está principalmente destinado a determinar el tamaño óptimo del depósito de almacenamiento de aguas pluviales, ya que este es el componente del sistema que determina la cantidad de agua de lluvia que se podrá aprovechar. A su vez, este suele ser el elemento más caro del sistema, hecho que aún acentúa más la importancia de realizar este estudio. La figura 11 muestra un esquema de aprovechamiento

Figura 11: Esquema de aprovechamiento de agua pluvial



1. Captación por el techo del inmueble.
2. Canal de recolección.
3. Filtro de agua pluvial.
4. Tanque de captación.
5. Aparatos a los que se abastece de agua pluvial.
6. Bomba de distribución.
7. Tuberías de abastecimiento.

Dicho estudio tiene un coste razonable en función de su complejidad, siguiendo la siguiente línea metodológica:

1. Recolección de información sobre necesidades de agua del inmueble.
2. Estudio pluviométrico de la zona.
3. Desarrollo del cálculo del llenado-vaciado del depósito de aguas pluviales.

4. Definición de la demanda a satisfacer con el agua de lluvia (consumo de agua del inmueble).
5. Definición del volumen óptimo de aprovechamiento y propuesta de solución.

Recolección de información sobre necesidades de agua del inmueble.

Para ello, se realiza un análisis con toda la información posible relativa a localización, ocupación y consumo de agua de la vivienda, así como sobre los usos del agua y el espacio disponible para ubicar los equipos.

Estudio pluviométrico de la zona.

Para el cálculo de los recursos de lluvia se necesitan los datos de pluviometría de la localidad durante los últimos años. A partir de estos datos, se obtiene la precipitación media mensual, que se utiliza para conocer la estacionalidad de las lluvias y la cantidad máxima teórica de agua de lluvia que se puede captar en un año.

Desarrollo del cálculo del llenado-vaciado del depósito de aguas pluviales

Teniendo en cuenta las condiciones concretas de cada vivienda se desarrolla un modelo de cálculo particular que permite evaluar, en función del tamaño del depósito escogido, las siguientes variables:

- La cantidad de agua de lluvia recolectada (m³/año).
- La cantidad de agua de lluvia vertida (m³/año).
- La cantidad de agua de aporte externo necesaria (m³/año).
- La garantía volumétrica del sistema (%), es decir el porcentaje de agua satisfecho por agua de lluvia, respecto a la demanda de agua total.
- Los meses en que el sistema es capaz de suministrar el agua necesaria para abastecer el inmueble y los que requieren de un aporte externo de agua.

Definición de la demanda a satisfacer con el agua de lluvia (consumo de agua del inmueble). Estudio de consumo de agua del inmueble.

Para realizar el estudio del consumo de agua en la vivienda se tienen en cuenta las siguientes hipótesis de diseño:

- Los consumos habituales de la vivienda mes a mes, si se conoce el dato. En caso negativo, se consideran los consumos estimados de agua en los usos estándares en los que el agua de lluvia está indicada (cisternas de inodoro, lavadora y limpieza).
- El número de personas que habitan normalmente el inmueble, ocupación máxima y estacionalidad.

- Las necesidades de riego (si se va a realizar dicho consumo).
- La existencia de otros elementos que consuman agua.
- La existencia de un sistema de reutilización de aguas grises y otros sistemas ahorradores de agua.

Con estos datos se obtiene la demanda teórica de agua de la vivienda.

Una vez hecho estos pasos conoceremos de cuanta agua podremos disponer, cuanta vamos a consumir y decidir si va a ser suficiente, o lo que es más habitual, en qué medida va a complementar otras fuentes de suministro de agua como red municipal, pozo, etc.

Definición del volumen óptimo de aprovechamiento y propuesta de solución

Tras de analizar los datos obtenidos a través del modelo de vaciado y llenado del depósito se determina la capacidad óptima del depósito de almacenamiento de aguas pluviales, de manera que se logre alcanzar el máximo aprovechamiento de agua de lluvia posible con el mínimo coste.

6. ASPECTOS LEGALES EN LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.

6.1. SITUACIÓN INSTITUCIONAL RESPECTO A LA GESTIÓN DEL AGUA.

El agua es un bien esencial para el funcionamiento y desarrollo de los sistemas natural, social y económico. En este contexto, satisfacer las demandas humanas de agua (presentes y futuras) en condiciones armónicas con el entorno natural dependerá, en parte, de que se definan normas e instituciones (formales o informales), que establezcan el modelo de interacción entre los distintos componentes del sistema socioecológico. A partir de la segunda mitad de la década de los años ochenta surgen varios de los componentes del actual andamiaje legal e institucional en materia de ambiente. Tratar temas específicos relacionados con el agua (manejo, derechos de uso y aprovechamiento, y administración, entre otros) ha sido una tarea más difícil que discutir aspectos ambientales. Los diversos usos del agua están sujetos a regulaciones contenidas en leyes específicas para realizar alguna actividad económica relacionada (riego, abastecimiento de agua, generación de energía, otros) o aspectos ligados al agua (desastres naturales, servicios ambientales, entre otros), pero el sistema hídrico no está legislado como tal. El artículo 27 de la Constitución Política de la República se refiere particularmente al agua y especifica que “todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce se otorgan de la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia” (Gobierno de Guatemala, 1986). Aun así, a la fecha no ha sido aprobada ninguna propuesta de ley de aguas que, entre otras cosas, ordene la institucionalidad pública y privada. En consecuencia, la gestión del agua en Guatemala sigue ocurriendo en el marco de una participación amplia y heterogénea de actores que aprovechan los recursos hídricos sin coordinación alguna, y al margen de directrices de observancia general que persigan su manejo integrado. La reciente formación del Gabinete del Agua pretende coadyuvar al ordenamiento institucional en este tema. Reúne a los principales actores vinculados con este recurso por medio de seis líneas estratégicas: i) agua y desarrollo humano; ii) agua y desarrollo económico; iii) agua y ambiente; iv) agua y gobernabilidad; v) agua e información; y vi) agua y futuro. El Gabinete del Agua pretende alcanzar consensos entre las distintas instituciones para la gestión eficiente del agua. No obstante, aún se encuentra en una etapa incipiente. Es necesario hacer énfasis en la importancia de la institucionalidad y la legislación nacional en materia de recursos hídricos, pero también es necesario tener presente que la eficacia de los diferentes aspectos de la gestión integrada de recursos hídricos depende, en última instancia, de las dinámicas locales. Una institucionalidad fortalecida se erige sobre la base de esquemas locales de participación plena ciudadana (ver cuadro 2). La firma de los Acuerdos de Paz, la ratificación del Convenio 169 de la OIT ² y la reciente promulgación de un paquete de leyes orientadas a promover la participación ciudadana ³, son herramientas valiosas para incidir en la gestión de los recursos hídricos en el ámbito local.

2. Convenio de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes.

Cuadro 2 Aspectos Institucionales clave en la gestión del agua

Carrera (2008) evaluó el impacto de distintos aspectos institucionales en el desempeño del sector del agua en Guatemala. El estudio adapta un modelo econométrico utilizado anteriormente por el Banco Mundial (Saleth & Dinar, 2004) para determinar estadísticamente aquellos aspectos con mayor impacto en el desempeño del sector, relacionados con la legislación, la política y las entidades administradoras vinculadas al agua. El sector del agua está definido por todas las fuentes de agua, los usos que se hacen del recurso, y aspectos relacionados con la calidad, cantidad y el manejo de eventos hidrológicos naturales (sequías e inundaciones, por ejemplo).

Una de las características del modelo analítico es que supone que los distintos aspectos institucionales están vinculados entre sí. Así, por ejemplo, las políticas de recuperación de costos e inversión relacionadas con el agua están directamente afectadas por la definición de los derechos de propiedad/uso del agua, el grado de participación ciudadana en la gestión del recurso y la influencia de otras políticas (sociales, económicas y ambientales, por ejemplo). El modelo econométrico se basa en un sistema de ocho ecuaciones interrelacionadas y se evalúan 20 variables en total (8 dependientes y 12 independientes). La información utilizada en el modelo proviene de encuestas y entrevistas realizadas a expertos en los temas relacionados con los recursos hídricos.

Los resultados del estudio sugieren que los factores institucionales clave que afectan el desempeño del sector del agua en Guatemala giran alrededor de tres ejes principales. El primero, y aparentemente el más importante, tiene que ver con participación, descentralización y gestión local. Las variables relacionadas con estos factores resultaron ser estadísticamente significativas y afectan el desempeño del sector del agua de manera directa e indirecta (por medio de otras variables). Se debe destacar que estos aspectos aparecen como un factor clave en la mayoría de ámbitos institucionales relacionados con el sector.

El segundo eje importante es el relacionado con los aspectos financieros y económicos. La capacidad presupuestaria de los administradores y las políticas de recuperación de costos e inversión son elementos esenciales para el desarrollo y la sostenibilidad del sector. En este caso, la variable "Influencia de otras políticas en la política hídrica" también resultó ser estadísticamente significativa. Reflejó, en parte, el enfoque sectorial que se le da actualmente al tema del agua en Guatemala.

El tercer aspecto clave (con efectos directos) para el desempeño del sector agua resultó ser la disponibilidad de información relevante. Este aspecto resulta bastante evidente, ya que la información es esencial para la planificación eficiente y la gestión integrada del recurso.

Un hallazgo desconcertante es el hecho de que ninguna de las variables legales determina, desde el punto de vista estadístico, el desempeño del sector. Una posible explicación puede resultar del hecho de que el estudio se enfocó exclusivamente en las instituciones formales; sin embargo, las interacciones con el recurso agua responden más bien a dinámicas locales en las que las poblaciones suelen interactuar con los recursos hídricos según normas y reglas informales. Otra explicación puede ser el hecho de que la falta de armonía e integridad del marco legal del agua, sumado a los vacíos existentes en el mismo, hacen que no exista un efecto significativo de éste en el sector agua.

Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009

En la ruta hacia el manejo integrado de recursos hídricos ha habido avances significativos durante los últimos 20 años. Éstos son causa y efecto de que el "tema del agua" ocupe posiciones cada vez más relevantes en la lista de prioridades nacionales. Destacan, y pueden ser considerados como oportunidades, el tratamiento constitucional de la gestión del agua, la reciente emisión de reglamentos y normas orientadas a mejorar la gestión del recurso²⁵, la existencia de un Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas –dentro del cual se incluyen áreas con valor estratégico para el ciclo hidrológico–, el surgimiento y funcionamiento de autoridades de cuenca y los intentos de una ley de aguas.

6.2. ASPECTOS LEGALES

Resulta indispensable contar con un conocimiento amplio del ordenamiento jurídico que regula el sector y de todas aquellas normas que lo afectan de forma directa o indirecta. No es recomendable tomar medidas, desarrollar políticas y planes de acción, sin una concepción clara de la esfera legal que incide sobre el sector, pues todas estas labores podrían resultar inoperantes.

La existencia de regulaciones aparecidas en distintos períodos de la historia jurídica de Guatemala sobre aspectos que inciden en el sector, evidencia la naturaleza incompleta y desintegrada de esta legislación. En muchos casos, según se analizará, las normas aplicables a una materia se presentan en más de una ley; por otra parte, tópicos relativos a la propiedad, uso y administración de las aguas están tratados en distintas leyes, reglamentos y acuerdos ejecutivos, dando lugar a una superposición de normas que dificultan la eficiente gestión del sector.

Con el propósito de determinar la necesidad de revisar, crear o actualizar instrumentos legales para que sean compatibles con las demandas de desarrollo económico y social del sector, se presenta a continuación la actual normativa y un análisis de los aspectos críticos identificados. Por la diseminación de normas que rigen al sector, el análisis se hace bajo los temas de importancia -por ejemplo, dominio de las aguas, uso, administración, conservación, protección de fuentes y calidad del agua, sanciones-, incluyendo un listado de las disposiciones aplicables a cada tema cuando se estime apropiado.

6.3. DOMINIO DE LAS AGUAS

En el derecho comparado han existido tres sistemas de dominio de las aguas: público, privado y mixto. En Guatemala rige un sistema mixto.

Se mencionan a continuación las disposiciones que actualmente versan sobre la materia, así como otras de carácter general que deben tomarse en cuenta para el análisis de la superposición de normas y conflictos jurídicos derivados de la legislación fragmentada.

Constitución Política y Código Civil. La Constitución Política, que entró en vigencia en 1986, declara públicas todas las aguas; por su parte, el Código Civil contempla un régimen de propiedad privada sobre el recurso. En caso de conflicto entre las normas, debe resolverse a favor de las constitucionales porque la misma Constitución establece en su artículo 175 la anulación ipso iure de las leyes que la contraríen. No obstante, dado los principios constitucionales de irretroactividad de la ley y de garantía de la propiedad privada, las aguas bajo dominio privado continúan estando bajo tal régimen y sólo podrían trasladarse al patrimonio nacional mediante su expropiación. El modo de adquirir el derecho de aprovechamiento queda sujeto a una ley que deberá promulgarse, de conformidad con el artículo 127 de la Constitución; por su parte, las normas civiles sobre la adquisición del dominio han quedado derogadas o anuladas, de conformidad con el mandato constitucional contenido en el artículo 175.

Otras leyes con disposiciones sobre el dominio de las aguas. El Decreto 102-70 fija las atribuciones del Ministerio de Agricultura y lo faculta para conceder el uso y aprovechamiento del agua con fines agrícolas. Este sistema ha sido considerado

constitucional y se ha mantenido en ejercicio a través de dicho Ministerio, mediante la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento.

La Ley de Transformación Agraria también estipula normas relativas al dominio y las limitaciones con respecto al recurso, declarando obligatorio el otorgamiento de servidumbres de agua, paso y abrevadero para obras a las que se refiere esta ley, y declara afectables las aguas públicas o privadas que excedan las necesidades de los terrenos en que se empleen, para ser utilizadas para riego, usos domésticos, servicios e instalaciones para empresas agrícolas, riego de zonas forestales, industrias y otros.

6.4. USO DE LAS AGUAS

El aprovechamiento del agua distingue dos usos: a) el uso común, que se ejercita de manera directa sobre las fuentes para satisfacer necesidades humanas, sin uso de artefacto o equipo alguno, no produce alteración sensible sobre la calidad y cantidad, ni sobre el comportamiento de las fuentes; y b) el uso especial, que importa un beneficio económico o social concreto para su titular, se ejercita de manera exclusiva sobre determinados bienes hídricos, con destino y por plazos definidos, e implica efectos sobre la calidad, cantidad y comportamiento de las fuentes. Este uso incluye el doméstico, agrícola, energético, turístico y otros. El uso doméstico de aguas servidas está particularmente descrito y, de acuerdo con la Constitución, la satisfacción de las necesidades de agua potable es prioritaria ante cualquier otro uso.

Numerosas leyes que regulan distintas áreas del desarrollo nacional contienen normas relativas al uso de las aguas. Asimismo, existen disposiciones de carácter general contenidas en la legislación civil que son aplicables a la materia. Por ejemplo, el uso especial de las aguas requiere el otorgamiento formal de la autoridad, mediante concesión, permiso o autorización, creando derechos y deberes subjetivos a favor de su titular y excluyendo a otros de gozar de las aguas concedidas.

Código de Salud (Decreto 45-79, julio de 1979). Regula el uso doméstico, incluyendo entre sus disposiciones siguientes:

- Artículo 19: Encomienda al Ministerio de Salud el saneamiento del ambiente, mediante acciones orientadas a la disposición de excretas y aguas servidas, eliminación de basuras y otros desechos y el control de la contaminación del agua.

- Artículo 20: Con relación al agua potable, responsabiliza a las municipalidades de tender a las poblaciones urbanas, aldeas y caseríos

- Artículo 21: Establece que el Ministerio de Salud, por conducto de sus dependencias, debe promover las obras o construcciones destinadas a la provisión de agua potable a las poblaciones y, en especial, para satisfacer las necesidades de los núcleos familiares. Indica además que velará por su correcta operación y mantenimiento, teniendo facultades para exigir a los obligados a la desinfección de las aguas destinadas al consumo.

- Artículo 23: Señala que toda fuente natural que pueda servir para dotar de agua potable, sea esta de propiedad de particulares o de las municipalidades, se declara de utilidad

colectiva e interés público; para efectos de su expropiación, se procederá de conformidad con la ley de la materia.

- Artículo 26: Prohíbe las descargas de aguas servidas a ríos, lagos, lagunas y demás fuentes utilizadas para el servicio público y privado. La violación a esta disposición será sancionada de acuerdo con esta ley.

- Artículo 36: La descarga de desechos sólidos o líquidos de origen doméstico o industrial sólo pueden autorizarla los municipios si el proyecto de descarga se ajusta a las normas del Ministerio de Salud, y tiene dictamen favorable previo de la Dirección General de Servicios de Salud.

- Artículo 37: La Dirección General de Servicios de Salud ordenará a las industrias el tratamiento obligatorio de las aguas servidas contaminadas que sean nocivas a la salud humana y la construcción de instalaciones adecuadas para la disposición de excretas, conforme lo determine el reglamento respectivo.

- Artículo 41: Prohíbe arrojar al medio ambiente, suelo, aguas y aire, los desechos nocivos a la salud. El Ministerio de Salud y la Dirección General de Servicios de Salud podrán autorizar emisiones o vertidos previo tratamiento, en la forma que determine el reglamento respectivo.

- Art. 41: Prohíbe utilizar agua contaminada para el cultivo de vegetales alimenticios. Indica que el reglamento normalizará lo relativo a esta materia.

Otras entidades con funciones y competencia sobre el uso de las aguas. Ciertas actividades relativas al uso especial de las aguas han sido asignadas a distintas entidades nacionales y unidades ejecutoras, mediante sus respectivas leyes de creación; entre ellas, se cuentan el Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM), la Unidad Ejecutora de Proyectos (UNEPAR) y la División de Saneamiento del Medio del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Rural y varias ONGs como, por ejemplo, Agua del Pueblo.

A nivel municipal y departamental, las instituciones que participan en el sector son: Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), Unidad Ejecutora del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá, la Empresa Mariscal y diversas empresas de agua de lotificadoras privadas en la ciudad de Guatemala y su área de influencia.

6.5. ADMINISTRACIÓN DEL AGUA

En Guatemala, existen actualmente distintas entidades que, con diferentes rangos de jerarquía, tienen injerencia en la gestión del recurso agua con distinto nivel funcional y operativo. Entre ellos están los ministerios de Estado, las secretarías, las comisiones, los consejos, los entes descentralizados autónomos y semiautónomos, las municipalidades y el sector privado. Ninguna de dichas entidades tiene el control completo e integral del aprovechamiento, uso y conservación del agua; por el contrario, asumen sólo aspectos parciales, administrando dicho recurso en forma sectorial sin considerar criterios de planificación integral.

Hasta abril de 1992, el Ejecutivo no contaba con una unidad administrativa responsable de los aspectos generales de planificación, dirección, administración, coordinación, regulación, evaluación, control y registro del recurso hídrico. En esa fecha, se crea la Secretaría de Recursos Hidráulicos de la Presidencia por Acuerdo Gubernativo N° 238-92, como encargada de la administración del recurso hídrico nacional, mediante un régimen general de concesión de derechos de uso de agua; asimismo, la Secretaría tiene como función establecer una política coherente en materia del recurso agua. Sin embargo, ésta no actúa como ente rector porque no se ha definido claramente la competencia de las instituciones que actualmente ejercen el control sobre los recursos hídricos; además, la Secretaría no cuenta en la actualidad con el apoyo político necesario, ni con los recursos humanos, financieros, legales y técnicos suficientes para poder cumplir con las funciones que le asigna su acuerdo de creación.

Conservación, protección de fuentes y calidad del agua

Esta área comprende la protección de las aguas frente a las actividades del hombre. Las disposiciones aplicables pretenden detener el deterioro, pérdida o disminución no sólo de la calidad y cantidad del agua, sino también del resto de los recursos naturales. Asimismo, incluye la adopción de medidas de seguridad para proteger a las personas y sus bienes ante fenómenos hídricos naturales o artificiales. Las disposiciones sobre protección se refieren a la contaminación, sea esta generada por un usuario del agua o como consecuencia de vertimientos de residuos a las fuentes de agua. Las descargas se clasifican en dos tipos: la directa, vertida por la entidad generadora al cuerpo receptor de agua; la indirecta, vertida por entidades generadoras cuyos sistemas de afluentes se conectan al sistema público de alcantarillado.

Existen normas restrictivas en el Decreto del Ejecutivo, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 que limitan el vertimiento a las aguas de todo desecho sólido, líquido o gaseoso sin tratamiento previo, proveniente de cualquier actividad. Por su parte, la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, generó la promulgación del Reglamento de Requisitos Mínimos y Límites Máximos Permisibles de Contaminación para la Descarga de Aguas Servidas. Este Reglamento tiene por objeto establecer dichos límites de aguas procedentes de la industria, explotaciones agropecuarias y superficiales, subterráneas o costeras. Previo a dicha descarga, exige que se sometan a procesos purificadores para eliminar los efectos contaminantes.

El Reglamento estipula que, en el plazo de cada cuatro años, las municipalidades y las industrias del país deben reducir paulatinamente la contaminación de las aguas servidas. Además, indica que las aguas servidas serán descargadas únicamente después de la remoción adecuada de los lodos sedimentados y siempre que cumplan los límites establecidos; contempla los parámetros de mínimos y máximos; establece un sistema de control y monitoreo; indica que deben efectuarse de tres a cinco análisis por año para el examen de las aguas de desecho, de conformidad con los métodos establecidos por las normas guatemaltecas obligatorias (COGUANOR) o, en su defecto, de acuerdo con las normas centroamericanas (ICAITI) o las norteamericanas (APHA, AWWA y WPCF).

Por su parte, el Código de Salud prohíbe la descarga de albañales y de aguas servidas a las fuentes de aguas. Sin embargo, es importante recalcar que no se ha emitido el reglamento correspondiente que regule las aguas sanitariamente seguras. Otras

disposiciones aplicables a la materia son las contenidas en la Ley de Áreas Protegidas, el Código de Salud, el Código Penal, el Código Civil, la Ley de Minería y el Reglamento del Derecho de Vía.

Observaciones sobre el contexto legal

Las disposiciones legales relativas al recurso hídrico están incluidas en varias leyes, decretos y acuerdos. Esta fragmentación se relaciona con la falta de distinción entre las áreas de responsabilidad funcional y operativa de las entidades del gobierno que tiene a cargo la gestión de diferentes aspectos relativos a la materia. Por ejemplo, la administración y uso de las aguas se menciona en varias leyes creando dificultades prácticas para implementarlas y hacerlas cumplir. Es el caso de las normas que crean las diferentes instituciones y entidades gubernamentales que asignan facultades sobre dichos aspectos (por ejemplo, el Ministerio de Agricultura, las municipalidades y EMPAGUA), representando una dificultad práctica para la eficiente gestión del sector. Además, muchas normas son letra muerta porque las entidades responsables de aplicarlas carecen de mecanismos financieros, administrativos y operativos ágiles y flexibles. En términos generales, el cumplimiento de funciones o la prestación de servicios es ineficiente no por restricciones de tipo legal, sino por aspectos de índole presupuestaria y de gestión administrativa.

Por otra parte, las distintas épocas en que la legislación de Guatemala sobre la materia ha sido promulgada, evidencia en varios casos las prerrogativas otorgadas en función de intereses políticos, prerrogativas que tienden a reflejar las actitudes particulares de grupos de presión en la época en que la legislación se promulgó y que debieran ser revisados ahora a la luz de una creciente sensibilidad hacia el ambiente y el desarrollo sostenible.

Relación con otros sectores. Según quedó expuesto, existe relación del sector de agua potable y saneamiento con otros sectores. Tal es el caso de urbanismo, ambiente, salud, minería. Las leyes que regulan estos sectores contienen disposiciones aplicables al ámbito del sector agua que se superponen, pues en ellas se asignan competencias sobre la materia a las diferentes entidades encargadas de dichos sectores, creando conflictos que fomentan la desarticulación y fragmentación del sector agua potable y saneamiento. Aún cuando existen disposiciones legales que contemplan la coordinación extra-sectorial, como el acuerdo de creación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en la práctica esta coordinación no se da, por carecer dicha Secretaría de un poder de convocatoria adecuado.

Modernización del sector. Cabe mencionar que se está llevando a cabo un proyecto de modernización del sector salud que cuenta con préstamos del Banco Mundial y del BID. Sin embargo, no existe en la actualidad ningún proyecto de modernización que se esté efectuando en el sector agua potable y saneamiento.

Tras el análisis del desorden en el manejo del agua que se refleja en el marco legal vigente, se elaboró un proyecto de ley denominado Ley General de Aguas, presentado al Congreso el 18 de noviembre de 1992. La exposición de motivos indica que este proyecto tiene un doble propósito: convertir al agua en un factor positivo de desarrollo para alcanzar objetivos sociales y económicos de índole nacional y garantizar la satisfacción de las demandas sociales e individuales. En lo relativo a políticas, planificación, otorgamiento de derechos sobre obras hídricas y protección de las aguas, el proyecto innova su

operación y manejo, prestación de servicios, incentivos fiscales y protección de las aguas; otorga al usuario directo del agua el derecho y la obligación de proteger el recurso y de garantizar los intereses sociales e individuales a lo largo del proceso de reordenamiento del uso y conservación del agua.

Dicho proyecto comprende aspectos normativos y propone la creación del Instituto Nacional de Agua como ente especializado y descentralizado, facultado para ejercer las funciones y atribuciones que la ley le asigna al Estado, haciéndolo responsable de cumplir con las obligaciones impuestas a éste, compitiéndole todos los asuntos relacionados con el uso, manejo y conservación de las aguas y demás bienes hídricos. El proyecto también contempla la derogación de disposiciones que otorgan a otros entes públicos la facultad de conceder derechos de uso sobre aguas del dominio público, facultad que reserva exclusivamente para el Instituto.

Si bien el proyecto se ha presentado al Congreso Nacional, no existe la voluntad política para pasarlo por el proceso legislativo debido a los fuertes intereses económicos y políticos que se verían afectados si se promulgara la ley. La promulgación de esta ley, que vendría a resolver una serie de problemas legales e institucionales en aras de un uso y administración racional del recurso agua, cede una vez más ante grupos de presión que salvaguardan intereses particulares.

Aspectos técnicos. Si bien el Reglamento de Requisitos Mínimos y Límites Máximos Permisibles de Contaminación para la Descarga de Aguas Servidas remite al uso de normas para el control de la calidad, éstas no se aplican en la práctica. Tampoco existe un sistema de normalización coherente, que guarde relación con las especificaciones técnicas y las necesidades del sector para la aplicación de tales normas. Los instrumentos legales vigentes que regulan los mecanismos para preservar el recurso hídrico y para controlar la calidad del agua para el consumo humano, no son apropiados; las entidades con responsabilidad sobre el tema carecen de mecanismos de coordinación, control y seguimiento, haciendo obsoleta la mayoría de las disposiciones sobre dichos aspectos. Por lo tanto, se hace necesario llevar a cabo una estandarización de criterios técnicos y normas de calidad y codificar éstas bajo un sistema integrado y coherente con el objeto de facilitar su aplicación y hacer efectivo su cumplimiento.

Recomendaciones. Es indispensable definir e implementar los cambios profundos en la legislación, requeridos para reordenar el sector, de modo que las instituciones del Estado y la población misma logren satisfacer la demanda actual en todos sus aspectos (dominio, uso, administración, calidad, protección de las fuentes y cuencas hidrográficas, y cualesquiera otras que las necesidades del país determinen). Estos cambios deben efectuarse en el marco de las metas y objetivos de desarrollo del sector y demás políticas nacionales de desarrollo, de modo que no se repitan errores de superposición de normas, duplicidad de funciones y falta de mecanismos para el efectivo cumplimiento de las leyes, entre otros. Así, sectores como agricultura, industria, turismo y minería deberán ser dotados de los instrumentos legales que les permitan la articulación inter y extra-sectorial, de modo que sus esferas de acción no se contrapongan y causen conflictos y multiplicidad de competencias.

La administración del recurso agua debe contemplar regímenes de planificación, regulación, otorgamiento de derechos, protección, conservación y control integrados y coordinados. Todos estos aspectos deben contar con el marco legal apropiado que

permita hacer operativas cada una de las funciones indispensables para asegurar a la población el manejo y distribución adecuado de las aguas, de conformidad con modernas políticas de desarrollo económico y social sostenible. Deberá promulgarse una nueva legislación integral, para no dividir las responsabilidades dirigidas a su implementación y cumplimiento, llenar vacíos jurídicos, corregir portillos legales e inconsistencias, eliminar prerrogativas y hacer efectiva la aplicación de las sanciones a eventuales infractores.

Dado que en todo proceso tendiente a modernizar el Estado es imprescindible el esfuerzo de colaboración, es necesario concientizar y sensibilizar tanto a la población como a entidades gubernamentales sobre los aspectos relativos a la materia, tales como impactos ambientales y calidad del agua, así como sobre otros relativos a mecanismos de consulta, denuncia, derechos y obligaciones de los particulares, obligaciones de las dependencias estatales, entre otros. De lo expuesto, se deduce la necesidad de una ley cuyo proceso de promulgación contemple una cuidadosa y exhaustiva revisión de la legislación existente dentro del contexto de los objetivos y metas económicas, sociales y ambientales de la Nación: todo marco legal que se dicte con tal propósito deberá tener como meta hacer cumplir en la práctica sus disposiciones; de otra forma, el status quo no podrá superarse y la crítica situación actual sólo se verá agravada.

6.6. CONSIDERACIONES FINALES

En esta sección se ha mostrado el papel único que el agua juega para los distintos componentes del sistema socio-ecológico. El hecho de que el agua sea un recurso insustituible para los procesos ecológicos, económicos y sociales requiere que, tanto el Estado y todos sus estamentos, participen conjunta y responsablemente en la gestión del recurso. En cuanto a las políticas públicas del país, las prioridades en materia ambiental e hídrica debieran orientarse a propiciar la integridad de los ecosistemas, cuencas hidrográficas y otras instancias territoriales de importancia estratégica en el cumplimiento de funciones clave como la captación y el almacenamiento de agua, y la regulación del ciclo hidrológico. Los datos presentados plantean la necesidad de no sólo evitar la deforestación en estas áreas de interés nacional, sino de generar y poner en marcha iniciativas eficientes de recuperación y conservación, a fin de reducir las presiones existentes y potenciales sobre la tierra y el agua. En este sentido, se deben fomentar usos de la tierra compatibles con su capacidad, que a la vez representen opciones reales para los agricultores, tales como sistemas agroforestales. El agua es un bien esencial para alcanzar los objetivos de crecimiento económico del país. La demanda de agua por parte de los agentes económicos y sociales tiende a crecer, tal como lo hace la presión que causa el flujo de aguas residuales en el ambiente, producto de actividades económicas. Por ello, analizar la relación existente entre los bienes hídricos y la economía en función de eficiencia en el uso del recurso, promete ser una herramienta útil para incorporar aspectos relacionados con el agua al análisis de desempeño económico del país, y al planteamiento de metas de crecimiento con responsabilidad ambiental. Ante ello, surge el compromiso de promover métodos de riego más eficientes en la agricultura, nuevas y mejores tecnologías en el sector industrial y el reciclaje y tratamiento de las aguas residuales ⁴. La crisis energética mundial y las consideraciones ambientales en torno al consumo de combustibles fósiles, por otro lado, demandan que la generación de energía hidroeléctrica aumente su participación en la economía. La tendencia observada apunta

4. Por ejemplo, la Norma Guatemalteca Obligatoria para Agua Potable (COGUANOR NGO 29.001.98) y el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo número 236-2006).

en esa dirección y su promoción es de importancia estratégica. Finalmente, se esperaría que los avances futuros puedan ser atribuibles principalmente al creciente involucramiento de diversos grupos de la sociedad que, desde diversos enfoques e intereses, participen activamente en el debate para mejorar la gestión del agua, y emprendan acciones en respuesta a distintos problemas relacionados con este bien natural. La participación social se sitúa pues, en la base del progreso hacia una gestión integrada de los recursos hídricos del país.

7. METODOLOGIA

- Describir usos y aprovechamiento del agua potable en edificaciones, caracterizando las aguas de desecho
- Calcular y diseñar las instalaciones de forma separativa para captar las aguas grises para aprovechar las mismas.
- Captar y almacenar las aguas tratadas para su aprovechamiento, específicamente para ser utilizada en el inodoro y para lavado de ropa, automóvil y riego de jardines.

Sujetos

En esta investigación se va a proponer especificaciones para la reutilización de las aguas residuales domésticas en una edificación de apartamentos de varios niveles. Por lo que se propondrá la separación de las aguas negras, grises y pluviales, y con ello efectuar el sistema de aprovechamiento de las grises y pluviales.

Instrumentos

Para este trabajo de investigación, se utilizaron las diversas fuentes bibliográficas referentes al tema de instalaciones sanitarias y reutilización de aguas residuales, de manera que pueda hacerse la recopilación completa con diversas fuentes de información.

Procedimiento

Para realizar la presente investigación, y cumplir con los objetivos propuestos en la misma, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Investigación bibliográfica para la reutilización de las aguas residuales domésticas en edificaciones.
2. Recopilación de información y especificaciones escritas en las siguientes instituciones:
 - a. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS).
 - b. Organización Panamericana de Salud (OPS).
 - c. Instituto de Fomento Municipal (INFOM).

8. CONCLUSIONES

1. El agua apta para consumo humano es de alta calidad y que suele utilizarse para servicios que no exigen tal calidad (como la del inodoro, lavado de ropa y riego), por lo que es útil hacer consideraciones que permitan un uso más eficiente de acuerdo a la calidad del agua.
2. La inversión para la implementación del sistema de uso del agua gris tratada y pluvial, es en muchos casos práctica debido a que el sistema de reutilización propuesto, utiliza mano de obra, tecnología y materiales ya conocidos y utilizados en nuestro país.
3. Cualquier obra civil genera un impacto en el ambiente que debe minimizarse en lo posible y aspirar a crear desarrollo sostenible en la industria de la construcción, por lo que todo profesional involucrado en el tema está obligado a tomar el tema en cuenta.

9. RECOMENDACIONES

1. Es importante impulsar nuevas investigaciones y divulgar trabajos ya realizados relativos al tema para que la implementación de los mismos se popularise y puedan obtenerse los beneficios descritos.
2. Es necesario realizar un análisis de costos de un sistema tradicional contra un sistema de reutilización, y con ello poder conocer la diferencia que existe entre los sistemas y comparar el costo del agua ahorrada.
3. Al implementar este tipo de sistemas se debe de proponer e implementar igualmente la operación y mantenimiento respectivos; para garantizar la sostenibilidad del sistema y que no genere mayores problemas de los resueltos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- El agua en la Bioconstrucción, pluviales y grises. Jordi Lluís Huguet. Centre de Documentació de l'Aigua, Rector Triadó 13, 08014 Barcelona. jhuguet@auladelaigua.org Publicado en el boletín de la Asociación de Estudios Geobiológicos GEA, sept 2007.
- "Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda". Patricia Jamilette Kestler Rojas. Tesis de Ingeniería Civil Administrativa. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ingeniería. Octubre del 2004.
- Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009. Las señales Ambientales Críticas y Su Relación con el Desarrollo. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Universidad Rafael Landívar. 2009.
- Hacia un Desarrollo Urbano Sustentable, Problemas y criterios de solución. Jan Bazant S. Editorial Limusa S.A. de C.V. 2009.
- La reutilización planificada del agua para riego, Aspectos conceptuales, técnicos, reglamentarios y de gestión. Rafael Mujeriego .Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Universidad Politécnica de Cataluña. 2002
- Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Gerard Kiely. Editorial McGraw Hill. 1999.
- Biotecnología del Medio Ambiente. Principios y Aplicaciones. Bruce E. Rittmann, Penny L. Mc Carty. Mc Graw Hill. 2001.
- Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento y Reutilización. Metcalf & Eddy. Mc Graw Hill. 1999.
- Biblioteca de Instalaciones de Agua, Gas y Aire Acondicionado, Materiales, Cálculo de instalaciones. Ángel Luis Miranda. Grupo Editorial CEAC. 1996
- Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones. Hector Alfonso Rodríguez Díaz. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006.
- Evacuación de aguas residuales en edificios. Alberto Soriano Rull. Alfaomega Grupo Editorial S.A. 2007.

11. ANEXOS

11.1. MEMORIAS DESCRIPTIVAS DE CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS DEL EDIFICIO

1. Descripción General

El edificio constara de once niveles y tres sótanos. El inmueble albergara las instalaciones del Edificio de Apartamentos, oficinas, locales comerciales, y restaurante, para el cumplimiento de sus funciones habitacionales, con una ocupación media estimada de 755 personas diarias.

2. Abastecimiento de Agua

El sistema de provisión de agua potable será de tipo "POR GRAVEDAD". El edificio contará con dos fuentes de abastecimiento de agua; la red municipal existente y un pozo mecánico propio, de dichas fuentes se conducirá el agua hacia un tanque de almacenamiento bajo (cisterna) ubicado en el sótano tres. De este tanque se succionara el agua y se impulsara por medio de un sistema de bombeo para alimentar un segundo tanque de almacenamiento (tanque elevado) ubicado en la azotea de donde por gravedad descenderá el agua por medio de dos ramales de tubería vertical (dentro de un ducto central) para alimentar con derivaciones horizontales cada uno de los niveles, desde el nivel ocho al sótano uno, mientras que los niveles nueve al once será abastecidos por medio de un sistema hidroneumático, succionando del mismo tanque. El sistema hidráulico contara con los siguientes componentes.

2.2 Componentes

- a) Pozo mecánico propio. (proyectado)
- b) Acometida de agua potable desde el servicio municipal (existente)
- c) Acometida de agua potable desde pozo mecánico propio.
- d) Tanque de almacenamiento bajo (cisterna).
- e) Equipo de bombeo hidroneumático
- f) Tanque de almacenamiento elevado (Tanque elevado)
- g) Sistema por gravedad
- h) Equipo de bombeo hidroneumático
- i) Sistema contra incendios.
- j) Red de abastecimiento demanda normal.
- k) Red de abastecimiento demanda contra incendios.
- l) Accesorios varios.

2.3 Criterios de Diseño:

2.3.1 Dotación:

- Población de diseño 755 habitantes
- Dotación Apartamentos = 150 litros/habitante/día
- Dotación Restaurante = 35 litros/cliente/día
- Dotación Oficinas = 55 litros/empleador/día
- Dotación Gimnasio y Azotea = 40 litros/visitante/día.

2.3.2 Reserva de agua:

- Para 1-1/4 días

-

2.3.3 Caudal de demanda Instantáneo:

- Determinado por el método de "Roy B. Hunter".

Q = 6.54 litros/segundo

2.3.4 Presiones mínimas aceptadas:

- Servicio normal = 25 PSI en el artefacto mas alejado y mas elevado.
- Servicio contra incendios = 40 PSI en el gabinete mas alejado

2.3.5 Coeficiente de Hazen Williams:

- C = 150 para PVC
- C = 125 para HG

2.3.6 Determinación del consumo diario total.

120 habitantes x 150 litros/habitante/día
 325 clientes x 35 litros/cliente/día
 160 empleados x 55 litros/empleador/día
 150 visitantes x 40 litros/visitante/día

2.3.7 Consumo total = 44, 175 litros/día

2.3.8 Determinación del volumen de almacenamiento.

- Consumo total = 44,175 lts/día = 44-17 M3/día ~ 44M3/día
- Reserva 30% del consumo medio diario
- Volumen = Consumo mas reserva = 44 M3/día + 13.00 M3 = 57.00M3

Volumen = 57.00 M3 + 10.00 M3 (reserva contra incendios)

Volumen total requerido = 67.00 M3

2.4 Pozo Mecánico propio (proyectado) Las características del pozo serán las siguientes:

- Caudal requerido: para calcular este caudal se determinó un consumo total de 44,175 lts/día. Y un tiempo de bombeo de 8 horas.

$Q = 44,175 \text{ litros} = 24.31 \text{ GPM (Galones por minuto)}$

$8 \times 60 \times 3.785$

$Q_{\text{día máximo}} = 37 \text{ GPM}$

- Profundidad estimada = correspondiente al nivel freático.

2.4.1 Acometida de agua potable desde el servicio municipal:

La acometida será con tubería de PVC de 250 psi con diámetro de 2" provista de contador y accesorios para abastecer el tanque cisterna ubicado en el sótano tres.

2.4.2 Tanque de almacenamiento bajo (cisterna) Agua potable:

Volumen efectivo de 67.00 M3 con dimensiones de 5.00 x 5.00 x 2.68 mts. Estará ubicado enterrado en el sótano tres. Será de concreto reforzado con un aditivo integral para garantizar la impermeabilidad. Deberá ponerse especial cuidado al paso de tuberías a través de sus paredes sobre todo aquellos pasos que son sumergidos para garantizar que sean estancos.

2.4.3 Tanque de almacenamiento elevado (tanque elevado) Agua potable:

Será un tanque con volumen de 30 M3 con dimensiones de 3.00 x 4.50 x 2.23 que incluye la reserva contra incendios de 10 M3, estará ubicado en la azotea. Aplican las mismas recomendaciones constructivas dadas para el tanque cisterna.

2.4.4 Tanque de almacenamiento bajo (cisterna) Agua gris tratada más pluvial:

Volumen efectivo de 174.00 M3 con dimensiones de 9.33 x 9.33 x 2.00 mts. Estará ubicado enterrado en el sótano tres. Será de concreto reforzado con un aditivo integral para garantizar la impermeabilidad. Deberá ponerse especial cuidado al paso de tuberías a través de sus paredes sobre todo aquellos pasos que son sumergidos para garantizar que sean estancos. Abastecerá a servicios sanitarios y

riego para áreas verdes.

2.4.5 Tanque de almacenamiento elevado (tanque elevado) Agua gris tratada más pluvial:

Será un tanque con volumen de 20 M3 con dimensiones de 3.00 x 4.00 x 1.70, estará ubicado en la azotea. Aplican las mismas recomendaciones constructivas dadas para el tanque cisterna

2.4.6 Equipo de bombeo para llenado de tanque elevado agua potable:

Consistirá de dos bombas centrifugas colocadas en paralelo, que funcionando alternamente deberán proveer un caudal estimado 37 GPM para una altura de 62 metros. La potencia estimada es de 3.5 HP, cada bomba. La tubería de alimentación será de 1" PVC.

2.4.7 Equipo de bombeo para llenado de tanque elevado agua gris más pluvial:

Consistirá de dos bombas centrifugas colocadas en paralelo, que funcionando alternamente deberán proveer un caudal estimado 23 GPM para una altura de 61 metros. La potencia estimada es de 2.00 HP, cada bomba. La tubería de alimentación será de 3/4" PVC.

2.4.8 Equipo de bombeo hidroneumático:

Debido a que el abastecimiento de agua es del tipo "por bombeo" se recomienda proveer el agua al edificio, a través de un sistema de bombeo hidroneumático ubicado en el cuarto de maquinas de la azotea, el sistema estará constituido por dos bombas funcionando alternamente, que deben cumplir los siguientes requerimientos.

- Caudal = 7.43 GPM
- Potencia estimada 0.5 HP cada bomba
- Altura de bombeo 12.50 metros
- Rango de presión 60 – 80 PSI
- Dos tanques hidroneumáticos STA – RITE CA-220 de 30 galones cada uno.

Nota:

El arranque y parada de los equipos de bombeo será automático utilizando electroniveles y Switch de presión adecuadamente situados y calibrados.

2.4.9 Cálculo de unidades Hunter para determinar caudal: Para calcular el caudal se tomaron como base las siguientes tablas.

Cuadro 2.1

Cuadro de Unidades Hunter de demanda por artefacto.

ARTEFACTO DE USO PUBLICO	UNIDADES HUNTER (DEMANDA)
Inodoro de tanque	5
Lava manos	4
Ducha	4
Lavatrastos	3
Minijtorio	2
ARTEFACTO DE USO PRIVADO	UNIDADES HUNTER (DEMANDA)
Inodoro de tanque	3
Lava manos	1
Ducha	2
Jacuzzi	2
Pila	3
Grifo	1
Lavadora	3
Lavatrastos	2

Cuadro 2.2
Tabla resumen de Unidades Hunter para el edificio

NIVEL	UNIDADES HUNTER PARCIAL	UNIDADES HUNTER ACUMULADA
Nivel 11	26	758
Nivel 10	46	732
Nivel 8 al 9	455	686
Nivel 4	102	231
Nivel 3	28	129
Nivel 2	28	101
Planta baja	59	73
Sótano 1	14	14

Cuadro 2.3
Memoria Técnica de Cálculos Hidráulicos
Red de Agua Fría Sótano 1

Tramo	No. Aparatos Sanitarios	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Plg	Diam Nominal Plg	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	4	16	0.78237002	0.87707798	1	0.03036	1.0814437
B-C	4	16	0.78237002	0.87707798	1	0.03036	1.0814437
C-D	4	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02362	0.69427324
C-E	2	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02362	0.69427324
C-F	2	8	0.48579616	0.69112904	3/4	0.02362	1.11812034
F-H	1	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02362	0.69427324
F-G	1	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02362	0.69427324

Red de Agua Fría Planta Baja

Tramo	No. Aparatos Sanitarios	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Plg	Diam Nominal Plg	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	0	23	1.00407835	0.99360989	1	0.03035	1.38790364
B-C	0	14	0.71374444	0.83772885	1	0.03035	0.98658487
C-D	5	14	0.71374444	0.83772885	1	0.03352	1.64277168
D-E	3	3	0.24751446	0.49332417	1/2	0.0182	0.95140823
D-F	5	11	0.50469513	0.77108223	3/4	0.02352	1.39179341
F-G	1	3	0.24751446	0.49332417	1/2	0.0182	0.95140823
F-H	4	8	0.48579516	0.69112904	3/4	0.02352	1.11812034
H-I	0	0	0	0	0	0.04455	0
H-J	4	8	0.48579516	0.69112904	3/4	0.02352	1.11812034
J-K	0	0	0	0	0	0.04455	0
J-L	2	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02352	0.69427324
L-N	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
L-M	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
M-O	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
J-T	2	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02352	0.69427324
T-U	0	0	0	0	0	0.04455	0
T-R	2	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02352	0.69427324
R-P	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
R-S	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
S-Q	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
T-V	0	0	0	0	0	0.04455	0
V-W	0	0	0	0	0	0.04455	0
V-X	0	0	0	0	0	0.04455	0
X-Y	0	0	0	0	0	0.04455	0
B-A4	2	9	0.52677049	0.71968562	3/4	0.02352	1.21242786
A4-A5	2	9	0.52677049	0.71968562	3/4	0.02352	1.21242786
A6-A7	1	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02352	0.69427324
A5-A9	2	5	0.35185888	0.58802105	3/4	0.02352	0.80938569
A9-A10	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
A9-A12	1	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.0182	1.15947739

Red de Agua Fría Planta Segundo y Tercer Nivel

Tramo	No. Aparatos Sanitarios	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Plg	Diam Nominal Plg	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	5	14	0.71374444	0.83772885	1	0.03035	0.98658487
B-C	5	14	0.71374444	0.83772885	1	0.03035	0.98658487
C-D	2	4	0.30164488	0.544603068	3/4	0.02352	0.69427324
C-M	3	10	0.66634323	0.746228723	3/4	0.02352	1.30350945
D-E	2	4	0.30164488	0.544603068	3/4	0.02352	0.69427324
E-F	1	2	0.18730003	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
E-G	1	2	0.18730003	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
M-N	2	4	0.30164488	0.544603068	3/4	0.02352	0.69427324
N-O	2	4	0.30164488	0.544603068	3/4	0.02352	0.69427324
O-P	1	2	0.18730003	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
O-Q	1	2	0.18730003	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
M-W	1	6	0.39861965	0.626053509	3/4	0.02352	0.91747274

Red de Agua fría
CUATRO APARTAMENTOS POR NIVEL
APARTAMENTO TIPO I

Tramo	No. Aparatos Sanitarios	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Plg	Diam Nominal Plg	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	20	25	1.06331875	1.02250123	1	0.03035	1.46979964
B-C	8	10	0.56634323	0.74622872	3/4	0.02352	1.30350945
C-D	3	4	0.30164468	0.54460307	3/4	0.02352	0.69427324
D-E	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
D-F	2	3	0.24751446	0.49332417	1/2	0.0182	0.95140823
F-G	1	0	0	0	0	0.02352	0
L1-F	3	3	0.24751446	0.49332417	1/2	0.0182	0.95140823
L1-L	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
L1-M1	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
I-H	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
I-J	1	0	0	0	0	0.02352	0
Q-K	3	5	0.35165888	0.58802109	3/4	0.02352	0.80239599
K-L	1	3	0.24751446	0.49332417	1/2	0.0182	0.95140823
K-N	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
B-O	8	12	0.64197305	0.79449338	1	0.03035	0.88737775
O-P	3	3	0.24751446	0.49332417	1/2	0.0182	0.95140823
P-Q	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
P-N1	2	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
N1-R	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
N1-S	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
O-T	8	12	0.64197305	0.79449338	3/4	0.02352	1.47759097
T-U	4	3	0.24751446	0.49332417	1/2	0.02352	0.56968534
U-V	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
W-Y	2	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
Y-A1	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
T-B1	5	8	0.48579516	0.69112904	3/4	0.02352	1.11812034
B1-C1	2	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
C1-D1	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
B1-F1	3	6	0.39861965	0.62605351	3/4	0.02352	0.91747274
F1-G1	2	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
G1-H1	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
G1-J1	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
F1-K1	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303

APARTAMENTO TIPO II

Tramo	No. Aparatos Sanitarios	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Plg	Diam Nominal Plg	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	6	11	0.604596125	0.771082234	1	0.03035	0.83585106
B-C	5	5	0.35165888	0.58802109	3/4	0.0182	1.55172387
C-D	1	2	0.187300026	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
C-E	2	3	0.247514461	0.493324169	1/2	0.0182	0.95140823
E-G	1	1	0.1163	0.338159787	1/2	0.0182	0.44703965
N-M	1	2	0.187300026	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
K-M	1	2	0.187300026	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
J-I	1	2	0.187300026	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
I-K	2	6	0.398619646	0.626053509	3/4	0.02352	0.91747274
H-I	2	6	0.398619646	0.626053509	3/4	0.02352	0.91747274
J-H	1	2	0.187300026	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303
B-H	3	9	0.626770493	0.719685618	3/4	0.02352	1.21242786
E-O	1	2	0.187300026	0.429142002	1/2	0.0182	0.71995303

APARTAMENTO TIPO III

Tramo	No. Aparatos Sanitarios	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Pig	Diam Nominal Pig	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	3	12	0.64197309	0.79449338	1	0.03035	0.88737776
B-C	3	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02352	0.69427324
C-E	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
E-F	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
C-G	2	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
G-H	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
H-G	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
I-J	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
B-K	3	8	0.48579616	0.69112904	3/4	0.02352	1.11812034
K-L	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
K-M	2	5	0.35165888	0.58802109	3/4	0.02352	0.80938669
M-N	2	4	0.30164488	0.54460307	3/4	0.02352	0.69427324
N-P	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
N-O	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303
Q-R	1	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
Q-B	2	1	0.1163	0.33815979	1/2	0.0182	0.44703965
M-S	1	2	0.18730003	0.429142	1/2	0.0182	0.71995303

APARTAMENTO TIPO IV

Tramo	No. Aparatos Sanitarios	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Pig	Diam Nominal Pig	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	13	14	0.71430975	0.838060541	1	0.03035	0.98736628
B-C	6	7	0.44344335	0.660315022	3/4	0.02352	1.02064007
C-D	2	3	0.24759606	0.493405471	1/2	0.0182	0.95172185
A1-F	1	1	0.1163	0.338159787	1/2	0.0182	0.44703965
A1-G	1	2	0.18733898	0.429186623	1/2	0.0182	0.72010276
C-H	2	4	0.30177036	0.544716327	3/4	0.02352	0.69456204
J-H	2	4	0.30177036	0.544716327	3/4	0.02352	0.69456204
J-K	1	2	0.18733898	0.429186623	1/2	0.0182	0.72010276
J-L	1	2	0.18733898	0.429186623	1/2	0.0182	0.72010276
L-M	1	2	0.18733898	0.429186623	1/2	0.0182	0.72010276
B-N	7	9	0.52711784	0.719922854	3/4	0.02352	1.21322732
B-P	6	7	0.44344335	0.660315022	3/4	0.02352	1.02064007
P-Q	1	1	0.1163	0.338159787	1/2	0.0182	0.44703965
P-R	5	6	0.39883397	0.626221792	3/4	0.02352	0.91795604
R-S	1	2	0.18733898	0.429186623	1/2	0.0182	0.72010276
R-T	3	4	0.30177036	0.544716327	3/4	0.02352	0.69456204
T-U	1	2	0.18733898	0.429186623	1/2	0.0182	0.72010276
T-V	2	2	0.18733898	0.429186623	1/2	0.02352	0.43118398
V-W	1	1	0.1163	0.338159787	1/2	0.0182	0.44703965
V-X	1	1	0.1163	0.338159787	1/2	0.0182	0.44703965
X-Y	1	1	0.1163	0.338159787	1/2	0.0182	0.44703965

Montante red Contra Incendios

Tramo	Unidades de Consumo	Unidades de Consumo	Q maximo probable (l/s)	Diam Min Pig	Diam Nominal Pig	Diam Efectivo mts	Velocidad real (m/s)
A-B	8	96	4.17938825	2.02715718	2	0.0557	1.71517861
B-C	8	88	4.04203278	1.99357243	2	0.0557	1.65881725
C-D	8	80	3.8967724	1.95742272	2	0.0557	1.59920358
D-E	8	72	3.74226178	1.91822341	2	0.0557	1.53793368
E-F	8	64	3.57677478	1.87632087	2	0.0557	1.46797917
F-G	8	56	3.39799462	1.82796219	2	0.0557	1.39450925
G-H	8	48	3.20269116	1.77455582	2	0.0557	1.31435848
H-I	8	40	2.98613558	1.71351087	2	0.0557	1.22549566
I-J	8	32	2.74091821	1.64154833	2	0.0557	1.12485046
J-K	8	24	2.45425463	1.55343078	2	0.0557	1.00720602
K-L	8	16	2.10039298	1.43708476	1 1/2	0.04455	1.34745492
L-M	8	8	1.8095521	1.25801154	1 1/2	0.04455	1.03256815

2.4.10 Sistema contra incendios: El sistema será de tipo “Gabinete con manguera y extintor móvil”, de tubería húmeda, con presión mínima constante para detección de flujo y accionamiento automático del sistema de bombeo. La reserva de agua contra incendios estará en el tanque bajo, del cual se proveerá agua a cada uno de los gabinetes, por bombeo, ubicándose la correspondiente bomba inmediatamente abajo del tanque bajo. El sistema constara de los siguientes componentes:

Almacenamiento: Esta es una reserva de agua de 10 M3 que deberá permanecer siempre disponible en el tanque bajo, para la eventualidad de un incendio.

2.4.11 Sistema de bombeo: Consiste en una bomba centrífuga, que debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Caudal = 50.00 GPM
- Potencia estimada 4.00 HP
- Altura de bombeo 203.42 pies
- Un tanque hidroneumático STA-RITE CA-42 de 6 galones

2.4.12 Red de abastecimiento demanda normal: Son dos tuberías una de Ø 3", y la otra de Ø 2" la primera que inicia en el tanque bajo sistema de bombeo y la otra que inicia en el tanque elevado por gravedad, y que proveerán agua a cada uno de los puntos de consumo en cada nivel, en cada derivación deberán dotarse de válvulas de compuerta para controlar a conveniencia el flujo. La tubería de esta red será PVC clase 250 PSI.

2.4.13 Red de Abastecimiento demanda contra incendios: Será del tipo ramal único de extremos muertos, que iniciando en el sistema de bombeo remata en cada uno de los gabinetes contra incendio.

Tubería de conducción será de hierro galvanizado, diámetro de 2" y 1 1/2", tipo liviano, no deberá existir ninguna válvula de accionamiento manual entre el tanque y cualquiera de los gabinetes que alimenta, excepto la que controla cada gabinete en particular.

Gabinetes con manguera y extintor móvil: en cada piso se proveerá de un gabinete de 100 pies de largo y diámetro de 1 pulgada, con pitón ajustable de tres pasos (chorro directo, neblina y stop), para una presión de servicio de 150 lbs/plg² y extintor móvil (de acción manual), con carga de "polvo químico", para fuegos tipo A, B y C de 20 libras de capacidad mínima.

INSTALACIÓN DE DRENAJES

2.5 Drenaje de Aguas residuales

2.5.1 Descripción básica: Estas instalaciones se circunscriben a la captación, evacuación y tratamiento de dichas aguas, lo cual se lograra por medio de un sistema de drenaje separativo al interior del edificio y luego de ser tratado conectando hacia la conexión municipal.

2.5.2 Criterios de diseño:

a) Los diámetros de tubería se calcularon con base a los caudales calculados por medio del método "Unidades de descarga de Roy B. Hunter", el cual asigna un peso de descarga (unidades Hunter) a los diferentes artefactos sanitarios.

b) La pendiente mínima de la tubería será de 1%.

c) El material de la tubería es:

- PVC 160 PSI, cuando este dentro del área construida.
- PVC norma 3034, cuando este fuera del área construida.

2.5.3 Bajadas de agua negra: serán tuberías de PVC clase 160 PSI (SDR 26), que se proyectaran a lo largo de toda la altura del edificio dentro de ductos, recibiendo el efluente de los artefactos en los diferentes niveles. Para calcular las unidades Hunter, se toma como base los siguientes datos.

Cuadro 2.4
Cuadro de Unidades Hunter de descarga por artefactos.

ARTEFACTO DE USO PUBLICO	UNIDADES HUNTER (DEMANDA)
Inodoro de tanque	5
Lava manos	4
Ducha	4
Lavatrastos	3
Mingitorio	2
ARTEFACTO DE USO PRIVADO	UNIDADES HUNTER (DEMANDA)
Inodoro de tanque	3
Lava manos	1
Ducha	2
Jacuzzi	2
Pila	3
Grifo	1
Lavadora	3
Lavatrastos	2

Cuadro 2.5
Resumen de Unidades Hunter

NIVEL	UNIDADES HUNTER PARCIAL	UNIDADES HUNTER ACUMULADA
Nivel 11	26	758
Nivel 10	46	732
Nivel 6 al 9	455	686
Nivel 4	102	231
Nivel 3	28	129
Nivel 2	28	101
Planta Baja	59	73
Sótano 1	14	14

El diámetro de las bajadas varía conforme a las unidades Hunter acumuladas por nivel, y el diámetro de la tubería se selecciona de acuerdo con la capacidad indicada en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.6

CAPACIDAD DE TUBERÍAS EN UNIDADES HUNTER	
Ø	VERTICALES (BAN)
3"	60
4"	500
6"	1900
8"	3,000

Nota:

* No se permiten más de 6 inodoros, lo cual obliga a subir el diámetro a 4" aunque las unidades Hunter no lo demanden.

2.5.4 Ventilaciones: Estas son tuberías que tienen como propósito mantener dentro de la red de aguas servidas variaciones de presión mínimas respecto a la presión atmosférica, evitando así la pérdida del sello hidráulico en los sifones de los diferentes artefactos, fundamentalmente son dos tipos:

2.5.5 Montante de Ventilación: Es una tubería vertical que se desplaza paralelamente a la bajada de agua servida sin variación de su diámetro conectándose a dicha bajada en sus dos extremos, y al mismo tiempo recibiendo en cada piso la conexión del ramal de ventilación horizontal correspondiente a cada batería de artefactos sanitarios. El "Montante de ventilación" cumple la función de proteger los sifones de los artefactos por eventual vacío o sobrepresión causado por el caudal acumulado en la bajada de aguas servidas.

Ventilación para evitar el autosifonamiento: Cada batería de artefactos sanitarios además de su red de drenaje, contará con otra red de tuberías que hará la función de ventilación para evitar la pérdida del sello hidráulico en los sifones por el flujo de agua causado por ellos mismos (autosifonamiento); esta red de ventilación debe ir en el techo del nivel que sirve.

Si se coloca en el piso corre el riesgo de taponarse al servir como vía alterna para el drenaje al momento de generarse una obstrucción en dicho drenaje; por lo cual cualquier ramal horizontal de ventilación debe estar arriba de 0.90 metros medidos a partir del nivel del piso terminado que es nivel de rebalse del artefacto mas elevado (lavamanos). El criterio que se empleo para el diseño es el llamado “ventilación húmeda”, que consiste en dimensionar los ramales horizontales del drenaje para dejar espacio en la media sección superior de la tubería que permita

la libre circulación del aire, cuando busque igualarse a la presión atmosférica. Toda la tubería de ventilación será también PVC clase 160 PSI (SDR 26).

2.5.6 Red Colectora de Agua Servida: Será tal que como su nombre lo indica, recibirá el afluente proveniente de los artefactos sanitarios por medio de bajadas y ramales horizontales de cada piso. Dichas redes estarán colgadas del techo del sótano y se conectarán a una planta de tratamiento de lodos activados que tratara el caudal proveniente del edificio, para desfogar finalmente en el colector municipal. El material de la red colectora será PVC norma 3034 y pendiente mínima de 1%.

Tamaño de Ramales y Bajantes

Diámetro (Pulgadas)	Unidades de Descarga	
	Por Ramal	Por Bajante
1 1/2"	1	2
1 3/4"	3	4
2"	6	10
3"	32	48
4"	160	240
5"	360	540
6"	640	960
8"	1200	2240
10"	1800	3780

Cálculo de las descargas de agua servida por medio del método de Unidades de Hunter: El diámetro de las descargas provenientes del edificio se determino en base al total de Unidades Hunter.

Descarga de agua negra: Para esta descarga se calcularon 758 Unidades Hunter, la cual requiere un tubo de 6".

Cálculo del desfogue final por medio del método de dotación: Para determinar el diámetro del desfogue se calculo el caudal conducido de la siguiente manera:

$$Q \text{ (caudal)} = (\text{Consumo total} \times 0.80/86400\text{seg}) \times (\text{factor hora pico})$$

Consumo total = 44,175 lts/día

$$Q \text{ (caudal)} = (44,175 \text{ lts/día} \times 0.80/86,400\text{seg}) \times 2$$

$$Q = 0.82 \text{ lts/seg.}$$

El caudal calculado puede ser drenado por un tubo de 4", seleccionado en base a la siguiente tabla:

DIAMETRO	Q (CAUDAL) (LTS/SEG)
4"	7.00
6"	20.00
8"	48.00
10"	80.00

desfogue por el método de Unidades Hunter, el caudal conducido debe ser drenado con un tubo de Ø 6", pero al calcularlo por el método de dotación el caudal calculado requiere ser drenado por un tubo de Ø 4", pero por seguridad se optara por Ø 6".

2.6 Drenaje de Agua Pluvial

2.6.1 Descripción Básica: Estas instalaciones se circunscriben a la captación y evacuación de dichas aguas, lo cual se lograra por medio de un sistema de tuberías independientes del agua negra.

2.6.2 Criterios de Diseño:

- a) Se considerará una intensidad de lluvia de 150 mm/hora.
- b) Los diámetros de tubería, se determinaran en función del área drenada y de la pendiente cuando se trate de colectores horizontales.
- c) La pendiente mínima de la tubería debe ser 1% y aumentara de acuerdo a los requerimientos de capacidad de la tubería.
- d) El material de la tubería debe ser.

- PVC 160 PSI, cuando este dentro del área construida.

- PVC Norma 3034, cuando este fuera del área construida.

2.6.3 Bajadas de agua pluvial: Estas captan el agua de los techos por medio de reposaderas o canales. Las bajadas irán dentro de ductos hasta rematar en el techo del sótano, donde se conectaran a las redes colectoras de aguas pluviales internas. Las tuberías correspondientes a estas bajadas, serán de material PVC clase 160 PSI y su diámetro variará de acuerdo al área contribuyente drenada.

2.6.4 Redes Colectoras Principales de agua pluvial: Estarán ubicadas también al igual que la de aguas negras colgadas del techo del sótano. Las cuales captaran el agua proveniente de las bajadas, dichas redes descargarán sus caudales en el colector municipal.

2.6.5 Equivalencia de Unidades Hunter en M² de área drenada.

*A) Para 256 Unidades Hunter o menos tenemos que el área debe ser: $1000 \times 100/150 = 666.67$ pies²

**B) Por Unidad Hunter adicional a las primeras 256 Unidades Hunter el área debe ser: $3.9 \times 100/150 = 2.60$ pies²

2.6.6 Cálculo de Caudales: Para calcular los caudales se emplea la siguiente fórmula.

$$Q = CIA/3.6 \times 10^6$$

Donde:

Q = Caudal en m³/seg.

C = Coeficiente de escorrentía = 0.90

I = Intensidad de lluvia = 150 mm/hr.

A = área a drenar en 508.3.44M²

- A =508.3 M²

- C = 0.90

- I = 150 mm/hr. (Ciudad de Guatemala)

$$Q \text{ (Caudal)} = (0.90 \times 150 \times 508.3 \text{ M}^2/3.6 \times 10^6)$$

$$Q \text{ (Caudal)} = 0.54122 \text{ M}^3/\text{seg.}$$

Capacidad de Tuberías Verticales

Ø BAJADA	ÁREA MÁXIMA ACEPTADA (M ²) PARA I = 150 mm/hr.
3"	109
4"	234
6"	692
8"	1941

El diámetro a utilizar será de Ø 8"

2.6.7 Diseño del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados aguas negras:

Factores de diseño:

Dotación de agua potable 150/lts./hab./día

Factor de retorno, Qaguas negras = 90% de agua potable = 90% * 150 = 135lts./hab/día.

Periodo de Retención = 6 horas.

No. de habitantes = 755 hab.

DBO entrada = 300mg/l

DBO Salida = 20mg/l

Volumen de la Planta de Tratamiento

Q = 101,925 l/d = 101.925m³/d

Estimando la concentración de DBO soluble

La fracción biodegradable = 0.65 x 22mg/l = 14.3mg/l

DBO_L Última de los solubles

0.65 x 22m/l x 1.42mgO₂ = 20.3mg/l

DBO₅ de los sólidos suspendidos = 20.3mg/l x (0.68) = 13.8 mg/l

Calculo de la DBO soluble

$$S = 20 - 13.8 = 6.2 \text{ mg/l}$$

Determinando la eficiencia

$$E = \frac{300 - 6.2}{300} \times 100 = 97.9\%$$

La eficiencia conjunta de la planta es:

$$E_{\text{global}} = \frac{(300 - 20) \times 100}{300} = 93.33\%$$

Calculo del volumen del reactor

Q = 101.925 m³/d Asumiendo que el 50% es agua negra

$$\text{Vol.} = \frac{(10)(50.96)(0.50) \times (300-6.2)}{(3,500) (1 + 0.06 \times 10)} = 13.4\text{m}^3$$

Calculo del lodo a purgar diariamente

$$Y = 0.5 = 0.3125 (1+0.06 \times 10)$$

Determinación de la masa de lodo activo volátil

$$P_x = \frac{0.3125 \times (50.96) \times (300 - 6.2)}{1000\text{kg/g}} = 4.68\text{kg/d}$$

Determinando la masa total del lodo en base a los sólidos totales en suspensión

$$P_{x(ss)} = \frac{4.68}{0.8} = 5.85\text{kg/d}$$

Determinando la cantidad de lodo a purgar

$$5.85 - 0.0005898\text{m}^3/\text{s} \times 22\text{mg/l} \times 86400/1000 \\ 5.85 - 1.12 = 4.73 \text{ kg/d}$$

Calculo la cantidad de lodo a purgar si la cantidad de lodo se realiza en el reactor

$$Q = \frac{(13.4 \times 3,500)/10 - (50.96) \times (22) \times (0.8)}{3,500} = 1.08\text{m}^3/\text{d}$$

Calculo del tiempo de retención hidráulica

$$\Theta = 13.4 = \frac{0.26\text{d}}{50.96} = 6.3 \text{ horas}$$

Calculo de la demanda de oxígeno

$$\text{Masa de DBO utilizada} = 50.96 \frac{(300 - 6.2) \times 1/1000}{0.68} = 22.02\text{kg/d}$$

Calculo de la demanda de oxígeno

$$\text{KgO}_2/\text{d} = 22.02 - 1.42 \times (11.07) = 6.30\text{kg/d}$$

Comprobando la relación F/M y el factor de carga volumétrica

$$F/M = \frac{300}{(0.26\text{d}) \times (3,500)} = 0.33\text{d}^{-1}$$

$$\text{Carga volumétrica} = \frac{(300) \times (50.96) \times 1/1000}{13.4} = 1.14\text{kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{d}$$

Calculo de aire necesario para los sopladores

$$\frac{6.30}{280.72} = 0.022\text{m}^3/\text{d}$$

Determinación de la cantidad de aire necesario en la realidad

$$\frac{0.022\text{m}^3/\text{d}}{0.08} = 0.28\text{m}^3/\text{d}$$

$$\frac{0.28}{1440} = 0.0001948 \times 2 = 0.0003896\text{m}^3/\text{minuto}$$

Comprobación del caudal de aire utilizado pro Kg DBO₅

$$\frac{0.28}{50.96} = 0.0055 \text{m}^3/\text{m}^3$$

Cantidad de aire necesario por Kg DBO₅

$$\frac{0.28}{(300 - 6.2) \times (50.96) \times (1/1000)} = 0.019 \text{m}^3/\text{kg}$$

2.6.8 Diseño del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados aguas grises:

Factores de diseño:

Dotación de agua potable 150/lts./hab./día

Factor de retorno, Q_{aguas negras} = 90% de agua potable = 90% * 150 = 135lts./hab/día. X 70% agua gris

Periodo de Retención = 6 horas.

No. de habitantes = 755 hab.

DBO entrada = 200mg/l

DBO Salida = 20mg/l

Volumen de la Planta de Tratamiento

Q = 101,925 l/d = 101.925m³/d

Estimando la concentración de DBO soluble

La fracción biodegradable = 0.65 x 22mg/l = 14.3mg/l

DBO_L Ultima de los solubles

0.65 x 22m/l x 1.42mgO₂ = 20.3mg/l

DBO₅ de los sólidos suspendidos = 20.3mg/l x (0.68) = 13.8 mg/l

Calculo de la DBO soluble

$$S = 20 - 13.8 = 6.2 \text{ mg/l}$$

Determinando la eficiencia

$$E = \frac{200 - 6.2}{200} \times 100 = 96.9\%$$

La eficiencia conjunta de la planta es:

$$E_{\text{global}} = \frac{(200 - 20) \times 100}{200} = 90.00\%$$

Calculo del volumen del reactor

Q = 101.925 m³/d Asumiendo que el 70% es agua negra

$$\text{Vol.} = \frac{(10)(76.44)(0.50) \times (200-6.2)}{(3,500) (1 + 0.06 \times 10)} = 13.22 \text{m}^3$$

Calculo del lodo a purgar diariamente

$$Y = 0.5 = \frac{0.3125}{(1+0.06 \times 10)}$$

Determinación de la masa de lodo activo volátil

$$P_x = \frac{0.3125 \times (76.44) \times (200 - 6.2)}{1000 \text{kg/g}} = 4.63 \text{kg/d}$$

Determinando la masa total del lodo en base a los sólidos totales en suspensión

$$P_{x(ss)} = \frac{4.63}{0.8} = 5.79 \text{kg/d}$$

Determinando la cantidad de lodo a purgar

$$3.79 - 0.0008847 \text{m}^3/\text{s} \times 22 \text{mg/l} \times 86400/1000$$

$$5.79 - 1.68 = 4.11 \text{ kg/d}$$

Calculo la cantidad de lodo a purgar si la cantidad de lodo se realiza en el reactor

$$Q = \frac{(13.22 \times 3,500)/10 - (76.44) \times (22) \times (0.8)}{3,500} = 0.94 \text{m}^3/\text{d}$$

Calculo del tiempo de retención hidráulica

$$\Theta = 13.22 = \frac{0.17 \text{d}}{76.44} = 4.15 \text{ horas}$$

Calculo de la demanda de oxígeno:

$$\text{Masa de DBO utilizada} = \frac{76.44 (200 - 6.2) \times 1/1000}{0.68} = 21.78 \text{kg/d}$$

Calculo de la demanda de oxígeno

$$\text{KgO}_2/\text{d} = 21.78 - 1.42 \times (11.07) = 6.06 \text{kg/d}$$

Comprobando la relación F/M y el factor de carga volumétrica

$$F/M = \frac{200}{(0.17 \text{d}) \times (3,500)} = 0.33 \text{d}^{-1}$$

$$\text{Carga volumétrica} = \frac{(200) \times (76.44) \times 1/1000}{13.22} = 1.16 \text{kg DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

Calculo de aire necesario para los sopladores

$$6.06 = \frac{0.021\text{m}^3/\text{d}}{280.72}$$

Determinación de la cantidad de aire necesario en la realidad

$$\frac{0.021\text{m}^3/\text{d}}{0.08} = 0.27\text{m}^3/\text{d}$$

$$0.27 = \frac{0.0001874 \times 2}{1440} = 0.0003748\text{m}^3/\text{minuto}$$

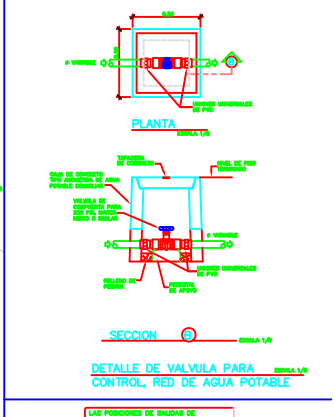
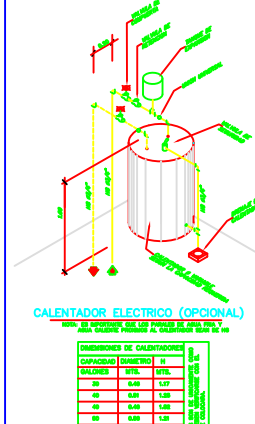
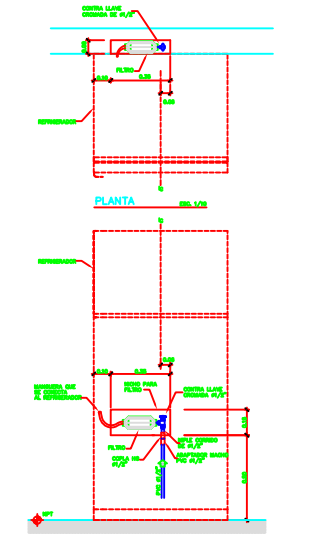
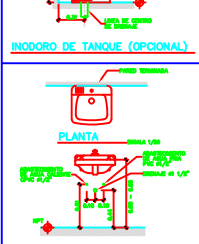
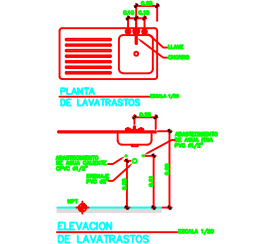
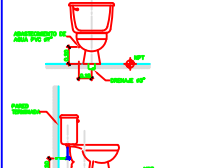
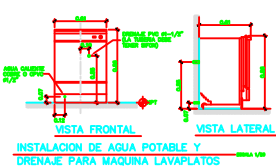
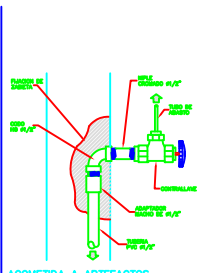
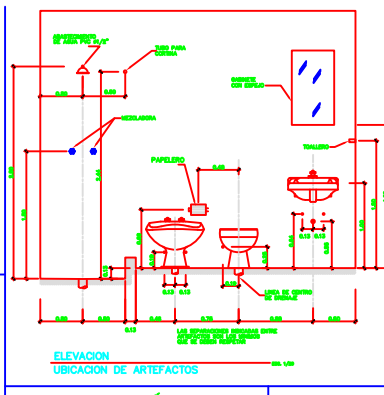
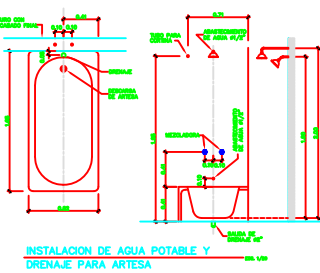
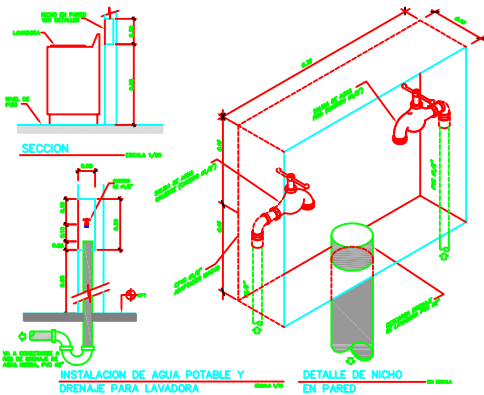
Comprobación del caudal de aire utilizado pro Kg DBO₅

$$\frac{0.27}{76.44} = 0.0035\text{m}^3/\text{m}^3$$

Cantidad de aire necesario por Kg DBO₅

$$\frac{0.27}{(200 - 6.2) \times (76.44) \times (1/1000)} = 0.018\text{m}^3/\text{kg}$$

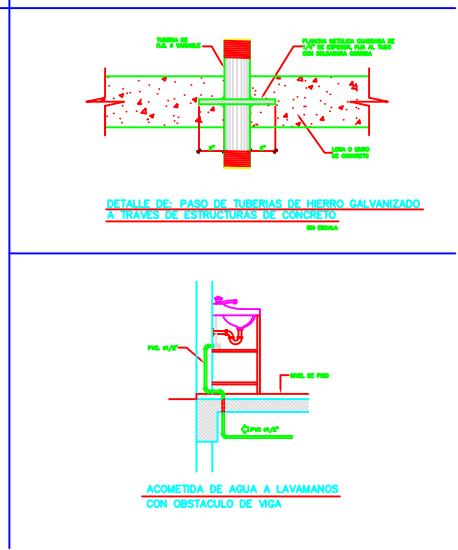
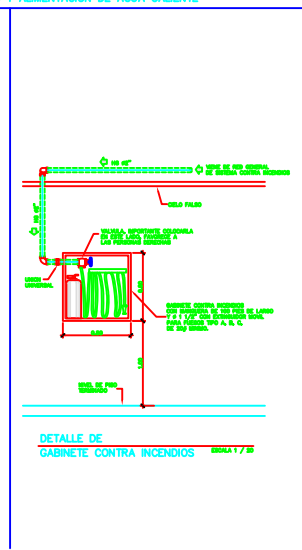
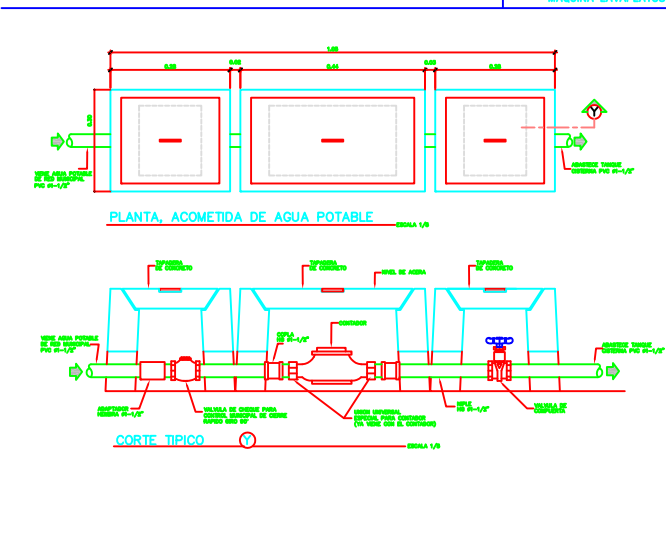
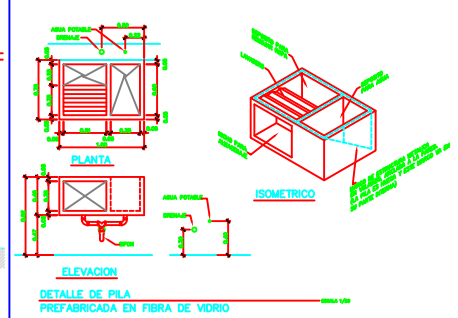
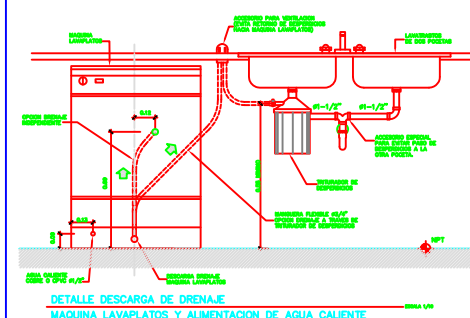
11.2. PLANOS



ESPACIAMIENTO DE SOPORTERIA TUBERIA HORIZONTAL

DIAMETRO	TIPO DE TUBERIA	ESPACIAMIENTO	ESPACIAMIENTO	ESPACIAMIENTO	ESPACIAMIENTO	ESPACIAMIENTO
1/2"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
3/4"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
1"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
1 1/2"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
2"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
2 1/2"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
3"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
4"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
6"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
8"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
10"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts
12"	1,00 mts	2,00 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts	1,50 mts

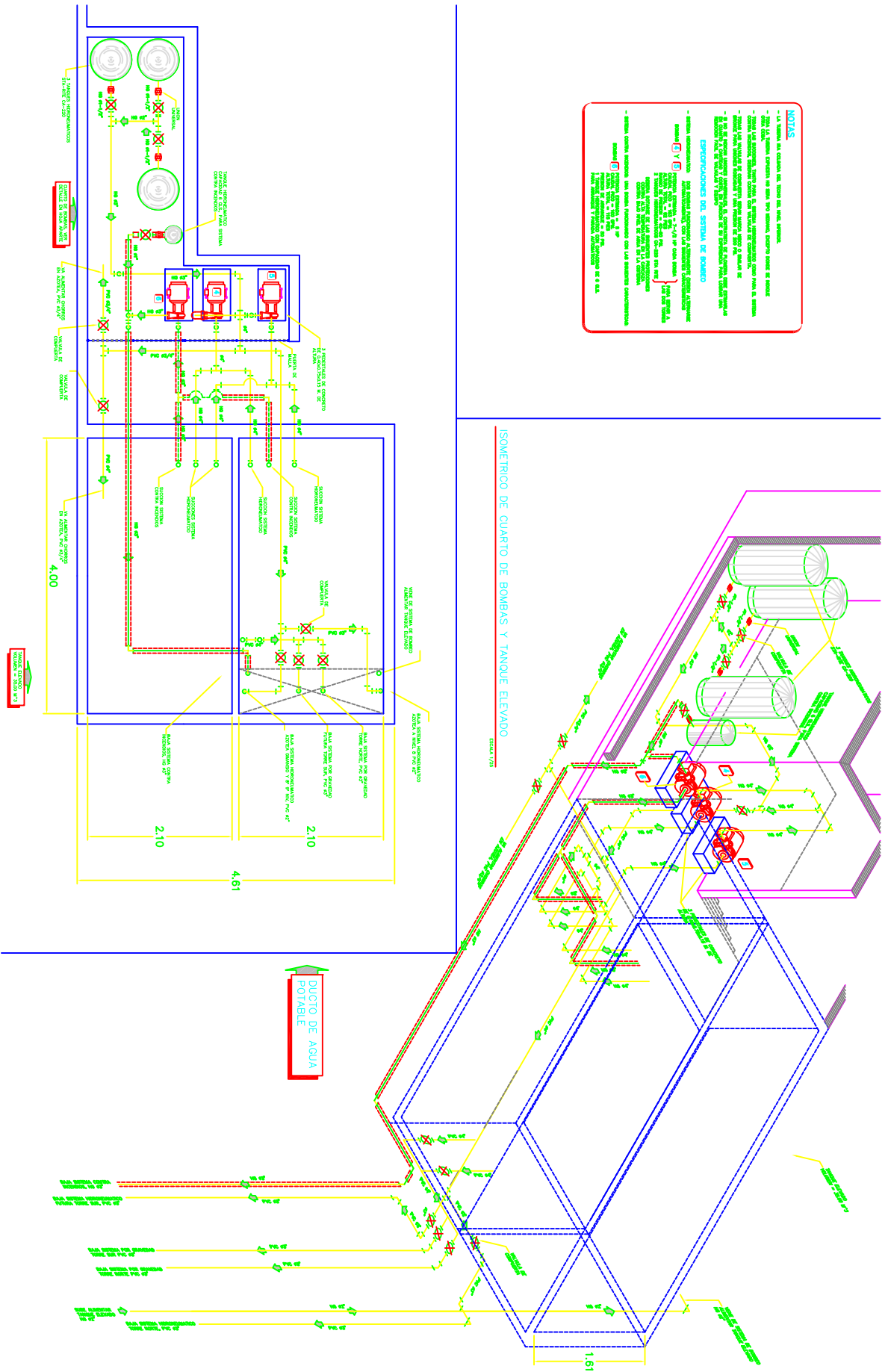
DETALLE DE SOPORTERIA



- NOTAS**
- En todas las conductos del sistema de agua potable.
 - Los datos técnicos de los equipos se detallan en el croquis de detalle.
 - El sistema de abastecimiento de agua potable se conecta con la red pública de abastecimiento de agua potable.
 - El sistema de abastecimiento de agua potable se conecta con la red pública de abastecimiento de agua potable.
 - El sistema de abastecimiento de agua potable se conecta con la red pública de abastecimiento de agua potable.
 - El sistema de abastecimiento de agua potable se conecta con la red pública de abastecimiento de agua potable.
- ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE BOMBEO**
- El sistema de bombeo debe ser capaz de suministrar agua a una altura de 4.00 m.
 - El sistema de bombeo debe ser capaz de suministrar agua a una altura de 4.00 m.
 - El sistema de bombeo debe ser capaz de suministrar agua a una altura de 4.00 m.
 - El sistema de bombeo debe ser capaz de suministrar agua a una altura de 4.00 m.

ISOMETRICO DE CUARTO DE BOMBAS Y TANQUE ELEVADO

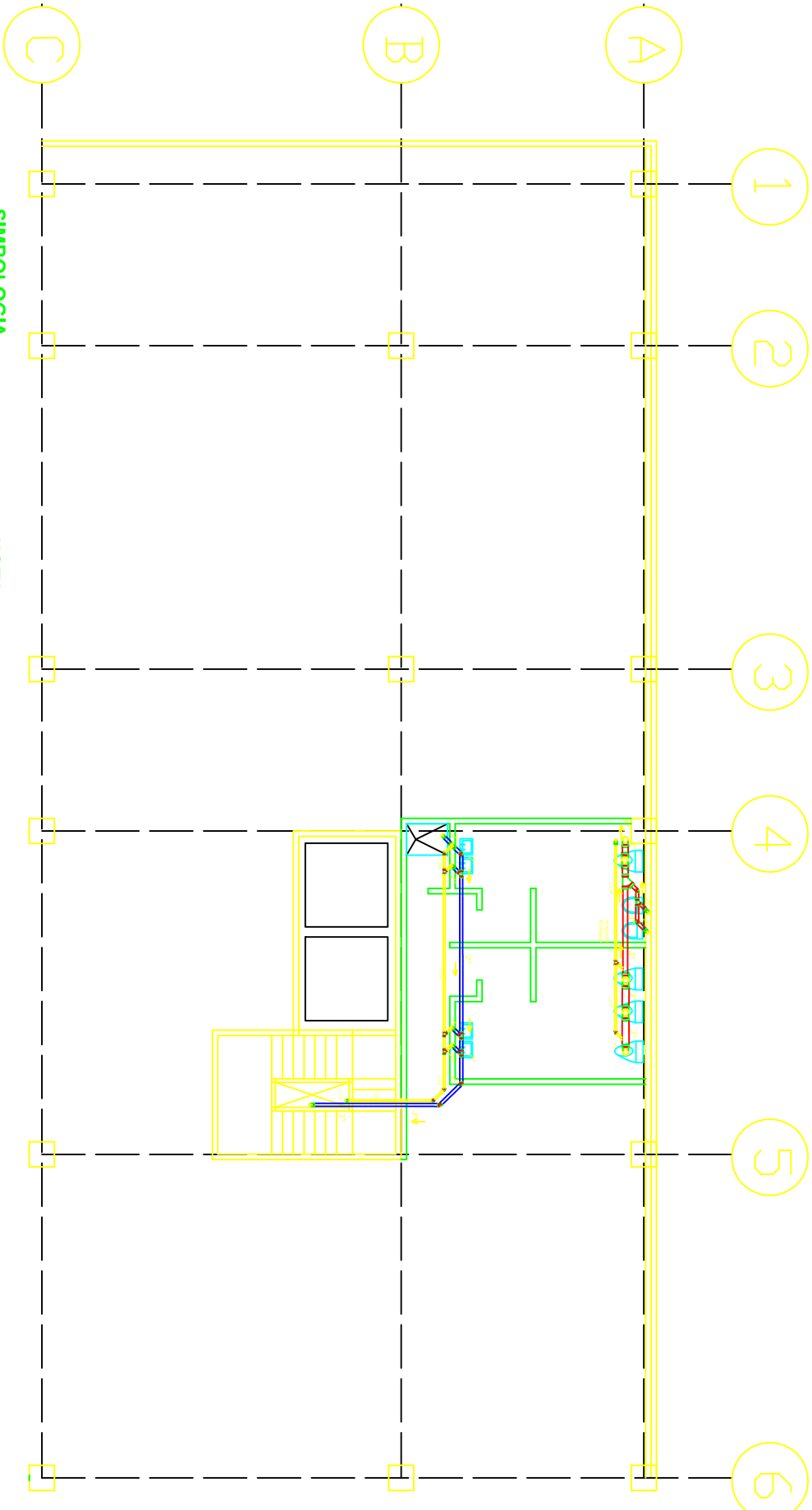
ESCALA 1/25



PLANTA DE CUARTO DE BOMBAS Y TANQUE ELEVADO

ESCALA 1/25

DETALLE DE CUARTO DE BOMBAS Y TANQUE ELEVADO



SIMBOLOGIA

- TUBERIA AGUAS GRISES
- TUBERIA AGUAS NEGRAS
- TUBERIA VENTILACION
- CODO VERTICAL
- TEE
- CODO HORIZONTAL
- TEE VERTICAL
- BAJADA AGUA PLUVIAL

NOTA

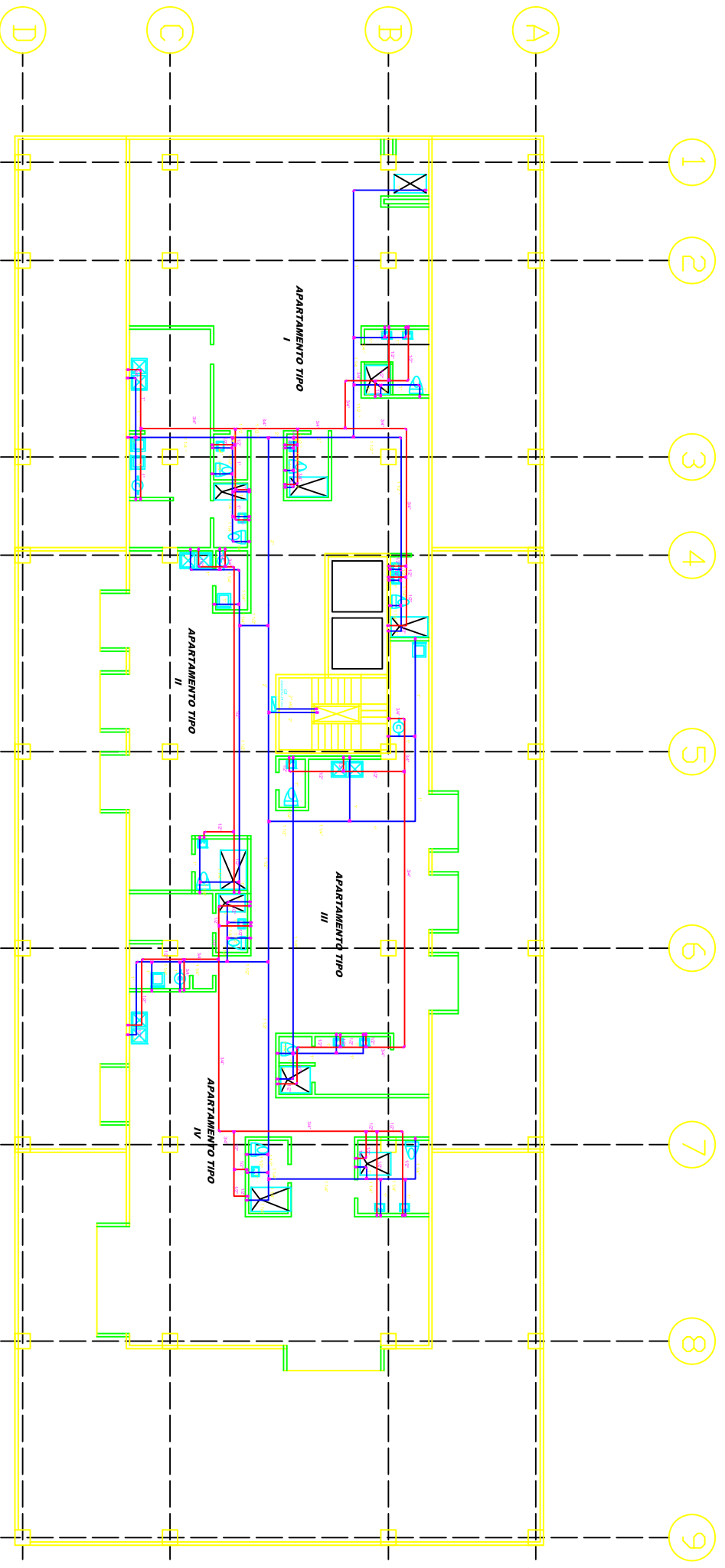
La pendiente de la tubería horizontal es del 1%

2do y 3er NIVEL DE DRENAJES

PLANO: 02	UTILIZACION DE AGUAS GRISES TRATADAS Y PLUVIALES	
SEÑORA	ING. CARLOS AGUILAR TUMAX	ESCUELA DE POST GRADO
		MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE
FACULTAD DE INGENIERIA	ING. CARLOS AGUILAR	FECHA
		OCTUBRE 2,010
Escalera		VOL. BA.

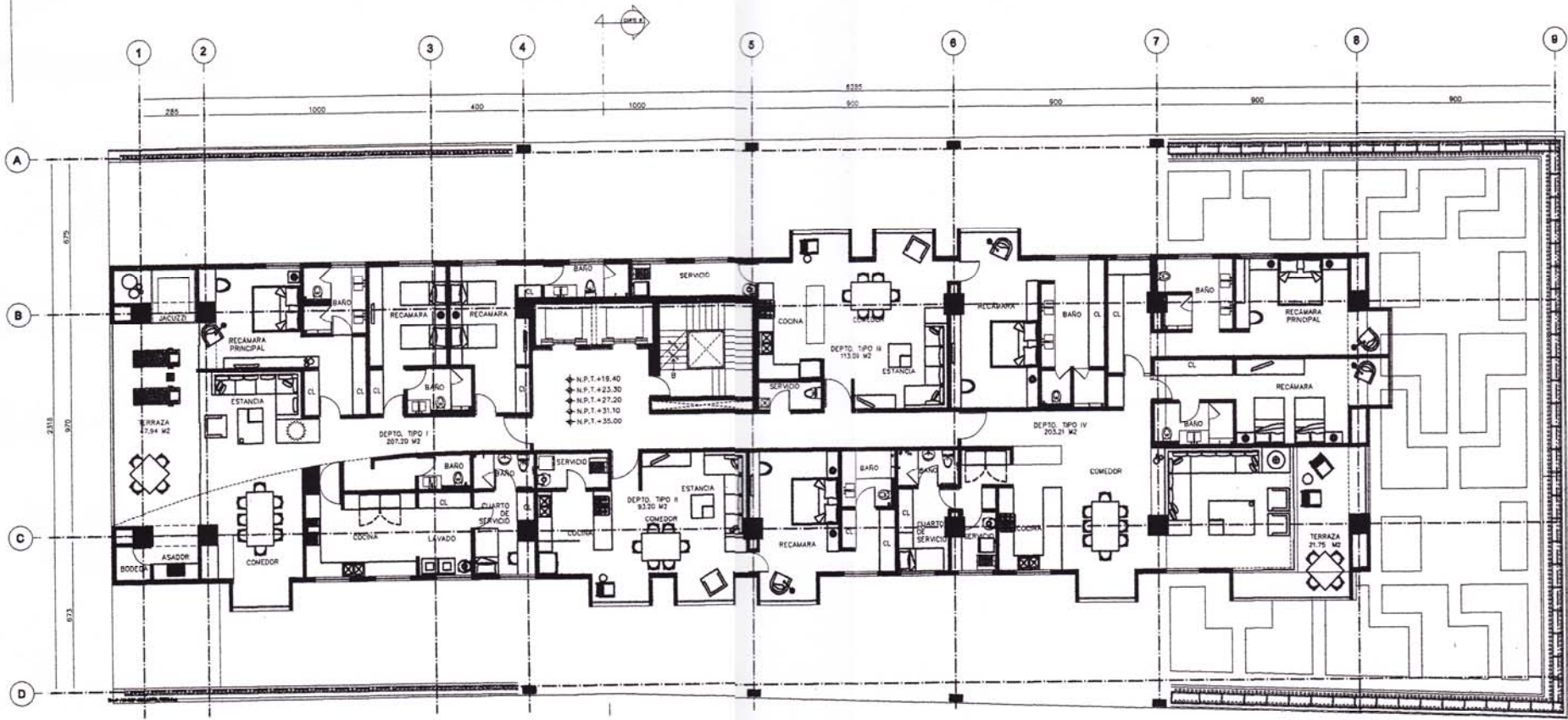
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
PROYECTO	TRABAJOS DE TESIS DE GRADUACION
	UTILIZACION DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE PLUVIALES
AREA TOTAL CONSTRUIDA	AREA TOTAL DE TUBERIA

PLANO DE:	1/1
Unidad	0.00
Altura	0.00
Profundidad	0.00
Temperatura	0.00
Velocidad	0.00
Presión	0.00
Humedad	0.00
Calentamiento	0.00
Enfriamiento	0.00



SIMBOLOGIA

- TUBERIA AGUA FRIA
- TUBERIA AGUA CALENTE
- CODO VERTICAL
- TEE
- CODO HORIZONTAL
- GABINETE EXTINGUIDOR DE INCENDIOS



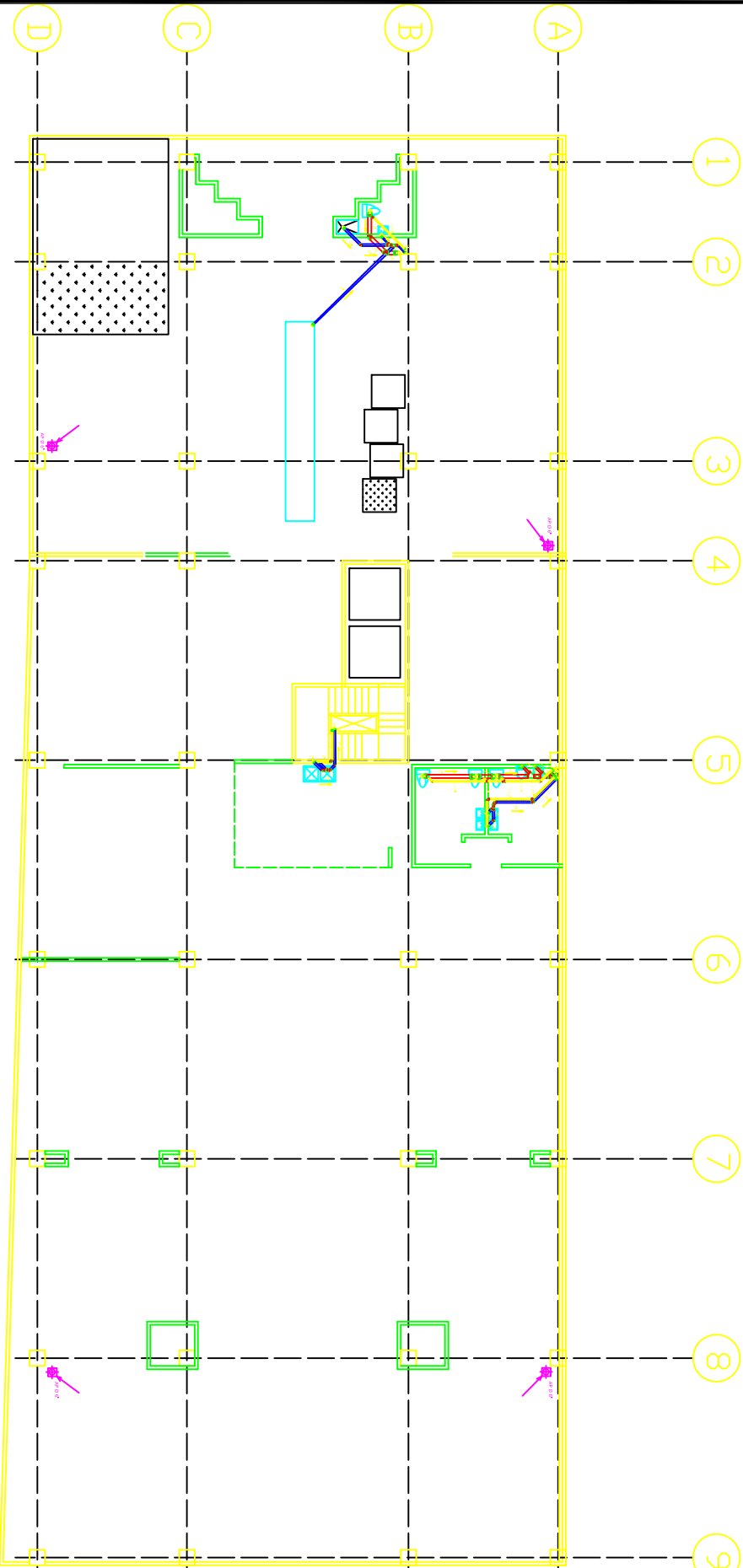
PLANTA TIPICA DE APARTAMENTOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 TRABAJO DE TESIS DE GRADUACION
 UTILIZACION DE AGUAS GRISAS TRATADAS
 Y APROVECHAMIENTO DE FLUVIALES

UNIVERSIDAD DE AGUAS GRISAS TRATADAS Y FLUVIALES
 MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTE
 TITULO: INGENIERIA EN AGUAS GRISAS TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE FLUVIALES
 AUTOR: [Nombre del Autor]
 FECHA: OCTUBRE 2010

PLANO DE:

Urbanismo	0/100
Arquitectura	0/100
Servicios	0/100
Instalaciones Electricas	0/100
Tuberfuerzas	1/8
Agua	0/100
Plomeria	0/100
Suplemento	0/100

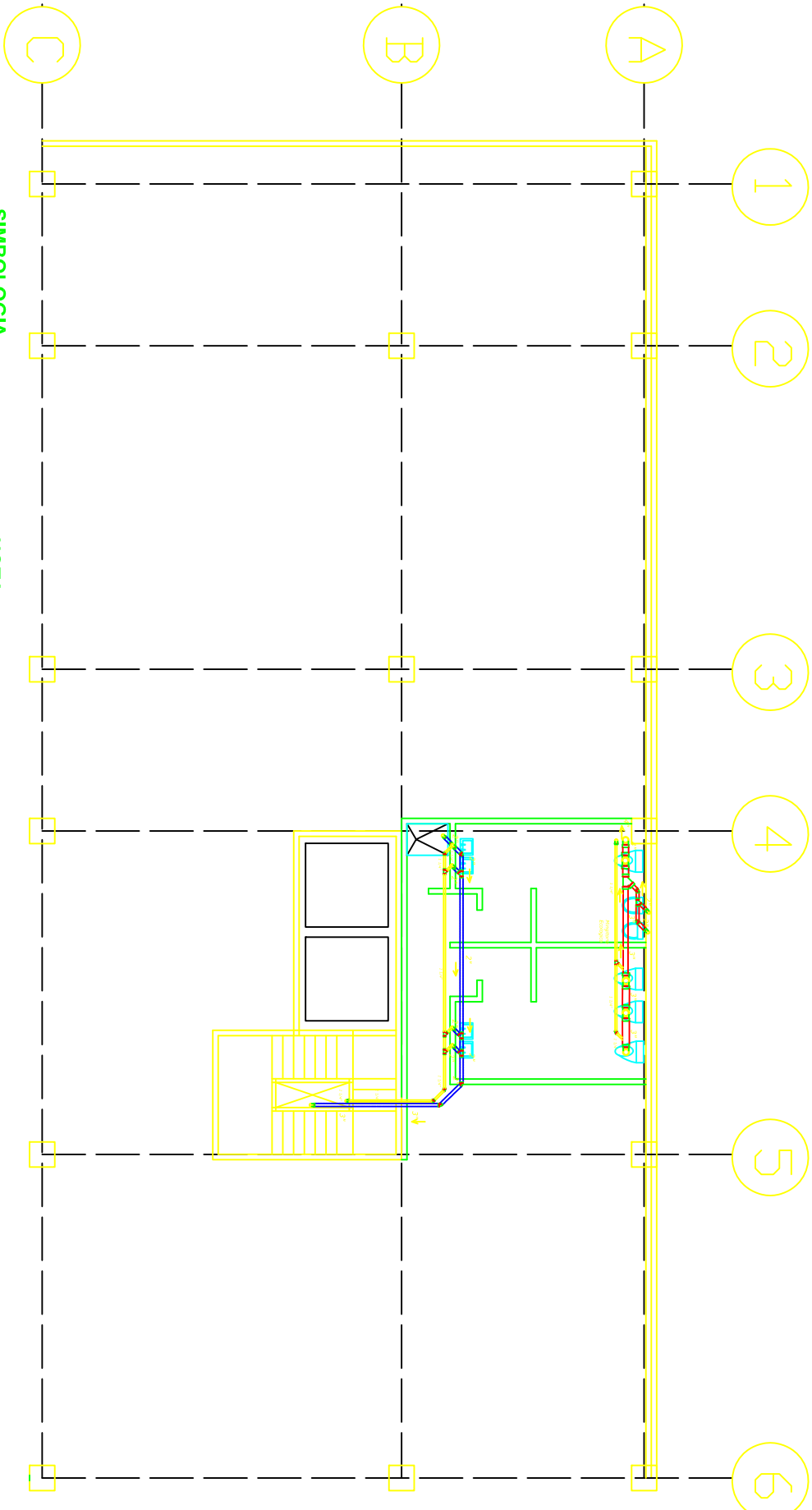


- SIMBOLOGIA**
- TUBERIA AGUAS GRISAS
 - TUBERIA AGUAS NEGRAS
 - TUBERIA VENTILACION
 - CODO VERTICAL
 - TEE
 - CODO HORIZONTAL
 - TEE VERTICAL
 - BAJADA AGUA PLUVIAL

NOTA
La pendiente de la tubería horizontal es del 1%

PLANTA BAJA DRENAJES

PLANO DE: UTILIZACION DE AGUAS GRISAS TRATADAS Y PLUVIALES		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
AUTOR: ING. CARLOS AGUILAR TUMAN FACULTAD DE INGENIERIA	ESCUELA DE POST GRADO ING. CARLOS AGUILAR	MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE FECHA: OCTUBRE 2,010 VOL. No.	PROYECTO: TRABAJOS DE TESIS DE GRADUACION UTILIZACION DE AGUAS GRISAS TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE PLUVIALES
AREA TOTAL: 07,000 AREA TOTAL CONSTRUIDA: 07,000 AREA TOTAL DE VENTILACION: 07,000			



SIMBOLOGIA

- TUBERIA AGUAS GRISES
- TUBERIA AGUAS NEGRAS
- TUBERIA VENTILACION
- CODO VERTICAL
- TEE
- CODO HORIZONTAL
- TEE VERTICAL
- BAJADA AGUA PLUVIAL

NOTA

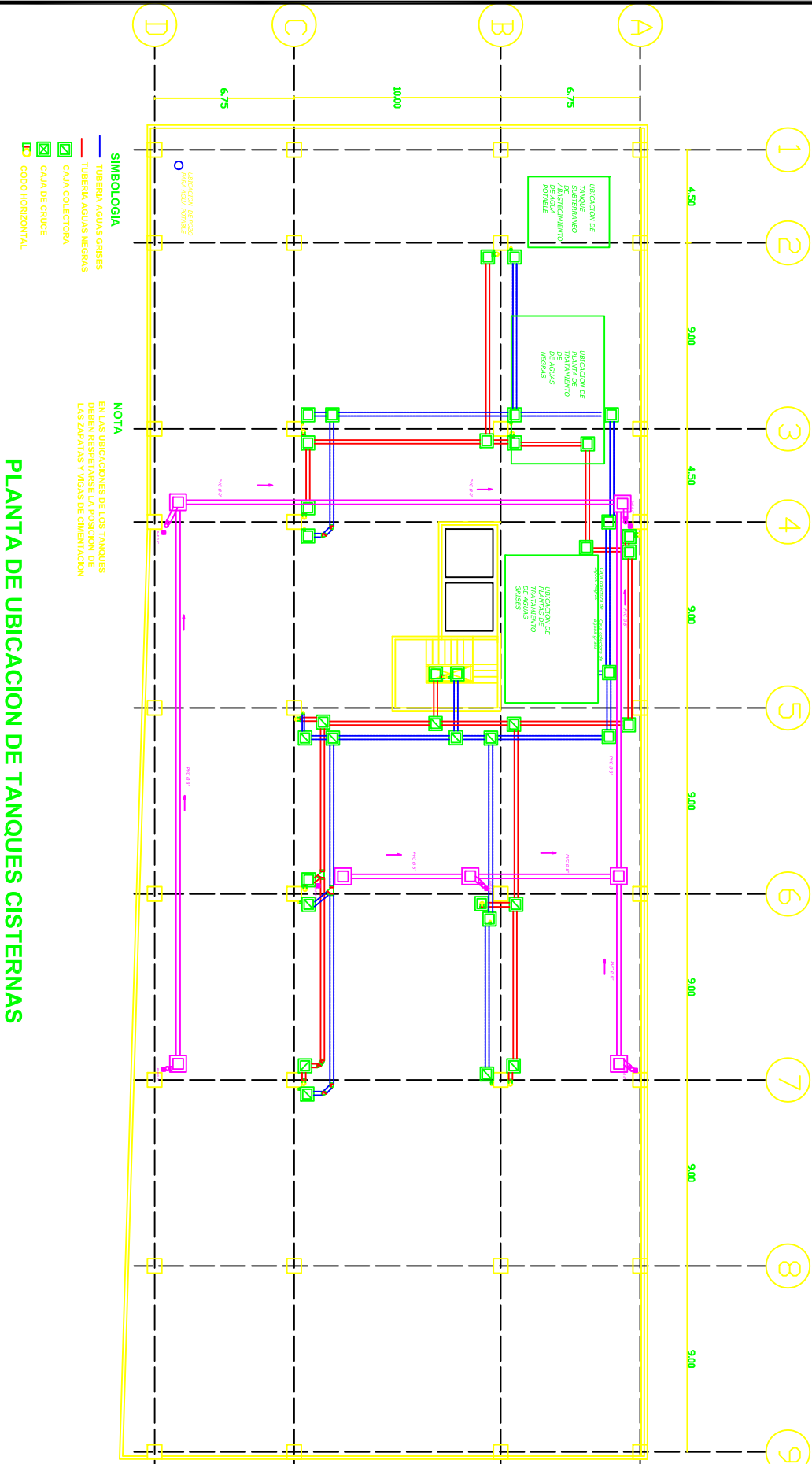
La pendiente de la tubería horizontal es del 1%

2do y 3er NIVEL DE DRENAJES

PLANO DE:	
Unidades:	0,000
Alturas:	0,000
Distancias:	0,000
Temperatura:	20
Velocidad:	100
Escala:	1:100

TÍTULO: UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y PLUVIALES	
DESIGNADO: ING. CARLOS AGUILAR TUMÁN	ESCUELA DE POST GRADO: MAESTRÍA EN ENERGÍA Y AMBIENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA	ING. CARLOS AGUILAR
FECHA: OCTUBRE 2,010	VOL. No.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
PROYECTO: TRABAJOS DE TESIS DE GRADUACION	
UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE PLUVIALES	
ÁREA TOTAL CONSTRUIDA:	
ÁREA TOTAL DE TERRENO:	

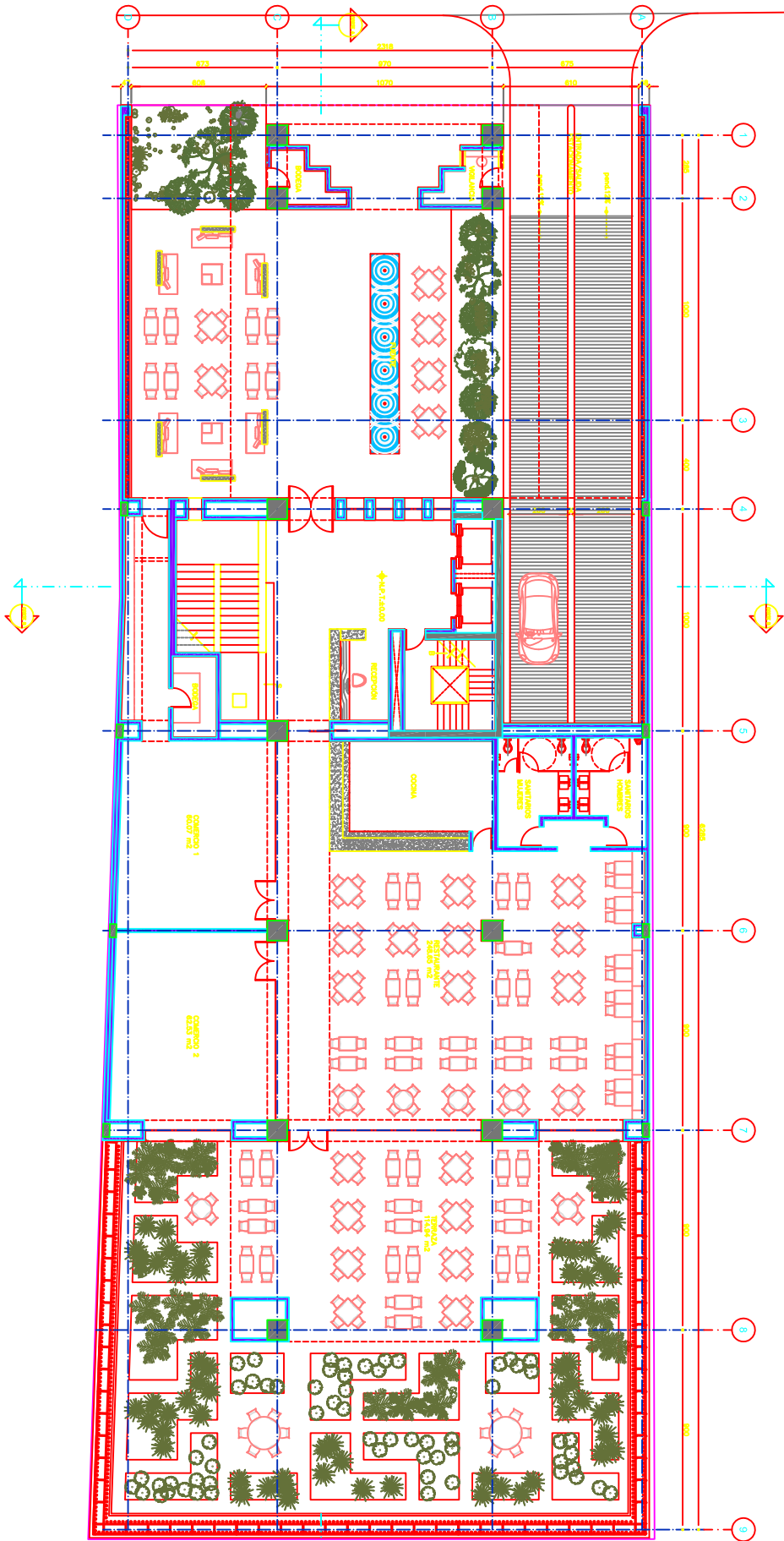


- SIMBOLOGIA**
- TUBERIA AGUAS GRISAS
 - TUBERIA AGUAS NEGRAS
 - CAJA COLECTORA
 - ⊠ CAJA DE CRUCE
 - ⊠ CODO HORIZONTAL

NOTA
 EN LAS UBICACIONES DE LOS TANQUES DEBEN RESPETARSE LA POSICION DE LAS ZAPATAS Y VIGAS DE CIMENTACION

PLANTA DE UBICACION DE TANQUES CISTERNAS

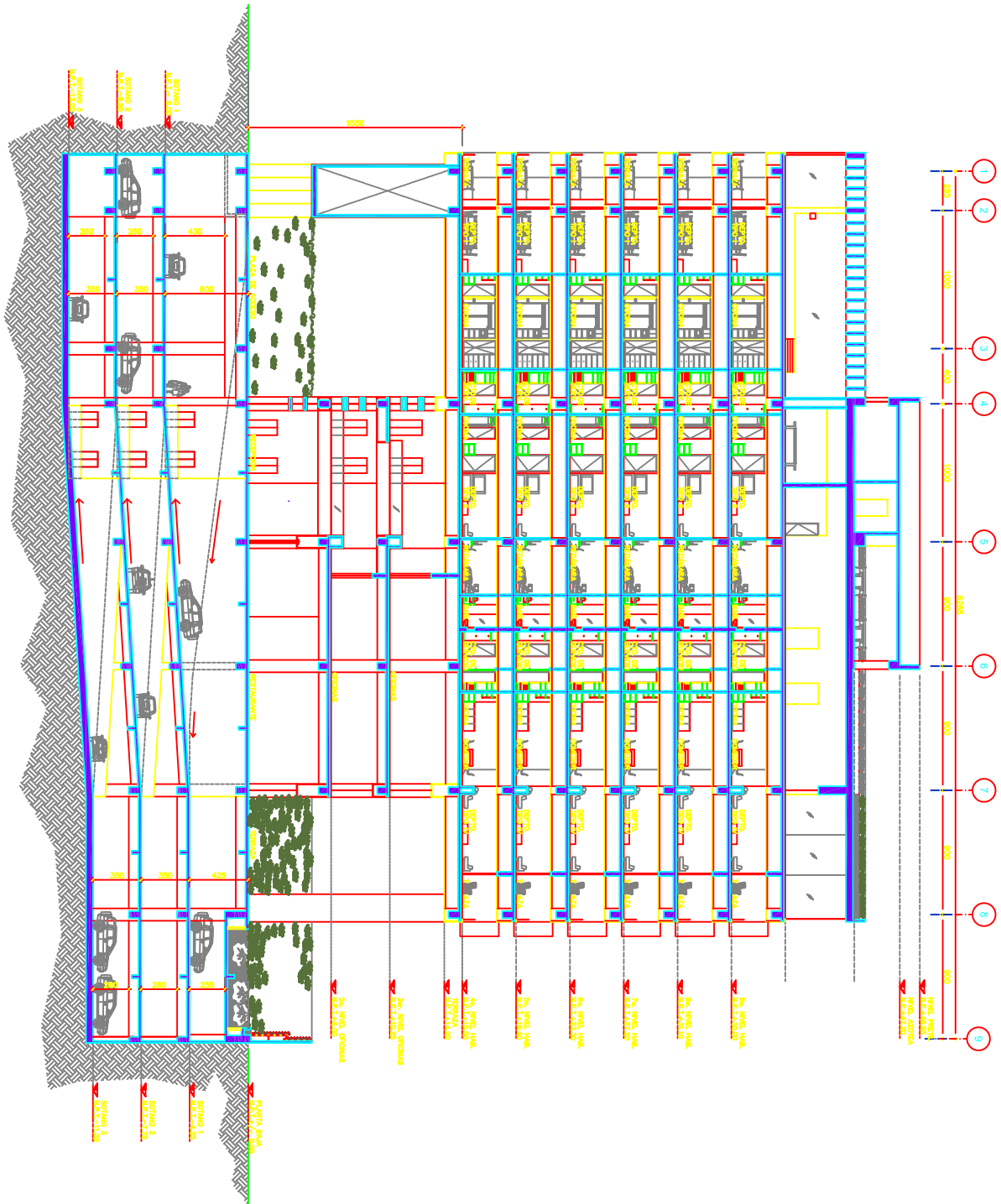
PLANO DE: UTILIZACION DE AGUAS GRISAS TRATADAS Y PLUVIALES		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
AREA: ING. CARLOS AGUILAR TUMAN FACULTAD DE INGENIERIA	ESCUELA DE POST GRADO ING. CARLOS AGUILAR	MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE FECHA: OCTUBRE 2,010	PROYECTO: TRABAJOS DE TESIS DE GRADUACION UTILIZACION DE AGUAS GRISAS TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE PLUVIALES
Dimensiones: 0.00 AutoEscala: 0.00 Escala: 0.00 Fecha: 0.00 Estado: 0.00	Area Total: 0.00 Area Total: 0.00 Area Total: 0.00	AREA TOTAL: 0.00 AREA TOTAL: 0.00 AREA TOTAL: 0.00	



PLANTA BAJA

1/1	PLANO DE:		UTILIZACION DE AGUAS GRISES TRATADAS Y PLUVIALES		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
	PROYECTO:	TRABAJOS DE TESIS DE GRADUACION	PROYECTO:	TRABAJOS DE TESIS DE GRADUACION	AREA TOTAL:	CONSTRUCCION:
	PROYECTISTA:	ING. CARLOS AGUILAR TUMAN	ESCUELA DE POST GRADO:	MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE	PROYECTO:	UTILIZACION DE AGUAS GRISES TRATADAS
	FECHA:	OCTUBRE 2,010	PROYECTO:	Y APROVECHAMIENTO DE PLUVIALES	AREA TOTAL:	CONSTRUCCION:

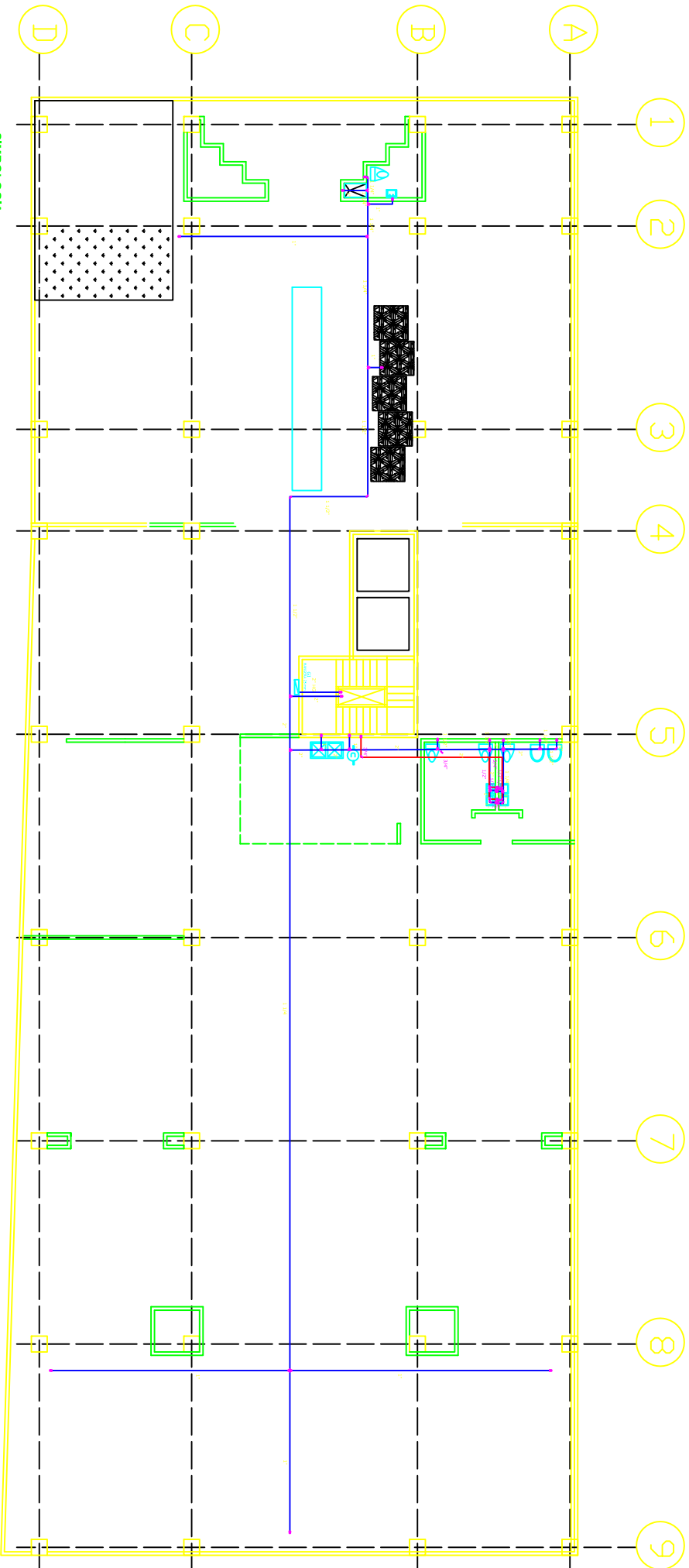
SECCION DE EDIFICIO DE APARTAMENTOS



PLANO DE:	Utilización	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00
	Edificación	4.10.00

PLANO:	UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y PLUVIALES		
DEPARTAMENTO:	ING. CARLOS AGUILAR TUMÁN	ESCUOLA DE POST GRADO	MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE
FACULTAD DE:	ING. CARLOS AGUILAR	FECHA:	OCTUBRE 2010
Auto: Win Prop. Auto. Web		Auto: Win. B.	

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
PROYECTO:	TRABAJOS DE TESIS DE GRADUACION
UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES TRATADAS Y APROVECHAMIENTO DE PLUVIALES	
AREA TOTAL COBERTA:	
AREA TOTAL DE TERRENO:	



PLANTA BAJA AGUA POTABLE

- SIMBOLOGIA**
- TUBERIA AGUA FRÍA
 - TUBERIA AGUA CALIENTE
 - CODDO VERTICAL
 - CODDO HORIZONTAL
 - T TEE
 - T GABINETE EXTINGUINTE DE INCENDIOS