EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS GRISES OBTENIDAS DEL USO DE LA LAVADORA, PARA EL CONJUNTO MULTIFAMILIAR ICARO, TIPO VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS), UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ.

JOHN ALEJANDRO SALAZAR PEREZ

JUAN SEBASTIAN PARRA DUARTE

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERÍA SANITARIA

BOGOTÁ D.C – 2018

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS GRISES OBTENIDAS DEL USO DE LA LAVADORA, PARA EL CONJUNTO MULTIFAMILIAR ICARO, TIPO VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS), UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ.

JOHN ALEJANDRO SALAZAR PEREZ

JUAN SEBASTIAN PARRA DUARTE

Trabajo de grado para obtener el título de Ingenieros Sanitarios.

ASESOR: JUAN PABLO RODRIGUEZ MIRANDA
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL, MSC. ,
Ph D.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERÍA SANITARIA

BOGOTÁ D.C – 2018

"Las ideas emitidas por los autores
son de su exclusiva responsabilidad
y no expresan necesariamente
opiniones de la Universidad"

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y a todas las personas que de una u otra manera han aportado al crecimiento y evolución de este proyecto, brindándonos su experiencia y apoyo para llevar a buen término la culminación del mismo.

Agradecemos al docente Juan Pablo Rodríguez Miranda, por su dedicación y compromiso para llevar a cabo de manera exitosa la realización de este proyecto, expresamos nuestra admiración y le deseamos los mejores éxitos en su vida.

Agradecemos de manera especial a la docente Yolima Agualimpia Dualiby por su acompañamiento en el inicio de este proyecto, su ayuda fue valiosa para que este trabajo se hiciera realidad, le expresamos nuestra admiración y le deseamos los mejores éxitos en su vida.

Agradecemos al docente Carlos Díaz por su apoyo en etapas cruciales del proyecto.

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicárselo a mi familia, en especial a mis padres por ser un gran ejemplo de trabajo duro y perseverancia ante cualquier situación, a Dios, a las personas que han estado presentes desde el momento en que surgió la idea de realizar este proyecto pensando en un futuro mejor, agradecer todo el apoyo que nos han dado en momentos complicados, cuando más nos hacía falta.

Juan Sebastián Parra Duarte

Este trabajo se lo quiero dedicar a Dios, a mi familia, en especial a mis padres por su apoyo incondicional y paciencia para ver cumplido este sueño, a los amigos y las personas que en el camino nos han apoyado y con los que hemos aprendido a siempre trazarnos nuevos objetivos. Es importante aprender a luchar sin rendirse, no sabemos lo que el destino puede tener para nosotros.

John Alejandro Salazar Pérez

Colombia no puede seguir planteando
el argumento del desarrollo económico
si antes no considera la necesidad
del desarrollo ambiental.
No existe la posibilidad de
soslayar nuestros problemas
económicos si no consideramos los
problemas de los recursos naturales.

Humberto Samper Yunda

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 1

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN 4

2.1. Descripción del problema 4

2.2. Estado del arte 5

3. OBJETIVOS 9

3.1. Objetivo General 9

3.2. Objetivos Específicos 9

4. MARCO CONTEXTUAL 10

4.1. Descripción de los usos potenciales de las aguas grises tratadas 11

4.1.1. Uso residencial y comercial urbano 13

4.2. La vivienda y el desarrollo de las políticas públicas para VIS en Colombia. 13

4.2.1. Reseña histórica 14

4.2.2. Política pública para VIS y VIP 15

5. MARCO TEóRICO 16

5.1. Caracterización de las aguas grises. 18

5.2. Carbón activado y borra de café como lecho filtrante para aguas grises ... 19

5.2.1. Carbón activado. 20

5.2.2. Bioadsorción: Borra de café y procedimiento para la obtención final del lecho filtrante. 21

5.2.2.1. Metodología de Juliao Pereira 22

5.2.2.2. Metodología de agitación - centrifugación 23

5.3. Diseño del sistema de recolección, tratamiento y reúso. 24

5.3.1. Sistema de recolección. 24

5.3.2. Sistema de tratamiento. 31

5.3.3. Sistema de reúso. 35

5.4. Análisis de costo-beneficio 46

6. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 48

7. METODOLOGIA 56

7.1. Caracterización y parámetros evaluados. 56

7.1.1. Propuesta para la recolección y tratamiento. 59

7.2. Diseño de las alternativas de recolección, tratamiento y reúso 59

7.2.1. Construcción de los filtros de laboratorio y comparación de la eficiencia de remoción de estos. 59

7.2.1.1. Obtención de la borra de café 59

7.2.1.2. Carbón activado 60

7.2.1.3. Construcción de los filtros de prueba 61

7.2.1.4. Comparación de la eficiencia de remoción de los filtros. 62

7.2.2. Diseño del sistema de recolección, tratamiento y reúso. 63

7.2.2.1. Sistema de recolección. 63
7.2.2.2. Sistema de tratamiento. 64
7.2.2.3. Sistema de reúso. 67

7.3. Relación costo beneficio del sistema de recolección, tratamiento y reúso frente a un sistema hidráulico convencional 73
7.3.1. Construcción del presupuesto. 73
7.3.2. Relación costo beneficio. 73

8. RESULTADOS Y ANALISIS 74

8.1. Diagnóstico de recolección y tratamiento 74
8.1.1. Resultados de la caracterización. 74

8.2. Diseño de las alternativas de recolección tratamiento y reúso 75
8.2.1. Eficiencia de remoción de los filtros de prueba. 75
8.2.2. Diseño del sistema de recolección, tratamiento y reúso. 78
8.2.2.1. Sistema de recolección. 78
8.2.2.2. Sistema de tratamiento. 82
8.2.2.1. Sistema de reúso 84

8.3. Análisis de la relación costo beneficio 93
8.3.1. Presupuesto de obra. 93
8.3.2. Resultado de la relación costo beneficio por la implementación del sistema. 94

9. CONCLUSIONES 98

10. RECOMENDACIONES 100

11. BIBLIOGRAFÍA 102

12. ANEXOS 111

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1 Características de aguas grises según origen 17
Tabla 5.2 Métodos convencionales para remoción de fosfatos en aguas residuales 20
Tabla 5.3 Tabla de relación de unidades para cálculo de desagües 26
Tabla 5.4 Caudales para fluxómetro 27
Tabla 5.5 Coeficiente de simultaneidad 28
Tabla 5.6 Máximo número de unidades por bajante 28
Tabla 5.7 Máximo caudal para ramales horizontales según el diámetro 28
Tabla 5.8 Relaciones hidráulica para colectores 30
Tabla 5.9 Coeficiente de fricción para la ecuación de Flamant 37
Tabla 5.10 Coeficiente de fricción de Hazen-Williams 38
Tabla 5.11 Unidades de hunter diámetro ½ pulgada 39
Tabla 5.12 Tabla de relación de unidades y caudal para Hunter modificado UNAL 40
Tabla 5.13 Unidades de hunter UNAL diámetro ½ pulgada 41
Tabla 5.14 Caudales y presiones para cada aparato – método racional 42
Tabla 5.15 Factor multiplicador en función del # de salidas "K" 45
Tabla 6.1 Información básica del proyecto 49
Tabla 6.2 Producción de agua residual por estrato en la ciudad de Bogotá 53
Tabla 6.3 Tarifa m^3 de agua potable para Bogotá 2018 54
Tabla 6.4 Tarifa alcantarillado para Bogotá 2018 55
Tabla 8.1 Resultados de la eficiencia de remoción de los filtros para conductividad, Coliformes totales y Salmonela spp 75
Tabla 8.2 Resultado de la eficiencia de remoción de fosforo reactivo 77
Tabla 8.3 Resultado de la eficiencia de remoción de sólidos de los filtros 77
Tabla 8.4 Resultado de la DQO para las diferentes muestras 78
Tabla 8.5 Resumen de producción de aguas grises y caudal de diseño 79
Tabla 8.6 Información de las bajantes 79
Tabla 8.7 Información de colectores 80
Tabla 8.8 Parámetros generales tanques interceptores 81
Tabla 8.9 Resultados de diseño tanques interceptores intermedios 81
Tabla 8.10 Resultados diseño tanque interceptor final 82
Tabla 8.11 Resumen de cálculo de la red de suministro por el método de Hunter NTC 1500 85
Tabla 8.12 Resumen de cálculo de la red de suministro por el método de Hunter modificado UNAL 86
Tabla 8.13 Calculo del caudal por cada tramo por el método racional 87
Tabla 8.14 Resumen de cálculo de la red de suministro por el método racional o español 88
Tabla 8.15 Datos curva característica bomba centrifuga 90
Tabla 8.16 Conversión datos curva característica bomba centrifuga 91
Tabla 8.17 Curva característica del sistema 91
Tabla 8.18 Resumen cálculos tanque hidroneumático 93
Tabla 8.19 Consumos sin proyecto para agua potable y alcantarillado con subsidio 94
Tabla 8.20 Consumos de agua potable y alcantarillado aplicando subsidio 94
Tabla 8.21 Factores de decisión tarifa subsidiada 95
Tabla 8.22 Consumo potable y alcantarillado sin proyecto y tarifa neta 95
Tabla 8.23 Consumo potable y alcantarillado con proyecto y tarifa neta 96
Tabla 8.24 Factores de decisión con tarifa neta 97

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Consumo per-cápita de agua en Irlanda para 2010 10
Figura 4.2 Urbanización y evolución de la institucionalidad para la gestión del territorio en Colombia ... 14
Figura 5.3 Montaje de Soxhlet 23
Figura 6.4 Ubicación geográfica proyecto Ícaro 48
Figura 6.5 Consumo diario de agua para estratos 1, 2 y 3 50
Figura 6.6 Consumo de agua potable para vivienda estrato 1 en Bogotá 50
Figura 6.7 Distribución de agua gris producida en una vivienda estrato (1) en Bogotá 51
Figura 6.8 Composición aguas residuales en estrato 1 52
Figura 6.9 Porcentaje de uso por día de la lavadora 54
Figura 7.10 Patrones de medición para pH, turbiedad y conductividad 57
Figura 7.11 Análisis gravimétrico para sólidos 58
Figura 7.12 Toma de pH a patrón de análisis (1) 58
Figura 7.13 Borra de café con hexano después de ser centrifugado 60
Figura 7.14 a) Montaje filtro con borra de café b) Montaje filtro con carbón activado 61
Figura 8.15 Resultados de la caracterización primaria para pH y conductividad 74
Figura 8.16 Resultados de la caracterización primaria de sólidos 75
Figura 8.17 Resultados de oxígeno disuelto de las diferentes muestras 76
Figura 8.18 Esquema filtro de tratamiento 84

LISTA DE ECUACIONES

$n = N * Z2 * p * qe2 * N - 1 + Z2 * p * q$ (5.1) 18
$V = 1n * R2/3 * S1/2$ (5.2) 24
$Q = V * A$ (5.3) 24
$Q = An * R2/3 * S1/2$ (5.4) 24
$F = \gamma * R * S$ (5.5) 25
$F = 250 * \emptyset * S$ (5.6) 25
$V = 1n * \emptyset 42/3 * S1/2$ (5.7) 29
$Q = An * \emptyset 42/3 * S1/2$ (5.8) 29
$Qg = Qr * PG$ (5.9) 31
$Qv = Qg * PL * NA$ (5.10) 31
$Qd = 7 * Qv * PLD86400$ (5.11) 31
$td = 1.5 - 0.3 * Log(P * D)$ (5.12) 32
$td = 1.5 - 0.3 * Log(Qd)$ (5.13) 32
$td = 1.5 - 0.3 * Log\ (Qd/nt)$ (5.14) 32
$TALt = TAL * PG * PL$ (5.15) 32
$TALf = TALt * PL$ (5.16) 32
$Vsed = P * Qto * td1000$ (5.17) 33
$Vlod = TAL * P * Nope1000$ (5.18) 33
$Vna = TAN * P * Nope1000$ (5.19) 33
$VT = Vsed + Vlod + Vna$ (5.20) 33
$Hsed = Vsed/Asup$ (5.21) 33
$Hlod = Vlod/Asup$ (5.22) 33
$Hna = Vna/Asup$ (5.23) 33
$Cs = QdAs$ (5.24) 34
$V = Cs * 0,001 * 60$ (5.25) 34
$t = N0\ C0 * VD - \ln CoCe - 1K * Co$ (5.26) 34
$Ca = 8760ha$ñot (5.27) 35
$Volumen\ de\ material\ = As * D$ (5.28) 35
$V = QA$ (5.29) 36
$j = 6.1CQ1.75D4.75$ (5.30) 37
$j = Q280CD2.631.85$ (5.31) 37
$hT = LT * j$ (5.32) 38
$hv = v22g$ (5.33) 38
$PE = hT + hv + LV + Pa$ (5.34) 38
$Kv = 1n - 1$ (5.35) 42
$Qi = a1 + a2 + a3 \ldots . + an$ (5.36) 42
$Qmax = Kv * Qi$ (5.37) 43
$Ke = N + 1910 * (N + 1)$ (5.38) 43
$Qp = Qmax1 + Qmax2 + Qmax3 \ldots + Qmax\ n * Ke$ (5.39) 43
$PotenciaHP = \gamma * ADT * Q\eta * 76$ (5.40) 43
$Ceq = \#\ Salidas * k$ (5.41) 45
$Qmed = Qon + Qoff2$ (5.42) 45
$Vr = Qmed * T4$ (5.43) 45
$Vt = Vr * F$ (5.44) 46

RESUMEN

Ícaro es un proyecto de vivienda de interés social que fue construido por Crisálida Construcciones en la localidad 5 de Usme, es un proyecto con estrato socioeconómico uno (1) en la zona periférica de la ciudad. En el presente trabajo se realizó una evaluación técnica y económica de un sistema de recolección, tratamiento y reúso de aguas grises obtenidas de lavado de ropa, para las condiciones específicas del conjunto multifamiliar Ícaro.

Se decidió recolectar las aguas provenientes del lavado de ropa dados los hábitos de consumo por parte del estrato socioeconómico uno (1), en el cual, lavar ropa es la actividad de mayor demanda del recurso hídrico, con el fin de disminuir el impacto ambiental por el alto consumo de agua. El trabajo se enfocó en desarrollar un sistema de tratamiento económico y eficaz para las características de las aguas grises obtenidas, además del diseño hidrosanitario para la recirculación de agua tratada para ser utilizada en los inodoros, y actividades que no requieran agua potable, finalizando con un análisis económico que nos definiera la viabilidad económica de esta clase de proyectos para niveles socioeconómicos bajos.

Palabras clave: Económico, recolección, reúso, tratamiento, aguas grises, socioeconómico, consumo.

ABSTRACT

Icaro is a project of social interest housing that was built by Crisálida Construcciones in the district 5th of Usme, it is a project with socioeconomic stratum one (1) in the peripheral zone of the city, in the present work an evaluation was made technical and economic system of collection, treatment and reuse of gray water obtained from laundry. For the specific conditions of the multifamily complex Icaro.

It was decided to collect the water coming from the washing machine given that the consumption habits from the socioeconomic stratum one (1), in which washing clothes is the activity with the greatest demand of water, with the final purpose to reduce the environmental impact by the high water consumption. The work focused on developing an economic and effective treatment system for the characteristics of the gray water obtained, in addition to the hydrosanitary design for the recirculation of treated water to be used in the toilets, and activities that do not require potable water, ending with a economic analysis that would define the economic viability of this kind of projects for low socioeconomic levels.

Keywords: Economic, collection, reuse, treatment, gray water, socioeconomic, consumption.

1. INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, el hombre es la causa principal en la disminución y deterioro de la calidad del recurso hídrico, llevándolo a una escala sin precedentes, para el año 2010 se manejaban cifras cercanas a 2 millones de toneladas de aguas residuales vertidas a los cuerpos de agua a nivel mundial sin ningún tratamiento. Siendo los países en desarrollo los que aportaban en mayor medida con este volumen de vertimientos, en los cuales entre el 70 y 90 % de desechos líquidos no son tratados y vertidos a aguas superficiales (UNESCO, 2003).

Las aguas residuales domesticas están constituidas principalmente por materia orgánica e inorgánica con altos contenidos de fosforo y nitrógeno, siendo reutilizadas especialmente en la irrigación de jardines y zonas verdes principalmente en viviendas rurales. Al no tener sistemas de alcantarillado construidos, los tanques sépticos son la tecnología más utilizada para tratar las aguas residuales (Cespedes, 2013), pero este no es el único uso que se le puede dar a las aguas residuales, en especial después de realizar un tratamiento adecuado.

En América latina con apenas el 15,2 % de la superficie de tierras del planeta, se reciben el 30 % de las precipitaciones a nivel mundial, y se tiene aproximadamente el 42 % del agua dulce del mundo, sin embargo, se estima que en términos de saneamiento solo el 40 % de la población cuenta con un adecuado sistema. (FAO, 2010)

Con las condiciones actuales en el mundo la gestión de los recursos se convierte en una prioridad, la sostenibilidad se vuelve una cualidad que debe estar presente en todos los ámbitos sociales para así asegurar recursos para las generaciones futuras; con respecto al agua las principales actividades en la gestión de este recurso son la utilización de dispositivos de ahorro y los sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias. La introducción de sistemas de reutilización de aguas residuales es un campo relativamente nuevo el cual solamente a través de la investigación se obtendrán los conocimientos que permitirán realizar la ejecución de esta clase de proyectos en las ciudades. (Bermejo, 2012)

En el año 2017, bajo el lema “Aguas residuales el recurso desaprovechado”, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) recalca la posibilidad que presentan las aguas residuales sobre todo en el área de la agricultura, pensando de nuevo en su objetivo principal que es la seguridad alimentaria, y además considerando que la agricultura representa cerca del 70 % del consumo de agua dulce; La UNESCO destaca la necesidad de reciclar y tratar las aguas residuales de una manera inocua y segura.

La seccional de la ONU, ONU-Agua, en el año 2017 sugirió un cambio cuantitativo para considerar las aguas residuales como un recurso, y no como un problema, considerando que el agua es y será un recurso cada vez más escaso. Asimismo, las aguas residuales urbanas tratadas pueden ser una fuente de fosforo y nitratos que podrían ser utilizados en fertilizantes, se estima que con la reutilización de aguas residuales podría cubrirse un 22 % de la demanda mundial de fosforo el cual es un recurso finito (UNESCO , 2017)

Para poder realizar un tratamiento adecuado es necesario conocer las características con las que llegan las aguas grises al punto de almacenamiento, dependiendo de el origen de estas

tendrán diferentes características que van a definir el esquema del tratamiento para que el agua cumpla con las condiciones mínimas para su recirculación (Alvarado Franco, 2007); Las aguas grises contribuyen hasta en dos tercios con la carga total de fosforo y nitrógeno proveniente de los jabones y detergentes utilizados, estos elementos causan problemas en los cuerpos receptores generando eutrofización, aumentando la DBO y afectando los ecosistemas por la disminución del oxígeno disuelto (Huhn, 2015). Además de contribuir con el aumento y variación de otros parámetros como son sólidos totales, pH, turbiedad, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, y presencia de diferentes microorganismos algunos patógenos para los humanos.

Este proyecto surge a partir del compromiso que tenemos con el medio ambiente y el principal recurso con el que contamos para poder subsistir, dadas las investigaciones que sugieren la reutilización de las aguas residuales y buscando una solución al problema que se plantea acerca del uso racional del recurso hídrico para construir ciudades sostenibles, se consideró proponer el reúso de aguas grises en conjuntos multifamiliares, siendo las aguas grises las de mayor aporte de caudal respecto al agua residual doméstica (Niño & Martinez, 2013) y las que dadas su composición, requerirían un tratamiento de menor costo al que se tendría con las aguas sanitarias.

En el presente trabajo se realizó una evaluación de la eficiencia técnica y económica de un sistema de recolección, tratamiento y reúso de aguas grises obtenidas del lavado de ropa comparándolo con un sistema hidrosanitario convencional. Con el fin de establecer la viabilidad económica y técnica para las condiciones del conjunto multifamiliar de Viviendas de Interés Prioritario (VIP) Ícaro ubicado en la localidad de Usme en la ciudad de Bogotá.

El presente informe se ha dividido en 9 capítulos, exceptuando la introducción se dividen de la siguiente manera:

Capítulo 2: se describe el planteamiento del problema y la justificación del proyecto, además de contener el estado del arte donde se recopila información sobre el reúso de aguas en distintos tipos de edificaciones.

Capítulo 3: Objetivos, se establece el objetivo general, y los objetivos específicos.

Capítulo 4: Marco contextual, donde se contextualiza respecto a las aguas grises y las viviendas de interés social y prioritario

Capítulo 5: Marco teórico, en el cual se definen conceptos técnicos, y se proporcionan datos para contextualizar respecto al tema central del trabajo.

Capítulo 6: Recopilación de información, donde se almacena información importante para la comprensión del documento.

Capítulo 7: Metodología, consecuente con los objetivos específicos

- Fase 1, diagnóstico sobre la recolección y el tratamiento de las aguas grises generadas del lavado de ropa. Donde se realiza la descripción del proyecto, se define como se lleva a cabo la caracterización de las aguas grises, y se realiza la propuesta de recolección y tratamiento.

- Fase 2, diseño de las alternativas de recolección, tratamiento y reusó de las aguas grises obtenidas del lavado de ropa. Donde se define la metodología usada para comparar la eficiencia de remoción de los filtros, se determina como se llevará a cabo el diseño de los sistemas de recolección, tratamiento y reúso de las aguas grises.
- Fase 3, relación de costo beneficio del sistema de recolección, tratamiento y reúso de aguas grises, respecto a un sistema hidráulico convencional. Donde se define como se realiza el presupuesto y se desarrollara la relación de costo- beneficio.

Capítulo 8: Resultados y análisis, consecuente con los objetivos específicos

- Fase 1, donde se definen los resultados de la caracterización de las aguas grises obtenidas de lavado de ropa.
- Fase 2, donde se comparan las eficiencias de remoción de los filtros de borra de café y carbón activado, y se lleva a cabo los cálculos para el diseño de los sistemas de recolección, tratamiento y reúso de las aguas grises.
- Fase 3, donde se consigna los valores obtenidos del presupuesto de obra, y su posterior análisis de costo-beneficio.

Capítulo 9: Conclusiones.

Capítulo 10: Recomendaciones.

Capítulo 11: Bibliografía.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El planteamiento del problema y la justificación para la realización de este trabajo se desarrollan a continuación:

2.1. Descripción del problema

Inicialmente la preocupación de las autoridades por ajustar los diseños y materiales usados en las instalaciones hidrosanitarias surge a raíz de cuidar la salud de los habitantes de las edificaciones, evitando instalaciones inadecuadas e insalubres, no es una casualidad que, en la antigüedad, las civilizaciones más avanzadas fueran las que contaban con sistemas de abastecimiento de agua potable y recolección de aguas sanitarias (Pérez Carmona, 2010).

Bogotá ya cuenta con una población alrededor de ocho millones de habitantes, que generan aguas servidas donde la mayor parte de estas van directamente al río Bogotá, tan solo en un porcentaje menor al 35 % es tratado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) el salitre, la cual además solo cuenta con un tratamiento primario, insuficiente para devolver el agua en óptimas condiciones al río (SUPERSERVICIOS, 2013) , por tal razón, se deben buscar nuevas tecnologías para que la ciudad se desarrolle de manera sostenible.

La aparición de espumas también procedente de los detergentes causa problemas de operación en las PTAR dado que no permite la sedimentación de partículas suspendidas y además puede llegar a recubrir las superficies de trabajo con los sedimentos que contenga (Kirk, 1999). Considerando lo anterior, la huella ambiental que se genera por el uso del recurso hídrico y la descarga como contaminante es un problema importante en la ciudad, por lo que se hace necesario el uso de nuevas tecnologías que permitan dar un uso eficiente del recurso.

Al ser el uso de la lavadora la actividad de mayor consumo, se genera una alta cantidad de agua residual doméstica, con elevados niveles de fosfatos por el uso de detergentes. Las altas concentraciones de compuestos de fosforo y nitrógeno conlleva a la eutrofización de los cuerpos de agua receptores, provocando un desequilibrio en los ecosistemas que se encuentren allí por aumento de la población de algas y variaciones en los niveles de oxígeno disuelto (Moreno A. , 2013).

La resolución de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) 750 de 2016, adoptada después del intenso fenómeno del niño que enfrentó Colombia entre 2015 y 2016, reduce gradualmente la dotación de agua potable para los hogares, donde para Bogotá, será de 11 m^3/mes por suscriptor para el 2018; si se considera que muchos de los hogares están conformados por 4 o más personas (Secretaria Distrital de Planeación de Bogotá , 2017) y que la mayor parte de los hogares tienen un consumo promedio mayor a lo establecido por la CRA, cumplir la norma es un reto para cada hogar. (Chacón et al., 2012).

La alta demanda de agua potable en Colombia, determinada por aspectos como el aumento progresivo de la población urbana, y en el marco político la escasa gestión ambiental en cuanto a la conservación y recuperación de recursos hídricos, sumado a la variabilidad climática, por ejemplo el fenómeno del niño; genera una reducción gradual en la dotación de agua potable y saneamiento básico en los hogares urbanos de la ciudad de Bogotá D.C, por lo que se plantea la aplicación de un sistema de recolección, tratamiento y reúso de agua gris

obtenida del uso de la lavadora, para las condiciones del conjunto multifamiliar Ícaro, tipo VIP ubicado en la ciudad de Bogotá, con el fin de lograr una disminución en el consumo de agua potable.

Un estudio para una vivienda de nivel socio económico bajo (estrato uno) en la ciudad de Bogotá, arrojó que aproximadamente el veintisiete por ciento (27%) de las aguas residuales son aguas sanitarias y el setenta y tres por ciento (73%) restante son aguas grises; en cuanto al consumo de agua potable alrededor del treinta y uno por ciento (31%) se destina al uso de lavadora, siendo la actividad que tiene el consumo de agua más alto, seguido del uso del inodoro con el veintiséis por ciento (26%) (Niño & Martinez, 2013).

Las aguas grises se pueden destinar para diferentes usos posterior a su tratamiento, estos pueden ser el lavado de pisos, fachadas, autos, riego de jardines y descarga del inodoro, si se considera solamente este último uso se calcula que el consumo de agua potable en la vivienda disminuye un 30 % (Pidou, 2008).

2.2. Estado del arte

La caracterización y cuántificación de las aguas grises es uno de los factores importantes cuando se quiere reusar el agua gris, en Grecia se ha investigado sobre este tema, (Noutsopoulos et al, 2018) y (Antonopoulou et al, 2013) desarrollaron estudios para las aguas grises en los hogares griegos y el estudio hecho por (Eriksson et al, 2002) es uno de los más relevantes para tener un acercamiento sobre la composición de aguas grises en general, en Colombia, trabajos como los de (Ochoa Salinas, 2007) y (Niño & Martinez, 2013) permiten un acercamiento a la caracterización y gereración de aguas grises de diferentes actividades, en hogares de diferentes estratos socio económicos de Bogotá.

En el Instituto Tecnologico de Dublín hacen un acercamiento al consumo de agua per capita por dia para varios usos a nivel domestico en Irlanda, obteniendo como resultados que las actividades con mas consumo de agua son la ducha (38%) y la descarga del inodoro (27%) con 56 L y 40 L respectivamente, y las actividades de menor consumo son la prepraracion de alimentos y bebidas (3%) con un consumo de 4.5 L cada una. (Li, Boyle, & Reynolds, 2010)

En estudios acerca de la calidad microbiologica de las aguas grises no tratadas, se ha encontrado presencia de *Escherichia coli* y virus entericos (O'Toole et al, 2012), mientras que, en aguas grises tratadas no se ha encontrado presencia de coliformes fecales ni riesgo debido a la exposición de las personas en zonas de riego de jardines (Busgang et al, 2015). Otros estudios han comprobado que el riesgo asociado a enfermedades debido a la presencia de *Legionella pneumophila* en aguas grises tratadas, es bajo (Blanky et al, 2017) (Blanky et al, 2015).

Algunos trabajos como los de (Díaz & Ramirez 2016) y (Acosta et al, 2016), desarrollan sistemas de tratamiento por vivienda para la reutilización de aguas grises generadas por la lavadora para diferentes estratos socio económicos en Bogotá. Se puede concluir que son proyectos viables económicamente, siendo sistemas de fácil adaptación y operación, pero una limitante es el área de la vivienda para la instalación del tren de tratamiento; otros ejemplos son los de (Moreno & Quintero, 2014), que proponen la reutilización del agua que

se genera en la ducha para el inodoro y (Espinal et al, 2014) proponen un prototipo automatizado para el reciclaje de aguas grises.

Un análisis para tratamiento y reutilización de aguas grises en viviendas de interes social (VIS) en Bogotá, a partir de humedales artificiales, estima la viabilidad del proyecto, tomando como factor de anális el valor presente neto (VPN), donde se puede recuperar la inversión en 10 años (Sierra Mesa, 2006). Los humedales se convierten en una tecnologia sostenible para el tratamiento de aguas en los cuales se dan procesos de abosrcion de nutrientes como nitrogeno y fosforo , y adsorcion de contaminantes en los tejidos de los organismos presentes en el humedal; los principales procesos biologicos desarrollados en los humedales son nitrificacion, desnitrificacion , metanogenesis y sulfato reduccion. (Borin, y otros, 2011)

Australia tiene poca disponibilidad de fuentes de abastecimiento para uso de agua potable, esto asociado a la creciente urbanización hacen que el país deba buscar alternativas para el uso del recurso, si se espera que la demanda de agua aumente entre 2001-2031 un Treinta y siete por ciento (37 %), en la búsqueda de alternativas se realizó un análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (DOFA o SWOT por sus siglas en inglés) para evaluar la viabilidad del uso de aguas grises recicladas en lavadoras, concluyendo una tendencia positiva para estos usos (Mainali et al 2011).

Las aguas grises tratadas tienen muchos campos de aplicación hoy en dia, ya sea en viviendas uni o multifamiliares, hoteles, centros comerciales, polideportivos, construcciones industriales, etc. Excluyendo el uso para consumo humano, aun asi cumpliendo con unas características físicas, químicas y microbiológicas para poder ser utilizadas. (AQUA ESPAÑA, 2011)

Se han estudiado propuestas para sistemas de tratamiento de aguas grises para construcciones verticales, por ejemplo (Jiménez et al, 2016), Desde el punto de vista económico, análizando diferentes variables para conformar una empresa que pueda ofrecer el servicio de diseño y construcción de sistemas de recolección, tratamiento y reutilizacion de agua gris para conjuntos residenciales nuevos, tipo torre, se refleja la viabilidad económica, para esto se requiere de incentivos que permitan que las empresas constructoras del sector inmobiliario adopten este tipo de tecnologías; por otro lado (Ardila Galvis, 2013), plantea la posibilidad de adaptar un sistema de tratamiento de aguas grises para una torre de apartamentos, el cual tiene una inversión elevada pero que se puede recuperar con el ahorro del 50 % de agua potable.

Un estudio para reutilización de aguas grises en viviendas multifamiliares para Bogotá, realizado por (Tovar Sanchez, 2006) y otro realizado en Israel por (Friedler & Hadari, 2006) para edificios de varias planta, presentan dos alternativas de tratamiento, el tratamiento biológico con membrana (MBR) y contactadores biológicos rotatorios o Bio – discos (RBC), aunque ambos tratamiento son costosos, el MBR requiere de costos muy elevados en instalación, operación y mantenimiento y en ambos estudios se concluye que no es viable su implementación, mientras que el RBC se podría implementar, asegurando un mínimo de usuarios dependiendo de cada caso.

Aunque los sistemas MBR para el tratamiento de aguas grises son costosos, se han desarrollado casos en los que es viable su aplicación, por ejemplo, (Atanasova et al, 2017) desarrollo un estudio de caso con éxito, en el que se implementa un sistema MBR para un hotel en España, el MBR se optimizo mediante el uso de un sistemas de control de la erosión del aire y un estudio hecho en Vietnam, en el que se trató agua proveniente de los fregaderos de la cocina y los baños de un dormitorio de la universidad de Can Tho, mediante el proceso HUBER MBR en un periodo de tres meses, se logró producir agua de alta calidad para uso en inodoros, concluyendo que se puede reducir significativamente la demanda de agua potable con el uso de esta tecnología (Paris & Schlapp, 2010).

En el mundo se tienen casos en los que se han tenidos resultados exitosos en la reutilización de aguas grises, en Alemania, por ejemplo, se han registrado varios casos de reutilización de aguas grises, previo a un tratamiento biológico, para el lavado de inodoros y en los que se concluye la factibilidad en este tipo de tecnologías (Nolde, 2000).

En Colombia no se han registrado casos de aplicación de reúso de agua gris en una vivienda o en conjuntos multifamiliares, sin embargo, se han hecho varios estudios que pretenden abarcar el tema y proponer alternativas para su implementación.

Las grandes edificaciones como centros comerciales, cines, teatros, aeropuertos, etc., son sitios potenciales en los que se pueden implementar tecnologías de reutilización de aguas grises, puesto que la mayor parte del consumo de agua no debe ser potable. Muchos aeropuertos en el mundo han buscado la manera de reducir el consumo de agua potable, dentro de los que han optado por el reúso de aguas grises de manera exitosa han sido el aeropuerto de Hong Kong en China, Narita en Japón y Fiumicino en Italia (de Castro et al., 2013); otro caso es del Aeropuerto Internacional Tancredo Neves, municipio de Confins - Brasil, en el cual se evaluó un sistema de tratamiento con un dispositivo de desinfección UV, con el que los resultados dieron cuenta de la viabilidad del sistema en cuanto al tratamiento, con un periodo de recuperación de la inversión de cinco (5) años (de Aguilar et al., 2015).

Dada la posibilidad de usar aguas grises para riego ya sea de jardines, huertas, etc., se han adelantado estudios sobre los efectos que puede tener este tipo de uso en el suelo y en las plantas, (Turner et al, 2013) encontraron que dependiendo de la concentración de fosforo en aguas grises, debidas principalmente al uso productos de aseo en el hogar, puede ser ostenible su uso para riego. El riego con aguas grises no tratadas puede provocar la acumulación de surfactantes en el suelo y estimular cambios fisicoquímos y microbiologicos en este, además en suelos arenosos se crea repelencia al agua, por lo que es importante tratar el agua gris antes de su uso (Travis et al, 2010) (Wiel-Shafran et al, 2006).

La reutilización de aguas grises ha abierto la posibilidad para que empresas desarrollen y comercialicen diferentes sistemas de tratamiento para las aguas grises, dentro de estas se puede encontrar la empresa PHOENIX que ofrece la serie AQUACELL G y la empresa GreyWaterNet que ofrece los sistemas 1350, 1950 y 2500, cada uno con diferentes capacidades de almacenamiento. El uso de estos equipos requiere de la separación de las tuberías que transportan aguas grises y aguas residuales provenientes de inodoros para su buen funcionamiento. Otra empresa que ofrece una alternativa para el reciclaje del agua de

la ducha es igenDESIGN, a través de un producto llamado GRIS, desarrollado por un colombiano, que recoge el agua en cajones fáciles de trasladar para usar el agua en el inodoro.

3. OBJETIVOS

A continuación se presentan el objetivo general y los objetivos específicos planteados.

3.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia técnica y económica de un sistema de recolección, tratamiento y reúso de aguas grises obtenidas del uso de la lavadora, para el conjunto multifamiliar Ícaro, tipo vivienda de interés prioritario (VIS), ubicado en la localidad de Usme, Bogotá.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la recolección y tratamiento de las aguas generadas en el lavado de ropa.
- Diseñar las alternativas de la recolección, tratamiento y reúso de agua generada por la lavadora para un conjunto multifamiliar VIS, comparando la eficiencia de un filtro con borra de café y uno con carbón activado.
- Desarrollar un análisis de costo-beneficio del sistema de recolección, tratamiento y recirculación de aguas grises de lavado de ropa frente a un sistema convencional.

4. MARCO CONTEXTUAL

Un estudio realizado en Grecia, arrojo que las actividades que generan mayor cantidad de aguas grises en primer lugar está el uso de la ducha con un 32 %, seguido del lavado de ropa con el 22 %, otras actividades juntas como el lavado de pisos, riego de plantas, lavado de autos generan el 21 %, las aguas grises generadas en la cocina corresponden al 17 %, y finalmente el lavamanos con el 8 %. (Antonopoulou et al 2013)

En el año 2010 se realizó una investigación en Irlanda, en la cual determinaron la demanda de agua per cápita a diario para varios usos, la mayor demanda fue el uso de la ducha y las bañeras con el 38 % (56 l/día), seguido de la descarga del inodoro con el 27 % (40 l/día) (Li, Boyle, & Reynolds, 2010). Lo cual abre la interrogante de que tan conveniente para la situación actual del planeta es utilizar agua potable en actividades que no la requieran.

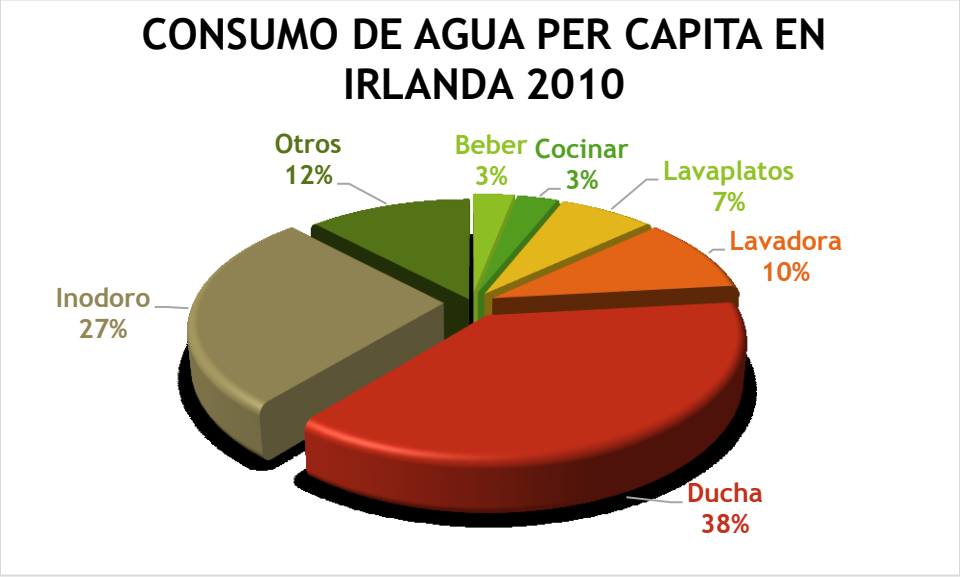

Figura 4.1 *Consumo per-cápita de agua en Irlanda para 2010*

Fuente: (Li, Boyle, & Reynolds, 2010)

Se estima que entre el 60 y 75 % de las aguas residuales generadas en las viviendas son aguas grises, es decir aguas que con un tratamiento leve pueden quedar en condiciones para actividades que no requieran que el agua sea potable. Dentro de estas actividades podemos destacar la descarga de los inodoros, el lavado de ropa, el riego de zonas verdes, el lavado de pisos, fachadas, autos. (Rodriguez, 2008)

4.1. Descripción de los usos potenciales de las aguas grises tratadas

Podemos clasificar las aguas sanitarias domesticas como aguas grises y aguas residuales provenientes de los baños o aguas sanitarias, las primeras son aquellas provenientes de la ducha, lavamanos, lavaplatos, ducha, lavado de ropa y fregadero, las cuales representan el 70 % del agua residual domestica total (Niño & Martinez, 2013), sin olvidar que las aguas grises pueden convertirse en aguas sanitarias si son retenidas sin oxigenar en aproximadamente 24 horas (Ochoa, 2012)

La posibilidad de uso de este tipo de agua para usos no potables con previo tratamiento ha tomado fuerza en diferentes países, Australia y Japón son los que han desarrollado mayores propuestas debido a la poca oferta de agua disponible en su territorio.

Tomando como principio la separación de las aguas residuales de las aguas grises, las oportunidades de uso de las aguas grises domesticas después de hacer un tratamiento son variadas y estarán determinadas por las condiciones específicas que pueda tener cada tipo de uso, el tratamiento se puede simplificar si únicamente se toman las aguas grises provenientes del lavado de ropa cuyos contaminantes son menos complejos de lo que pueden llegar a ser si se tomaran las aguas procedentes de lavamanos y duchas, además de esta separación si en las viviendas se llevaran a cabo hábitos de higiene y limpieza, así como uso de detergentes biodegradables se podría disminuir aún más la complejidad del tratamiento para estas aguas, influyendo de una manera directa sobre los costos de operación del sistema de tratamiento. (Ochoa, 2012)

En Colombia la normatividad en cuanto al reúso de aguas grises es escasa y se podría decir que casi nula, lo que va en contravía de lo que el país y las ciudades plantean dentro de sus políticas públicas como (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008) y (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), considerando siempre el uso eficiente del recurso hídrico.

Siendo limitada la normatividad y directrices para Colombia en cuanto a la calidad del agua gris tratada para reúso en algunos sectores, es necesario tomar en consideración estándares internacionales. Las normas y directrices que se tendrán en cuenta son: la resolución 1207 de 2014 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, estándares internacionales como (EPA, 2012) y (EPA, 2004), (World Health Organization, 2006), Código de regulaciones de California Titulo 22 - División 4 - Capitulo 3 y, NSF/ANSI 350 y 350-1 de 2011.

Los usos considerados para el agua gris tratada teniendo en cuenta la bibliografía y estudios hechos se dividen en uso residencial urbano, uso agrícola, uso industrial y otros.

El uso del recurso hídrico en el campo agrícola es aproximadamente diez veces mayor que para cualquier otro uso, puede ser utilizado en riego de cultivos, huertos, árboles frutales y en prados, al igual puede ser utilizado para actividades de dilución de elementos para la agricultura como son pesticidas y fertilizantes. (Alvarado Franco, 2007)

Los sectores industrial y minero son potenciales usuarios de las aguas grises tratadas ya que generalmente no requieren de una alta calidad para el uso del agua, en ocasiones reutilizan sus propias aguas residuales, pero al tener una demanda tan alta del recurso hídrico para

llevar a cabo sus labores, son candidatos excepcionales para implementar sistemas de reutilización, entre los usos del agua están, agua de refrigeración y alimentación de calderas, agua de lavado y riego de caminos, agua de procesos, fabricación de alimentos preparados.

Para el uso ambiental se puede pensar desde la generación de estanques artificiales hasta recarga de acuíferos, embalses y humedales, recuperación del caudal ambiental, teniendo en cuenta siempre las características de los ecosistemas para no generar un impacto negativo en el mismo.

La idea de reutilizar agua no es más que una copia del ciclo hidrológico que genera el planeta y no solamente con el recurso hídrico si no con los demás recursos naturales como fosforo, nitrógeno, carbono, etc. Todos los ecosistemas exitosos, lo son por aprovechar todos sus recursos al máximo, lo cual es algo que la humanidad no termina de comprender y por lo cual se presentan problemas como la escasez de agua, con la tecnología desarrollada hoy en día se es capaz de llevar aguas residuales a niveles de calidad muy altos, pero con el limitante económico que es lo que define la viabilidad o inviabilidad de cualquier proyecto en el mundo actual.

Para establecer el sistema de reutilización de aguas grises se deben tener dos criterios definidos:

1. la calidad adecuada para el uso que se le piensa dar al agua gris tratada
2. el tratamiento para alcanzar esa calidad en el agua gris después del tratamiento

La reutilización del agua gris puede tener muchas ventajas en el sistema en general como, por ejemplo:

- permitir priorizar el agua dulce para actividades que requieran agua potable, como por ejemplo el servicio público de acueducto
- disminuir los costos de tratamiento de las PTAR, dado que el volumen de agua y la concentración de contaminantes disminuye si se hace una separación de aguas residuales y aguas grises, para reutilizar las aguas grises.
- disminución de la contaminación de los cuerpos de agua receptores de los alcantarillados
- el aprovechamiento de recursos naturales presentes en aguas grises como compuestos de fosforo, nitrógeno y sodio, sobre todo cuando se utiliza en riego agrícola o de jardines
- mayor garantía del suministro de agua potable para las actividades que así lo requieran

(Robles, 2013)

Aparte de agotar todos los recursos tecnológicos para poder tratar aguas grises y llevarla a una calidad y aspecto similar a la del agua potable, es indispensable pensar en metodologías que permitan desarrollar un buen uso del recurso, es decir crear la conciencia de reutilizar tantas veces como sea posible usando los tratamientos adecuados, para establecer el uso de agua de menor calidad comparada con la potable en actividades que así lo permitan, y con ello enfocar el recurso y los esfuerzos para llegar a un agua de alta calidad para que sea un agua de consumo. (Ochoa, 2012).

4.1.1. Uso residencial y comercial urbano

En el espacio urbano se puede dar diferentes usos a las aguas grises tratadas, puesto que, la mayor parte del agua que se gasta no necesita ser potable. Para esta clase de usos es necesario tener en cuenta la aplicación destinada para el agua gris, pues dependiendo de esto, variará la calidad final de la misma; por ejemplo, un estudio realizado por (Church, et al., 2015), desarrolla un estandar para el uso en lava vajillas de aguas grises tratadas en guarniciones militares, que garantiza la calidad adecuada de operación.

Teniendo en cuenta la variación en estadares de calidad, podemos mencionar como posibles usos los siguientes:

- Riego de jardines, parques, campos deportivos, etc.
- Limpieza de calles, fuentes decorativas.
- Sistemas contraincendios, descarga de sanitarios y urinarios.
- Lavado de autos, fachadas, ventanas, lavado de ropa.
- Lavanderías comerciales

Los principales usos entre los mencionados son el uso en sanitarios-urinarios, y riego de zonas verdes, con estos usos se puede ver un ahorro entre el 30 y 40 % del consumo en la vivienda. (Alvarado Franco, 2007), además en establecimientos comerciales de gran superficie como centros comerciales, aeropuertos, edificios gubernamentales, etc, el potencial de ahorro usando agua gris para descarga de inodoros y urinarios puede ser importante.

Al utilizar el agua gris para riego se debe tener en cuenta que la calidad final de la misma puede tener efectos nocivos para el suelo, en especial con aquellas que presentan cargas elevadas de fósforo, sin embargo, como se evidencia en (Turner, et al., 2013), en concentraciones bajas no existe ningún riesgo y por el contrario se concluye que de manera relavante hay una reducción importante en el consumo de agua potable durante el tiempo de estudio.

Se puede tener en consideración aspectos como el tipo de suelo y las condiciones físico-químicas del mismo, ya que, las aguas grises pueden aportar algunos elementos que alteren las condiciones del suelo.

Por lo anterior, en la (EPA, 2012) se consideran varios aspectos tales como la salinidad, el cloro residual, oligoelementos y nutrientes que pueden tener un impacto por el riego con estas aguas.

4.2. La vivienda y el desarrollo de las políticas públicas para VIS en Colombia

Se presenta a continuación diferentes aspectos de la política de vivienda y el desarrollo de la vivienda de interés social (VIS) como fomento para la adquisición de vivienda propia.

4.2.1. Reseña histórica

El crecimiento progresivo de la población es una dinámica que incrementa la demanda de hogares que requieren una vivienda. Como se aprecia en la Figura 4.2, en Colombia la población urbana desde la mitad del siglo XX ha venido en aumento, durante las últimas tres décadas la población urbana se multiplico por dos, y hoy las siete ciudades principales de Colombia se encuentran entre las cincuenta más densas del mundo (Yepes & Ramírez, 2017).

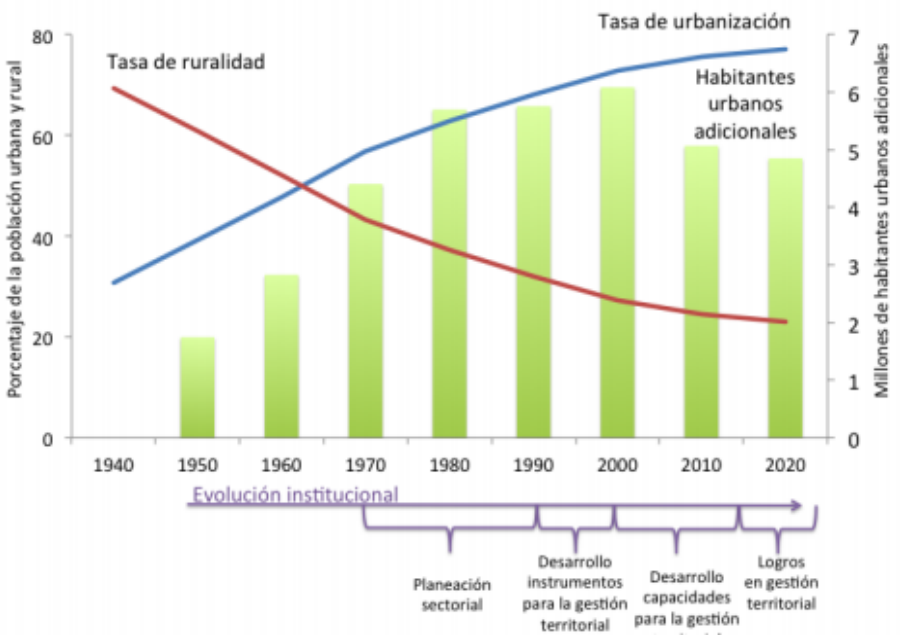

Figura 4.2 *Urbanización y evolución de la institucionalidad para la gestión del territorio en Colombia*

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014)

La dinámica de crecimiento poblacional urbano reflejado en la ilustración 1 representa un reto para la institucionalidad colombiana, el de generar posibilidades acceso a la vivienda, en especial para los sectores más vulnerables.

El interés del gobierno nacional por atender las necesidades habitacionales se inicia en 1918, con la expedición de la ley 46 de 1918, que establece, entre otras cosas, la destinación de recursos tanto del orden nacional como territorial, hacia la construcción de viviendas higiénicas para la clase obrera y proletaria. En el espacio comprendido desde 1918 a la actualidad se puede dividir la política de vivienda en cinco periodos: higienista, institucional, de transición, corporaciones de ahorro y vivienda y de mercado. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

4.2.2. Política pública para VIS y VIP

La concepción de una vivienda digna y de vivienda de interés social (VIS) se establece de la constitución de 1991, la cual en su artículo 51 establece:

ARTICULO 51. *Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El Estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda.*

Desde la década de 1990, con la expedición de la ley 3 de 1991 y la constitución del 91, se implementa el concepto de subsidio a la demanda, en decir, el subsidio como instrumento de financiación de la vivienda. Con la ley 388 de 1997, que reglamenta la creación de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), se crean las herramientas para el acceso, adquisición y ordenamiento del suelo para la construcción de VIS.

A partir del 2000, se desarrollan políticas de subsidios para la adquisición de VIS nueva y no solo de subsidios al mejoramiento de la vivienda, además, se busca incrementar el acceso a la vivienda de las personas más vulnerables y se crea la Vivienda de Interés Social Prioritario (VISP o VIP), que tiene un menor costo que la VIS.

Para efecto, se entiende la VIS y VIP según la definición dada en el artículo 2 del decreto 2190 de 2009:

Vivienda de Interés Social (VIS). Es aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMMLV).

Vivienda de Interés Social Prioritaria (VIP). Es aquella vivienda de interés social cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (70 SMMLV).

Con la expedición de la ley 1537 de 2012 se crea el programa de gratuidad de vivienda para la población más vulnerable, que con consiste en otorgar un subsidio de vivienda en especie. En el desarrollo de esta política, la meta del gobierno fue la entrega 100.000 VIP entre 2012 y 2015. Actualmente, en su segunda fase, el programa estima la asignación de 30.000 VIP (Yepes & Ramírez, 2017).

5. MARCO TEÓRICO

Las aguas grises son las provenientes de usos domésticos como el lavado de ropa, lavado de utensilios de cocina, lavamanos y regadera; se distinguen de las aguas sanitarias procedentes del inodoro por la carga orgánica que presenta cada tipo de agua, sin embargo, las aguas grises también pueden tener presentes bacterias, virus y patógenos. En zonas rurales el manejo del agua gris es más sencillo debido a los volúmenes y la complejidad de la contaminación que está presente, caso contrario a las zonas urbanas donde se manejan grandes volúmenes de aguas, en algunos casos con complejas composiciones debido a los productos que se pueden usar. (García, 2010)

Es de suma importancia tener claridad respecto a las diferencias entre aguas sanitarias y aguas grises, ya que debido a la diferencia en su composición, los tratamientos también son diferenciales entre estas; el tratamiento para las aguas grises se puede ver ampliamente simplificado si se toman agua de las mismas características como puede ser , agua de lavamanos y regadera , por separado agua de lavado de ropa, y agua de la cocina, esto permite tener tratamientos específicos para los contaminantes específicos de cada grupo de aguas grises.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos pensar que el problema general radica en el inadecuado manejo de los recursos, específicamente el elevado consumo de agua potable y generación de aguas residuales y, la posibilidad de que en algunas décadas se pueda enfrentar desabastecimiento de agua potable a gran escala, requiere de soluciones inmediatas que permitan la construcción de ciudades sostenibles, lo que nos remite a problemas específicos si se quiere hacer aprovechamiento de las aguas grises. En nuestro caso encontramos dificultad en la poca disponibilidad de información sobre la caracterización y patrones de generación de éstas aguas, las alternativas para su tratamiento, las metodologías para diseños comunes, por lo que tampoco es posible llegar a establecer costos para la construcción y mantenimiento de sistemas de recolección, tratamiento y reúso.

Aun así, podría mejorarse el tratamiento si al interior de los hogares se dieran buenas prácticas de higiene y limpieza con el uso del agua, así como el uso jabones biodegradables para facilitar el tratamiento del agua. (Ochoa, 2012)

Algunas ventajas del uso de aguas grises tratadas son:

- Menor consumo de agua potable, ya que el agua reciclada puede ser aprovechada en actividades que no sea el consumo, esto generaría ahorro en distribución, tratamiento y mantenimiento de infraestructura.
- Menor complejidad en los contaminantes y menor volumen de agua que van a recibir las PTAR, dado que llegaran aguas residuales con carga orgánica procedentes de los inodoros, y porque el uso de las aguas grises tratadas permite reaprovechar el recurso.
- Ahorro de energía y químicos en las PTAR al tener que tratar menor volumen de agua y con menor concentración de contaminantes específicos.

- Se disminuirá la vulnerabilidad en épocas de sequía, al tener la reserva de aguas grises tratadas.
- Al trabajar con aguas grises se debe tener precaución con:

- Microorganismos dañinos, el agua gris debe ser utilizada después de un tratamiento efectivo, el cual asegure que no hay presencia de microorganismos patógenos para los seres humanos.
- Filtración hacia aguas superficiales, el manejo y conducción de las aguas grises debe ser adecuado para no tener problemas de filtración y contaminar cuerpos de agua cercanos al sitio de almacenamiento.
- Almacenamiento, nunca se debe almacenar aguas grises sin tratamiento por más de 24 horas, ya que las bacterias se reproducen rápidamente y pueden llegar a ser un riesgo para la salud. (Alvarado, 2014)

En la tabla 5.1 se resumen algunas de las características de las aguas grises dependiendo de la actividad generadora.

Tabla 5.1 *Características de aguas grises según origen*

Actividad generadora	Características
Lavado de ropa	Bacterias, espuma, pH alcalino, nitratos, aceites y grasas, fosfatos, jabón, detergentes, solidos suspendidos, turbidez, mal olor con el tiempo.
Regadera y bañera	Bacterias, cabello, mal olor con el tiempo, aceites y grasas, jabón, solidos suspendidos, turbidez.
Lavaplatos	Bacterias, partículas de comida, mal olor con el tiempo, aceites y grasas, materia orgánica, solidos suspendidos, turbidez, jabones

Fuente: (García, 2010)

En general, las aguas grises tienen una característica similar por cada fuente, como se puede apreciar en la tabla 5.1, sin embargo, las condiciones específicas en cuanto a concentración puede tener variaciones.

Para el caso del presente trabajo, que pretende realizar la evaluación de la eficiencia técnica y económica de un sistema de recolección, tratamiento y reúso de aguas grises obtenidas del uso de la lavadora, para el conjunto multifamiliar Ícaro, tipo vivienda de interés social (VIP), ubicado en la localidad de Usme, Bogotá, se requieren tener en cuenta algunos aspectos técnicos como la caracterización de las aguas grises provenientes del lavado de ropa:

5.1. Caracterización de las aguas grises.

Para caracterizar las aguas grises, el primer paso consiste en determinar el tamaño de muestra significativo referido este tamaño de muestra al número de casas, edificios o apartamentos (en este caso apartamentos) con los cuales se va a realizar la investigación. El tamaño (n) de la muestra se calcula con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}} \qquad (\mathbf{5}.1)$$

Siendo:

n = tamaño de muestra buscado

N = tamaño de población o universo

Z = parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

e = error estimado

p = probabilidad de que ocurra el evento

q = probabilidad de que no ocurra el evento (1 - p)

El nivel de confianza es el grado de certeza de ocurrencia de un evento, normalmente se toma por encima del 95 %, de esta manera encontramos el nivel de significancia (α), generalmente 5 o 1 % (0.05 o 0.01), es decir, que se tiene un 95 % o más de seguridad en los datos y solo un 5 % o menos de inseguridad. Con lo anterior podemos determinar el intervalo de confianza, expresado como 1- α para determinar el parámetro estadístico Z, que para un nivel de confianza de 95 % es 1,96. (Sampieri Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

El error estimado los autores lo adoptan como 10%, este porcentaje se refiere al error que se admite como tolerancia de que la muestra no sea representativa de la población (de equivocarse), este error y el nivel de confianza se adoptan a priori por el investigador, sin salirse de los rangos recomendados.

Los parámetros p y q se fijan con base en investigaciones pasadas, sin embargo, en la mayoría de los casos no se tienen estudios previos, por lo que se recomienda adoptar p = 50 % y q = 50 %.

5.2. Carbón activado y borra de café como lecho filtrante para aguas grises

Dentro de las características de las aguas grises provenientes del uso de la lavadora, las más notorias se encuentran turbiedad, la cantidad de solidos suspendidos, y el olor a detergente. Pensando en el uso de estas aguas tratadas en el inodoro y de más actividades que no requieran el agua potable, lo más importante es mejorar las condiciones físicas del agua, por tal razón el tratamiento principal pensado fue la filtración en medios que reduzcan los sólidos por consiguiente la turbiedad, y ayuden a disminuir los olores en el agua.

La estructura típica de los filtros es aquella en la cual se usa grava, arena y carbón activado, los cuales se basan en la adsorción como mecanismo para retirar las impurezas presentes en el agua. El carbón activado es el nombre que recibe una serie de carbones porosos creados artificialmente para que tengan un alto grado de porosidad la cual permita tener una superficie muy adsorbente; la creación de este carbón permite definir el tipo y distribuir de una manera deseada los poros en las partículas de carbón dependiendo de las necesidades. (Luna & González, 2007)

La adsorción es el proceso mediante el cual se captan sustancias solubles en la solución tratada, ya sea esta un líquido, un gas o un sólido, adhiriéndose las partículas no deseadas al medio adsorbente (Universidad de Sevilla, 2010), hay dos tipos de adsorción, adsorción física y adsorción química. La adsorción física se debe a las fuerzas de Van der Waals en la que la molécula adsorbida no se encuentra fija al medio adsorbente, este tipo de adsorción se da sobre todo a temperaturas bajas; por el contrario cuando hay temperaturas altas en el medio predomina la adsorción química en la cual las energías de adsorción son tan fuertes como lo son los enlaces químicos. (Illana, 2014).

Los fosfatos son de los contaminantes con mayor presencia en las aguas de lavado de ropa. Uno de los métodos convencionales más importantes para la remoción de fosfatos, es la adsorción. Los métodos convencionales de remoción de fosfatos en aguas residuales se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 *Métodos convencionales para remoción de fosfatos en aguas residuales*

Método	Ventajas	Desventajas
Precipitación Química	- Simple (baja tecnología) - Fácil instalación y operación (Fe, Al, Ca, Cl,SO4) - Alta remoción	- Costo de reactivos - Producción elevada de lodos - Problemas de disposición - Vertimientos de Cl, SO4 en aguas receptoras
Tratamiento biológico	- Menor cantidad de biomasa por unidad de sustrato degradado - Remoción de N y P conjuntamente - P más reciclable	- Condiciones operacionales más estrictas - Remoción variable - Complicado manejo de lodos (descomposición)
Intercambio iónico	- Alta capacidad de regeneración del material - Alta capacidad de remoción	- Costoso - Capacidad limitada de adsorción
Adsorción	- No hay producción de lodos - Remoción de mayoría de contaminantes - Alta eficiencia (>99%)	- Costo del material adsorbente - Dependencia del pH - Saturación
Bioadsorción	- Económico - Regeneración del bioadsorbente - Potencial recuperación de P	- Dependencia del pH - Saturación

Fuente: (Moreno A. , 2013)

5.2.1. Carbón activado.

Es difícil definir con exactitud en que momento el hombre comenzó a hacer uso del carbón , en Tebas (Grecia) se encontró un papiro que data del año 1550 a.C. donde se describe el uso de carbón vegetal como medio adsorbente para prácticas médicas, en el año 400 a.C. Hipócrates recomienda filtrar el agua con carbón vegetal para eliminar malos olores, sabores y prevenir enfermedades, La primera aplicación industrial del carbón activo se da en 1794 usándolo como agente decolorante en la industria del azúcar; en 1901 se patentan dos métodos para fabricar carbón activado por parte de Raphael Von Ostrejko considerado el inventor de esta clase de carbón. (Universidad de Sevilla, 2010)

Con la primera guerra mundial y el uso de armas químicas, viene la necesidad de utilizar el carbón activo en las máscaras de gas para que estos fueran adsorbidos en el carbón si no también utilizándolos para potabilizar agua, desde los años 30 comenzó a ser utilizado para eliminar el sabor y olor de las aguas y hasta el día de hoy es ampliamente usado en diferentes industrias. (Luna & González, 2007)

Hay dos maneras comunes de utilizar el carbón activado en el tratamiento de aguas, la más común es usando carbón activado granular en una columna como medio de contacto por la cual pasa el agua que va a ser tratada, debe contar con un sistema de retro lavado para disminuir las pérdidas de carga producidas por el material retenido en el lecho filtrante, para remediar estos problemas se han desarrollado filtros con lecho expandido y lecho móvil. (Universidad de Sevilla, 2010)

La otra manera de utilizar el carbón activad es en polvo, esta forma es más común en aguas residuales, se añade al efluente en un tanque de contacto y se deja que el carbón sedimente en el fondo, dado lo refinado de las partículas es posible que sea necesario el uso de un coagulante o un proceso de filtración rápida con arena para extraer el carbón del agua que va a ser tratada. (Universidad de Sevilla, 2010)

5.2.2. Bioadsorción: Borra de café y procedimiento para la obtención final del lecho filtrante.

La bioadsorción surge como una nueva alternativa ya que es un método que permite una potencial recuperación de fosforo, el cual puede ser utilizado en los sectores agrícolas como fertilizante; la bioadsorción es el método de captación de sustancias contaminantes en ciertos tipos de biomasa que se encuentre inactivas o inertes en las cuales se acumulan los contaminantes. Algunos bioadsorbentes tienen un amplio espectro de captación mientras otros pueden ser selectivos para un contaminante específico. (Moreno A. , 2013)

Al igual que los lechos convencionales los bioadsorbentes tiene factores que afectan la eficacia del proceso, dentro de estos factores se encuentran:

- Grupos funcionales superficiales: por lo general son los responsables de los sitios de adsorción en un sólido, dependen del tipo de iones presentes, naturaleza del adsorbato y del pH de la solución (Moreno A. , 2013)
- Efecto del pH: afecta la capacidad de adsorción ya que influye en la forma que se encuentran las especies del contaminante a adsorber (Moreno A. , 2013)
- Superficie y estructura de los poros: la capacidad de adsorber es proporcional a la superficie específica, sin embargo, si el material es menos poroso, pero con grupos funcionales en su superficie puede tener una adsorción química (Moreno A. , 2013)
- Tamaño de las Partículas: en algunos casos la capacidad de adsorción puede aumentar al disminuir el tamaño de partículas por aumentar la accesibilidad de las moléculas pequeñas. (Moreno A. , 2013)
- Naturaleza del adsorbato: la capacidad de adsorber se ve afectada por la solubilidad, peso molecular y tamaño de partículas del soluto (Moreno A. , 2013)

- Efecto de la temperatura: el proceso se ve favorecido cuando las temperaturas del proceso son bajas (Moreno A. , 2013)

Para la aplicación de la bioadsorción se sugiere que el material utilizado se encuentre disponible en abundancia y como un tipo de residuo, fácil de obtener y procesar, además de ser económico. Se han reportado investigaciones de remoción de metales pesados y colorantes utilizando residuos de café o residuos quitinosos como bioadsorbentes; el café es el segundo producto más comercializado en el mundo, se valora una producción cercana a los 7 millones de toneladas anuales, la cual genera gran cantidad de subproductos y residuos desde el despulpado del café hasta el producto final. (Moreno A. , 2013)

5.2.2.1. *Metodología de Juliao Pereira*

Con base a estos principios el investigador Julião Pereira desarrolla la patente identificada con el numero BR 102016005161-4 A2 por el Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INPI) de Brasil con título " *Proceso de aprovechamiento de borra de café para producción de aceite, aroma, fertilizante y solvente*" realizado en la Universidad Federal de Goiás por Nelson Roberto Antoniosi Filho y Julião Pereira, resume el proceso secuencial de extracción aplicado a la borra de café para obtener el aceite, aroma, fertilizante y obtener un solvente para la purificación de gases y líquidos, especialmente para su aplicación en agua contaminada con pesticidas, organoclorados y organofosforados, y elementos químicos potencialmente tóxicos. (Brasil Patente nº BR 102016005161-4 A2, 2016)

Para producir el lecho filtrante partiendo de la borra de café es necesario retirar los aceites, aroma y una fracción orgánica de la misma, Pereira plantea un montaje con un extractor Soxhlet, por el cual usando varios solventes se extraigan esas sustancias a la borra de café. Este montaje permite tener el solvente en un balón de fondo plano el cual está sobre una placa calefactora que hará que el solvente se evapore; este asciende por el brazo del extractor Soxhlet hasta encontrarse con el condensador, esto producirá que el solvente vuelva a estar en estado líquido y caiga sobre la borra de café sostenida por papel filtro, este lavado generara que se comience a dar la extracción de las sustancias deseadas y retornando el solvente con las sustancia disuelta en el al balón de fondo plano, así se generaran un sinfín de lavados evaporando y condensando el solvente haciendo que este siempre llegue de manera pura al material, como se evidencia en la figura 5.3.

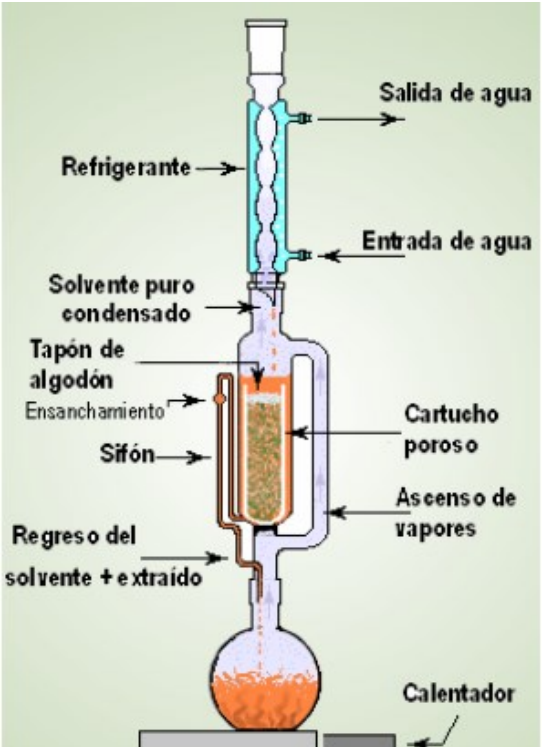

Figura 5.3 *Montaje de Soxhlet*

Fuente: (Manual de prácticas de química orgánica Universidad de Sevilla)

5.2.2.2. Metodología de agitación - centrifugación

En el libro manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados se relaciona un método de extracción basado en la agitación - centrifugación, que surge a partir de la deficiencia en cuanto al tiempo y numero de muestras que se logran procesar con la extracción con Soxhlet ; por esta razón surgen otros métodos que permiten optimizar los tiempos de extracción y la cantidad de solvente por utilizar haciéndolo más económico y rápido procesando muestras en menor tiempo. (Fernandez, Rojas, Roldán , & Islas , 2006)

Esta técnica de agitación-centrifugación se basa en los métodos 3500B y 3540C de la US EPA (1996) modificando las velocidades de agitación y volúmenes de solvente por utilizar. El método se fundamenta en el contacto íntimo de la muestra con el solvente, mediante la agitación produciendo extracciones sucesivas y separando posteriormente el solvente de la muestra por centrifugación. (Fernandez, Rojas, Roldán , & Islas , 2006).

5.3. Diseño del sistema de recolección, tratamiento y reúso.

En este punto se realiza todo el proceso de cálculo para el diseño de sistema de recolección, tratamiento y reúso.

5.3.1. Sistema de recolección.

El sistema de recolección de aguas grises comprende el punto de salida del agua de la lavadora hasta el punto de entrada al sistema de tratamiento. Teniendo en cuenta que para el conjunto ya se tiene un sistema de desagües, el trazado y diseño de la red de agua gris generada por la lavadora se hace modificando los trazados de la red original.

Para el cálculo de las bajantes y colectores de los desagües se puede seguir la metodología y conceptos dados en el libro de (Pérez Carmona, 2010), sin embargo, es de tener en cuenta que el procedimiento para diseños como es el caso de este trabajo, se puede concluir que existe un sobredimensionamiento.

La tubería de desagües debe funcionar a flujo libre, lo recomendable es que funcione al 50 % de su capacidad y en casos extremos de 75 %, por lo que se debe seleccionar un diámetro que cumpla con esto. (Pérez Carmona, 2010).

Generalmente se utiliza la expresión de Manning:

$$\boldsymbol{V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}} \qquad \textbf{(5.2)}$$

Siendo:

V = velocidad en m/s

R = radio hidráulico en m

S = pendiente

n = coeficiente de Manning

Por continuidad tenemos:

$$\boldsymbol{Q = V * A} \qquad \textbf{(5.3)}$$

$$\boldsymbol{Q = \frac{A}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}} \qquad \textbf{(5.4)}$$

Siendo:

Q = caudal en m^3/s

A = área en m

Otra consideración a tener en cuenta es la fuerza tractiva, en la que se recomienda una mínima de 0.15 Kg/m^2, se expresa así:

$$\boldsymbol{F = \gamma * R * S} \qquad \textbf{(5.5)}$$

Siendo:

F = fuerza de tracción en Kg/m^2

γ = peso específico del agua en Kg/m^3

Consideramos que la resistencia al avance opuesta por las paredes de un canal, es similar al efecto de la fricción en un cuerpo que se desliza por un plano inclinado. Si consideramos la traslación de un volumen de líquido de superficie lateral unitaria, la fuerza de tracción, igual y opuesta a la resistente será:

$$\boldsymbol{F = \gamma * R * S}$$

Si:

$\gamma = 1000\ Kg/m^3$

R = diámetro (ϕ)/4

$$\mathbf{F = 250 * \emptyset * S} \qquad \textbf{(5.6)}$$

(Pérez Carmona, 2010)

Para establecer las unidades necesarias por cada aparato se usa la tabla 5.3 con el fin de encontrar el volumen de descarga de la edificación, teniendo en cuenta esto, se procede a contabilizar los aparatos que se conectaran a cada ramal; el ramal se entiende como la tubería que recoge las aguas residuales en cada vivienda, que para este caso es la tubería que recoge el agua gris generada por el uso de la lavadora y la transporta hasta la bajante.

Tabla 5.3 *Tabla de relación de unidades para cálculo de desagües*

Aparato	Diámetro en pulgadas	Unidades de descarga
Bañera o tina	1 1/2 - 2	2 - 3
Bidé	1 1/2	2
Ducha privada	3	2
Ducha pública	3	4
Fregaderos	1 1/2	2
Inodoro	3 - 4	1 - 3
Inodoro fluxómetro	4	6
Lavaplatos	2	2
Lavadora	2	2
Lavaplatos con triturador	2	3
Fuente de agua potable	1	1 - 2
Lavamanos	1 1/2 - 2 1/2	1 - 2
Orinal	1 1/2	2
Orinal fluxómetro	3	10
Orinal pared	2	5
Baño completo	4	3
Baño con fluxómetro	4	6

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

Se hace el inventario de unidades de la relación entre los aparatos y las unidades de cada uno y se tiene el total de unidades por piso o por ramal, estas unidades se llevan a caudal utilizando la tabla 5.4.

Tabla 5.4 *Caudales para fluxómetro*

Unidades	Caudal			Unidades	Caudal		
	gal/min	L/min	L/s		gal/min	L/min	L/s
10	27	102	1.69	200	89.25	337.8	5.63
12	28.6	108.3	1.81	210	90.36	342	5.7
14	30.5	114.3	1.91	220	92.58	350.4	5.84
16	31.8	120.4	1.99	230	95.11	360	6
18	33.4	126	2.09	240	98.28	372	6.2
20	35	132.5	2.19	250	100.98	382.2	6.37
25	38	143.8	2.38	260	102.72	388.8	6.48
30	41	155.2	2.56	270	104.62	396	6.6
35	43.8	165.8	2.74	280	106.37	402.6	6.71
40	46.5	176	2.91	290	108.27	409.8	6.83
45	49	185.5	3.06	300	110.01	416.4	6.94
50	51.5	195	3.22	320	113.03	427.8	7.13
60	55	208.2	3.44	340	116.04	439.2	7.32
70	58.5	221.4	3.66	360	119.21	451.2	7.52
80	62	234.7	3.88	380	122.22	462.6	7.71
90	64.8	245.3	4.05	400	125.23	474	7.9
100	67.5	255.5	4.22	420	128.24	485.4	8.09
120	72.5	274.4	4.53	440	131.25	496.8	8.28
140	77.5	293.3	4.84	460	134.27	508.2	8.47
160	82.5	312.3	5.16	480	137.28	519.6	8.66
180	87	329.3	5.44				

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

La bajante se ubica de manera vertical paralelo a la edificación y recoge el caudal proveniente de los ramales (baños, cocina, lavadora, etc.). Cuando se tienen las unidades que llegan a la bajante, a estas se aplica el coeficiente de simultaneidad, este coeficiente se aplica según el número de salidas que tiene cada aparato instalado, en la tabla 5.5 se puede encontrar el coeficiente que se utiliza según el número de salidas. Para bajantes o colectores el número mínimo de unidades para diseño es de 10 (Pérez Carmona, 2010).

Tabla 5.5 *Coeficiente de simultaneidad*

Salidas	Coeficiente K	Salidas	Coeficiente K	Salidas	Coeficiente K
1	1	9	0.35	17	0.25
2	1	10	0.33	18	0.24
3	0.71	11	0.32	19	0.24
4	0.58	12	0.3	20	0.23
5	0.5	13	0.29	21	0.22
6	0.45	14	0.28	22	0.22
7	0.4	15	0.27	23	0.21
8	0.38	16	0.26	24	0.21

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

El número máximo de unidades que puede transportar una bajante se presenta en la tabla 5.6, con esto se busca que el flujo en las bajantes no sea elevado, evitando que caudales muy grandes puedan llenar las bajantes y así evitar fluctuaciones de presión.

Tabla 5.6 *Máximo número de unidades por bajante*

Bajante		Más de 3 pisos	
ϕ	Hasta 3 pisos	Total por bajante	Total por piso
3	30	60	16
4	240	500	90
6	960	1900	350
8	2200	3600	600
10	3800	5600	1000
12	6000	8400	1500

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

Los colectores son los que recogen el caudal proveniente de las bajantes, para estos se hace el cálculo por tramos según el número de conexiones de bajantes que presenta; a medida que se conecta una bajante se le suma el número de unidades que esta tenga y se acumulan hasta llegar al punto de descarga final, el máximo de unidades que se puede asignar a un colector según su diámetro se encuentra en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 *Máximo caudal para ramales horizontales según el diámetro*

ϕ	Unidades	Q L/s
3	20	2.19
4	160	5.16
6	620	10.3
8	1400	23.4

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

Posteriormente se establece una pendiente a criterio del diseñador, generalmente 0.6 % y para verificar que el colector cumpla con condiciones de flujo adecuadas, de la ecuación 5.4 siguiendo lo propuesto en la ecuación 5.6 tenemos:

$$\boldsymbol{V = \frac{1}{n} * \frac{\emptyset^{2/3}}{4} * S^{1/2}} \qquad \textbf{(5.7)}$$

$$\boldsymbol{Q = \frac{A}{n} * \frac{\emptyset^{2/3}}{4} * S^{1/2}} \qquad \textbf{(5.8)}$$

De esta manera, con la ecuación 5.11 encontramos el caudal a tubo lleno (Qo) y se hace la relación de caudal de diseño (Q), que es el caudal según las unidades que se van acumulando y caudal a tubo lleno (Qo), el coeficiente de Manning (n) Rafael Pérez (Pérez Carmona, 2010) propone n = 0.009.

Con la relación de caudal transportado y caudal a tubo lleno (Q/Q_O) y utilizando la tabla 5.8, se verifica el cumplimiento de parámetros como profundidad de la lámina (Y) < 75 %, profundidad hidráulica (D), velocidad (V) > 0,45 m/s, área del agua (A), Fuerza tractiva > 0,15 Kg/m^2.

Tabla 5.8 *Relaciones hidráulica para colectores*

Qo = Caudal a tubo lleno
Q = Caudal de diseño
Y = Profundidad de lamina
ϕ = Diámetro de la tubería
D = Profundidad hidráulica

Relaciones hidráulicas en tubería
n/N ≠ 1

Vo = Velocidad a tubo lleno
V = Velocidad real
Ao = Área a tubo lleno
A = Área del agua

Q/Qo	Y/ϕ	V/Vo	D/ϕ	A/Ao	Q/Qo	Y/ϕ	V/Vo	D/ϕ	A/Ao
.010	.061	.272	.041	.025	.540	.587	.881	.487	.610
.020	.099	.327	.067	.051	.550	.594	.886	.494	.618
.030	.126	.366	.086	.073	.560	.600	.891	.502	.626
.040	.148	.398	.102	.092	.570	.600	.891	.502	.626
.050	.168	.426	.116	.110	.580	.613	.901	.518	.642
.060	.185	.450	.128	.127	.590	.619	.905	.526	.650
.070	.200	.473	.140	.143	.600	.625	.910	.534	.658
.080	.215	.495	.151	.157	.610	.632	.915	.542	.666
.090	.228	.515	.161	.172	.620	.638	.919	.550	.674
.100	.241	.534	.170	.185	.630	.644	.924	.559	.681
.110	.253	.553	.179	.199	.640	.651	.928	.561	.689
.120	.264	.564	.180	.211	.650	.657	.933	.575	.697
.130	.275	.575	.197	.224	.660	.663	.937	.585	.704
.140	.286	.586	.205	.236	.670	.670	.942	.595	.712
.150	.296	.596	.213	.248	.680	.676	.946	.604	.720
.160	.306	.606	.221	.259	.690	.683	.950	.614	.727
.170	.316	.616	.229	.271	.700	.689	.954	.623	.735
.180	.325	.626	.236	.282	.710	.695	.959	.633	.742
.190	.334	.636	.244	.293	.720	.702	.963	.644	.750
.200	.343	.645	.251	.304	.730	.709	.967	.654	.757
.210	.352	.655	.258	.314	.740	.715	.971	.665	.765
.220	.361	.664	.266	.325	.750	.721	.975	.677	.772
.230	.369	.673	.273	.335	.760	.728	.978	.688	.780
.240	.377	.681	.280	.345	.770	.735	.982	.700	.787
.250	.385	.390	.287	.355	.780	.741	.986	.713	.795
.260	.393	.699	.294	.365	.790	.748	.990	.725	.802
.270	.401	.707	.300	.375	.800	.755	.993	.739	.810
.280	.409	.715	.307	.385	.810	.761	.997	.753	.817
.290	.417	.724	.314	.394	.820	.768	1.000	.767	.824
.300	.424	.732	.321	.404	.830	.775	1.003	.783	.832
.310	.432	.740	.328	.413	.840	.782	1.007	.798	.839
.320	.439	.747	.334	.422	.850	.789	1.010	.815	.847
.330	.446	.755	.341	.432	.860	.796	1.013	.833	.854
.340	.453	.763	.348	.441	.870	.804	1.016	.852	.861
.350	.460	.770	.354	.450	.880	.811	1.019	.871	.869
.360	.468	.778	.361	.459	.890	.818	1.022	.892	.876
.370	.475	.785	.368	.468	.900	.826	1.024	.915	.883
.380	.482	.792	.374	.476	.910	.834	1.027	.940	.891
.390	.488	.799	.381	.485	.920	.842	1.029	.966	.896
.400	.495	.806	.388	.494	.930	.850	1.032	.995	.906
.410	.502	.813	.395	.503	.940	.858	1.034	1.027	.913
.420	.509	.820	.402	.511	.950	.867	1.036	1.063	.921
.430	.516	.827	.408	.520	.960	.875	1.037	1.103	.928
.440	.522	.833	.415	.528	.970	.884	1.039	1.149	.936
.450	.529	.840	.422	.537	.980	.894	1.040	1.202	.943
.460	.535	.846	.429	.545	.990	.904	1.047	1.265	.951
.470	.542	.853	.436	.553	1.000	.914	1.047	1.344	.958
.480	.549	.859	.443	.562	1.010	.925	1.047	1.445	.966
.490	.555	.865	.450	.570	1.020	.938	1.046	1.584	.974
.500	.561	.861	.458	.578	1.030	.952	1.044	1.803	.982
.510	.568	.866	.465	.586	1.040	969	1.040	2.242	.991
.520	.574	.871	.472	.594					
.530	.581	.876	.479	.602					

Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

El caudal de aguas grises (Qg) con respecto al total de aguas residuales de una vivienda (Qr) se puede calcular así:

$$\boldsymbol{Qg = Qr * PG} \qquad \textbf{(5.9)}$$

$$\boldsymbol{Qv = Qg * PL * NA} \qquad \textbf{(5.10)}$$

Siendo:

Qg: caudal de aguas grises (L/vivienda*día)
Qr: caudal de agua residual (L/vivienda*día)
PG: porcentaje de agua gris producida en una vivienda.
PL: porcentaje de agua generada por la lavadora
NA: total de apartamentos
Qv: caudal en un día (L/vivienda*día)

$$\boldsymbol{Qd = \frac{7*Qv*PLD}{86400}} \qquad \textbf{(5.11)}$$

Siendo:

Qd: caudal de diseño (L/s)
PLD: porcentaje del día de mayor uso de lavadora

En la anterior ecuación (5.11), el caudal diario (Qv) se ha multiplicado por 7, dado que el porcentaje del día de mayor uso de lavadora (PLD), corresponde a uno de los 7 días de la semana que conforman el 100%. 1/86400, es el factor unitario de conversión de días a segundo. 0

5.3.2. Sistema de tratamiento.

El sistema de tratamiento se compone de un tanque interceptor a la salida de cada torre de apartamentos, un tanque interceptor general para todas las torres en el cual se llevara a cabo un proceso de sedimentación del material suspendido, y un filtro como proceso final.

- **Diseño tanques interceptores**

Para el diseño del tanque interceptor se adaptó la metodología José H. Rizo Pombo del diseño de alcantarillados sin arrastre de sólidos (ASAS), con las siguientes modificaciones:

Para el tiempo de retención, en la ecuación (5.12) se modifica el Log(P*D) y queda como el Log (Qd), dando como resultado la ecuación (5.13), ya que anteriormente se ha obtenido el

caudal de diseño (Qd) para las unidades, de la ecuación (5.12). Para el diseño de los tanques interceptores por torre, se utiliza la ecuación (5.13), dividiendo Qd entre el número de torres del proyecto como se especifica en la ecuación (5.14).

$$\boldsymbol{td = 1.5 - 0.3 * Log(P * D)} \qquad \textbf{(5.12)}$$

Siendo: 1.5 y 0.3 constantes y,

td = tiempo de retención

P = población

D = aporte de aguas residuales (L/habitante*día)

Modificando la ecuación (5) tenemos:

$$\boldsymbol{td = 1.5 - 0.3 * Log(Qd)} \qquad \textbf{(5.13)}$$

El cálculo para una sola torre de apartamentos queda,

$$\boldsymbol{td = 1.5 - 0.3 * Log\ (Qd/nt)} \qquad \textbf{(5.14)}$$

Siendo:

nt = número de torres del proyecto

Para la tasa de acumulación de lodos de los tanques por torre se usa la ecuación (5.15), en esta se toma la tasa de acumulación de lodos recomendad en la metodología original que es de 10 L/persona*año y a esta se afecta por los porcentajes correspondientes a aguas grises del (figura 6.8) y aguas de la lavadora (figura 6.7), ya que la tasa de acumulación de lodos está planteada para aguas residuales, al ser aguas grises la cantidad de sólidos se ve reducida respecto a las aguas residuales. Para el tanque interceptor general se utiliza la ecuación (5.16).

$$\boldsymbol{TALt = TAL * PG * PL} \qquad \textbf{(5.15)}$$

$$\boldsymbol{TALf = TALt * PL} \qquad \textbf{(5.16)}$$

Siendo:

TALt = tasa de acumulación de lodos por torre
TAL= tasa de acumulación de lodos teórica
TALf = tasa de acumulación de lodos final

Se establece que los años de operación y limpieza de los tanques serán de tres **3** años, dadas las condiciones de las aguas grises acumuladas. La altura de sedimentación debe ser mayor o igual a 0.4 m, la altura de lodos debe ser mayor a 0.2 m, y la altura de natas debe ser mayor a 0.1 m según la Metodología de Rizo Pombo.

Para el cálculo de los volúmenes correspondientes a los tanques interceptores por torre, se usan las siguientes ecuaciones:

$$\boldsymbol{Vsed = \frac{(P*Qto*td)}{1000}} \qquad \textbf{(5.17)}$$

Siendo:

Vsed = volumen de sedimentación de lodos (m^3)
P = población
Qto = caudal o descarga máxima por torre (L/s)

$$\boldsymbol{Vlod = \frac{(TAL*P*Nope)}{1000}} \qquad \textbf{(5.18)}$$

Siendo:

Vlod = volumen de acumulación de lodos (m^3)

Nope = número de años de operación (3 años)

$$\boldsymbol{Vna = \frac{(TAN*P*Nope)}{1000}} \qquad \textbf{(5.19)}$$

Siendo:

Vna = volumen de acumulación de natas (m^3)
TAN = tasa de acumulación de natas (L/hab*año)

$$\boldsymbol{VT = Vsed + Vlod + Vna} \qquad \textbf{(5.20)}$$

Siendo:

VT = volumen total (m^3

$$\boldsymbol{Hsed = Vsed/Asup} \qquad \textbf{(5.21)}$$

Siendo:

Hsed = altura de sedimentación (m)
Asup = área superficial (m^2)

$$\boldsymbol{Hlod = Vlod/Asup} \qquad \textbf{(5.22)}$$

Siendo:

Hlod = altura de lodos (m)

$$\boldsymbol{Hna = Vna/Asup} \qquad \textbf{(5.23)}$$

Siendo:

Hna = altura de natas (m)

Para el tanque interceptor general, la tasa de acumulación de lodos se ve reducida por el uso de tanques interceptores intermedios que disminuyen la carga de sólidos, para esto se utiliza la ecuación de tasa de acumulación de lodos final (5.16).

- **Diseño del filtro**

Para el diseño del filtro se adaptó la metodología de diseño con le ecuación de Bohart y Adams (Ramahlo , 1996). Se decidió optar por el carbón activado, ya que no se cuenta con las constantes necesarias para el diseño para la borra de café, además de la facilidad para encontrar el material para construir el filtro, además de tener una alta eficiencia de remoción especialmente en los sólidos suspendidos.

Conociendo datos iniciales y finales de la concentración deseada después de la filtración, el área de la sección del filtro, la profundidad del filtro "D", las constantes de: capacidad de adsorción "N_0", la cual determina la cantidad máxima de contaminante que puede ser adsorbida por el carbón, y la constante de velocidad K, que indica la velocidad de adsorción del contaminante en el adsorbente. Esto permitirá calcular la carga superficial sobre el filtro, el tiempo de servicio o tiempo en el que el filtro ya no será capaz de llevar el efluente a la concentración deseada o permitida, la cantidad de cambios del filtro por año, y el volumen de lecho filtrante por año (Ramahlo , 1996)

Primero se calculó la carga superficial a la que será sometido el filtro, con el caudal de diseño y el área superficial del filtro utilizando la ecuación **(5.24)**.

$$\boldsymbol{Cs = \frac{Qd}{As}} \quad \textbf{(5.24)}$$

Siendo:

Cs = carga superficial (L/min*m^2)

As = área superficial del filtro (m^2)

Se toma la carga superficial, para calcular la velocidad lineal del filtro, tal como se especifica en la ecuación **(5.25)**

$$\boldsymbol{V = Cs * 0,001 * 60} \qquad \textbf{(5.25)}$$

Siendo:

V= velocidad lineal (m/h)

El tiempo de servicio del material filtrante es calculado mediante la ecuación (5.26)

$$\boldsymbol{t = \left(\frac{N0}{C0*V}\right) D - \ln \frac{\left(\frac{Co}{Ce}\right)-1}{K*Co}} \qquad \textbf{(5.26)}$$

Siendo:

t = tiempo de servicio (h/ciclo)

N_0 = capacidad de adsorción (kg/m^3)

K = constante de velocidad (m^3/kg*h)

Co = concentración inicial (mg/L)

Ce = concentración final deseada (mg/L)

El número de cambios por año se calcula mediante la ecuación (5.27), en función del tiempo de servicio

$$\boldsymbol{Ca = \frac{8760\frac{h}{año}}{t}} \qquad \textbf{(5.27)}$$

Siendo:

Ca = cambios por año (ciclo/año)

Finalmente, el volumen de lecho filtrante utilizado en la estructura se calcula con la ecuación (5.28)

$$\boldsymbol{Volumen\ de\ material\ = As * D} \qquad \textbf{(5.28)}$$

Siendo:

Volumen de material m^3

D = profundidad del lecho (m)

5.3.3. Sistema de reúso.

El sistema de reúso comprende la red de distribución del agua tratada, teniendo como principal uso la descarga de inodoros, aseo de zonas comunes y riego de zonas verdes del conjunto. El diseño y trazado de esta red se hace paralelo a la red de agua potable original, modificando solo algunos tramos. El cálculo se hace mediante el método de Hunter modificado UNAL y algunas especificaciones de la NTC 1500, para poder asegurar una presión mínima de servicio se tomó en cuenta la ruta crítica para la red, es decir el aparato sanitario más alejado respecto al punto de bombeo.

- **Determinación caudal de diseño para la red de suministro.**

Poder definir un método general para la determinación del caudal de una red de suministro se hace difícil dada las diferentes condiciones de ocupación y uso de la edificación, por esta razón el diseñador se convierte en el pilar fundamental del método para determinar un caudal con base en su experiencia, conocimiento del método y de los diferentes factores que pueden afectar los resultados. (Castro, Garzón, & Ortiz, 2006)

Con el fin de demostrar las diferencias entre los métodos de cálculo, realizamos la comparación entre los métodos Hunter NTC 1500, Hunter modificado para Colombia UNAL y método racional.

- **Método Hunter NTC 1500**

Es un método probabilístico que surge a partir del método de Hunter original, desarrollado en el año de 1940, el cual toman caudales probables de consumo. Estos métodos probabilísticos demuestran inconsistencias cuando se utiliza en el diseño de edificaciones con pocos aparatos sanitarios, también los datos analizados para llegar a lo que se conoce como las unidades de gasto y sus respectivos caudales no siempre se adapta de la mejor manera a las condiciones específicas de algunas comunidades, por esta razón es necesario modificarlas para poder incorporarlas a las normas, como es el caso de la NTC 1500.

Para llegar a las conclusiones de lo que hoy día es el método se tuvo en cuenta:

- Caudal del aparato, el flujo que deja pasar al servicio.
- Frecuencia de uso, el tiempo entre usos sucesivos
- Duración del uso, el tiempo que dura el agua fluyendo para atender la demanda del aparato.

Aunque en el método original no existe una formula determinada para obtener un caudal en función de las unidades, algunos autores han hecho el esfuerzo de relacionar la curva de demanda de Hunter con ecuaciones de tipo potencial en función de si los aparatos son comunes o tiene fluxómetro, y la cantidad de unidades de consumo.

(Garzón, 2014)

Este método de cálculo asume que todos los aparatos sanitarios no funcionan simultáneamente. El caudal de suministro para un aparato depende del modelo y de la presión disponible en el punto hidráulico donde se encuentre instalado, para el dimensionamiento de los diámetros se debe cumplir con parámetros de velocidad los cuales se encuentran entre 0.45 y 2 m/s. Para los inodoros se propone utilizar una (1) unidad de gasto con un caudal de 0.06 l/s ya que se considera que tres (3) unidades son exageradas para este aparato ya que los inodoros que se utilizan en la actualidad además de tener el tanque de almacenamiento propio para su funcionamiento, tienen dispositivos ahorradores de agua los cuales hacen que disminuya su caudal de uso sin afectar sus funciones. Se define una presión mínima de siete **(7)** Metros Columna de Agua (M.C.A), la cual debe ser asegurada en el aparato más alejado desde el punto de bombeo. Con base a esas propuestas de diseño se obtiene el caudal y presión mínima para toda la red. (Pérez Carmona, 2010)

Para el cálculo de la velocidad de flujo, por continuidad, según ecuación (5.3**)** se tiene:

$$\boldsymbol{V = \frac{Q}{A}} \qquad \textbf{(5.29)}$$

Siendo:

V= velocidad (m/s)

Q= caudal (m^3/s)

A= área (m^2)

Las pérdidas unitarias para un diámetro menor de 2" se pueden calcular por la fórmula de Flamant:

$$j = 6.1C\left(\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}\right) \qquad \textbf{(5.30)}$$

Siendo:

j = perdidas unitarias Flamant (m/m)

C = coeficiente de fricción (tabla 5.9)

Q= caudal (m^3/s)

D= diámetro (m)

Tabla 5.9 *Coeficiente de fricción para la ecuación de Flamant*

Fundido	0.00031
Galvanizado	0.00031
Acero	0.00018
Cobre	0.00012
PVC	0.0001

Para un diámetro mayor de 2" se pueden calcular por la fórmula de Hazen-Williams:

$$j = \left(\frac{Q}{280CD^{2.63}}\right)^{1.85} \qquad \textbf{(5.31)}$$

Siendo:

j = perdidas unitarias Hazen-Williams (m/m)

C = coeficiente de fricción de Hazen-Williams (tabla 5.10)

Q= caudal (m^3/s)

D= diámetro (m)

Tabla 5.10 *Coeficiente de fricción de Hazen-Williams*

Según catalogo	80
Según catalogo	90
Galvanizado y Acerado	100
Fundido	120
Asbesto cemento	130
Cobre y fibra de vidrio	140
PVC	150

Las pérdidas totales serán

$$\boldsymbol{h_T = LT * j} \qquad \textbf{(5.32)}$$

Siendo:

h_T= pérdidas totales (m)

j = perdidas unitarias (m/m)

LT= longitud total (vertical, horizontal, accesorios) (m)

$$\boldsymbol{hv = \frac{v^2}{2g}} \qquad \textbf{(5.33)}$$

Siendo:

hv = carga de velocidad (m)

v= velocidad (m/s)

g= gravedad (9.806 m/s^2)

$$\boldsymbol{PE = h_T + hv + LV + Pa} \qquad \textbf{(5.34)}$$

Siendo:

PE = presión extremo final (M.C.A)

h_T = pérdidas totales (m)

hv = Carga de velocidad (m)

LV= carga estática (m)

Pa= presión punto anterior (M.C.A)

En la tabla 5.11 se presenta el resumen de datos obtenidos a partir de la relación de unidades de hunter y caudal asignado a esas unidades de gasto.

Tabla 5.11 *Unidades de hunter diámetro ½ pulgada*

Diámetro	1/2	pulgadas	A (m^2)	0,000126677	Q=V*A			
Diámetro	0,0127	m			j=6,1C(Q^1,75)/(D^4,75)			
Unidades	Caudal	V	hV	Perdidas por fricción en m/m				
	L/s	m/s	m	Coeficiente de fricción C				
				Fundido	Galvanizado	Acero	Cobre	PVC
1	0,06	0,47	0,01	0,08	0,08	0,05	0,03	0,03
2	0,13	1,03	0,05	0,30	0,30	0,18	0,12	0,10
3	0,19	1,50	0,11	0,59	0,59	0,34	0,23	0,19
5	0,25	1,97	0,20	0,96	0,96	0,55	0,37	0,31
6	0,32	2,53	0,33	1,47	1,47	0,85	0,57	0,47
7	0,38	3,00	0,46	1,99	1,99	1,15	0,77	0,64
8	0,44	3,47	0,62	2,57	2,57	1,49	0,99	0,83
10	0,5	3,95	0,79	3,21	3,21	1,87	1,24	1,04
12	0,57	4,50	1,03	4,04	4,04	2,35	1,56	1,30
14	0,63	4,97	1,26	4,81	4,81	2,79	1,86	1,55
16	0,76	6,00	1,84	6,68	6,68	3,88	2,59	2,16
20	0,88	6,95	2,46	8,64	8,64	5,02	3,34	2,79

Fuente: Autores

- **Método de Hunter adaptado Universidad Nacional (UNAL)**

Este método surge de diferentes investigaciones y trabajos de grado adelantados por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos (GIREH) de la Universidad nacional y es un intento para acercar las metodologías de diseño a las condiciones de Colombia, para esto, decidieron usar el método original de Hunter como base, siguiendo los mismos principios probabilísticos para establecer la simultaneidad en el uso de los aparatos. La diferencia está en la lectura del caudal máximo probable, que se halla de las gráficas de unidades de consumo vs caudal, obtenidas con base en los aforos hechos por los investigadores de GIREH.

Las variables que se realizaron respecto al método de Hunter original fueron 2:

- La duración de utilización de las válvulas de tanque, ya que los aparatos que se usan hoy en día en su mayoría son ahorradores de agua; los tiempos de llenado de los aparatos actuales es aproximadamente de 30 segundos, el cual difiere bastante del valor inicial asumido por Roy Hunter de 60 segundos, dada la diferencia de volúmenes.

- El caudal del aparato, el tenido en cuenta por Roy Hunter fue de un fluxómetro equivalente a 1.7 l/s, la ejecución de nuevos sistemas ahorradores de agua permite tener hoy en día caudales aproximados a 1.26 l/s (Castro, Garzón, & Ortiz, 2006).

Teniendo en cuenta lo anterior, para este método se tienen las mismas consideraciones hechas anteriormente en el cálculo de Hunter NTC 1500, pero para conocer el caudal máximo probable nos remitimos a las tablas del caudal en función de las unidades (tabla 5.12), hechas para la metodología de Hunter UNAL y que podemos encontrar en el trabajo de (Garzón, 2014).

Tabla 5.12 *Tabla de relación de unidades y caudal para Hunter modificado UNAL*

CAUDAL MÁXIMO PROBABLE MÉTODO DE HUNTER UNAL PARA COLOMBIA								
unidades	Caudal (L/s)		unidades	Caudal (L/s)		unidades	Caudal (L/s)	
	Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque
1	1.11	0.18	66	2.07	0.73	775	7.76	3.21
2	1.13	0.19	69	2.12	0.75	811	8	3.32
3	1.14	0.2	73	2.17	0.77	850	8.26	3.44
4	1.16	0.21	76	2.21	0.79	931	8.8	3.71
5	1.17	0.22	82	2.29	0.83	1009	9.3	3.94
6	1.19	0.23	88	2.37	0.87	1091	9.83	4.18
7	1.2	0.24	95	2.47	0.91	1173	10.35	4.43
8	1.22	0.25	102	2.56	0.94	1254	10.86	4.66
9	1.23	0.26	108	2.64	0.97	1335	11.36	4.9
10	1.25	0.27	116	2.74	1.01	1418	11.87	5.13
11	1.27	0.28	124	2.84	1.05	1500	12.37	5.36
12	1.28	0.29	132	2.94	1.09	1583	12.87	5.6
13	1.3	0.3	140	3.04	1.12	1668	13.37	5.83
14	1.31	0.31	148	3.13	1.16	1755	13.89	6.07
15	1.33	0.32	158	3.25	1.2	1845	14.41	6.32
16	1.34	0.33	168	3.36	1.23	1926	14.88	6.54
18	1.37	0.35	176	3.45	1.26	2018	15.4	6.79
20	1.4	0.37	186	3.56	1.3	2110	15.93	7.04
21	1.42	0.38	195	3.66	1.33	2204	16.45	7.29
23	1.45	0.39	205	3.76	1.36	2298	16.97	7.54
25	1.48	0.41	214	3.83	1.39	2388	17.47	7.79
26	1.49	0.42	223	3.9	1.42	2480	17.97	8.03
28	1.52	0.44	234	3.98	1.45	2575	18.49	8.29
30	1.55	0.46	245	4.06	1.49	2670	19	8.54
31	1.57	0.46	270	4.24	1.56	2765	19.5	8.79
33	1.6	0.48	295	4.42	1.64	2862	20.02	9.05
35	1.63	0.5	329	4.67	1.74	2960	20.53	9.31

37	1.66	0.51	365	4.92	1.85	3060	21.05	9.58
39	1.69	0.53	396	5.15	1.95	3150	21.52	9.81
42	1.73	0.55	430	5.39	2.06	3620	23.91	11.06
44	1.76	0.57	460	5.6	2.16	4070	26.15	12.23
46	1.79	0.59	490	5.81	2.26	4480	28.16	13.29
48	1.82	0.6	521	6.03	2.37	5380	32.49	15.58
50	1.85	0.62	559	6.29	2.5	6280	36.76	17.83
52	1.88	0.63	596	6.55	2.63	7280	41.47	20.33
54	1.9	0.65	631	6.79	2.75	8300	46.24	22.98
57	1.95	0.67	666	7.03	2.87	9000	49.49	24.94
60	1.99	0.69	700	7.26	2.98	10000	54.07	28.06
63	2.03	0.71	739	7.52	3.1			

Fuente: (Garzón, 2014)

En la tabla 5.13 se presenta el resumen de datos obtenidos a partir de la relación de unidades de hunter y caudal asignado a esas unidades de gasto.

Tabla 5.13 *Unidades de hunter UNAL diámetro ½ pulgada*

Diámetro	1/2	pulgadas	A(m^2)	0,000126677	Q=V*A			
Diámetro	0,0127	m			j=6,1C(Q^1,75)/(D^4,75)			
Unidades	Caudal	V	hV	Perdidas por fricción en m/m				
	L/s	m/s	m	Coeficiente de fricción C				
				Fundido	Galvanizado	Acero	Cobre	PVC
1	0,18	1,42	0,10	0,54	0,54	0,31	0,21	0,17
2	0,19	1,50	0,11	0,59	0,59	0,34	0,23	0,19
3	0,2	1,58	0,13	0,65	0,65	0,38	0,25	0,21
4	0,21	1,66	0,14	0,70	0,70	0,41	0,27	0,23
5	0,22	1,74	0,15	0,76	0,76	0,44	0,30	0,25
6	0,23	1,82	0,17	0,83	0,83	0,48	0,32	0,27
7	0,24	1,89	0,18	0,89	0,89	0,52	0,34	0,29
8	0,25	1,97	0,20	0,96	0,96	0,55	0,37	0,31
9	0,26	2,05	0,21	1,02	1,02	0,59	0,40	0,33
10	0,27	2,13	0,23	1,09	1,09	0,63	0,42	0,35
11	0,28	2,21	0,25	1,16	1,16	0,68	0,45	0,38
12	0,29	2,29	0,27	1,24	1,24	0,72	0,48	0,40
13	0,3	2,37	0,29	1,31	1,31	0,76	0,51	0,42
14	0,31	2,45	0,31	1,39	1,39	0,81	0,54	0,45

Fuente: Autores

- **Método racional o "español"**

Este es un método semi-empírico que se basa en la experiencia, pero también en fundamento teóricos (Garzón, 2014), para lo cual se establece la simultaneidad del funcionamiento de los aparatos que se tengan en la vivienda utilizando la ecuación (5.35).

$$\boldsymbol{Kv = \frac{1}{\sqrt{n-1}}} \qquad \textbf{(5.35)}$$

Siendo:

Kv = Coeficiente de simultaneidad por aparatos

n = Numero de aparato instalados en la vivienda

Se halla el caudal instalado utilizando los caudales de la tabla 5.14; utilizando la ecuación (5.36), que es la sumatoria del caudal de todos los aparatos instalados en la vivienda y por último se multiplica este caudal por el coeficiente de simultaneidad para hallar el caudal máximo probable o caudal punta de la vivienda.

Tabla 5.14 *Caudales y presiones para cada aparato – método racional*

Aparato	*Q (l/s)*	*P (kg/cm²)*	*P (mca)*
Lavabo	0.1	0.35	3.5
Sanitario con depósito	0.1	0.35	3.5
Ducha	0.2	1	10
Lavadero	0.2	0.35	3.5
Lavadora	0.2		
Lavaplatos	0.2		
Llave Exterior	0.25		
Fregadero	0.2	0.35	3.5
Bidet	0.1	0.35	3.5
Bañera	0.3	1	10
"Oficce"	0.15	0.35	3.5
Fluxómetros	0.95 – 2.0	1	10
Nota: Según normatividad española			

Fuente: (Garzón, 2014)

Los caudales presentados en la tabla 5.14 son los recomendados para el método.

$$\mathbf{Qi = a1 + a2 + a3 \ldots. + an} \qquad \textbf{(5.36)}$$

Siendo:

Qi = Caudal instalado en (L/s)

a = aparato sanitario (inodoro)

Por último se calcula el caudal máximo probable en la vivienda utilizando la ecuación (5.37)

$$\mathbf{Qmax = Kv * Qi} \qquad \mathbf{(5.37)}$$

Siendo:

Qmax = Caudal máximo probable o punta en (L/s)

En conjuntos de viviendas de similares características, se suman los caudales máximos de cada vivienda que vayan por una tubería de distribución en común, para obtener el caudal punta, multiplicándolo por un coeficiente o factor de simultaneidad por viviendas como se especifica en la ecuación (5.39); el factor de simultaneidad por vivienda se obtiene de la ecuación (5.38).

$$\mathbf{Ke = \frac{N+19}{10*(N+1)}} \qquad \mathbf{(5.38)}$$

$$\mathbf{Qp = (Qmax1 + Qmax2 + Qmax3 \ldots + Qmax\ n) * Ke} \qquad \mathbf{(5.39)}$$

Siendo:

Ke = Coeficiente simultaneidad por viviendas

N = Número de viviendas

Qp = Sumatoria de caudales punta en (L/s)

Qmaxe = Caudal máximo probable para un conjunto de viviendas en (L/s)

Para los cálculos de la presión mínima requerida, se sigue la misma metodología que para los métodos Hunter NTC 1500 y Hunter UNAL

- **Selección de bomba centrifuga**

Las bombas centrifugas son utilizadas para impulsar un líquido a través de una red, se utilizan para agua cruda o agua potable. Para seleccionar una bomba adecuada lo primero que se debe conocer es la potencia teórica de la bomba, en función del peso específico del agua (γ), la altura dinámica total (ADT), el caudal (Q) que debe ser transportado, y la eficiencia (η) de la bomba. La ADT y el caudal de diseño se obtienen de los cálculos realizados con el método de hunter anteriormente explicado.

Para obtener la potencia necesaria se utiliza la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Potencia(HP)} = \mathbf{\frac{\gamma * ADT * Q}{\eta * 76}} \qquad \mathbf{(5.40)}$$

Siendo:

γ = peso específico del agua (kg/L)

Q = caudal de diseño unidades de hunter (L/s)

ADT = altura dinámica total (m)

η = eficiencia bomba motor (0.65)

(Pérez Carmona, 2010)

Como ya se mencionó la bomba se debe seleccionar con base a las alturas estáticas y las alturas dinámicas del sistema, además del caudal que debe suministrar. Cada bomba cuenta con una curva característica en la cual se relaciona la altura dinámica total en función del caudal que debe ser transportado, esta relación es inversamente proporcional, es decir conforme aumenta el caudal disminuirá la altura dinámica total.

A su vez es necesario conocer la curva de operación del sistema, la cual representa la energía que debe ser suministrada al sistema para alcanzar la altura estática teniendo en cuenta las pérdidas de energía que se dan en la succión e impulsión del fluido, la relación de las perdidas con el caudal es directamente proporcional, al tener un mayor caudal transitando, las perdidas por fricción y accesorios van a ser mayores.

Para obtener las pérdidas se despeja de la ecuación de Hazen Williams (5.24) y se obtiene lo siguiente:

$$\boldsymbol{h_T = \left(\frac{Q}{0.2785 * C * d^{2.63}}\right)^{1,85}}$$

Siendo:

J = pérdidas totales

C = coeficiente de Hazen Williams

d = diámetro (m)

El caudal y la ADT de operación del sistema se obtiene en el punto en que tanto la curva característica de la bomba y la curva característica del sistema se interceptan, el caudal y la ADT de operación deben ser mayores o iguales a los valores obtenidos en el diseño, pero no deben ser muy alejados para no desperdiciar energía.

(Lopez Cualla, 2003)

- **Selección equipo hidroneumático**

El equipo hidroneumático tiene la función de mantener una presión constante en una red de distribución cerrada. Para la selección del equipo hidroneumático se debe tener en cuenta la cantidad de salidas que presenta la red, tomando cada aparato sanitario como una salida. Ese total de salidas debe ser multiplicado por un factor multiplicador para definir la capacidad del equipo en función de las salidas y el factor.

$$\boldsymbol{Ceq = \# Salidas * k} \quad \textbf{(5.41)}$$

Siendo:

Ceq = capacidad del equipo (gal/min)

Salidas = aparatos sanitarios

k = factor multiplicador en función del # de salidas

Tabla 5.15 *Factor multiplicador en función del # de salidas "K"*

Tipo de edificio	Servicios o salidas						
	Hasta 30	De 31 a 75	De 76 a 150	De 151 a 300	De 301 a 600	De 601 a 1000	Más de 1000
Oficinas	0.40	0.32	0.28	0.25	0.24	0.23	0.21
Apartamentos	0.55	0.41	0.33	0.28	0.25	0.24	0.23
Hoteles	0.8	0.6	0.48	0.42	0.36	0.35	0.34
Hospitales	0.9	0.75	0.63	0.54	0.45	0.4	0.38
Colegios	1.2	0.9	0.75	0.63	0.52	0.4	0.38

Según Rafael Pérez (Pérez Carmona, 2010) se determina la presión de trabajo entre 40-60 psi, se determina el caudal de encendido y caudal de apagado que será el 25% del caudal de encendido, para también obtener un caudal medio , que será la relación de los caudales de encendido y apagado.

$$\boldsymbol{Qmed = \frac{Qon+Qoff}{2}} \quad \textbf{(5.42)}$$

Siendo:

Qmed = caudal medio (gal/min)

Qon = capacidad del equipo (gal/min)

Qoff = 25% de Qon

Con el caudal medio, la potencia de la bomba, se define el tiempo y la cantidad de ciclos por hora para el equipo. Para poder calcular el volumen de regulación

$$\boldsymbol{Vr = \frac{Qmed*T}{4}} \quad \textbf{(5.43)}$$

Siendo:

Vr = volumen de regulación (gal/min)

T = tiempo (minutos)

Para calcular el volumen total, se debe tener el factor de relación entre las presiones de encendido y apagado del equipo. Para un equipo que trabaje entre 40-50 psi, ese factor corresponde a 3.75 (Pérez Carmona, 2010).

$$\boldsymbol{Vt = Vr * F} \qquad \textbf{(5.44)}$$

Siendo:

Vt = volumen total (litros)

F = factor de relación de las presiones.

5.4. Análisis de costo-beneficio

Esta clase de análisis es un proceso que permite la evaluación de un proyecto definiendo su viabilidad y facilitando la toma de decisiones respecto a dicho proyecto, involucra de manera implícita o explícita el total de costos y beneficios de todas las alternativas posibles para poder seleccionar la mejor o la opción más rentable.

Esta técnica puede ser utilizada no solo en labores empresariales sino también de tipo social, colectivo o individual. Con la finalidad de tomar la decisión adecuada que será la que otorgue una mayor rentabilidad; Para poder tomar una decisión se debe poder comparar mínimo dos opciones.

Para poder tener más claridad en la toma de decisiones se usan otras herramientas como los criterios de valoración que tienen en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Además de otros enfoques, pero siendo su objetivo la cuantificación de los posibles beneficios y costos en términos monetarios. El costo se define como el conjunto de recursos dados para alcanzar un objetivo específico, es un valor empleado para la elaboración de un bien o la prestación de un servicio, es decir es una inversión para obtener un beneficio, cuando se obtienen los beneficios los costos pasan a ser gastos ya que es un costo cuyo beneficio ya ha expirado.

Al tener los beneficios y costos asociados a un proyecto se puede realizar una comparación que puede demostrar la viabilidad del proyecto, cuando los beneficios exceden los costos es provechosa la ejecución del proyecto, es decir que se generara una utilidad; en cambio si sucede lo contrario el proyecto no resulta provechoso.

Esta evaluación da a conocer el rendimiento de un proyecto o negocio el cual será rentable si los beneficios obtenidos permiten recuperar lo invertido teniendo en cuenta una tasa definida por el inversionista.

Entre los criterios para definir la viabilidad se encuentran:

- Valor Actual Neto (VAN): es la actualización del valor en una serie de flujos de caja futuros del proyecto, en función de una tasa para lograr el descuento en el momento actual. A este valor se le resta la inversión inicial y el resultado es el VAN del

proyecto; si VAN > 0 la inversión producirá ganancias, si VAN < 0 ocurrirá lo contrario y si VAN=0 no hay ni ganancias ni perdidas.

- Tasa Interna de Retorno (TIR) : es una tasa de descuento que iguala el valor descontado de los flujos de caja del proyecto con la inversión inicial , representa la rentabilidad en términos relativos, en función de la duración de los flujos de caja
- Razón costo-beneficio: Es la relación entre los costos y los beneficios del proyecto.

(Aguilera, 2017)

El proceso para este análisis inicia con la elaboración del presupuesto de obra del proyecto, en este se detalla el costo de la construcción y puesta en marcha del sistema de recolección, tratamiento y reúso de aguas grises generadas por el uso de la lavadora.

La construcción del flujo de caja incremental, este mide la rentabilidad considerando la diferencia entre una situación con proyecto y una sin proyecto. Para esto se debe contar con el consumo de agua potable que tiene el conjunto residencial sin que se haya implementado el proyecto de reúso y el consumo probable que se tiene con la implementación del proyecto de reúso en un año (m^3/año), este consumo será el mismo a cobrar por concepto de alcantarillado, de nuevo en la situación con proyecto de reúso y sin proyecto de reúso. Se debe contar también con la tarifa por m^3 de acueducto y alcantarillado, que para el caso de Bogotá se presenta en las tablas 6.3 y 6.4.

Con la información recopilada anteriormente se construye el flujo de caja sin proyecto de reúso, que incluirá únicamente el costo por el consumo de agua potable y el costo por el cargo de alcantarillado, es importante tener en cuenta que en Bogotá los estratos 1, 2 y 3 cuentan con un subsidio a la tarifa de acueducto y alcantarillado, que para el estrato 1 es del 70 %, por lo que en la elaboración del flujo de caja se debe hacer el respectivo ajuste para que este sea preciso.

Posteriormente se construye el flujo de caja con proyecto de reúso, en este se tienen en cuenta los costos por administración operación y mantenimiento (AOM), costo por consumo de agua potable, costo por el cargo de alcantarillado, el valor de salvamento y el valor de la inversión inicial.

Los flujos de caja se construyen tomando como consideración una vida útil del proyecto de 30 años, este dato se asume a consideración de los autores. También se debe aplicar un deflactor inflacionario año a año, este es suministrado por el banco de la república o por el departamento de planeación nacional (DNP), y por último se considera la tasa de interés y oportunidad (TIO) que para acueductos generalmente está entre 8 y 12 %.

6. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

El trabajo se desarrolló para el conjunto multifamiliar *Ícaro* es un proyecto de vivienda de interés social prioritario (VIP), el cual está ubicado en el barrio *Villa Israel* (Carrera 5 No 110 Sur – 17) en la localidad cinco (5) de Usme, en la ciudad de Bogotá, la ubicación geográfica se puede ver en la figura 6.4 Este proyecto cuenta con cinco (5) torres de apartamentos de seis (6) pisos por torre, cada piso cuenta con cuatro (4) apartamentos independientes, los apartamentos cuentan con dos baños, una cocina, un lavadero y una conexión para la lavadora. Además, el conjunto cuenta con un salón comunal con tres (3) baños y una caseta de vigilancia con un (1) baño privado. Está ubicado en un terreno con alta pendiente, y en la zona periférica de la ciudad con estrato socioeconómico uno (1) para el proyecto. Ya que los apartamentos aún no se han entregado a los usuarios, se estima que este proyecto tendrá aproximadamente 600 personas habitando en el total de los apartamentos, suponiendo 5 personas por apartamento.

El resumen de la información básica del proyecto se encuentra en la tabla 6.1, es importante tener esto pues las condiciones de diseño y la viabilidad económica estará dada por lo que aquí se haya recopilado.

Figura 6.4 *Ubicación geográfica proyecto Ícaro*

Fuente: Crisálida Construcciones

Tabla 6.1 *Información básica del proyecto*

Aspectos	***Información***
Ciudad	Bogotá D.C.
Localidad	Usme
Estrato socio-económico	Uno (1)
Número de torres primera fase	Cinco (5)
Apartamentos por torre	Veinte y cuatro (24)
Total de apartamentos	Ciento veinte (120)
Población total esperada	600 habitantes
Altura (m.s.n.m.) para Bogotá	2630
Espacio disponible	El espacio para el emplazamiento del sistema de tratamiento es una zona verde contigua a la torre 1. Las torres se encuentran establecidas a diferentes niveles topográficos.
Condición económica del proyecto	Se requiere de un bajo costo de construcción y operación sencilla del sistema.
	Fuente: Autores

La cantidad de aguas grises producidas, al igual que sus características son dependientes de la singularidad social y cultural de cada comunidad, es decir, no todas las comunidades gastaran la misma cantidad ni de la misma manera el agua, cada comunidad tiene prioridades y manejos del recurso hídrico distintos, dependerá de la utilización de diferentes artefactos en los hogares, la época del año, y de la cantidad de personas que vivan en un mismo hogar.

El estudio de (Niño & Martinez, 2013), hace un análisis detallado en cuanto a la caracterización y cuantificación de las aguas grises para diferentes estratos socio económicos en Bogotá, se destaca que en el estrato (1) se tiene el mayor consumo, con 415.7 L/ día, resaltando que el número de residentes en la vivienda es de 6 personas, que supera el promedio de cinco (5) habitantes por vivienda en Colombia, como se evidencia en la figura 6.5.

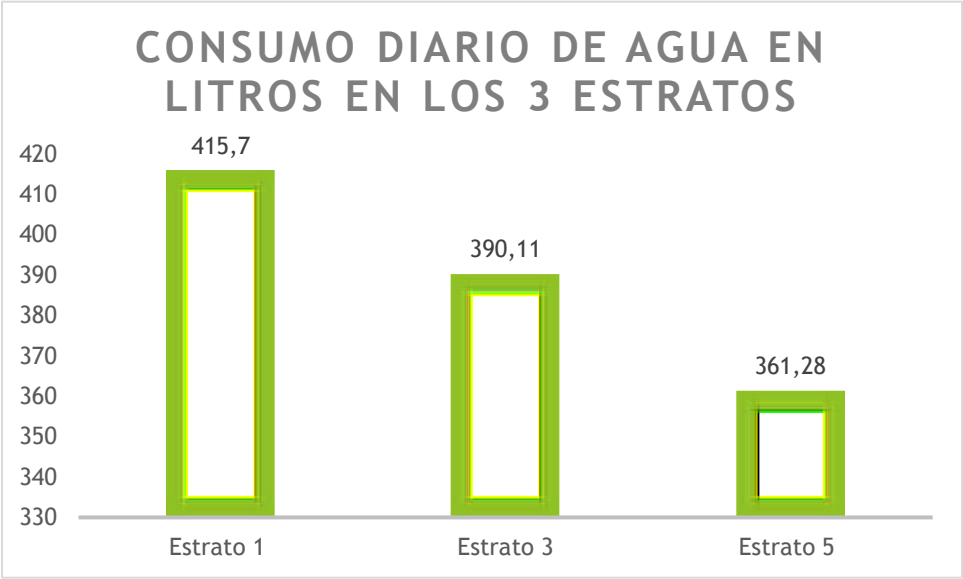

Figura 6.5 *Consumo diario de agua para estratos 1, 2 y 3*

Fuente: (Niño & Martinez, 2013)

Es importante resaltar que el uso de la lavadora es la actividad que tiene mayor consumo de agua potable y la que mayor genera aguas grises para el estrato 1 en Bogotá (Niño & Martinez, 2013) como se puede evidenciar en la figura 6.6.

Figura 6.6 *Consumo de agua potable para vivienda estrato 1 en Bogotá*

Fuente: (Niño & Martinez, 2013)

En la figura 6.7 se indican las actividades generadoras de aguas grises en una vivienda de estrato uno (1).

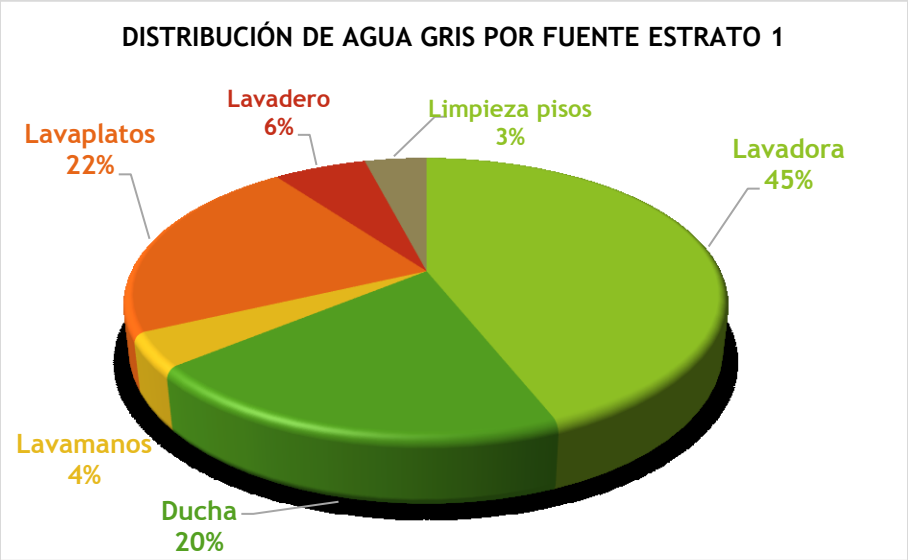

Figura 6.7 *Distribución de agua gris producida en una vivienda estrato (1) en Bogotá*

Fuente: (Niño & Martinez, 2013)

Utilizando esta información de consumo de agua potable, y producción de aguas grises para el caso específico de éste proyecto, y suponiendo un comportamiento similar en el conjunto multifamiliar "Ícaro" el cual es estrato socio económico (1) y se encuentra ubicado en la localidad de Usme, podemos inferir que:

- La mayor actividad generadora de aguas grises en el estrato (1) es el uso de la lavadora con el 44 %, lo cual respalda la decisión de tomar las aguas provenientes de esta actividad para tener un solo tipo de características y que el tratamiento sea más sencillo de realizar a las aguas grises.
- La segunda actividad que demanda mayor consumo de agua para el estrato 1, son las descargas del inodoro, lo cual justifica la decisión de tratar las aguas grises para ser utilizadas en las actividades de descarga de inodoros, limpieza de pisos y zonas comunes y riego de zonas verdes

- Tomando en cuenta la producción de aguas residuales para el estrato 1 de 401.5 L/día tomada del estudio de Niño y Martinez, con una producción de aguas grises del 73 % perteneciente a 293.09 L/día y tratando la totalidad de estas aguas, se puede cubrir la demanda de agua de todas las actividades que no requieren agua potable que son, el uso de la lavadora con el 31 %, descarga del inodoro con el 26 %, lavado de pisos

con el 3% y riego de zonas verdes con el 1% , esto da un total del 61% del consumo de agua potable que corresponde a 253.19 L/día.

En la figura 6.8 se presenta el porcentaje de la distribución de agua residual sanitaria y agua gris para una vivienda estrato (1) en Bogotá.

Figura 6.8 *Composición aguas residuales en estrato 1*

Fuente: (Niño & Martinez, 2013)

Con el dato de producción de agua residual para estrato uno (1) tomado de la figura 6.5, se procede a calcular la cantidad de agua gris producida en una vivienda

A continuación, en la tabla 6.2 se muestra el apartado del informe de la secretaria de planeación distrital, donde se dan datos correspondientes a la producción de agua residual para los diferentes estratos socioeconómicos en Bogotá.

Tabla 6.2 *Producción de agua residual por estrato en la ciudad de Bogotá*

Indicador			Estrato	Litros
Alcantarillado	Población	Producción agua residual per. cápita/día	1 Bajo-Bajo	49.68
			2 Bajo	58.83
			3 Medio-Bajo	69.50
			4 Medio	108.40
			5 Medio-Alto	143.66
			6 Alto	221.64
	Hogares	Producción agua residual por hogar/día	1 Bajo-Bajo	174.77
			2 Bajo	211.78
			3 Medio-Bajo	227.58
			4 Medio	301.08
			5 Medio-Alto	390.24
			6 Alto	561.36
	Viviendas	Producción agua residual por vivienda/día	1 Bajo-Bajo	200.85
			2 Bajo	238.83
			3 Medio-Bajo	249.01
			4 Medio	302.70
			5 Medio-Alto	384.92
			6 Alto	534.84

Fuente: (Secretaría Distrital de Planeación, 2012)

Para determinar los patrones de uso de lavadora en la ciudad de Bogotá, se realizó una encuesta virtual (ver anexo 17) de la que se obtiene la figura 6.9, encontrando el porcentaje del día de mayor uso de la lavadora en la semana, y de esta manera se tiene el caudal pico para utilizarlo como el caudal de diseño, como se especifica en la ecuación (3).

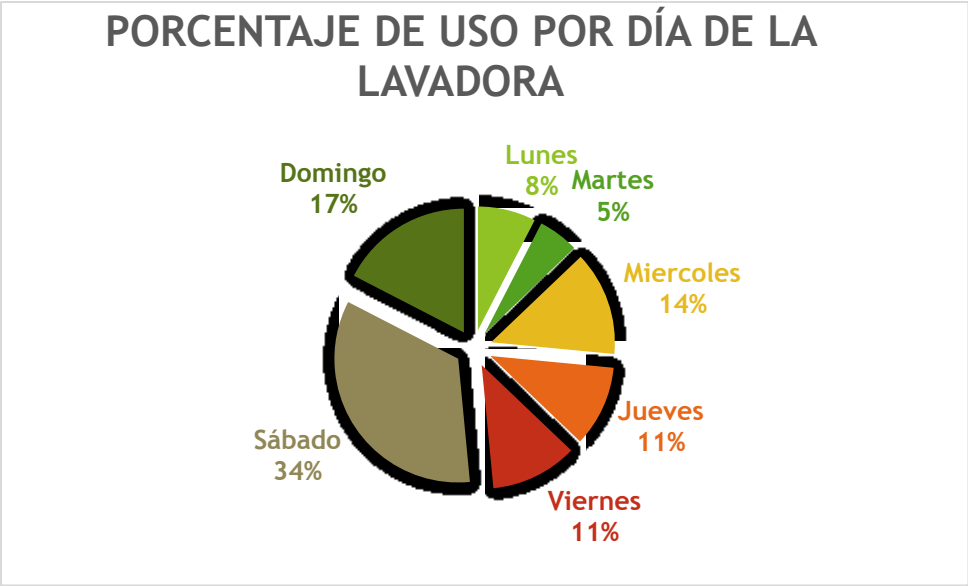

Figura 6.9 *Porcentaje de uso por día de la lavadora*

Fuente: Autores

La tarifa para acueducto y alcantarillado se presentan en las tablas 6.3 y 6.4, en esta se establece el valor en pesos ($) por metro cubico ($m^3$) de agua y alcantarillado, en el que para enero de 2018 la tarifa neta para acueducto es de $ 2299,65 y para alcantarillado de $ 2544,56.

Tabla 6.3 *Tarifa m^3 de agua potable para Bogotá 2018*

	CARGO FIJO $/Suscriptor/ 2 meses	Enero 2018	Diciembre 2018	CONSUMO BÁSICO $/m3	Enero 2018	Diciembre 2018	CONSUMO NO BÁSICO $/m3	Enero 2018	Diciembre 2018
RESIDENCIAL	Estrato 1	3793,22	3764,88	Estrato 1	689,90	733,37	Estrato 1	2299,65	2444,58
	Estrato 2	7586,42	7529,77	Estrato 2	1379,79	1466,75	Estrato 2	2299,65	2444,58
	Estrato 3	10747,44	10667,17	Estrato 3	1954,70	2077,89	Estrato 3	2299,65	2444,58
	Estrato 4	12644,04	12549,61	Estrato 4	2299,65	2444,58	Estrato 4	2299,65	2444,58
	Estrato 5	28322,64	28111,13	Estrato 5	3564,46	3789,10	Estrato 5	3564,46	3789,10
	Estrato 6	34644,66	34385,93	Estrato 6	3794,42	4033,55	Estrato 6	3794,42	4033,55

CARGO FIJO $/Suscriptor/2 meses	Enero 2018	Diciembre 2018	CONSUMO $/m3	Enero 2018	Diciembre 2018
COMERCIAL	18966,06	18824,41	COMERCIAL	3449,48	3666,87
INDUSTRIAL	16437,26	16314,49	INDUSTRIAL	3173,52	3373,52
OFICIAL	12644,04	12549,61	OFICIAL	2299,65	2444,58
ESPECIAL	12644,04	12549,61	ESPECIAL	2299,65	2444,58

Nota: Cifras en $/Corrientes

Fuente: Acueducto de Bogotá (EAAB)

Tabla 6.4 *Tarifa alcantarillado para Bogotá 2018*

	CARGO FIJO $/Suscriptor/ 2 meses	Enero 2018	Diciembre 2018	CONSUMO BÁSICO $/m3	Enero 2018	Diciembre 2018	CONSUMO NO BÁSICO $/m3	Enero 2018	Diciembre 2018
RESIDENCIAL	Estrato 1	1773,56	1778,15	Estrato 1	763,37	767,49	Estrato 1	2544,56	2558,31
	Estrato 2	3547,12	3556,31	Estrato 2	1526,74	1534,98	Estrato 2	2544,56	2558,31
	Estrato 3	5025,08	5038,10	Estrato 3	2162,88	2174,56	Estrato 3	2544,56	2558,31
	Estrato 4	5911,86	5927,18	Estrato 4	2544,56	2558,31	Estrato 4	2544,56	2558,31
	Estrato 5	14720,54	14758,67	Estrato 5	3842,29	3863,04	Estrato 5	3842,29	3863,04
	Estrato 6	20455,04	20508,03	Estrato 6	4096,74	4118,88	Estrato 6	4096,74	4118,88

CARGO FIJO $/Suscriptor/2 meses	Enero 2018	Diciembre 2018	CONSUMO $/m3	Enero 2018	Diciembre 2018
COMERCIAL	8867,80	8890,77	**COMERCIAL**	3816,84	3837,46
INDUSTRIAL	7744,54	7764,60	**INDUSTRIAL**	3638,72	3658,38
OFICIAL	5911,86	5927,18	**OFICIAL**	2544,56	2558,31
ESPECIAL	5911,86	5927,18	**ESPECIAL**	2544,56	2558,31

Nota: Cifras en $/Corrientes

Fuente: Acueducto de Bogotá (EAAB)

7. METODOLOGIA

El desarrollo de la presente metodología se realiza teniendo en cuenta el paso a paso formulado en el marco teórico, implementación del sistema de recolección, tratamiento y reúso del agua.

7.1. Caracterización y parámetros evaluados.

Desarrollando la ecuación (1) y con la población de 120 apartamentos descritos en el capítulo 5 (tabla 1), se tiene: se toma un nivel de confianza de 95 % que equivale a Z = 1.96 y un error de 10 %, el valor de p = 0.5 y q = 0.5

$$\boldsymbol{n} = \frac{120 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 * (120-1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 54$$

Por lo tanto se recogen muestras para (54) viviendas diferentes de estratos (1) y (2), estas muestras contienen agua con la mezcla de todos los ciclos de lavado; las muestras se recogen los días sábado y domingo dada la facilidad de visitar las viviendas, se almacenan en recipientes de plástico debidamente esterilizados a una temperatura de 4 ºC.

Con el fin de tener un mejor acercamiento sobre el comportamiento de las muestras recolectadas se hizo la caracterización de la siguiente manera: En parámetros como pH y conductividad, se seleccionaron 11 muestras de las 54 recolectadas, escogidas al azar y sin repetición para mezclar y obtener un patrón de análisis, de esta manera se hizo la selección de otros cuatro (4) patrones de análisis bajo las mismas condiciones y un último patrón con la mezcla de las (54) muestras recolectadas, esto se puede apreciar en la figura 7.10.

Figura 7.10 *Patrones de medición para pH, turbiedad y conductividad*

Fuente: Autores

En la figura 7.10 se presentan los patrones utilizados para hacer los análisis de pH, conductividad y turbiedad, los patrones M1, M2, M3 Y M4, contienen la mezcla de 11 muestras diferentes para cada patrón, tomadas de las (54) muestras recolectadas y M5 contiene la mezcla de la totalidad de estas.

Para los análisis de sólidos, se escogió al azar el patrón 1, 4 y 5 (M1, M4 y M5 de la figura 7.1, este último teniendo en cuenta que contiene la totalidad de las muestras. Todo esto con la finalidad de tener muestras de agua con la mayor cercanía posible a lo que se puede presentar en la realidad donde no se controlaría las condiciones de lavado ni de los elementos que entren en las lavadoras.

Considerando que es una caracterización inicial, se decidió dar prioridad a pruebas fisicoquímicas; ya que estas pruebas permiten conocer índices de calidad de una manera sencilla. Complementario a estas pruebas se desarrollaron análisis de la concentración de fosforo reactivo total, pues se espera tener altas concentraciones debido al uso de detergentes para el proceso de lavado.

Los parámetros evaluados fueron:

- Solidos totales
- Solidos suspendidos totales
- Solidos disueltos totales
- pH
- Conductividad
- Fosforo reactivo total

La medición de los parámetros pH, conductividad, oxígeno disuelto y sólidos se hace aplicando los métodos y procedimientos de acuerdo a los recursos técnicos que se posee en el laboratorio de la universidad, basados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd-Edition 2012 y recomendaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La medición del parámetro fósforo reactivo se hace por parte del laboratorio ANALQUIM LTDA. (ver anexo 15), esto con el fin de asegurar la veracidad de los resultados.

La medición de sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales se hacen por gravimetría, como se puede apreciar en la figura 7.11

Figura 7.11 *Análisis gravimétrico para sólidos*

Fuente: Autores

La medición de conductividad y pH se hace con los equipos presentes en el laboratorio, siguiendo las recomendaciones pertinentes, como se puede apreciar en la figura 7.12.

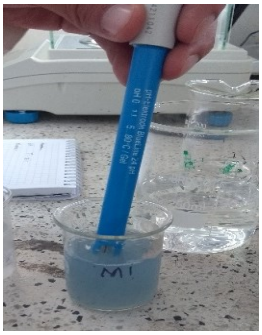

Figura 7.12 *Toma de pH a patrón de análisis (1)*

Fuente: Autores

7.1.1. Propuesta para la recolección y tratamiento.

En este punto, disponiendo de la información y los datos recolectados anteriormente, teniendo en cuenta que el proyecto solo contempla el uso del agua gris obtenida del uso de la lavadora, se procede a buscar las alternativas para la recolección y el sistema de tratamiento que se adapten al proyecto. En general, para que el sistema de tratamiento sea económico, es recomendable usar un máximo de 3 unidades de tratamiento y evitar los tratamientos biológicos.

Siendo así, se plantean tanques interceptores para la recolección de las aguas grises de cada torre con el fin de disminuir la carga de solidos presente dado que funcionaran como una especie de sedimentador al permitir tener las aguas grises en reposo, y tener un caudal asegurado para el continuo funcionamiento del sistema de tratamiento, con un tanque interceptor final en el cual se van a terminar de sedimentar los sólidos con ayuda de un agente coagulante previo a iniciar la filtración del agua.

Se contempla un filtro compuesto de carbón-arena-grava por el cual pasara el agua después de estar almacenada por un tiempo en el tanque interceptor general para terminar de retirar los sedimentos que continúen presentes en el afluente, después del proceso de filtración el agua será almacenada en el tanque final del cual será posteriormente bombeada de nuevo a los apartamentos y zonas comunes para que pueda ser utilizada.

7.2. Diseño de las alternativas de recolección, tratamiento y reúso

En esta etapa se hace inicialmente una evaluación de la remoción de dos medios filtrantes, posteriormente se procede a realizar el diseño del sistema de recolección, tratamiento y reúso.

7.2.1. Construcción de los filtros de laboratorio y comparación de la eficiencia de remoción de estos.

En este punto se evalúan la borra de café y el carbón activado como medios filtrantes, se mide la eficiencia de remoción. Además de los parámetros ya mencionados.

7.2.1.1. *Obtención de la borra de café*

Para la obtención de la borra de café se optó por llevar a cabo una combinación de la técnicas de Juliao Pereira (Brasil Patente nº BR 102016005161-4 A2, 2016) y de la Centrifigación-Agitación del libro manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados (Fernandez, Rojas, Roldán , & Islas , 2006), descrita en el marco teórico, con algunas modificaciones realizada por los autores, dado que fue imposible conseguir el equipo de laboratorio Soxhlet para desarrollar la practica tal cual está definido en la patente Juliao Pereira.

Para el caso específico del proyecto, se duplico el tiempo que describía la patente para el método de extracción con Soxhlet, dejando en agitación continua a 115 rpm 2 frascos con 105 gramos de borra de café cubriéndolos totalmente con el solvente indicado, posterior a la agitación se procedió a secar la borra de café a 110 °C durante 1 hora, se tomó un volumen de muestra de 10 cm^3 y se puso en tubos Falcón dentro de la centrifuga, se añadió solvente hasta cubrir la muestra, y se encendió la centrifuga a 6000 rpm durante 10 minutos, seguidamente se retiraba el sobrenadante y se agregaba de nuevo solvente puro para repetir el proceso, el proceso de centrifugación era realizado 3 veces con cada tubo de ensayo.

Para obtener 210 gr de borra de café tratada para ser utilizada como lecho filtrante, fueron necesarios 3 días para completar el proceso con los 3 solventes indicados. Dejando en agitación desde la noche anterior y llevando a cabo el proceso de centrifugación durante el día. Además de usar la borra de café como medio filtrante, se completó el filtro con fracciones de arena sílice y grava para terminar el medio filtrante. Diseñando el filtro con el mismo espesor de capa para todos los materiales, de 8 cm, y así poder comparar los resultados de los parámetros medidos bajo las mismas condiciones experimentales.

En la figura 7.13 se presentan las muestras con hexano posterior a la centrifugación.

Figura 7.13 *Borra de café con hexano después de ser centrifugado*

Fuente: Autores

7.2.1.2. Carbón activado

El carbón activado, la grava y la arena, fueron comprados en el almacén “La Leñeria”, especializados en venta de leña, carbón, bioetanol, iniciadores de fuego, y demás productos para producir fuego, además de vender productos para filtrar y purificar agua, los materiales comprados tienen las siguientes características: carbón activado con partículas de tamaño

entre 1-5 mm, grava con un tamaño de partícula entre 7-10mm, y arena sílice con tamaño de partícula entre 0,59-0,84 mm.

El filtro con carbón activado también se completa con fracciones de arena sílice y grava, con espesor de capa de 8 cm para cada uno, de esta manera tienen las mismas condiciones respecto al filtro con borra de café.

7.2.1.3. *Construcción de los filtros de prueba*

Se construyeron dos filtros de prueba, en el que la característica principal es el uso de medios filtrantes diferentes, uno con borra de café y otro con carbón activado (figura 7.14).

Se usaron dos botellas plásticas de 2 litros y medio de volumen de marcas comerciales de bebidas gaseosas para sostener los lechos filtrantes, las cuales fueron llenadas primero con una capa de 8 cm de espesor de arena sílice, posteriormente se puso una capa de 8 cm de espesor de grava y finalmente en una botella se puso una capa de 8 cm de espesor de carbón activado y en la otra una capa de 8 cm de espesor de borra de café tratada, esto se puede apreciar de mejor manera en la figura 7.14, donde en el lado izquierdo se tiene el filtro con borra de café, y en el lado derecho está el filtro con carbón activado. La forma circular de las botellas permite que cortos circuitos ni espacios muertos en el flujo del líquido. Lo anterior con la finalidad de tener las mismas características en los filtros y poder comparar las eficiencias de remoción bajo las mismas condiciones experimentales.

Figura 7.14 *a) Montaje filtro con borra de café b) Montaje filtro con carbón activado*

Fuente: Autores

Los medios granulares arena, grava y carbón mostrados en la figura 7.14, fueron lavados inicialmente para evitar alteraciones en la medición.

7.2.1.4. *Comparación de la eficiencia de remoción de los filtros.*

Considerando que la finalidad del agua tratada se da para usos que no requieren potabilización, se decidió dar prioridad a pruebas fisicoquímicas y microbiológicas; ya que estas pruebas permiten conocer índices de calidad de una manera sencilla. Complementario a estas pruebas se desarrollaron análisis de la concentración de fosforo reactivo total, pues se espera tener altas concentraciones debido al uso de detergentes para el proceso de lavado.

En la búsqueda de alternativas de medios filtrantes se evaluó la remoción de un filtro con borra de café y otro con carbón activado como lechos filtrantes. Siguiendo la misma metodología llevada a cabo para la caracterización inicial (ítem 5.1 del capítulo marco teórico) para hallar el tamaño de muestra, se recogieron muestras para (54) viviendas diferentes de estratos (1) y (2), estas muestras contienen agua con la mezcla de todos los ciclos de lavado; las muestras se recogen los días sábado y domingo dada la facilidad de visitar las viviendas, se almacenan en recipientes de plástico debidamente esterilizados a una temperatura de 4 ^{o}C.

Teniendo todas las muestras, se mezclan 100 mL de muestra de cada lavadora, para obtener 5,4 L de solución patrón, obtenida de la suma de 100 mL de las 54 muestras obtenidas de lavadoras de estrato 1 y 2, a esta se le hará una caracterización de los siguientes parámetros, siguiendo las indicaciones de mediciones del ítem 5.1. de este capítulo:

- Solidos totales
- Solidos suspendidos totales
- Solidos disueltos totales
- pH
- Conductividad
- Fosforo reactivo total
- Oxígeno disuelto
- Demanda Química de Oxígeno DQO

Posterior a la caracterización inicial, se trata 1 L de la solución patrón obtenida del muestreo de las (54) lavadoras con sulfato de aluminio tipo B en solución con una concentración de 10000 ppm, esto con el fin de filtrar 500 mL de muestra con cada filtro.

Por último se hace una caracterización del efluente de cada filtro y se compara la eficiencia de remoción de cada filtro; se realiza una evaluación de los parámetros medidos inicialmente en la etapa de caracterización (Solidos totales, solidos suspendidos totales, solidos disueltos totales, pH, conductividad, oxígeno disuelto) y se incluye la medición de Coliformes totales fecales y Salmonella Spp. al efluente de cada filtro, llevadas a cabo por el laboratorio ANALQUIM LTDA. (ver anexo 15), para poder comparar los resultados sin la filtración y con este proceso, exceptuando las pruebas microbiológicas que solo fueron realizadas a las muestras filtradas.

7.2.2. Diseño del sistema de recolección, tratamiento y reúso.

En este punto se realiza todo el proceso de cálculo para el diseño de sistema de recolección, tratamiento y reúso.

7.2.2.1. *Sistema de recolección.*

Se establecen dos (2) unidades de descarga para la lavadora según la tabla 5.3, se contabilizan ocho (8) unidades por piso de los cuatro apartamentos y se plantean (2) bajantes para aguas grises por torre (ver anexo21), por lo que queda divido en 4 unidades para cada bajante; aplicado un coeficiente de simultaneidad de 1, según la tabla 5.5, se siguen conservando las 4 unidades por bajante, pero se debe tener en cuenta que son mínimo diez (10) unidades por piso para conectar a la bajante, por lo que a pesar de que realmente son 4 unidades se trabaja con 10, entonces para el final de la bajante se tendrán 60 unidades acumuladas de los 6 pisos para cada bajante y, utilizando la tabla 5.4 para 60 unidades tenemos un caudal de 3.44 L/s. Se propone un diámetro no inferior a tres (3) pulgadas para evitar problemas de sifonamiento, el resumen de este proceso encuentra en la tabla 8.6.

Para los colectores (ver anexo 11) se utilizan las ecuaciones de velocidad (5.7), Caudal (5.8) y fuerza tractiva (5.6), en las que para el primer tramo del colector con un diámetro de 4", pendiente del 0.6 % y un coeficiente de Manning (n) de 0.009, se tiene:

$$\boldsymbol{Vo} = \frac{1}{0.009} * \frac{(4*0.0254)^{\frac{2}{3}}}{4} * 0.006^{\frac{1}{2}} = 0.74\frac{m}{s}$$

$$\boldsymbol{Qo} = \frac{\frac{(\pi*(4*0.0254)^2}{4}}{0.009} * \frac{(4*0.0254)^{\frac{2}{3}}}{4} * 0.006^{\frac{1}{2}} = 0.00603\ m^3/s$$

Aplicando un factor de conversión se tiene 6.03 L/s.

$$\boldsymbol{F} = 250 * (4 * 0{,}0254) * 0{,}006 = 0.15\ Kg/m^2$$

Posteriormente se hace la relación de caudal (Q = 3.44 L/s) y caudal a tubo lleno (Qo = 6.03) y tenemos que:

Q/Qo = 3.44/6.03 = 0.58

Con este dato (0.58) nos remitimos a la tabla 5.8 y encontramos que:

Profundidad de lámina (Y) = 0.613 = 61.3 % (cumple)

Velocidad = 0,901*Vo = 0,901*0,74 = 0,67 (cumple)

t/To= 1.124*0.15 kg/m^2 = 0.1686 kg/m^2 (cumple)

Se procede de forma similar para los siguientes tramos del colector, el resumen de este proceso se encuentra en la tabla 8.7.

Para el cálculo de la producción de aguas grises (ecuación **5.9**), en el presente trabajo, se usa el dato de producción de aguas residuales (Qr) en Bogotá de (Secretaría Distrital de Planeación, 2012) presentado en la tabla 6.2, ya que se considera más confiable este dato al tener una muestra mayor para el análisis estadístico que al estudio presentado por Elkin Niño y Nestor Martínez (Niño & Martinez, 2013). El porcentaje de aguas grises (PG) producidas en una vivienda estrato **1** que se recomienda, se encuentra en la figura 6.8. Posteriormente, para saber el volumen de agua producido por todos los apartamentos del conjunto Ícaro (ecuación **5.10**), se usa el porcentaje de agua generado por el uso de la lavadora que se encuentra en la figura 6.6 y el número de apartamentos que se encuentra en la tabla 6.1.

$$\boldsymbol{Qg} = 200.85\ \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{Viv} * \mathrm{d}} * 0.73 = 146.62\ \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{d}}$$

$$\boldsymbol{Qv} = 146.62\ \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{d}} * 0.45 * 120 = 7917.51\ \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{d}}$$

$$\boldsymbol{Qd} = \frac{7 * 7917.51\ \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{d}} * 0.34}{86400} = 0.22 \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}}$$

7.2.2.2. *Sistema de tratamiento.*

En el sistema de tratamiento se lleva a cabo el diseño de los tanques interceptores intermedios, el tanque interceptor general y el filtro.

- ***Tanques interceptores intermedios***

  Utilizando las ecuaciones para tiempo de retención *td* (5.13), tasa de acumulación de lodos por torre *Talt* (5.15), volumen de sedimentación *Vsed* (5.17), volumen de acumulación de lodos *Vlod* (5.18), volumen de acumulación de natas *Vna* (5.19), volumen total *VT* (5.20), altura de sedimentación *Hsed* (5.21), altura de lodos *Hlod* (5.22), altura de natas *Hna* (5.23), se sigue el siguiente proceso de cálculo.

  La población y el número de torres para el proyecto es la dada en la tabla 6.1. El caudal o descarga por torre *Qto* se encuentra dividiendo el caudal de diseño *Qd* de la ecuación (5.12) entre el número de torres.

$$\boldsymbol{td} = 1.5 - 0.3 * Log\left(\frac{0.22\frac{L}{s}}{5}\right) = 0.44$$

$$\boldsymbol{TALt} = 10 * 0.7 * 0.44 = 3.08\frac{L}{per * año}$$

$$\boldsymbol{Vsed} = \frac{\left(120\ hab * 0.04\frac{L}{s} * 0.44\right)}{1000} = 0.0021\ m^3$$

$$\boldsymbol{Vlod} = \frac{\left(3.08\frac{L}{per * año} * 120\ hab * 3\ años\right)}{1000} = 1.11\ m^3$$

$$\boldsymbol{Vna} = \frac{\left(2\frac{L}{per * año} * 120\ hab * 3\ años\right)}{1000} = 0.72\ m^3$$

$$Hsed = \frac{0.0021\ m^3}{1.4\ m^2} = 0.0012\ m$$

$$H\boldsymbol{lod} = \frac{1.11\ m^3}{1.4\ m^2} = 0.79\ m$$

$$H\boldsymbol{na} = \frac{0.72\ m^3}{1.4\ m^2} = 0.51\ m$$

$$\boldsymbol{VT} = 0.0021\ m^3 + 1.11\ m^3 + 0.72\ m^3 = 1.83\ m^3$$

- ***Tanque interceptor general***

Utilizando las ecuaciones para tiempo de retención (5.13), tasa de acumulación de lodos final *TALt* (5.16), volumen de sedimentación *Vsed* (5.17), volumen de acumulación de lodos *Vlod* (5.18), volumen de acumulación de natas *Vna* (5.19), volumen total *VT* (5.20), altura de sedimentación *Hsed* (5.21), altura de lodos *Hlod* (5.22), altura de natas *Hna* (5.23), se sigue el siguiente proceso de cálculo:

$$\boldsymbol{td} = 1.5 - 0.3 * Log\left(0.22\frac{L}{s}\right) = 0.22$$

$$\boldsymbol{TALt} = 3.08 * 0.44 = 1.36\ \frac{L}{per * año}$$

$$\boldsymbol{Vsed} = \frac{\left(600\ hab * 0.22\frac{L}{s} * 0.22\right)}{1000} = 0.003\ m^3$$

$$\boldsymbol{Vlod} = \frac{\left(1.36\frac{L}{per * año} * 600\ hab * 3\ años\right)}{1000} = 2.44\ m^3$$

$$\boldsymbol{Vna} = \frac{\left(2\frac{L}{per * año} * 600\ hab * 3\ años\right)}{1000} = 3.6\ m^3$$

$$Hsed = \frac{0.03\ m^3}{6\ m^2} = 0.005\ m$$

$$H\boldsymbol{lod} = \frac{2.44\ m^3}{6\ m^2} = 0.41\ m$$

$$H\boldsymbol{na} = \frac{3.6\ m^3}{6\ m^2} = 0.6\ m$$

$$\boldsymbol{VT} = 0.003\ m^3 + 2.44\ m^3 + 3.6\ m^3 = 6.07\ m^3$$

- **Diseño del filtro**

Utilizando las ecuaciones de carga superficial *Cs* (5.24), velocidad lineal *v* (5.25), de tiempo de servicio *t* (*5.26*), de cambios por año *Ca* (*5.27*) y de volumen de material del tanque (5.28) será de 4 m^3 ya que se le definió un área de 2 m de largo por 2 m de ancho y 1 m de altura, quedará dividido en 1.6 m^3 de carbón activado, 1.6 m^3 de arena torpedo, y 0.8 m^3 de grava.

Como se demuestra en los siguientes cálculos:

$$\boldsymbol{Cs} = \frac{13.09\ \mathrm{l/min}}{4\mathrm{m}^2} = 3.27\ \mathrm{l/min*m^2}$$

$$\boldsymbol{V} = 3.27\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min} * \mathrm{m}^2} * 0.001\mathrm{m}^3/\mathrm{l} * 60\mathrm{min/h} = 0.2\ \mathrm{m/h}$$

$$\boldsymbol{t} = \left(\frac{102.9\frac{kg}{m^3}}{\frac{0.64kg}{l}*0.2\frac{m}{h}}\right) * 1m - \ln\frac{\left(\frac{640\frac{mg}{L}}{100\frac{mg}{l}}\right)-1}{0.66\frac{m^3}{kg*h}*0.64\frac{kg}{l}} = 815.12\ \mathrm{h/ciclo}$$

$$\boldsymbol{Ca} = \frac{8760\frac{\mathrm{h}}{\mathrm{año}}}{815.12\frac{\mathrm{h}}{\mathrm{ciclo}}} = 10.7\ \mathrm{cambios/años}$$

$$\textbf{Volumen de material} = 4\ m^2 * 1m = 4\ m^3$$

7.2.2.3. *Sistema de reúso.*

- **Determinación caudal de diseño para la red de suministro:**

- **Método Hunter NTC 1500**

Teniendo un total de 244 unidades para todo el conjunto, siendo ciento veinte (120) apartamentos con dos (2) baños cada uno, y cuatro (4) baños adicionales, tres (3) del salón comunal y uno (1) en la caseta de vigilancia.

Para los cálculos de la presión mínima requerida fue utilizada la ecuación (5.34), se tuvieron en cuenta la longitud total de tubería, siendo la longitud equivalente de los accesorios el

(50%) de la suma de la longitud horizontal y la longitud vertical de tubería (longitud total), las perdidas unitarias fueron calculadas con la ecuación de Flamant (5.30) para tuberías con diámetro inferior a dos (2) pulgadas y con Hazen Williams(5.31) para diámetros superiores, para poder calcular la pérdida total se utilizó la ecuación (5.32); la carga por velocidad con la ecuación (26), y estática a vencer (longitud vertical), partiendo de la presión mínima para el aparato critico de 7 M.C.A., y siguiendo los tramos de tubería desde el aparato critico hasta el punto de bombeo.

Reemplazando los valores en las ecuaciones para la velocidad V (5.29), perdidas unitarias j (5.30), pérdidas totales h_T (5.32), carga de velocidad hv (5.33) y presión en el punto final PE (5.34), para el tramo 1-2 de la ruta crítica, teniendo en cuenta los siguientes factores de conversión de litros a metros cúbicos y de pulgadas a metros, se tiene que:

$$Q\left(\frac{litros}{segundo}\right) * \left(\frac{1m^3}{1000\ L}\right)$$

$$Longitud\ (pulgada) * \left(\frac{0.0254\ m}{1pulgada}\right)$$

$$\boldsymbol{V} = \frac{\mathbf{0.06}\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{s}} * \left(\frac{\mathbf{1m^3}}{\mathbf{1000L}}\right)}{\frac{\mathbf{3.1416}\left(\mathbf{0.5\ pulgadas} * \left(\frac{\mathbf{0.0254m}}{\mathbf{1\ pulgada}}\right)\right)^{\mathbf{2}}}{\mathbf{4}}} = 0.47\ m/s$$

$$\boldsymbol{j} = 6.1 * 0.00010\left(\frac{\left(0.06\frac{L}{s} * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right)\right)^{1.75}}{\left(0.5\ pulgadas * \left(\frac{0.0254m}{1\ pulgada}\right)\right)^{4.75}}\right) = 0.025\ m/m$$

$$\boldsymbol{h_T} = (0 + 0.34 + (0 + 0.34) * 50\%)\mathrm{m} * 0.025\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m}} = 0.01\ m$$

$$\boldsymbol{hv} = \frac{\left(0.47\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 * 9.806\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 0.01\ m$$

$$\boldsymbol{PE} = 0.01m + 0.01m + 0m + 7m = 7.023\ m$$

Para el cálculo de los tramos restantes, se procede de manera similar y los resultados se presentan en la tabla 8.11.

- **Método Hunter UNAL**

Reemplazando los valores en las ecuaciones para la velocidad ***V* (5.29)**, perdidas unitarias ***j* (5.30)**, pérdidas totales $\boldsymbol{h_T}$ **(5.32)**, carga de velocidad ***hv* (5.33)** y presión en el punto final ***PE* (5.34),** para el tramo 1-2 de la ruta crítica, teniendo en cuenta los siguientes factores de conversión de litros a metros cúbicos y de pulgadas a metros, se tiene que:

$$Q\left(\frac{litros}{segundo}\right) * \left(\frac{1m^3}{1000\ L}\right)$$

$$pulgada * \left(\frac{0.0254\ m}{1pulgada}\right)$$

$$\boldsymbol{V} = \frac{0.018\frac{L}{s} * (\frac{1m^3}{1000L})}{\frac{3.1416\left(0.5\ pulgadas * \left(\frac{0.0254m}{1\ pulgada}\right)\right)^2}{4}} = 1.42\ m/s$$

$$\boldsymbol{j} = 6.1 * 0.00010\left(\frac{\left(0.018\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}} * \left(\frac{1\mathrm{m}^3}{1000\mathrm{L}}\right)\right)^{1.75}}{\left(0.5\ \mathrm{pulgadas} * \left(\frac{0.0254\mathrm{m}}{1\ \mathrm{pulgada}}\right)\right)^{4.75}}\right) = 0.173\ \mathrm{m/m}$$

$$\boldsymbol{h_T} = (0 + 0.34 + (0 + 0.34) * 50\%)\mathrm{m} * 0.173\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m}} = 0.09\ m$$

$$\boldsymbol{hv} = \frac{\left(0.47\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 * 9.806\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 0.103\ m$$

$$\boldsymbol{PE} = 0.09m + 0.103m + 0m + 7m = 7.191\ m$$

El resumen del cálculo de todos los tramos se encuentra en la tabla 8.12.

- **Método racional**

Para establecer la simultaneidad de usos de los aparatos en cada apartamento se usa la ecuación (**5.35**)

$$\boldsymbol{Kv} = \frac{1}{\sqrt{3-1}} = 0.71$$

Para hallar el caudal instalado se usa la ecuación (5.36) y los valores de la tabla 5.12

$$\mathbf{Qi} = 0.1\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}} + 0.1\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}} + 2\frac{L}{s} = 0.4\ \frac{L}{s}$$

Para el caudal máximo probable en la vivienda se usa la ecuación (5.37)

$$\mathbf{Qmax} = 0.71 * 0.4\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{S}} = 0.28\ \frac{L}{S}$$

Para el tramo 3-4 se usa las ecuaciones (5.38) y (5.39) respectivamente.

$$\mathbf{Ke} = \frac{2+19}{10*(2+1)} = 0.7$$

$$\mathbf{Qp} = \left(0.28\frac{L}{s} + 0.28\frac{L}{s}\right) * 0.7 = 0.4\ \frac{L}{s}$$

El resumen del cálculo del caudal para cada tramo se encuentra en la tabla 8.13.

Reemplazando los valores en las ecuaciones para la velocidad *V* (5.29), perdidas unitarias *j* (5.30), pérdidas totales h_T (5.32), carga de velocidad *hv* (5.33) y presión en el punto final *PE* (5.34), para el tramo 1-2 de la ruta crítica, teniendo en cuenta los siguientes factores de conversión de litros a metros cúbicos y de pulgadas a metros, se tiene que:

$$Q\left(\frac{litros}{segundo}\right) * \left(\frac{1m^3}{1000\ L}\right)$$

$$pulgada * \left(\frac{0.0254\ m}{1pulgada}\right)$$

$$\boldsymbol{V} = \frac{0.3\frac{L}{s} * (\frac{1m^3}{1000L})}{\frac{3.1416\left(0.5\,pulgadas * \left(\frac{0.0254m}{1\,pulgada}\right)\right)^2}{4}} = 2.37\,m/s$$

$$\boldsymbol{j} = 6.1 * 0.00010\left(\frac{\left(0.3\frac{L}{s} * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right)\right)^{1.75}}{\left(0.5\,pulgadas * \left(\frac{0.0254m}{1\,pulgada}\right)\right)^{4.75}}\right) = 0.424\,m/m$$

$$\boldsymbol{J} = (0 + 0.34 + (0 + 0.34) * 50\%)m * 0.424\frac{m}{m} = 0.22\,m$$

$$\boldsymbol{hv} = \frac{\left(2.37\frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.806\frac{m}{s^2}} = 0.286\,m$$

$$\boldsymbol{PE} = 0.22m + 0.286m + 0m + 7m = 7.502$$

El resumen del cálculo para todos los tramos se encuentra en la tabla 8.14.

- **Selección de bomba centrifuga**

Para definir la bomba que se debe usar en el sistema de reúso de la red de recirculación. Utilizando la ecuación (5.40) la potencia calculada para nuestro diseño fue de 0.8 HP, tomando en cuenta el caudal obtenido en el método de Hunter UNAL de 1.49 l/s, y una eficiencia de 65 %.

$$\mathbf{Potencia(HP)} = \frac{1 * 26.188 * 1.49}{0.65 * 76} = 0.8\,HP$$

Reemplazando los valores en la ecuación (5.31), correspondientes a caudal (0.001 m^3/s), coeficiente de Hazen-Williams (PVC 150), y el diámetro de la tubería (2 ½”), se obtuvieron las pérdidas para la succión e impulsión. Asumiendo una longitud de 3m y 166.5 m respectivamente.

$$\textbf{j succión} = \left(\frac{0.001\text{m3/s}}{0.2785 * 150 * (0.0635m)^{2.63}}\right)^{\mathbf{1.85}} * 3m = 0.006\ m$$

$$\textbf{j impulsion} = \left(\frac{0.001\text{m3/s}}{0.2785 * 150 * (0.0635m)^{2.63}}\right)^{1.85} * 166.5m = 0.314\ m$$

La ADT, se obtiene a partir de la ADT obtenida por el Método de Hunter UNAL de 26.188 m.c.a, y la suma de las perdidas por succión e impulsión.

$$\textbf{ADT} = 26.188\text{m} + 0.006\text{m} + 0.314\text{m} = 26.508\ \text{m}$$

- **Selección equipo hidroneumático**

Utilizando las ecuaciones de capacidad del equipo "Ceq" (5.42), caudal medio "Qmed" (5.43), volumen de regulación "Vr" (5.44) y volumen total del tanque "Vt" (5.45), se obtuvieron los resultados consignados en la tabla 20, como se demuestra en los siguientes cálculos.

$$\textbf{Ceq} = (3\text{salidas} * 120\ \text{aptos}) *\ 0.25 = 90\ gal/min$$

$$\boldsymbol{Qmed} = \frac{90+(90*0.25)}{2} = 56.25\ \text{gal/min}$$

$$\boldsymbol{Vr} = \frac{56.25*2}{4} = 28.125\ \text{gal/min}$$

$$28.125\ \text{gal} * \left(\frac{3.785\ \text{l}}{1\ \text{gal}}\right) = 106.453\ \text{litros}$$

$$\boldsymbol{Vt} = 106.453 * 3.75 = 400\ litros$$

7.3. Relación costo beneficio del sistema de recolección, tratamiento y reúso frente a un sistema hidráulico convencional

En este punto se construye la relación costo beneficio que tendrán los usuarios por la implementación del sistema, se compone de la construcción de un presupuesto de obra y la elaboración del costo beneficio.

7.3.1. Construcción del presupuesto.

Se debe construir el presupuesto para la implementación del proyecto, se realiza el cálculo de las cantidades de insumos necesarios tanto para la instalación hidráulica, la red de urbanismo y el sistema de tratamiento; teniendo esto se construye el presupuesto utilizando precios de cotizaciones o precios estándar que se pueden encontrar en diferentes portales de obra como *construdata*. El presupuesto obtenido se puede encontrar en el siguiente capítulo y la tabla con la información del presupuesto se encuentra en el anexo 12.

Para la elaboración del presupuesto de nuestro caso de estudio se tuvo en cuenta que la empresa PAVCO genera un descuento del 35 % de sus insumos para obras VIP.

7.3.2. Relación costo beneficio.

Se elabora el flujo de caja incremental teniendo en cuenta el consumo y la tarifa de agua potable junto con el cargo por alcantarillado, para esto se construye el flujo de caja con el proyecto de reúso de aguas grises y el flujo de caja sin proyecto de reúso de agua grises, se toma la tarifa del m^3 de agua potable y alcantarillado establecido por la empresa de servicios públicos, en este caso, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) dado en las tablas 6.3 y 6.4, para Bogotá se tiene una tarifa de m^3 por estrato, debido a los subsidios que se dan en los estratos 1,2 y 3, los cuales se cargan a los estratos 5 y 6. También se debe establecer una inflación a largo plazo, la cual está dada por el banco de la república y se sacan los factores de decisión como Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Relación Costo – Beneficio (RCB), mediante la herramienta Excel.

Adicional a la relación costo beneficio, se establece un beneficio ambiental, dado por un menor consumo de agua potable y un beneficio social dado por un porcentaje de ahorro en la factura.

8. RESULTADOS Y ANALISIS

A continuación se recopilan los resultados y análisis de los procedimientos desarrollados para dar cumplimiento a los objetivos planteados inicialmente.

8.1. Diagnóstico de recolección y tratamiento

A continuación se presentan los resultados de la caracterización inicial.

8.1.1. Resultados de la caracterización.

En la figura 8.15 se encuentran los valores encontrados para pH y conductividad de la caracterización inicial.

En la caracterización inicial, se puede encontrar la variación de los patrones, encontrándose un punto medio o promedio si se quiere en el patrón número 5, que es el cual contiene la totalidad de las muestras de agua de lavadora recolectada.

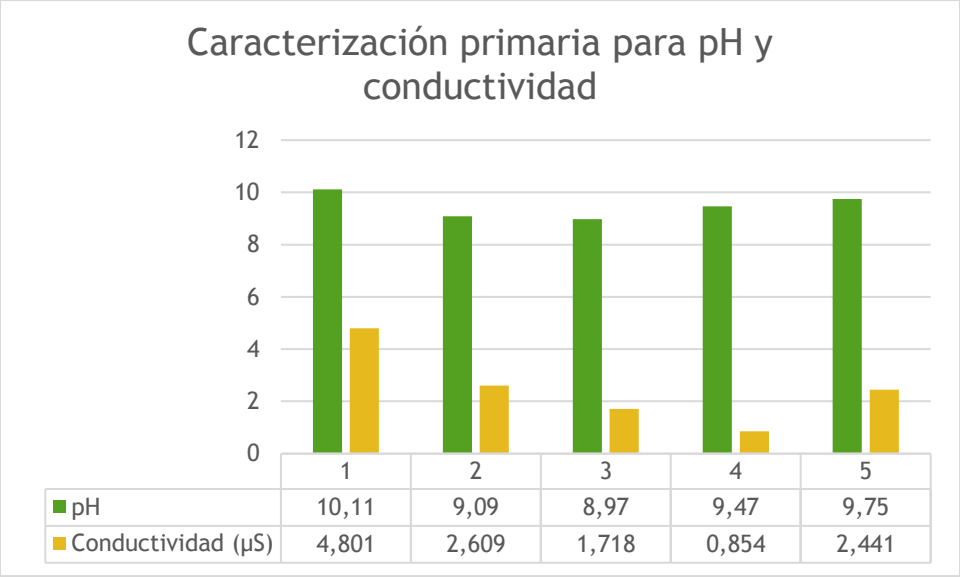

Figura 8.15 *Resultados de la caracterización primaria para pH y conductividad*

Fuente: Autores

En la figura 8.16 se representan los resultados para sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos.

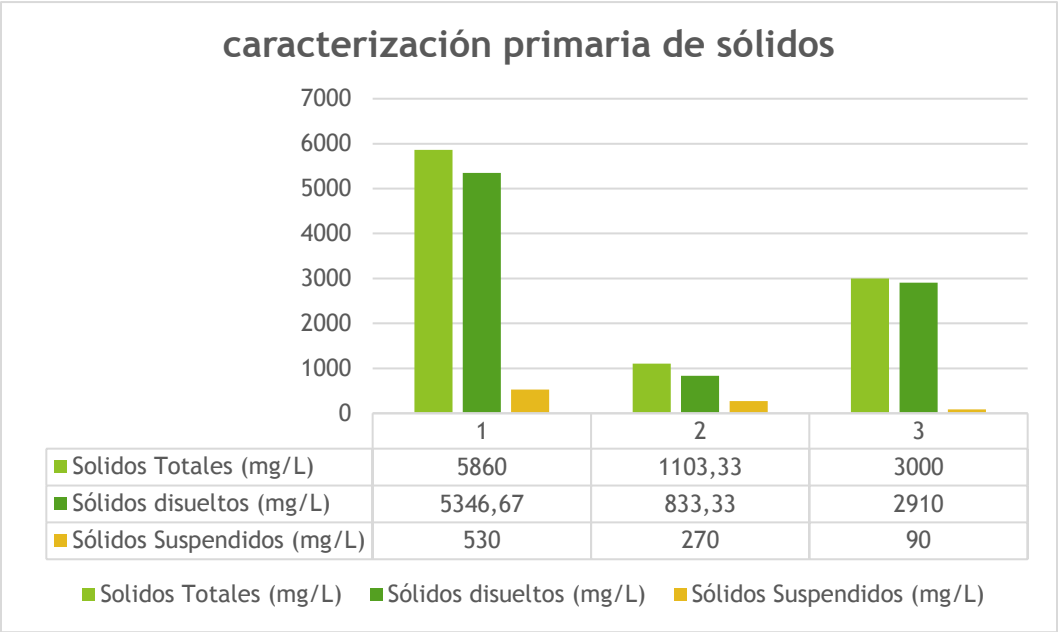

Figura 8.16 *Resultados de la caracterización primaria de sólidos*

Fuente: Autores

8.2. Diseño de las alternativas de recolección tratamiento y reúso

A continuación se dan los resultados de la eficiencia de remoción de los diferentes medios filtrantes y el proceso de cálculo para el sistema de recolección, tratamiento y reúso.

8.2.1. Eficiencia de remoción de los filtros de prueba.

En la tabla 8.1 se resumen los resultados obtenidos de las pruebas de pH, conductividad, Coliformes totales y Salmonella spp, hechos al agua recolectada del lavado de ropa sin filtrar y a las muestras recolectadas luego de ser pasada por los diferentes medios filtrantes.

Tabla 8.1 *Resultados de la eficiencia de remoción de los filtros para conductividad, Coliformes totales y Salmonela spp*

Muestra	pH	Conductividad (µS)	Coliformes Totales	Salmonella spp
Inicial	9	1.908	--------	--------
Filtro Carbón	4	3.931	< 1 NMP/ 100 mL	Ausencia
Filtro Café	3.91	2.815	< 1 NMP/ 100 mL	Ausencia

Fuente: Autores

Respecto a los resultados es evidente la mejoría en la calidad del agua después del tratamiento en la mayoría de parámetros evaluados; la excepción se presenta en el pH y conductividad.

Se tenía un pH de entrada de 9 y después del tratamiento se termina con un pH de 4 al pasar por el filtro de carbón y de 3.91 para el filtro de borra de café, esta disminución del pH se atribuye a la presencia de los iones Al +3 que se generan por la adición del coagulante.

La conductividad tenía un valor de entrada de 1.908 **µ**S, este valor posterior a la adición del coagulante y el paso por los filtros fue medido de nuevo dando un valor de 3.931 **µ**S para el filtro de carbón y 2.815 **µ**S para el filtro de borra de café, este aumento en la conductividad también es atribuido a la presencia de los iones Al +3 que se generan por la adición del coagulante.

Finalmente, las pruebas microbiológicas realizadas para ambos lechos filtrantes el resultado fue ausencia de los microorganismos en el agua (Coliformes fecales totales y salmonella spp)

El oxígeno disuelto es un parámetro importante en la calidad del agua, en el figura 8.3 se resumen los resultados obtenidos hechos a una muestra de agua potable obtenida de la llave, una muestra de agua recolectada del lavado de ropa y las muestras obtenidas luego de la filtración en los medios filtrantes respectivos.

En la figura 8.17 se resumen los datos correspondientes a la concentración de oxígeno disuelto de muestras de agua potable, la muestra sin filtrar, y la muestra después de ser filtrada con los diferentes lechos filtrantes.

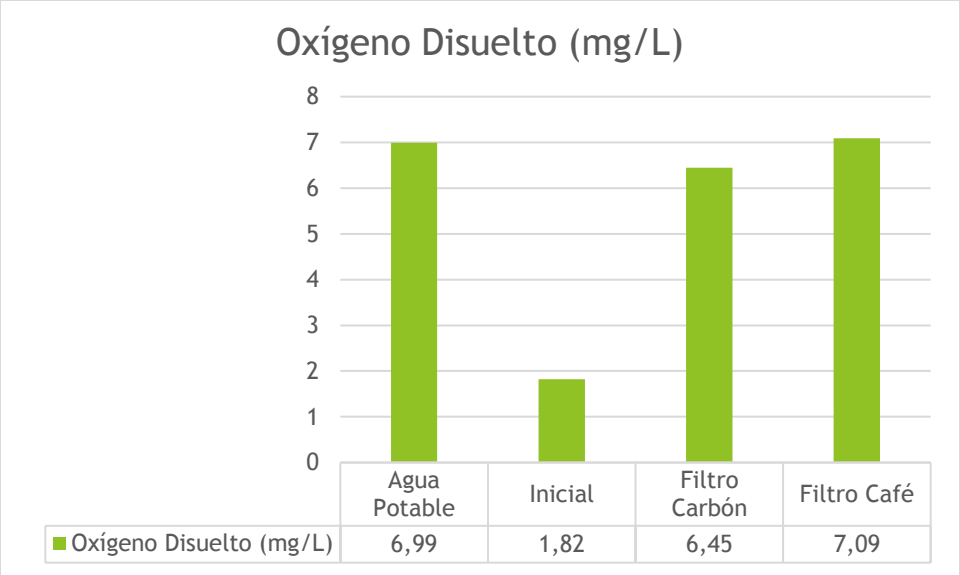

Figura 8.17 *Resultados de oxígeno disuelto de las diferentes muestras*

Fuente: Autores

El oxígeno disuelto fue otro parámetro que mejoro con el tratamiento al tener un valor de entrada de 1.82 mg/L, posterior al tratamiento se tuvieron valores de 6.45 mg/L para el filtro

de carbón y 7.09 mg/L para el de borra de café; cabe aclarar que midiendo este parámetro en una muestra de agua potable tomada de la llave el valor que se obtuvo fue de 6.99 mg/L.

En la tabla 8.2 se resumen los resultados obtenidos para fosforo reactivo y el respectivo porcentaje de remoción del filtro con carbón activado y el filtro con borra de café.

Tabla 8.2 *Resultado de la eficiencia de remoción de fosforo reactivo*

Muestra	Fosforo Reactivo (mg P/L)	Remoción (%)
Inicial	2.23	N/A
Filtro Carbón	1.96	12.11
Filtro Café	0.4	82.06

Fuente: Autores

La concentración de fosforo reactivo total fue otro parámetro en el cual evidencio una gran diferencia de remoción entre los dos filtros, obteniendo un porcentaje de remoción de 12.11 % para el filtro de carbón y 82.06 % para el filtro de borra de café. Este resultado se puede dar por la diferencia del tamaño de partículas del material adsorbente entre el carbón y el café, las cuales tenían un menor tamaño las partículas de la borra de café.

Los resultados de sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos para la muestra de agua recolectada del lavado de ropa y las muestras recolectadas luego del paso por los filtros junto con sus respectivos porcentajes de remoción se presentan en la tabla 8.3.

Tabla 8.3 *Resultado de la eficiencia de remoción de sólidos de los filtros*

Condición / Parámetro	Afluente	Efluente		
	Inicial	Filtro carbón activado	Filtro Borra de café	Remoción (%) por filtro
Sólidos totales (mg/L)	1636.11	724	796	55.75 / 51.34
Sólidos disueltos (mg/L)	1516	684	744	54.88 / 50.92
Sólidos suspendidos (mg/L)	120.11	40	52	66.67 / 56.67

Fuente: Autores

Los sólidos fueron de los parámetros que más se vieron reducidos después del tratamiento presentando una eficiencia de remoción de solidos totales de 55.75 % para el filtro de carbón y 51.34 % para el filtro de borra de café; en los sólidos disueltos los resultados tuvieron un comportamiento similar proporcionando una eficiencia de remoción de 54.88 % para el filtro de carbón y 50,92 % para el de borra de café. En la medición de solidos suspendidos se presentó la remoción más alta de ambos filtros con 66.67 % para el filtro de carbón y 56.57 % para el filtro de borra de café, este resultado se puede sustentar en la diferencia del tamaño

de partículas del material adsorbente entre el carbón y el café, las cuales tenían un menor tamaño las partículas de la borra de café.

La DQO para la muestra de agua recolectada del lavado de ropa sin filtrar es alta, por lo que es necesario hacer una dilución a la muestra y así llevar a cabo la medición, para evitar inconvenientes con las muestras filtradas con la borra de café y carbón activado se hace de igual manera una dilución, sin embargo, los valores finales no son elevados. Los resultados para DQO de las diferentes muestras con su respectivo porcentaje de remoción se presentan en la tabla 8.4.

Tabla 8.4 *Resultado de la DQO para las diferentes muestras*

Muestra	DQO (mg O_2/L)	Porcentaje de remoción (%)
Muestra sin filtrar (inicial)	-----	N/A
Muestra sin filtrar (inicial-diluida)	144.9	N/A
Muestra filtrada con carbón activado	15.28	89.4
Muestra filtrada con carbón activado (Diluida)	7.1	95.1
Muestra filtrada con borra de café	38.75	73.2
Muestra filtrada con borra de café (Diluida)	38.22	73.6

Fuente: Autores

8.2.2. Diseño del sistema de recolección, tratamiento y reúso.

A continuación se dan los resultados y el procedimiento de cálculo llevado a cabo para el diseño del sistema de recolección tratamiento y reúso.

8.2.2.1. *Sistema de recolección.*

En la tabla (8.5) se resumen los datos de los procesos de cálculo anteriores, así como los datos necesarios para el desarrollo de procesos posteriores.

Tabla 8.5 *Resumen de producción de aguas grises y caudal de diseño*

Parámetro	Cantidad
Producción agua residual vivienda (L/día)	200.85
Apartamentos (und)	120
producción de agua gris	73%
producción de agua gris (L*d)	146.62
Producción lavadora	45%
Producción Agua Gris lavadora (L/día)	65.98
Oferta de agua gris total (L/día)	7917.51
Porcentaje de uso de la lavadora para el sábado	34%
Caudal de diseño (L/s)	0.22

Fuente: Autores

Utilizando la metodología dada en el ítem 5.3.1 se obtienen los siguientes resultados para las bajantes:

- *Bajantes y colectores*

Las bajantes son las encargadas de recoger en primera instancia el caudal que llega de los ramales de cada apartamento, cada torre tendrá dos bajantes y cada bajante recogerá el caudal de dos apartamentos (ver anexo 11), en la tabla 8.6 se presenta el resumen para las bajantes.

Tabla 8.6 *Información de las bajantes*

BAJANTE 1 y 2		
Pisos servidos	6	un
Unidades por apartamento (lavadora)	2	un
Unidades por piso para una bajante	4	un
Unidades por piso recomendado	10	un
Total Unidades	60	un
Caudal para unidades recomendadas	3.44	l/s
Caudal esperado	0.0092	l/s
Máx. Unidades	500	un
Diámetro	3	in
Longitud bajante	13	m

Fuente: Autores

Las bajantes se calculan de la misma manera para las cinco (5) torres, las unidades por piso para cada bajante, teniendo en cuenta que solo se recoge agua de la lavadora, son cuatro (4), por lo que se toman diez (10) unidades que son las recomendadas como mínimo. Aunque el caudal de diseño que se tiene para las unidades establecidas es mayor al caudal que se espera

tener, se debe tomar en consideración que estos pueden llegar a ser mayores si se considera que la lavadora tiene una descarga puntual, también se debe evitar sifonamiento en la tubería por lo que se propone trabajar con un diámetro de 3”.

Utilizando la metodología descrita en el punto 5.3.1 de este documento, se considera un colector principal para recoger el caudal proveniente de las dos bajantes, los cálculos se hacen teniendo en cuenta las unidades recomendadas por cada bajante y la suma final de estas unidades a la hora de la conexión entre la bajante y el colector (ver anexo 11). En la tabla 8.7 se presenta el resumen de las principales características de los colectores y las consideraciones teniendo el caudal a tubo lleno se obtienen los siguientes resultados para los colectores:

Tabla 8.7 *Información de colectores*

Punto o tramo	Caudal				Dimensión		Pendiente	Diseño		
	Unidades			Q	Longitud	Diámetro	S	Qo	Vo	Ft
	Propias	Acumuladas	Máximas	L/s	m	pulgadas	%	L/s	m/s	Kg/m²
1-2	60	60	160	3,44	12,47	4	0,6	6,03	0,74	0,15
3-2	60	60	160	3,44	0,27	4	0,6	6,03	0,74	0,15
2-4	0	120	160	4,53	1,3	4	0,6	6,03	0,74	0,15
Relación de Q/Qo	y/Ø	V/Vo	D/Ø	A/Ao	t/To		Velocidad	t		
	Adim.	Adim.	Adim.	Adim.	Adim.		m/s	kg/m^2		
0,58	0,613	0,901	0,518	0,642	1,124		0,66674	0,1686		
0,58	0,613	0,901	0,518	0,642	1,124		0,66674	0,1686		
0,76	0,728	0,978	0,688	0,780	1,200		0,72372	0,1800		

Fuente: Autores

Los colectores tienen las mismas consideraciones para las cinco (5) torres, recogiendo el agua de las dos (2) bajantes y entregando a una caja de inspección, se trabaja con un diámetro de 4” para evitar sifonamiento. Aunque son más de tres (3) pisos, se debe tener en cuenta que las unidades reales por piso son cuatro (4) para cada bajante, por lo que el sistema puede funcionar de manera adecuada en las condiciones de diseño establecida.

- **Tanques interceptores intermedios**

Para facilitar los cálculos necesarios en este punto se hace un resumen de la información ya encontrada y se resume en la tabla 8.8.

Tabla 8.8 *Parámetros generales tanques interceptores*

Parámetros diseño tanques interceptores			
Q o Descarga máx. Total	QT	0.22	L/s
Q o Descarga máxima por torre	Qto	0.04	L/s
No torres	Nt	5	un
Aptos por torre	At	24	un
Total, aptos	Ta	120	un
Población			
Habitantes por apto	Hap	5	un
Habitantes por torre	Pto	120	un
Habitantes Total	PTo	600	un

Fuente: Autores

El tiempo de retención se encuentra por encima de lo recomendado que es 12 h <=td<=24 h, sin embargo se debe tener en cuenta que se está trabajando con el caudal pico, por lo que el caudal promedio está por debajo y permite entrar dentro del rango. En la tabla 8.9 se encuentra el resumen de cálculo para los tanques por torre.

Tabla 8.9 *Resultados de diseño tanques interceptores intermedios*

Tanque por torre			
Tiempo retención (12<=td<=24)	*td*	0.44	día
Tasa acumulación lodos	*TAL*	3.08	L/per.*año
Tasa acumulación natas	*TAN*	2	L/per.*año
No años operación limpieza	*Nope*	3	año
Vol. Sedimentación	*Vsed*	0.0021	m^3
Vol. Lodos	*Vlod*	1.11	m^3
Volumen Natas	*Vna*	0.72	m^3
Volumen Total	*VT*	1.83	m^3
Área superficial	*Asup*	1.4	m^2
Altura sedimentación	*Hsed*	0.0012	m
Altura lodos	*Hlos*	0.79	m
Altura natas	*Hna*	0.51	m
Alto	*H*	1,3	m
Ancho	*A*	1.2	m
Largo	*L*	1.2	m

Fuente: Autores

Los tanques interceptores intermedios quedarán distribuidos en tres tanques, dos tanques con capacidad de 4 m^3 para recoger el agua gris de las torres 1-3 y 2-5 respectivamente, esto se hace dado que es posible conectar de manera simultánea dos torres a un mismo tanque, lo que facilita el diseño y construcción, por último se tiene un tanque de 2 m^3 para recoger el agua gris de la torre 5.

8.2.2.2. *Sistema de tratamiento.*

A continuación se presenta el desarrollo de cálculo para el sistema de tratamiento, que es básicamente la planta de tratamiento propuesta, comprende un tanque interceptor que recibe el caudal de todo el sistema, un filtro y un tanque de almacenamiento del agua tratada (ver anexo 7, 8, 9).

Se ubican tres (3) tanques interceptores en los puntos medios de la red, antes de llegar a la planta de tratamiento; dos tanques con capacidad de 4.3 m^3 para acumular el agua para dos torres, y un tanque con capacidad de 2.4 m^3 para la torre restante, esto con dos propósitos, el primero es asegurar un caudal constante para la planta de tratamiento utilizando los tanques interceptores como un regulador de caudal, y el segundo para disminuir la carga de solidos presentes en el agua usando los tanques interceptores como sedimentadores. El detalle para el cálculo de estos se encuentra en el ítem 5.2.2.2, para los demás cálculos se utilizó el método de Hunter y especificaciones de la NTC 1500.

- ***Tanque interceptor general:*** en el cual se dará la adición del coagulante para ayudar a sedimentar los sólidos que lleguen a la planta de tratamiento, después de pasar por los tanques interceptores intermedios.

Para este tanque se tiene la misma consideración que para los tanques por torre acerca del tiempo de retención, y de nuevo se debe considerar que se está trabajando con el caudal punta y no el caudal promedio, en la tabla 8.10 se presenta el resumen para el tanque interceptor general.

Tabla 8.10 *Resultados diseño tanque interceptor final*

Tanque interceptor general			
Tiempo retención (12<=td<=24)	*td*	0.22	día
Tasa acumulación lodos	*TAL*	1.36	L/per.*año
Tasa acumulación natas	*TAN*	2	L/per.*año
No años operación limpieza	*Nope*	3	año
Vol. Sedimentación	*Vsed*	0.03	m^3
Vol. Lodos	*Vlod*	2.44	m^3
Volumen Natas	*Vna*	3.60	m^3
Volumen Total	*VT*	6.07	m^3
Área superficial	*Asup*	6	m^2
Altura sedimentación	*Hsed*	0.005	m
Altura lodos	*Hlos*	0.41	m
Altura natas	*Hna*	0.6	m
Alto	*H*	1	m
Ancho	*A*	2	m
Largo	*L*	3	m

Fuente: Autores

El tanque interceptor final tiene una capacidad de almacenamiento de 6 m^3, si bien la tasa de acumulación de lodos y natas es un poco alta, la capacidad que tienen los tanques interceptores intermedios de retener estas sustancias hacen que lo que estos volúmenes sean menores. Por otro lado, aunque el tiempo de retención está resultando ser menor a 12 horas, se debe tener en cuenta que se está trabajando con el caudal punta, tanto para el tanque interceptor general como para los tanques intermedios, por lo que en la mayor parte del tiempo el sistema trabajará con el caudal promedio, lo que eleva el tiempo de retención de los tanques.

También se debe tener en cuenta que aunque la altura de sedimentación está por debajo de lo recomendado tanto para el tanque interceptor general como para las tanques interceptores intermedios, se tiene una buena relación de las alturas de lodos y natas, por lo que se puede diseñar bajo esta circunstancia.

- ***Filtro***

La metodología nos da la facilidad de poder escoger las dimensiones que deseamos para el filtro, se decidió dejar un tanque con 1 metro de alto con 3 metros de largo y 2 metros de ancho, teniendo definidas la superficie y profundidad del lecho filtrante se procedió a calcular la carga superficial "Cs" ecuación (17) sobre este. Para el cual se tiene un valor de 3.27 $l/min*m^2$.

Posteriormente se calcula la velocidad lineal del fluido en el lecho "V" ecuación (18), para poder conocer el tiempo de servicio ecuación "t" (19), es decir la cantidad de horas que podrá funcionar el filtro teniendo una eficiencia de remoción alta, este tiempo de servicio se calcula en función de la concentración inicial del afluente, la profundidad del lecho filtrante, la constante de velocidad de adsorción K definida para cada material; y la capacidad de adsorción N_0 también definida para cada material.

Para nuestro caso esta velocidad lineal fue de 0.2 m/h, y el tiempo de servicio fue igual a 815.12 h/ciclo. Este tiempo de servicio representa 10 cambios del material filtrante en el año ecuación (20), pero teniendo en cuenta que las constantes utilizadas y la metodología está pensada para aguas residuales se decide aumentar el tiempo de servicio y disminuir el número de cambios de material, dado que las aguas grises tienen menor carga contaminante, lo cual generara menor abrasión en el lecho filtrante, aumentando la vida útil del mismo, y disminuyendo costos de operación.

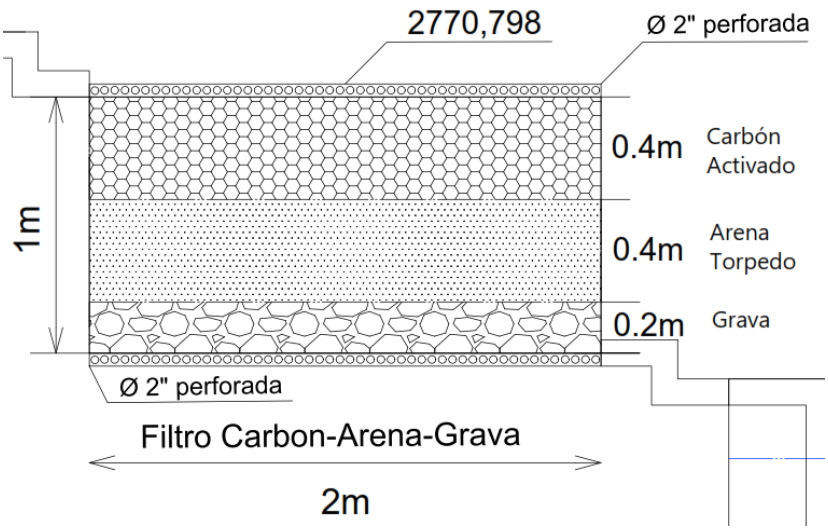

Figura 8.18 *Esquema filtro de tratamiento*

Fuente: Autores

8.2.2.1. Sistema de reúso

A continuación se presenta el desarrollo para sistema de reúso, está dado para el suministro del agua tratada para uso en inodoros y aseo.

- **Tanque almacenamiento agua tratada**: Las dimensiones de este tanque fueron calculadas teniendo en cuenta el volumen de agua máximo producido el día sábado, el cual es de 18.8 m^3, y la demanda diaria para uso de sanitarios y lavado de pisos que es de 7.9 m^3/día. Conociendo estos datos y los aportes de aguas grises que se esperan obtener basándonos en la encuesta realizada, el volumen mínimo del tanque de almacenamiento debe ser de 13 m^3, dejando como dimensiones finales un tanque de 4 m de largo, 3 m de ancho, y 1.5 m de alto, con un borde libre de 0.3 m.

- **Resultados del caudal de diseño para el sistema de reúso por diferentes métodos**
- **Método Hunter NTC 1500**

Tabla 8.11 *Resumen de cálculo de la red de suministro por el método de Hunter NTC 1500*

Tramo		Unidades hunter	Caudal	Diámetro	Velocidad	Longitud (metros)				Perdida unitaria	Pérdida total	Perdida hv	Presión extremo
DE	A		(L/s)	(pulgada)	(m/s)	Vert.	Horiz.	Acces.	Total	(m/m)	(m)	(m)	Final (mca)
1													7
1	2	1	0.06	1/2	0.47	0	0.34	0.17	0.51	0.025	0.01	0.01	7.023
2	3	5	0.25	3/4	0.88	0.8	3.48	2.14	6.42	0.045	0.29	0.04	8.152
3	4	8	0.44	1	0.87	0	5.36	2.68	8.04	0.031	0.25	0.04	8.441
4	5	16	0.76	1 1/4	0.96	2.5	0.5	1.5	4.5	0.028	0.13	0.05	11.117
5	6	30	2.02	1 1/2	1.77	2.5	0	1.25	3.75	0.028	0.11	0.06	13.782
6	7	40	1.58	2	0.78	2.5	0	1.25	3.75	0.013	0.05	0.03	16.361
7	8	40	1.58	2	0.78	2.5	0	1.25	3.75	0.013	0.05	0.03	18.939
8	9	70	2.21	2	1.09	2.5	0.5	1.5	4.5	0.024	0.11	0.06	21.607
9	10	70	2.21	2	1.09	0	1.48	0.74	2.22	0.024	0.05	0.06	21.721
10	11	70	2.21	2	1.09	0.946	21.55	11.248	33.74	0.024	0.81	0.06	23.537
11	12	155	3.47	2 1/2	1.10	1.912	18.82	10.366	31.1	0.019	0.59	0.06	26.099
12	13	200	4.1	2 1/2	1.29	0.941	5.54	3.2405	9.722	0.03	0.24	0.09	27.155
13	14	200	4.1	2 1/2	1.29	0.195	9.8	4.9975	14.99	0.03	0.45	0.09	27.470
14	15	250	4.73	2 1/2	1.49	0.438	23.43	11.934	35.8	0.033	1.18	0.11	28.051
15	16	200	4.1	2 1/2	1.29	0.4	2	1.2	3.6	0.025	0.09	0.09	28.566

Fuente: Autores

- **Método Hunter UNAL**

Tabla 8.12 *Resumen de cálculo de la red de suministro por el método de Hunter modificado UNAL*

Tramo		Unidades hunter	Caudal	Diámetro	Velocidad	Longitud (metros)				Perdida unitaria	Pérdida total	Perdida hv	Presión extremo
DE	A		(L/s)	(pulgada)	(m/s)	Vert.	Horiz.	Acces.	Total	(m/m)	(m)	(m)	Final (mca)
1													7
1	2	1	0.18	1/2	1.42	0	0.34	0.17	0.51	0.173	0.09	0.103	7.191
2	3	2	0.19	3/4	0.67	0.8	3.48	2.14	6.42	0.028	0.18	0.023	8.192
3	4	4	0.21	1	0.41	0	5.36	2.68	8.04	0.008	0.07	0.009	8.269
4	5	8	0.25	1 1/4	0.32	2.5	0.5	1.5	4.5	0.004	0.02	0.005	10.792
5	6	16	0.33	1 1/2	0.29	2.5	0	1.25	3.75	0.003	0.01	0.004	13.306
6	7	25	0.41	2	0.20	2.5	0	1.25	3.75	0.0011	0.00	0.002	15.812
7	8	33	0.48	2	0.24	2.5	0	1.25	3.75	0.0014	0.01	0.003	18.321
8	9	42	0.55	2	0.27	2.5	0.5	1.5	4.5	0.0018	0.01	0.004	20.833
9	10	44	0.57	2	0.28	0	1.48	0.74	2.22	0.0020	0.00	0.004	20.841
10	11	48	0.6	2	0.30	0.946	21.55	11.25	33.74	0.0022	0.07	0.004	21.864
11	12	148	1.16	2 1/2	0.37	1.912	18.82	10.37	31.1	0.0025	0.08	0.007	23.860
12	13	195	1.33	2 1/2	0.42	0.941	5.54	3.241	9.722	0.0032	0.03	0.009	24.813
13	14	245	1.49	2 1/2	0.47	0.195	9.8	4.998	14.99	0.0039	0.06	0.011	25.023
14	15	245	1.49	2 1/2	0.47	0.438	23.43	11.93	35.8	0.0039	0.14	0.011	25.476
15	16	195	1.33	2 1/2	0.42	0.4	2	1.2	3.6	0.0032	0.01	0.009	25.888

Fuente: Autores

- ***Método racional***

Tabla 8.13 *Calculo del caudal por cada tramo por el método racional*

Caudal por tramos

Tramo	n	N	Coeficiente Simultaneidad Kv	Coeficiente Simultaneidad Ke	Caudal instalado Qi L/s	Sumatoria Caudales punta L/s	Caudal Máx. probable L/s
1-2	3	-	0.71	-	0.4	-	0.28
2-3	3	-	0.71	-	0.4	-	0.28
3-4	-	2	-	0.70	-	0.57	0.40
4-5	-	4	-	0.46	-	1.13	0.52
5-6	-	8	-	0.30	-	2.26	0.68
6-7	-	12	-	0.24	-	3.39	0.81
7-8	-	16	-	0.21	-	4.53	0.93
8-9	-	20	-	0.19	-	5.66	1.05
9-10	-	22	-	0.18	-	6.22	1.11
10-11	-	24	-	0.17	-	6.79	1.17
11-12	-	24	-	0.17	-	6.79	1.17
12-13	4	72	0.58	0.12	0.4	20.36	2.77
13-14	-	96	-	0.12	-	27.15	3.45
14-15	-	96	-	0.12	-	27.15	3.45
15-16	-	120	-	0.11	-	33.94	4.13

Fuente: Autores

Tabla 8.14 *Resumen de cálculo de la red de suministro por el método racional o español*

Tramo		Caudal	Diámetro	Velocidad	Longitud				Perdida unitaria	Pérdida total	Perdida hv	Presión extremo
DE	A	(L/s)	(pulgada)	(m/s)	Vert.	Horiz.	Acces.	Total	(m/m)	(m)	(m)	Final (mca)
1												7
1	2	0.3	1/2	2.37	0	0.34	0.17	0.51	0.424	0.22	0,286	7,502
2	3	0.28	3/4	0.98	0.8	3.48	2.14	6.42	0.055	0.35	0,049	8,703
3	4	0.4	1	0.79	0	5.36	2.68	8.04	0.026	0.21	0,032	8,944
4	5	0.52	1 1/4	0.66	2.5	0.5	1.5	4.5	0.014	0.06	0,022	11,531
5	6	0.68	1 1/2	0.60	2.5	0	1.25	3.75	0.010	0.04	0.018	14,085
6	7	0.81	2	0.40	2.5	0	1.25	3.75	0.0037	0.01	0.008	16,607
7	8	0.93	2	0.46	2.5	0	1.25	3.75	0.0049	0.02	0.011	19,136
8	9	1.05	2	0.52	2.5	0.5	1.5	4.5	0.0061	0.03	0.014	21,677
9	10	1.11	2	0.55	0	1.48	0.74	2.22	0.0067	0.01	0.015	21,707
10	11	1.17	2	0.58	0.946	21.55	11.248	33.744	0.0074	0.25	0.017	22,919
11	12	2.77	2 1/2	0.87	1.912	18.82	10.366	31.098	0.0123	0.38	0.039	25,253
12	13	3.45	2 1/2	1.09	0.941	5.54	3.2405	9.7215	0.0185	0.18	0.061	26,273
13	14	3.45	2 1/2	1.09	0.195	9.8	4.9975	14.9925	0.0185	0.28	0.061	26,547
14	15	4.13	2 1/2	1.30	0.438	23.43	11.934	35.802	0.0258	0.92	0.087	27,098
15	16	4.1	2 1/2	1.29	0.4	2	1.2	3.6	0.0255	0.09	0.085	27,608

Fuente: Autores

Las tablas 8.11, 8.12 y 8.14 son el resumen de los caudales, velocidades, longitudes, pérdidas y presión mínima requerida para cumplir con la presión de servicio al aparato crítico de la red, el cual es el inodoro del último piso de la torre 3. La ruta crítica tiene en cuenta las derivaciones de caudal que se realizan a lo largo de la red , por esta razón cuando se llega al último tramo de la ruta que es el punto de bombeo ya se tienen todas las unidades de gasto que cumplen con el caudal necesario para todos los aparatos sanitarios .

- **Método Hunter NTC 1500**: Para este método se asumió una (1) unidad de gasto para cada inodoro que va a ser alimentado, teniendo en cuenta lo propuesto por Cardona donde dice: "se *propone que sea una (1) la unidad para el inodoro y que dieciséis (litros de depósito) en la cisterna se baje a ocho (8) aumentando la cabeza de la misma y rediseñando el sifón del inodoro*" (Pérez Carmona, 2010) . Apegándose a esto el total de unidades seria de 244, pero al no tener una ecuación que relacione las unidades de gasto con el caudal de consumo, el valor más próximo en las tablas es de 250 unidades con un caudal de 4.73 l/s.

  Esto se convierte en una falencia del método al a veces tener intervalos grandes entre las unidades y tener que poner unidades de más que sobredimensionaran el diseño.
  El tramo final ve reducidas las unidades por la implementación de un tanque hidro acumulador el cual ayudara a la bomba a mantener la presión en el sistema.

  La presión en el extremo final fue la más alta de los tres caudales que se obtuvieron por los diferentes métodos, la presión mínima requerida fue de 28.556 M.C.A , esto debido a que también tiene el mayor caudal de consumo y las mayores pérdidas unitarias.

- **Método Hunter Universidad Nacional**: Igual que en el método de la NTC 1500 se asumió una (1) unidad de gasto para cada inodoro que va a ser alimentado, teniendo en cuenta lo propuesto por Cardona, para este caso si se contaba con una tabla que tabula con intervalos de menor rango entre unidades de gasto probable, por lo cual pudimos tomar el valor de 245 unidades con un caudal de 1.49 l/s, más cercano a la cantidad de unidades verdaderas.

  Los caudales con estas unidades de gasto modificadas y más acopladas a los consumos de Colombia, son menores considerablemente comparándolos con los caudales proporcionados del método de hunter de la NTC 1500 excepto por el primer tramo donde se considera una sola unidad de gasto, al tener menores caudales las perdidas unitarias son igualmente menores comparadas con las de la NTC 1500 , por consiguiente las pérdidas totales serán inferiores dando como resultado una presión mínima requerida de 25.888 M.C.A , 2,668 M.C.A menos que con las unidades de gasto de la norma técnica Colombiana .

  La combinación de caudal y presión mínima requerida menor al método de hunter de la NTC 1500, también permite utilizar una bomba de menor potencia de la que hubiera sido requerida si hubiéramos tomado en cuenta los otros caudales de diseño.

- **Método Racional** : Se han hecho algunos estudios sobre los métodos para el diseño de las instalaciones hidráulicas en Colombia, el método racional se ajusta a los caudales punta registrados en Bogotá y se puede considerar como un método en el que no se incurre en un grado alto de sobredimensionamiento (Garzón, 2014). Un caso particular para este método en nuestro caso, al calcular diámetros y la ruta crítica, es que se debe considerar incluir todos los aparatos desde el primer punto, ya que el caudal en los primeros puntos tendería a disminuir y se incurriría en errores al calcular diámetros y verificar parámetros de diseño. Para este caso se hace la consideración de que se trabaja el mismo caudal y el mismo diámetro para la red interna de la vivienda y se reduce únicamente en la conexión de cada aparato.

  En el tramo 12-13 se considera el caudal requerido para el sitio de eventos, que cuenta con tres (3) inodoros y la caseta para el vigilante que cuenta con un (1) inodoro, por lo que este caudal se suma al tramo aplicando el respectivo ajuste por simultaneidad.

  En la tabla de la ruta crítica, hay un comportamiento similar respecto al resultado obtenido para el método de Hunter NTC 1500, sin embargo, hay una variación pequeña respecto al caudal y presión requerida en el tramo 15-16, siendo menor para el método racional.

- **Escogencia de la bomba centrifuga**

Revisando el catálogo de bombas de la empresa "Ignacio Gómez IHM SAS", se encontró que hay bombas de ¾ HP o 1 HP, por esta razón se opta por tomar la bomba de 1 HP, para estar por encima en la potencia teórica. Posteriormente se revisa la curva característica de la bomba donde se toman los valores de caudal en galones por minuto y la altura dinámica total en pies, se convierten a m^3/s y metros respectivamente para poder compararlos con la curva característica del sistema.

En la tabla 8.15, se resumen los datos de la curva característica de la bomba, obtenidos del fabricante, en el cual se relaciona el caudal que es capaz de transportar y la presión piezométrica que puede ofrecer.

Tabla 8.15 *Datos curva característica bomba centrifuga*

Q (Gal/min)	altura (ft)
0	100
12,5	95
20	90
25	85

Fuente: Autores

En la tabla 8.16, se resumen los datos de la curva característica de la bomba, obtenidos del fabricante en el cual se relaciona el caudal que es capaz de transportar y la presión piezométrica que puede ofrecer, pero convertidos a unidades de m^3/s y m.

Tabla 8.16 *Conversión datos curva característica bomba centrifuga*

Q(m^3/s)	m
0	30.48
0.00078863	28.956
0.0012618	27.432
0.00157726	25.908

Fuente: Autores

Los factores de conversión utilizados fueron los siguientes:

$$Q\left(\frac{Galones}{minuto}\right) * \left(\frac{1m^3}{264{,}172\ galones}\right) * \left(\frac{1minuto}{60segundos}\right)$$

Para determinar la curva característica del sistema, se supone un caudal igual a cero (0) en el cual la ADT será la suma de la altura estática de succión y la altura estática de impulsión, luego se irá incrementando gradualmente el caudal, calculando las pérdidas para la succión e impulsión con la ecuación de Hazen Williams :

$$J = \left(\frac{Q}{0{,}2785 * C * D^{2{,}63}}\right)^{1{,}85}$$

Tabla 8.17 *Curva característica del sistema*

Q (m^3/s)	Perdidas j m		Velocidad (m/s)	$V^2/2g$	ADT(m)
	Succión	Impulsión			
0	0.000	0.000	0.00	0.0000	26.188
0.001	0.006	0.314	0.32	0.0051	26.508
0.0011	0.007	0.375	0.35	0.0062	26.570
0.0012	0.008	0.441	0.38	0.0073	26.637
0.0013	0.009	0.511	0.41	0.0086	26.708
0.0014	0.011	0.586	0.44	0.0100	26.785
0.0015	0.012	0.666	0.47	0.0114	26.866
0.0016	0.014	0.750	0.51	0.0130	26.952
0.0017	0.015	0.839	0.54	0.0147	27.043
0.0018	0.017	0.933	0.57	0.0165	27.138
0.0019	0.019	1.031	0.60	0.0184	27.238
0.002	0.020	1.134	0.63	0.0203	27.342

Fuente: Autores

Estas pérdidas serán sumadas a la altura estática de succión e impulsión, para así obtener la curva del sistema.

En la tabla 8.17 se recapitulan los datos de la altura dinámica total del sistema, calculándolos para una variación de caudal de 0 a 0.002 m^3/s, para una bomba de 1 HP,

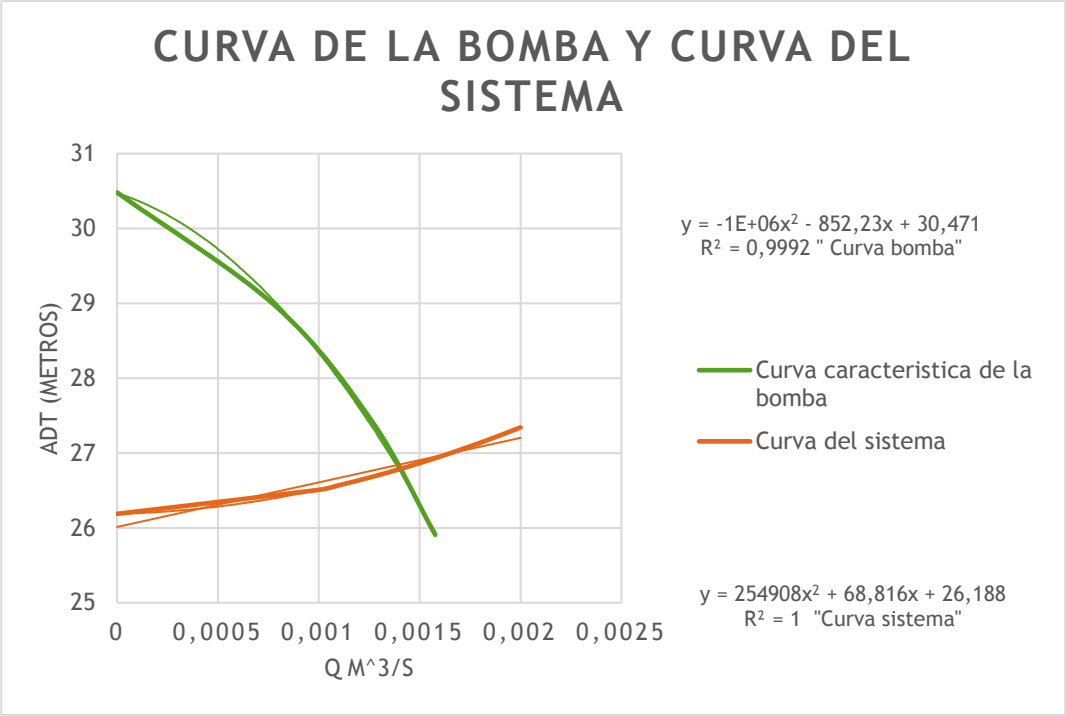

Figura 8.2 *Curvas características*

Fuente: Autores

Con esto constatamos que para el caudal de diseño de 1.49 l/s la ADT del sistema es de 26.785 m, con la ecuación de la curva de la bomba:

$$\mathbf{y} = -1 * 10^6 X^2 - 852.23X + 30.471$$

Siendo "x", la variable dependiente, es decir el caudal; y "y" la variable dependiente, es decir la ADT, si reemplazamos 1.49 l/s obtenemos

$$\mathbf{ADT} = -1 * 10^6 (0.00149)^2 - 852.23(0.00149) + 30.471 = 26.981\, m$$

Con lo cual se cumple que la ADT de operación sea mayor a la ADT de diseño, realizando estas verificaciones se constata que la bomba de 1 HP es capaz de suministrar la presión necesaria en la red.

- **Escogencia tanque hidroneumático**

En la tabla 8.18 se resumen los cálculos realizados anteriormente.

Tabla 8.18 *Resumen cálculos tanque hidroneumático*

Capacidad equipo	90	gal/min
presión de trabajo psi	40-60	psi
tiempo	2	min
Qon	90	gal/min
Qof	22.5	gal/min
Qmed	56.25	gal/min
Volumen regulación	28.125	gal/min
Volumen del tanque	400	litros

Fuente. Autores

Para evidenciar con mayor detalle la instalación del equipo de bombeo y el hidroneumático (ver anexo 10).

8.3. Análisis de la relación costo beneficio

A continuación se desarrolla el proceso para la construcción del análisis costo beneficio que pueden tener los usuarios por la construcción del sistema de recolección, tratamiento y reúso, este se divide en la elaboración de un presupuesto de obra (ver anexo 12) y el respectivo análisis.

8.3.1. Presupuesto de obra.

El presupuesto de obra (anexo 12) se dividió en tres (3) ítems principales que fueron: presupuesto para suministro, presupuesto para desagües y presupuesto para panta de tratamiento de aguas grises. El costo total de la obra es de $ $64.498.910,81COP (USD$ 21.104,04) lo que equivaldría a un costo adicional por apartamento de $ 537.490 COP (USD$ 179.16). El costo adicional por apartamento no representa un incremento sustancial al valor total del mismo y aunque en este costo se está teniendo una reducción del 35 % en el valor de los insumos por parte de PAVCO al ser una obra VIP, si se trasladaran los costos a otro tipo de construcción el aumento en el precio por apartamento tampoco sería significativo y por el contrario, puede llegar a ser una motivación para el comprador.

8.3.2. Resultado de la relación costo beneficio por la implementación del sistema.

El resumen de los valores teniendo en cuenta el subsidio aplicado a la tarifa de agua potable y alcantarillado del 70 %, teniendo en cuenta los consumos y costos sin el proyecto de reúso de agua gris, se encuentra en la tabla 8.19.

Tabla 8.19 *Consumos sin proyecto para agua potable y alcantarillado con subsidio*

Consumo Agua potable sin proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	229.4	L/d
Consumo por vivienda	6.882	m^3/mes
CMS ($/$m^3$)	2.444,58	$/ m^3 *mes
Subsidio y/o contribución	70%	
Tarifa Estrato	733,37	$/ m^3 *mes
Factura mes por hogar	5.047,07	$/mes
Número de hogares	120	
Valor total factura	605.649	$/mes
Cargo de Alcantarillado sin proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	229.4	L/d
Consumo por vivienda	6.882	m^3/mes
CMS ($/$m^3$)	2.558.31	$/ m^3*mes
Subsidio y/o contribución	70%	
Tarifa Estrato	767.49	$/m3*mes
Factura mes por hogar	5.281.88	$/mes
Número de hogares	120	
Valor total factura	633.825,86	$/mes

Fuente: Autores

El consumo de agua potable en los estratos 1 y 2 es más alto respecto a los demás estratos, sin embargo el subsidio es un aporte importante para aliviar la carga por el costo de este servicio.

El resumen de los valores teniendo en cuenta el subsidio aplicado a la tarifa de agua potable y alcantarillado del 70 %, teniendo en cuenta los consumos y costos con el proyecto de reúso de agua gris, se encuentra en la tabla 8.20.

Tabla 8.20 *Consumos de agua potable y alcantarillado aplicando subsidio*

Consumo Agua potable con proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	163.42	L/d
Consumo por vivienda	4.90	m^3/mes
CMS ($/$m^3$)	2.444,58	$/mes
Subsidio y/o contribución	70%	

Tarifa Estrato	733.37	$/ m^3*mes
Factura mes por hogar	3.595,45	$/mes
Número de hogares	120	
Valor total factura	431.454,35	$/mes
Cargo de Alcantarillado con proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	163.42	L/d
Consumo por vivienda	4.90	m^{3}mes
CMS ($/m^3)	2.558,31	$/m3*mes
Subsidio y/o contribución	70%	
Tarifa Estrato	767,49	$/ m^3*mes
Factura mes por hogar	3.762,73	$/mes
Número de hogares	120	
Valor total factura	451.527,08	$/mes

Fuente: Autores

El resumen de los factores dados para la viabilidad del proyecto después de realizar el flujo de caja incremental (ver anexo 13) se encuentra en la tabla 8.21.

Tabla 8.21 *Factores de decisión tarifa subsidiada*

VPN	-$32.034.040,23
TIR	6%
RCB	0,503
VALOR PRESENTE BENEFICIOS	$32.464.870,58
VALOR PRESENTE COSTOS	$64.498.910,81
TIO	12%

Fuente: Autores

El proyecto para un estrato uno **(1)** se hace inviable por el elevado porcentaje de subsidio que se le aplica a la tarifa de agua potable y alcantarillado, a pesar de que el proyecto no tiene un costo elevado y de se tiene una disminución en cobro por acueducto y alcantarillado al implementar el proyecto.

El resumen de los valores teniendo en cuenta la aplicación de la tarifa neta para acueducto y alcantarillado, teniendo en cuenta los consumos y costos sin el proyecto de reúso de agua gris, se encuentra en la tabla 8.22.

Tabla 8.22 *Consumo potable y alcantarillado sin proyecto y tarifa neta*

Consumo Agua potable sin proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	229.4	L/d
Consumo por vivienda	6.882	m^3/mes

CMS ($/m^3)	2.444,58	$/ m^3*mes
Subsidio y/o contribución	0%	
Tarifa Estrato	2.444,58	$/ m^3*mes
Número de hogares	16.823,58	$/mes
Valor total factura	120	
Valor total factura	2.018.829,98	$/mes
Cargo de Alcantarillado sin proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	229.4	L/d
Consumo por vivienda	6.882	m^3/mes
CMS ($/m^3)	2.558,31	$/ m^3*mes
Subsidio y/o contribución	0%	
Tarifa Estrato	2.558,31	$/ m^3*mes
Factura mes por hogar	17.606,27	$/mes
Número de hogares	120	
Valor total factura	2.112.752,86	$/mes

Fuente: Autores

El resumen de los valores teniendo en cuenta la aplicación de la tarifa neta para acueducto y alcantarillado, teniendo en cuenta los consumos y costos con el proyecto de reúso de agua gris, se encuentra en la tabla 8.23.

Tabla 8.23 *Consumo potable y alcantarillado con proyecto y tarifa neta*

Consumo Agua potable con proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	163.42	L/d
Consumo por vivienda	4.90	m^3/mes
CMS ($/m^3)	2.444,58	$/mes
Subsidio y/o contribución	0%	
Tarifa Estrato	2.444,58	$/m^3*mes
Número de hogares	11.984,84	$/mes
Valor total factura	120	
Valor total factura	1.438.181,17	$/mes
Cargo de Alcantarillado sin proyecto de reúso		
Consumo por vivienda	163.42	L/d
Consumo por vivienda	4.90	m^3/mes
CMS ($/m^3)	2.558,31	$/ m^3*mes
Subsidio y/o contribución	0%	
Tarifa Estrato	2.558,31	$/ m^3*mes
Factura mes por hogar	12.542,42	$/mes
Número de hogares	120	
Valor total factura	1.505.090,28	$/mes

Fuente: Autores

El resumen de los factores dados para la viabilidad del proyecto después de realizar el flujo de caja incremental (ver anexo 14) se encuentra en la tabla 8.24.

Tabla 8.24 *Factores de decisión con tarifa neta*

VPN	$105.751.995,37
TIR	26%
RCB	2,640
VALOR PRESENTE BENEFICIOS	$170.250.906,18
VALOR PRESENTE COSTOS	64.498.910,81
TIO	12%

Fuente: Autores

Cuando se tiene en cuenta la tarifa plena que cuesta el m^3 de agua, es posible encontrar una buena relación en la disminución en el cobro a la factura que le da viabilidad al proyecto, con número que soportan una buen rentabilidad.

- **Beneficio ambiental y social**

El uso eficiente de los recursos, en especial el agua, es un tema de una relevancia importante. Con la implementación del proyecto se espera una reducción en el consumo de aproximadamente 2.850 m^3 /año de agua potable y que de la igual manera ya no se tendrá vertimiento por concepto de esta agua, esto en términos de la disminución de huella hídrica es un avance en la búsqueda de construir ciudades sostenibles.

El beneficio social del proyecto se da por la disminución de aproximadamente en un 28 % el valor de la factura de acueducto y alcantarillado, este beneficio se puede ver reflejado de mejor manera al tener en cuenta la tarifa plena por concepto del agua potable y alcantarillado.

9. CONCLUSIONES

- Las aguas grises obtenidas del lavado de ropa en viviendas, son aguas cuyas diferencias respecto a aguas con condiciones para uso en actividades que no requieran agua potable radica básicamente en, altas concentraciones de sólidos, aumento en el pH volviendo el agua de carácter básico y una alta concentración de fosfatos procedentes de los detergentes, estas características impactan directamente el color y olor del agua, inciden en la eficiencia del coagulante ya que este tiene un rango de pH optimo entre 5.5 y 8.0. Y una posible eutrofización del cuerpo receptor de estas aguas si no tienen ningún tratamiento; por estas características puntuales se hace necesario darle un tratamiento para que puedan ser reutilizadas.

- Se concluye que un tratamiento fisicoquímico (coagulación, sedimentación, filtración) demostró ser eficiente obteniendo una reducción en los parámetros evaluados inicialmente, particularmente en solidos totales donde los se tuvo una remoción de 55 y 51 % para los filtros de carbón activado y borra de café respectivamente, la concentración de fosforo reactivo tuvo una remoción del 82 % para el filtro de borra de café y el oxígeno disuelto aumento de 1.82 mg/L a 6.45 y 7.09 mg/L para los filtros de carbón activado y borra de café respectivamente . Esto permite llevar las aguas grises de lavado de ropa a unas condiciones óptimas para su utilización en el inodoro, riego de zonas verdes y demás actividades que no requieran agua potable. (anexo 1,2,3,4)

- Con los resultados obtenidos en remoción de solidos (51%) , remoción de fosforo reactivo (82%), y el aumento del oxígeno disuelto de 1.82 mg/L a 7.09 mg/L , por parte del filtro de borra de café demostró ser un material adsorbente similar y en algunos aspectos más eficiente que el carbón activado, esto conlleva a pensar en el aprovechamiento de esa clase de residuos sólidos en diferentes industrias, ya que los procesos para convertir la borra de café en un material filtrante implica la extracción de materiales tales como aceite que puede ser utilizado en la industria de biodiesel , el aroma que puede ser utilizado en la industria de cocina o cosmética, y la fracción orgánica que puede ser utilizada en el sector agrícola, todo esto dando un valor agregado a ese residuo, y los solventes utilizados para estos procesos pueden ser reutilizados varias luego de la separación de este y el material extraído (aceite, aroma, fracción orgánica). Aunque hay que reconocer la complejidad en la actualidad para realizar la extracción de estos materiales y las limitantes de volumen de borra de café y tiempos de proceso que requiere la extracción por la metodología de Soxhlet.

- Aunque en el mundo hay gran avance en la aplicación del reúso de aguas grises, la posibilidad de aplicar estudios de cuantificación y caracterización de las aguas grises de otros países al caso colombiano se debe descartar, pues la especificidad de estos dependerá de factores sociales, económicos, culturales y topográficos, que incluso en un país tan diverso como Colombia puede variar en cada región, por lo que es importante seguir desarrollando estudios que detalle estos factores a profundidad;

además se debe continuar estudiando acerca de tecnologías de tratamiento económicas, que abarque la recolección, tratamiento y reúso.

- Se encuentra que no es viable este tipo de proyectos en viviendas de estrato social uno (1) debido a la aplicación del subsidio a la tarifa de acueducto y alcantarillado del 70 % para Bogotá, con lo que un suscriptor paga $ 733,37 por m^3 y $ 767,49 por m^3 de acueducto y alcantarillado respectivamente, muy por debajo de la tarifa plena que es de $ 2444,58 por m^3 y $ 2558,31 por m^3; dado esto, para este caso la TIR (6 %) está por debajo de la TIO (12 %), este es un indicador que determina la inviabilidad del proyecto, pero además la RCB (0,50) se encuentra por debajo de 1, que es el rango de admisión. Por el contrario, haciendo el ejercicio en el caso de que se aplicara la tarifa plena por m^3 el proyecto tendría una excelente viabilidad, con una TIR de 26 % y un RCB de 2,64.

10. RECOMENDACIONES

- La planeación desde la etapa inicial del proyecto es primordial para poder aprovechar todas las condiciones que se tengan a favor y en pro de una eficiencia técnica y económica del proyecto, para evitar gastos innecesarios con la finalidad de tener un proyecto simétrico y equilibrado en todos los aspectos.

- Con lo evidenciado en el proyecto el costo y permisividad del uso del agua no es del todo apropiado, dada la importancia del recurso hídrico para el desarrollo de la vida, se recomienda reevaluar el costo fundamentado en el punto 7 del artículo 1 de la ley 99 de 1993 donde dice que : "El Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.". Puesto que no se encuentra información acerca del apoyo por parte de la política colombiana en motivar e incentivar la creación de proyectos que disminuyan el impacto en el medio ambiente, sobre todo en un recurso no renovable como lo es el agua; Todo esto pensando en la creciente demanda de agua por parte de una población en crecimiento, que de no modificar sus comportamientos de consumo puede llegar a sufrir de desabastecimiento, y en este punto donde exista la escasez del recurso se tenga que cobrar un precio excesivo por el servicio de agua.

- Las unidades de gasto contempladas en la NTC 1500 tienen relacionados caudales muy altos teniendo en cuenta que en la actualidad se cuenta con aparatos sanitarios que cuentan con sistemas de ahorro que permiten reducir cerca de un 30 % el consumo de agua respecto a los aparatos sanitarios con los que se tabularon las unidades de gasto iniciales , si se tuvieran unas unidades de gasto con caudales más acertados se podrían realizar diseños con diámetros menores que aun cumplan con los requerimientos de velocidad de flujo, lo cual se traduciría en menores costos para los proyectos.

- Tomando en cuenta la producción de aguas residuales para el estrato 1 de 401.5 L/día según el estudio de Niño y Martinez, con una producción de aguas grises del 73 % perteneciente a 293.09 L/día, tratando la totalidad de estas aguas, se puede cubrir la demanda de agua de todas las actividades que no requieren agua potable que son, el uso de la lavadora con el 31 %, descarga del inodoro con el 26 %, lavado de pisos con el 3% y riego de zonas verdes con el 1% , esto da un total del 61% del consumo de agua potable que corresponde a 253.19 L/día. Esto demuestra que los volúmenes de agua potable utilizada en actividades que no lo requieren, junto con los volúmenes de aguas grises producidos en vivienda, deben ser objeto de un estudio más detallado para replantear la gestión actual que se le da a un recurso natural tan importante para la vida como lo es el agua.

- Con el caudal encontrado de 0.22 L/s tomando solo el agua proveniente del uso de la lavadora, se puede cubrir la demanda de caudal de los inodoros y el lavado de pisos,

y, si bien en este trabajo se decidió optar por tomar solo el agua de este uso dada la posibilidad de que por su composición se pudiese hacer un tratamiento de bajo costo, no se debe descartar recolectar agua de otras fuentes como el lavamanos, la ducha e incluso el lavaplatos, para así, cubrir otras demandas de agua en el hogar como por ejemplo el mismo lavado de ropa, riego de jardines y lavado de vehículos.

- La aplicación de subsidios para los estratos más bajos busca garantizar calidad de vida digna y el derecho al acceso a agua potable, sin embargo, estos no tienen un impacto real en el uso eficiente del recurso y por el contario se produce un uso excesivo e innecesario de este, además de un elevado gasto estatal, por lo tanto, proyectos innovadores que estén encaminados en una disminución real en el consumo de agua potable y la disminución de huella hídrica, debería reemplazar paulatinamente este tipo de subsidios, así por ejemplo, en el caso de este trabajo, si se estableciera el proyecto y no se diera el subsidio a la tarifa de acueducto y alcantarillado, el ahorro monetario anualmente sería de alrededor de $ 14.000.000 por todo el conjunto residencial, además, se dejarían de consumir de manera innecesaria 2.850 m^3 anualmente, lo que si representa una estrategia de ahorro y buen uso del recurso y garantizar la calidad de vida de la población al mismo tiempo

11. BIBLIOGRAFÍA

Acosta Vargas, J. C., Arévalo Luna, J. C., & Florez Rodríguez, N. S. (2016). *Desarrollo de un sistema automático para la reutilización de aguas grises en los hogares de los estratos 3 y 4 de la ciudad de Bogotá.* Tesis de especialización, Bogotá. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2873

Alvarado Franco, M. V. (2007). *Tratamiento y Reutilizacion de Aguas Grises Con Aplicacion A Caso en Chile* . Santiago de Chile : Universidad de Chile .

Alvarado, L. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, utilizando modelos tridimensionales.* Universidad Nacional Autonoma de México, Departamento de Quimica. México D.F: Universidad Nacional Autonoma de México. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017

Antonopoulou, G., Kirkou, A., & Stasinakis, A. S. (2013). Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. *Science Direct, 454-455*, 426-432. doi:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.045

AQUA ESPAÑA. (2011). *Guía Técnica Española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios.* AQUA ESPAÑA .

Ardila Galvis, M. (2013). *Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas.* Tesis de maestría, Bogotá. Recuperado el 3 de Septiembre de 2017, de http://www.bdigital.unal.edu.co/45618/

Atanasova, N., Dalmau, M., & Comas, J. (2017). Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. *Science Direct, 193*, 503-511. doi:doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.041

Bermejo, D. (2012). *Reutilizacion de aguas residuales domesticas. Estudio y comparativa de tipoligass edificatorias: depuradoras naturales como alternativas sostenibles.* Alicante: Universidad de Alicante. Recuperado el 23 de Abril de 2018, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/29576/1/MEMORIA_TFM_sep_2012_David_Bermejo.pdf

Bermudez, P. (20 de Mayo de 2014). *Metodo De Conesa Simplificado* . Obtenido de https://prezi.com/zzzo4helj2fe/metodo-conesa/

Blanky, M., Rodríguez-Martínez, S., Halpern, M., & Friedler, E. (2015). Legionella pneumophila: From potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. *Science of The Total Environment, 533*, 557-565. doi:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.121

Blanky, M., Sharaby, Y., Rodríguez-Martínez, S., & al., e. (2017). Greywater reuse - Assessment of the health risk induced by Legionella pneumophila. *Water Research, 125*, 410-417. doi:doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.068

Borges, F. (05 de Febrero de 2015). *Globo*. (Globo, Editor) Recuperado el 28 de Diciembre de 2017, de Globo: http://g1.globo.com/goias/noticia/2015/02/pesquisa-na-ufg-usa-borra-de-cafe-como-filtro-para-obter-agua-potavel.html

Borin, M., Peñuela, G., Morató , J., Vidal , G., O`Hogain, S., & Escalas, A. (2011). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas.* (J. Morató, & G. Peñuela, Edits.) Comunidad Europea. Recuperado el 29 de Abril de 2018, de www.tecspar.org

Brian, C. D. (1997). *Alcance y Objetivos de la Evaluación Ambiental Estratégica* . Obtenido de http://ceppia.com.co/Herramientas/PLANIFICACION-Y-GESTION%20AMBIENTAL/EAE.pdf

Busgang, A., Friedler, E., Ovadia, O., & Gross, A. (2015). Epidemiological study for the assessment of health risks associated with graywater reuse for irrigation in arid regions. *Science of The Total Environment, 538*, 230-239. doi:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.009

Cabrera, A., & Garcia, E. (2006). *Identificacíon de microoganismos indicadores y determinación de puntos de contaminacion en aguas superficiales provenientes del cementerio jardines del recuerdo ubicado en el norte de Bogotá.* Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de ciencias. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017, de http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis263.pdf

Carrillo, E., & Lozano, A. (2008). *Validación del metodo de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocomult.* Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017, de http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf

Castro , N., Garzón, J., & Ortiz, R. (2006). *Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales maximos probables instantaneos, en edificaciones de diferente tipo.* Bogotá : Universidad Nacional de Colombia . Recuperado el 14 de Junio de 2018, de http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoA%20(6).pdf

Castro, N., Garzón, J., & Ortiz, R. (2006). *Adaptacion del metodo de hunter para las condiciones locales en Colombia.* Universidad Nacional de Colombia.

Cespedes, J. (2013). *Factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito. Recuperado el 23 de Abril de 2018, de https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/112

Chacón M, G., Lizcano, I., & Asprilla Lara, Y. (2011). Consumo básico de agua potable en Colombia. *Tecnogestión, 8*(1). Recuperado el 27 de Abril de 2018, de http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/4379/6084

Church, J., Verbyla, M. E., Lee, W. H., & al., e. (01 de Octubre de 2015). Dishwashing water recycling system and related water quality standards for military use. *Science Direct, 529*, 275-284. doi:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.007

Cogollo Flórez, M. (18 de Diciembre de 2017). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicloruro de aluminio. *Revistas UNAL*, 10. Recuperado el 8 de Marzo de 2018, de http://revistas.unal.edu.co/indes.php/dyna/issue/view/2421

de Aguiar do Couto, E., Lúcia Calijuri, M., Peixoto Assemany, P., & al, e. (2015). Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. *Journal of Cleaner Production, 106*, 372-379. doi:doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.065

de Castro Carvalho, I., Calijuri, M. L., Peixoto Assemany, P., & al, e. (2013). Sustainable airport environments: A review of water conservation practices in airports. *Resources, Conservation and Recycling, 74*, 27-36. doi:doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.016

Díaz Oviedo, J. J., & Ramirez Mieles, L. Y. (2016). *Diseño de un Sistema de Tratamiento y Reutilización del Agua de la Lavadora Aplicado a los Hogares de Bogotá D.C.* Monografía, Bogotá. Recuperado el 23 de abril de 2018, de http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3140/1/D%C3%ADazOviedoJhonJairo2016.pdf

EL NUEVO SIGLO. (18 de Abril de 2017). *EL NUEVO SIGLO*. Obtenido de EL NUEVO SIGLO: http://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/04-2017-demandan-resolucion-que-baja-subsidio-al-agua-a-los-mas-pobres

El Tiempo. (2014). *4 años para salvar el agua de Bogotá.* Bogotá: Eltiempo.com. Recuperado el 29 de Abril de 2018, de http://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar_agua_bogota/

Environment Agency. (2011). *Greywater for domestic users: an information guide.* Obtenido de https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ENVIRONMENT%20AGENCY%202011%20Greywater%20for%20Domestic%20Users.pdf

EPA. (2004). *Guidelines for Water Reuse.* Washington, D.C. Recuperado el 9 de 10 de 2017, de https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=129543

EPA. (2012). *Guidelines for Water Reuse.* Washington, D.C. Recuperado el 9 de 10 de 2017, de https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=253411

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Science Direct, 4*(1), 85-104. doi:doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4

Espinal Velasquez, C. M., Ocampo Acosta, D., & Rojas Garcia, J. D. (2014). *Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar.* Tesis de pregrado, Pereira. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/4349

FAO. (22 de marzo de 2010). *Organización de las naciones unidas para la alimentacíon y la agricultura*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2017, de Organización de las

naciones unidas para la alimentacíon y la agricultura: http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/229276/

Fernandez, L., Rojas, N., Roldán , T., & Islas , M. (2006). *Manual de tecnicas de analisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados.* México D.F., México: Instituto Mexicano del Petroleo. Recuperado el 28 de Diciembre de 2017

Friedler, E., & Hadari, M. (2006). Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Science Direct, 190*(1-3), 221-234. doi:doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007

García, M. (2010). *Tratamiento de aguas grises con alternativas factibles y economicas.* Universidad Nacional Autonoma de México, Facultad de Quimica. México D.F: Universidad Nacional Autonoma de México. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017

Garzón, J. (2014). *Evaluacion patrones de consumo y caudales maximos instantaneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 7 de Julio de 2018

Guerra, J. (2012). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE CALIDAD DEL AGUA* . Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Recuperado el 29 de Diciembre de 2017, de https://documentslide.org/manual-cal-agua-2013-1

Huhn, L. (2015). *Greywater Treatment in Sand and Gravel Filters* . United Nations Environment Programme .

IDEAM. (2007). *SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 ºC.* Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo , Bogotá. Recuperado el 19 de Diciembre de 2017, de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c

IDEAM. (2015). *Estudio nacional de agua 2014.* Bogotá, D.C. Recuperado el 22 de Enero de 2018

Illana, M. (2014). *Estudio de la adsorción de fosfatos en aguas de depuradora mediante intercambiadores iónicos.* Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Industrial de Barcelona, Departamento de Ingenieria. Barcelona: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Industrial de Barcelona. Recuperado el 27 de Diciembre de 2017, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22649/Estudio%20de%20la%20adsorci%C3%B3n%20de%20fosfatos%20en%20aguas%20de%20depuradora%20m.pdf?sequence=1

Jiménez Castillo, L. A., Herrera Valbuena, F., & Gacha Gonzales, L. E. (2016). *Estudio de factibilidad para la impementación de un sistema de recolección, tratamiento y reutilización de aguas grises para conjuntos residenciales nuevos, tipo torre de estratos 4, 5 y 6 en la ciudad de Bogotá.* Tesis de especialización, Bogotá. Recuperado el 23 de abril de 2018, de

http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4204/1/Proyecto%20de%20grado%20sistema%20reutilizacion%20aguas%20grises%2c%20Luis%20Gacha%2c%20Federman%20Herrera%2c%20Luis%20Jimenez%20ud%2c%20imprimir%20despues%20de%20la%20introduccion%20con%20paginac

Kirk, O. (1999). *Encyclopedia of Chemical Technology.* Wiley .

Li, Z., Boyle, F., & Reynolds, A. (2010). *Rainwater Harvesting and Greywater Treatment Systems for Domestic Application in Ireland.* Dublin Institute of Technology. Dublin : Dublin Institute of Technology. Recuperado el 25 de Diciembre de 2017

Llanos Bonilla, G. (2012). *Propuesta de Instalacion Hidráulica Sanitaria Para la Reutilizacion de Aguas Grises y Aprovechamiento de Agua Pluvial en Unidades Habitacionales Ubicadas en la Ciudad de México* . Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México UNAM .

Lopez Cualla, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.* Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria .

LTDA., C. C. (Enero de 2012). *Alcance del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE GLP PARA LA ZONA SUR DEL PAÍS" de la Variante del Ducto en elTramo Correspondiente a la Altura de Chongón* . Obtenido de http://www.espol.edu.ec/espol/docs/alcance_EIA_EP_PETROECUADOR.pdf

Luna, D., & González, A. (2007). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco.* UAM-Iztalapa, Departamento de Química. Iztalapa: UAM-Iztalapa. Recuperado el 27 de Diciembre de 2017, de http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon_v2.pdf

Mainali, B., Ngo, H. H., Guo, W., & al, e. (2011). Feasibility assessment of recycled water use for washing machines in Australia through SWOT analysis. *Science Direct, 56*(1), 87-91. doi:doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.007

Maldonado, S. (2008). *Estuio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con carbón activado.* Escuela Politécnica Nacional, Quimica. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 24 de Diciembre de 2017

MAVDT. (2008). *Política de Gestión ambiental Urbana.* Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.* Bogotá, D.C. Recuperado el 9 de 10 de 2017, de http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Política de Gestión Ambiental Urbana.* Bogotá, D.C. Recuperado el 9 de 10 de 2017, de

http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/2050-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-84

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). *Colombia: Cien años de políticas habitacionales.* Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A. Recuperado el 30 de Abril de 2018, de http://minvivienda.gov.co/Documents/100anosdepoliticashabitacionales.pdf

Moreno, A. (2013). *Estudio de Diferentes Bioadsorbentes como Posibles Retenedores de Fosfatos en Aguas.* Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Moreno, T. A., & Quintero, D. C. (2014). *Reutilizacion de Agua en Construcciones Verticales.* Tesis de pregrado, Bogotá. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de http://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/1782

Niño, E., & Martinez, N. (2013). *Estudio de las Aguas Domésticas en Tres Niveles Socioeconómicos de Bogotá.* Bogotá: Universidad Javeriana.

Nolde, E. (Diciembre de 2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin. *ScienceDirect, 1*(4), 275-284. doi:doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00023-6

Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., & N., K. (2018). Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Science Direct, 216*, 337-346. doi:doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.094

Ochoa Salinas, M. d. (2007). *Estudio preliminar de caracterización y cuántificación de las aguas grises en una residencia de Bogotá.* Bogotá. Recuperado el 27 de Abril de 2018, de https://univdelosandes.on.worldcat.org/oclc/915954178

Ochoa, J. (2012). *Aguas grises : recolección, tratamiento, uso e integración en la edificación habitacional.* Ciudad de Mexico: UNAM. Recuperado el 18 de octubre de 2017, de http://132.248.9.195/ptd2012/noviembre/093028451/Index.html

ONU. (2017). *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado.* París: UNESCO.

O'Toole, J., Sinclair, M., Malawaraarachchi, M., & al., e. (2012). Microbial quality assessment of household greywater. *Water Research, 46*(13), 4301-4313. doi:doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.001

Palma, H. Z. (2009). *Elaboremos Un Estudio De Impacto Ambiental* . Obtenido de http://comunidad.udistrital.edu.co/hzuniga/files/2012/06/elaboremos_un_estudio_de_impacto_ambiental.pdf

Paris, S., & Schlapp, C. (30 de Enero de 2010). Greywater recycling in Vietnam — Application of the HUBER MBR process. *ScienceDirect, 250*(3), 1027-1030. doi:doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.099

Pereira , J., & Antoniosi, N. (09 de Marzo de 2016). *Brasil Patente nº BR 102016005161-4 A2.* Recuperado el 28 de Diciembre de 2017

Pérez Carmona, R. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones* (Séptima ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.

Pérez, C., León, F., & Delgadillo, G. (2013). *Tratamiento de Aguas.* UNAM. Ciudad de México: Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Recuperado el 19 de Diciembre de 2017

Pidou, M. [. (Marzo de 2008). Chemical solutions for greywater recycling. *ScienceDirect, 71*(1), 147-155. doi:doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.046

Ramahlo , R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales.* Quebec: Editorial Reverté S.A. Recuperado el 20 de Junio de 2018

RED INTERAMERICANA DE ACADEMIAS DE CIENCIAS - FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO, AC. (2012). *DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS.* Recuperado el 22 de Enero de 2018, de http://www.ianas.org/docs/books/wb04.pdf

Robles, M. (2013). *REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES APLICACIÓN AL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF.* Sevilla: Escuela Tecnica Superior de Ingenieros . Recuperado el 18 de octubre de 2017, de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70486/fichero/TFM+MARINA+ROBLES+GARCIA+FINAL.pdf

Rodier , J. (2011). *Analisis del agua.* Madrid, España: Omega S.A. Recuperado el 19 de Diciembre de 2017

Rodriguez, R. (2008). *Reutilizacion de aguas grises.* Bahia Blanca: Universidad Tecnologica Nacional. Recuperado el 25 de Diciembre de 2017

Secretaría Distrital de Planeación. (2012). *Bogotá: ciudad de estadisticas, boletín No 40.* Bogotá. Recuperado el 18 de Mayo de 2018, de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/Bogot%E1%20Ciudad%20de%20Estad%EDsticas/2012,2010-2

Secretaria Distrital de Planeación de Bogotá . (2017). *Secretaría de Planeación de Bogotá*. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/RelojDePoblacion

SEMANA. (02 de Junio de 2016). *SEMANA*. Recuperado el 2017, de SEMANA: http://www.semana.com/nacion/articulo/el-nino-colombia-sin-agua/459510

Sierra Mesa, J. F. (2006). *Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales.* Tesis de maestría, Bogotá. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de https://univdelosandes.on.worldcat.org/oclc/964887002

SUPERSERVICIOS. (2013). *Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia.* Bogotá, D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.

Tovar Sanchez, L. A. (2006). *Viabilidad de la reutilización de aguas grises en multifamiliares.* Tesis de pregrado, Bogotá. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de https://univdelosandes.on.worldcat.org/oclc/964769401

Travis, M. J., Wiel-Shafran, A., Weisbrod, N., & al., e. (2010). reywater reuse for irrigation: Effect on soil properties. *Science of The Total Environment, 408*(12), 2501-2508. doi:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.005

Turner, R. D., Will, G. D., Dawes, A., L., & al., e. (01 de Julio de 2013). Phosphorus as a limiting factor on sustainable greywater irrigation. *Science Direct, 456-457*, 287-298. doi:doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.061

UNESCO . (2017). *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hidricos - Aguas residuales el recurso desaprovechado.* París. Recuperado el 22 de Enero de 2018, de http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/#c1601498

UNESCO. (2003). *Agua para todos, agua para la vida.* Paris. Recuperado el 17 de Mayo de 2018, de http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr1-2003/#c86146

UNESCO. (2015). *The United Nations World Water development report 2015 - Water for a sustainable world.* Paris. Recuperado el 22 de Enero de 2018, de http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf

Universidad de Sevilla. (2010). *Manual del carbón activo.* Sevilla: Universidad de Sevilla. Recuperado el 27 de Diciembre de 2017, de http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf

Valdés de hoyos, E. I., & Uribe Arzate, E. (2016). EL DERECHO HUMANO AL AGUA. UNA CUESTIÓN DE INTERPRETACIÓN O DE RECONOCIMIENTO. *ScienceDirect, 34*, 3-25. doi://doi.org/10.1016/j.rmdc.2016.07.001

Wickstead, A. (2011). *Quantifying the Benefits of Greywater Systems* . Georgia : Georgia Institute of Technology .

Wiel-Shafran, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., & al., e. (2006). Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. *Ecological Engineering, 26*(4), 348-354. doi:doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.12.008

Wiltshire, M. (2005). *Greywater Reuse in Urban Areas.* University of Southern Queensland. Brisbane: University of Southern Queensland. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017

World Health Organization. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Policy and regulatory aspects. *1*, 114. Recuperado el 9 de 10 de 2017, de http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg1/en/

Yepes, T., & Ramírez, M. (2017). *Mi casa ya: Programa de vivienda de interes social.* Bogotá. doi:https://www.fedesarrollo.org.co/sites/default/files/visorPDF%20%2816%29.pdf

12. ANEXOS