

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA Y EL AGUA RESIDUAL DE LA LAVADORA

Diomar Alesis Olarte Mira

Ingeniería Electromecánica

Asesor: Elkin E. Henao Bravo

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
AGOSTO 2017**

RESUMEN

El aprovechamiento de las aguas pluviales y las aguas residuales grises que se derivan de las actividades del consumo de la lavadora en los hogares, hacen que sea una práctica importante desde el punto de vista económico, social y ambiental. Así mismo, la reutilización y un moderado del agua podrían contribuir al cuidado y conservación del medio ambiente y a la disminución del costo por consumo de agua potable en los hogares.

Las aguas residuales grises que provienen de las actividades del consumo en la lavadora y las aguas pluviales, se pueden reciclar para satisfacer ciertas necesidades en el hogar y en donde no se requiera de agua potable. Se plantea un sistema de reciclaje de agua lluvia y aguas grises, cuyo principal objetivo es proponer un sistema de control automático de depuración y reutilización de aguas residuales grises provenientes de la lavadora y agua pluviales, de bajo costo y para el uso en inodoros y riego de jardín.

Éste proyecto muestra una propuesta de diseño para un sistema de reciclaje de aguas residuales grises provenientes de la lavadora y aguas pluviales, como solución para el ahorro de agua potable en el uso de la descarga del sanitario. Además, se muestra el análisis de la viabilidad técnica y económica mediante apreciación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro logrado, al realizar la solución propuesta en una vivienda ubicada en el municipio de Barbosa.

Los resultados obtenidos apuntan a que el reciclaje de las aguas pluviales y grises en los hogares es una opción técnica y económicamente viable, por lo que puede representar una solución interesante para contribuir al cuidado y conservación del medio ambiente al mismo tiempo que es una buena práctica de ahorro en los gastos del hogar por el consumo de agua potable.

RECONOCIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Humberto Olarte y Roció Mira, a mi esposa Stephania Londoño, mi hijo Santiago Olarte y demás familiares por su acompañamiento, entrega y paciencia que me han tenido en el trascurso de mi vida y carrera.

Agradezco a mi Universidad y a todos los docentes, administradores y personas que estuvieron ayudándome y dándome su apoyo y conocimiento. En especial al Ing. Electrónico y M.Eng. Ing. Eléctrica Elkin Edilberto Henao Bravo, asesor de este trabajo de grado, quien con sus conocimientos, esfuerzo y dedicación hizo posible la realización de este trabajo.

A mi amigo y compañero Juan Diego Suarez, quien con su conocimiento y experiencia fue soporte fundamental para la ejecución del trabajo.

ACRÓNIMOS

OMS Organización Mundial de la Salud.

LEED Liderazgo en Energía y Diseño Medioambiental.

ARU Aguas Residuales Urbanas.

ADR Aguas Residuales Domésticas.

ARND Aguas Residuales No Domésticas.

W Watt.

EPM Empresas Públicas de Medellín

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1.	GENERALIDADES	7
1.2.	OBJETIVOS	7
1.2.1.	Objetivo general	7
1.2.2.	Objetivos específicos	7
1.3.	ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	7
2.	MARCO TEÓRICO	8
2.1.	BOMBA	10
2.2.	FRICCIÓN DEL FLUIDO	10
2.3.	VÁLVULAS Y ACCESORIOS	10
2.4.	NOMENCLATURA DE LAS PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE ENERGÍA	11
2.5.	ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA	11
2.6.	NÚMERO DE REYNOLDS	12
2.7.	ECUACIÓN DE DARCY	12
2.8.	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL FLUJO LAMINAR	12
2.9.	PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN EL FLUJO TURBULENTO	13
2.10.	DIAGRAMA DE MOODY	13
2.11.	PÉRDIDAS MENORES	14
2.12.	COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA ACOPLAMIENTOS Y VÁLVULAS	14
2.13.	POTENCIA QUE REQUIEREN LAS BOMBAS	16
3.	METODOLOGÍA	17
3.1.	COMPONENTES DEL SISTEMA	17
3.1.1.	Captación	17
3.1.2.	Conducción y almacenamiento	19
3.1.3.	<i>Sistema de bombeo</i>	20
3.1.4.	Sistema de control y automatización	35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	PRESUPUESTO ESTIMADO	42
4.2.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL MEDIANTE EL MICROCONTROLADOR	50

5.	CONCLUSIONES	53
5.1.	RECOMENDACIONES	53
5.2.	TRABAJO FUTURO.....	53
	REFERENCIAS	54

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El presente trabajo está orientado a la gestión de las aguas pluviales y grises, para satisfacer las necesidades básicas de consumo de una población y también un mecanismo para contribuir con el cuidado del medio ambiente. Además de tener un incentivo económico en el mediano plazo al librar la inversión a partir del ahorro en el consumo de agua y uso del alcantarillado.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Proponer un sistema de control automático de depuración y reutilización de aguas residuales grises provenientes de la lavadora y agua pluviales, de bajo costo y para el uso en inodoros y riego de jardín.

1.2.2. Objetivos específicos

- Proponer un sistema de recolección de agua lluvia y de agua residual de la lavadora.
- Diseñar el interceptor de primeras aguas, almacenamiento en tanques, sistema de distribución.
- Diseñar un sistema automático de depuración y reutilización de agua para consumo en inodoros.
- Realizar un estudio de viabilidad económica para la implementación del sistema.

1.3. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El siguiente trabajo se divide en cinco secciones las cuales describen un sistema de control automático de reutilización de aguas grises y pluviales en una vivienda ubicada en el municipio de Barbosa Antioquia.

La primera parte es la introducción que describe la justificación, problema abordado y objetivo general y específico.

En el numeral dos se encuentra el marco teórico el cual presenta el grupo central de conceptos y teorías para el desarrollo de los objetivos y la metodología.

Luego en la sección número tres se encuentra la metodología, donde se condensa toda la información de cómo fue el desarrollo del dispositivo.

En la etapa cuatro se encuentran los resultados obtenidos, el presupuesto estimado y el diagrama de flujo del sistema de control del microcontrolador.

En la última etapa se describen las conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro del proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

El agua existe de manera natural bajo diferentes formas y lugares, pero sólo el 2.5% del agua total es agua dulce, aunque no todo está disponible, pues únicamente el 0.4% del agua dulce está en condiciones aptas para ser utilizadas en el consumo de los seres vivos y debe satisfacer las necesidades de la naturaleza. De acuerdo a La Organización Mundial de la Salud (OMS) 884 millones de personas alrededor del mundo no tienen agua potable. Por esto, se estima que 1.4 millones de niños mueren cada año por enfermedades transmitidas por el agua no tratada de manera apropiada. (Africa, Just One, s.f.). No obstante, a pesar que Colombia es un país privilegiado por poseer fuentes de agua dulce, estos recursos se encuentran amenazados por el consumo devastador de los bosques vírgenes y contaminación por la industrialización de los recursos naturales.

Existen diferentes mecanismos para la recuperación de recursos hídricos, esto se lograría restaurando los bosques aguas arriba de las ciudades, para así lograr generar agua limpia de manera natural para cientos de personas. (Arnaldos, 2012). También el aprovechamiento mediante la captación, depuración, reutilización y gestión de las aguas lluvias, las aguas residuales grises, provenientes de desagües no sanitarios y finalmente las aguas negras. Estas últimas, requieren de tratamientos especiales para la recuperación parcial o total y por ende elevados costos para obtener agua purificada.

Un ejemplo a mencionar de sistemas de aguas recuperadas, fue realizado durante el año de 1926 en el Golden Gate Park de San Francisco, donde las aguas lluvias y grises del parque eran recicladas, para destinarlas en calefacción, refrigeración y descarga de sanitarios. A finales del siglo XX, el reciclaje de agua doméstico se estableció como una práctica viable. Las prácticas en el reciclaje que se llevaron a cabo en distintas partes en el mundo y en algunas partes de nuestra región en el campo, cuyo destino principal eran los inodoros y el riego. Hoy en día San Francisco, consumen menos agua gracias a una política austera de reutilización de aguas y la incorporación obligatoria a los edificios del código verde conocido como LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Medioambiental). (Arnaldos, 2012). En España han surgido, y lo seguirán haciendo, numerosas empresas dedicadas a la reutilización de aguas grises, impulsadas por casos de arquitectura sostenible, que actualmente empiezan a impulsarse sobre todo por parte del estado o empresas privadas que quieren invertir en “imagen verde”. Con estos sistemas se calcula un ahorro de entre el 25% y el 45% del agua. (Arnaldos, 2012).

Sobre experiencias locales de sistemas de reciclaje de aguas, en el área del oriente antioqueño, desde el año 1992, por intermedio de CORNARE se definió proyectos de tratamiento de ARU (Agua Residuales Urbanas) en municipios de la Ceja, el Carmen, Guarne y Concepción para remover más del 80% de la carga contaminante, definido por el decreto 1594/1984. Posteriormente en el año 1997 se siguieron con planes en municipios como Rionegro, Guatapé, el Peñol, el Santuario. (Muñoz, 2000).

En el municipio de Caldas, Antioquia más específicamente en la Institución Educativa María Auxiliadora han implementado sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias obteniendo muy

buenos resultados, pero con poca viabilidad gracias a los altos costos que se requieren para la inversión inicial.

En Colombia, en el aspecto regulatorio, la norma de vertimientos que es el artículo 28 del decreto 3930 de 2010, modifica el decreto 1594 de 1984, el cual responde a la realidad urbana, industrial y ambiental del país. Este regula el control de sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de aguas. Esta reglamentación presenta tres características principales: 1) establece los porcentajes máximos permitidos de vertimiento por actividad productiva, 2) Establece un máximo permitido de porcentaje de vertimiento, y 3) hace una diferencia entre aguas residuales domésticas (ADR) de las aguas residuales no domésticas (ARND). Aún queda mucho por regular en esta materia. (Minambiente, 2015).

En una vivienda aislada, el agua residual suele proceder exclusivamente de los desagües de los diferentes dispositivos y aparatos sanitarios existentes en lavaderos, cocina y aseos, siendo conveniente que las aguas pluviales se recojan en una red aparte; aunque hasta hace bien poco, ha sido muy frecuente la práctica de recogida mixta. El 90% del agua potable usada en una vivienda se devuelve al alcantarillado, generando dos tipos de aguas: 40% de fecales o negras, procedentes de los baños, y el 50% de grises, procedentes del resto. (Zhe, 2010). Un aspecto de importancia es entender que del 100% de agua potable que nos suministra la compañía de servicio de acueducto local o de la vereda, únicamente el 55% es destinado a usos en los que es obligatoria la potabilidad, siendo el resto (45%) usos en los que la potabilidad no sería necesaria o no tan estrictamente potables.

Las fuentes de aguas que pueden ser aprovechadas son por un lado las aguas lluvias, las cuales se captan directamente de las superficies del hogar o cercanas a ella, y por otro lado las aguas residuales grises, es decir, las que se puede obtener después del uso en lugares como: la cocina, lavado de ropa y lavamanos, aguas que requieren un tratamiento básico para la reutilización en el hogar. Finalmente, las aguas residuales o aguas negras provenientes de los inodoros que llevan un alto grado de contaminación bacteriológica, siendo patológica para el ser humano de difícil y costosa depuración. Estas no serán consideradas en el presente trabajo. En cuanto al tratamiento y recuperación de aguas residuales grises, el proceso sería mucho menos complejo que el que requiere las aguas residuales, al necesitar menos tecnología para obtener una calidad aceptable (no potable) según parámetros de calidad marcados (para uso de inodoros y riego).

La captación de aguas pluviales es otro recurso sobre el que se puede actuar para implementar el uso sostenible del agua. Puede ser eficazmente complementario al uso de sistemas de reutilización de aguas grises, pues los usos que se le puede dar a éste agua de lluvia recogida, y una vez depurada, prácticamente son los mismos, es decir riego de jardines, limpieza de espacios comunes, y algunos autores y fabricantes, incluyen también el llenado de cisternas de inodoros e incluso su uso en lavadoras y lavavajillas. El tratamiento y recuperación de aguas pluviales, requiere un proceso mucho menos complejo que el que requiere las aguas residuales grises. (Arango, 2012).

Para la implementación de un esquema de gestión de aguas residuales grises y pluviales, se necesita un estudio previo para la planeación de volúmenes de agua, determinar el sistema completo desde la captación, filtrado, almacenamiento, distribución y vertimiento. El Manual de Texas sobre la recolección de agua de lluvia (J. Krishna, 2005) plantea que los sistemas deben tener seis (6) componentes básicos: captación, recolección, interceptor de primeras aguas, almacenamiento, sistema de distribución y tratamiento. Componentes los cuales serán implementados en este proyecto.

Finalmente, una implementación de sistemas de reutilización de aguas residuales grises y pluviales, se estima que, en las viviendas unifamiliares, pueden representar ahorros significativos del 30% al 45%. Con este ahorro se pretende contribuir a cubrir las necesidades del crecimiento demográfico tanto en las urbes como en el campo, por esto, los esfuerzos para la conservación y gestión en el futuro de los recursos hídricos deberán ser extraordinariamente innovadores. (Ghisi, 2005)

2.1. BOMBA

La bomba es un dispositivo mecánico que agrega energía cinética a un fluido. Un motor eléctrico impulsa un eje giratorio en la bomba. Entonces, la bomba produce esta energía y la trasmite al fluido, lo que estimula el movimiento de éste y el incremento de la presión. (L. Mott).

2.2. FRICCIÓN DEL FLUIDO

Cuando un fluido se desplaza presenta resistencia por fricción. Una parte de la energía se convierte en energía térmica (calor) que se disipa a través de las paredes de la tubería. La energía que no se aprovecha depende de la extensión de la tubería, las propiedades del fluido, tamaño de la tubería, velocidad del flujo y acabado de la pared de la tubería. (L. Mott).

2.3. VÁLVULAS Y ACCESORIOS

Los componentes que controlan el flujo volumétrico o la dirección del fluido en un sistema producen turbulencia en éste, lo que provoca que la energía se disipe como calor. Siempre que hay una restricción como un cambio en la dirección o velocidad del flujo, hay pérdidas de ese tipo. Las pérdidas menores en un sistema grande la generan las válvulas, accesorios y tuberías.

2.4. NOMENCLATURA DE LAS PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE ENERGÍA.

En un sistema las pérdidas y ganancias de energía se cuentan en términos de energía por unidad de peso del fluido que circula por él. Esto también es conocido como carga y se abrevia con la letra h , para las pérdidas y ganancias de energía se utilizan las siguientes abreviaciones:

h_a = Es la energía que se añade al fluido con la bomba.

h_r = Es la energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico.

h_l = son las pérdidas de energía en el sistema por la fricción de las tuberías o válvulas.

En consecuencia, la magnitud de las pérdidas de energía que produce las válvulas, accesorios y la fricción del fluido, es directamente proporcional a la carga de velocidad del fluido. Esto se demuestra en forma matemática en la ecuación 1 de la siguiente manera: (L. Mott).

$$h_l = K \left(\frac{V^2}{2G} \right) \quad (1)$$

2.5. ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA

Con la ecuación general de la energía, podemos resolver problemas en los que hay pérdida y ganancia de energía. Los términos E'_1 y E'_2 que se observan en la ecuación 2 indican la energía que posee el fluido por unidad de peso. Las energías incorporadas, removidas y pérdidas h_A , h_R y h_L . Para un sistema, el término del principio de conservación de la energía es el siguiente:

$$E'_1 + h_A - h_R - h_L = E'_2 \quad (2)$$

La energía que tiene el fluido por unidad de peso se demuestra a continuación:

$$E' = \frac{p}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Entonces la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (4)$$

Cada expresión de la ecuación simboliza una cantidad de energía por unidad de peso de fluido que circula por el sistema. (L. Mott).

2.6. NÚMERO DE REYNOLDS

Para que un fluido sea laminar o turbulento depende del comportamiento de este, en especial las pérdidas de energía que tenga. Se necesita un medio para predecir el tipo de flujo sin tener que observarlo. El primero en demostrar que es posible pronosticar el flujo turbulento o laminar si se tiene la magnitud de un número adimensional, fue Osborne Reynolds. En la ecuación 5 se muestra la definición del número de Reynolds: (L. Mott)

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad (5)$$

2.7. ECUACIÓN DE DARCY

La fricción en el fluido que circula es un factor de pérdida de energía. Cuando se tiene flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Esto se expresa como se observa a continuación como la ecuación de Darcy que se utiliza en flujos laminares o turbulentos para calcular las pérdidas de energía a causa de la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos. La diferencia entre el flujo laminar y turbulento está en la evaluación del factor de fricción adimensional f . (L. Mott)

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Donde

h_L = Son las pérdidas de energía a causa de la fricción.

L = Es la longitud de la corriente del flujo.

D = Es el diámetro de la tubería.

v = Velocidad promedio del flujo.

f = Es el factor de fricción (adimensional)

2.8. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL FLUJO LAMINAR

El flujo laminar se produce debido a su viscosidad, el cual parece moverse como si fueran varias capas y se genera un esfuerzo cortante entre estas. Por la acción de las fuerzas de fricción que hay que vencer el flujo pierde energía, ya que son generadas por el esfuerzo cortante. Es posible lograr una relación entre los parámetros del sistema de flujo y la pérdida de energía gracias a que el flujo laminar es regular y ordenado. Esta relación se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$h_L = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2} \quad (7)$$

La ecuación de Hagen-Poiseuille se aplica sólo para el flujo laminar (número de Reynolds menor a 2000). (L. Mott).

2.9. PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN EL FLUJO TURBULENTO

La ecuación de Darcy se usa para calcular la pérdida de energía producida por la fricción cuando hay flujo turbulento en las tuberías. El flujo turbulento es confuso y varía en forma constante. Los experimentos han demostrado que el número adimensional f depende de otras dos cantidades adimensionales, la rugosidad relativa de la tubería y el número de Reynolds. Donde la rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería D a la rugosidad promedio de su pared ϵ (letra griega épsilon). (L. Mott).

2.10. DIAGRAMA DE MOODY

El diagrama de Moody es el método más utilizado para evaluar el factor de fricción y se ve en la siguiente Figura.

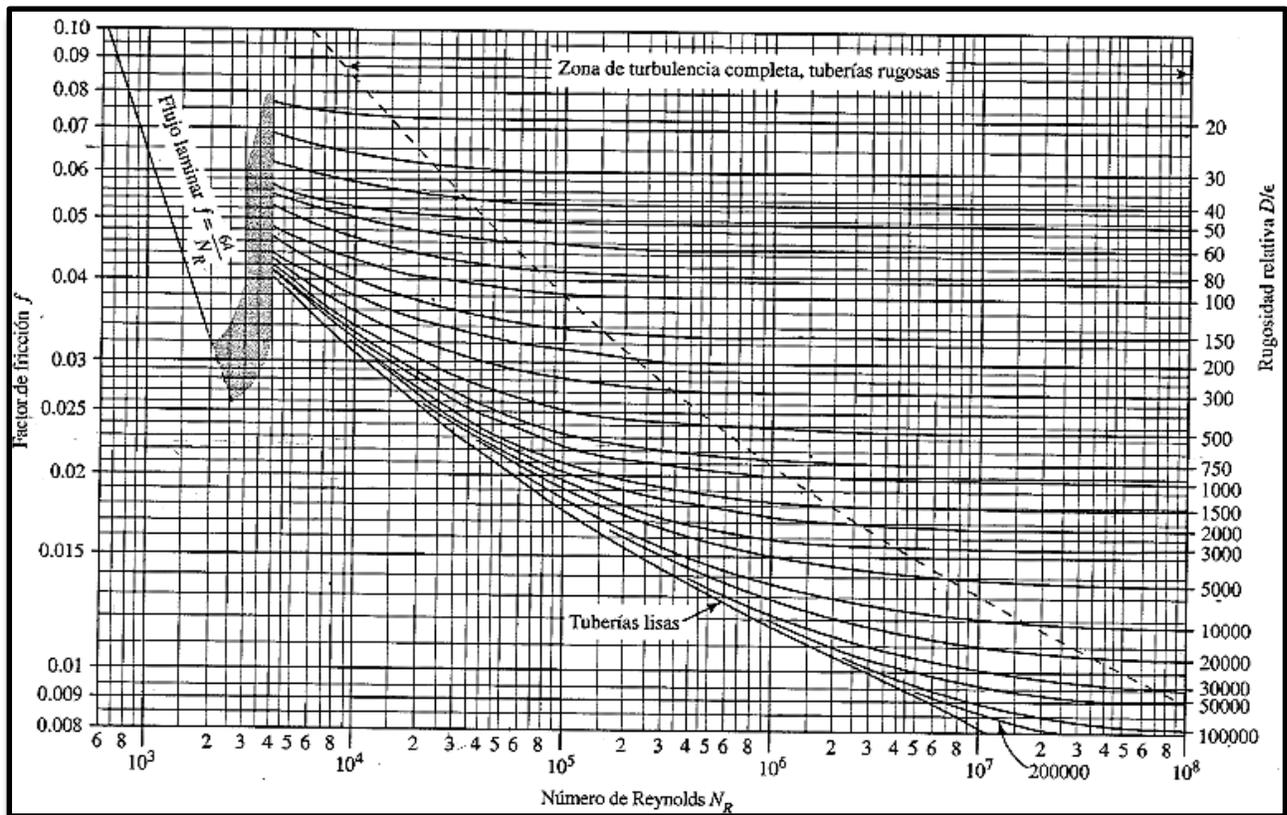


Figura 1. Diagrama de Moody. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott

En el diagrama se observa la gráfica del factor de fricción f versus el número de Reynolds N_R , con curvas paramétricas afines con la rugosidad relativa D/ϵ .

Para su análisis se aprecia a la izquierda de la gráfica los números de Reynolds menores de 2000, en la línea recta se observa la relación $f = 64/N_R$ para el flujo laminar. Para $2000 < N_R < 4000$ no hay curvas, porque ésta en la zona crítica entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y no es posible predecir cuál de los dos ocurrirá.

2.11. PÉRDIDAS MENORES

Una contracción sucede cuando un fluido se desplaza de un tanque grande hacia una tubería. Este debe acelerar desde una velocidad despreciable a la velocidad del flujo en la tubería. La cantidad de la pérdida de energía es la facilidad con que la aceleración se lleva a cabo. Con la ecuación 8 se calcular la pérdida de energía en la entrada.

$$h_L = K \left(\frac{V_2^2}{2G} \right) \quad (8)$$

Donde v_2 es la velocidad del flujo en el tubo.

2.12. COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA ACOPLAMIENTOS Y VÁLVULAS

Existen una variedad de válvulas para controlar la cantidad de un fluido; pueden ser de ángulo, de globo, de compuerta, mariposa, entre otras. Los acoplamientos como los codos en diseños de t-es, reductores, boquillas y orificios dirigen la trayectoria del fluido o hacen que cambien su tamaño.

A continuación, en la ecuación 9 se determina el coeficiente de resistencia K.

$$K = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_T \quad (9)$$

En la Tabla 1 se observa el valor L_e/D , llamado relación de longitud equivalente, el valor de L_e se denomina longitud equivalente por ser la amplitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula. El término D es el diámetro interior real de la tubería.

El término f_t es el factor de fricción en la tubería a la que está conectada la válvula o acoplamiento, que se da por hecho está en la zona de turbulencia completa.

Tabla 1.
Resistencia de válvulas y acoplamientos.

TIPO	LONGITUD EQUIVALENTE EN DIÁMETROS DE TUBERIA L_e/D
Válvula de globo abierta por completo	340
Válvula de ángulo abierta por completo	150
Válvula de compuerta abierta por completo	8
Válvula de compuerta $\frac{3}{4}$ abierta	35
Válvula de compuerta $\frac{1}{2}$ abierta	160
Válvula de compuerta $\frac{1}{4}$ abierta	900
Válvula de verificación tipo giratorio	100
Válvula de verificación tipo bola	150
Válvula de mariposa abierta por completo, 2 a 8 pulgadas	45
Válvula de mariposa 10 a 14 pulgadas	35
Válvula de mariposa 16 a 24 pulgadas	25
Válvula de pie tipo disco de vástago	420
Válvula de pie tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar con flujo directo	20
Te estándar con flujo en el ramal	60

Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Si el material de la tubería es diferente de acero comercial, es necesario calcular la rugosidad relativa D/ϵ , y después utilizar el diagrama de Moody para establecer el factor de fricción en la zona de turbulencia completa. (L. Mott).

2.13. POTENCIA QUE REQUIEREN LAS BOMBAS

A la rapidez que se realiza un trabajo se le define como potencia. Pero en mecánica de fluidos se define la potencia como la prisa con la que se transfiere la energía.

Su unidad es el Watt (W), el cual es equivalente a 1.0 N.m/s o 1.0 joule (J)/s.

Para calcular la potencia se multiplica la energía trasferida por newton de fluido en peso. De la siguiente manera:

$$P_A = h_A W \quad (10)$$

Como $W = \gamma Q$, también se escribe

$$P_A = h_A \gamma Q \quad (11)$$

P_A Es la potencia que se agrega al fluido.

γ es el peso específico del fluido que circula por la bomba.

Q es el flujo volumétrico del fluido

h_A Es la energía que se agrega al fluido por medio de la bomba.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se eligió una vivienda ubicada en el municipio de Barbosa, la cual corresponde al estrato 3 y actualmente la habitan tres personas. Esta vivienda cuenta con servicios de agua potable, electricidad y alcantarillado, los cuales son suministrados por Empresas Públicas de Medellín.

3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

El techo y el tanque secundario son los elementos usados para la captación de agua lluvia y agua residual de la lavadora. El tanque principal y la tubería componen el almacenamiento y conducción del líquido. Una bomba es la encargada de transportar el agua del tanque secundario al primario. Todo el sistema es regido por un dispositivo de control que permite el llenado del sanitario, usando el agua almacenada en el tanque principal o el agua proveniente del acueducto.

El sistema completo se describe a continuación y se divide en cuatro subsistemas:

- ◆ Captación
- ◆ Conducción y almacenamiento
- ◆ Sistema de bombeo
- ◆ Sistema de control y automatización

3.1.1. Captación

En este caso la captación de agua lluvia se realizó en un tramo del techo de la vivienda seleccionada, en la Figura 2 se observa la canaleta encargada de tomar el agua lluvia que se desliza por el tejado.



Figura 2. Sistema de captación agua lluvia. Fuente: Autor

Como ya se ha mencionado anteriormente, este proyecto tiene como meta desarrollar un sistema económico y amigable con el medio ambiente, por este motivo no se aprovecha la

totalidad de agua que se precipita sobre el techo de la casa, ya que implicaría un mayor costo debido a la distribución de tuberías y el bombeo. El agua lluvia recogida es suficiente para comprobar el funcionamiento del sistema de captación.

La captación de agua de la lavadora se observa en la Figura 3, allí se muestra que el líquido residual se almacena en un tanque secundario y posteriormente se transporta, por medio de una bomba, al tanque principal. El agua en el tanque principal se lleva por gravedad al tanque del sanitario.

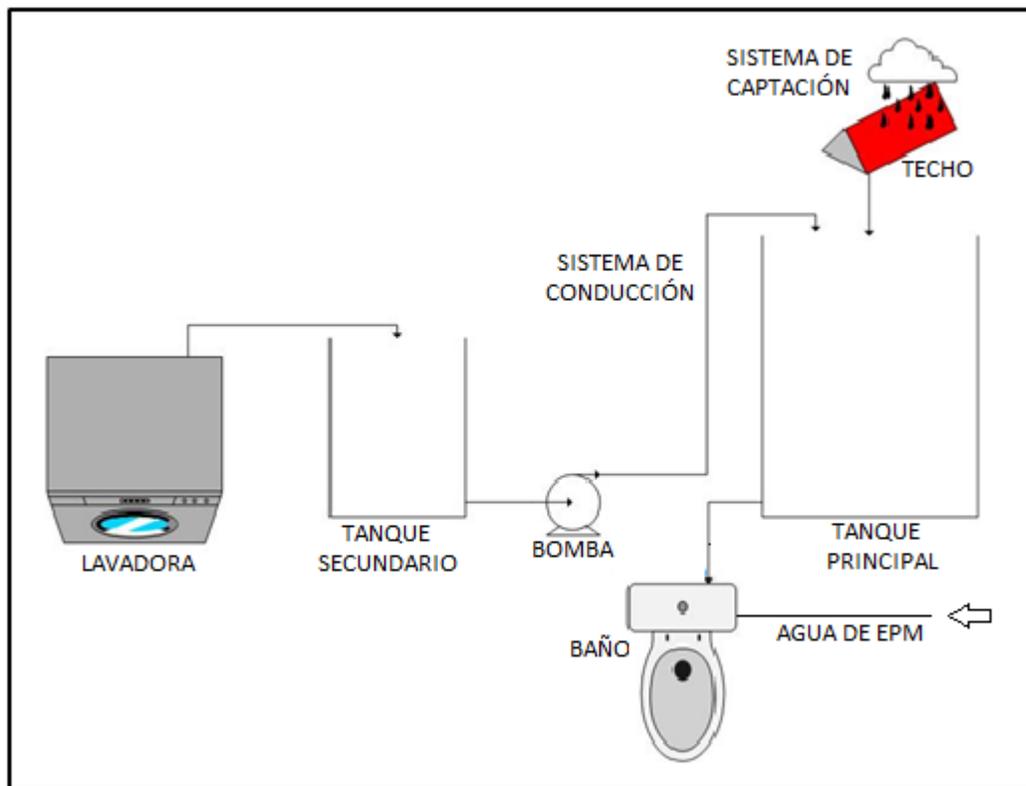


Figura 3. Diagrama de captación y conducción. Fuente: Autor.

El tanque secundario sirve también como respaldo de almacenamiento. Por lo tanto, el agua residual de la lavadora se almacena en el tanque secundario, mientras que el agua lluvia se almacena en el tanque principal. Así se garantiza mayor captación y disponibilidad del líquido.

3.1.2. Conducción y almacenamiento

El tanque principal que se ve en la Figura 4, tiene una capacidad de 55 galones, recibe el agua lluvia por medio de una canaleta que sirve como elemento de captación y conducción.



Figura 2. Tanque de almacenamiento principal. Fuente: Autor.

Las aguas grises de la lavadora se depositan en el tanque secundario el cual tiene una capacidad de 37 galones y se observa en la Figura 5.



Figura 3. Tanque de almacenamiento de agua lavadora. Fuente: Autor.

El agua es enviada al tanque del sanitario por gravedad, al automatizar el proceso se garantiza que este permanezca con agua, ya sea lluvia o de la lavadora. En caso de no disponer, se habilita el agua potable del acueducto por medio de una electroválvula.

3.1.3. Sistema de bombeo

Como se ilustra en la Figura 2, el agua residual de la lavadora es transportada por la bomba al tanque principal de recolección de aguas lluvias y grises.

Teniendo en cuenta la filosofía de este proyecto, económico y amigable con el medio ambiente, se realizaron los cálculos para determinar el tipo y potencia de la bomba necesaria para cumplir con las restricciones técnicas del sistema. A continuación, se muestran los cálculos que se realizaron para la selección de la tubería y la bomba.

3.1.3.1. Cálculos sistema de tubería y bomba de agua.

En la Figura 6 se observa el sistema de bombeo de agua del tanque de aguas grises al tanque de almacenamiento principal, también se observa el sistema de tuberías por donde es transportada el agua y sus dimensiones.

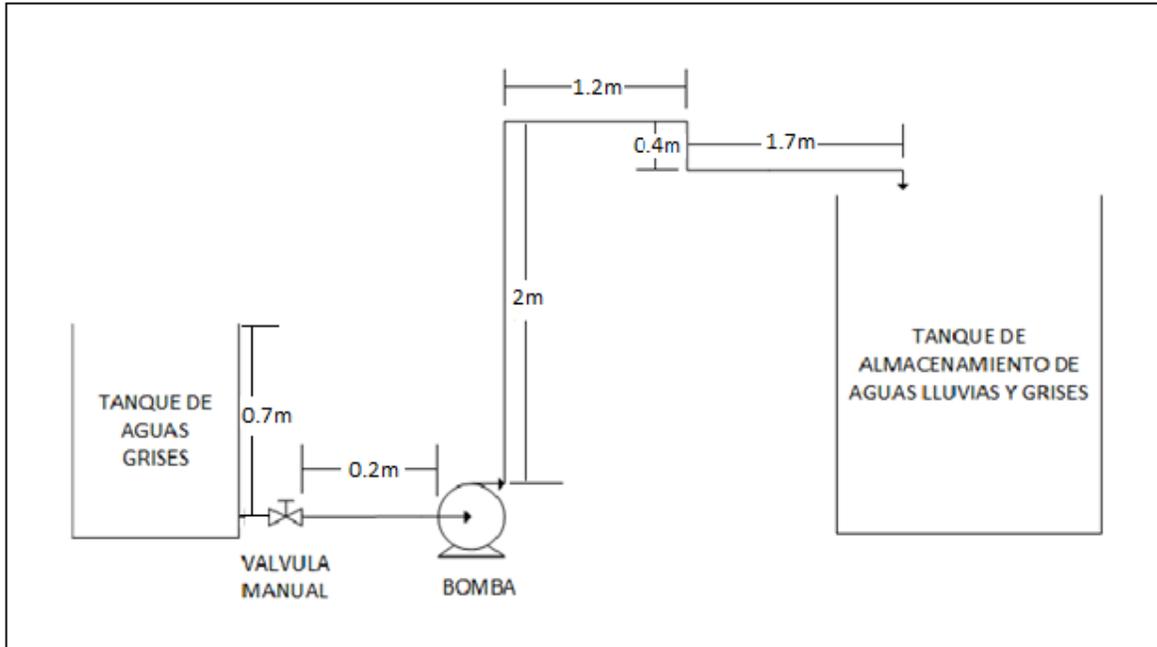


Figura 4. Sistema bombeo y distribución de la tubería. Fuente: Autor

Para la elaboración de los cálculos se debió tener en cuenta los datos de la Tabla 2.

Tabla 2.

Datos para la elaboración de los cálculos

DESCRIPCIÓN	VALOR
Temperatura promedio del agua	20°C
Tiempo de traslado del agua	5 min (300 s)
Volumen del tanque	37 Gal (0.1401 m ³)
Peso específico del agua a 20°C (Υ)	9.79 kN/m ³
Densidad del agua a 20°C (ρ)	998 Kg/m ³
Viscosidad cinemática del agua a 20°C (ν)	1.02x10 ⁻⁶ m ² /s
Caudal (Q)	7.4 Gal/min (0.000467m ³ /s)
Longitud de la línea de succión	0.2 m
Longitud de la línea de descarga	5.3 m

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 2 y usando la gráfica de la figura 7, se selecciona el tamaño de la tubería tanto en la succión como en la descarga del sistema.

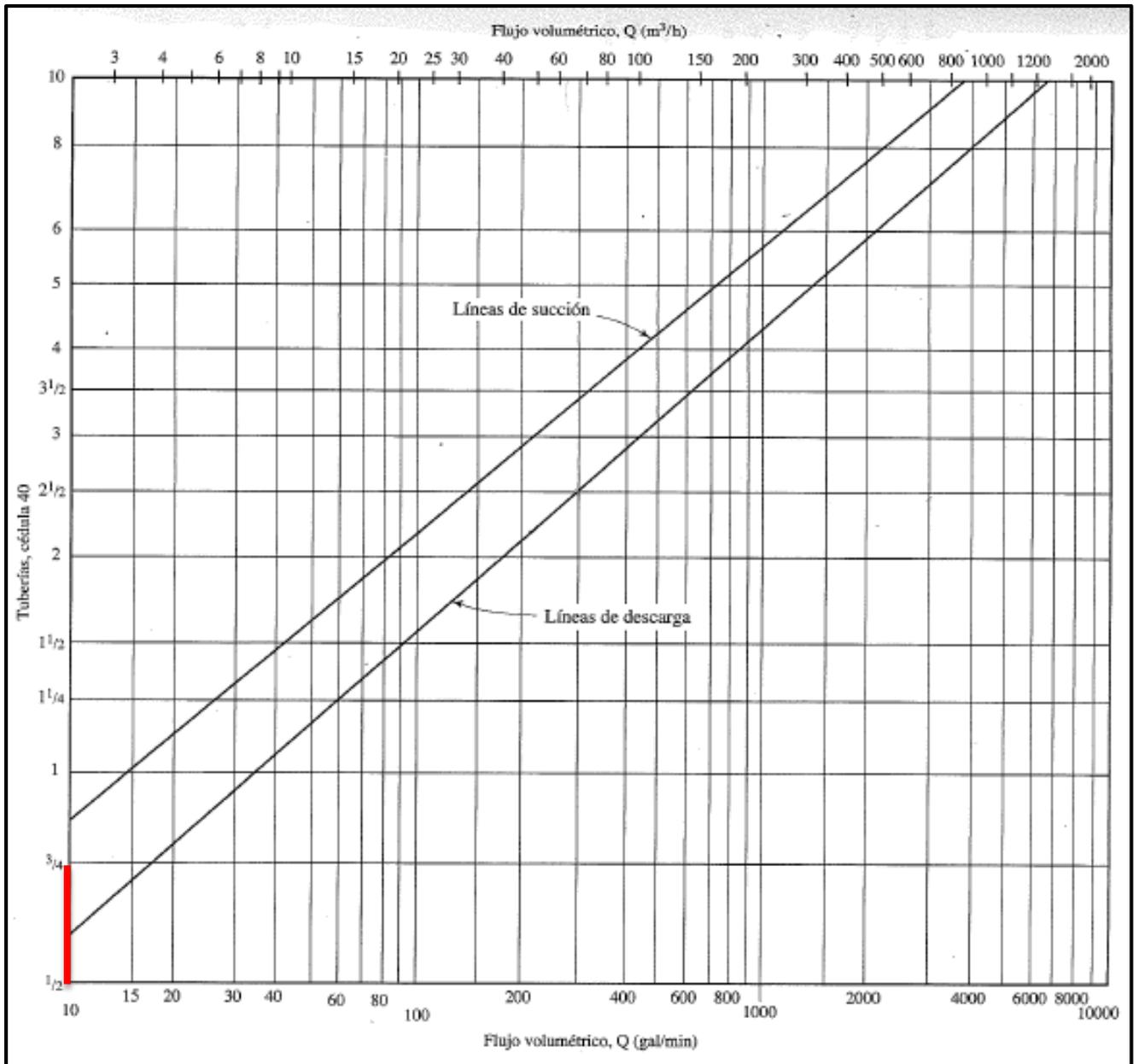


Figura 5. Gráfica de ayuda para seleccionar el tamaño de la tubería. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Para este diseño se obtuvo un flujo volumétrico de 7.4 Gal/min menor al de la gráfica en la Figura 7, cuyo mínimo es 10 Gal/min. Por esto se sugiere lo siguiente:

- En la línea de succión se seleccionó una tubería de pvc de $\frac{3}{4}$ pulgadas.
- En la línea de descarga se seleccionó una tubería de pvc de $\frac{1}{2}$ pulgadas.

Ahora con los diámetros de la tubería tanto en la succión de la bomba como en la línea de descarga, se procede a calcular el área de la tubería y la velocidad del flujo con las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (12)$$

$$\text{Area succión} = \frac{\pi \cdot (0.01905\text{m})^2}{4} = 2.85 \times 10^{-4} \text{m}^2 \quad (13)$$

$$\text{Area descarga} = \frac{\pi \cdot (0.01270\text{m})^2}{4} = 1.27 \times 10^{-4} \text{m}^2 \quad (14)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (15)$$

$$\text{Velocidad succión} = \frac{0.000467 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2.85 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 1.64 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (16)$$

$$\text{Velocidad descarga} = \frac{0.000467 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.27 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 3.68 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (17)$$

Con los datos encontrados de la velocidad del flujo se calcula la carga de velocidad usando la siguiente ecuación:

$$\text{Carga de velocidad} = \frac{V^2}{2g} \quad (18)$$

$$\text{Carga de velocidad en la succión} = \frac{\left(1.64 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.137 \text{m} \quad (19)$$

$$\text{Carga de velocidad en la descarga} = \frac{\left(3.68 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.69 \text{m} \quad (20)$$

A continuación, se calculan las pérdidas de energía en todo el sistema:

3.1.3.1.1. Válvula de bola ubicada en la succión:

Usando la Tabla 3 se halla la resistencia de la válvula expresada como longitud equivalente en diámetro de tubería L_e/D .

Tabla 3.
Resistencia de válvulas y acoplamientos.

TIPO	LONGITUD EQUIVALENTE EN DIÁMETROS DE TUBERÍA L_e/D
Válvula de globo abierta por completo	340
Válvula de ángulo abierta por completo	150
Válvula de compuerta abierta por completo	8
Válvula de compuerta $\frac{3}{4}$ abierta	35
Válvula de compuerta $\frac{1}{2}$ abierta	160
Válvula de compuerta $\frac{1}{4}$ abierta	900
Válvula de verificación tipo giratorio	100
Válvula de verificación tipo bola	150
Válvula de mariposa abierta por completo, 2 a 8 pulgadas	45
Válvula de mariposa 10 a 14 pulgadas	35
Válvula de mariposa 16 a 24 pulgadas	25
Válvula de pie tipo disco de vástago	420
Válvula de pie tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar con flujo directo	20
Te estándar con flujo en el ramal	60

Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott

Como se observa en la Tabla 3 el coeficiente de resistencia para la válvula tipo bola es de $150L_e/D$. Ahora, basados en la Tabla 4, se determina la rugosidad ϵ del tubo plástico.

Tabla 4.

Valores de diseño de la rugosidad de tubos.

MATERIAL	RUGOSIDAD ϵ (m)
Vidrio	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}

Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott

La rugosidad de un tubo de plástico está dada en la Tabla 4 y es $3.0 \times 10^{-7}m$.

Ahora se debe evaluar el número de Reynolds para determinar si el flujo es laminar o turbulento en la línea de succión. Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, se encontró que, si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, éste será laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será turbulento. A continuación, se muestra la manera de encontrarlo:

$$NR = \frac{VD}{\nu} \quad (21)$$

Donde,

V= Velocidad en la tubería de succión.

D= Diámetro de la tubería de succión.

ν = Viscosidad cinemática del agua a 20°C.

$$NR = \frac{(1.64 \frac{m}{s})(0.019m)}{1.02 \times 10^{-6}} = 30549 \quad (22)$$

Así, el flujo es turbulento ya que el número de Reynolds es mayor a 4000. A continuación, se debe evaluar la rugosidad relativa. En la Tabla 4 se encontró que $\epsilon = 3.0 \times 10^{-7}m$.

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.019}{3.0 \times 10^{-7}} = 63333 \quad (23)$$

Con el diagrama de Moody de la Figura 8, se evalúa el factor de fricción f . El diagrama muestra la gráfica del factor de fricción f versus el número de Reynolds NR , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ϵ .

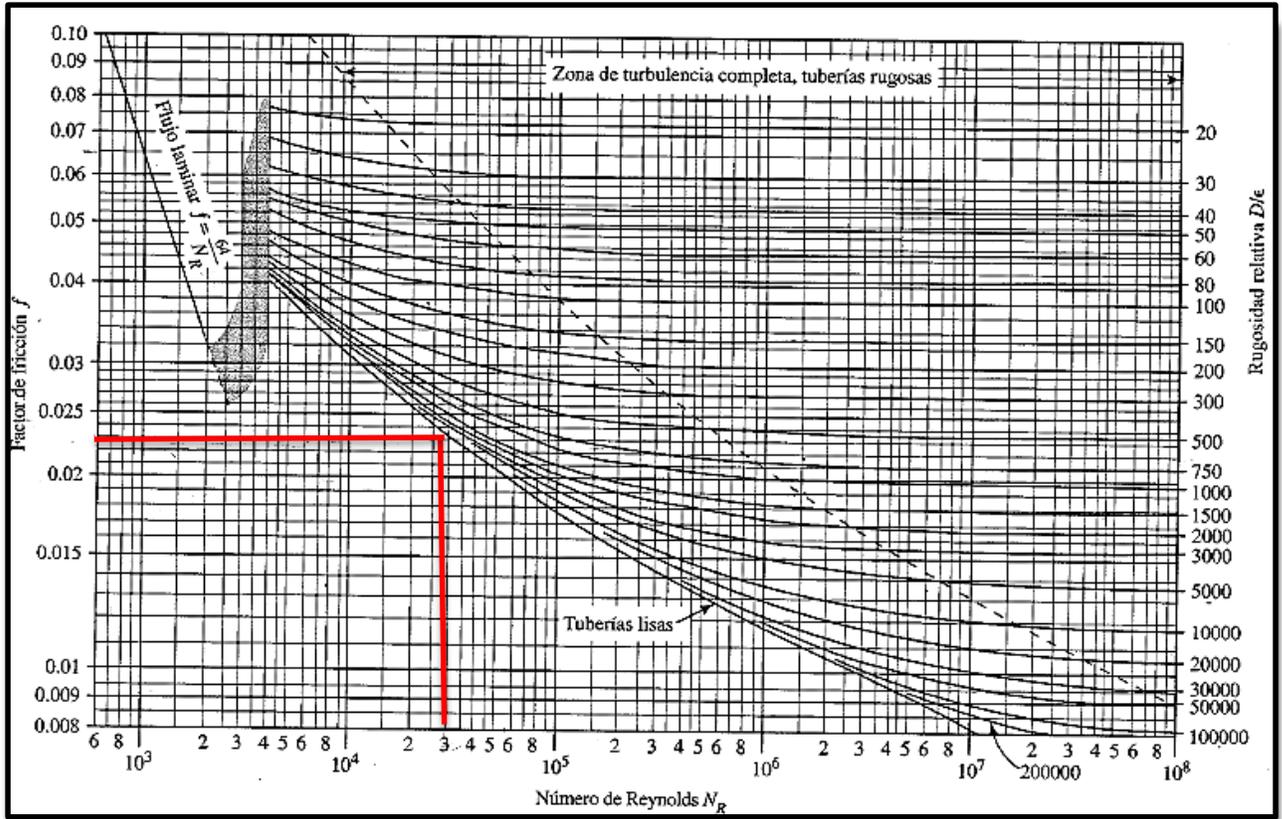


Figura 6. Diagrama de Moody. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Por tanto, para el valor de $NR= 305549$ se lee $f = 0.023$ en dicha curva.

Ahora se procede a calcular el coeficiente de resistencia K para la válvula con la ecuación 9 de la siguiente forma:

$$K = (150)0.023 = 3.45 \quad (24)$$

La pérdida de energía que tiene lugar cuando el fluido circula por la válvula se calcula con la ecuación 1 como se observa a continuación.

$$h_{v\acute{a}lvula} = 3.45(0.137m) = \mathbf{0.472m} \quad (25)$$

3.1.3.1.2. Coeficiente de resistencia de entrada (succión).

El coeficiente de resistencia de entrada que más se asemeja a la línea de succión se ilustra en la Figura 9, con un $K = 0.5$.

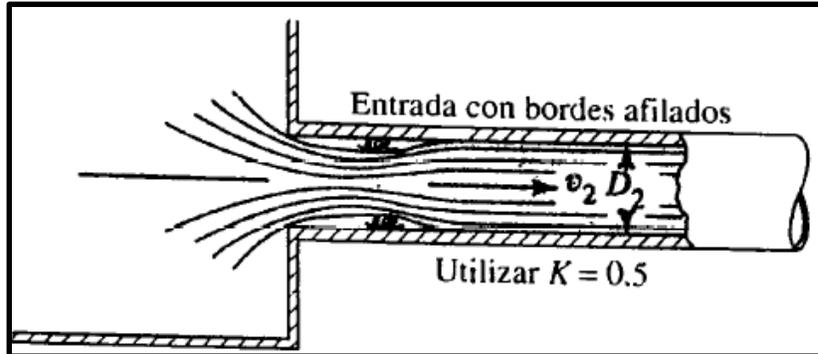


Figura 7. Coeficiente de resistencia de entrada. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Después de seleccionar un valor para el coeficiente de resistencia por medio de la 1, se puede calcular la pérdida de energía en la entrada con la ecuación 1.

$$h_{\text{resistencia de entrada}} = 0.5(0.137m) = \mathbf{0.068m} \quad (26)$$

3.1.3.1.3. Codos a 90°.

El sistema cuenta con cuatro codos en toda la tubería y estos están ubicados en la línea de descarga. En la Figura 10, se observan diferentes clases de codos, pero en este diseño se ha escogido el codo (a) el cual tiene un coeficiente de resistencia $K=30f_T$.

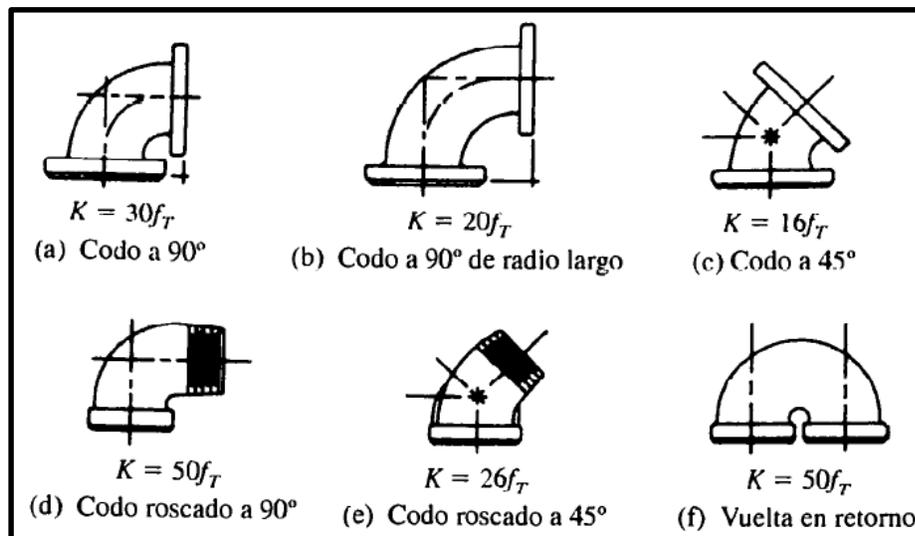


Figura 8. Codos de tubería. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Ahora se debe evaluar el número de Reynolds con la ecuación 21 para determinar si el flujo es laminar o turbulento en la línea de descarga.

$$NR = \frac{(3.68 \frac{m}{s})(0.01270m)}{1.02 \times 10^{-6}} = 45819 \quad (27)$$

Así, el flujo es turbulento ya que el número de Reynolds es mayor a 4000. A continuación, se debe evaluar la rugosidad relativa. En la Tabla 4 se encontró que $\epsilon = 3.0 \times 10^{-7}m$.

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.01270}{3.0 \times 10^{-7}} = 42333 \quad (28)$$

Con el diagrama de Moody de la Figura 11, se evalúa el factor de fricción f .

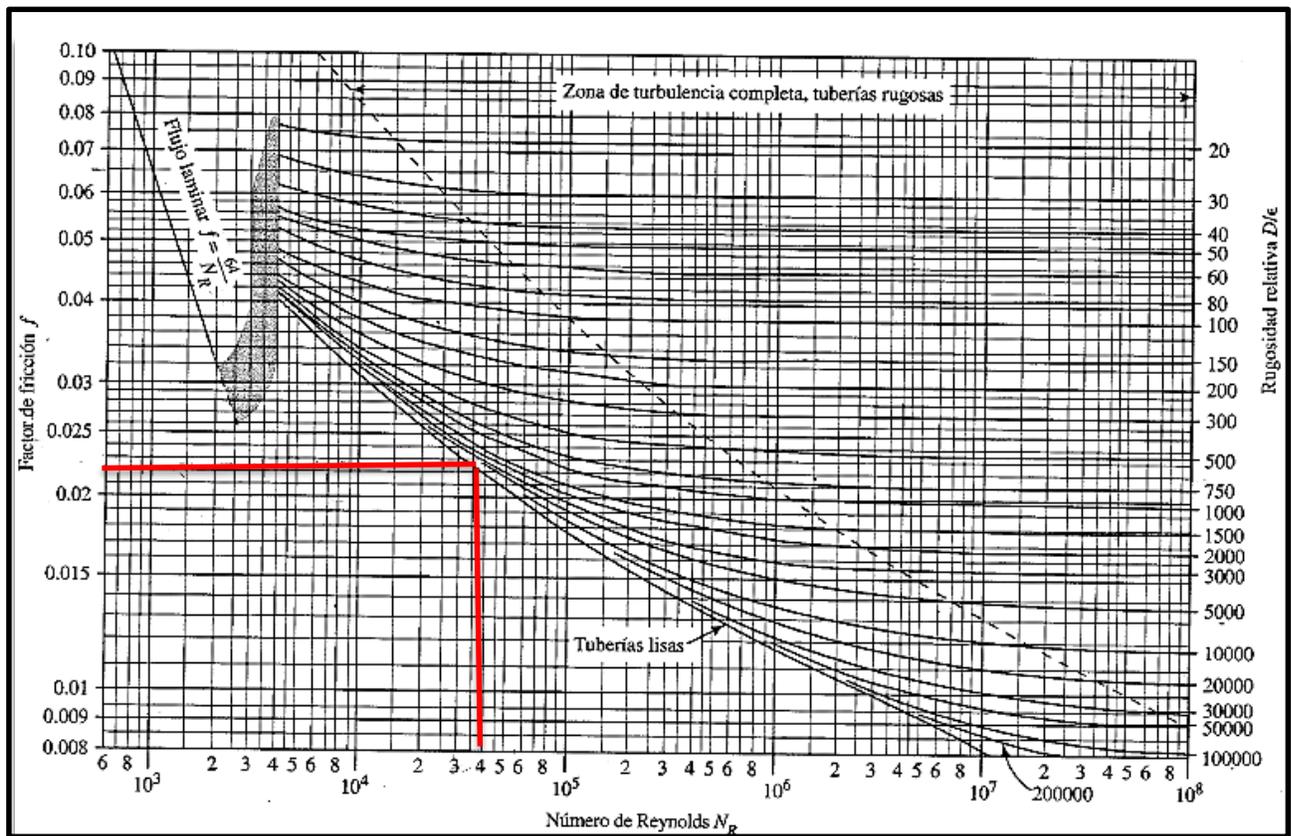


Figura 9. Diagrama de Moody. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Por tanto, para el valor de $NR = 45819$ se lee $f = 0.022$ en dicha curva.

Ahora se procede a calcular el coeficiente de resistencia K para los codos con la ecuación 29.

$$K = (30)ft \quad (29)$$

$$K = (30)(0.022) = 0.66 \quad (30)$$

La pérdida de energía en los codos se calcula con la ecuación 1.

$$h_{\text{codos}} = 0.66(0.69m) = 0.4554m \times 4 \text{ codos} = \mathbf{1.821m} \quad (31)$$

3.1.3.1.4. Pérdidas por fricción en la tubería de succión.

Ahora debemos evaluar el número de Reynolds con la ecuación 21 para determinar si el flujo es laminar o turbulento en la línea de succión.

$$NR = \frac{(1.64 \frac{m}{s})(0.019m)}{1.02 \times 10^{-6}} = 30549 \quad (32)$$

A continuación, se debe evaluar la rugosidad relativa. En la Tabla 4 se encontró que $\epsilon = 3.0 \times 10^{-7} m$.

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.019}{3.0 \times 10^{-7}} = 63333 \quad (33)$$

Con el diagrama de Moody de la Figura 12, se evaluará el factor de fricción f .

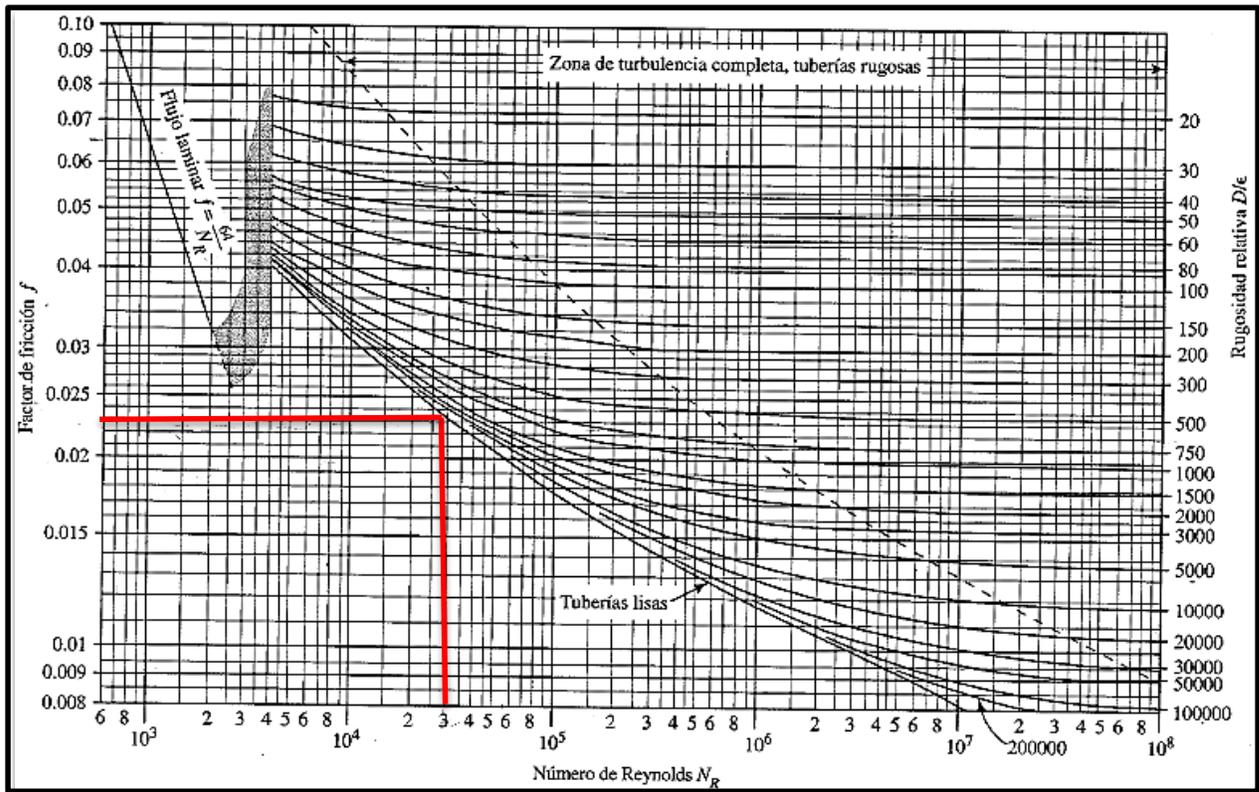


Figura 10. Diagrama de Moody. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Por tanto, para el valor de $NR = 305549$ se lee $f = 0.023$ en dicha curva.

Ahora se procede a calcular el coeficiente de resistencia K para las pérdidas por fricción en la tubería de succión con la ecuación 6 de Darcy.

$$h_{\text{pérdida por fricción en la tubería de succión}} = 0.023 \times \frac{0.02m}{0.019m} \times \frac{(1.64 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = \mathbf{0.033m} \quad (34)$$

3.1.3.1.5. Pérdidas por fricción en la tubería de descarga.

Ahora se debe evaluar el número de Reynolds con la ecuación 21, para determinar si el flujo es laminar o turbulento en la línea de descarga.

$$NR = \frac{(3.68 \frac{m}{s})(0.01270m)}{1.02 \times 10^{-6}} = 45819 \quad (35)$$

A continuación, se debe evaluar la rugosidad relativa. En la Tabla 4 encontramos que $\epsilon = 3.0 \times 10^{-7} m$.

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.01270}{3.0 \times 10^{-7}} = 42333 \quad (36)$$

Con el diagrama de Moody de la Figura 13, se evalúa el factor de fricción f .

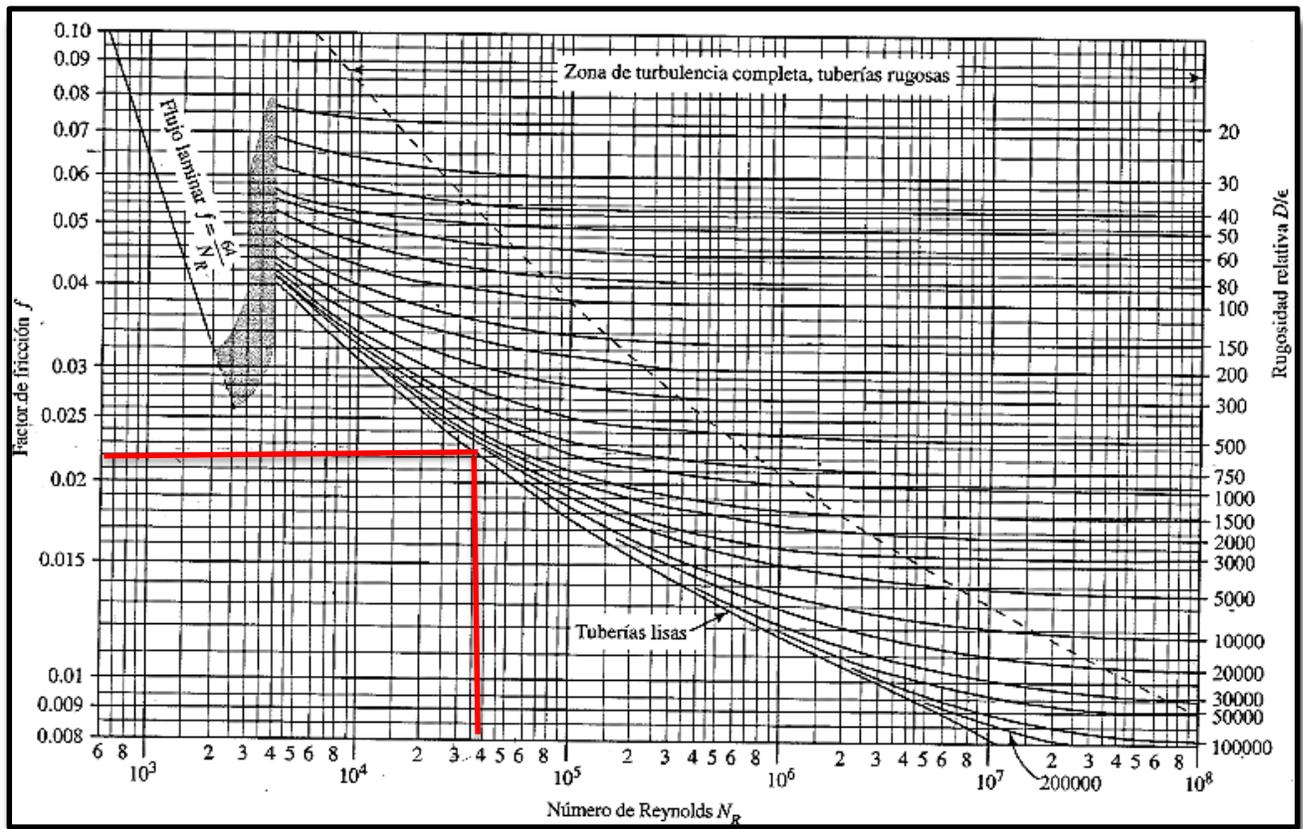


Figura 11. Diagrama de Moody. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott.

Por tanto, para el valor de $NR = 45819$ se lee $f = 0.022$ en dicha curva.

Ahora procederemos a calcular el coeficiente de resistencia K para las pérdidas por fricción en la tubería de descarga con la ecuación 6 de Darcy.

$$h_{\text{pérdidas por fricción en la tubería de descarga}} = 0.022 \times \frac{5.3m}{0.0127m} \times \frac{(3.68 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 6.334m \quad (37)$$

En la Tabla 5 se observa la sumatoria de todas las pérdidas de energía (h_{total}) del sistema.

Tabla 5.

Pérdidas totales de energía del sistema.

DESCRIPCIÓN	VALOR
h válvula	0.472 m
h resistencia de entrada	0.068 m
h codos	1.821 m
h fricción tubería de succión	0.033 m
h fricción tubería de descarga	6.334 m
h_{total}	8.728 m

Fuente: Autor.

A continuación, se utiliza la ecuación general de la energía para determinar las pérdidas de energía por la fricción, las válvulas y los accesorios del sistema propuesto.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_a - h_r - h_l = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (38)$$

Donde:

$\frac{V_1^2}{2g} = 0$ (La carga de velocidad en la superficie de un tanque o depósito se considera igual a cero)

$h_r = 0$ (En el sistema no hay dispositivos mecánicos)

$Z_1 = 0$ (Esta tomado sobre el punto de referencia)

$\frac{P_2}{\gamma} = 0$ (Corriente libre de fluido expuesta a la atmósfera)

$\frac{P_1}{\gamma} = y = 0.7\text{m}$

$Z_2 = 2\text{m}$

Así, la ecuación de la energía se transforma en:

$$h_a = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - y + h_l \quad (39)$$

$$h_a = 0.69\text{m} + 2\text{m} - 0.7\text{m} + 8.728\text{m} = \mathbf{10.718\text{m}} \text{ (carga total sobre la bomba)} \quad (40)$$

3.1.3.1.6. Potencia que requiere la bomba.

$$P_A = h_A \gamma Q \quad (41)$$

$$Q = 7.4 \text{ gal/min} = 0.000467 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{bomba} = (10.718\text{m}) \left(9.79 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) \left(0.000467 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \quad (42)$$

$$P_{bomba} = 0.049\text{kw} * \frac{1.34102\text{HP}}{1\text{kw}} = \mathbf{0.065\text{HP}} \quad (43)$$

Con los cálculos se obtuvo una bomba con una potencia de 0.065 HP, es lo suficiente para el tramo corto que debe recorrer el agua con una altura de dos metros. Se escogió la bomba que se ve en la Figura 14 y cuyos datos técnicos se observan en la Tabla 6, la potencia es mayor a la calculada ya que permite escalar el sistema a futuro, esto sin sacrificar el carácter económico del proyecto. Adicionalmente la bomba seleccionada se acopla a las conexiones de succión, descarga y la tubería que se calculó.

Tabla 6.
Especificaciones técnicas bomba de agua

DESCRIPCIÓN	VALOR Y REFERENCIA
MARCA	Karson
MODELO	Ksn-30560
VOLTAJE	110 V
POTENCIA	0.5 HP
CAUDAL	28 L/min
ALTURA MÁXIMA	18 m
SUCCIÓN Y DESCARGA	1" x 1"
REVOLUCIONES	3560 r/min
CORRIENTE	4.6 A

Fuente: Autor.



Figura 12. Bomba utilizada para el sistema. Fuente: Autor.

3.1.4. Sistema de control y automatización.

Para el control de este proyecto se utilizó un sistema electrónico embebido basado en el microcontrolador PIC 16f877A, DONDE todas las señales del sistema son digitales.

El esquema general del control se describe en el diagrama de la Figura 15, en este se observa las entradas del sistema como lo son los sensores y los botones. En las salidas se observa los transistores, relé, leds y la lcd.

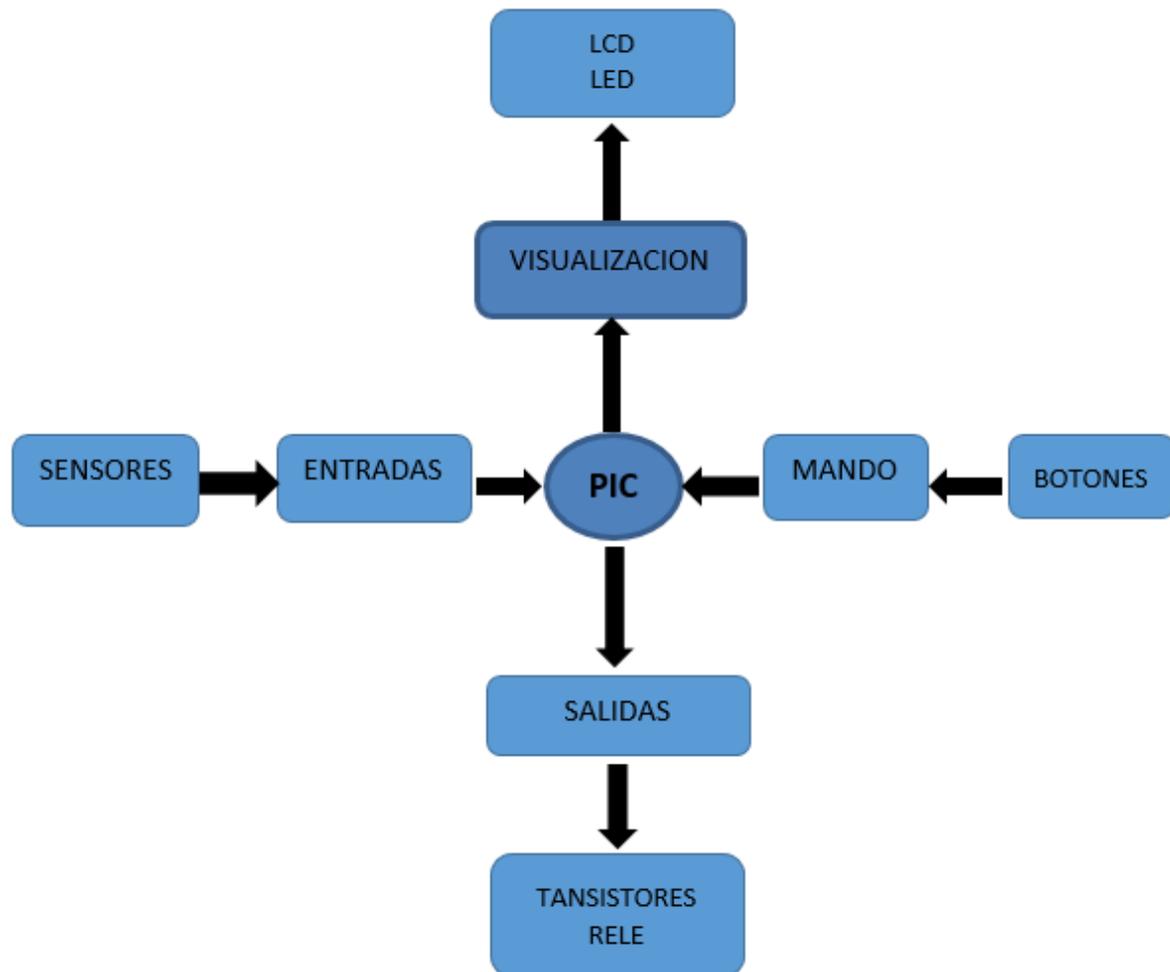


Figura 13. Diagrama del sistema de control. Fuente: Autor.

3.1.4.1. Funciones del esquema.

3.1.4.1.1. Entradas.

En este sistema las entradas provienen de los sensores de ultrasonido y los sensores o interruptores de nivel. El sensor de ultrasonido que se observa en la Figura 16, sirve para detectar los niveles en los tanques y de acuerdo a eso el controlador debe mandar una señal para que la bomba encienda o apague Y ADICIONALMENTE que la válvula de EPM se abra o se cierre.

El sensor de nivel mínimo sirve como seguridad para garantizar que la bomba no quede cavitando, mientras el sensor de nivel máximo activa la bomba siempre y cuando en el tanque principal haya espacio y así evitar que el agua se derrame.



Figura 14. Sensor de ultrasonido utilizado en el sistema. Fuente: Autor

3.1.4.1.2. Visualización.

El sistema de visualización se observa en la Figura 17, esta se hace usando una pantalla LCD y LEDS de indicación, cuya función es mostrar información del funcionamiento y estado del sistema. Algunas indicaciones son los niveles de los tanques, encendido y apagado de las válvulas y la bomba, estadística e historial de los litros ahorrados.



Figura 15. Pantalla de visualización del sistema. Fuente: Autor.

3.1.4.1.3. Mandos.

Los mandos están compuestos por tres botones cuya función es navegar en el menú de la aplicación. El menú se compone de las siguientes funciones: manual, habilitar válvula EPM, habilitar bomba y reset al historial de litros ahorrados.

3.1.4.1.4. Salidas.

Las salidas del sistema son las encargadas de la activación de los actuadores que son las electroválvulas y la bomba. Si no hay agua en los tanques se activará la electroválvula que permitir el paso de agua de EPM (ver Figura 18). Si en el tanque secundario el nivel de agua es alto y en el tanque principal es bajo, se encenderá la bomba.



Figura 16. Electroválvula y bypass de entrada agua EPM. Fuente: Autor.

3.1.4.2. PIC.

El PIC es un dispositivo electrónico programable, el cual permite realizar modificaciones a necesidad sin incurrir en cambios de hardware. Permite integrar todas las funciones de un sistema de control en un solo dispositivo.

El PIC en esencia es el cerebro del sistema, es el que se encarga de recibir todas las señales de los sensores y determinar, según los valores, que acciones tomar sobre los actuadores a través de las salidas. La caja del control del sistema, la cual incluye el PIC, fuente de alimentación, conexiones entrada-salida y visualización se observa en la Figura 19.

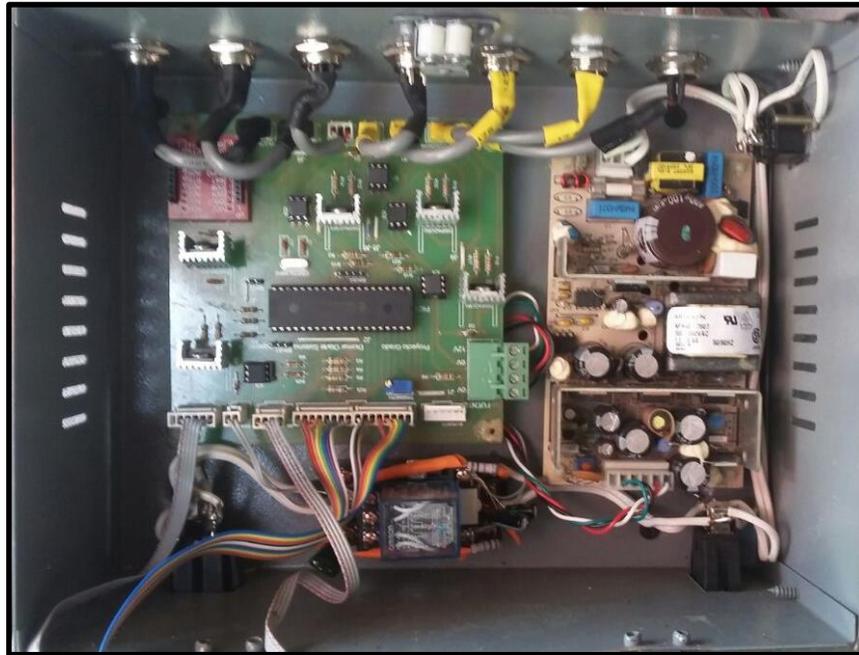


Figura 17. Caja de control del sistema. Fuente: Autor.

3.1.4.3. Lógica de funcionamiento.

En la Figura 20 se ilustra el diagrama P&ID del sistema de control. En este se observa la secuencia de funcionamiento y así su control.

Como se ilustra en dicha Figura, el tanque 2 es el encargado de recibir y almacenar el agua proveniente de la lavadora. Al llegar al nivel máximo, el agua es transportada por la bomba al tanque 1, siempre y cuando este tanque no esté en su máximo nivel. Si el tanque 1 está lleno, la bomba no encenderá y solo lo hará cuando el sensor de ultrasonido indique que ya tiene espacio y se apagará cuando el sensor de nivel del tanque 2 le indique que ya no tiene agua o cuando el sensor de ultrasonido del tanque 1 le indique que ya está lleno.

En el tanque 1 se almacena el agua lluvia y el agua residual de la lavadora, en caso de que haya precipitaciones de lluvia, esta cae al tanque automáticamente y si este se encuentra lleno, el agua no podrá ser almacenada y se pierde.

El agua almacenada en el tanque 1 es llevada al sanitario por medio de gravedad y cuando el sensor detecte que no hay agua en este tanque, la electroválvula que cierra o abre el paso de agua de EPM se abrirá permitiendo el paso de ésta, de lo contrario cuando el tanque 1 permanezca lleno, la válvula siempre permanecerá cerrada.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-27

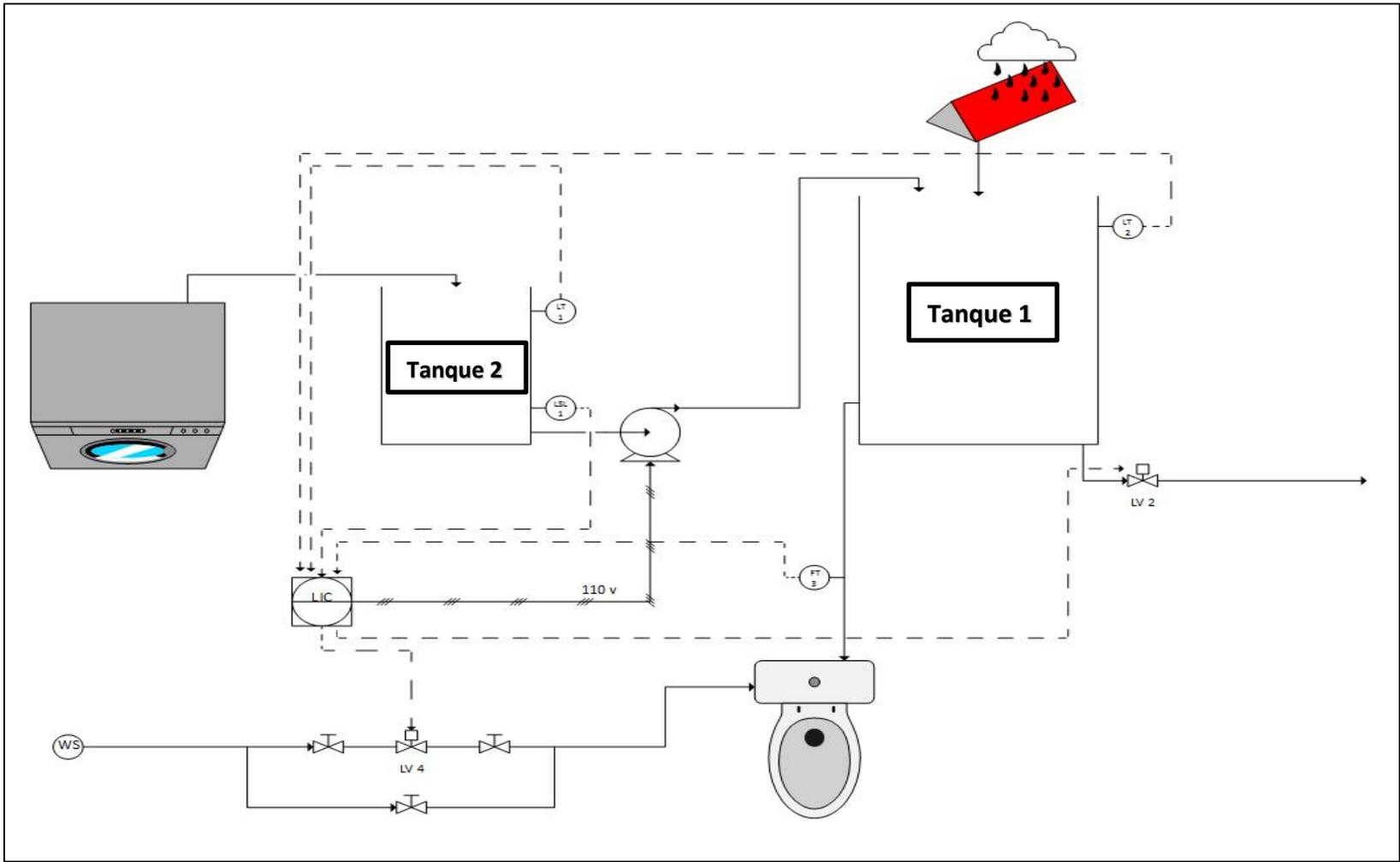


Figura 20. Diagrama de control y automatización. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-27

En la Figura 21 se observa el flotador del sanitario que controla el agua reciclada, esta es transportada por gravedad desde el tanque principal de almacenamiento. El sanitario queda trabajando también con el flotador de agua de EPM el cual como ya lo hemos mencionado es controlado por la electroválvula.

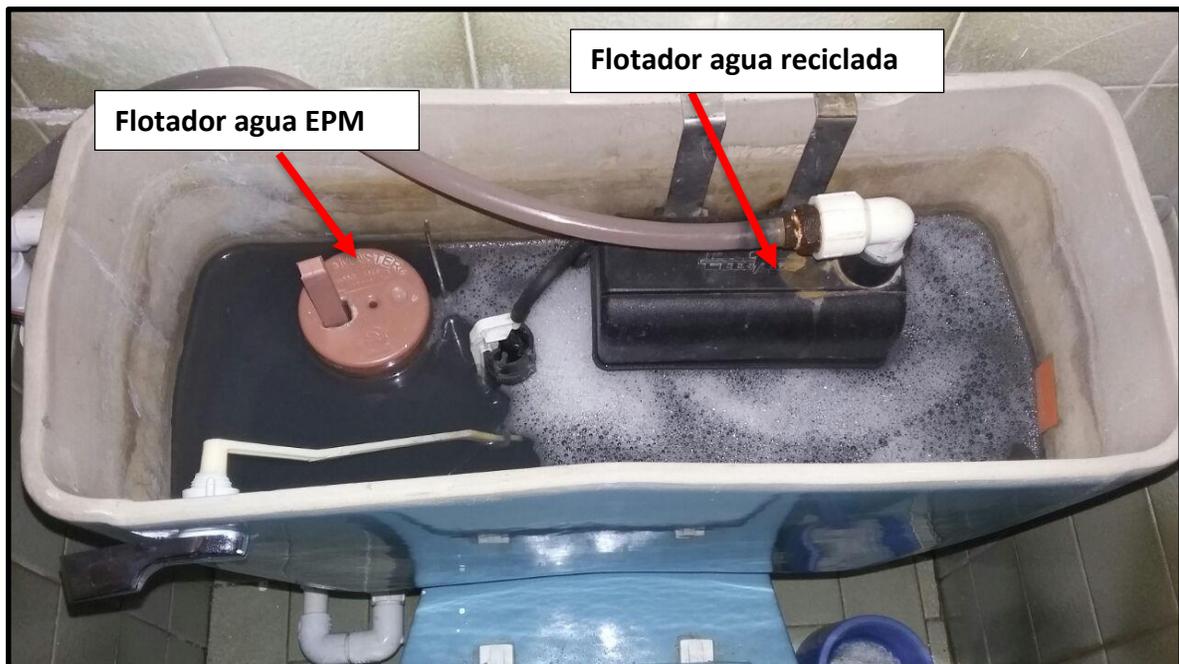


Figura 21. Sistema de conducción del agua por gravedad al sanitario. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se describen a continuación:

- ◆ Se logró construir un sistema de reciclaje de aguas lluvias y grises.
- ◆ El sistema de recuperación de aguas consta de las siguientes etapas:
 - Captación.
 - Conducción y almacenamiento.
 - Sistema de bombeo.
 - Sistema de control y automatización.
- ◆ La lógica de control y programación del sistema funcionó correctamente después de la correspondiente depuración, el sistema se encuentra en funcionamiento y cada sensor, o mando de salida responde a las condiciones de operación del sitio en el que se encuentra instalado el prototipo.
- ◆ En el trascurso del proyecto se evidenció que este también sirve de reserva para almacenar agua cuando se hacen cortes desde la entidad prestadora del líquido y que son avisados con anterioridad, permitiéndole al consumidor poder almacenar agua mientras se vuelve a reestablecer el servicio.

4.1. PRESUPUESTO ESTIMADO.

Como se ha mencionado a lo largo del trabajo, este proyecto tiene como finalidad dos factores muy importantes en los cuales se hizo énfasis durante su elaboración, estos son: el impacto ambiental que genera el ahorro de agua y la economía tanto en la construcción y desarrollo del proyecto, como en el impacto económico que pueda traer para las familias el ahorro en sus facturas de cobro de las entidades prestadores del servicio de agua potable.

A continuación, en la Tabla 7, se presenta un estudio económico aproximado del valor del proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

Tabla 7.
Presupuesto estimado del sistema implementado.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
PIC 16f877A	1	18.500	18.500
Pantalla verde de cristal 2*16	1	17.815	17.815
Sensor ultrasónico HCSR04 Ref. HC-SR04	2	8.000	16.000
Sensor de nivel de líquido Ref. SEN-NIVEL-BLACK	2	16.000	32.000
Válvula solenoide 12V 1/2 Ref. EV 12V-NC-1/2	1	30.000	30.000
Fuente de 40W Ref. NFN40-7607	1	35.000	35.000
Sensor de flujo de agua Ref. POW110D3B	1	27.000	27.000
Cable blindado 4 líneas.	15 m	4.186	62.800
Caja metálica para ensamble Ref. C65	1	15.797	15.797
Cable dúplex 2*14	10m	1.600	16.000
Toma doble electricidad	3	3.800	11.400
Electrobomba ½ HP periférica marca Karson	1	74.900	74.900
Cable polarizado, 2 líneas, 18AWG Ref. CP18	15m	595	8.925
Componentes electrónicos (Resistencias, condensadores, conectores, borneras, leds)	1	41.150	41.150
Adaptadores para salida de tanque	2	3.800	7.600
Codos de pvc ½" 90°	9	500	4.500
Unión universal de ½"	7	2.200	15.400
Machos de ½"	5	400	2.000
Tubería pvc de ½"	6m	1.600	9.600
Unión lisa hembra de ½"	3	400	1.200
Unión roscada de ½"	1	1000	1.000
T de ½"	2	500	1.000
Válvula de paso pvc de ½"	2	1800	3.600
Valvula de paso metálica ½"	1	15.000	15.000
Unión de 1"	2	1.500	3.000

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

Codo de pvc 1" 90°	1	1.500	1.500
Tubería pvc de 1"	50cm	3.500	3.500
Reducción 1" a ½"	1	1.000	1.000
Válvula flotador bebedero	1	18.000	18.000
Manguera de nivel	12m	9.600	9.600
Flotador fluid master 7/8"	1	19.900	19.900
Tanque 37gal	1	25.000	25.000
Tanque 55gal	1	35.000	35.000
PRESUPUESTO NECESARIO			\$ 584.687

Fuente: Autor

El precio obtenido es bajo en comparación con otros proyectos ya existentes y puede estar al alcance de cualquier persona que quiera contribuir con el cuidado del preciado líquido y con el ahorro en su factura de servicios público.

Este proyecto se ha venido desarrollando desde Agosto de 2012, contrayéndolo modularmente para no sentir el impacto económico que este pueda traer.

Se inició con la compra del tanque de almacenamiento principal, para almacenar solo el agua de la lavadora, posteriormente se compra el segundo tanque para almacenar el agua lluvia. Al ver que se debía pasar el agua residual de la lavadora a la tanque de agua lluvia de manera manual, se adquiere tiempo después la motobomba para que esta transportara el agua. Ya por último se decide automatizar todo el sistema para eficiencia en el sistema.

Es importante resaltar que si una familia quiere ahorrar dinero y contribuir con el cuidado del agua, no es necesario hacer una alta inversión, TAMBIEN para tener un dispositivo de reciclaje de agua, se pueden hacer otros diseños manuales más económicos.

El proyecto es instalado el 15 de Agosto del 2012, desde dicha fecha se le ha realizado un seguimiento en las facturas de cobro de EPM para observar cuanto a sido la diferencia en metros cúbicos y en dinero, encontrando así como ya se ha mencionado un ahorro en ambas cosas, a continuación se relacionara en la Figura 22 los datos recopilados durante todo este tiempo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-27

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ENERO	24	21	20	19	18	21	17	15	12	14	12
FEBRERO	21	21	22	14	17	27	16	15	14	19	14
MARZO	21	19	17	19	18	23	16	15	11	12	13
ABRIL	19	20	18	16	13	19	16	12	11	11	9
MAYO	20	16	23	14	17	20	19	20	13	10	11
JUNIO	20	18	20	14	18	17	16	13	10	10	9
JULIO	18	20	20	15	16	23	16	7	9	10	
AGOSTO	23	23	20	18	18	23	15	15	11	10	
SEPTIEMBRE	20	22	20	13	24	18	14	11	10	12	
OCTUBRE	23	24	18	15	22	15	11	12	10	10	
NOVIEMBRE	20	19	20	14	16	13	15	10	9	15	
DICIEMBRE	19	22	21	14	19	15	15	10	13	6	
TOTAL	248	245	239	185	216	234	186	155	133	139	68
PROMEDIO CONSUMO m3 AGUA MENSUAL	21	20	20	15	18	20	16	13	11	12	11
COSTO m3 AGUA AL MES						1.623	1.678	1.734	1.791	1.851	2.191
COSTO m3 AGUA MENSUAL PROMEDIADO ULTIMOS 6 AÑOS						1.811					
COSTO TOTAL DE AGUA AL AÑO	449.227	443.793	432.925	335.109	391.262	423.868	336.920	280.767	240.916	251.785	123.175
PROMEDIO COSTO AGUA ANUAL	410.463					246.712					
AHORRO PROMEDIO ANUAL	163.751										

Figura 18. Histórico consumo de agua últimos 10 años. Fuente: facturas de cobro empresa EPM

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-27

En la Figura 22 se observa el histórico de consumo de agua de los últimos diez años de la vivienda donde se desarrolló el proyecto. Los datos que se encuentran señalados en verde son el consumo de agua ya con el sistema en funcionamiento.

Se observa también el consumo total en m^3 de agua anual y el consumo promedio tanto de agua como el costo de esta al año. La parte resaltada con color amarillo, es el ahorro real de dinero promedio que se está generando anualmente con este proyecto, es la suma de \$ 163.751 y según el costo aproximado de este proyecto es de \$584.687, lo cual significa que dicha inversión se estaría recuperando en un periodo de tres años y 5 meses.

Se considera que es un tiempo pertinente para lo beneficioso que resulta el proyecto tanto en la parte ambiental como económica. También cabe aclarar que este ahorro puede llegar a ser muy cambiante ya que hay muchos factores que ayudan a que este varíe, como lo son las precipitaciones de agua lluvia que se presenten durante el año en la región, la cantidad de veces que se lave la ropa en la lavadora o la cantidad de personas que habiten en el hogar o que hagan uso de este.

En la Figura 23 se observa la gráfica del consumo en m^3 de agua anual.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22



Figura 19. Gráfica consumo de agua en m³ anual. Fuente: Autor

En esta gráfica se observa cómo ha disminuido el consumo de 248 m³ de agua en el año de 2007 donde aún no se había iniciado con el proyecto, a pasar a consumir en el año 2016, 139 m³ año en el cual ya estaba en funcionamiento dicho dispositivo.

En la Figura 24 se observa el promedio de consumo de agua en m³ mensual. Pasando de consumir 21 m³ en el año de 2007 a consumir en el año de 2016, 12 m³ de agua en promedio.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

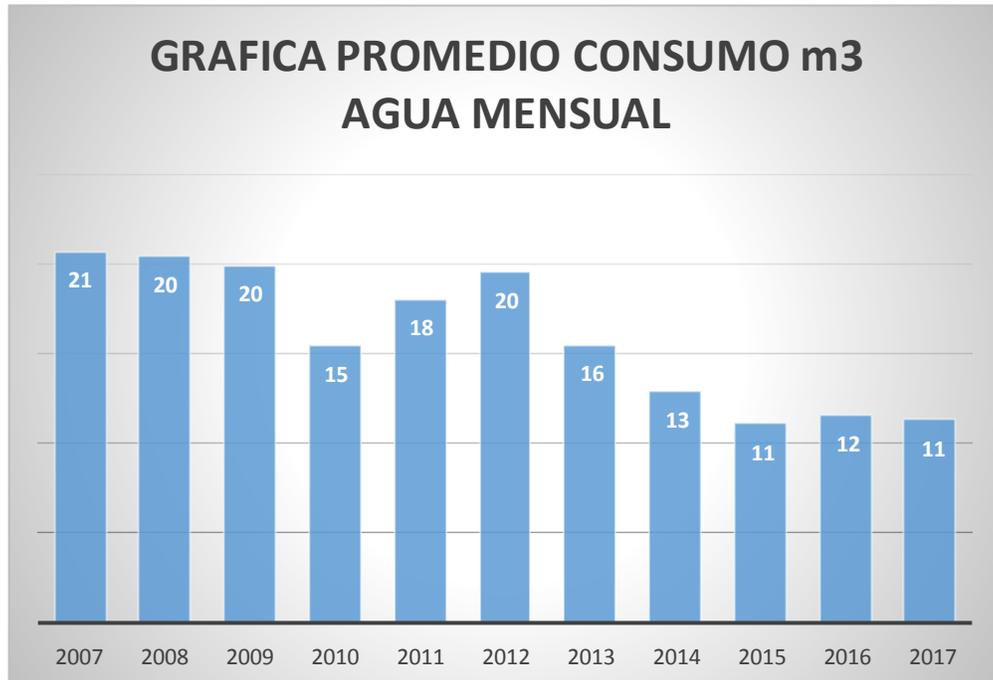


Figura 20. Gráfica promedio de consumo agua en m3 mensual. Fuente: Autor.

En la siguiente gráfica (Figura 25), se observa el costo (en pesos colombianos - COP) anual de agua de los últimos diez años. Se refleja que en el año 2007 se pagó la suma de \$449.227 y que en el año de 2016 se pasó a pagar \$ 251.785.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 21. Gráfica costo del agua anual. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

4.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL MEDIANTE EL MICROCONTROLADOR.

Para el diseño del programa del microcontrolador, se tuvo en cuenta el comportamiento de los diferentes sensores, la bomba y la válvula, para saber dónde irán ubicados y como se manejan, como entradas o salidas a controlar.

En las Figuras 26 y 27 se muestra el diagrama de flujo del sistema de recuperación de agua, el cual permite entender el funcionamiento real del proceso completamente automatizado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

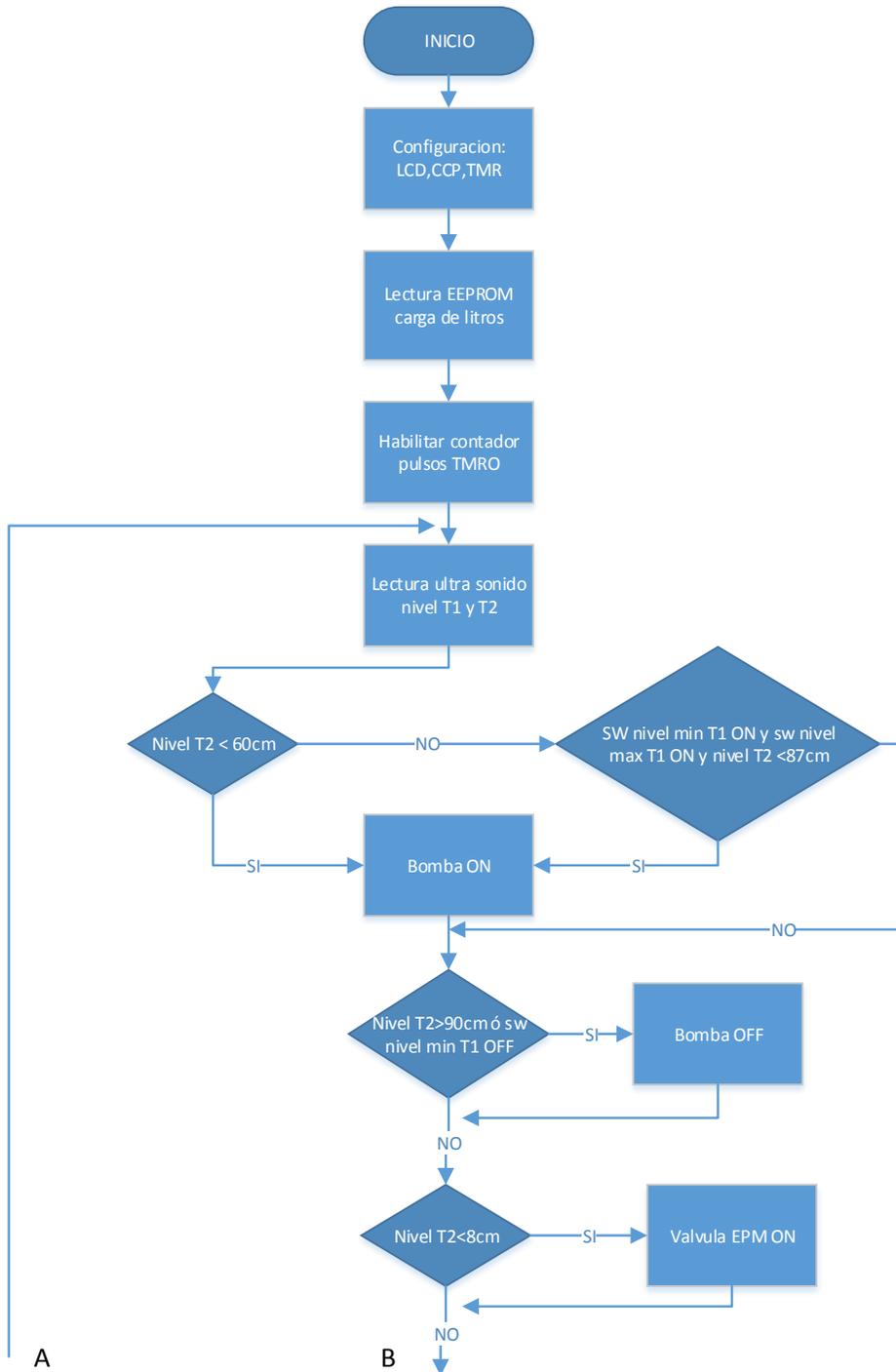


Figura 22. Diagrama de flujo del sistema de reciclaje - esquema 1. Fuente: Autor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

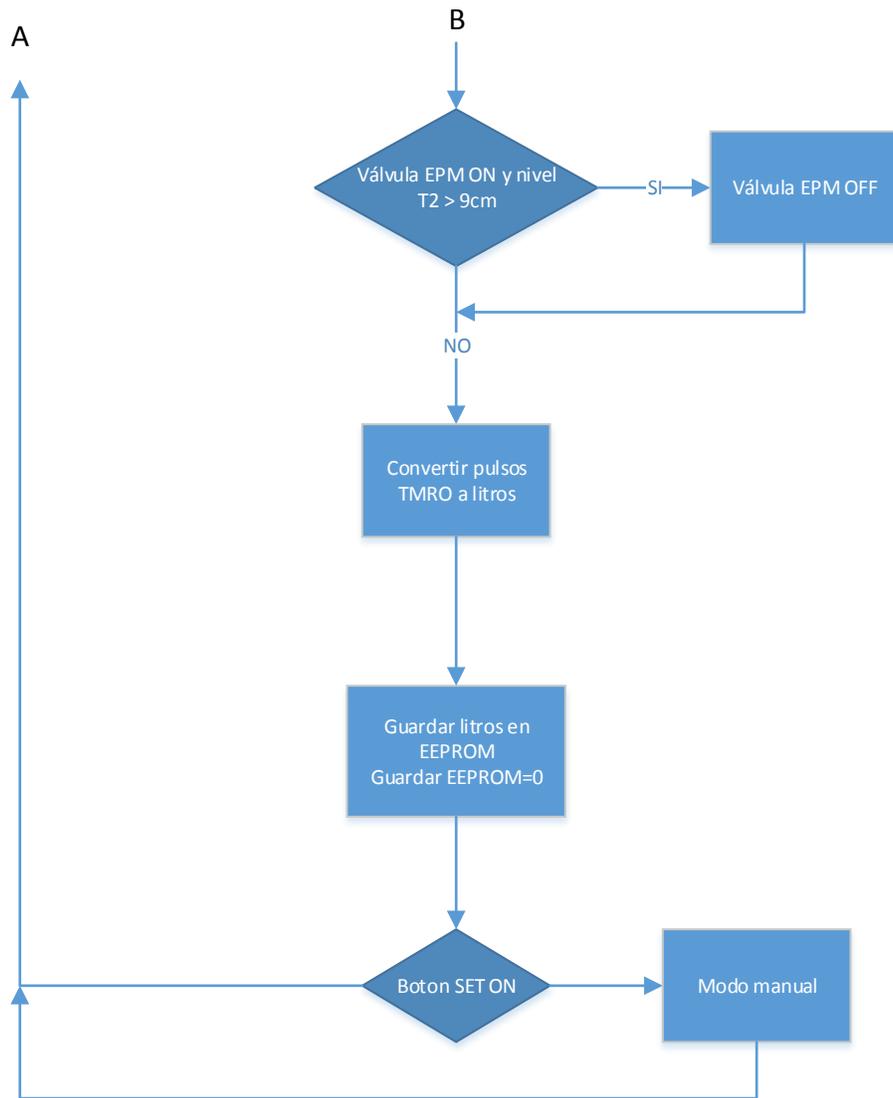


Figura 23. Diagrama de flujo del sistema de reciclaje - esquema 2. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

5. CONCLUSIONES

- ◆ Se logró construir un sistema de control automático para la reutilización de aguas residuales grises provenientes de la lavadora y aguas pluviales, para ser utilizadas en el vaciado del sanitario, riego de jardín, entre otras.
- ◆ Se realizó la distribución de los tanques de almacenamiento del agua pluvial y el agua gris proveniente de la lavadora.
- ◆ Se diseñó el sistema de distribución acorde a las necesidades requeridas de espacio y demanda.
- ◆ Se realizó un estudio de la viabilidad económica para la implementación del sistema en este hogar de prueba y para los demás hogares que a futuro quieran continuar con este proyecto, se verificó que hay una reducción del 48% en el consumo de m³ de agua, y esto conlleva a un ahorro del 44% en el pago de servicios de acueducto y alcantarillado, la disminución no es proporcional dado que el metro cúbico de agua ha subido en el transcurso de la década analizada.

5.1. RECOMENDACIONES

Se debe desarrollar un sistema de filtrado del agua para mejorar su aspecto de coloración y olor en especial el agua residual de la lavadora, ya que sale un agua contaminada con detergentes y suciedad de la ropa la cual provoca un color pantanoso y un olor desagradable, en este proyecto se le dio una solución agregándole 10 ml de Cloro a cada descarga de la lavadora para mejorar la calidad de esta. Se propone probar pero se necesita de un filtro de arena.

5.2. TRABAJO FUTURO

se plantea investigar y desarrollar más sistemas de reciclaje de agua no solo en los hogares sino también en instituciones educativas, entidades públicas, universidades, edificios y por ende en regiones donde aún no cuentan con el servicio de agua potable.

Este dispositivo se debe escalar a más hogares y se pueden hacer mejoras como poner paneles solares para el encendido de la motobomba y la parte de la caja de control como alternativa para un mejor ahorro pero en consecuencia la inversión inicial aumentaría.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

REFERENCIAS

- Africa, Just One. (s.f. de s.f. de s.f.). *Agua Limpia*. Obtenido de Just One Africa:
<https://www.justoneafrica.org/agua-limpia/?gclid=CKTng43-hswCFdFZhgodXC4Cog>
- Agencia suiza para el desarrollo y la cooperacion. (s.f. de s.f. de 2003). *Captación de Agua de lluvia para consumo Humano*. Obtenido de Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente :
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&act=8&ved=0ahUKEwjL58rfiOzUAhXF7CYKHe_1Cv4QFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bvsde.ops-oms.org%2Fbvsacep%2Fe%2Fservi.html&usg=AFQjCNGsE4-kxGDEzsCvTxt8Plpo41_a8g
- Arango, N. (s.f. de s.f. de 2012). *Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el*. Obtenido de
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&act=8&ved=0ahUKEwirnLbH9-vUAhWDxSYKHRqAC9AQFgggMAA&url=https%3A%2F%2Frepository.icesi.edu.co%2Fbiblioteca_digital%2Fbitstream%2F10906%2F68576%2F1%2Fsistema_recoleccion_almacenamie
- Arnaldos, D. D. (s.f. de Septiembre de 2012). *Reutilización de aguas residuales domésticas. Estudio y comparativa de tipologías edificatorias: depuradoras naturales como alternativa sostenible*. Obtenido de Reutilización de aguas residuales domésticas:
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&act=8&ved=0ahUKEwiQmPyjkevUAhWG5iYKHx4JcNkQFggkMAA&url=https%3A%2F%2Frua.ua.es%2Fdspace%2Fbitstream%2F10045%2F29576%2F1%2FMEMORIA_TFM_sep_2012_David_Bermejo.pdf&usg=AFQjCNEB8nARuY
- Fayez, A. (4 de Mayo de 2008). *Sistemas de recolección de agua de lluvia en el techo para agua doméstica*. Obtenido de Science Direct:
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&act=8&ved=0ahUKEwivx_eg_OvUAhXEPCYKHbB9C5AQFggkMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffile.PostFileLoader.html%3Fid%3D56cb34796307d999308b459e%26assetKey%3DAS%253A3319640967
- Ghisi, E. (16 de Marzo de 2005). *Potencial de ahorro de agua potable mediante el uso de agua de*. Obtenido de Science Direct:
<http://wanko.free.fr/COURS/Ges.eaux%20pluviales/Potential%20for%20potable%20water%20savings%20by%20using%20rainwater%20in%20the.pdf>
- J. Krishna, H. (s.f. de s.f. de 2005). *El Manual de Texas sobre la recolección de agua de lluvia*. Obtenido de
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&act=8&ved=0ahUKEwjG_rS5-evUAhWB1CYKHRvIAjwQFggxMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.twdb.texas.gov%2Fpublic

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

ations%2Fbrochures%2Fconservation%2Fdoc%2FRainwaterHarvestingManual_3rdeditio
n.pdf&u

L. Mott, R. (s.f.). *Mecánica de fluidos*. Pearson.

Minambiente. (18 de Marzo de 2015). *Minambiente presenta nueva Norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país*. Obtenido de Minambiente:

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1700:minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>

Muñoz, H. A. (13 de septiembre de 2000). *Experiencias de Diseño, Construcción y Operación de Plantas de Tratamiento Primario de Aguas Residuales Domésticas en el Oriente Antioqueño*. Obtenido de Experiencias de Diseño, Construcción y Operación de Plantas

de Tratamiento Primario de Aguas Residuales Domésticas en el Oriente Antioqueño:

<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi7-q6WlevUAhUJSSYKHYATA88QFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bvsde.paho.org%2Fbvsacd%2Facodal43%2Fexperiencia.pdf&usg=AFQjCNGI1XqOL35Q-xoDZy9liDnxkYlKpA>

Zhe, L. (30 de Septiembre de 2010). *sistemas de captación de agua de lluvia y de tratamiento de aguas grises para aplicación interna en Irlanda*. Obtenido de

https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQnvm59evUAhUGKCYKHa5qBP0QFgggMAA&url=http%3A%2F%2Farrow.dit.ie%2Fengschmecart%2F19%2F&usg=AFQjCNFtBmAu3xFx52Ynll6_ePYSfIKJ7Q

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

APÉNDICE

En la sección de apéndices se van a mostrar datos importantes en el desarrollo del proyecto, es así como en el apéndice A se encuentra la Tabla 8 que indica el rango del valor de la velocidad del agua en tuberías de succión y líneas de descarga de bombas.

En el apéndice B de la Tabla 9 se encuentran las propiedades del agua a 20 grados centígrados como lo son peso específico, densidad y viscosidad cinemática.

En el apéndice C de la Tabla 10 se encuentra la presión de vapor y carga de presión de vapor de agua.

Apéndice A.

Tabla 8.

Velocidad del agua en tuberías

SERVICIO	VELOCIDAD
Alimentación de calderas	2.4 a 4.6 m/s (8 a 15 pie/s)
Succión de bombas y líneas de descarga	1.2 a 2.1 m/s (4 a 7 pie/s)
Servicios generales	1.2 a 3.0 m/s (4 a 10 pie/s)
Distribución de agua potable	Hasta 2.1 m/s (7 pie/s)

Fuente: libro, flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías de crane.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

Apéndice B.

Tabla 9.

Propiedades del agua a 20° de temperatura

TEMPERATURA (°C)	PESO ESPECÍFICO γ (KN/m ³)	DENSIDAD ρ (kg/m ³)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.48×10^{-7}

Fuente: libro, Mecánica de Fluidos de Robert L. Mott.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

Apéndice C.

Tabla 10.

Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua

TEMPERATURA °C	PESO ESPECÍFICO (KN/m ³)	CARGA DE PRESIÓN DE VAPOR (m)
0	9.806	0.06226
5	9.807	0.08894
10	9.804	0.1253
20	9.789	0.2388
30	9.765	0.4345
40	9.731	0.7580
50	9.690	1.272
60	9.642	2.066
70	9.589	3.250
80	9.530	4.967
90	9.467	7.405
100	9.399	10.78

Fuente: libro, Mecánica de Fluidos de Robert L. Mott

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015- 01-22

FIRMA ESTUDIANTES Diomas A. Olarte Mira


 C.C. 16077298
 12-07-2017
 Informe Final TdG

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: 12-Julio217

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____
 ACEPTADO _____
 ACEPTADO CON
 MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____