

RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS Y BOMBEO MECÁNICO POR PEDALES

JUAN MANUEL GALINDO ROMERO

CC: 1088020803

CRISTIAN JAVIER CASTAÑO OSORIO

CC: 1088290280

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

PEREIRA

2015

RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS Y BOMBEO MECÁNICO POR PEDALES

JUAN MANUEL GALINDO ROMERO

CC: 1088020803

CRISTIAN JAVIER CASTAÑO OSORIO

CC: 1088290280

Para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica

Director: Ingeniero Osiel Arbeláez Salazar

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

PEREIRA

2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

A las familias

Porque gracias a ellos se ha cumplido esta meta tan anhelada, con su apoyo y dedicación durante todo el proceso.

A mis asesores

Por todo el apoyo, la orientación y experiencia que me brindaron para llegar a esta meta.

Ingeniero Osiel Arbeláez Salazar

A mis profesores e institución

Por todo el esfuerzo, el conocimiento, la paciencia, y la entrega que han dado siempre, Gracias.

**CON TODO EL AMOR Y RESPETO
JUAN MANUEL GALINDO ROMERO
CRISTIAN JAVIER CASTAÑO OSORIO**

RESUMEN

Partiendo desde la creciente necesidad del ser humano en base al recurso hídrico, el aprovechamiento del agua lluvia presenta una alternativa muy interesante tanto de manera ambiental como económica, contrastando con el constante aumento del precio del agua potable en el hogar y la contaminación presentada por fuentes superficiales alternas al acueducto.

Éste proyecto consiste en el diseño y construcción de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, con el cual se puede desde un tanque en un nivel inferior impulsar agua hasta uno en un nivel superior, con el objetivo de aprovechar la ley de gravedad y realizar el bombeo para agua no potable a las partes previamente asignadas del hogar, al mismo tiempo comunicando de manera inalámbrica el porcentaje de agua del nivel del tanque superior, al usuario que se ubica en la parte baja del sistema.

Además, se diseñó el sistema mecánico en un software especializado (Working Model, y Autodesk Inventor) con el objetivo de hacerlo lo más seguro y eficiente posible frente a las condiciones de uso, simultáneamente se adquirieron los componentes necesarios para la comunicación y transporte de dicho líquido, basado en una investigación previa del entorno; posteriormente, se procede a la realización de toda la comunicación inalámbrica a través de dispositivos Xbee, de forma remota entre el maestro y el esclavo.

Por último, por medio de pruebas mecánicas del sistema se presentan estudios para dos viviendas, de tres y dos pisos respectivamente, con el fin de analizar su funcionamiento y viabilidad.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	13
1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL SISTEMA.....	15
1.1. BOMBA HIDRAULICA	15
1.1.1. Por principio de funcionamiento	16
1.1.2. Según el tipo de accionamiento	17
1.2. MÉTODOS PARA RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA	17
1.2.1. Reseña histórica.....	18
1.2.2. Actualidad de los sistemas de alternativos para recolección de agua.....	20
1.2.3. Actualidad de los sistemas de recolección de agua lluvia en Colombia...	23
1.2.4. Características generales de los Sistemas de recolección de agua lluvia	26
1.2.5. Normativa para el agua potable en Colombia	27
1.2.6. Análisis pluviométrico local.....	28
1.3. LA BICICLETA.....	31
1.4. PLANOS Y SIMULACIÓN DE ESFUERZOS PARA EL SISTEMA.....	32
1.4.1. Plano de la vivienda	33
1.4.2. Plano para limpieza de tanques	36
1.5. SIMULACIONES	37
1.5.1. Simulación del mecanismo biela manivela	38
1.5.2. Simulaciones en torno a la Base bicicleta	39
2. COMPONENTES BÁSICOS DEL SISTEMA	43
2.1. CAPTACIÓN Y RECOLECCIÓN	44

2.2.	ALMACENAMIENTO	46
2.3.	DRENAJE Y DESAGÜE	47
2.4.	VÁLVULA ANTIRETORNO	48
2.5.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO	49
2.5.1.	Bomba mecánica para succión de agua o aceite	49
2.5.2.	Base bicicleta	52
3.	IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO	55
3.1.	CASA DE TRES PISOS	56
3.2.	CASA DE DOS PISOS	63
3.2.1	Gráfica Litros/tiempo para bombeo en la vivienda 2.....	68
3.3.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	69
3.4.	GUÍA PARA MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	69
4.	SISTEMA DE MONITOREO	71
4.1.	SENSOR	71
4.2.	COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO	72
4.3.	PROGRAMACIÓN.....	74
4.4.	MODO DE BAJO CONSUMO (SLEEP MODE).....	79
	CONCLUSIONES.....	82
	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFÍA	85
	ANEXOS	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tornillo de Arquímedes	15
Figura 2. Sistema “Rojinson” para recolección de agua lluvia en zonas urbanas .	21
Figura 3. Esquema y distribución de funcionamiento del sistema “Healthy House”, Canadá.....	23
Figura 4. Evolución de coberturas de acueducto (1997-2013).....	24
Figura 5. Gráfica de precipitaciones abundantes en Pereira.....	29
Figura 6. Reporte diario estado del tiempo IDEAM 9 noviembre 2015.....	30
Figura 7. Diagrama inicial para el sistema de recolección de aguas lluvias	32
Figura 8. Plano vista superior y divisiones de la vivienda.....	33
Figura 9. Plano vista superior y divisiones de la vivienda 2.....	34
Figura 10. Plano vista lateral y descripción de componentes.....	35
Figura 11. Plano vista lateral y descripción de componentes 2.....	36
Figura 12. Plano para evacuación de impurezas en la base del tanque	37
Figura 13. Simulación de mecanismo biela manivela.....	38
Figura 14. Simulación base bicicleta	39
Figura 15. Simulación de tipo desplazamiento	40
Figura 16. Simulación de tipo Coeficiente de seguridad	41
Figura 17. Simulación de tipo Tensión de Von Mises.....	41
Figura 18. Simulación aditamento Base bicicleta	42
Figura 19. Componentes básicos para captación de aguas lluvias.....	43
Figura 20. Sistema de captación y sus elementos característicos	45
Figura 21. Algunos tipos de techos posibles para capitación de agua lluvia.....	46

Figura 24. Válvula anti retorno de media pulgada	49
Figura 25. Bomba manual para agua o aceite.....	50
Figura 26. Mecanismo biela manivela	51
Figura 28. Base bicicleta y aditamento.....	53
Figura 29. Sistema de bombeo por pedal (mecánico).....	54
Figura 30. Diagrama para instalación del sistema	55
Figura 31. Sistema de bombeo mecánico	56
Figura 32. Fase inicial sistema de tuberías	58
Figura 33. Ramificación de tubería del primer piso al segundo.....	59
Figura 34. Ramificación de tubería del segundo al tercer piso.....	60
Figura 35. Ramificación de tubería del tercer piso al tanque de almacenamiento	61
Figura 36. Conexión al tanque de almacenamiento	62
Figura 37. Conexión del sistema mecánico en la segunda vivienda	64
Figura 38. Plano vista superior de la vivienda número 2	65
Figura 39. Plano vista lateral de la vivienda número 2	66
Figura 40. Tanque de almacenamiento y descripción de componentes.....	67
Figura 41. Gráfica de funcionamiento de la bomba	68
Figura 42. Diagrama flujo para funcionamiento del sistema.....	69
Figura 43. Sensor SHARP GP2Y0A21YK de proximidad	71
Figura 44. Esquema de conexión Arduino mega y LCD (Receptor).....	73
Figura 45. Esquema de conexión para el envío de la señal del sensor (Emisor) ..	74
Figura 46. Configuración de la pareja de Xbee (Coordinador, End Device)	75
Figura 47. Enlace y comunicación maestro-esclavo	76

Figura 48. Programación para la LCD, descripción de pines y dimensiones.....	76
Figura 49. Inicialización y configuración de pines	77
Figura 50. Conversión del dato a Cm.....	78
Figura 51. Impresión de datos en la LCD, tomados del emisor	78
Figura 52. Inicialización del Emisor	79
Figura 53. Programación envío de datos del emisor	79
Figura 54. Mecanismo tipo 2	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Longitud equivalente en pérdidas ubicadas en la tubería.....	58
---	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Sistema físico de comunicación inalámbrica (Coordinador)	88
Anexo B. Sistema físico de comunicación inalámbrica (Emisor)	89
Anexo C. Pantalla de XCTU con envío de trama de datos estipulada.....	90
Anexo D. Sistema de comunicación Xbee con Arduinos Mega (físico)	91

INTRODUCCION

Hoy en día algunas de las más importantes tendencias son el bienestar y el cuidado del medio ambiente. Para las personas es importante tener buena salud ya que a ella va asociada una vida más larga y placentera, además de la importancia que tiene para el ser humano el recurso hídrico, que se encuentra en constante aumento de costo y escasez del mismo.

Es por lo anterior que surge la idea de crear un sistema en el hogar que permita, a la vez que se disminuye el sedentarismo, generar un ahorro en el hogar. Así el propósito de este proyecto es el diseño e implementación de un sistema de recuperación de agua lluvias por medio de bombeo mecánico a través de pedales.

El impacto social del proyecto hace énfasis en que las aguas lluvias representan un recurso gratuito y asequible para todos, sin necesidad de contar con acueducto o recorrer grandes distancias para obtener el líquido.

Se desarrollan en el documento cuatro capítulos principales: en el primer capítulo se tratan conceptos básicos, se relacionan los temas que son necesarios para el diseño del sistema, estos son entre otros, las bomba hidráulicas, las bicicletas y los métodos de recolección de agua, cabe destacar que también se incluyen el desarrollo de los planos y el diseño de la estructura que contiene al vehículo así como el mecanismo para el bombeo.

En el siguiente capítulo, se tratan los componentes básicos del sistema, iniciando en el sistema de captación existente en el hogar, después de ello, se relacionan las partes escogidas para el funcionamiento, se manifiesta el porqué de su elección y para finalizar se muestra el ensamblaje del dispositivo.

En el tercer capítulo se exhibe la construcción e instalación del dispositivo en un hogar de tres pisos y dos pisos respectivamente, allí se muestra el paso a paso del proceso, así como los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

En el último capítulo se habla sobre el sistema de monitoreo, dicho sistema es el que visualiza la información del estado de llenado del tanque en el cual se almacenan las aguas lluvias, por tal razón, en este capítulo se abarca todo el proceso de construcción, configuración y programación del sistema de monitoreo de nivel.

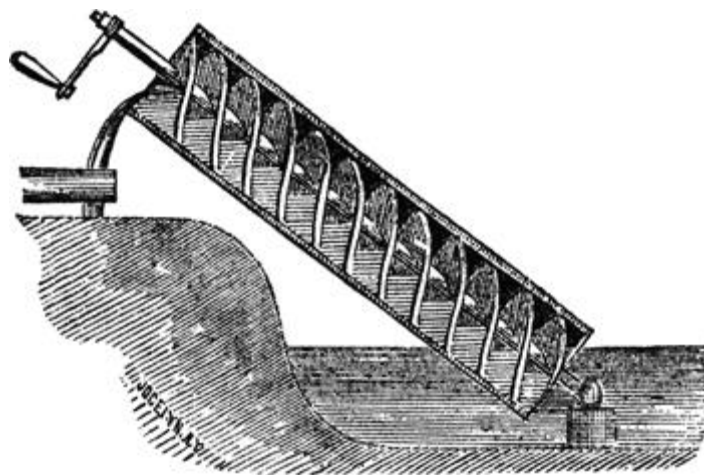
1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL SISTEMA

Previo al desarrollo del Sistema de bombeo mecánico por pedales, se deben conocer algunos elementos básicos de los cuales depende la viabilidad y el buen funcionamiento del mismo, así pues, se observan a continuación.

1.1. BOMBA HIDRAULICA

Una bomba hidráulica es una máquina para convertir energía mecánica en energía fluida o hidráulica; En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. La primera bomba hidráulica que se tiene conocimiento es descrita por Arquímedes y es conocida como el Tornillo de Arquímedes, la cual se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Tornillo de Arquímedes



Fuente: Chambers's Encyclopedia (Philadelphia: J. B. Lippincott Company, 1875)

Los tipos de bombas más comunes, según su clasificación, son los siguientes:

1.1.1. Por principio de funcionamiento

- **Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico:** en las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen.
- **Bombas de émbolo alternativo:** en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana.
- **Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas:** en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina.
- **Bombas rotodinámicas:** en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido.

1.1.2. Según el tipo de accionamiento

- **Electrobombas.** Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las **motobombas**, habitualmente accionadas por motores de combustión interna.
- **Bombas neumáticas** que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
- **Bombas de accionamiento hidráulico**, como la bomba de ariete o la noria.
- **Bombas manuales.** Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín.[8]

1.2. MÉTODOS PARA RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA

Con la creciente escasez de agua, la humanidad se enfrenta a la disminución constante de uno de sus recursos más vitales, todo esto a razón de numerosas causas, ya sea mala gestión por parte de las empresas que manejan el líquido o por parte de los usuarios en sus hogares o trabajos, sin embargo, el más afectado por el uso sin responsabilidad de este recurso es el **medio ambiente**, puesto que se ha llegado a un extremo donde los cambios producidos por el desperdicio del recurso o la destrucción o contaminación de las fuentes de agua son irreversibles.

Por lo tanto, se ha llegado al punto en el cual algunas poblaciones del país se ven sin abastecimiento de agua, algunas veces este de forma temporal o en algunos sectores de forma permanentes, tales casos registrados por ejemplo en lugares como la Guajira donde los habitantes deben recorrer largas distancias con el fin de

recolectar agua de pozos subterráneas, los cuales en su mayoría contienen agua que necesita ser tratada antes de poder consumirse.

Una de las soluciones que sin duda alguna puede aliviar o incluso solucionar este problema, es la recolección y el almacenamiento de agua lluvia para su posterior utilización, con la cual se plantea de forma general la recolección de agua lluvia en zonas habitadas tomándola mientras cae, o reutilizando las ya usadas en el hogar (agua de lavado, duchas) en vez de desperdiciarlas o verterlas en los desagües.

Además, debido a su fácil implementación en zonas alejadas o donde no llega el acueducto habitualmente, su bajo costo de operación y mantenimiento, la hacen de las opciones más viables a la hora de ahorrar agua.

1.2.1. Reseña histórica

Por consiguiente, antes de adentrarse a los métodos principales para recolección de agua lluvia, cabe mencionar que históricamente estos sistemas han sido utilizados desde la antigüedad y datan del año 4000 A.C o más, gracias a la continua necesidad del hombre por el aprovechamiento del agua, que en principio al ser el recurso tan abundante y la población mundial más limitada, esto no era ningún inconveniente, pero con el paso del tiempo y el crecimiento demográfico el ser humado se ha tenido que trasladar a zonas más áridas o semiáridas con condiciones adversas para el suministro de agua superficial, por lo cual comenzó el desarrollo de formas de captación de agua alternativas para consumo doméstico y la supervivencia de sus cultivos y animales.

Desde entonces, se han utilizado diversas formas para la captación de agua lluvia a través de la historia, siempre con el fin de mantener la producción agrícola y garantizar las necesidades domésticas de una población, cumpliendo así un papel de suma importancia en zonas desérticas o semidesérticas del planeta.

Algunos de estos sistemas fueron, por ejemplo, sistemas de captación de agua en Israel y Jordania por medio de descenso de corrientes de agua a través de lomeríos, dirigido a predios agrícolas en las zonas bajas, así mismo, en la Ciudad de Roma se contaba en la mayoría de domicilios con un espacio a cielo abierto, por medio del cual captar el agua lluvia, recogido en un tanque comúnmente llamado “*impluvium*”, también en Asia (China) se utilizaban pozos, cisternas, para almacenar agua, del mismo modo, en Centroamérica (Imperio Maya, entre otros) se hallaron pueblos enteros alimentados por agua lluvia captada en cisternas (depósitos subterráneos para recolectar aguas lluvias) llamadas “*Chultuns*” de 5 metros de diámetro las cuales eran excavadas e impermeabilizadas con yeso para evitar filtraciones y fugas, al igual que se encontraron diques, canales, áreas de recolección de agua de hasta 200 m² para con estas surtir de agua a la población durante las temporadas de sequía cuando escaseaba el agua potable.

El uso de estos sistemas de recolección de agua lluvia decreció drásticamente, puesto que con el pasar de los siglos los gobernantes decidían construir más caminos para hacer llegar el agua superficial o subterránea a todos los lugares (agrícolas y domésticos) en vez de reutilizar el agua acumulada en posos o cisternas, además, por el arribo de colonizadores, como por ejemplo los Ingleses, obligaba a los nativos a abandonar las técnicas de recolección tradicionales.

Alrededor del siglo XX, a causa de las enormes poblaciones mundiales en crecimiento, se vio la necesidad de cambiar el método de recolección y acumulación de agua superficial, por un sistema más acorde a las necesidades poblacionales como lo es un Acueducto (redes de comunicación de agua que se distribuyen a cada lugar posible de la población), sin embargo, también se optó por otros sistemas tales como explotación de agua subterránea, a consecuencia de esto, se vio casi reducido por completo el uso de agua lluvia acumulable u otros sistemas alternativos por parte de algunas poblaciones.

Por otra parte, al aproximarse a la actualidad se debe tener en cuenta la inmensa cantidad de zonas áridas y semiáridas, sumándole a estas las zonas donde no es posible llevar las aguas superficiales o con prolongados periodos de sequía donde

no da abasto el agua superficial, por lo cual la situación ha cambiado y se ha acrecentado la inminente necesidad por el uso de sistemas alternativos para recolección de agua y distribución de la misma.

1.2.2. Actualidad de los sistemas de alternativos para recolección de agua

Los sistemas para utilización de agua alternativa surgen como una necesidad latente en el siglo XXI a razón de la falta del suministro de agua y de varias condiciones que afectan a poblaciones en general y algunas más específicas (con zonas desérticas o carentes del recurso).

Algunas de las condiciones para que se genere la necesidad y viabilidad de un sistema de recolección de agua lluvia son:

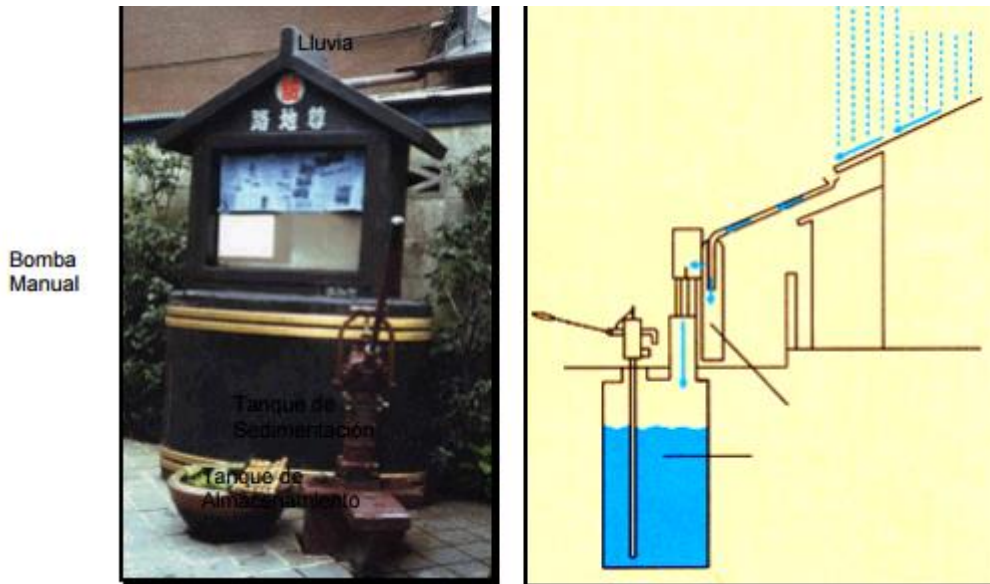
- Costos elevados para el abastecimiento de agua superficial.
- Zonas con largos periodos de sequía.
- Zonas sin la existencia de redes de comunicación de agua potable.
- Zonas donde el abastecimiento de agua se ve restringido temporalmente o de forma continua.

Dado esto, alrededor del mundo se encuentra diversos sistemas para recolección de agua alternativa, algunos de los cuales serán mencionados a continuación:

- En el continente asiático gracias al creciente aumento de la población y la escasez de agua, se ha realizado la implementación de un sistema llamado “Ronjinson”, ubicados en plena vía pública, este sistema urbano funciona de tal manera que el agua fluya a través de los techos de manera descendente y sea vertida en un tanque subterráneo, para ser almacenada y extraída a través de bobeo manual, dirigida para ser utilizada como agua no potable en la mayoría de los casos (riego o aseo del hogar), pero también usada para

consumo humano en situaciones de emergencia, tal como se observa en la figura 2, de manera física al igual que esquemática.

Figura 2. Sistema “Rojinson” para recolección de agua lluvia en zonas urbanas



Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)

Por otra parte, este método de recolección se ha hecho popular puesto que su implementación es muy económica y en el mercado se consigue gran variedad de vasijas o tanques de almacenamiento, desde 1000 hasta 3000 litros con tapa, además de un dispositivo de drenaje que facilita el mantenimiento, que puede costar desde 15 a 35 dólares dependiendo de la ubicación geográfica.

- Por otro lado en Norteamérica, más específicamente Canadá, se encuentra un sistema llamado “*Healthy House*”, el cual consiste en un sistema de canales que envían el agua lluvia a un tanque de almacenamiento, posteriormente se le adiciona Cal para con esta reducir la acidez del agua y

mantenerla fresca; El proceso continua con el paso del agua a través de un filtro de arena fina y carbón con el que se pretenden eliminar las impurezas, para finalizar el proceso, se somete el agua a una desinfección mediante luz ultravioleta, por último cabe resaltar, que el sistema es totalmente autosuficiente por lo que no depende del acueducto regular, y a su vez es capaz de alimentar una casa familiar compuesta por 3 habitaciones y un área de $158 m^2$.

Para comprender mejor tal sistema se describirán los componentes, los cuales pueden ser observados en la Figura 3, de manera esquemática.

P: Deslizamiento del agua que pasa a través de un filtro de pantalla para luego ir al almacenamiento.

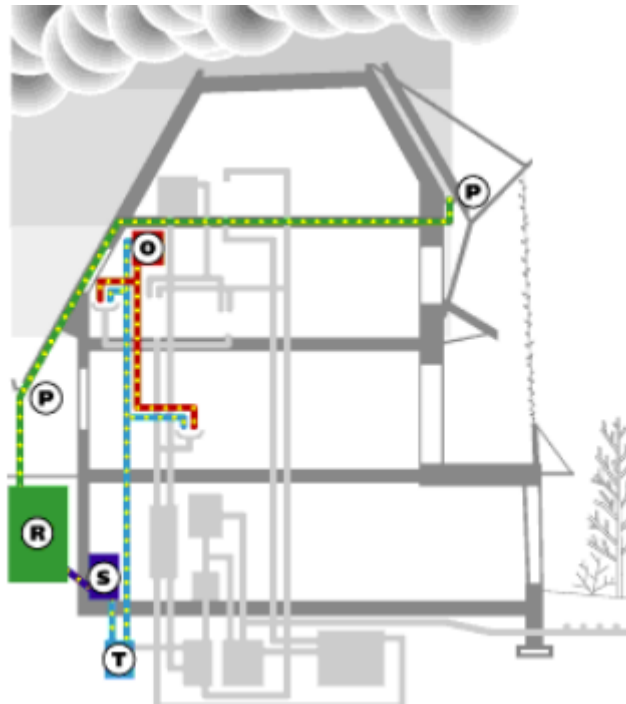
O: Tanque de agua caliente con el fin de abastecer baños y cocina.

R: Tanque para almacenamiento con capacidad de $20 m^3$ de agua lluvia.

T: Tanque de agua fría para consumo humano y del hogar, en este también se vierte el exceso que pueda generarse en el tanque "R".

S: Filtro de arena fina y carbón para eliminar impurezas, por medio de este se llega también al punto de desinfección con luz ultravioleta, para al final ser almacenado para el consumo.

Figura 3. Esquema y distribución de funcionamiento del sistema “Healthy House”, Canadá



Fuente: The Healthy House. Citado de: <https://www.cmhc-schl.gc.ca/en/co/maho/yohoyohe/heho/>

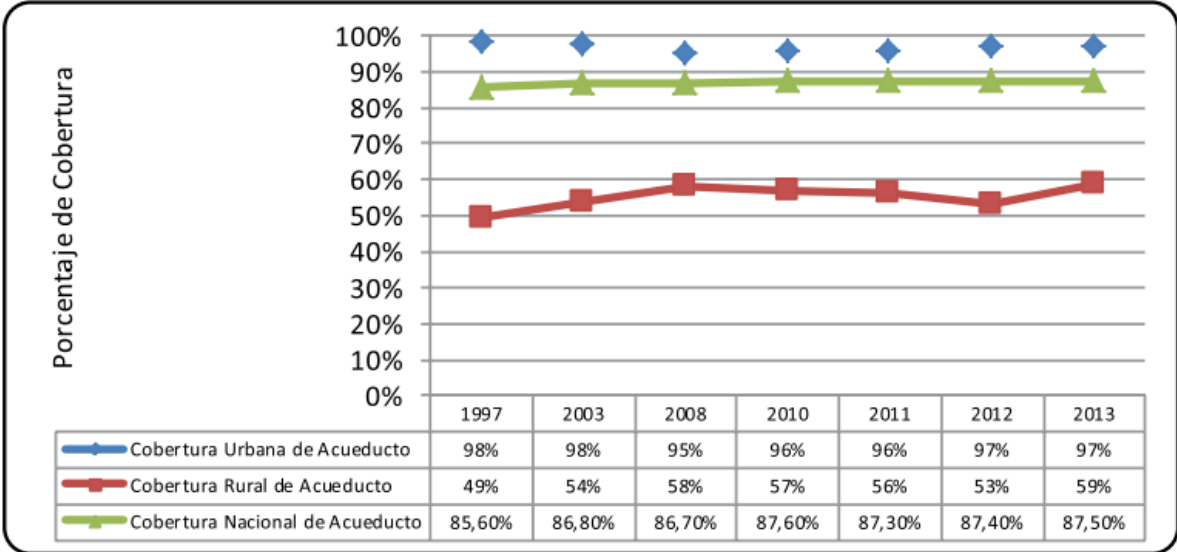
1.2.3. Actualidad de los sistemas de recolección de agua lluvia en Colombia

Previo a introducirnos al tema, cabe resaltar que Colombia cuenta con gran cantidad de recursos hídricos superficiales (Ríos, quebradas, lagos, manantiales) y subterráneos, dado a esto la tecnología de recolección de agua alternativa se ha visto limitada, solo a las zonas con dicho requerimiento, ya sea porque no cuentan con acceso a la red pública de acueducto, o se ubican en zonas demasiado áridas.

Sin embargo es de vital importancia aclarar, que esto aplica mayormente para las áreas urbanas las cuales cuentan con una gran ventaja a la hora del abastecimiento

de acueducto y saneamiento sobre las zonas rurales, a continuación se observa un estudio en conformidad a la calidad de vida realizado por el DANE (departamento administrativo nacional de estadística) donde se observa la variación en cobertura de acueducto en el periodo 1997 al año 2013, donde la zona urbana cuenta con un 97% de cobertura y la rural con tan solo un 59%, tal como se aprecia en la figura 4.[2]

Figura 4. Evolución de coberturas de acueducto (1997-2013)



Fuente: DANE. Encuesta nacional de calidad de vida

Por otro lado, un informe sobre la calidad de agua para consumo humano realizado en el año 2007 por la Defensoría del Pueblo de Colombia, afirma que alrededor de 16,7 millones de habitantes en el país se vieron privados del servicio de agua potable, lo cual muestra la precaria situación de algunas zonas del país para recibir el preciado líquido¹.

Como se mencionó anteriormente, el abastecimiento de agua para zonas rurales se dificulta dado a las características del entorno, tales como, dispersión de viviendas

¹ Defensoría del Pueblo. Reporte de Octubre 7 de 2007

e imposibilidad por parte de las empresas principales para llevar el servicio a dichas zonas ,entre otras, sin embargo el servicio es prestado por organizaciones comunitarias capacitadas por el municipio para administrar dicho líquido.

Por consiguiente, para el año 2005 el DANE revela que cerca del 52,9% de los habitantes de la zona rural del país no posee servicio de acueducto, es decir, alrededor de 5.816.120 habitantes, estos para abastecerse en la mayoría de casos deben recorrer largas distancias hasta llegar a ríos o arroyos, de igual manera dependiendo de la ubicación del terreno utilización la extracción de agua de pozos subterráneas, la cual es muy dificultosa para extracción manual sin equipo adecuado, además de que se adquiere de muy baja calidad².

Finamente, cabe mencionar algunas edificaciones en Colombia las cuales disponen de aprovechamiento de agua lluvia, para alimentar parcial o totalmente sus instalaciones, por ejemplo:

- Alkosto Venecia (Bogotá) donde se capta 4.830 m³/año por medio de 6.000 m² de superficie con la cual se alimenta el 75% de la necesidad de agua potable para las instalaciones.
- El almacén Alkosto Villavicencio donde se almacenan 150 m³ de agua, captados a través de 1.061 m² de superficie, está a sus vez es procesada por fluctuación, filtrado y cloración, para alimentar todas las necesidades de agua potable del recinto durante todo el año.

² Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Censo del año 2005.

1.2.4. Características generales de los Sistemas de recolección de agua lluvia

Fundamentalmente, se mencionan algunas de las características generales (ventajas y desventajas) de un sistema de recolección de agua alternativa, teniendo en cuenta que están sujetas a variaciones en torno a la zona de empleo del sistema, y si será para uso de agua potable o no apta para consumo humano, espacios disponibles para la instalación, entre otros.

Así pues, se observan las siguientes características:

VENTAJAS

- Independencia parcial o total del sistema de acueducto municipal.
- Reducción de sistemas para transporte de agua superficial, con lo cual se reduce el daño al subsuelo y por consiguiente al medio ambiente.
- Bajos costos de mantenimiento, realizados mayormente por el mismo usuario.
- No requiere energía eléctrica para la operación del sistema.
- Comodidad y ahorro de costos, redituables a mediano plazo.

DESVENTAJAS

- Elevado costo inicial, lo cual puede ser un impedimento para los sectores rurales y alejados, que cuentan con bajos recursos económicos.
- El suministro de agua está sujeto, a la temporada de lluvia y el área disponible para la captación.
- Se requiere de un manteniendo constante, si se pretende mantener lo más alta posible la calidad del agua (para uso potable).
- Para lograr la autosuficiencia, se necesitan tanques con capacidades elevadas que pueden ir des 50,000 a 100.000 litros, obviamente contando con áreas de captación capaces de suministrar dicha cantidad de líquido.

1.2.5. Normativa para el agua potable en Colombia

En la actualidad existe gran cantidad de normativa que gira alrededor del agua potable en Colombia, ya sea en base a su distribución, tratamiento, extracción o conservación de la misma, a continuación se recalcan algunas de las más importantes:

- La sentencia T- 413 de 1995 señala, *“Cuando este se refiere a la salud humana y a la salubridad pública el derecho al agua es fundamental, afirma que es prioridad del estado atender necesidades domésticas y garantizar el agua potable para toda la familia”*. Jurisprudencia constitucional de Colombia.
- La sentencia T-717/10 informa, *“Toda persona tiene derecho fundamental prima facie a disponer y acceder a cantidades suficientes y de calidad, de agua para consumo humano, al igual que su derecho a desconexión, suspensión o racionalización del servicio público de acueducto, si hay alguna interferencia debe ser justificada por quien al adelante”*. Corte constitucional de Colombia.
- Además, el decreto 1575 de 2007, capítulo II y III, artículos 3 y 4 respectivamente, donde se menciona las características y criterios de calidad que debe tener el agua potable para consumo humano, y los responsables del control y vigilancia para garantizar la calidad de dicha agua³.

³ <http://www.corteconstitucional.gov.co/>. Decreto 1575 de 2007.

1.2.6. Análisis pluviométrico local

La pluviosidad es la cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre, y es un valor vital a la hora de determinar la viabilidad del sistema en una determinada ubicación, para así saber qué tanta agua poder recolectar durante un periodo de tiempo determinado.

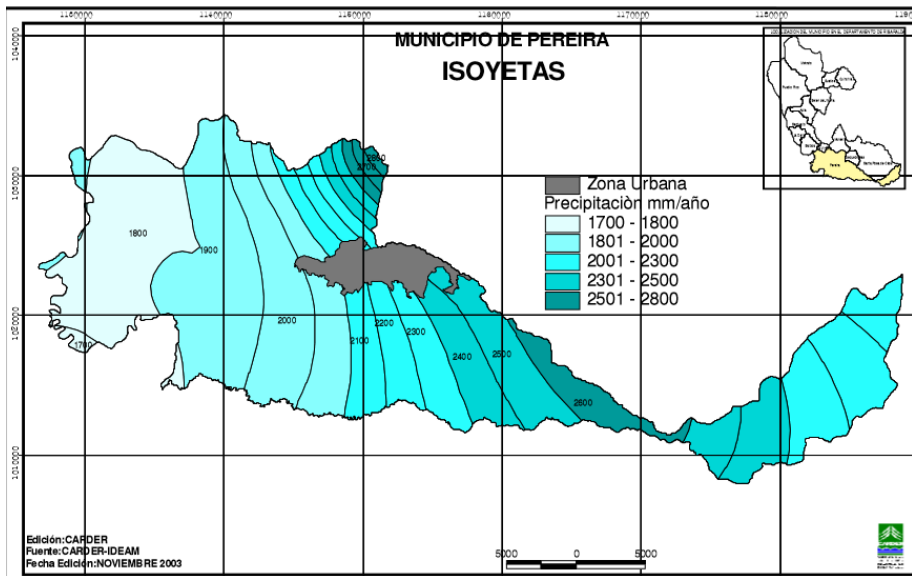
El proyecto se realizó en la ciudad de Pereira, municipio del departamento de Risaralda el cual junto con Dosquebradas y la Virginia componen el área Metropolitana centro occidente, está situada a una altura promedio de los 1.411 metros sobre el mar, con temperaturas promedio de los 21° C y con una precipitación media anual de 2.108 mm.

Según la CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda) en el diagnóstico de riesgos ambientales del municipio, se indica que *“Pereira presenta dos períodos lluviosos al año con máximos en abril- mayo y octubre- noviembre.*

En el Mapa de Isoyetas de Pereira (figura 5), desarrollado en el Estudio de Oferta y Demanda Hídrica en la Subregión 1 del departamento, se puede ver que la precipitación en este municipio, varía entre 1.700 y 2.800 mm/año, presentando las mayores pluviosidades en la franja central del municipio con valores entre 2.300 y 2.800 mm/año. La precipitación tiende a disminuir hacia el occidente en proximidades del Río Cauca, llegando a los 1.800 mm/año; y en la parte oriental hacia el Parque Nacional Natural de los Nevados con precipitaciones cercanas a los 2.000 mm/año. La precipitación promedio anual del municipio es de 2.108 mm⁴.”

⁴ Cálculo con base en datos del Estudio de Oferta y Demanda Hídrica en la Subregión 1 del Departamento de Risaralda, Op. cit.

Figura 5. Gráfica de precipitaciones abundantes en Pereira

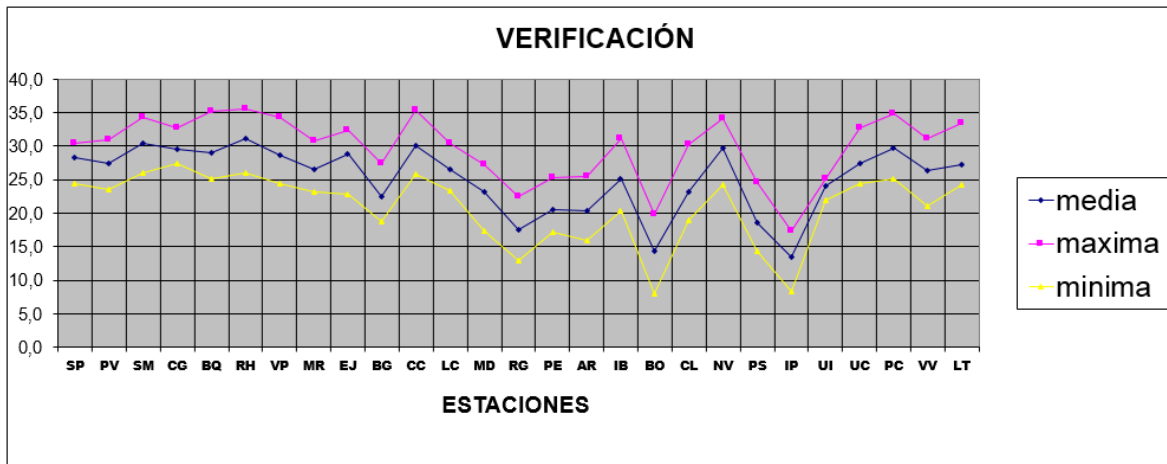


Fuente: CARDER

Es de tener en cuenta entonces que la humedad relativa juega un papel importante en las estadísticas de pluviosidad ya que esta indica la cantidad de vapor de agua que existe en el ambiente, por esto Pereira tiene una humedad relativa con valores promedio del 79 % en los meses más lluviosos (Abril-Mayo, Octubre-Noviembre), en enero y febrero que son los más secos puede estar entre el 71% y el 73%.

Pereira tiene temperaturas mínimas de 16°C y máximas de hasta los 28°C como lo muestra la Figura 6.

Figura 6. Reporte diario estado del tiempo IDEAM 9 noviembre 2015



Fuente: IDEAM

Para el mes de noviembre de 2015 se espera tener al menos una precipitación promedio de 287,9 mm; para el día 9 de noviembre se tenía acumulado unos 84,1 mm entendiendo que para los días recorridos del mes 8 habían tenido lluvias.[1]

Revisando este reporte se identifica también que las ciudades en las que se espera más precipitación son Quibdó y Villavicencio con 683,1 y 424,5 mm respectivamente y los más bajos Santa Marta y Riohacha con 63,5 y 70,8 mm.

En Pereira y Dosquebradas hay empresas que se benefician de los sistemas de recolección de agua lluvia, UNE por ejemplo, utiliza un tanque de 100 m³ el cual alimentan con agua lluvia recogida por las canaletas del techo. El agua allí recolectada es usada un 40% del tanque para baños, pocetas y orinales además del sistema de extinción y el otro 60% para cocinetas y lavamanos; UNE en el año 2013 tuvo beneficios alrededor de los 10 millones de pesos lo cual es realmente relevante en costos operacionales.

1.3. LA BICICLETA

El siguiente elemento de vital importancia en el proyecto es la bicicleta, es un vehículo de transporte que funciona por propulsión humana. Entre sus componentes básicos consta de dos ruedas, un sistema de transmisión y una estructura que une estos y permite al usuario dar impulso a esta. Uno de los motivos de su elección es que es un vehículo amigable al medio ambiente, sano, ecológico y sostenible, además que al ser usado para el propósito de este proyecto permitirá combatir el sedentarismo en los hogares, así como generar un ahorro en los gastos del hogar.

El funcionamiento consiste en la rueda tractora que origina en el punto de contacto con el suelo, un centro de rotación instantáneo. El pedaleo provoca en el eje de la rueda una fuerza lineal de impulsión, que sobre el centro instantáneo de rotación, genera un momento de rotación y una fuerza lineal que es la que impulsa a la bicicleta. El movimiento de las ruedas genera también un efecto giroscópico que es la causa de la estabilidad de la bicicleta, efecto por el que una bicicleta o una motocicleta pueden inclinarse en curvas sin perder la estabilidad.

La bicicleta es un medio efectivo para quemar calorías y mejorar la salud, además de ayudar a reducir el sedentarismo al usar la bicicleta en este sistema de bombeo, también permite a los usuarios un ahorro en los gastos de agua en el hogar. Según un estudio de la universidad de Harvard⁵ donde se muestran la cantidad de calorías quemadas en 30 minutos de ejercicios varios, se encuentra que una persona de 70 kilos puede quemar 260 calorías. También se encuentra que hacer ejercicio en bicicleta ayuda a manejar la depresión y reducir la ansiedad⁶.

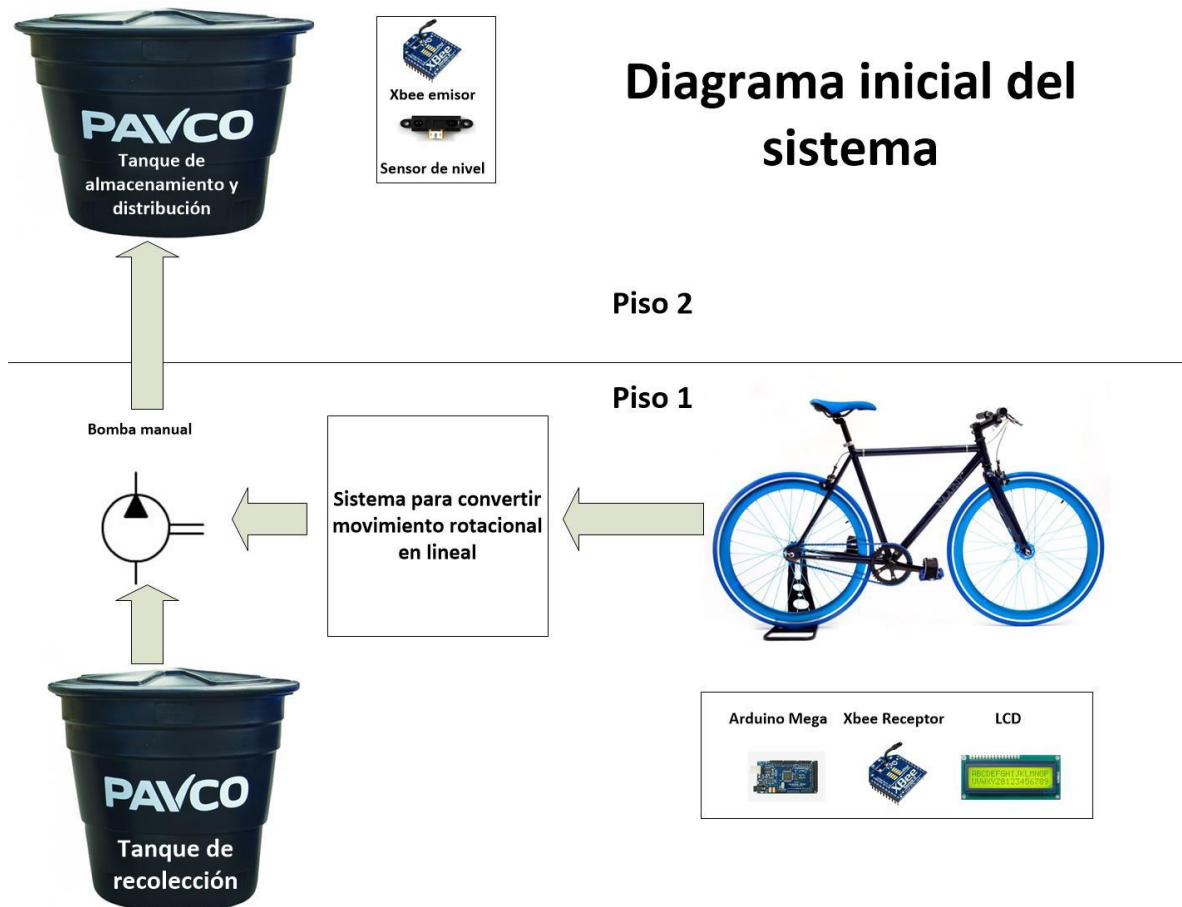
⁵ <http://www.health.harvard.edu/newsweek/Calories-burned-in-30-minutes-of-leisure-and-routine-activities.htm>

⁶ <http://www.besthealthmag.ca/best-you/fitness/the-benefits-of-biking>

1.4. PLANOS Y SIMULACIÓN DE ESFUERZOS PARA EL SISTEMA

Inicialmente, se presenta en la figura 7, un diagrama del sistema inicial con el cual se muestra el punto de partida para el desarrollo del proyecto.

Figura 7. Diagrama inicial para el sistema de recolección de aguas lluvias



Fuente: los autores

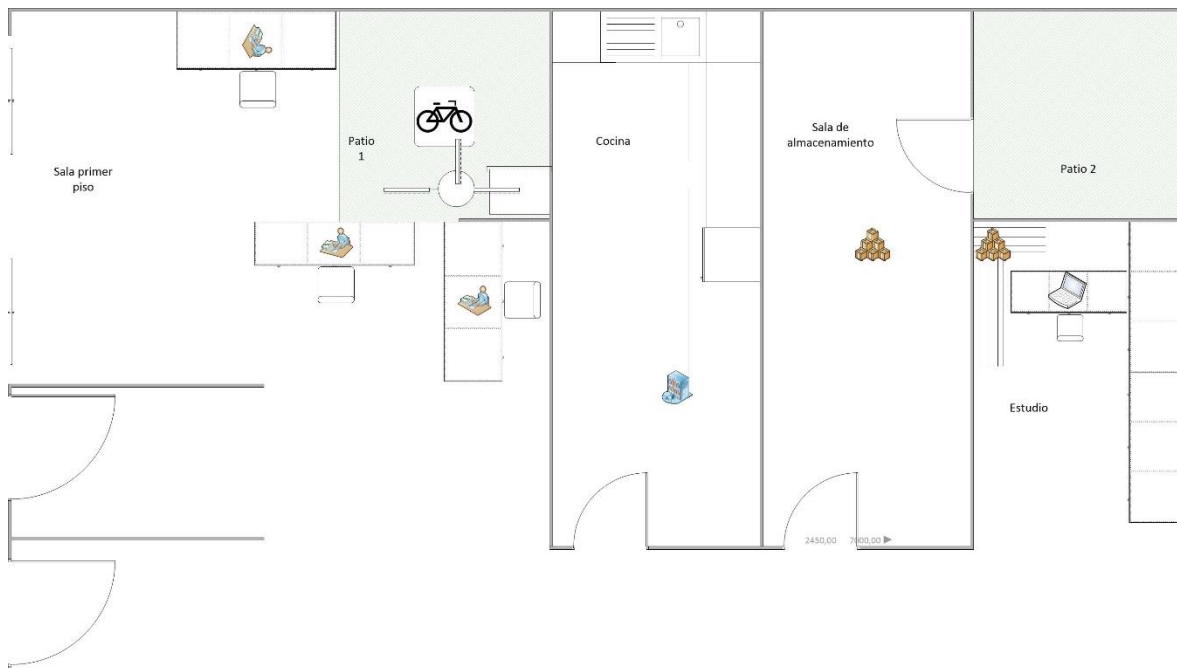
Por consiguiente, el primer paso a la hora de analizar el entorno de instalación para el sistema, fue la realización de planos estructurales, realizados con el software para dibujo vectorial Microsoft Visio, y con estos acercar al entorno real las dimensiones del proyecto.

1.4.1. Plano de la vivienda

La instalación del dispositivo se realizó en primera instancia en una vivienda de tres pisos.

En la figura 8, se puede apreciar un esquema desde una vista superior en la cual se puede identificar las divisiones de la vivienda, donde se había planeado instalar el sistema; en el momento de la instalación se tuvo que hacer algunos cambios debido a que por orden y distribución del hogar no se debía poner en donde inicialmente fue planeado (patio 1), puesto que es en este espacio donde funciona una empresa y no era pertinente colocarlo allí; por lo cual fue necesario hacer modificaciones a los planos, distancias y cálculos para finalmente ubicarlo en el Patio 2 como se puede apreciar en la figura 9.

Figura 8. Plano vista superior y divisiones de la vivienda



Fuente: Los autores

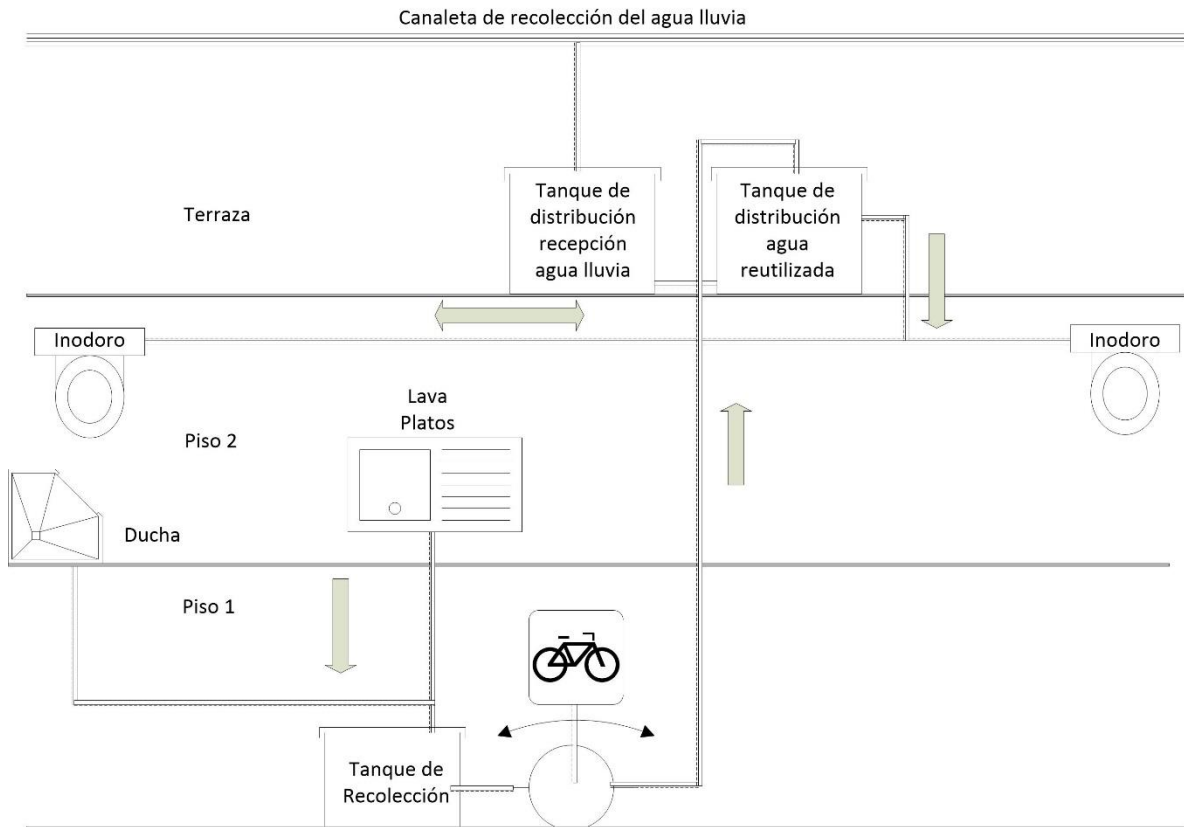
Figura 9. Plano vista superior y divisiones de la vivienda 2



Fuente: los autores

En la figura 10 se observa una vista lateral de la vivienda en donde se describe el sistema de tuberías, recolección y distribución del agua; esta vista muestra un mejor panorama de la instalación del sistema en donde se recolecta el agua lluvia a través de las canaletas del techo, de la ducha y el lavaplatos para ser almacenada en un tanque en la parte inferior de la vivienda, para, posteriormente con el sistema de bombeo de la bicicleta, poder subir el líquido hacia un tanque en la terraza y utilizando la gravedad poder alimentar los inodoros y hacer uso del agua recogida.

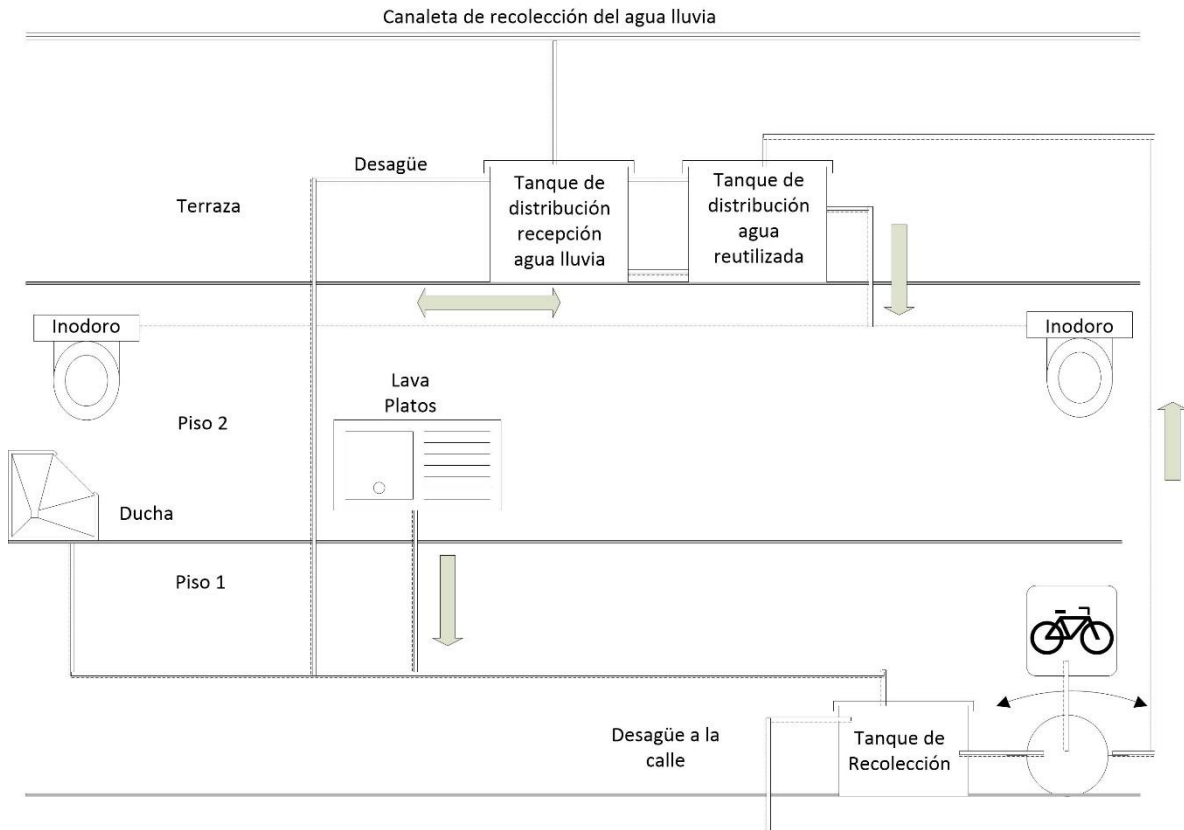
Figura 10. Plano vista lateral y descripción de componentes



Fuente: Los autores

Así mismo, se hizo un cambio a la instalación en una nueva ubicación como se observa en la figura 11, con el fin de hacerlo más óptimo y de esta forma utilizar el agua en un porcentaje mayor, además de buscar la instalación de desagües más cercanos para evitar el desbordamiento en épocas de lluvia y también llevar el agua de manera más directa.

Figura 11. Plano vista lateral y descripción de componentes 2

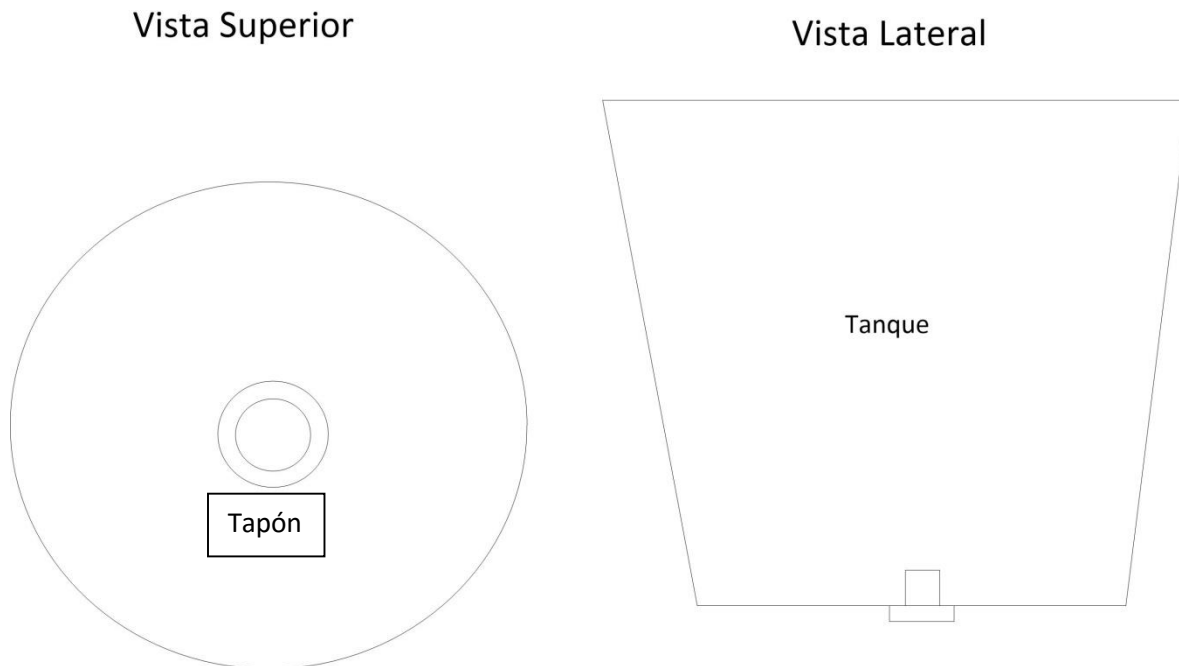


Fuente: Los autores

1.4.2. Plano para limpieza de tanques

El tanque de almacenamiento y recolección debe ser limpiado cada cierto periodo de tiempo, para ello se debe ubicar un desagüe o tapa en la parte inferior del mismo para poder evacuar las impurezas que se acumulan en la base del tanque, posteriormente se hará énfasis a la parte de mantenimiento del sistema, con el fin de aumentar la durabilidad y viabilidad a largo plazo. Un esquema general de cómo debe ser ubicada tal evacuación de impurezas, se presenta en la figura 12.

Figura 12. Plano para evacuación de impurezas en la base del tanque



Fuente: Los autores

Cabe destacar que el sistema de tuberías lleva filtros en la entrada y salida del líquido por cada tanque, para tener mayor calidad del agua, aun así, no se recomienda el uso como agua potable ya que la calidad no es óptima.

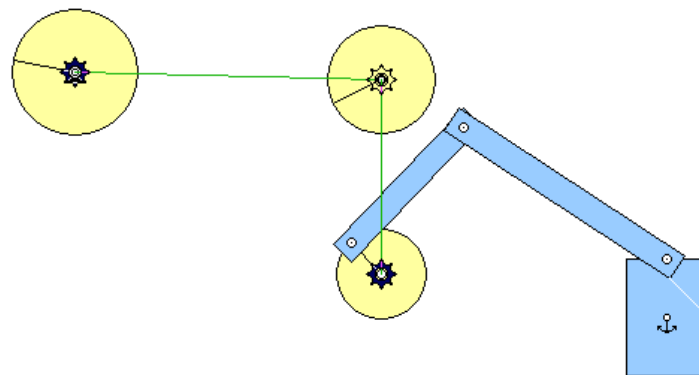
1.5. SIMULACIONES

Continuando así, se puede apreciar las simulaciones tanto del mecanismo (biela manivela), como de la base en la cual se monta la bicicleta, además de una extensión de la base con la cual se le agrega estabilidad a la misma, se pueden apreciar en las siguientes ilustraciones.

1.5.1. Simulación del mecanismo biela manivela

El mecanismo que se utilizó para el desarrollo del sistema es el de **biela manivela**, puesto que se adecuaba de la mejor manera a las necesidades de la bomba manual de succión, su simulación fue realizada en el software Working Model (software para simulación de mecanismos), tal como puede observar en la figura 13; este mecanismo que transforma un movimiento circular en uno de translación, sirve para dar el movimiento ascendente y descendente que necesita la bomba, para generar succión e impulso del líquido.[3]

Figura 13. Simulación de mecanismo biela manivela

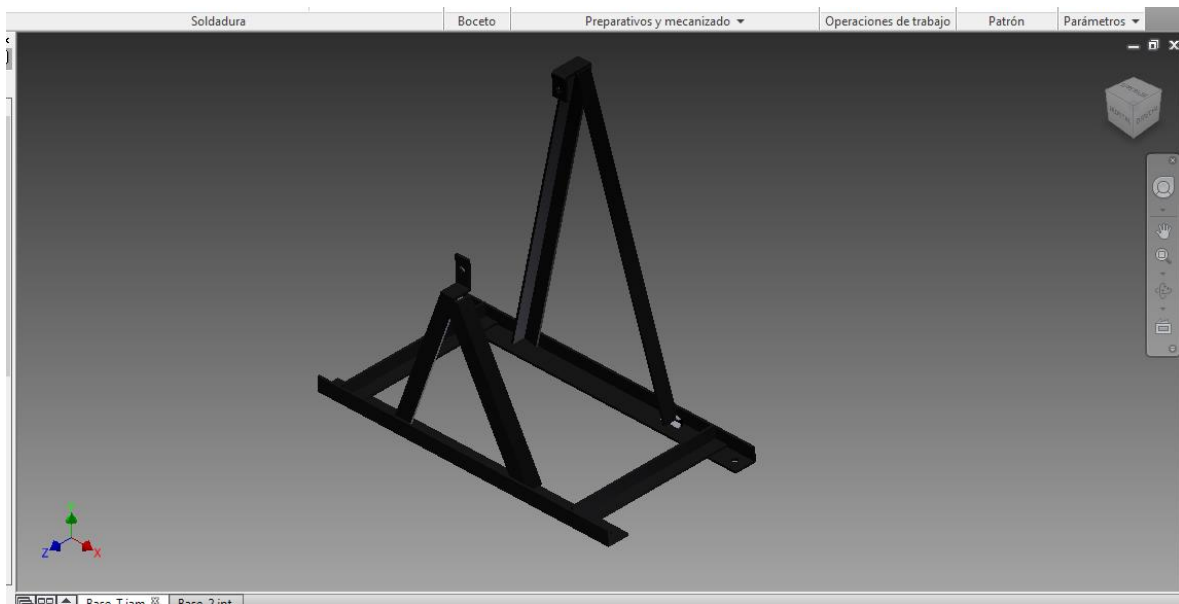


Fuente: Los autores

1.5.2. Simulaciones en torno a la Base bicicleta

El mecanismo junto con la bicicleta viene sujeto a una base cuyo diseño se realizó en el software CAD Autodesk Inventor, dicha base se planteó con el fin de darle la mayor estabilidad posible y comodidad para el usuario, para usarla por periodos largos e incluso intermitentes dependiendo de la necesidad a satisfacer en el hogar, esta se puede ver en la figura 14.

Figura 14. Simulación base bicicleta

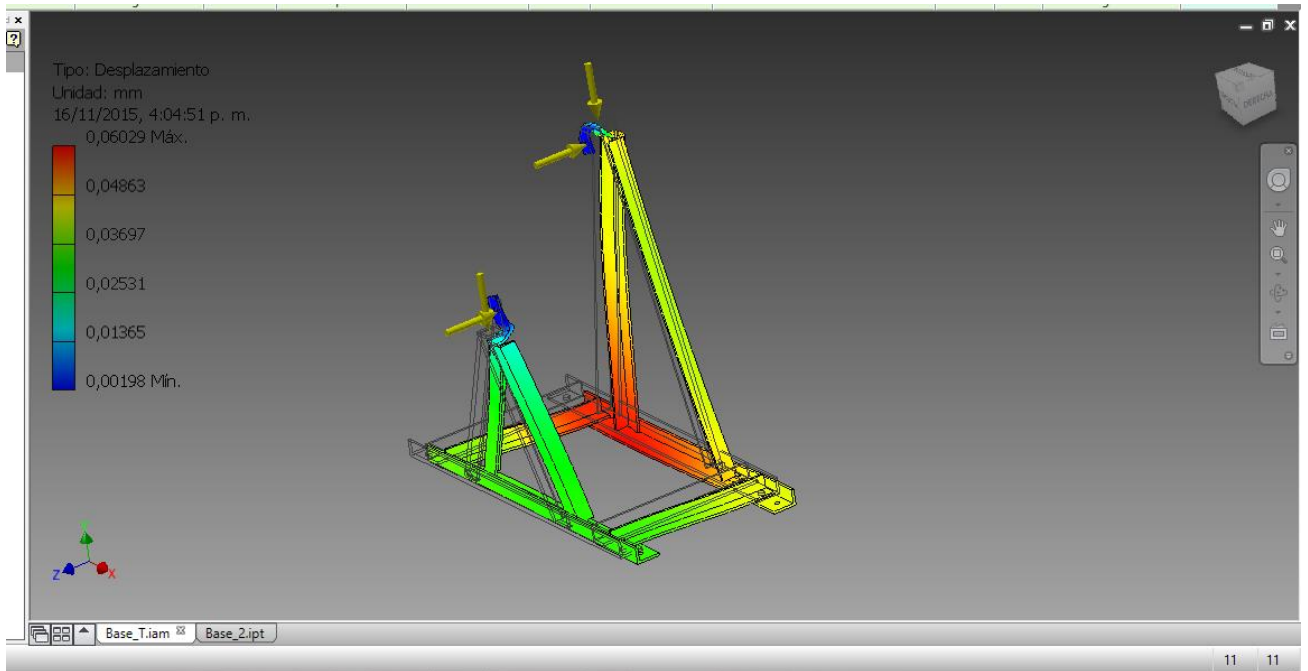


Fuente: Los autores

Con el fin de comprobar la eficiencia y seguridad del elemento (base bicicleta), se realiza la simulación de esfuerzos con la que se pretende dictaminar si soportará el esfuerzo al que será sometido, por consiguiente, brinda un factor de seguridad, para con este saber que la base mantendrá la integridad del sistema, igualmente, se analiza la tensión de ruptura generada en todo el elemento (Tensión de Von Mises) y por último, el desplazamiento de las uniones en base a la fuerza aplicada.

Primero que todo, se realizó una simulación para ver si el sistema es capaz de soportar a una persona de 80 kg (peso promedio de los usuarios donde se instaló el sistema), dicha fuerza fue aplicada en los puntos clave donde se conecta la bicicleta a la base, los resultados de desplazamiento se ven en el figura 15.

Figura 15. Simulación de tipo desplazamiento

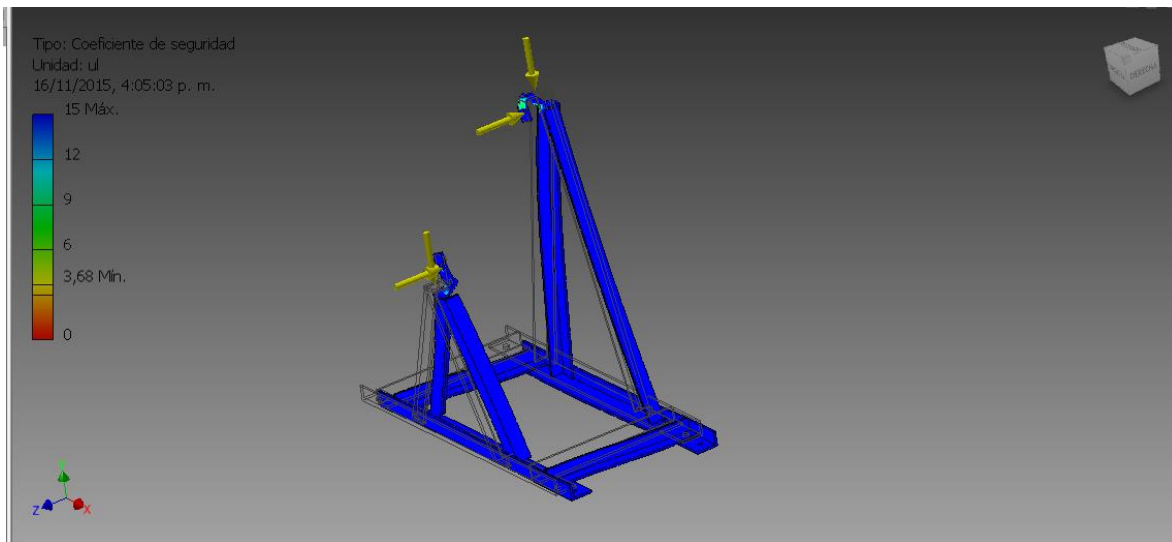


Fuente: los autores

Los resultados indican que la pieza no sufre deformaciones que afecten la integridad del sistema y arrojan un **coeficiente de seguridad** que se aprecia en la figura 16; cabe aclarar, que dicho coeficiente es el cociente entre el alcance máximo del sistema y el valor real que al que será expuesto, por tal motivo este es un número mayor que uno, que indica el exceso de carga al cual puede ser sometido por sobre sus requerimientos.

El factor de seguridad para el sistema es de 3.68, lo cual señala que el elemento puede soportar fuerzas de aproximadamente hasta cuatro veces el peso de un usuario de 80 kg.

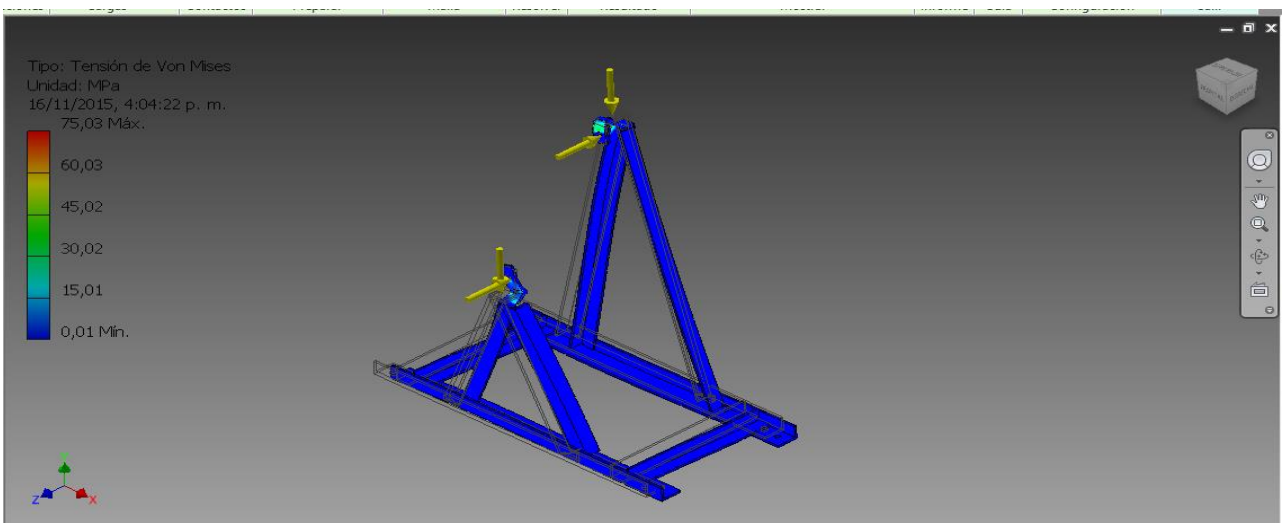
Figura 16. Simulación de tipo Coeficiente de seguridad



Fuente: los autores

Por último, por parte de las simulaciones del elemento Base bicicleta, se aprecia la Tensión de Von Mises, con la cual se confirma que el elemento no sufrió ninguna distorsión o ruptura, tal como se aprecia en la figura 17.

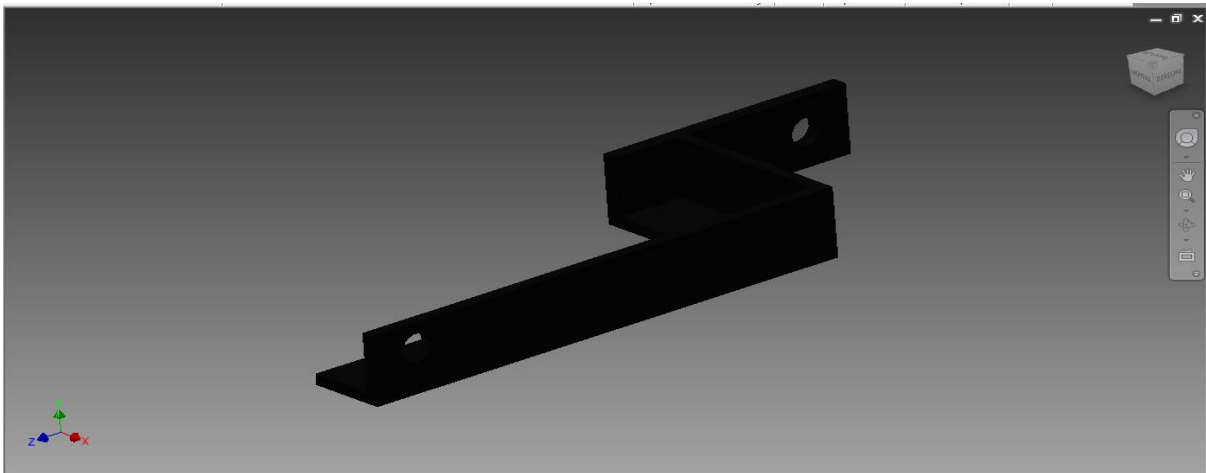
Figura 17. Simulación de tipo Tensión de Von Mises



Fuente: los autores

En adición, con el fin de agregar más estabilidad al sistema en general, se diseña un accesorio el cual al ser unido a la Base bicicleta, aporta más estabilidad y brinda al usuario la confianza de la que la base no sufrirá inclinaciones hacia el lado más corto, reducirá las vibraciones al pedalear y mejora de manera sustancial el confort al usarla, este aditamento se observa en la figura 18.

Figura 18. Simulación aditamento Base bicicleta



Fuente: los autores

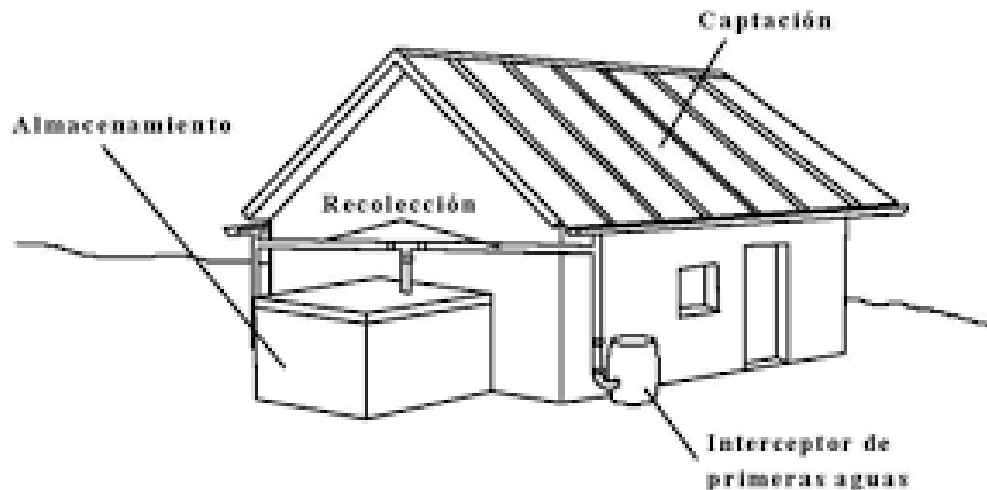
2. COMPONENTES BÁSICOS DEL SISTEMA

A seguir, se describen los componentes principales para un sistema básico de recolección de agua alternativa, los cuales son:

- Captación y recolección
- Almacenamiento
- Drenaje y desagüe

Tal como se observa en el siguiente esquema:

Figura 19. Componentes básicos para captación de aguas lluvias



Fuente: CEPIS, 2004. Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia

Asimismo el sistema tendrá, además de los componentes mencionados, los siguientes:

- Válvula anti retorno.
- Sistema de bombeo.
- Bomba mecánica para agua o aceite.
- Base bicicleta.

Se procede a describir dichos elementos.

2.1. CAPTACIÓN Y RECOLECCIÓN

Es la parte superficial del sistema (techos en general, duchas, lavamanos) se encarga de la recepción de agua lluvia, esta generalmente cuenta con una inclinación no inferior al 5% con la cual lograr el escurrimiento del agua hacia las canaletas, en este caso el **sistema de captación** está ubicado en un techo en forma de “V” así el agua es guiada a un canal que recoge el agua y por medio de tuberías lo lleva a un tanque donde es recolectado para su uso posterior; para el caso del **sistema de recolección**, se compone de todos los bordes y canaletas que recogen el agua escurrida por el sistema de captación (techos), hasta llevarla al lugar deseado, comúnmente se recomienda que sean de un material liviano con juntas fáciles de adherir con el fin de reducir las fugas de agua, y un ancho no inferior a 75 mm y máximo de 150 mm.[5]

En la figura 20 se muestra el sistema de captación y recolección con sus elementos.

Figura 20. Sistema de captación y sus elementos característicos

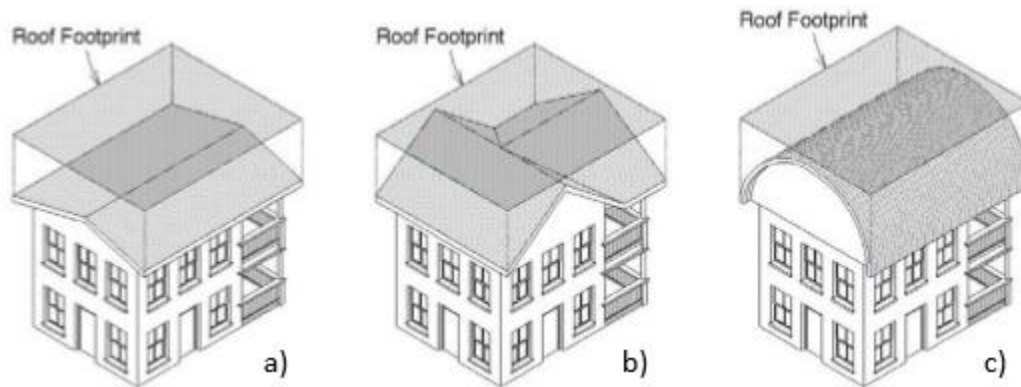


Fuente: los autores

- 1) Canal de recolección.
- 2) Tubería de distribución.
- 3) Válvula de paso.
- 4) Tubería salida a tanque.

En adición a esto, se debe conocer que el sistema de captación puede ser derivado de casi cualquier tipo de techo, desde que cumpla con la inclinación mínima para escurrimiento del 5%, comúnmente los techos emplean materiales como tejas de arcilla y cemento debido a su gran durabilidad, un precio relativamente bajo y al mismo tiempo son capaces de proveer agua de buena calidad, aun así, se reitera que el agua no sería apta para consumo humano, ya que puede contener materiales tóxicos derivados de la misma agua lluvia o del techo; para concluir se aprecian en la figura 21, tres tipos diferentes de techos posibles y adecuados para la captación de aguas lluvias.

Figura 21. Algunos tipos de techos posibles para captación de agua lluvia



Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting. 2005.

2.2. ALMACENAMIENTO

El agua lluvia recolectada es almacenada en un tanque que se aprecia en la figura 22, destinado para la acumulación, depósito, conservación y posterior utilización el agua, que luego es distribuida para ser usada en algunos puntos de la casa como baños, duchas o aseo general del hogar. El tanque posee una capacidad de 500 litros y además está conectado a un tanque de la misma capacidad, esto con el fin de que el sistema tenga un constante flujo de agua y de tener mayor capacidad, y facilitar el mantenimiento.

Se recomienda, que la unidad:

- Disponga siempre de una tapa con el fin de evitar pérdidas de líquido (transpiración) y problemas de proliferación de insectos.
- Una altura no mayor a 2 m con el fin de evitar sobrepresiones o el uso de una válvula anti retorno con la cual aliviar el sistema.
- Estar dotado de un sistema de filtrado (figura 12).

- El uso de filtros en la salida de agua del taque con el fin de acumular todas las impurezas de gran tamaño y mejorar la calidad del agua.

Figura 22. Tanque de almacenamiento



Fuente: Los autores

2.3. DRENAJE Y DESAGÜE

Una vez el tanque está lleno o se quiera utilizar el agua el sistema, posee de tres alternativas, bien sea utilizar el agua usando una llave de paso que permita el flujo del líquido a través del sistema de tuberías del hogar, o bien cuando el tanque llega a su límite el líquido sale por una tubería de desagüe que se ven en la figura 23, por

último, cuenta con la posibilidad de redirigir el agua sobrante a otro tanque de recolección ubicado en la parte inferior del hogar.

Figura 23. Sistema de drenado



Fuente: Los autores

2.4. VÁLVULA ANTIRETORNO

Se recomienda la utilización de una válvula antiretorno, con el fin de evitar presiones que puedan sobrecargar el sistema, generar cavitaciones (bolsas de aire en los elementos de paso de agua), o incluso daños graves a los elementos sometidos a gran presión como la bomba o la tubería, esta válvula se aprecia en la figura 24.

Figura 24. Válvula anti retorno de media pulgada



Fuente: los autores

2.5. COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO

El dispositivo que se implementó consta de un mecanismo tipo biela manivela mencionado anteriormente, el cual fue realizado en acero y se puede observar en la figura 26, este va acoplado a la bicicleta y a su vez a una base, la cual permite la interacción de todos elementos de manera uniforme.

Este mecanismo que se observa en la figura 27, se utiliza con el fin de convertir el movimiento rotacional generado por el pedaleo en la bicicleta, a un movimiento lineal alternativo, con el cual ascender y descender el vástago de la bomba.

2.5.1. Bomba mecánica para succión de agua o aceite

Esta bomba de desplazamiento positivo, exactamente de membrana, la cual combina la apertura y cierre de válvulas con el movimiento reciproco de una

membrana de caucho; para lograr succionar e impulsar el líquido genera una presión interna y compresión del fluido, así incrementa la energía del fluido mismo y lo impulsa a gran velocidad o altura, en este caso hacia el tanque de almacenamiento, tal cual se aprecia el elemento en la figura 25.

Figura 25. Bomba manual para agua o aceite



Fuente: los autores

Cabe agregar, que para la construcción de este mecanismo (biela manivela) se utilizó el proceso de maquinado (remoción de viruta de un elemento) con el fin de adecuar los “Platos de bicicleta”, fusionado por soldadura al eje de rotación (manzana de bicicleta), los cuales funcionan como dos engranes unidos por una cadena, tal cual se observa en la figura 26.

Figura 26. Mecanismo biela manivela



Fuente: los autores

A continuación, se aprecia en la figura 27 el ensamblaje entre el mecanismo y la base de la bicicleta.

Figura 27. Unión entre la base, mecanismo y bicicleta



Fuente: los autores

Posteriormente, el sistema biela manivela es adecuado con abrazaderas metálicas a la bomba a una distancia en la que se logre el mayor rango de bombeo, la cual es de 45 cm desde el centro de la base, puesto que a esta distancia el mecanismo logra su máximo recorrido y por lo tanto su mayor capacidad de bombeo.

2.5.2. Base bicicleta

El sistema como se dijo es sostenido por una base metálica en material angular de media pulgada, se realizó con base a las simulaciones mencionadas anteriormente con lo cual se garantizaba la integridad, confort y funcionalidad del sistema.

A continuación, se observa la base para la bicicleta, junto con su respectivo aditamento, ver la figura 28.

Figura 28. Base bicicleta y aditamento



Fuente: los autores

Luego de tener el sistema listo se procedió a unirlo con la bicicleta para luego ubicarlo en la vivienda de tres pisos donde se realizaron las pruebas de funcionamiento, así se aprecia en la figura 29.

Figura 29. Sistema de bombeo por pedal (mecánico)



Fuente: Los autores

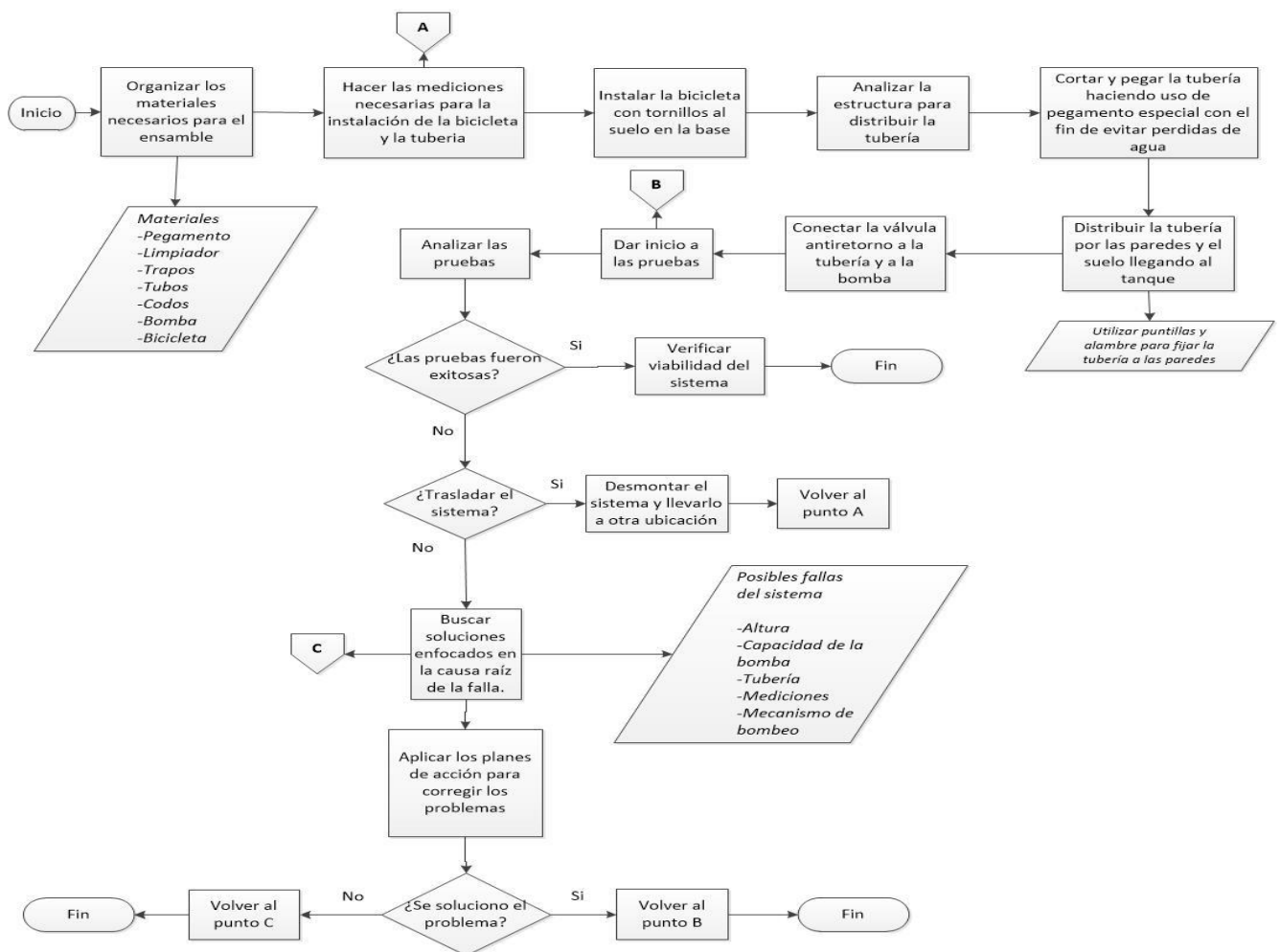
Para la distribución del líquido se usó tubería de 1/2 pulgada, anticipando que la bomba va a estar sometida a una presión alta, se le agregó una válvula anti retorno mencionada previamente para aliviar el proceso y así facilitar el desplazamiento del líquido.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

Para la implementación del dispositivo se desarrollaron dos escenarios de instalación (casa de tres y dos pisos), con base al diagrama que se observa en la siguiente figura:

Figura 30. Diagrama para instalación del sistema

Proceso de instalación inicial del sistema de bombeo



Fuente: los autores

3.1. CASA DE TRES PISOS

Como ya se habló anteriormente el lugar escogido para la implementación es un hogar de tres pisos, en la cual el sistema de bombeo estará ubicado en la primera planta.

El primer paso fue la instalación de la bicicleta y la bomba, se midió la distancia entre la bomba y la bicicleta la cual fue a una distancia de 45 cm desde el eje central del mecanismo, luego se fijó el sistema al suelo con la ayuda de un taladro y chazos para agregar mayor estabilidad al mismo. El resultado se puede ver en la figura 31.

Figura 31. Sistema de bombeo mecánico



Fuente: Los autores

Luego de la sujeción al suelo, el paso a seguir es la construcción del sistema de tuberías, que conectará la bomba hasta el tanque ubicado en el tercer piso de la vivienda. Para la unión de las tuberías se usó pegamento especial y se tomaron las medidas necesarias para el corte de los tubos.

En la figura 32, se muestra el inicio del sistema de tuberías, donde se prepara la conexión de la bomba para que coincida con la tubería puesto que son de dos calibres diferentes, así que se convierte la salida y entrada de agua de la bomba de 3/4" a 1/2" pulgada, esto es posible teniendo en cuenta que la **ecuación de la continuidad** garantiza que el flujo volumétrico debe ser el mismo en ambas tuberías, desde que el envío de agua sea constante.

$$Q = A \cdot v$$

Q= Caudal (m³/s)

A= Área (m²)

V= Velocidad (m/s)

De igual manera, se debe tener en cuenta que todo sistema presenta pérdidas comúnmente en la bomba (golpe de ariete, cavitación) y en todos los accesorios que componen el sistema de transporte de agua, así estas pérdidas se relacionan como longitud equivalente de acuerdo con la tabla 1, y su sumatoria son las pérdidas totales en succión.

Tabla 1. Longitud equivalente en pérdidas ubicadas en la tubería

DIAMETRO (pulg)	CODO 90° RADIO LARGO	CODO 90° RADIO MEDIO	CODO 90° RADIO CORTO	CODO 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	VALVULA DE CONTEN ABIERTA	VALVULA DE GLOBO ABIERTA	TEE DE PASO DIRECTO	TEE PASO DE LADO	TEE SALIDA BILATERAL	SALIDA DE TUBERIA	VALVULA DE RETENCION TIPO LLAVE	VALVULA DE RETENCION TIPO POZO
1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	0,3	1,0	1,0	0,4	1,1	1,6
3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,2	0,5	0,1	6,7	0,4	1,4	1,4	0,5	1,6	2,4
1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,7	0,2	8,2	0,5	1,7	1,7	0,7	2,1	3,2
1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,9	0,2	11,3	0,7	2,3	2,3	0,9	2,7	4,0
1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	1,0	0,3	13,4	0,9	2,8	2,8	1,0	3,2	4,8
2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,7	1,5	0,4	17,4	1,1	3,5	3,5	1,5	4,2	6,4
2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,9	1,9	0,4	21,0	1,3	4,3	4,3	1,9	5,2	8,1
3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,1	2,2	0,5	26,0	1,6	5,2	5,2	2,2	6,3	9,7
4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,6	3,2	0,7	34,0	2,1	6,7	6,7	3,2	8,4	12,9
6	3,4	4,3	4,9	2,3	2,5	5,0	1,1	51,0	3,4	10,0	10,0	5,0	12,5	19,3
8	4,3	5,5	6,4	3,0	3,5	6,0	1,4	67,0	4,3	13,0	13,0	6,0	16,0	25,0
10	5,5	6,7	7,9	3,8	4,5	7,5	1,7	85,0	5,5	16,0	16,0	7,5	20,0	32,0
12	6,1	7,9	9,5	4,6	5,5	9,0	2,1	102,0	6,1	19,0	19,0	9,0	24,0	38,0
14	7,3	9,5	10,5	5,3	6,2	11,0	2,4	120,0	7,3	22,0	22,0	11,0	28,0	45,0

Fuente: Silvia Garavito 1970.[17]

Figura 32. Fase inicial sistema de tuberías



Fuente: Los autores.

En las figuras 33 y 34 se observa como el sistema de tuberías continúa desde el primer piso hasta el tercero del hogar, todo a su vez unificado por medio de codos y puntillas con alambre para fijar la ramificación a la pared.

Figura 33. Ramificación de tubería del primer piso al segundo



Fuente: Los autores.

Figura 34. Ramificación de tubería del segundo al tercer piso

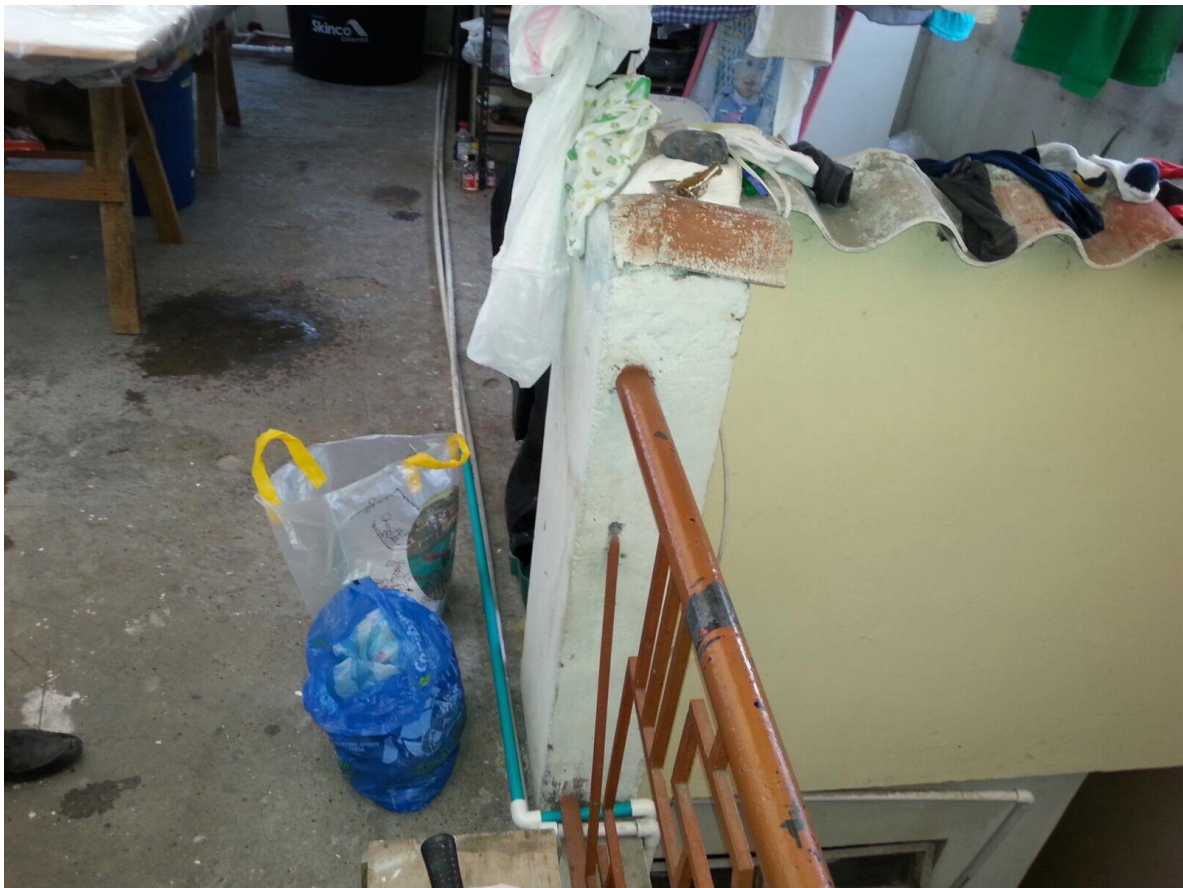


Fuente: Los autores.

Se debe recalcar, que el sistema necesita una válvula antiretorno para reducir la presión del sistema y ayudar a que el líquido pueda subir lo más alto posible, en especial si se debe impulsar el agua a sitios demasiado elevados.

Por medio de la figura 35 y 36, se puede ver la ramificación final desde el tercer piso al tanque de almacenamiento.

Figura 35. Ramificación de tubería del tercer piso al tanque de almacenamiento



Fuente: Los autores.

Figura 36. Conexión al tanque de almacenamiento



Fuente: Los autores.

Luego de hechas las conexiones, se realizó la prueba para verificar la integridad del sistema encontrando las siguientes novedades:

- Se evidencia que la pendiente de la tubería desde el primer nivel, al nivel superior era muy extensa, alrededor de los 12 metros, por lo cual el agua no alcanzo el nivel necesario para alimentar el tanque del tercer piso.

Como consecuencia de lo anterior se generó una presión mayor en la salida de la válvula antiretorno, la cual alivia la presión y mejora el impulso de la bomba, por tanto ocasiono obstrucción, fisuras en la bomba y no permitió la prolongación del proceso de bombeo.

Se procede entonces a una investigación sobre otro tipo de bombas manuales en el mercado de la ciudad que ofrecieran mejores prestaciones, encontrando que aunque ofrecía otras opciones, no alcanzaba a satisfacer las necesidades del sistema puramente mecánico.

Por lo tanto, se decide realizar las pruebas del dispositivo en condiciones donde la altura se vea disminuida y así conseguir un empuje de líquido apropiado para la bomba.

Es por esto que se decidió trasladar el sistema a una casa con dos plantas, en la cual se ubica un tanque en el segundo piso y desde este poder alimentar los inodoros del primero, se contó también con la disposición de la lavadora cerca del espacio donde se ubicaría el tanque de recolección, y por medio de esta alimentar dicho tanque.

3.2. CASA DE DOS PISOS

Para recapitular, en la vivienda donde se realizó la primera prueba se dificultaba ubicar el sistema en el segundo piso, por lo que se optó para realizar la segunda prueba, ubicar todo el sistema en otra vivienda con las características buscadas. En la figura 37, se observa el sistema instalado con un tanque de recolección capaz de almacenar 40 litros, el cual retendrá el líquido para ser bombeado al nivel superior.

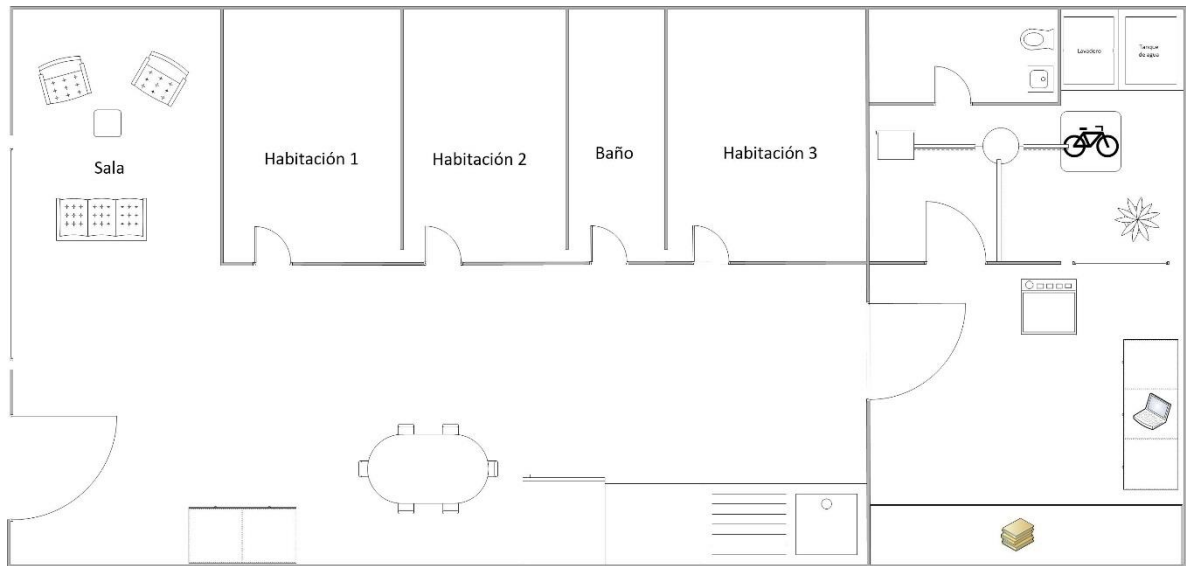
Figura 37. Conexión del sistema mecánico en la segunda vivienda



Fuente: Los autores.

De igual forma, se realizó planos con los cuales estimar la distribución del sistema de recolección de agua alternativa, a través del hogar, tal como se observa en la figura 38, donde se aprecia la distribución del hogar y donde será ubicado el sistema de bombeo.

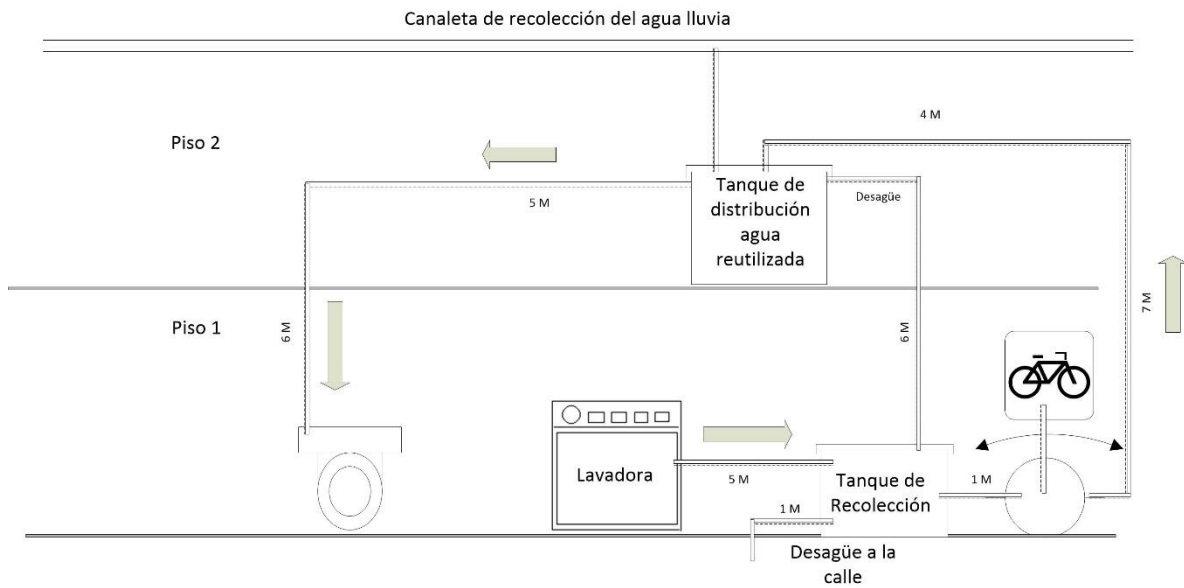
Figura 38. Plano vista superior de la vivienda número 2



Fuente: los autores

En la vista lateral (figura 39), se puede observar que al ser una casa más pequeña no había necesidad de utilizar 2 tanques en la parte superior, ya que también se puede hacer uso de la lavadora para el llenado del tanque de recolección, en este punto fue más fácil la instalación de la tubería pues la altura y disposición permitían el ahorro de material usado.

Figura 39. Plano vista lateral de la vivienda número 2



Fuente: los autores

En esta localización no se encuentra un tanque común de almacenamiento de agua, por lo que se optó en utilizar uno con capacidad de 80 litros, tal cual se ve en la figura 40, en este se aprecia los aditamentos necesarios para que cumpla con distintas tareas, una de ellas, comunicar el nivel interno a través de un vaso comunicante que a su vez está conectado a un sensor infrarrojo de proximidad, a seguir se mencionan dichos componentes:

- 1) Tubo para indicación de nivel.
- 2) Desagüe para rebosamiento.
- 3) Desagüe para limpieza y eliminación de impurezas.
- 4) Ingreso de agua desde el nivel inferior.

Figura 40. Tanque de almacenamiento y descripción de componentes



Fuente: los autores

Para la implementación en la nueva vivienda se siguieron los mismos pasos del anterior punto y se realizaron las pruebas encontrando los siguientes resultados.

Para el bombeo en una vivienda de dos pisos, se descubrió que aunque el sistema de bombeo funciona, si la relación de cambios es reducida el sistema bombea muy lentamente, se alcanzó a llenar un 50 % del tanque con un tiempo de pedaleo de 45 minutos, en contraste que con una relación de cambios mayor, el bombeo cambiaba consiguiendo llenar el 50% en aproximadamente 20 minutos, sin embargo, al aumentar la relación de engranajes, así mismo aumentaba la fuerza que debe emplear el usuario para bombear, además, se percibe significativamente el aumento de la vibración en la bicicleta, concentrada principalmente en el manubrio a la hora de utilizar dicho sistema.

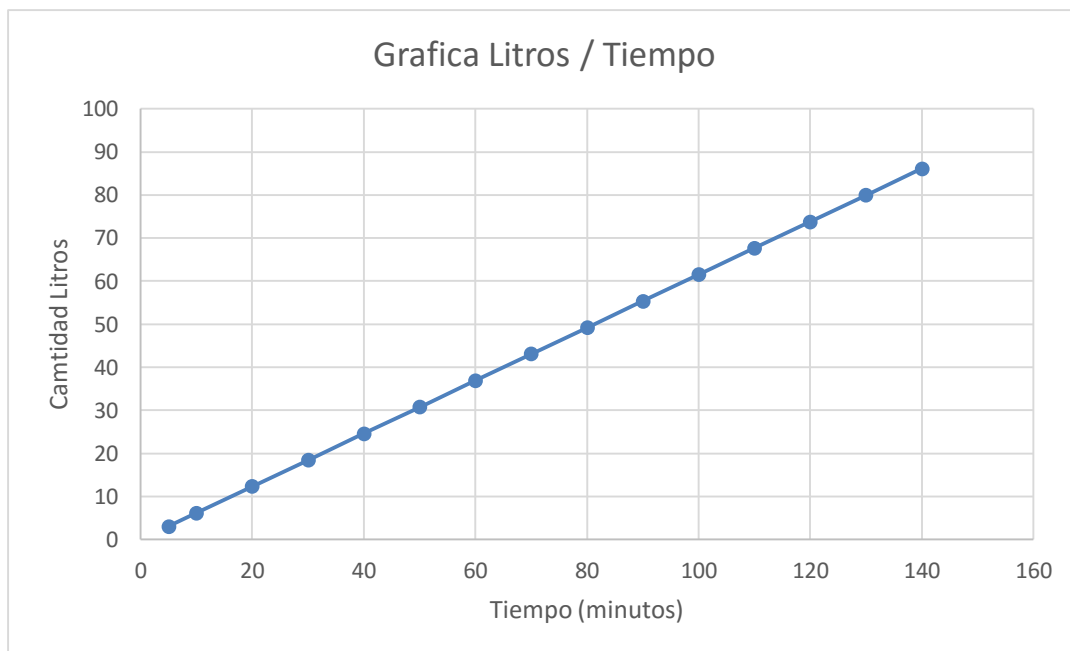
3.2.1 Gráfica Litros/tiempo para bombeo en la vivienda 2

Por medio de pruebas de campo se logra establecer una gráfica de litros/tiempo con la cual se analiza el funcionamiento de la bomba, y se determina la cantidad de agua que llega al tanque de almacenamiento cada cierto periodo de tiempo, aclarando que este valor, será fluctuante con base a variables ajenas al sistema, tales como:

- Engranaje utilizado (del piñón uno al cinco).
- Velocidad de pedaleo del usuario.

De ahí, se aprecia el incremento de nivel con base al pedaleo, utilizando como constante el piñón intermedio (número 3), durante un tiempo de llenado total de 130 min para 80Lt, que es la capacidad del tanque de almacenamiento. Tal como sigue:

Figura 41. Gráfica de funcionamiento de la bomba

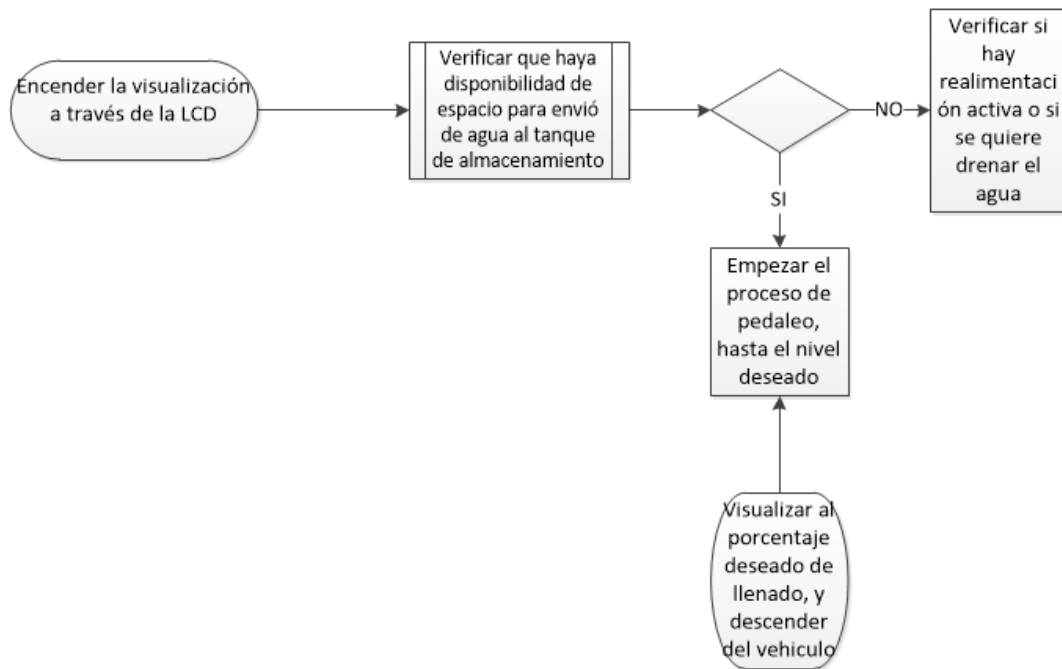


Fuente: los autores

3.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

A continuación, se ilustra los pasos a seguir a la hora de la utilización del sistema electrónico por parte del usuario, así pues, se observa en la figura 42.

Figura 42. Diagrama flujo para funcionamiento del sistema



Fuente: los autores

3.4. GUÍA PARA MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

La calidad del agua obtenida por el sistema es directamente proporcional al cuidado y manutención del mismo, por lo cual se debe:

- Conservar lo más limpio posible la superficie de captación, con el fin de reducir las impurezas que puedan adherirse por escurrimiento del agua.

- Revisar constantemente los filtros, para retirar las posibles obstrucciones de gran tamaño.
- Los filtros no cuentan con un periodo de vida muy largo, por lo cual se recomienda reemplazar según el fabricante; comúnmente, se puede adquirir filtros comerciales con opción de retro lávalo, el cual alarga el tiempo de vida del dispositivo.
- Utilizar un método de desinfección de agua, como cloración, o incluso Cal con la cual reducir la acidez del agua y llevarla a un estado más fresco, para consumo en caso de emergencia.
- Es importante, que el sistema de rebosamiento se encuentre libre de contaminantes y lo menos expuesto toxinas por proceso de drenado.
- Lavar los elementos de recolección y almacenamiento cada 6 meses o incluso cada año, de preferencia previo a la temporada de lluvia.

Para el sistema de bombeo mecánico se requiere:

- Añadir lubricante cada mes si es posible a la superficie de la cadena, e internamente a los dientes de engrane que tiene conectados.
- Engrasar periódicamente la junta entre el sistema biela manivela y el plato que va adherido al mismo.
- Revisar visualmente, que la conexión entre el vástago de la bomba y el mecanismo se encuentre firme y en buenas condiciones.

Todo esto con el fin de aumentar la vida útil de los componentes, para que a su vez el sistema funcione de la mejor manera posible.

4. SISTEMA DE MONITOREO

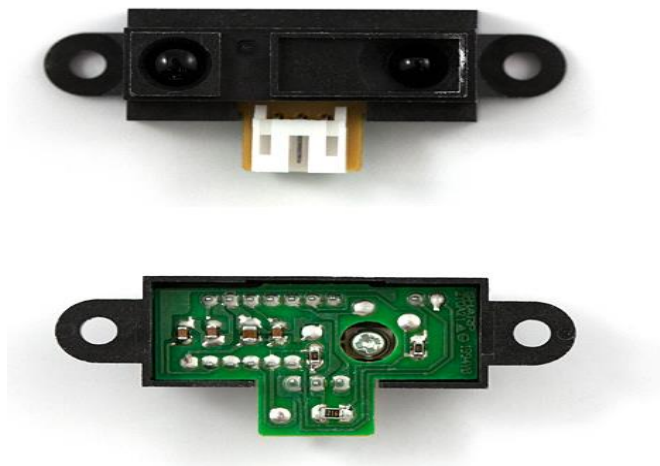
Se prosigue con la descripción de los componentes del sistema de monitoreo para el nivel de tanque de almacenamiento, los cuales incluyen, el sensor infrarrojo GP2Y0A21YK, la comunicación de la señal a través del sistema, su respectiva programación y las conexiones físicas realizadas para dicha comunicación. Como se muestra:

4.1. SENSOR

El sensor utilizado es un GP2Y0A21YK, el cual mide distancia usando dos LED Infrarrojos, uno emite una señal luminosa que al entrar en contacto con una superficie se refleja, este reflejo es leído por el otro LED.

El sensor cuenta con un rango efectivo de visión desde los 10 Cm a los 80 Cm, además para mejorar la recepción de la señal, se usó un condensador de 20uf con el fin de reducir interferencias y así tratar mejor la señal; en la figura 43, se observa la vista frontal y trasera del sensor.[16]

Figura 43. Sensor SHARP GP2Y0A21YK de proximidad



Fuente: los autores

El sensor se alimenta de 5 Voltios, que en el presente proyecto son suplidos por 4 baterías recargables de 1.5V y 650mAh. Además, cabe aclarar que el comunicador inalámbrico Xbee solo consume 45mA a la hora de transmitir y 50 mA para la recepción de datos, lo cual supone una larga durabilidad, sin necesidad de recargar de nuevo las baterías.⁷

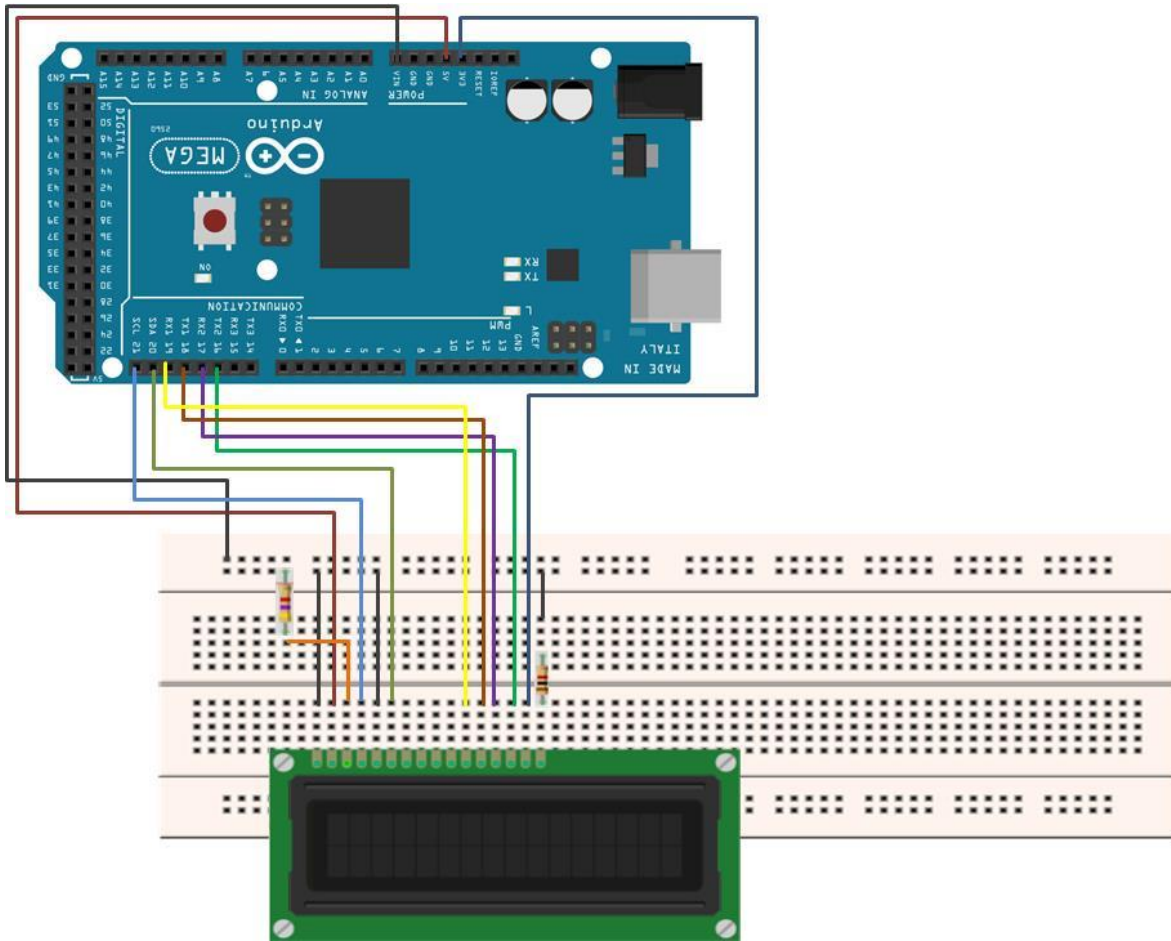
4.2. COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

Para saber el nivel del tanque en la segunda planta de la vivienda, se decide instalar un sensor conectado a un tubo por vaso comunicantes al tanque de almacenamiento, este sensor de distancia infrarrojo indicará el nivel del tanque, sin embargo esta información no se puede mostrar en el mismo tanque, por comodidad y diseño se decide que la información se muestre en la bicicleta, para ello se usa un Arduino Mega y Xbee (receptor), un sistema electrónico que nos permite visualizar y enviar desde un segundo Xbee (emisor) la información del tanque.

Para el sistema se usaron un Arduino Mega, dos Xbee Serie 1, Un Xbee Shield y un Xbee Explorer; El sistema muestra la información de llenado del tanque que se visualiza en una LCD (16x2), la información de llenado se lee en porcentaje, además de alertar al usuario una vez el tanque este lleno, con el fin de evitar rebosamiento o redirigir el agua sobrante a otro lugar de almacenamiento. El circuito de montaje se realizó en el software Microsoft Visio, usando un Arduino Mega como se observa en la figura 44.

⁷ Xbee-Datasheet.

Figura 44. Esquema de conexión Arduino mega y LCD (Receptor)

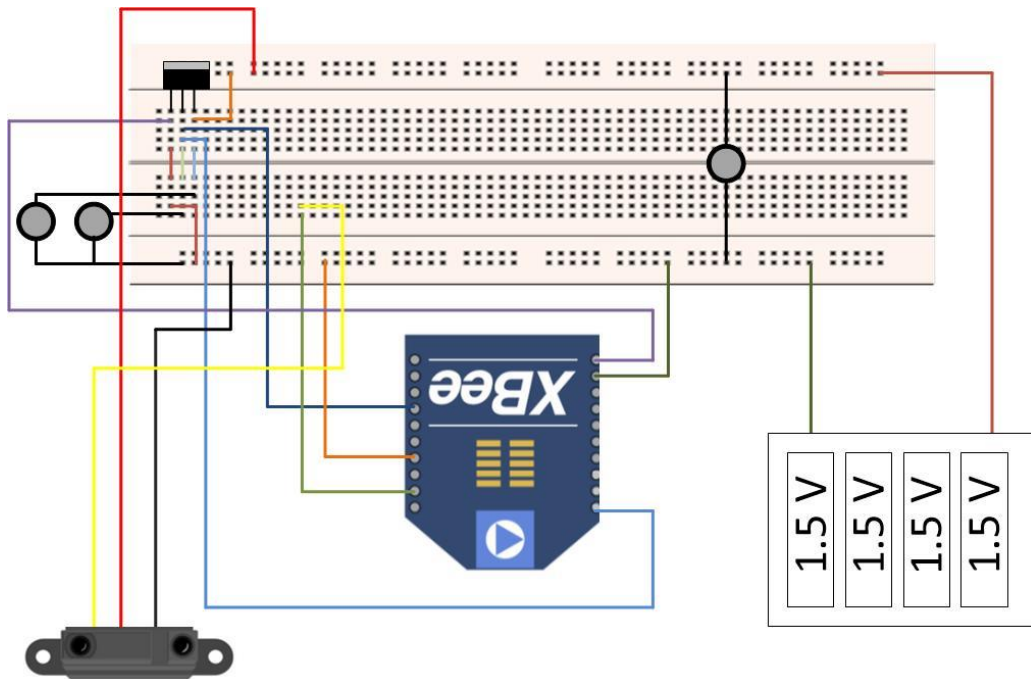


Fuente: los autores

Como se dijo anteriormente el sensor necesita de una fuente de alimentación de 5 voltios, además el Xbee necesita de 3,3V para su correcto funcionamiento, para cumplir con estos requisitos se adicionó un circuito regulador de voltaje por medio de un lm1117 con el cual garantizar los 3,3V al Xbee, todo esto alimentado por 4 baterías de 1.5V como se mencionó anteriormente.

El esquema del circuito para envío de la señal del sensor se aprecia en la figura 45.

Figura 45. Esquema de conexión para el envío de la señal del sensor (Emisor)

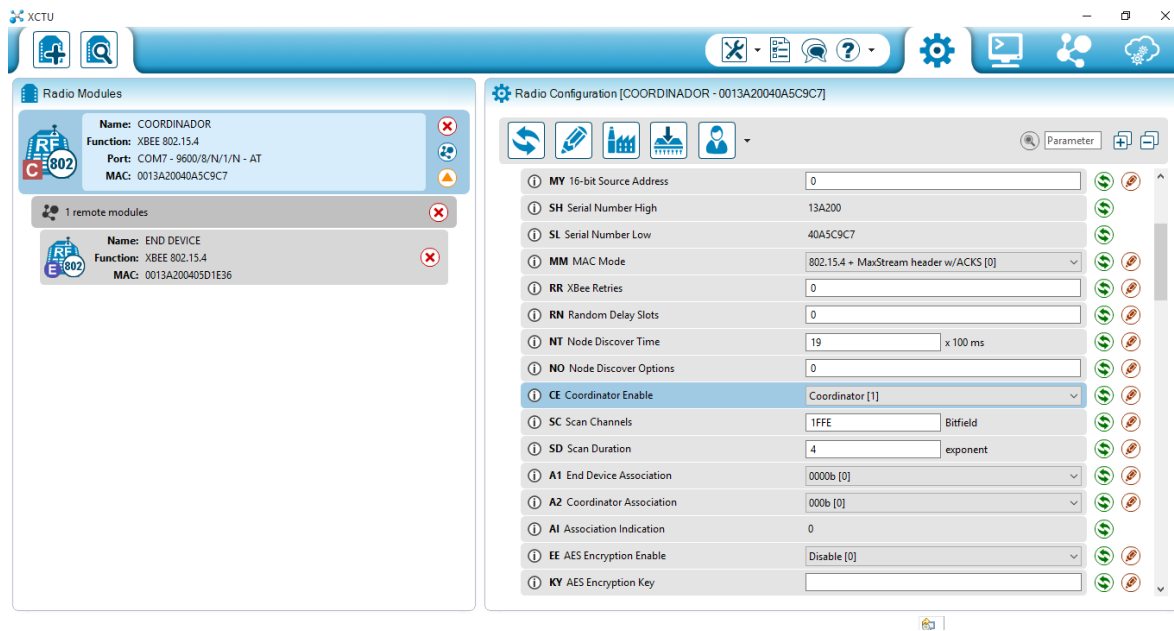


Fuente: los autores

4.3. PROGRAMACIÓN

Para realizar la configuración de los Xbee, es necesario el uso del programa XCTU, el cual permite elegir cuál de los dispositivos va ser el coordinador y cual el esclavo (End Device), además de otros parámetros como tipo de comunicación API e identificadores. En la figura 46, se observa una pantalla de la interfaz del programa, donde se ha establecido el canal de comunicación, velocidad de envío, y las series de identificación de cada uno de los Xbee con la cual se comunican entre sí.

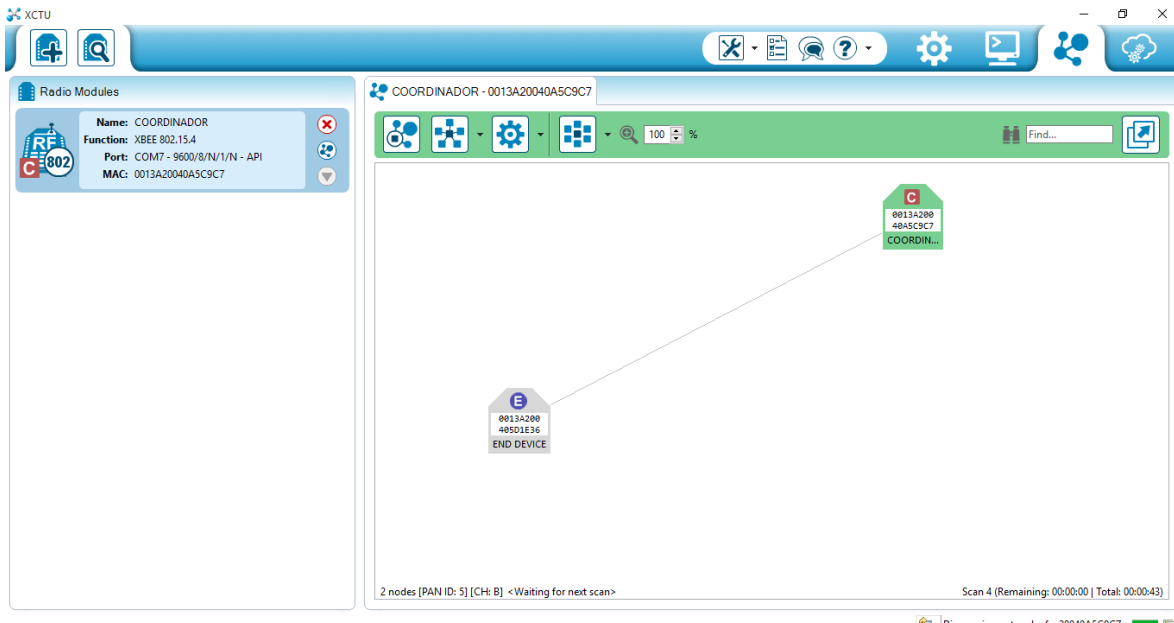
Figura 46. Configuración de la pareja de Xbee (Coordinador, End Device)



Fuente: los autores

Si la configuración es la correcta, los dos Xbee se mostrarán enlazados como se ve en la figura 47. En esta configuración también se le da la instrucción al Xbee remoto que por uno de sus pines físicos (DIO3) se realizará la entrada de los datos del sensor, en adición, se envía una trama de datos preestablecida, con el fin de comprobar que si halla recepción de la misma, todo esto visualizándose por medio del Software libre XCTU.

Figura 47. Enlace y comunicación maestro-esclavo



Fuente: los autores

Ya con la comunicación realizada, se procede a programar cada uno de los dispositivos de acuerdo a su función.

- **Coordinador**

El coordinador se encarga de recibir la señal, procesar esa trama de datos y así permitir su visualización a través de la LCD.

Para la programación de la LCD se utiliza la biblioteca **LiquidCrystal** y se asignan 6 pines digitales para su funcionamiento como se ve en la figura 48.

Figura 48. Programación para la LCD, descripción de pines y dimensiones

```
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);  
const int numfilas = 2;  
const int numcolumnas = 16;  
...
```

Fuente: los autores

En la Void Setup, se tendrán configuraciones adicionales de los pines del Arduino, además de iniciar puertos seriales tanto del Arduino como del XBee, con la función Serial.begin y estableciendo su velocidad de 9600Bps, tal como se aprecia:

Figura 49. Inicialización y configuración de pines

```
pinMode(12,OUTPUT);// Activacion de pines para
pinMode(11,OUTPUT);
pinMode(5,OUTPUT);
pinMode(4,OUTPUT);
pinMode(3,OUTPUT);
pinMode(2,OUTPUT);
lcd.begin(numcolumnas,numfilas);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Bienvenido");
delay(2000);

Serial1.begin(9600);
Serial.begin(9600);
//
Serial.flush();
Serial1.flush();
lcd.clear();
```

Fuente: los autores

El siguiente punto de la programación es el Void loop, elemento de programación que se repetirá constantemente.

Con el comando **Serial1.read()** se obtiene la información proveniente por el puerto serial del Xbee que se encuentra remotamente con el sensor, la cual es una trama guardada en una variable Array (matriz de una sola fila y varias columnas para este caso), esta variable contiene los valores captados en sus bits más significativos, que luego de ser capturados y procesados, se concierte una medida estándar como Cm, tal cual se observa en la figura 50.

Figura 50. Conversión del dato a Cm

```
Cm = 16746.73*pow(sensorVal,-1.2134); // valor en cm de la lectura, se consigue con la conver
sensor1 = String(Cm); // envio de datos en forma entera
Serial.print("Llenado = "); // mostrar nivel de llenado en el monitor serial
```

Fuente: los autores

Donde “sensorVal” es el valor ya procesado de la trama.

Para continuar, el valor se puede mostrar tanto en el PC (puerto serial del arduino) como en la LCD. En la figura 51 se observa dicha programación.

Figura 51. Impresión de datos en la LCD, tomados del emisor

```
Serial.print("Llenado = "); // mostrar nivel de llenado en el monitor serial

Serial1.println(sensor1); // Mostrar la variable en el esclavo

///// LCD
lcd.print("Llenado = "); //Mostrar la palabra "Llenado" en la LCD
lcd.setCursor(10,0); // se ubica el dato de la distancia tomada por el sensor SHARP 2Y0A21, en la columna 10 fila 0
lcd.print(sensor1); // variable en cm mostrada en la LCD
delay(500);
lcd.clear(); // limpiar la LCD
```

Fuente: los autores

Donde “Serial.print”, es el comando para verlo en el PC por puerto serial y con el comando “lcd.print” se muestran los valores en la LCD.

- **EMISOR**

En el emisor se encuentra el Xbee de manera remota junto al sensor de proximidad, la programación en primera instancia es iniciar los puertos seriales con la instrucción “Serial.begin”, con el fin de inicializar el sistema y eliminar el sobre flujo de variables a través del “Serial.Flush”, así pues, se observa en la figura 52.

Figura 52. Inicialización del Emisor

```
Serial1.begin(9600); // puerto serial Xbee
Serial.begin(9600); // puerto serial de la USB
// los siguientes comandos eliminan el sobre-flujo de datos en el Xbee y en el monitor serial
Serial1.flush();
Serial.flush();
```

Fuente: los autores

En el Void loop se encuentra el ciclo condicional “If” con la instrucción “Serial1.available”, que nos indica si en el puerto serial del Xbee hay información de ser así, la información es guardada en una variable y enviada por el puerto serial del Xbee, dichos código se ve en la figura 53.

Figura 53. Programación envió de datos del emisor

```
void loop(){
  //Se utiliza el condicional “Aviable” para saber si hay un dato en la entrada
  if (Serial1.available()>0){
    //de esa manera poder leerlo
    data=Serial1.read();
    //para luego mostrarlo por el puerto serial USB
    Serial1.print(data);
  }
}
```

Fuente: los autores

4.4. MODO DE BAJO CONSUMO (SLEEP MODE)

Los módulos Xbee cuentan con muchas configuraciones internas que ayudan a hacer un mejor uso de los mismos, entre ellas tiene una configuración llamada “Sleep Mode”, el cual es un modo que permite ahorrar energía en el RF en momentos que no se encuentra en uso; esta configuración se da con el comando SM, los cuales inicialmente están deshabilitados por lo cual el módulo esta alerta para recibir y enviar información.

El Xbee posee dos tipos sleep mode:

- Controlados por pín: pín de hibernación y pín doze
- Modos de sueño cíclicos: SM4 y SM5

Dicho esto, se procede a ampliar la información sobre los modos de sueño, así:

- **Pin de hibernación:** Este modo se puede habilitar cuando el pin 9 o Sleep RQ este en alto y con esta configuración se puede lograr que se interrumpa cualquier tipo de envío o recibo de información, en otras palabras no responderá a comandos entrantes de ningún tipo, cuando el estado lógico cambie a baja el módulo volverá a sus labores.
- **Pin Doze:** Funciona de la misma forma que el pín de hibernación solo que consume más energía y presenta un tiempo de activación menor.
- **Sueño cíclico remoto o SM4:** Permite que el módulo entre en modo sleep periódicamente lo que permite que revise si en el coordinador de la red existen datos, así sucesivamente entre todos los ciclos de sueño programados; en caso de que no existan datos en el coordinador, el módulo volverá a su estado de sueño.
- **Sueño cíclico remoto y pín para despertar o SM5:** Este modo funciona de la misma forma que SM4 con la ventaja que este permite despertar el modulo por medio de un pín.
- **Coordinador de sueño:** Esta configuración indica que el módulo será receptor de la información y la mantiene en su buffer hasta que algún módulo despierte y soliciten datos al mismo; hay que tener en cuenta que el parámetro SP deber ser puesto de la misma forma que los módulos remotos para que haya comunicación entre ellos.

Por último, después de conocer las opciones de bajo consumo se procede a elegir una de ellas, configurándola con el software XCTU directamente al Xbee (emisor), este pín elegido fue el “Pin doze”, puesto que presenta una respuesta más rápida al momento que el Xbee coordinador le solicita él envió de datos, utilizando un poco más de energía, no obstante, ya que el dispositivo estará apagado mientras no haya solicitud de envió de datos, por lo cual el gasto energético de operación es mínimo.

CONCLUSIONES

A partir de la experiencia adquirida por la realización de este proyecto, se concluye que:

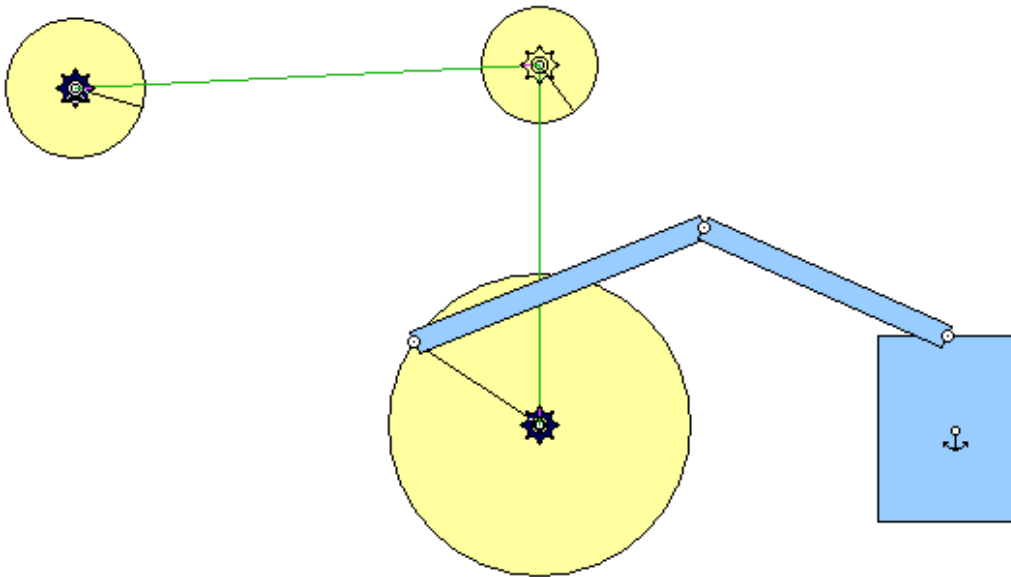
- Los diseños establecidos para el sistema de captación y recolección de agua fueron base importante para calcular las dimensiones del proyecto y al mismo tiempo plantear límites con base a materiales y de funcionamiento.
- Se concluye, que el sistema aumenta la calidad de vida del usuario, puesto que gracias a la bicicleta hay un gasto considerable de calorías por cada 30 minutos de pedaleo, reduciendo así el sedentarismo diario al que está sometida la persona, de igual manera, a medio plazo disminuye los gastos promedio en base al uso de agua para el hogar, ya que la parte no potable está siendo surtida por el sistema realizado en este proyecto.
- Se construyó un sistema de recolección de aguas lluvias y bombeo mecánico, el cual atraviesa su punto más óptimo en los meses de mayor precipitación en la ciudad de Pereira (Abril-Mayo, Octubre-Noviembre), sin embargo, durante el resto de año el sistema cumple adecuadamente con los requerimientos para un hogar de 2 pisos 3 habitantes.
- Se encuentra facilidad a la hora de configurar los dispositivos de comunicación Xbee por medio del software XCTU, además, se nota la importancia del monitoreo, para el usuario supervisar el nivel del tanque y al mismo tiempo hacer uso del sistema.

RECOMENDACIONES

Se recomienda futuras modificaciones para el sistema, con el fin de maximizar su utilidad, tal como se lee:

Se determina por medio de pruebas físicas en la vivienda 1 y 2, que el mecanismo puede aumentar la capacidad de bombeo si se incrementa el diámetro del engrane donde va añadido el mismo, en la figura 54 se ilustra una posible mejora del mecanismo por medio del software Working Model, como se mencionó anteriormente.

Figura 54. Mecanismo tipo 2



Fuente: Los autores.

- Por otra parte, se recomienda el uso de la energía generada por el pedaleo en la bicicleta, como un dinamo, con el cual generar energía eléctrica, para almacenarla posteriormente en una batería y con esto alimentar una bomba

eléctrica; logrando así, una posible mejora sustancial a la capacidad de bombeo del sistema, manteniendo las mejorías a la salud que presenta el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

[1] CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE RISARALDA- CARDER. DIAGNÓSTICO DE RIESGOS AMBIENTALES MUNICIPIO DE PEREIRA. {En línea}. Fecha. {20 de Octubre de 2015}. Disponible en: www.carder.gov.co

[2] Comisión de Regulación de Agua potable y Saneamiento Básico. 20 AÑOS Regulación de los Servicios Públicos Domiciliarios de acueducto, Alcantarillado y Aseo en Colombia. {En línea}. Fecha. {22 de Octubre de 2015}. Disponible en: www.cra.gov.co

[3] David H. Myszka. MÁQUINAS Y MECANISMOS. Cuarta edición, 2012. Editorial PEARSON.

[4] Digi. Xbee DataSheet. {En línea}. Fecha. {18 de Octubre de 2015}. Disponible en: www.sparkfun.com

[5] GARCÍA VÉLEZ JESÚS HIRAM. SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO PLUVIAL PARA UN ECOBARRIO DE LA CD. DE MÉXICO. {En línea}. Fecha. {11 de Noviembre de 2015}. Disponible en: <http://islaurbana.mx/contenido/biblioteca/investigaciones/Captacion-lluvia-tesisHiram-Garcia.pdf>

[6] JOSÉ ALEJANDRO BELLÉN SUAREZ. HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA. {En línea}. Fecha. {12 de noviembre de 2015}. Disponible en: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>

[7] Juan Saldarriaga. HIDRÁULICA de TUBERÍAS. Vol 1. Alfaomega. 2014. 671 pág.

[8] John A. Roberson. Hydraulic Engineering. Second edition. 4 de feb 1998. 762 pág.

[9] MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE. Empresa editorial Macro. 2011. 192 pág.

[10] MCI Electronics. Guía del Usuario XBEE Series 1. {En línea}. Fecha. {30 de Octubre de 2015}. Disponible en: www.olimex.cl

[11] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007. {En línea}. Fecha. {29 de Octubre de 2015}. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

[12] National Semiconductor. LM1117. {En línea}. Fecha. {29 de Octubre de 2015}. Disponible en: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/8597/NSC/LM1117.html>

[13] Natalia Palacio Castañeda. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA. {En línea}. Fecha. {2 de Noviembre de 2015}. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluviaAlternativaAhorroAguaPotableInstitucionEducativaMariaAuxiliadoraCaldas.pdf>

[14] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. . FAO. Santiago de Chile 2013. 271 pág.

[15] Severiano F. Pérez Remesal. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. {En línea}. Fecha. {18 de Octubre de 2015}. Disponible en: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas/materiales/T08.pdf>

[16] SHARP. GP2Y0A21YK Optoelectronic Device. {En línea}. Fecha. {12 de Octubre de 2015}. Disponible en: http://www.sharpsma.com/webfm_send/1208

[17] Silva G, L.F. Diseño de acueductos y alcantarillado. Bogotá, D.C, 1970.

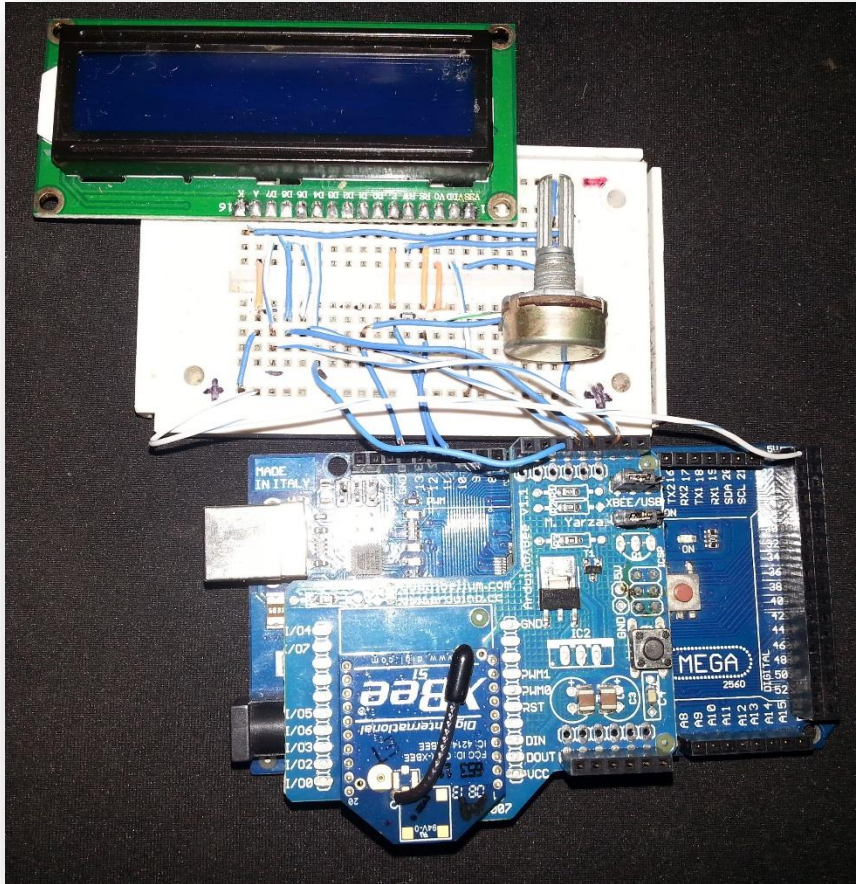
[18] UNE-TELEFONICA DE PEREIRA. Beneficios de la instalación de Tanque para la captación de aguas lluvias. {En línea}. Fecha. {13 de Octubre de 2015}. Disponible

en:

<http://www.produccionmaslimpia.org/documentos/memorias/PLYCS/ADRIANA/Beneficio%20Tanque%20de%20Aguas%20lluvias%20-2011.pdf>

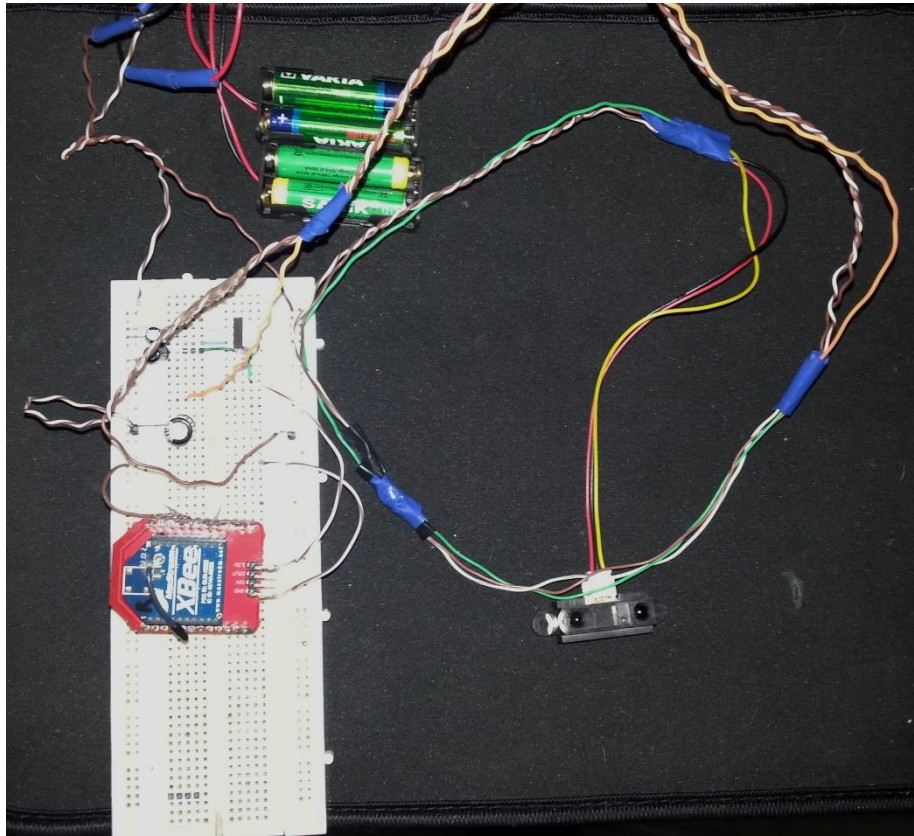
ANEXOS

Anexo A. Sistema físico de comunicación inalámbrica (Coordinador)



Fuente: los autores

Anexo B. Sistema físico de comunicación inalámbrica (Emisor)



Fuente: los autores

Anexo C. Pantalla de XCTU con envío de trama de datos estipulada

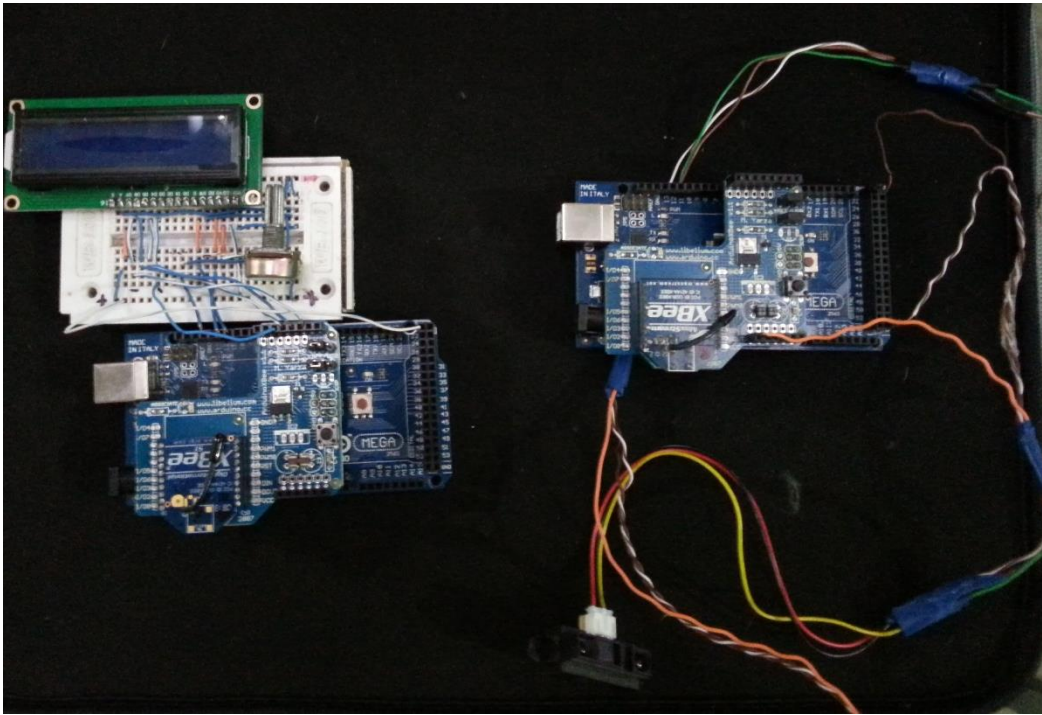
The screenshot displays the XCTU software interface for a radio module named 'COORDINADOR - 0013A20040A5C9C7'. The interface is divided into several sections:

- Radio Modules:** A sidebar on the left shows the module configuration:
 - Name: COORDINADOR
 - Function: XBEE 802.15.4
 - Port: COM7 - 9600/8/N/1/N - API
 - MAC: 0013A20040A5C9C7
- API Console:** Located at the top right, it shows 'Status: Connected', 'Tx Frames: 11', and 'Rx Frames: 25'.
- Frames log:** A table listing received frames with columns for ID, Time, Length, and Frame. The log shows a sequence of AT commands and responses, including a Remote AT Command Request and two RX (Receive) Packet 64-bit Address IO frames.
- Frame details:** A panel on the right showing the details of the selected frame (ID 29), which is an AT Command. The details include the hex data '7E 00 04 08 66 41 43 0D' and parameters: Start delimiter: 7E, Length: 00 04 (4), Frame type: 08 (AT Command), Frame ID: 66 (102), and AT Command: AT AT (A/C).
- Send frames:** A section at the bottom for sending frames, including a table for 'Send frames' and a 'Send a single frame' button. The 'Send sequence' section is also visible, with a 'Transmit interval (ms): 500' and 'Repeat times 1'.

At the bottom right of the interface, there is a status bar that reads 'Discovering network of ...20040A5C9C7'.

Fuente: los autores

Anexo D. Sistema de comunicación Xbee con Arduinos Mega (físico)



Fuente: los autores