

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y fabricación de un dispositivo para bombear agua de pozos en Aldea Chiquirines, empleando bicicletas para su accionamiento.

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Luis Diego Alburez Noriega

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala
2019

Diseño y fabricación de un dispositivo para bombear agua de pozos en Aldea Chiquirines, empleando bicicletas para su accionamiento.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y fabricación de un dispositivo para bombear agua de pozos en Aldea Chiquirines, empleando bicicletas para su accionamiento.

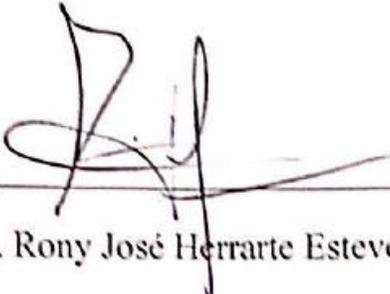
Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Luis Diego Alburez Noriega

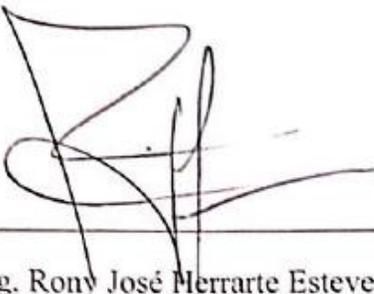
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

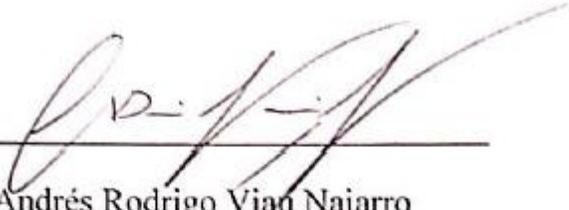
Guatemala
2019

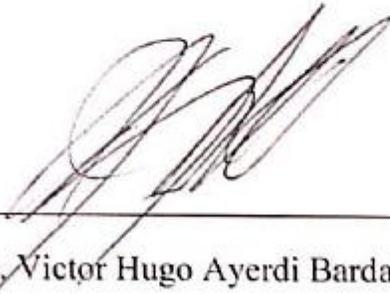
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Rony José Herrarte Esteves

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Rony José Herrarte Esteves

(f) 
Ing. Andrés Rodrigo Vial Najarro

(f) 
Ing. Víctor Hugo Ayerdi Bardales

Fecha de aprobación: 21 de junio de 2019.

PREFACIO

El presente trabajo de graduación surgió de la intención de mejorar la calidad de vida de los pobladores de la Aldea Chiquirines, una comunidad rural con acceso limitado a energía eléctrica. La mayoría de las familias que viven en esta aldea poseen pozos propios dentro de su terreno de los cuales extraen diariamente agua por medio de cubetas, las cuales arrojan repetidas veces hasta llenar una pileta, siendo estos pozos su principal Fuente de agua. Se detectó la oportunidad de realizar un proyecto con el fin de mejorar la forma de extracción del agua, ya que esta tarea resulta sumamente ardua.

Quisiera aprovechar para agradecerles a los ingenieros Víctor Ayerdi, Rony Herrarte y Andrés Viau por su continuo apoyo para realizar este proyecto de graduación.

ÍNDICE

PREFACIO	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE CUADROS.....	vi
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Bomba centrífuga:	4
B. Motor eléctrico para bombas:	5
C. Datos de funcionamiento de bombas centrífugas:.....	6
D. Las curvas de las bombas.	10
E. Bomba de rosario	13
F. Análisis estructural:	14
G. Bicimáquinas:	15
H. Mecánica del pedaleo:	18
I. Desempeños promedio en bicicletas:	20
J. Rodillo ciclista:	21
K. Volante de inercia.....	22
L. Propiedades mecánicas del PVC.....	23
V. ANTECEDENTES	24
A. LA ALDEA.....	24
B. OBTENCIÓN DEL AGUA.....	25
C. La situación socioeconómica	26
D. Roles y cultura	26
E. Pozos de la aldea	26
F. Procedimiento para pozos sin bomba:.....	33
G. El terreno	34

H.	Comercio y recursos disponibles en la aldea	35
VI.	METODOLOGÍA	37
A.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	37
B.	FASES DE DISEÑO	39
C.	PRESUPUESTO Y COMPRA DE MATERIALES:	41
D.	MANUFACTURA:	41
E.	PRUEBAS:	41
VII.	RESULTADOS	43
A.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	43
B.	FASES DE DISEÑO	50
C.	MANUFACTURA:	67
D.	PRUEBAS:	68
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
A.	Costos de construcción:	71
B.	Caudales:	72
C.	Retroalimentación de los pobladores:	73
IX.	CONCLUSIONES	75
X.	RECOMENDACIONES	76
XI.	BIBLIOGRAFÍA	77
XII.	ANEXOS	78
A.	Anexo 1: cotización de bombas en el mercado local.	78
B.	Anexo 2: Fotos del dispositivo terminado.	81
C.	Anexo 3: Fotografías de la aldea.	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Motor eléctrico para bombas	5
Figura 2: Partes de una motobomba.....	6
Figura 3: Evaluación del funcionamiento de una bomba	7
Figura 4: Cabeza de una bomba con succión	8
Figura 5: Cabeza de una bomba sin succión	8
Figura 6: Altura, consumo de potencia, eficiencia y NPSH en función del caudal.....	10
Figura 7: Curva Caudal-Altura para bomba centrífuga	11
Figura 8: Curva de eficiencia típica de una bomba centrífuga.....	12
Figura 9: Propuesta sistema de rosario	13
Figura 10: Bicimolino	16
Figura 11: Bicilavadora.....	16
Figura 12: Bicibomba de rosario	17
Figura 13: Pedaleo circular.....	18
Figura 14: Activación muscular al pedalear	19
Figura 15: Rodillo ciclista	21
Figura 16: Volante de inercia	22
Figura 17: Ubicación geográfica de la aldea	24
Figura 18: Depósito comunitario	25
Figura 19: Pozo de la aldea #1.....	27
Figura 20: Pozo de la aldea #2.....	28
Figura 21: Pozo con bomba eléctrica #1	29
Figura 22: Pozo con bomba eléctrica #2.....	30
Figura 23: Pozo con bomba de combustible #1	31
Figura 24: Pozo con bomba de combustible #2.....	32
Figura 25: Pozo tradicional con polea.....	33
Figura 26: Terreno	34
Figura 27: Tienda de bicicletas.....	35
Figura 28: Herramientas de la ferretería de la aldea	36
Figura 29: Medición de la profundidad del pozo.....	44

Figura 30: Herrería de la aldea	45
Figura 31: Equipo de soldadura encontrado en la aldea	46
Figura 32: Electrodo disponible en la aldea	47
Figura 33: Bicicleta de la aldea	47
Figura 34: Bicibomba de bicitec, con bomba comercial y volante de inercia.....	49
Figura 35: Rodillo ciclista.....	50
Figura 36: Estructura de madera.....	51
Figura 37: Diseño inicial de la estructura.....	52
Figura 38: Prueba de la estructura metálica con 300 lbs	53
Figura 39: Diseño inicial con tubos de PVC.....	54
Figura 40: Cálculo del factor de seguridad.....	55
Figura 41: Construcción del diseño inicial con tubos de PVC.....	56
Figura 42: Deformación máxima.....	57
Figura 43: Refuerzos metálicos	58
Figura 44: Diseño final de con tubos de PVC	58
Figura 45: Propuesta inicial para el sistema de sujeción.....	59
Figura 46: Propuesta con tornillos autoblocantes	60
Figura 47: Sistema de sujeción.....	61
Figura 48: Estator de la bomba	63
Figura 49: Eje del motor de la bomba	63
Figura 50: Remoción del sistema eléctrico de la bomba.....	64
Figura 51: Adición del revestimiento de caucho al eje del motor.....	64
Figura 52: Dispositivo con cuadro de madera agregado.....	65
Figura 53: Elevación ajustable de la bomba	66
Figura 54: Diseño final	67
Figura 55: Manufactura en la UVG	68
Figura 56: Pruebas en la aldea	69
Figura 57: Presentación del diseño a los pobladores	74

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Propiedades mecánicas del PVC	23
Cuadro 2: Check list de posibles materiales disponibles en la aldea	38
Cuadro 3: Cotización inicial en la aldea	48
Cuadro 4: Cotización de bombas eléctricas	62
Cuadro 5: Costo neto de construcción	71

RESUMEN

Este trabajo consiste en el diseño y fabricación de un dispositivo que pueda ser adaptado fácilmente a los diferentes tipos de bicicletas que las personas utilizan para transportarse en Aldea Chiquirines. La función de este dispositivo es bombear agua de un pozo hacia una pileta de manera más fácil y eficiente que la manera tradicional. Esta consiste en sacar agua del pozo por medio de una cubeta, la cual se arroja repetidas veces al pozo y se alza por medio de una cuerda y una polea.

El proyecto se trabajó en Aldea Chiquirines. Esta aldea pertenece al municipio de La Blanca, San Marcos. A través de visitas a la comunidad se identificó que en la aldea viven aproximadamente 40 familias cuya principal labor es trabajar en las fincas aledañas, ya sean agrícolas o ganaderas.

El diseño resultante de este proyecto probó ser de gran interés para los pobladores de la aldea debido a la facilidad de su uso e instalación y su capacidad para adaptarse a varios tipos de bicicletas permitiendo que usuarios de diferentes edades puedan hacer uso de este, así como su posibilidad de poder ser replicado con materiales disponibles en la aldea.

El costo neto del proyecto fue de Q253.49 sin contar con el costo de la bomba, ya que se exhorta a utilizar una bomba reciclada, cuyo sistema eléctrico ya no funcione. El caudal obtenido fue, en promedio, de 2 gal/min, que resulta cuatro veces más rápido que la manera convencional, cubeta y polea.

I. INTRODUCCIÓN

La situación que se vive en la aldea Chiquirines ha cambiado considerablemente en los últimos años. Alrededor de la aldea se han desarrollado varios proyectos de palma africana lo cual ha provocado un crecimiento económico bastante grande para esta comunidad; así mismo debido a varios conflictos con las empresas de electricidad, la aldea no cuenta con energía eléctrica desde hace varios meses. Los roles familiares están bastante definidos dentro de la aldea: Los hombres trabajan en las fincas aledañas para generar ingresos económicos y las mujeres permanecen en sus casas haciendo las labores domésticas y cuidando a sus hijos. Entre las labores domésticas de las que están encargadas está la recolecta de agua que, principalmente, consiste en sacar agua de sus pozos. La forma tradicional de obtener agua de sus pozos consiste en utilizar una cubeta, la cual se arroja y se saca repetidas veces por medio de una polea hasta llenar una pileta. Esta tarea resulta sumamente exhaustiva y fue aquí donde se detectó la posibilidad de realizar un proyecto para mejorar la calidad de vida de las mujeres de esta comunidad.

En la aldea se observó que el principal medio de transporte son las bicicletas, las cuales son utilizadas por los habitantes desde edades tempranas, aproximadamente desde los 7 años.

Debido a estos factores, y a la falta de energía eléctrica, se planteó un proyecto para construir un dispositivo que permitiera extraer agua de los pozos utilizando las bicicletas que los habitantes utilizan transportarse sin comprometer la integridad de estas, ya que representan una inversión económica que los pobladores no estarían dispuestos a pagar por un dispositivo para extraer el agua.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un mecanismo de bombeo para pozos que funcione empleando las bicicletas que los pobladores de la Aldea Chiquirines utilizan para transportarse.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el mecanismo de modo que pueda ser manufacturado por completo con materiales y equipo al cual se tenga acceso en la localidad.
- Seleccionar los materiales adecuados de forma que el costo total del adaptador no exceda de Q.500.
- Diseñar con especificaciones que permitan que el dispositivo pueda ser utilizado por cualquier persona mayor a 10 años.
- Reducir el tiempo de extracción de agua con cubetas en pozos, de 1 galón cada 4 minutos a 1 galón por minuto.

III. JUSTIFICACIÓN

En la Aldea Chiquirines, ubicada en el Departamento de San Marcos viven aproximadamente 40 familias que no cuentan con electricidad, por lo que, para sacar agua de sus pozos, deben emplear una cubeta arrojándola repetidas veces al pozo, o bien utilizar un motobomba que requiere de gasolina, lo cual representa un gasto de 10 a 15 quetzales al día en combustible, que es aproximadamente un 12% del salario diario de la familia, según se estableció en pláticas con miembros de la comunidad. En visitas previas, se determinó que diariamente las personas que no cuentan con una motobomba requieren invertir 1 a 2 horas diarias para extraer agua de los pozos. Esta actividad la realizan desde niños de 10 años hasta adultos, principalmente mujeres.

Por estas razones, con el fin de mejorar la calidad de vida de las familias de esta comunidad, se plantea emplear su principal medio de transporte, las bicicletas, para extraer el agua de los pozos a través de un mecanismo adaptable a la misma que se diseñará, fabricará y probará, con el fin de evaluar su validez y funcionalidad.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Bomba centrífuga:

Una bomba es una máquina capaz de transformar energía mecánica en hidráulica. Una bomba centrífuga se caracteriza por llevar a cabo dicha transformación de energía por medio de un elemento móvil denominado impulsor o turbina, que gira dentro de otro elemento estático denominado cuerpo o carcasa de la bomba. Ambos disponen de un orificio anular para la entrada del líquido. (Lehide, 2015).

El fluido entra por el centro del impulsor que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la “fuerza centrífuga” es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa. (de las Heras, 2011).

Cuando el impulsor gira, comunica al líquido una velocidad y una presión que se añade a la que tenía a la entrada. La relación entre presiones y velocidades es:

$$h = v^2 / 2g$$

(Ec. 1)

Donde h es la altura en metros de la columna del líquido, v es la velocidad del líquido y g es la aceleración de la gravedad ($g=9.81 \text{ m/s}^2$).

Dentro del campo normal de aplicación, las propiedades de una bomba centrífuga son:

- Caudal constante, sin pulsaciones.
- La presión o altura de elevación disminuye a medida que aumenta el caudal, En general, a partir del punto de funcionamiento, cuando se cierra la válvula de regulación de la tubería de impulsión, aumenta la presión y se reduce la potencia.
- La altura, medida en metros de columna de líquido, a la que eleva una bomba es independiente de la naturaleza del líquido y, por tanto, la altura a la que impele una bomba es la misma, prescindiendo de la influencia que ejerce la viscosidad.

- La potencia absorbida por la bomba es proporcional al peso específico del líquido elevado.
- El par requerido para el arranque de una bomba centrífuga es pequeño y la potencia absorbida durante su funcionamiento de régimen es continua y libre de sobrecargas, cuando la altura no varía y no hay perturbaciones ajenas a la bomba en la aspiración. (Lehide, 2015).

Las bombas centrífugas reciben la energía por medio de un eje giratorio, generalmente proveniente de un motor acoplado que puede ser eléctrico o de gasolina. A este conjunto se le denomina “motobomba”. Este proyecto se enfoca únicamente en bombas con motor eléctrico.

B. Motor eléctrico para bombas:

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

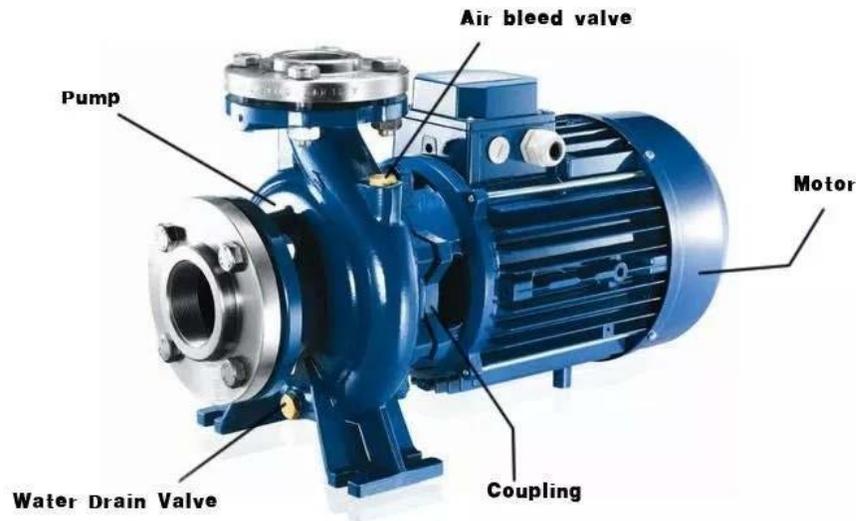
Figura 1: Motor eléctrico para bombas



(Fuente: Stunteltje.com, 2011)

Gran parte de las bombas centrífugas comerciales incluyen adaptado su motor eléctrico y las hay de varias capacidades y potencias, según la aplicación que se necesite.

Figura 2: Partes de una motobomba



(Fuente: Cindex Pumps, 2016)

C. Datos de funcionamiento de bombas centrífugas:

Debido a que las bombas centrífugas no son de desplazamiento positivo, existe una gran dependencia entre la capacidad y la presión que debe desarrollar la bomba. Esto hace que su funcionamiento sea de alguna forma, más complejo. (Valiente, 1998.)

Dentro de un líquido en reposo, la presión absoluta que existe en cualquier punto es función del peso del líquido sobre ese punto, más la presión de trabajo sobre la superficie del líquido. (Valiente, 1998.)

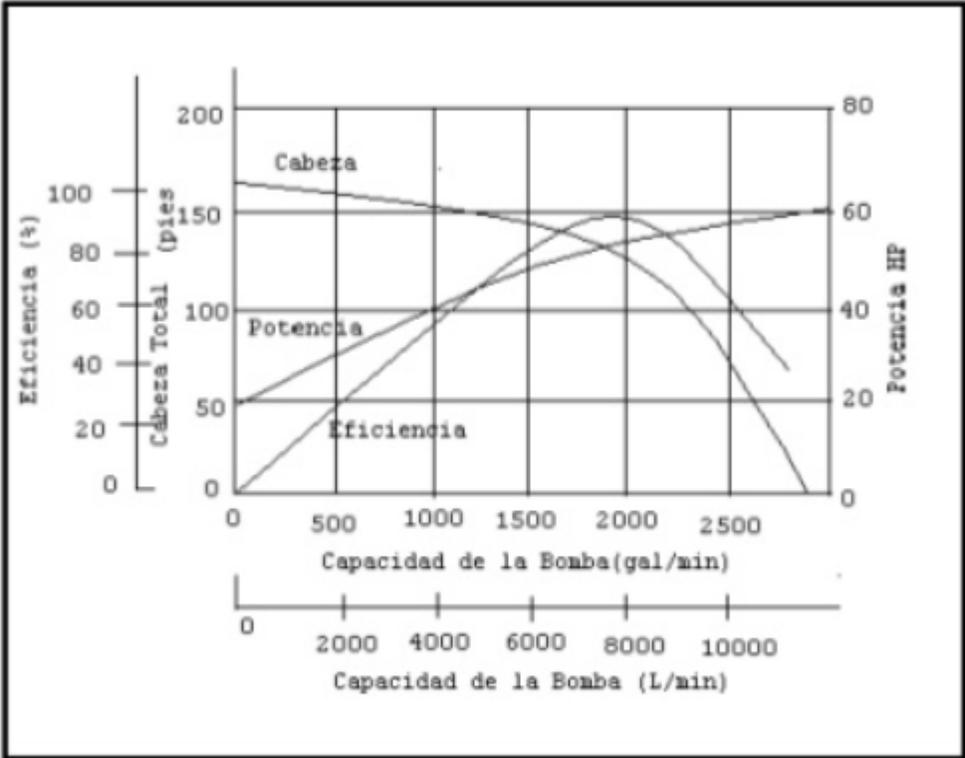
Esta presión es la misma en todas direcciones y se ejerce perpendicularmente a cualquier superficie en contacto con el líquido. Las presiones dentro de un líquido pueden verse también como causadas por la columna del líquido que, debido a su peso, ejerce una presión igual a la presión que se mide en ese punto. Esta columna líquida es llamada “cabeza” (head), y es expresada, por lo general, en metros o pies de líquido. (Valiente, 1998.)

Las presiones, columnas, cargas o cabezas son formas diferentes de expresar los mismos conceptos. En la industria, cuando se utiliza el término presión, se refiere, por lo general, a unidades de Pascales, Kg/cm^2 , psi, etc., mientras que con el término de cabeza se utilizan metros o pies de líquido que se están bombeando. (Valiente, 1998.)

A un valor de corte en la cabeza, el flujo se detiene en forma total cuando toda la energía de entrada de la bomba se utiliza para mantener la cabeza, lo que quiere decir que la presión ejercida por el fluido iguala a la presión de operación de la bomba.

La eficiencia y la potencia que se requieren son factores importantes en la selección y funcionamiento de la bomba. En la Figura 3 se muestra una evaluación del funcionamiento de una bomba, cabeza superpuesta, eficiencias y curvas de potencia. La operación debe estar en la vecindad del pico de la curva de eficiencia, con eficiencias dentro del intervalo del 60 al 80 % como valores típicos en las bombas centrífugas (Mott, 1996).

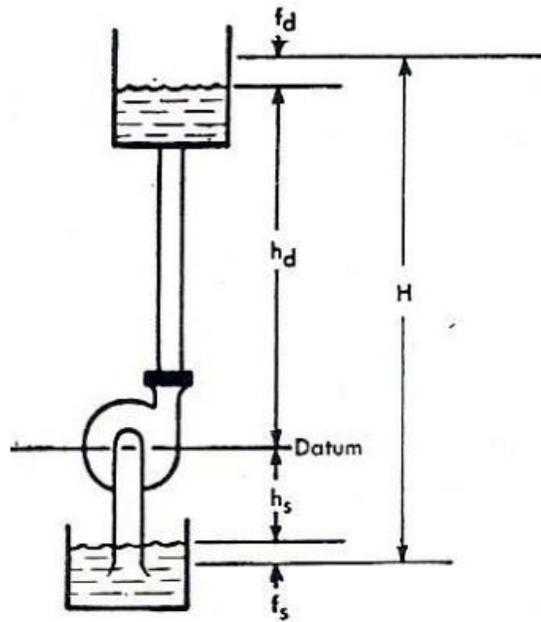
Figura 3: Evaluación del funcionamiento de una bomba



(Fuente: Mott, 1996.)

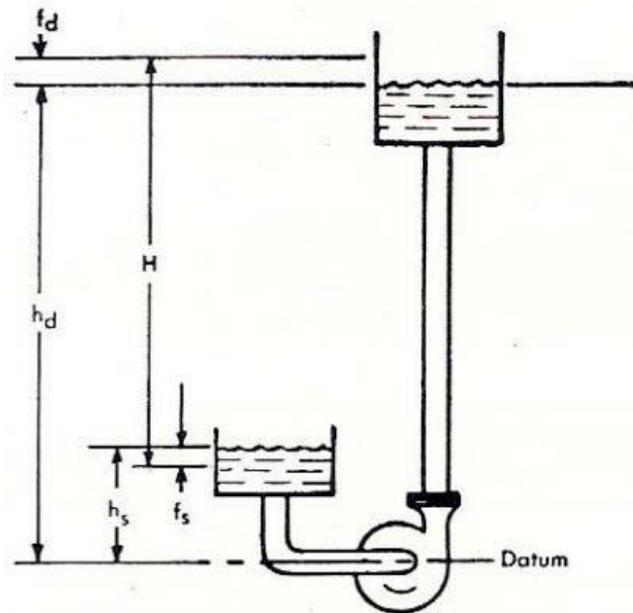
La cabeza requerida para causar el flujo de un sistema y la definición de ese término se puede comprender si se examinan las siguientes Figuras:

Figura 4: Cabeza de una bomba con succión



(Valiente, 1998.)

Figura 5: Cabeza de una bomba sin succión.



(Valiente, 1998.)

Para la Figura 5 con succión por debajo de la bomba, la presión será negativa, debido al vacío.

$$H = hd + hs + fd + fs + \frac{Vd^2}{2gc}$$

(Ec. 2)

Donde:

H = cabeza total: Cabeza proporcionada por la bomba

hd = cabeza estática de descarga: distancia vertical entre el centro de la bomba (datum) y la superficie del líquido en la descarga.

hs = cabeza estática de succión: distancia vertical entre la superficie del líquido en la succión y el centro de la bomba.

fd = cabeza de fricción en la descarga: pérdidas por fricción en la línea de descarga causada por tubos, válvulas, conexiones, codos, etc.

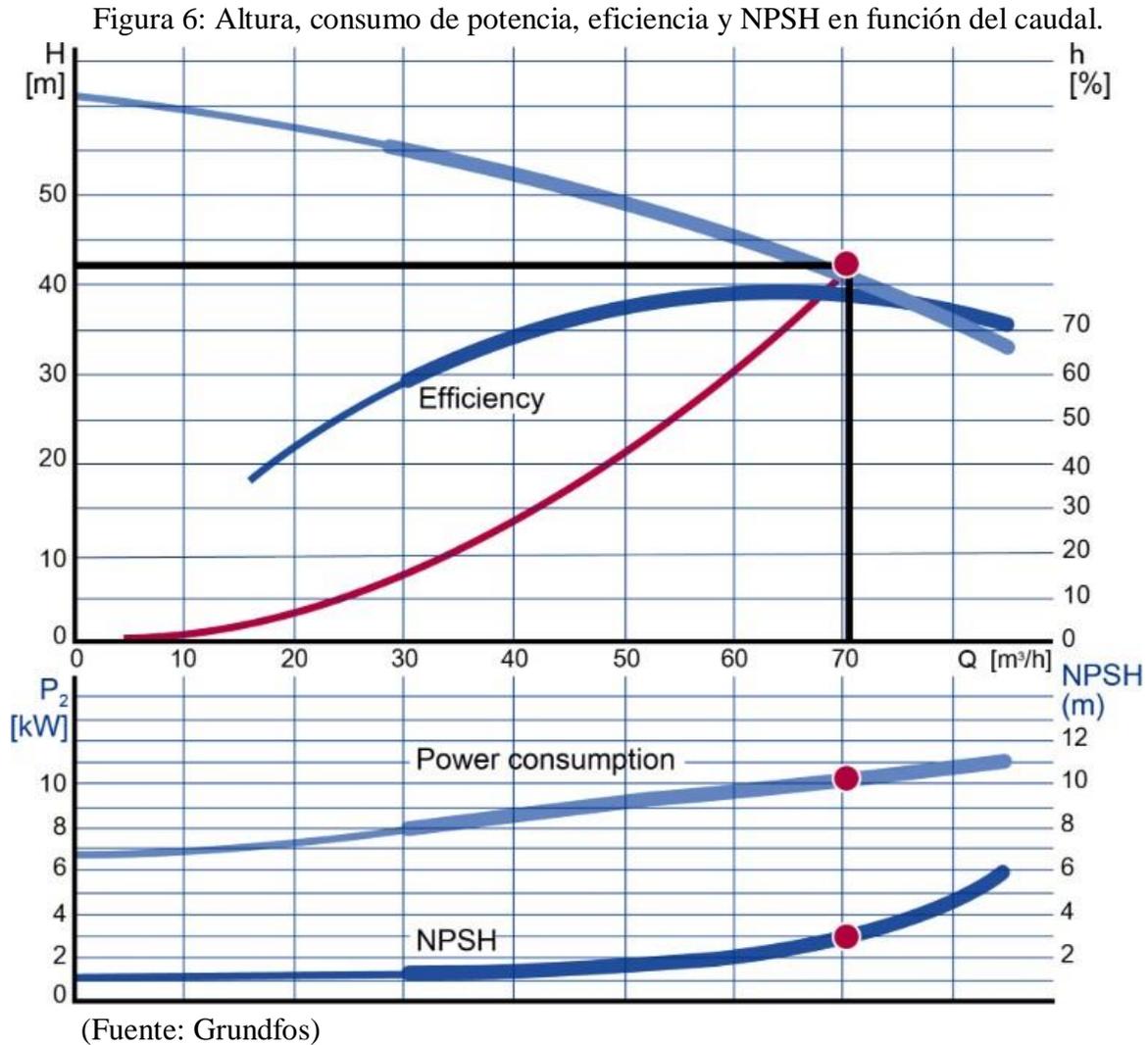
fs = cabeza de fricción en la succión

$\frac{Vd^2}{2gc}$ = cabeza de velocidad en la descarga de la bomba: energía requerida para hacer que el líquido obtenga la velocidad V.

(Valiente, 1998.)

D. Las curvas de las bombas.

El rendimiento de una bomba centrífuga se muestra mediante las curvas de rendimiento. Estas curvas típicas se muestran en la Figura 6. Detallan la altura, consumo de potencia, eficiencia y NPSH (carga neta de succión positiva) en función del caudal. (Grundfos, s.f.)

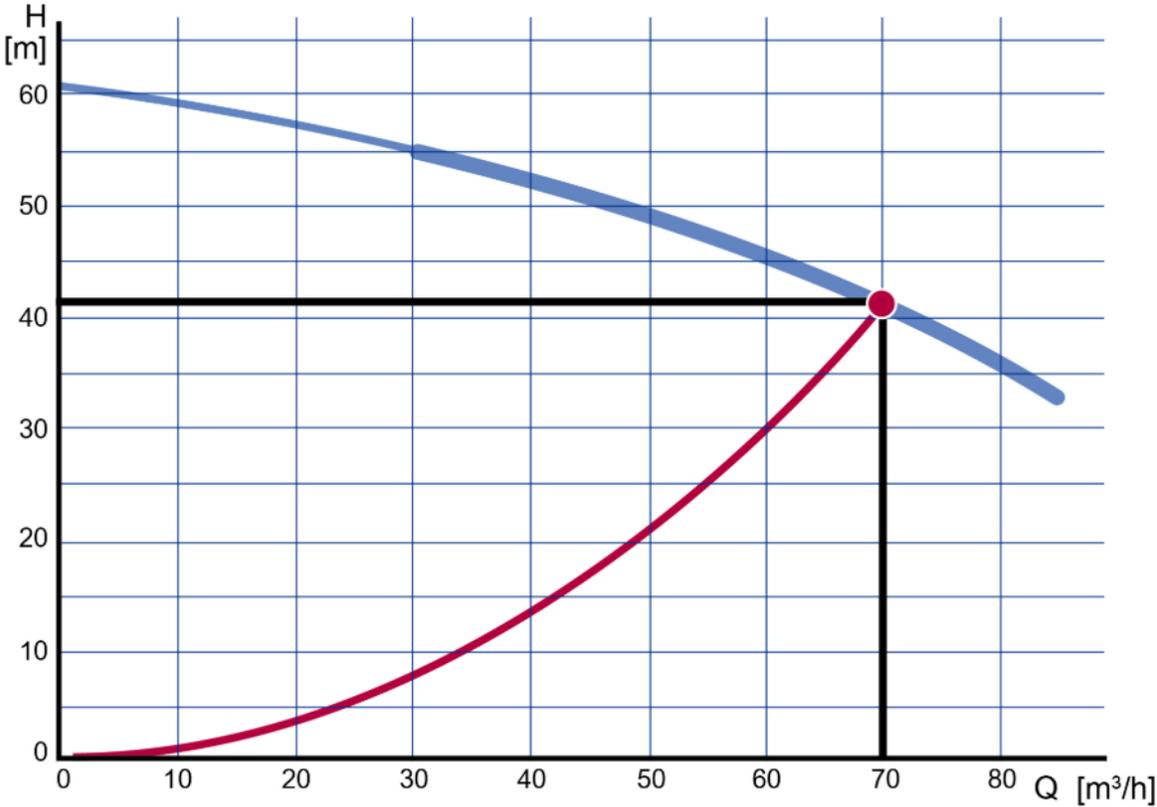


Normalmente las curvas de bomba en los catálogos técnicos solo cubren una parte de la bomba. Debido a esto, el consumo de potencia, valor P_2 , mostrado en los catálogos técnicos, sólo cubre la potencia que se suministra a la bomba (ver Figura 6). Lo mismo ocurre con el valor de eficiencia, que solo cubre una parte de la bomba ($\eta = \eta_p$, no tomando en cuenta la eficiencia eléctrica). En algunos tipos de bomba con motor integrado y, en ocasiones con un

convertidor de frecuencia integrado, por ejemplo, bombas con motor encapsulado, la curva de consumo de potencia y la curva η cubren tanto el motor como la bomba. En este caso, es el valor P1 el que se tendrá en cuenta. (Grundfos, s.f.)

La curva QH muestra la altura que la bomba es capaz de desarrollar a un caudal determinado. La altura se mide en columna de metros de líquido [mLC]; normalmente la unidad aplicada es metros [m]. La ventaja de utilizar esta unidad [m] como unidad de medida de la altura de la bomba es que la curva QH no se ve afectada por el líquido que la bomba está manejando. (Grundfos, s.f.)

Figura 7: Curva Caudal-Altura para bomba centrífuga



(Fuente: Grundfos)

La eficiencia de la bomba es la relación entre el suministro de potencia y la cantidad de potencia utilizada realmente. En el mundo de las bombas, la eficiencia η_P es la relación entre la potencia entrega al agua (P_H) y la entrada de potencia al eje (P_2):

$$\eta_P = \frac{P_H}{P_2} = \frac{\rho * g * Q * H}{P_2 * 3600}$$

(Ec. 3)

Donde:

ρ = la densidad del líquido en kg/m^3

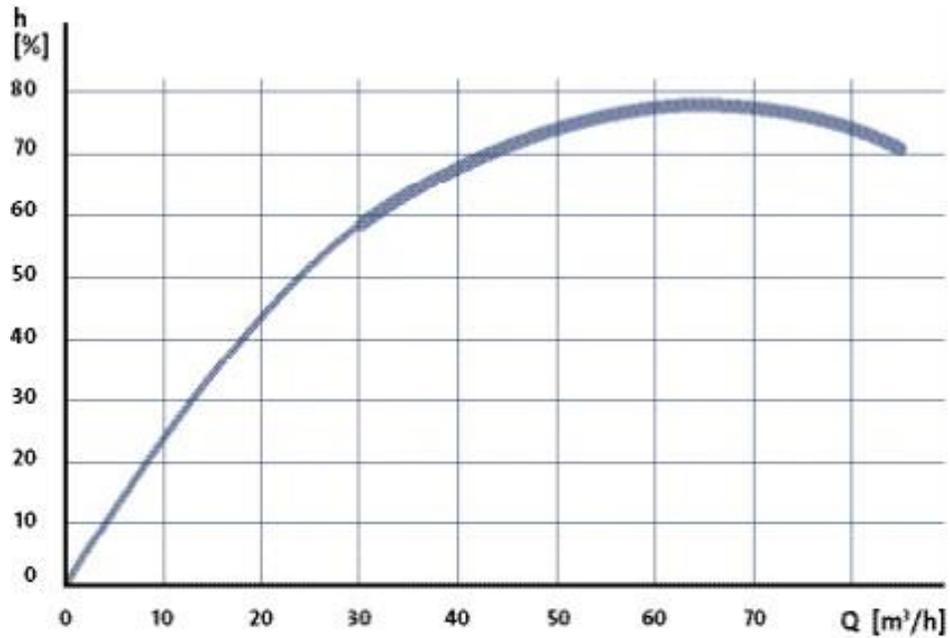
g = la aceleración de gravedad en m/s^2 ,

Q = el caudal en m^3/h

H = la altura en m.

(Grundfos, s.f.)

Figura 8: Curva de eficiencia típica de una bomba centrífuga

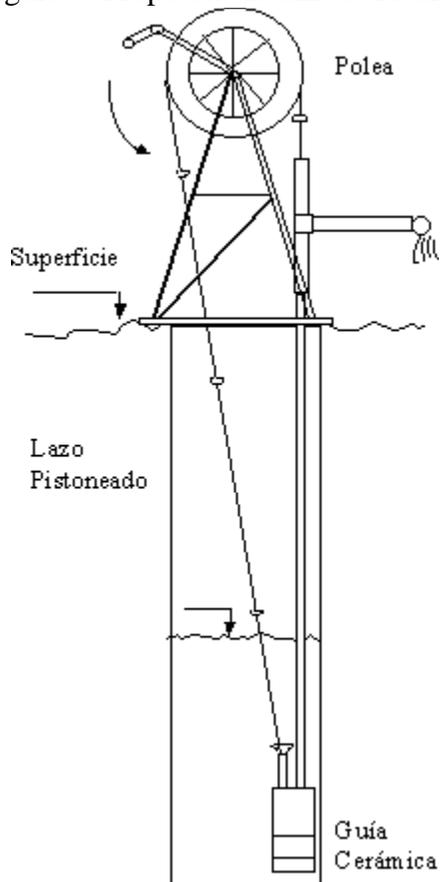


(Fuente: Grundfos)

E. Bomba de rosario

La bomba de rosario consiste en una rueda o polea, una cuerda a la que se fijan en intervalos regulares pistones o arandelas de caucho u otro material, un tubo de PVC y un cabezal guía colocado en el fondo del pozo. La cuerda es una sola pieza que es arrastrada desde la parte superior de la estructura y hasta el fondo del pozo por una rueda (polea de garganta) que se acciona por medio de una manivela, pero puede ser accionada también por un motor o el torque generado por una bicicleta. Una vez abajo, la cuerda pasa por el cabezal guía que la posiciona correctamente y adecúa los pistones que lleva unidos. A continuación, atraviesa el tubo de PVC llevando consigo el agua captada en el fondo del pozo entre los pistones o arandelas en el momento de entrada al tubo y es descargada al final del tubo. Con este sistema es posible bombear agua proveniente de una profundidad de hasta 20 metros. (Fuente: aprotec.com.co):

Figura 9: Propuesta sistema de rosario.



(Fuente: Aprotec)

F. Análisis estructural:

Se refiere al uso de las ecuaciones de resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura resistente, como edificaciones o esqueletos resistentes de alguna maquinaria. Igualmente, el análisis dinámico estudia el comportamiento dinámico de dichas estructuras y la aparición de posibles vibraciones perniciosas para la estructura (R. Hibbeler, 2012).

Estos análisis estructurales pueden ser realizados a través de varios softwares que permiten resolver, de forma muy rápida y confiable, análisis de estructuras geométricas complejas por medio de métodos matemáticos computarizados como el método de análisis de elementos finitos del programa ANSYS, utilizado para este proyecto. Por medio de estos análisis estructurales podemos determinar un factor de seguridad para estructuras de diversos materiales sometidas a esfuerzos dinámicos, así como determinación de esfuerzos y sus concentraciones.

Los valores importantes que determinar son: el factor de seguridad, que es el cociente entre la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real al que va a ser sometido, y en donde se encuentra la deformación máxima, que nos permitirá decidir posibles modificaciones en el sistema dependiendo de su valor.

Es posible calcular el factor de seguridad por medio de software, utilizando el modelo matemático de Mohr-Coulomb, que describe la respuesta de los materiales quebradizos sometidos a esfuerzos. En general, esta teoría se aplica a la mayoría de los materiales en ingeniería clásica ya que se comportan siguiendo esta teoría sometidos a esfuerzos de compresión y cortante. (Rocscience, s.f.)

G. Bicimáquinas:

Son máquinas diseñadas para ser impulsadas con fuerza de pedales, siendo una tecnología intermedia. Se caracterizan, generalmente, por estar compuestas por partes de bicicletas y otras máquinas. Son herramientas que sirven para apoyar la economía familiar, obteniendo una capacidad más alta que con el trabajo puramente manual. Las bicimáquinas son construidas artesanalmente utilizando diversos materiales: bicicletas usadas, partes recicladas de otras máquinas, madera, metal, plástico e, incluso algunas veces, concreto. (Mayapedal, s.f.)

Las bicimáquinas comienzan en Guatemala en 1997, con la organización Maya Pedal, que es una ONG guatemalteca ubicada en el pueblo de San Andrés Itzapa, Chimaltenango. Su meta es apoyar a pequeños proyectos sostenibles con el fin de mejorar el medio ambiente, la salud, la productividad y la economía básica de las familias en el área rural. (Muhimu, 2012)

Algunos ejemplos de tipos de bicimáquinas:

Bicimolino: Bicimáquina que adopta la función de un molino y una desgranadora. Es una alternativa eficiente para la producción en granjas familiares. La desgranadora se utiliza en la post-cosecha facilitando el desgrane de maíz. Economiza tiempo y dinero, solo se necesita una persona para operar. (Muhimu, 2012)

Figura 10: Bicimolino



(Fuente: Revista Muhimu)

Bicilavadora: Bicimáquina que permite a una persona, por medio de trabajo de pedaleo, tener la eficacia de una lavadora eléctrica, economizando el tiempo y el trabajo de lavar ropa a mano. Compuesta, principalmente, por partes metálicas y partes de bicicleta.

Figura 11: Bicilavadora.



(Fuente: Revista Muhimu)

Bicibomba de rosario: Con esta bicimáquina es posible extraer agua de piletas o Fuentes de agua que se encuentren a nivel de la superficie. Esta bicimáquina ha tenido varias iteraciones en su diseño debido a que se debe dejar fija en el lugar donde se le dará uso, esto implica que deberá ser suficientemente robusta para soportar las condiciones climatológicas (sol, lluvia, polvo, etc.) y también estar fijada al suelo por medio de una plancha de concreto con el fin de evitar que sea robada. (Fuente: visita realizada a Bicitec)

Figura 12: Bicibombomba de rosario



(Fuente: Mayapedal)

Una característica en común de todas las bicimáquinas, que vale la pena tomar en cuenta, es que utilizan partes de bicicletas para su construcción, lo que implica que, si se utilizan partes recicladas, estas deberán estar en un estado íntegro para garantizar que la bicimáquina funcionará correctamente, o utilizar partes de una bicicleta aún funcional, lo que implica un costo mayor al sacrificar una bicicleta para construir una bicimáquina.

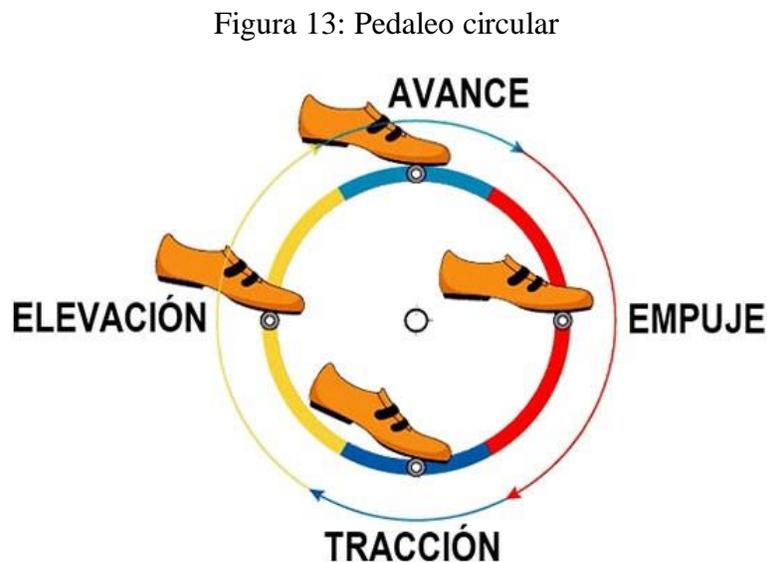
H. Mecánica del pedaleo:

El pedaleo consiste básicamente en el movimiento que se realiza sobre un pedal imprimiendo en él un trabajo. Existen dos tipos de pedaleo: el pedaleo de pistón y el pedaleo circular, que es en el que nos enfocaremos para este proyecto. (Brujulabike, 2018.)

El pedaleo de pistón consiste en imprimir un trabajo sobre un pedal que se limita únicamente a moverse sobre un eje. Un ejemplo de esto son los pedales de un automóvil o los pedales de una máquina de coser.

El pedaleo circular, también llamado pedaleo redondo, consiste en un movimiento de forma rotacional que se realiza sobre un eje pedalier. Es el pedaleo más optimizado ya que aprovecha todo el recorrido trasero del movimiento. (Brujulabike, 2018.)

Generalmente, el pedaleo circular se realiza con ambas piernas aportando empuje en cualquier punto del movimiento rotacional. En la Figura 9 se muestran las fases del pedaleo circular:

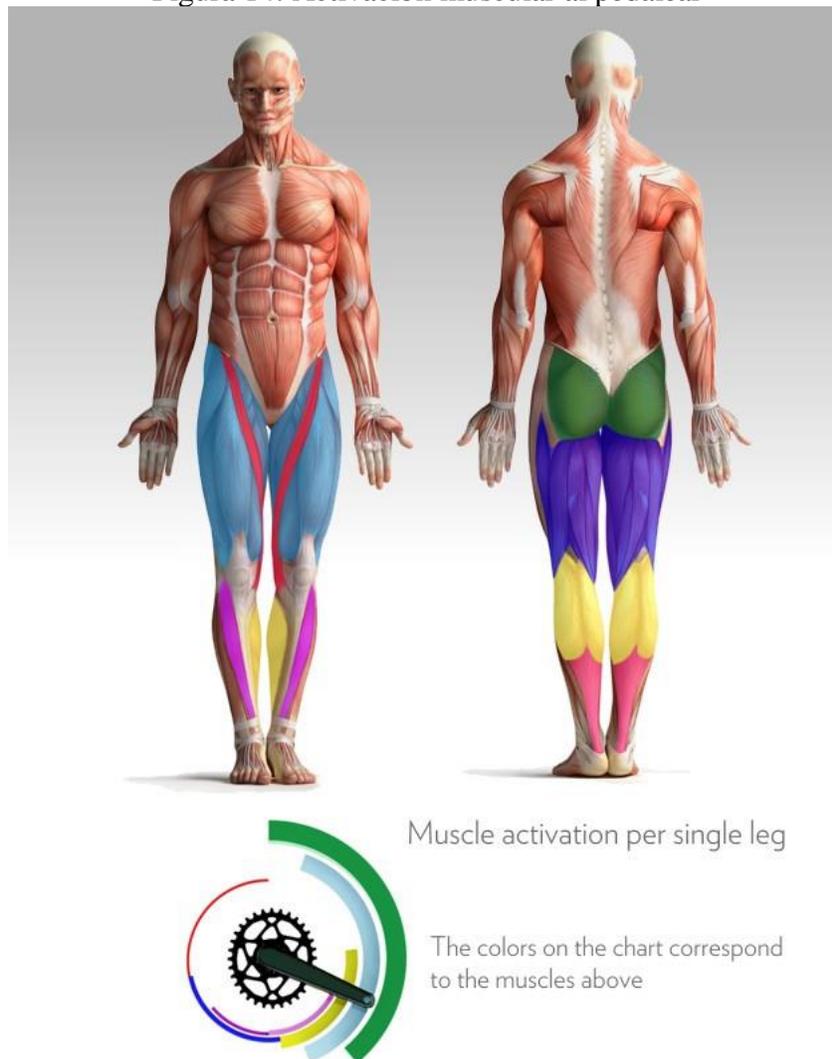


(Fuente: Brujulabike)

Fase 1, Empuje: Es la parte de mayor transmisión de trabajo, se ejerce fuerza en el pedal hacia adelante y abajo y son los cuádriceps y los glúteos los encargados de transmitir esta potencia hacia los pedales.

Fase 2, Tracción: A medida que el pie se acerca al punto más bajo del pedaleo, la pierna se estira para comenzar a contraerse de nuevo; en este punto son los músculos gastrocnemios (pantorrillas, gemelos), isquiotibiales (bíceps femoral) y los glúteos los encargados de transmitir potencia hacia los pedales.

Figura 14: Activación muscular al pedaleo



(Fuente: Brujulabike)

Fase 3, Elevación: En esta fase es de se diferencia un pedaleo eficiente de otro que no lo es. Justo cuando el pie comienza a subir de nuevo por la parte trasera no debemos dejarnos llevar por el empuje del pedal contrario, sino tirar de él para compensar los esfuerzos. En esta fase los músculos de la cadera son los que se encargan de hacer el trabajo.

Fase 4, Avance: Al acabar un ciclo de pedaleo, terminamos de recoger el pedal de la parte trasera y comenzamos nuevamente a empujar hacia adelante, regresando a la fase 1. (I. Palacios, 2018.)

I. Desempeños promedio en bicicletas:

El desempeño que una persona puede tener sobre una bicicleta depende directamente de tres factores: El tipo de la bicicleta (de montaña, de carrera, de carretera, etc.), condición física de la persona, que incluye aspectos como entrenamiento (o costumbre), fisionomía (altura, peso, edad) y condiciones externas, que incluyen el terreno, el clima, resistencia del aire, temperatura, entre otros factores. (Bikemontt, 2011.)

En muchos países donde las bicicletas son el principal medio de transporte urbano, se han normalizado las velocidades a las que los ciclistas deben circular. En Copenhague, por ejemplo, las personas que se desplazan en bicicleta suelen circular en torno a los 20 km/h. En Ámsterdam y Países Bajos, la velocidad promedio es entre 14.5 y 15.8 km/h, ya que circulan dentro de una ciudad con semáforos para bicicletas. (Quora, 2019.)

En Latinoamérica no se cuenta tan frecuentemente con estas regulaciones, por lo que la velocidad promedio es un poco mayor, de entre 20 y 29 km/h en plano, siendo sostenible por aproximadamente una hora. (J. Guevara, 2018).

J. Rodillo ciclista:

Un rodillo ciclista es una máquina que permite a los aficionados del ciclismo poder entrenar con sus bicicletas sin trasladarse de un lugar a otro, ya que la rueda trasera de la bicicleta es suspendida por medio de una estructura, y un rodillo graduable es adaptado para proveer resistencia.

Figura 15: Rodillo ciclista



(Fuente: Ciclismoafondo)

K. Volante de inercia.

Es un elemento pasivo, que únicamente aporta al sistema una inercia adicional de modo que le permite almacenar energía cinética.

Este volante continúa su movimiento por inercia cuando cesa el par motor que lo propulsa. De este modo, el volante de inercia se opone a las modificaciones violentas de un movimiento rotativo. Así se consiguen amortiguar las variaciones de velocidad angular. Es decir, su misión es suavizar el flujo de energía entre una Fuente de potencia y su carga.

Es muy utilizado en los automóviles, en su diámetro exterior el volante dispone de una corona dentada que servirá para la puesta en marcha del motor. Una cara del volante de inercia sirve de zona de fricción para el disco de embrague, el alineado del embrague en el volante, se consigue mediante pernos-guía o un reborde de fijación. El lado motor dispone de la sujeción sobre el cigüeñal, en el centro del volante de inercia se localiza el cojinete para introducir la punta del eje primario de la caja de cambios. (Xunta, s.f.)

Figura 16: Volante de inercia



(Fuente: Xunta)

L. Propiedades mecánicas del PVC

El policloruro de vinilo (PVC) es el producto de la polimerización del monómero del cloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil y utilizado en el mercado. En la industria existen dos tipos: El PVC rígido, que es utilizado para tubería, envases, ventanas, etc., y el flexible que se utiliza en fabricación de cables, juguetes, calzado, etc. (plasticbages, s.f.)

Tabla 1: Propiedades mecánicas del PVC

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Calor específico	1000-1500	(J K-1 kg-1)
Coefficiente de Expansión Térmica	75-100	(x10-6 K-1)
Temperatura Máxima de Utilización	75	C
Densidad	1.37-1.42	Kg/dm ³
Módulo de elasticidad a 20C	>28,000	Kg/cm ²
Tensión de rotura a tracción	> 500	Kg/cm ²
Peso específico	1.36-1.40	gr/cm ³ a 25°C
Tensión de diseño	100	Kg/cm ²
Resistencia a la tracción	450-550	Kg/cm ²
Resistencia a la compresión	610	Kg/cm ²
Módulo de elasticidad	30,000	Kg/cm ²

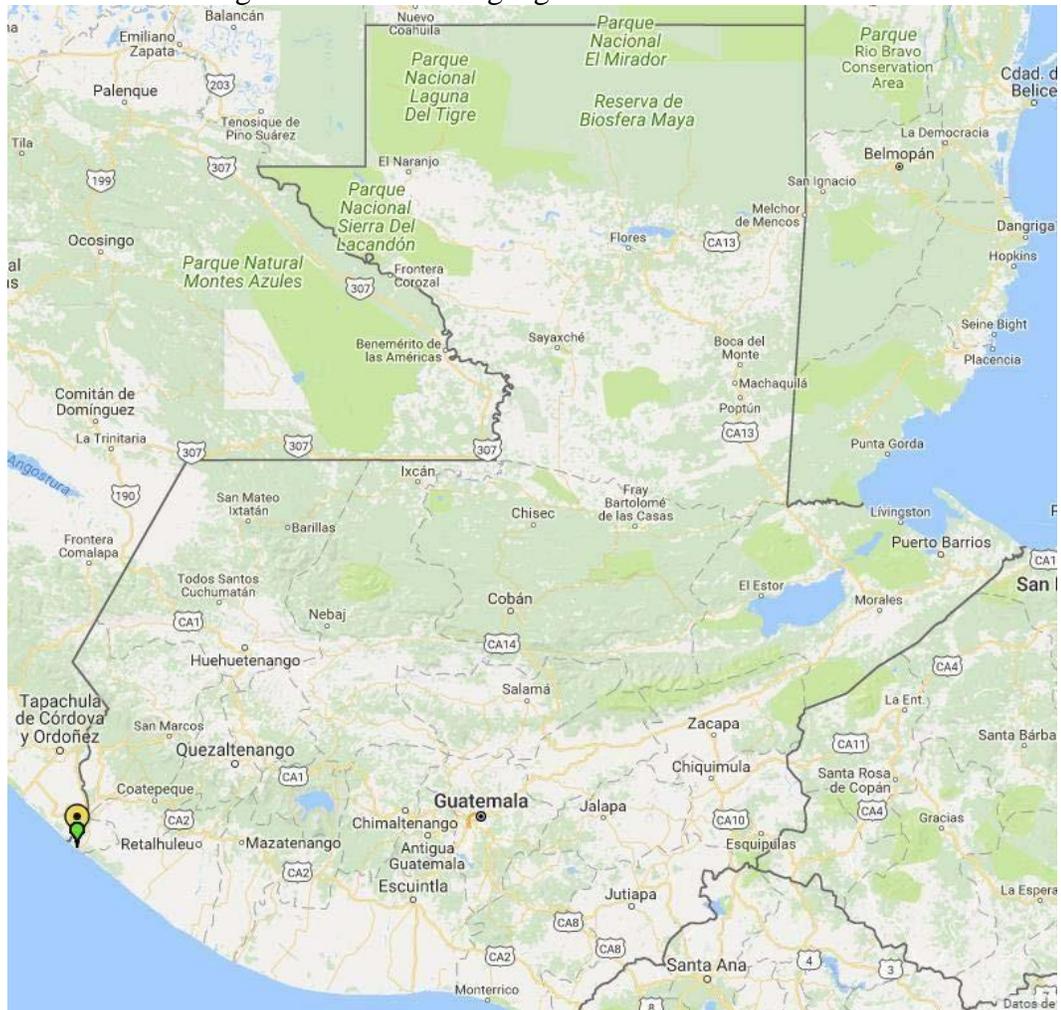
(Fuente: plasticbages)

V. ANTECEDENTES

A. LA ALDEA

La aldea “Chiquirines”, llamada así desde hace 3 años (anteriormente conocida como “Caserío Chiquirines”) perteneciente al municipio de La Blanca, San Marcos, es una aldea en la que viven aproximadamente 40 familias cuya principal labor es trabajar en las fincas aledañas. Durante el trabajo de campo se realizó una extensa investigación en la que se indagó sobre la situación actual y el estilo de vida de los pobladores.

Figura 17: Ubicación geográfica de la aldea



(Fuente: Google Maps)

B. OBTENCIÓN DEL AGUA

En la aldea se puede conseguir agua de tres formas, (1) “agua entubada” como se le conoce, que es agua de lluvia proveniente de un depósito comunitario, (2) agua de pozo que es la utilizan para cocinar y asearse, y (3) agua de lluvia que los pobladores acumulan en toneles.

Figura 18: Depósito comunitario



(Fuente: propia)

El agua entubada es utilizada para labores de limpieza como lavar ropa y platos, pero únicamente si no tienen agua de pozo disponible ya que el uso de agua entubada es pagado a la municipalidad, mientras el agua de pozo extraída por ellos no tiene costo.

C. La situación socioeconómica

Siendo una aldea campesina, las Fuentes de trabajo se limitan a labores de campo en las fincas aledañas. En la comunidad existen estratos sociales bastante definidos según los trabajos que cada familia desempeña. Las familias con ventajas económicas poseen motobombas eléctricas para obtener agua de sus pozos. Las familias de situación promedio utilizan pozos convencionales y obtienen agua por medio de cubetas y las familias con desventajas económicas acuden a ríos cercanos para obtener agua.

D. Roles y cultura

Dentro de la comunidad los hombres, mujeres y niños tienen roles bien establecidos dentro del hogar. Es labor del hombre proveer dinero, maíz y asegurar la infraestructura de la vivienda, mientras que las labores de las mujeres consisten en la elaboración de los alimentos, lavar ropa, criar a los hijos y obtener agua. Por cultura los pobladores acostumbran a cocinar utilizando exclusivamente agua de pozo, la cual tiene un sabor “salobrego” (salobre), que le da a la comida un sabor característico y que, según ellos, es más higiénico que el agua de la tubería. Para obtener el agua, la mujer de cada familia saca agua de su pozo hacia su pileta diariamente para cumplir sus labores.

En la aldea el principal medio para transportarse es la bicicleta, la cual es utilizada por hombres, mujeres y niños, tanto para transportarse hacia las fincas donde laboran como para acudir a comprar los alimentos.

E. Pozos de la aldea

Los pozos son la principal Fuente de agua en la comunidad y la mayoría de las familias cuentan con uno en su vivienda o comparten alguno con vecinos cercanos.

Existen varios tipos de pozos dentro de la comunidad, dependiendo del estrato social de la familia y el método que utilizan para extraer agua. El pozo convencional es de aproximadamente un metro cuadrado de área, delimitado por cemento, adoquín o rocas. El agua es extraída por medio de una cubeta con un lazo que se hace pasar por una polea y se

arroja consecutivas veces al pozo (aprox. 1/2 gal/min dependiendo de la persona). La profundidad de los pozos es entre 15 y 20 metros aproximadamente y el “espejo de agua” (superficie de agua dentro del pozo) es entre 7 y 10 metros, dependiendo la época del año. El tiempo que toma una ama de casa para llenar una pileta promedio es entre 1 y 2 horas.

Figura 19: Pozo de la aldea



(Fuente: propia)

Figura 20: Pozo de la aldea #2



(Fuente: propia)

Ciertas familias cuentan con una motobomba para extraer agua de su pozo, lo que ellos denominan como “pozo mecánico”, que es, prácticamente, un pozo convencional sellado, con motor eléctrico que les permite bombear agua. Estos pozos son utilizados solamente por familias con una mejor posición económica ya que implica un gasto económico adicional al ser potenciado por energía eléctrica. La cantidad de agua que pueden bombear varía con la capacidad de cada motor.

En la actualidad, esto no es una solución permanente ya que los “apagones de luz” son sumamente frecuentes y no es raro que la comunidad pase varios días, o incluso semanas, sin corriente eléctrica, debido a los conflictos de los aldeanos con los proveedores de energía eléctrica.

Figura 21: Pozo con bomba eléctrica #1



(Fuente: propia)

Figura 22: Pozo con bomba eléctrica #2



(Fuente: propia)

Por último, los pozos de motor que son utilizados generalmente dentro de las fincas para regar cultivos y constan de un motor de gasolina o Diesel.

Figura 23: Pozo con bomba de combustible #1



(Fuente: propia)

Figura 24: Pozo con bomba de combustible #2



(Fuente: propia)

F. Procedimiento para pozos sin bomba:

En los pozos tradicionales sin bomba se requiere extraer el agua por medio de una cubeta la cual es arrojada dentro del pozo y posteriormente subida por medio de una cuerda y una polea. Las cubetas pueden extraer medio galón y toma entre uno y dos minutos por subida. Las amas de casa llenan diariamente sus piletas con este método.

Figura 25: Pozo tradicional con polea



(Fuente: propia)

G. El terreno

La mayoría de las casas cuentan con suelo de cemento, aunque el área donde se encuentran los pozos, así como las calles de la comunidad, son de terracería. El terreno es bastante estable ya que debido a la localidad de la aldea las lluvias son bastante escasas.

Figura 26: Terreno



(Fuente: propia)

H. Comercio y recursos disponibles en la aldea

Dentro de la comunidad se encuentran varias tiendas de conveniencia, una ferretería que también funciona como tienda de bicicletas, entre otros negocios. Esta ferretería cuenta con materiales básicos de construcción, así como repuestos para bicicletas.

Figura 27: Tienda de bicicletas



(Fuente: propia)

Figura 28: Herramientas de la ferretería de la aldea



(Fuente: propia)

VI. METODOLOGÍA

A. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

1. Visita a la comunidad:

El objetivo de las visitas a la comunidad fue recopilar información importante para el proyecto, como la profundidad de los pozos en la aldea que tiene es una variable que tomar en cuenta para el diseño final, investigar acerca del estilo de vida de los pobladores, así como la cantidad de familias que podrán beneficiarse del proyecto. Investigar la disponibilidad de materiales con la que cuentan los habitantes de la aldea de modo que pueda asegurarse la posibilidad de replicación del prototipo. Investigar sobre los equipos con los que cuenta la comunidad, si hay equipo de soldadura y carpintería y si estuviesen dispuestos a invertir en esta alternativa, tanto económica como artesanalmente. Determinar quién será el usuario final de la bicimáquina, así como el tiempo y frecuencia de uso y qué expectativas muestran los usuarios finales.

Esta información se recopila de varias maneras, principalmente por medio de entrevistas a las amas de casa de la comunidad, en quienes recae la tarea de extraer el agua de los pozos para sus actividades diarias. Se encuesta un total de diez amas de casa para comprobar si estuviesen dispuestas a probar una nueva forma de extracción de agua utilizando sus bicicletas, garantizándoles que sería más rápido que la forma tradicional. Se mide la profundidad de 6 pozos de la comunidad. La profundidad a la que se encuentra el agua desde el borde del pozo se mide con una cinta métrica y nuevamente en cada visita para comparar los datos obtenidos según la temporada del año, en total se realiza tres mediciones de cada pozo. En la aldea se visita varios negocios proveedores de material de construcción para recopilar disponibilidad y precios de los materiales disponibles. Se hará una lista de los materiales que se consideren necesarios y útiles para la fabricación con el fin de tener varias opciones para la construcción y que, a la hora de realizar la manufactura, solo se utilicen materiales disponibles en la aldea.

Cuadro 2: Check list de posibles materiales disponibles en la aldea.

Material	Disponibilidad	Costo
Perfiles L de metal		
Tubería de PVC		
Electrodos de soldadura		
Pegamento de PVC		
Cemento de contacto		
Pegamento epóxico		
Accesorios de tubería PVC		
Abrazaderas metálicas		
Tornillos		
Sierra de mano		
Limas para metal		
Tuercas para llantas		

(Tabla propia)

Se visita también a los negocios que contaban con equipo de soldadura y carpintería para comprobar que es posible replicar el prototipo en la aldea. Se realizó una lista de las herramientas con las que contaban para asegurarse que solo se utilizarían estas herramientas en el taller de la Universidad.

2. Investigación bibliográfica:

El objetivo de realizar una investigación bibliográfica previa a la recopilación de datos de campo es recopilar información sobre proyectos similares que puedan servir de base a este proyecto. Así mismo, estudiar conceptos físicos que se vean incluidos en el diseño del proyecto como resistencia de materiales, conceptos útiles para análisis estructurales y funcionamiento de bombas. Investigar sobre bombas y sus características como tipo, caudal, presión y demás especificaciones que podrían resultar útiles para el desarrollo del diseño y garantizar su funcionamiento. También investigar sobre la física del funcionamiento de las

bicicletas; la mecánica del pedaleo, la resistencia de la condición física de una persona promedio, etc.

Esta investigación se realizó, en su mayoría, en bibliografías digitales disponibles al público en diversos sitios web, así como artículos y revistas dedicadas a informar sobre el ciclismo y estudios respectivos al tema.

3. Visita a otros fabricantes de bicimáquinas:

El objetivo es realizar una visita para recopilar información de diseños de otros mecanismos desarrollados en Guatemala que puedan ayudar a mejorar el diseño propio, así como a calcular su costo de fabricación.

Durante esta visita se tiene como objetivo realizar una entrevista al señor Carlos Marroquín, fundador de Bicitec, que es una organización en Guatemala dedicada al desarrollo y construcción de bicimáquinas con el fin de indagar sobre el interés que las personas le dan a sus bicimáquinas, según el costo de fabricación y su eficacia.

Con estos aspectos se tomarán decisiones importantes para el proyecto, como su viabilidad y complejidad, así como un costo propuesto.

B. FASES DE DISEÑO

Las principales ideas para el diseño son obtenidas mediante la comparación con sistemas ya existentes (bicimáquinas), buscando como objetivo principal que los pobladores estén de acuerdo con utilizar y reproducir este diseño, que se traduce en simplicidad y costo. Debido a esto, se plantea un diseño que no tome en cuenta el costo de la bicicleta, sino únicamente el de un dispositivo adaptable, que solo requiera utilizar la bicicleta en el momento en el que se desee bombear agua y así ahorrar su costo.

Según este criterio, se procede a diseñar un dispositivo adaptable que sea posible de construir con materiales disponibles en la aldea y con el menor costo posible.

1. Diseño del mecanismo de sujeción:

Cuyo objetivo es asegurar la bicicleta al dispositivo, elevándola levemente para garantizar que una persona adulta pueda pedalear cómodamente mientras la potencia generada es transmitida a sistema de bombeo.

El sistema de sujeción es la parte del dispositivo que mantiene restringida a la bicicleta con relación a la estructura. Este sistema debía poder ser adaptado a distintos tipos de bicicleta, garantizando que pudiera ser utilizado con la mayoría de las bicicletas de la localidad.

Se investigó sobre diseños similares que cumplen con los criterios seguridad, facilidad de construcción y costo y que sean replicables con materiales de ferretería disponibles en la aldea. Se estableció que, si el diseño investigado era funcional y replicable, se tomaría en cuenta su facilidad y costo de construcción como criterio de decisión.

2. Diseño de la estructura:

Para esta fase se planea realizar varios análisis estructurales en Software, de deformación y de cálculo de factor de seguridad con diferentes diseños para la estructura y en diferentes materiales con el fin de garantizar una relación precio-factor de seguridad conveniente y así mismo garantizar que el diseño sea de una geometría conveniente para su fabricación en la aldea con los materiales disponibles.

Es el componente del prototipo que sostendrá el peso de la bicicleta y el usuario, deberá poder ser lo suficientemente rígido para garantizar su uso con comodidad y seguridad, y deberá ser durable en condiciones de humedad.

3. Diseño del sistema de bombeo:

Cuya función es recibir la potencia generada por la persona al pedalear y utilizarla para sacar agua del pozo. A su vez se dividirá en investigación de posibles opciones, así como de diseñar el proceso de manufactura una vez se haya seleccionado la opción más adecuada,

que se seleccionará según su facilidad de construcción y costo, para garantizar fomentar en los pobladores su replicación. Pretende abarcar pruebas de funcionamiento y comodidad.

4. Cálculos estructurales:

Se realizarán por medio de software, según las especificaciones de los distintos materiales seleccionados, así como cargas simuladas al ser utilizados por una persona adulta.

C. PRESUPUESTO Y COMPRA DE MATERIALES:

Según la selección y diseño de componentes para el prototipo se cotizó en el mercado los distintos materiales y accesorios necesarios. Nuevamente, se enfatiza que todos estos materiales deben estar disponibles en la aldea.

D. MANUFACTURA:

Realizar con la manufactura una vez terminados los diseños y análisis en software. Se planea realizar en el taller de Metalmecánica de la Universidad del Valle de Guatemala con componentes previamente confirmados en la localidad y con equipo al que tengan acceso los pobladores de la aldea a fin de garantizar que se pueda replicar en la aldea.

El plan de manufactura se ve iniciado en la construcción de la estructura para poder adaptar y construir sobre ella, las demás partes del mecanismo.

E. PRUEBAS:

1. Pruebas físicas:

Posterior a haber realizado la manufactura se realizará pruebas físicas a fin de garantizar el factor de seguridad sugerido por el software.

Utilizar el dispositivo terminado en una simulación con condiciones físicas similares a los de la localidad, con un peso mayor al sugerido, garantizando el factor de seguridad sugerido por el software.

2. Pruebas de desempeño en campo:

El objetivo es dar a conocer la bicimáquina a los pobladores, incluyéndolos como sujetos de prueba a fin de cultivar su interés en el diseño y replicación.

Realizar entrevistas para conocer la opinión de los pobladores del diseño, así como para tomarlos en cuenta en modificaciones o mejoras del diseño.

Medir tiempos y caudales con varias personas de complejiones diferentes a fin de garantizar que el dispositivo es utilizable por un rango de personas que abarque a la mayoría de los pobladores.

VII. RESULTADOS

A. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

1. Visita a la comunidad:

Según el plan metodológico, se investigó los métodos en que los pobladores consiguen el agua por medio de entrevistas tipo conversación, ya que se sugirió que, en una entrevista formal, los pobladores tendían a informar más sobre un escenario ideal que a la realidad.

De esta manera se entrevistó a varias amas de casa acerca de las formas habituales en las que consiguen y utilizan el agua, la información obtenida se encuentra detalla en los antecedentes de este trabajo.

Se procedió a localizar pozos dentro de la comunidad en los que se pudiera utilizar el prototipo, para medir su profundidad y distancia al espejo del agua. Las medidas tomadas en la primera visita, durante la época seca, dieron como resultado un rango de 8 a 10 metros de distancia al espejo del agua. Es de hacer notar que esta diferencia se podía encontrar en pozos muy cercanos, pozos con una distancia de 20 metros entre sí, podían tener 2 metros de diferencia al espejo del agua. Durante la segunda y tercera visita, se midió nuevamente la distancia al espejo del agua, esta vez en temporada de lluvia, obteniendo un rango de 7 a 8 metros de profundidad al espejo. Con estos datos, se obtiene la altura mínima a la que la bomba debe ser capaz de bombear.

Figura 29: Medición de la profundidad del pozo.



(Fuente: propia)

En estas visitas se averiguó sobre los materiales disponibles en la aldea, encontrando una ferretería, dos carpinterías y una herrería con equipo de soldadura eléctrica.

Figura 30: Herrería de la aldea.



(Fuente: propia)

Figura 31: Equipo de soldadura encontrado en la aldea.



(Fuente: propia)

El único electrodo disponible para soldadura con arco en la aldea es el 6013.

Figura 32: Electrodo disponible en la aldea.



(Fuente: propia)

Se recopiló información sobre las bicicletas que se utilizan en la comunidad, siendo, la gran mayoría de estas, tipo montañesa, marca Maya Tour.

Figura 33: Bicicleta de la aldea



(Fuente: propia)

En la ferretería de la aldea se encontró variedad de herramienta disponible, así como de tubería y accesorios de PVC y repuestos para bicicletas.

Los precios de los materiales cotizados en la aldea se especifican en la siguiente tabla:

Cuadro 3: Cotización inicial en la aldea.

Producto	Precio
Tubo de PVC de 1" de 160 psi, 6 metros L	Q12.00
Pomo de pegamento de PVC	Q16.00
Codo recto, PVC 1" 160 psi	Q4.00
Tee, PVC 1" 250 psi 90°	Q6.00
Adaptador roscado, PVC 1"	Q6.00
Abrazadera tipo cinturón, metálica	Q.14.00 paquete de 5
Abrazadera doble oreja para tubería de 1"	Q.2.50
Paquete de tornillos para madera	Q.4.50
Soldadura plástica (epóxico)	Q10.00
Tuerca para llanta	Q4.00

(Fuente: tabla propia)

2. Visita a otros fabricantes de bicimáquinas:

Se realizó la visita a Bicitec el 7 de septiembre de 2017, para realizar una investigación acerca de proyecto similares que se realizan en Guatemala, así como el alcance social que poseen. La sede de la organización se encuentra ubicada en San Andrés Itzapa, en el departamento de Chimaltenango. Se consultó con el fundador, el señor Carlos Marroquín sobre el diseño y construcción de las bicimáquinas que el realiza.

El señor Marroquín indicó que entre sus máquinas más populares se encuentran las bicibombas, que pueden ser hechas con el sistema de bomba de rosario o utilizando una bomba comercial, la cual se adapta para ser utilizada por medio de pedaleo. Este sistema es utilizado comúnmente en áreas donde escasea la energía eléctrica y es necesario utilizar métodos mecánicos para extraer agua.

Figura 34: Bicibomba de Bicitec, con bomba comercial y volante de inercia.



(Fuente: propia)

Una característica que se logró detectar en las bicibombas del señor Marroquín fue que siempre se construyen con una rueda de cemento que actúa como volante de inercia que facilita la extracción del agua una vez se ha comenzado el pedaleo, pero impide que el sistema sea recolocado en otro lugar por una sola persona. Otros modelos de bicimáquinas se fijan directamente a la Fuente de agua de donde se quiere bombear y no es posible reposicionarlos, debido a que se adhieren a una plancha de cemento que se fija permanentemente al lugar.

Según el señor Marroquín, el costo de una bicibomba completamente instalada ronda entre Q1,800 y Q2,500 dependiendo de la localidad y del sistema de bombeo instalado.

Con esta información se tomó dos decisiones importantes para el proyecto: Diseñar un mecanismo que pudiera ser trasladado fácilmente por una persona, con el fin de que un solo dispositivo pueda bombear agua de diversos pozos y que el diseño no requerirá modificar una bicicleta en su construcción, con el fin de ahorrar el costo de la bicicleta.

B. FASES DE DISEÑO

Para el diseño del prototipo inicial se buscó opciones funcionales que pudieran ser replicadas con materiales dentro de la aldea. El diseño debía cumplir con ciertos requisitos: ser pequeño y lo suficientemente liviano como para ser transportado por una persona (menos de 50 lb), brindar la suficiente estabilidad para que una persona adulta pudiera pedalear cómodamente, es decir sin molestias de posición y por el período que tome en extraer el agua deseada, poder adaptar diferentes tamaños de bicicletas y poder adaptar un mecanismo que transmitiera la potencia generada al sistema de bombeo.

Con esto en mente, se optó por un diseño similar al de un rodillo ciclista:

Figura 35: Rodillo ciclista



(Fuente: Chollodeportes)

Se propuso que el prototipo debía tener tres componentes principales: La estructura, el mecanismo de sujeción y el mecanismo de bombeo.

1. La estructura:

El diseño de la estructura pasó por varias iteraciones y materiales; inicialmente se pensó en una estructura de madera, por su facilidad de construcción y bajo costo.

Figura 36: Estructura de madera.

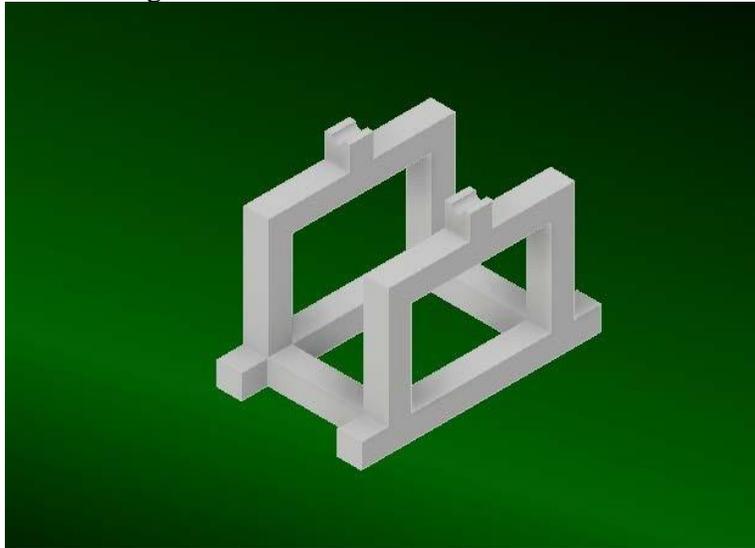


(Fuente: Askix)

Esta idea fue rechazada después de la primera propuesta ya que se especuló que la integridad estructural no cumpliría con un tiempo de vida mayor a unos pocos meses en condiciones de humedad debido a la podredumbre que se podía generar.

La segunda propuesta fue construirla de metal, ya que este material garantizaba la rigidez necesaria y su costo de construcción no sobrepasaba de Q.100. El diseño se modeló únicamente con ángulos rectos, con el fin de facilitar su construcción.

Figura 37: Diseño inicial de la estructura.



(Fuente: propia)

Luego de su construcción, se procedió a realizar pruebas físicas para asegurar que la estructura resistiera un peso de 300 libras.

Figura 38: Prueba de la estructura metálica con 300 lbs.

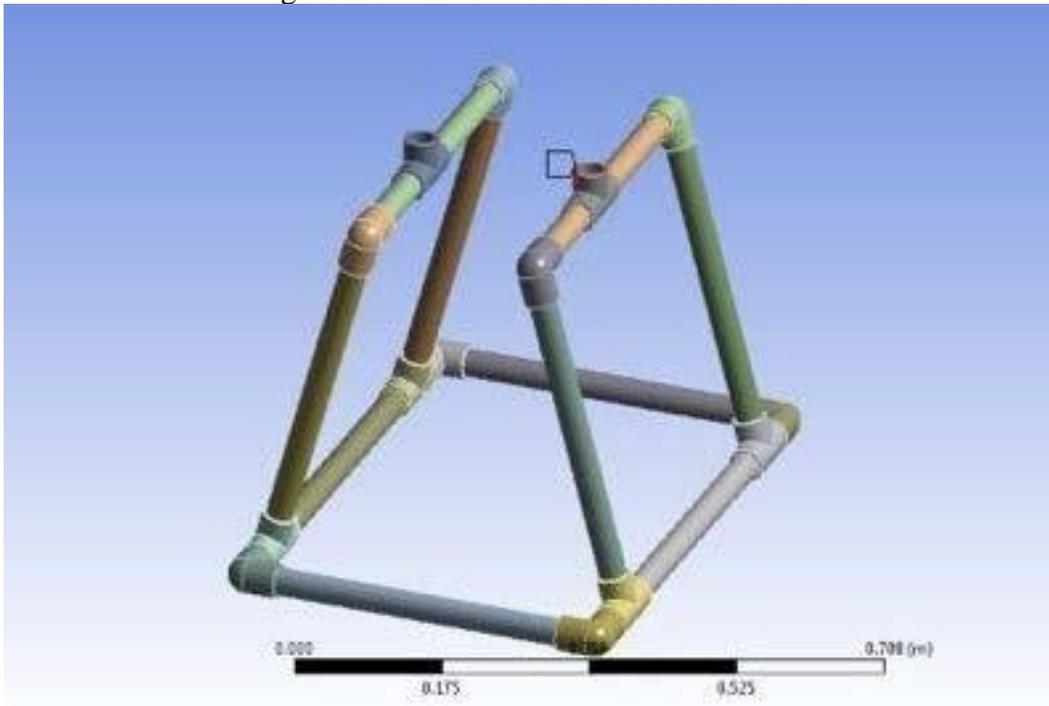


(Fuente: propia)

La estructura resistió los esfuerzos impuestos, pero comenzó a oxidarse en cuestión de pocos días, comprometiendo su integridad en un período demasiado corto. El peso de la estructura era de aproximadamente 55 libras, lo que también dificultaba su movilidad. Debido a estos factores, se decidió rediseñar la estructura con un nuevo material.

Luego de descartar los materiales inicialmente propuestos, se procedió a buscar un nuevo material que cumpliera con las características previamente establecidas y que se encontrara disponible en la localidad. Se decidió optar por un diseño con tubos de PVC de una pulgada para presión de 165 psi.

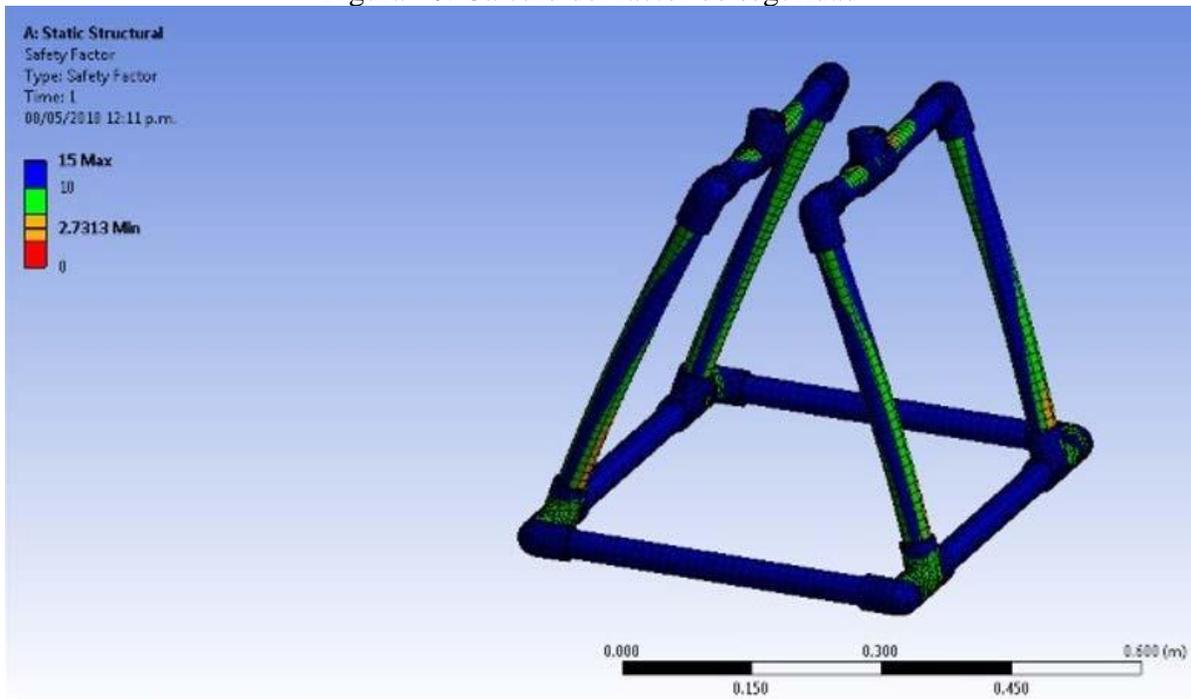
Figura 39: Diseño inicial con tubos de PVC



(Fuente: propia)

Luego de tener el diseño preliminar se procedió a realizar análisis estructurales por medio de software. Para este procedimiento se utilizó el programa Workbench de Ansys. Los resultados garantizan un factor de seguridad de 2.73 por teoría de Mohr-Coulomb Stress para la estructura de PVC con una carga de 200 libras.

Figura 40: Cálculo del factor de seguridad



(Fuente: propia).

Una vez obtenido el factor de seguridad de la estructura, se procedió a su construcción. Para ello se cortó el tubo con una sierra de mano y se pegó a los codos y tes con pegamento de PVC.

Figura 41: Construcción del diseño inicial con tubos de PVC



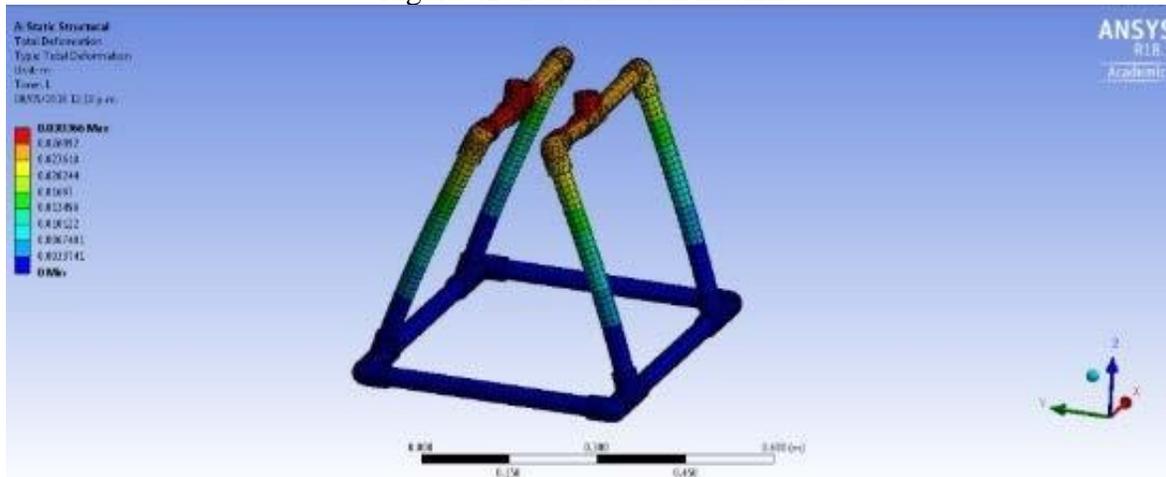
(Fuente: propia)

Una vez terminado el prototipo inicial, se llevó a la localidad para realizar pruebas físicas, pero se detectó inconformidad por parte de los pobladores de la aldea, quienes, a pesar de haberseles explicado que la estructura contaba con un factor de seguridad, se mostraban inseguros e indispuestos a probar el prototipo por temor a que la estructura pudiera colapsar.

Se procedió a realizar una nueva iteración, agregando, según las sugerencias de los pobladores, refuerzos metálicos para brindar mayor confianza en su uso. Estos refuerzos no eran estrictamente necesarios para garantizar la integridad del prototipo, sin embargo, se decidió agregarlos con el fin de garantizar la disposición de los pobladores a probar y replicar el dispositivo.

Para esta iteración, se tomó en cuenta la deformación máxima de la estructura, la cual sucedía en la parte superior, siendo de 3.26 mm donde se tiene aplicada la carga de la bicicleta.

Figura 42: Deformación máxima.



(Fuente: propia)

Se decidió agregar una tercera columna de PVC en cada lado de la estructura, debajo de donde sucede la deformación máxima y agregar los refuerzos metálicos.

Estos refuerzos metálicos consisten en varillas de acero a las que se les dio la forma deseada y fueron sujetadas a la estructura por medio de abrazaderas de acero de tipo cinturón. El costo de las varillas fue de Q.20.00

Figura 43: Refuerzos metálicos.



(Fuente: propia)

Figura 44: Diseño final con tubos de PVC



(Fuente: propia).

2. Sistema de sujeción:

La primera propuesta para este sistema fue diseñar la estructura de modo que la tijera (vaina inferior) de la bicicleta recayera directamente sobre esta, dejando la rueda trasera alzada.

Figura 45: Propuesta inicial para el sistema de sujeción



(Fuente: Btt)

Esta propuesta fue descartada pues no aseguraba que la bicicleta no oscilara durante el movimiento de pedaleo, lo que podía resultar incómodo e inseguro para usuario.

Nuevamente se buscó diseños funcionales que cumplieran con los requerimientos necesarios y se optó por un sistema de sujeción similar al de un rodillo ciclista, que consta de dos tornillos autoblocantes que se gradúan apretando a la bicicleta por el eje de la rueda trasera.

Figura 46: Propuesta con tornillos autoblocantes.



(Fuente: Runnium)

Este diseño se replicó utilizando tornillos para concreto y tuercas para llantas (chuchos). Los tornillos se soldaron a las tuercas por soldadura eléctrica y el sistema se adhirió a la estructura por medio de tuercas y soldadura plástica. Por último, se soldó una pequeña pieza de metal para facilitar el giro manual de los tornillos.

Figura 47: Sistema de sujeción.



(Fuente: propia)

3. Sistema de bombeo:

Para este sistema se propuso dos sistemas: Sistema de bomba de rosario que es utilizado comúnmente en las bicimáquinas actuales o adaptar una bomba comercial.

Este sistema se descartó después de proponerlo debido a la complejidad de su construcción y que las pruebas reales serían únicamente durante las visitas a la comunidad.

Se procedió a diseñar el sistema de bombeo utilizando una bomba comercial adaptada. Si bien, contamos con la desventaja económica que resulta comprar una bomba comercial, es posible utilizar de esta manera, una bomba a la que se le haya dañado el sistema eléctrico, que generalmente es donde fallan, ya que es la parte con menor tiempo de vida.

Se cotizó varias opciones de estas bombas en el mercado local (ver anexos), tomando en cuenta que deben tener la capacidad para bombear agua de por lo menos 10 metros de profundidad. Los precios del mercado se encuentran en la tabla siguiente:

Cuadro 4: Cotización de bombas eléctricas

ARTÍCULO	PROVEEDOR	PRECIO
Bomba de agua de 0.5 HP 110V “importada”	CELASA (ANEXO 1, Fig. 58)	Q.221.72
Bomba de agua de 0.5 HP 110V “DWS”	CELASA (ANEXO 1, Fig. 59)	Q.336.18
Bomba para agua de ½ HP Periférica “TRUPER”	CEMACO (ANEXO 1, Fig. 60)	Q.299.99

(Fuente: propia)

Se tomó la decisión de comprar la tercera opción, la bomba marca TRUPER ya que era la más económica con disponibilidad para entrega inmediata.

Para la adaptación de la bomba se removió el sistema eléctrico del motor (estator) de la bomba, dejando únicamente el eje del motor, al cual se le transmitirá la potencia generada en el pedaleo. Y modificándola para poder acceder al eje con la rueda de la bicicleta.

Figura 48: Estator de la bomba



(Fuente: propia)

Figura 49: Eje del motor de la bomba



(Fuente: propia)

Figura 50: Remoción del sistema eléctrico de la bomba



(Fuente: propia).

Por último, se le colocó un revestimiento de caucho al eje de la bomba para garantizar una mayor tracción del eje contra la rueda de la bicicleta.

Figura 51: Adición del revestimiento de caucho al eje del motor.



(Fuente: propia)

El revestimiento de caucho se obtuvo reciclando un tubo de llanta de bicicleta y se pegó con cemento de contacto.

Para adaptar el sistema de bombeo al prototipo fue necesario agregar un marco de madera para poder atornillar la bomba y que no se moviera al momento de estar en contacto con la rueda. El costo de la madera fue de Q35.00. También se aseguró la estructura al marco por medio de abrazaderas de doble oreja.

Figura 52: Dispositivo con cuadro de madera agregado



(Fuente: propia)

Entre la bomba y el marco de madera se colocó una pieza metálica con forma escalonada que se permite cambiar la altura de la bomba según se coloque, que sirve para adaptar la bomba a distintos tamaños de bicicleta según se necesite, se puede adaptar a bicicletas con rines 24, 26 y 28, siendo estos los más comunes en el mercado.

Este escalón se fabricó de metal, dándole forma desbastando en un disco giratorio abrasivo. Tiene dos escalones de 1.5 cm, cada uno, que es la medida necesaria para poder adaptar los rines 24 y 26, para el rin 28 no es necesario utilizar el escalón ya que el tamaño del rin es suficiente para alcanzar el eje de la bomba.

Figura 53: Elevación ajustable de la bomba



(Fuente: propia)

Figura 54: Diseño final



(Fuente: propia)

C. MANUFACTURA:

La manufactura y construcción se realizó en el taller de metalmecánica y en el taller de carpintería de la Universidad del Valle de Guatemala, con materiales obtenidos tanto en la localidad como en la ciudad de Guatemala, asegurando siempre que fuera posible la obtención de todos los materiales en la localidad.

Se trabajó durante varios meses utilizando las herramientas y el equipo de soldadura del taller, así como herramientas de carpintería.

Se utilizó herramientas similares a las encontradas en la aldea: prensa de banco, limas, sierras de mano, equipo de soldadura de arco eléctrico, pinzas tipo alicate.

El manual de construcción se encuentra al final del trabajo en la sección de anexos.

Figura 55: Manufactura en la UVG.



(Fuente: propia)

D. PRUEBAS:

Una vez terminado la construcción del dispositivo, se llevó a la localidad para realizar pruebas físicas. En la aldea, se procedió a realizar pruebas en uno de los pozos.

Se adaptó una bicicleta y solicitó a uno de los pobladores extraer de agua con el dispositivo.

Figura 56: Pruebas en la aldea.



(Fuente: propia)

Luego del cebado de la bomba, se logró bombear de un pozo con una profundidad de 7.35 metros de profundidad al espejo del agua.

El cebado de la bomba se hace por medio del conducto cebador de la bomba, que se llena de agua hasta llenar el tubo que posee una válvula antirretorno.

Se midió el caudal utilizando un contenedor de un galón y tomando el tiempo de llenado. Se sugirió al usuario que pedaleara de una manera cómoda que pudiera mantener constante por un período de unos 15 minutos. A este ritmo se midió una velocidad de pedaleo aproximada de 60 rpm.

El resultado fue que se logró llenar varias veces el contenedor en un tiempo aproximado de 30-35 segundos por llenado.

El tiempo promedio para montar la bicicleta al dispositivo fue, en las primeras ocasiones, entre 5 y 10 minutos, por lo que se estima que, al repetir este procedimiento diariamente, el tiempo de montaje se reduzca. El procedimiento de montaje es sumamente sencillo, consiste en ajustar el sistema de sujeción al eje de la rueda trasera de la bicicleta, levantándola levemente hasta llegar al nivel deseado, de modo que las tuercas sujeten el eje y luego apretando para asegurar que no se mueva durante el pedaleo (ver Figuras 47, 56 y 69)

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Costos de construcción:

Cuadro 5: Costo neto de construcción

Elemento	Cantidad	Costo	Costo Total
Tubo de PVC de 1" de 160 psi, 6 m largo	2	Q.12.00	Q.24.00
Pomo de pegamento de PVC	1	Q.16.00	Q.16.00
Codo recto de PVC 1" 160 psi	10	Q.4.00	Q.40.00
Te de PVC 1" 250 psi 90°	8	Q5.00	Q.40.00
Adaptador roscado, PVC 1"	2	Q.6.00	Q.12.00
Abrazadera tipo cinturón, metálica -5pack	2	Q.14.00	Q.28.00
Abrazadera doble oreja para tubería de 1"	6	Q.2.50	Q.15.00
Paquete de tornillos para madera	1	Q.4.50	Q.4.50
Soldadura plástica (epoxico)	1	Q.10.00	Q.10.00
Tuerca para llanta de automóvil	2	Q.4.00	Q.8.00
Tabla de pino 3 metros	1	Q.35.00	Q.35.00
Varilla de acero para construcción	1	Q.20.00	Q.20.00
Bomba para agua de ½ HP Truper	1 (opcional)	Q.299.99	Q.299.99
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN			Q.552.49

(Fuente: propia)

Se obtuvo un costo total de construcción de Q.552.49 tomando en la cuenta el precio de la bomba, que es de Q299.99, sin embargo, el costo neto no deberá incluir este rubro ya que el objetivo es utilizar una bomba reciclada a cuyo sistema eléctrico no funcione (explicado anteriormente), obteniendo un costo neto de Q.253.49, cumpliendo así con el objetivo del proyecto de tener un costo neto menor a Q.500.00.

B. Caudales:

El caudal obtenido en las pruebas utilizando el dispositivo es en promedio 2 gal/min (0.000261804 m³/s) que resulta cuatro veces más rápido que la manera convencional, cubeta y polea, esto sumado a que se requiere un menor esfuerzo, tiene como resultado una mejora en la calidad de vida de los pobladores ya que la inversión de una hora que se necesitaba anteriormente para extraer el agua requerida para un día se ve reducida a únicamente 15 minutos.

Según las especificaciones del fabricante, la velocidad nominal de la bomba es 3450 rpm con una potencia nominal de ½ HP. Utilizando la fórmula para par disponible:

$$T = \frac{HP * 716}{RPM}$$

Se obtiene un torque de 0.104 kg-m. Se calculó que la velocidad promedio, pedaleando a 60 rpm, de la rueda trasera de la bicicleta sería de 180 rpm. Multiplicado esto por el factor de reducción resultante de la rueda y el eje del motor, 12:1, obtenemos la velocidad de operación:

$$\omega = 12 * 180 = 2160 \text{ rpm}$$

Se multiplica la velocidad obtenida por el torque nominal para obtener la potencia:

$$P = \frac{2160(\text{rpm}) * 0.104(\text{kg} - \text{m})}{716}$$

Resultando una potencia de P= 0.313 HP (0.2334 kW)

Por medio de la ecuación 3, se obtiene la eficiencia de la bomba a 2160 rpm:

$$\eta_P = \frac{P_h}{P_2} = \frac{\rho * g * Q * H}{P_2 * 3600}$$

Donde:

ρ = la densidad del líquido en kg/m^3

g = la aceleración de gravedad en m/s^2 ,

Q = el caudal en m^3/h

H = la altura en m.

Resultando una eficiencia de $\eta_p=0.0244$, es decir 2% de la eficiencia teórica.

El dispositivo se probó en la comunidad con 3 bicicletas, 2 de ellas con rin 24 y una con rin 26, siendo estas los tamaños estándares, obteniendo resultados muy similares para cada una de ellas. No se probó la bicicleta con un rin 28, a pesar de estar diseñada para funcionar con este tamaño, ya que este tamaño de rin no es frecuente en la aldea.

C. Retroalimentación de los pobladores:

Al dar a conocer el dispositivo a los pobladores de la aldea se obtuvo mucha retroalimentación, principalmente comentarios acerca de materiales alternos que pudieran ser utilizados para su fabricación, ya que a varias personas se les facilitaba la obtención de diversos materiales según sus oficios. Se tuvo el caso de un herrero que propuso un diseño metálico con pintura anticorrosiva para garantizar la integridad de la estructura.

Se desacopló la bomba para enseñar a los pobladores que en el dispositivo se puede cambiar la altura de la bomba para adaptarse a diferentes tamaños de bicicletas.

Figura 57: Presentación del diseño a los pobladores.



(Fuente: foto propia)

Se obtuvo también retroalimentación bastante positiva de las amas de casa, quienes expresaron su interés en adquirir el dispositivo ya construido, no obstante, también se mostraron dispuestas a replicar y usar el dispositivo.

IX. CONCLUSIONES

1. El dispositivo fue construido en su totalidad con materiales y herramientas disponibles en la localidad por lo que se garantiza que puede replicarse en la aldea.
2. El costo neto de construcción del dispositivo (sin la bomba) fue de Q.253.49 que puede servir de referencia para su replicación.
3. El dispositivo tiene la capacidad de adaptarse a varios tipos y tamaños de bicicletas, lo que significa que puede ser utilizado tanto adultos como niños.
4. El caudal promedio del dispositivo es de 2 gal/min, es decir, 4 veces más rápido que la manera tradicional, lo que reduce el tiempo requerido para llenar una pileta a unos 15 minutos.
5. El peso total del dispositivo es de 28 libras.

X. RECOMENDACIONES

1. Si se desea replicar el mecanismo, se recomienda aplicar lubricación a las partes giratorias de la bomba luego de ser modificada, para evitar rigidez ocasionada por el polvo u otros factores.
2. Mantener el mecanismo bajo la sombra mientras no se esté usando para alargar su tiempo de vida, ya que el PVC tiende a ser afectado por el Sol.
3. Usar el mecanismo a un ritmo tranquilo que pueda ser mantenido constante por un período de unos 15 minutos.
4. Siempre asegurarse que la bomba esté cebada antes de comenzar a utilizar el mecanismo, ya que utilizarlo sin cebar podría causar cavitación.
5. Los refuerzos metálicos no son necesarios, solo se agregaron para tranquilidad del usuario. Se pueden omitir en el diseño final.
6. El dispositivo puede ser fabricado de otros materiales, pero no se hizo análisis de seguridad para madera u otros materiales que no fueran PVC o Hierro.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Bikemontt, News Site – 2011, *Velocidad promedio de un ciclista*
<https://www.bikemontt.com/foro/topic/78358-cual-es-la-velocidad-promedio/>
- BTTbikes, Foro ciclista, *Producción casera soporte para la bicicleta.*
<https://www.bttbike.com/mtb/169922-soporte-produccion-casera-bicicleta>
- Carbonero, Ruben, 2019 Revista Quora, *¿Cuánto es la velocidad promedio de una bicicleta?* <https://es.quora.com/Cu%C3%A1nto-es-la-velocidad-promedio-de-una-bicicleta>
- Chollodeportes, fabricantes de rodillos ciclistas, 2018, *Rodillos ciclistas.*
<https://www.chollodeportes.com/rodillo-bicicleta-fitfiu/>
- De las Herdas, Jiménez, Salvador, 1998. *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*
- Grundfos, s.f. *Principles and pump curves. Obtenido de Grundfos Ecademy:*
https://es.grundfos.com/content/dam/BGE/Ecademy/TOPIC%207%20tas-k%204%20Grundfos_Pumps-About%20pump%20curves_article_4_ESP.pdf
- Guevara, Jesús, 2018, *Ciclismo de la ruta. ¿Qué tan rápido es rápido en la bicicleta?*
<https://labicikleta.com/tan-rapido-rapido-la-bicicleta/>
- Lehide, Sitio de noticias, *bomba centrífuga, s.f.*
<https://www.lehide.com/etiqueta/bomba-centrifuga/>
- Maya Pedal, ONG guatemalteca. s.f.
<http://www.mayapedal.org/>
- MUHIMU revista digital, 2012, *Bicimáquinas en Guatemala.* Obtenido de:
<https://muhimu.es/comunidad/bicimaquinas-en-guatemala/>
- Palacios, Ignacio, 2018, *Fases del pedaleo y músculos que intervienen en cada una.*
<https://www.brujulabike.com/fases-pedaleo-musculos/>
- R. Hibbeler, 2012. *Ingeniería mecánica – Mecánica estática y dinámica.*
- Valiente, Antonio, 1998. *Ingeniería de fluidos, UNAM.*

XII. ANEXOS

A. Anexo 1: cotización de bombas en el mercado local.

Figura 58: Cotización bomba #1, Celasa, Guatemala.



SWITCH FLOTE SJE DH 'AQUAPRO'
Q122.31



BOMBA DE AGUA 0.5HP 110V
'IMPORTADA'
Q221.72

(Fuente: celasa.com.gt)

Figura 59: Cotización bomba #2, Celasa, Guatemala



BOMBA DE AGUA SUMERGIBLE 110V
'ANAUGER'

Q1,269.95



BOMBA DE AGUA 0.5HP 110V 'DWS'

Q336.18

(Fuente: celasa.com.gt)

Figura 60: Cotización bomba #3, Cemaco, Guatemala.

cemaco.com



**Bomba Para Agua
Periferica De 1 2 Hp -
Truper**

Q 299.99

(Fuente: cemaco.com)

B. Anexo 2: Fotos del dispositivo terminado.

Figura 61: Dispositivo terminado, vista frontal



(Fuente: propia)

Figura 62: Dispositivo terminado, vista trasera



(Fuente: propia)

Figura 63: Dispositivo terminado, vista lateral izquierda



(Fuente: propia)

Figura 64: Dispositivo terminado, vista frontal



(Fuente: propia)

Figura 65: Dispositivo terminado, vista lateral derecha



(Fuente: propia)

Figura 66: Dispositivo terminado, vista superior



(Fuente: propia)

Figura 67: Dispositivo terminado, vista inferior



(Fuente: propia)

C. Anexo 3: Fotografías de la aldea.

Figura 68: Tubería disponible en la ferretería de la aldea



(Fuente: propia)

Figura 69: Adaptando una bicicleta de la aldea.



(Fuente: propia)

Figura 70: Ama de casa de la aldea con el dispositivo



(Fuente: propia)

Figura 71: Pileta de una de las amas de casa de la aldea.



(Fuente: propia)

Figura 72: Una bicicleta de la aldea, que se adaptó al prototipo.



(Fuente: propia)

Figura 73: Foto con el dispositivo terminado.

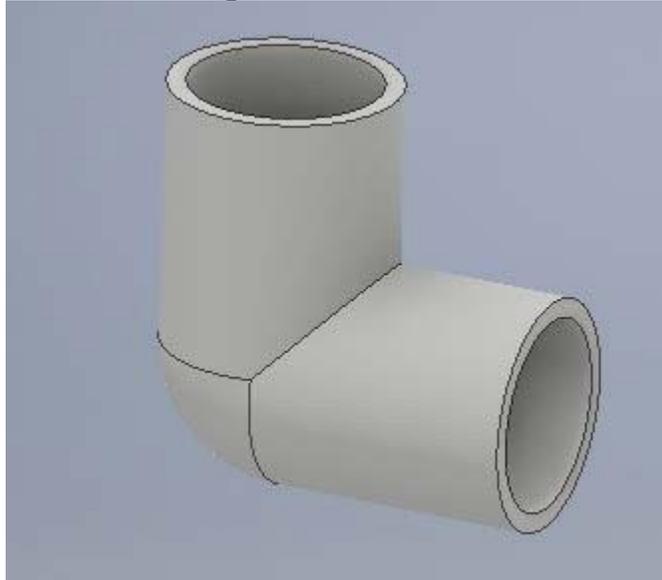


(Fuente: propia)

Manual de construcción:

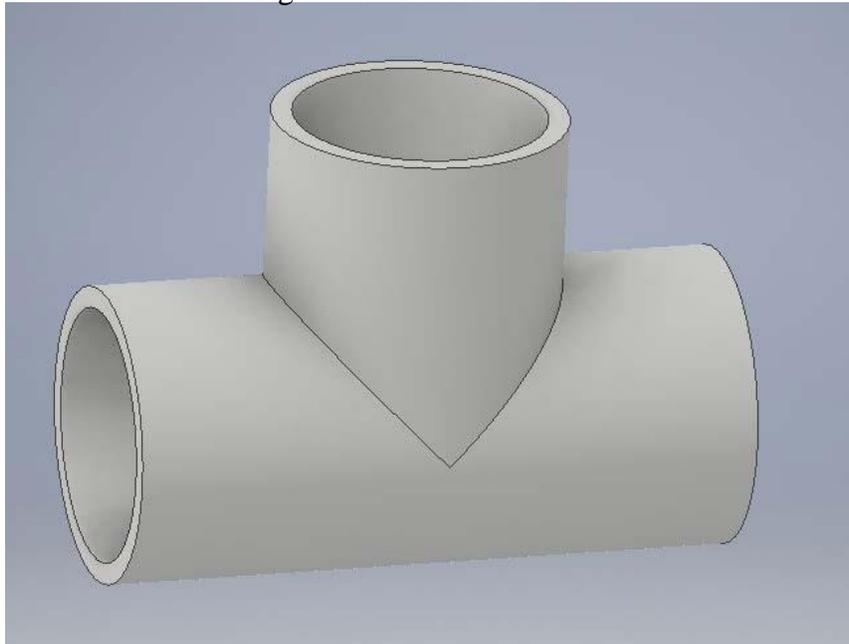
La estructura está compuesta por tubos y accesorios de tubería: codos y tes.

Figura 74: Codo PVC



(Fuente: propia)

Figura 75: Te de PVC



(Fuente propia).

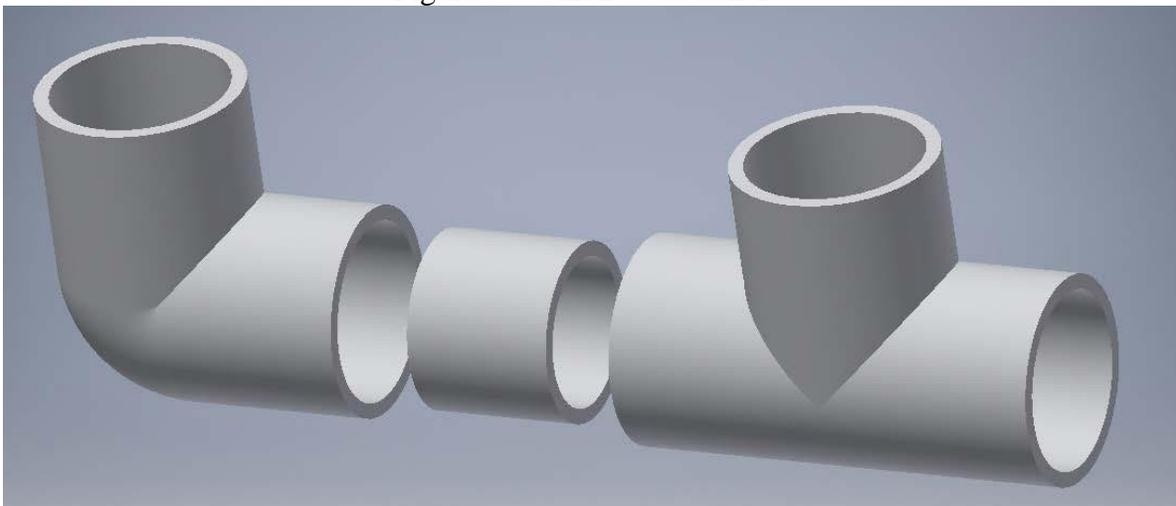
Figura 76: Te de PVC



(Fuente propia).

Para unir los codos con las tes es necesario cortar un trozo de 2 centímetros de tubo de PVC para introducir entre ambos.

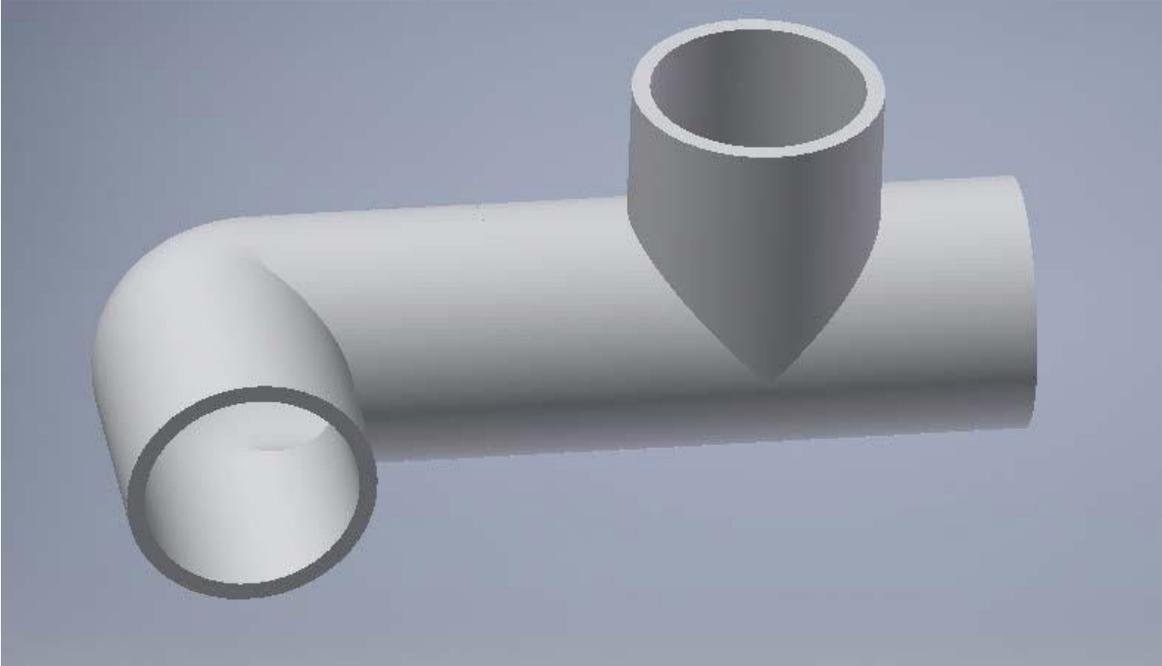
Figura 77: Unión Codo con Te



(Fuente propia).

El ángulo entre el codo y la te debe ser de 75° , se recomienda pensar en la salida del codo como la posición del 9 en un reloj de agujas y la salida de la te como el 11.

Figura 78: Unión Codo con Te



(Fuente propia).

Luego podremos utilizar tubos de 40 cm de largo para crear nuestra estructura. A continuación, se ilustran los pasos a seguir para su ensamblaje.

Figura 79: Ensamble paso 2



(Fuente propia).

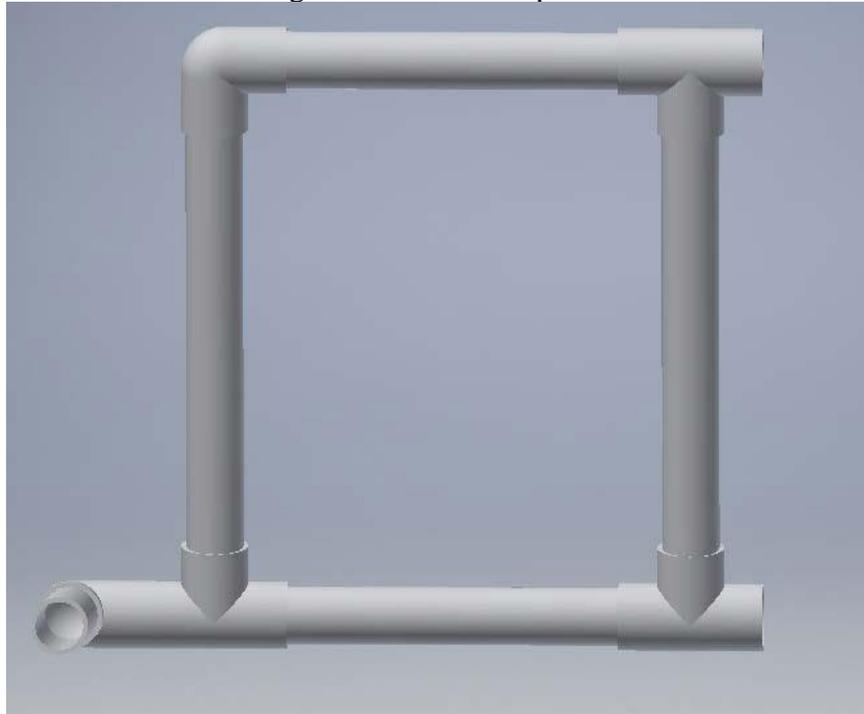
Nuevamente, el ángulo debe ser de 75° , aproximadamente la posición de las agujas a las 9:55 en un reloj de agujas.

Figura 80: Ángulo de ensamblaje.



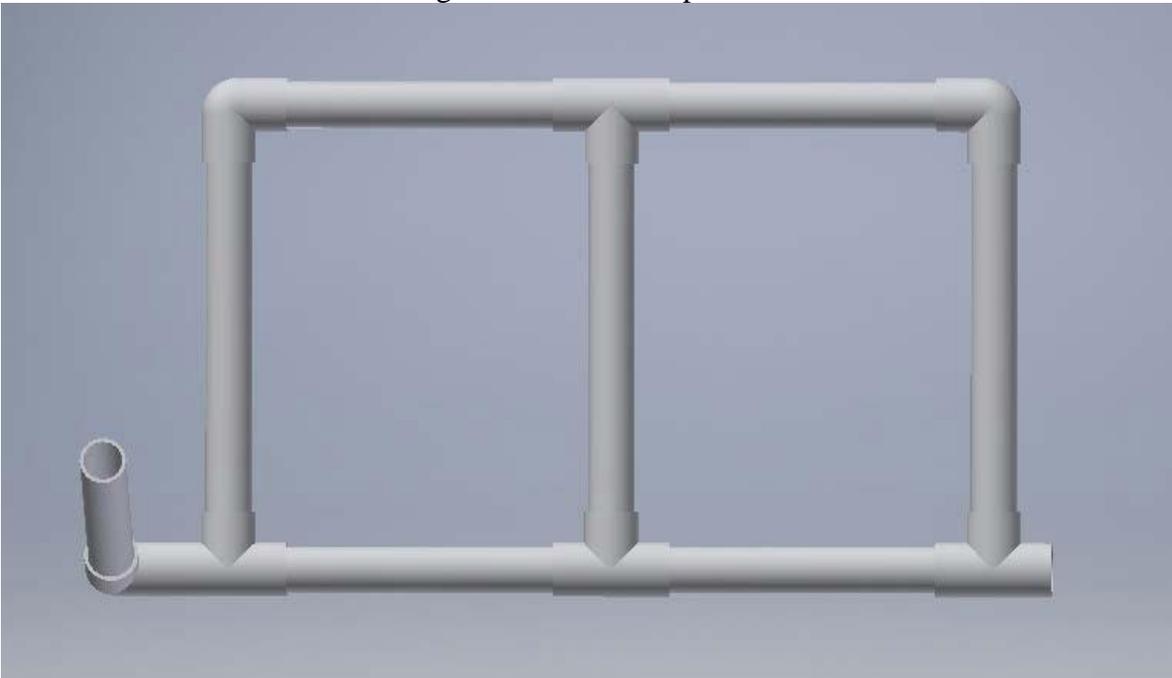
(Fuente propia).

Figura 81: Ensamble paso 3



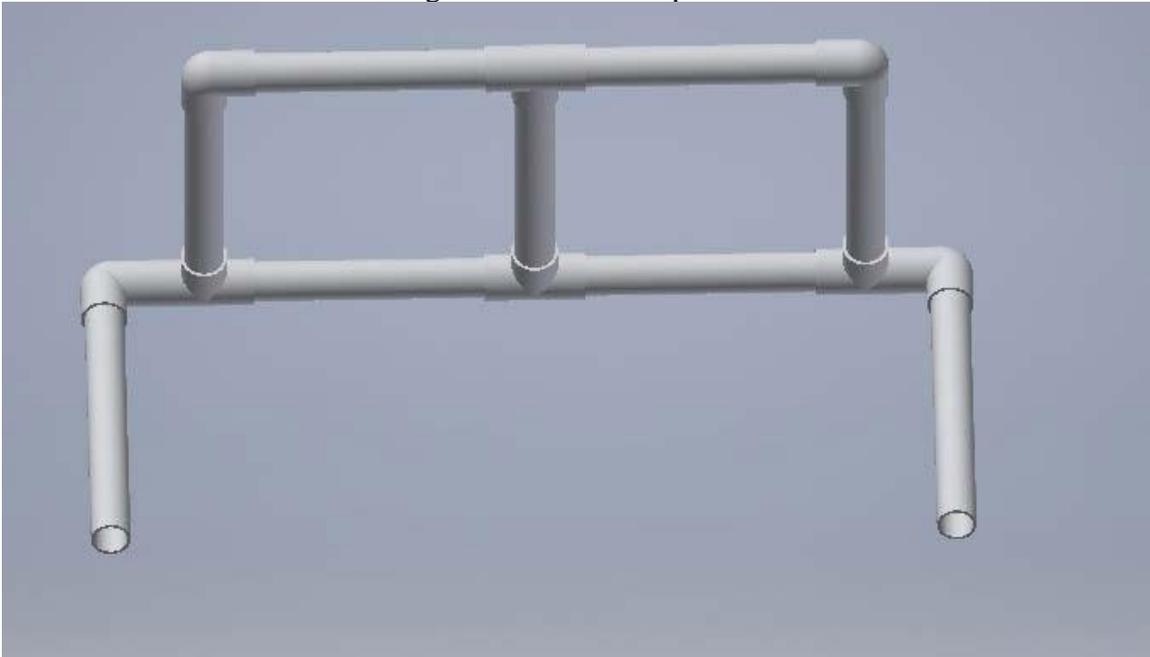
(Fuente propia).

Figura 82: Ensamble paso 4



(Fuente propia).

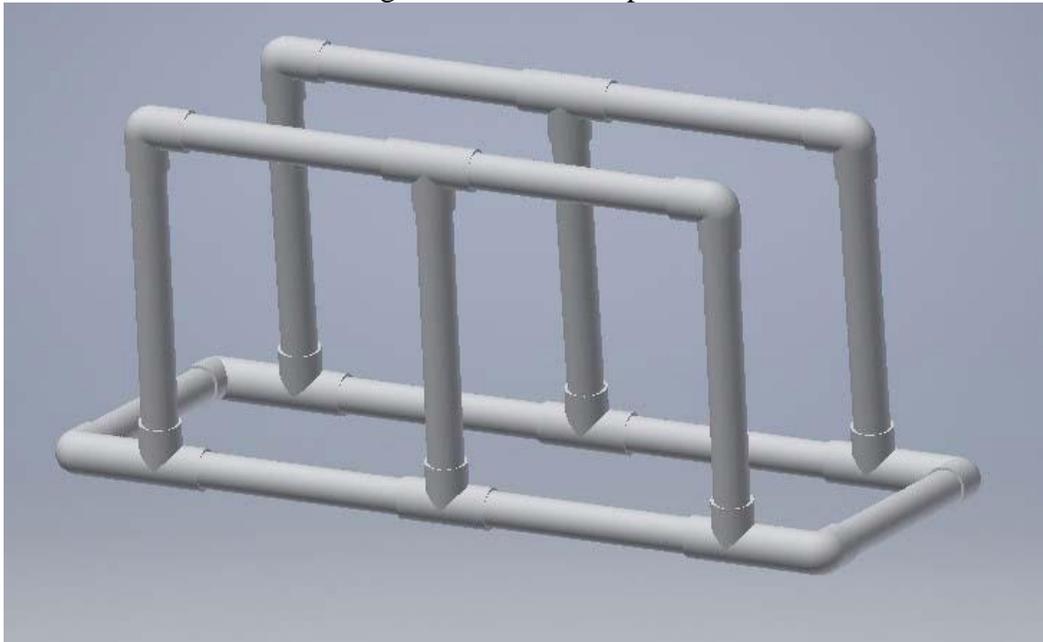
Figura 83: Ensamble paso 5



(Fuente propia).

Finalmente volvemos a realizar el mismo ensamble del otro lado para terminar la estructura.

Figura 84: Ensamble paso 6



(Fuente propia).

No olvidar que el segundo ángulo debería ir en el sentido opuesto al primero.

Figura 85: Ensamble paso 7



(Fuente propia).

Para terminar la estructura, podemos agregar un marco de madera el cual se asegurará con abrazaderas metálicas para tubería y así proveer mayor seguridad.

Figura 85: Ensamble paso 7



(Fuente propia).