

BOMBAS DE ÉMBOLO DE PVC TIPO CARCARÁ. APLICACIÓN A LA EXTRACCIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN CISTERNAS DEL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

Christian Daniel Polo Castaño

Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Madrid
christian.polo.castano@alumnos.upm.es

Mafalda González Abelleira

Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano. Universidad Politécnica de Madrid
mafalda.gonzalez.abelleira@gmail.com

Edilson Ramos

Dep. Construção. Secretario Geral. CONDRI, Alagoas. Brasil
edilsoncondri@hotmail.com

José Antonio Mancebo Piqueras

Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo (GCSASD). Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Madrid
ja.mancebo@upm.es

Resumen

El proyecto “Cisternas para Escuelas” que se desarrolla en el semiárido brasileño, del estado de Alagoas, se enmarca en la necesidad de un acceso al agua en condiciones promovido por el gobierno de Brasil. La recogida de agua de lluvia garantiza un agua limpia por destilación natural gracias al ciclo hidrológico del agua cuyas características químicas son mejores en zonas rurales, además de unos cuidados en la captación, almacenamiento y retirada de la misma. Las bombas manuales como tecnología social para la retirada del agua aseguran que esta no esté en contacto directo con las personas ya que es el último eslabón de la cadena de la recogida. Las bombas Carcará 1 y 2 se basan en el principio de desplazamiento positivo, son beneficiosas porque requieren de poco esfuerzo, fácil construcción, alto rendimiento y reproducibilidad así como escasa contaminación del agua almacenada en las cisternas. La construcción que hemos realizado en el laboratorio tiene un carácter meramente didáctico para enseñar el funcionamiento de la bomba Carcará 2 en la que se observará el recorrido del agua y disposición de sus elementos.

Palabras clave: agua, lluvia, cisterna, bomba manual, recogida, didáctico.

Resumo

O projecto “Cisternas nas Escolas” que se desenvolve no semiárido brasileiro, do estado de Alagoas, se enquadra na necessidade de um acesso ao água em condições promovido pelo governo do Brasil. A recolhida de água de chuva garante uma água limpa por destilación natural graças ao ciclo hidrológico do água cujas características químicas são melhores em zonas rurais, além de uns cuidados na captação, armazenamento e retirada da

*DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo
2014, 1, desde pág. 97 - hasta pág. 110
ISSN: 2386 – 8546*

mesma. As bombas manuais como tecnologia social para a retirada do água asseguram que esta não esteja em contacto direto com as pessoas já que é a último eslabão da corrente da recolhida. As bombas Carcará 1 e 2 baseiam-se no princípio de deslocação positiva, requerem de pouco esforço seu benefício está em sua fácil construção, alto rendimento e reprodutibilidade bem como escassa contaminação da água armazenada nas cisternas. A construção que temos realizado no laboratório tem um carácter meramente didático para ensinar o funcionamento da bomba Carcará 2 na que observar-se-á o percurso do água e disposição de seus elementos.

Palavras-chave: água, chuva, cisterna, bomba manual, captação, didático.

1. Introducción. Los problemas para el acceso al agua en el Sertão de Alagoas, Brasil

El derecho al agua y saneamiento se establece como una necesidad imperante en todo el mundo, pero esta debe cumplir unas condiciones mínimas que garanticen su calidad, como son su color, olor y sabor. También se debe acceder a una cantidad suficiente de supervivencia de aproximadamente 20L/día por persona y disponer de su acceso a menos de 1km y el tiempo usado para la recogida de 5 a 30 minutos. A pesar de ello aún son muchas las personas que carecen del acceso al agua, si bien es cierto que en el 2010 se cumplió uno de los objetivos de desarrollo del milenio de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso al agua potable antes del 2015, es importante saber que a finales de 2010 por lo menos un 11% de la población mundial no tenía acceso a agua potable. En América Latina y el Caribe los datos son más esperanzadores, ya que el 94% de la población tiene acceso a agua potable, pero las diferencias entre zonas urbanas y rurales son aun grandes, en Brasil los datos dicen que en los últimos 10 años el acceso al agua en zonas rurales ha aumentado del 77 al 85% mientras en las zonas urbanas ha pasado del 98 al 100%.

A lo largo de estos diez años, en Brasil se han ido promoviendo programas sociales como “Programa Um Milhão de Cisternas” (P1MC) llevado a cabo por “Articulação Semiárido Brasileiro” (ASA), red formada por organizaciones que gestionan políticas de convivencia con el semiárido brasileño. EL programa P1MC está basado en el aprovechamiento del agua de lluvia en el semiárido brasileño, uno de los más lluviosos del mundo, donde las condiciones climáticas, 3 a 5 meses de lluvia, precipitación media de 750mm/año, variando de 250 a 800mm/año y una elevada evapotranspiración (evaporación de 3000mm/año) hacen que la recogida de agua de lluvia sea una de las formas más sencillas y de bajo costo para paliar el déficit de agua en la región.

El programa “Cisternas para Escuelas” que lleva a cabo el gobierno de Brasil se enmarca en esas necesidades de desarrollo social para la población en el semiárido brasileño. El “Consortio para el desarrollo de la región de Ipanema” (CONDRI) en colaboración con “Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento” (FCAS) instrumento de la Cooperación Española y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) llevan a cabo el proyecto “3ª Agua – Agua para Educar” para la construcción de cisternas con capacidad de 52 mil litros para 108 escuelas del semiárido.

2. Programa de Cisternas de 3ª Agua

En el estado de Alagoas, cuya área territorial es de aproximadamente 27.779,34 km² y según los datos del último Censo Demográfico hecho por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística–IBGE, posee una población de cerca de 3.120.494 habitantes; se caracteriza por presentar una elevada vulnerabilidad a la sequía. Ello es debido a que el 42,80% de su territorio se encuentra en la llamada región serteneja, sus peculiares características -déficit hídrico y elevada evapotranspiración- la diferencian de las demás regiones de Brasil. En este sentido, la construcción de cisternas de placa en el Sertão de Alagoas con capacidad de almacenamiento de 52 mil litros de agua de lluvia para el consumo de alumnos y manutención de las escuelas rurales, en el contexto de adopción de tecnologías sociales, representa invertir en alternativas, comprobadamente eficaces y de bajo coste, para la universalización del atendimento de la carencia del agua en el conjunto de 108 escuelas de 13 municipios.

La iniciativa “Agua en las escuelas”, también llamada Programa de Cisternas de Tercera agua, se engloba dentro del Programa Cisternas BRA-007-B firmado en 2009 entre la Agencia Española de Cooperación (AECID), el Instituto Ambiental Brasileiro Sustentável (IABS) y el Ministério de Desenvolvimento Social (MDS); cuyo principal objetivo es contribuir para la transformación social, promoviendo la preservación, el acceso, la gestión y la valorización del agua como un derecho esencial a la vida y a la ciudadanía, ampliando la comprensión y la práctica de la convivencia sustentable y solidaria con el Semiárido brasileiro. En él, además de las cisternas de tercera agua, se incluyen otras líneas de actuación, como son la construcción de cisternas domiciliarias (Primera Agua) y para las actividades de pequeña producción en familias (Segunda Agua).

En la Región de Sertão alagoano, es el Consorcio Para el Desenvolvimento de la Región de Ipanema (CONDRI) entidad de derecho pública y sin fines lucrativos, el responsable de la ejecución del proyecto “Agua para educar” con plazo de finalización en Marzo del 2014, además de los programas de Primera y Segunda Agua de la región. Cabe también mencionar como participante activo en el Proyecto de Tercera Agua, a la Universidad Politécnica de Madrid, quién a través del Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo (itdUPM) y varios de sus grupos asociados, realizan una evaluación de impacto compuesta por; una evaluación técnica de la parte constructiva de las cisternas; una evaluación del modelo de gestión utilizado; un análisis de la calidad del agua suministrada y una evaluación de impacto sobre las mejoras en las condiciones de vida de la comunidad escolar debidas a la implementación de las cisternas escolares.

Para alcanzar el objetivo del citado Proyecto; garantizar el acceso al agua para el consumo humano en comunidades escolares de la Región de Ipanema en Alagoas con la construcción de 108 cisternas circulares con placas prefabricadas de hormigón de placa con capacidad para almacenar 52 mil litros de agua (Figura 1) y una pequeña reforma en los tejados de las escuelas rurales; CONDRI acordó realizar una serie de actividades además de la propia construcción. De este modo, se han realizado talleres de capacitación de los beneficiarios directo en GAGE – Gestión del Agua para el consumo humano, de acuerdo con las orientaciones metodológicas y de contenido del IABS/MDS, así como la realización de un taller de capacitación de albañiles.



Figura 1. Cisterna de captación de agua de lluvia en una escuela de Major Isidoro, Alagoas.

En lo que se refiere a la construcción, es necesario tener en cuenta que la cisterna debe estar enterrada de la mitad a dos tercios de su altura. Su totalidad consiste en placas de cemento con tamaño de 50 por 60 centímetros, y con 4 a 5 centímetros de espesura, curvadas de acuerdo con el radio proyectado en la pared de la cisterna. Las placas están fabricadas en el local de construcción en moldes de madera o hierro. Para evitar que la pared se caiga, durante la construcción, las placas son colocadas con argamasa de cemento y se espera un período de 8h para que la masa del cemento esté seca. En seguida, se enrolla alambre de acero galvanizado en el lado externo de la pared de la cisterna. Después, es hecho un pretensado en cada alambre de acero que rodea la cisterna para mejorar la fijación y soporte de presión después del llenado; posteriormente, es hecho el revoco interno y externo.

Como se ha comentado el depósito es circular formado por placas prefabricadas de hormigón armado de unos 4 cm de espesor y curvadas de acuerdo con el radio proyectado en la pared de la cisterna que debe estar enterrada de la mitad a dos tercios de su altura. Previamente se ejecuta una solera de hormigón de unos 10 cm de espesor directamente sobre el suelo compactado donde apoyan las placas y que servirá de base para el agua del depósito. Las placas están fabricadas en el local de construcción en moldes de madera o hierro. Las placas son colocadas con mortero de cemento y se coloca perimetralmente alambre de acero galvanizado para mejorar las tracciones originadas por la presión después del llenado. Para proteger armaduras y para conseguir una mejor impermeabilización se revoca por el interior y exterior del mismo.

Finalmente, se construye la cubierta con otras placas pre-moldeadas en formato triangular. Estas son colocadas encima de vigas de hormigón armado también fabricadas en el mismo lugar. Una vez aplicado el evoco externo de la cubierta, se pinta toda la cisterna con cal. Son parte de la construcción también; la excavación, la reforma del tejado, la instalación de la bomba Carcará 2 para la retirada del agua (Figura 2), la instalación de las tuberías y canalones y finalmente la identificación por medio de una placa numerada.



Figura 2. Instalación de la primera bomba Carcará 2 en una escuela de Major Isidoro, Alagoas. (Octubre/2012).

La cisterna está considerada construida (finalizada), solo una vez que sea identificada, georreferenciada, fotografiada y que la comunidad escolar por medio del director de la escuela firme un contrato declarando el recibimiento de la cisterna en perfecto estado.

3. El camino del agua en las escuelas acogidas al programa. Calidad y dotación.

Resulta muy apropiado utilizar el concepto “camino del agua” para referirse al recorrido del agua desde su origen hasta el punto directo de utilización en las escuelas, con intención de hacer hincapié y recoger todas las posibles causas y/o vías de contaminación desde la llegada del agua a la cisterna hasta su consumo. De este modo, es posible diferenciar varios puntos críticos de contaminación: contaminación en el origen, en la cisterna, en la extracción del agua de la cisterna y en el camino desde la extracción hasta su uso.

El riesgo de contaminación del agua depende en primer lugar de su procedencia. Algunas de las escuelas reciben agua canalizada desde el Río San Francisco en Pão de Açucar a través de la Compañía de Saneamiento de Alagoas (CASAL), con tratamiento por cloración. Sin embargo, la gran mayoría de las escuelas son abastecidas por camiones (carros-pipa) que pueden ser de la Defensa Civil (dentro de los programas Operação Pipa y Água é Vida) o municipales, y aunque el agua en ambos casos procede normalmente también de la CASAL, el riesgo de contaminación se ve incrementando por la condiciones higiénicas del carro pipa, además del descenso de cloro ocasionado por el transporte desde la estación de tratamiento a la escuela en cuestión. No obstante, es de señalar, que debido al brote de diarrea que se extendió en más de 52 municipios del Estado entre los meses de Junio y Agosto del 2013 dejando 52 muertes, se han reforzado los controles sanitarios de los carros pipa, e incluso en algunos de los municipio se ha establecido un monitoreo por cloro residual.

De modo general, en el ámbito rural, lejos de las zonas industrializadas y por consiguiente, sin contaminación atmosférica, el agua de la lluvia presenta calidad aceptable para el consumo humano, debido al proceso de destilación natural del ciclo hidrológico. Aun así, el agua de la lluvia es muy susceptible de contaminarse desde el área de captación hasta la cisterna. Por ello, el programa Cisterna de Tercera agua llevado a cabo por CONDRI contempla la reparación de los tejados de cada escuela; retejado, lavado de las tejas y desinfección de todo el tejado; además de forrar el tejado con lona de plástico para garantizar una mejor forma de captación y control de las enfermedades causadas por los murciélagos y pardales. Aun así, el descarte de las primeras aguas de cada lluvia es crucial para garantizar la calidad del agua, y en caso de ser

efectuado manualmente debe establecerse un procedimiento que asegure su buena gestión. Del mismo modo, la manutención de los canalones, tuberías y el lavado del tejado anual son clave para el cometido.

El riesgo de contaminación en la propia cisterna puede ser reducido adoptando medidas preventivas. En primer lugar, la cisterna no debe ubicarse en locales próximos a árboles grandes, corrales, gallineros, fosas sépticas y depósitos de basura, con objeto de evitar infiltraciones que pudieran ocurrir por grietas en la cisterna. El rebosadero de la cisterna debe estar protegido de la entrada de animales y la entrada del agua de lluvia debe diseñarse de modo que no se produzca turbulencia, para no remover el lodo sedimentado en el fondo. Así mismo, el exceso de material o ausencia de lavado puede provocar el desprendimiento de cemento en el agua de la cisterna.

La bomba Carcará 2 desempeña un papel fundamental para prevenir la contaminación dentro de la cisterna. En la primera toma de contacto del equipo UPM (que incluyó la visita de 58 escuelas del programa) se detectó que más del 90% de escuelas que ya tenían cisternas antes del proyecto (muchas de ellas deterioradas o mal conservadas) extraen el agua por el método tradicional, con un balde atado a una cuerda (Figura 3). Ello puede provocar la contaminación de la totalidad del agua de la cisterna. La bomba Carcará II reduce el riesgo de contaminación, permitiendo que la cisterna se mantenga siempre cerrada, incluso a la hora de la recogida.



Figura 3. Extracción del agua de una cisterna antigua con balde y cuerda en una escuela de Canapi, Alagoas.

El camino del agua realiza su último eslabón desde la retirada del agua hasta su uso. El uso de recipientes lavados adecuadamente y categorizados por usos, con aquel de no utilizar el mismo recipiente de almacenamiento para lavar que para consumir, pues no requieren de las mismas condiciones higiénicas, deben ser realizados en la medida de lo posible. Muchas de las escuelas del programa actualmente utilizan filtros de cerámica para reducir la contaminación del agua para beber, y más del 70% aseguran que normalmente utilizan cloro proporcionado por el Ministerio de Salud, aunque a veces también afirman que no es suministrado en cantidades suficientes. Si las barreras preventivas comentadas anteriormente no son llevadas a cabo con éxito, con estudios y monitoreo que lo demuestren, es imprescindible establecer medidas correctoras, como puede ser la cloración, para garantizar que la calidad bacteriológica del agua es apta para el consumo.

Gracias a un pequeño estudio preliminar realizado por CONDRI, se estableció 8 litros/día como consumo medio por alumno, dotación pendiente de confirmar en próximos estudios más detallados. Teniendo en cuenta la irregularidad de las precipitaciones anuales y de

alumnos por escuela (oscilando entre 12 y 429 alumnos), es posible predecir que el abastecimiento exclusivo por agua de lluvia no será garantizado en muchas de las escuelas, teniendo que recurrir en muchos casos a las fuentes tradicionales de agua, principalmente por carro pipa.

4. Bombas Carcará 1 y 2



Figura 4. Bomba Carcará 1.



Figura 5. Bomba Carcará 2.

Las bombas Carcará 1 y 2 (Figuras 4 y 5) son parte del desarrollo de tecnologías sociales que se ajustan al programa de cisternas de placas gracias a su bajo coste y fácil construcción en la que, al igual que en la construcción de las cisternas de placas, la población es participe de su elaboración con herramientas sencillas haciendo que exista un compromiso social para la obtención de un bien común.

El uso de bombas manuales garantiza una baja contaminación en la extracción del agua almacenada en las cisternas, que junto a un buen cuidado y limpieza del área de captación y de las tuberías de distribución, engloban las recomendaciones que la OMS da para la reducción de riesgos para la salud por agua de lluvia 0. En este sentido las bombas Carcará 1 y 2 son un gran instrumento para llevar a cabo dicho cometido.

En el laboratorio de la Escuela Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) se construyó una bomba Carcará 2 con metacrilato con una finalidad didáctica de manera que se puedan observar los elementos internos y el flujo del agua. Se realizaron unos cambios respecto a la versión original a escala disponible en el laboratorio, pero aún así consideramos que su funcionamiento no se vio afectado.

En Alagoas, las bombas Carcará 1 y 2 son fabricadas localmente en un taller situado en São José da Tapera, municipio también beneficiario de los Programas de Primera y Tercera agua (Figuras 6 y 7). Con un equipo formado por 6 técnicos, y con una trayectoria de más de 10.000 bombas Carcará 1 confeccionadas para el Programa de Cisternas domiciliarias en los últimos años, el equipo de Tapera es el encargado de la fabricación de las 108 bombas Carcará 2 para las cisternas de las escuelas. La bomba Carcará 2 pretende ser más práctica, además de ser más económica en comparación con su antecesora (cuyo coste aproximado es de 100 R\$ frente a los 130 R\$ de la bomba Carcará 1). La experiencia pasada ha demostrado que la instalación de la bomba en la cisterna es clave para su durabilidad, ya que algunas de las bombas instaladas perdieron su parte inferior por no ser pegadas con cola, quedando

inoperativas y sin manutención ofrecida. Por ello, la bomba Carcará 2 está siendo instalada con cola y además se están estudiando modificaciones para mejorar la sujeción.



Figura 6. Montaje Bomba Carcará 2.



Figura 7. Montaje completo Bomba Carcará 2.

5. Bomba Carcará 1

5.1. Funcionamiento

El principio de funcionamiento de esta bomba es el de una bomba volumétrica de desplazamiento positivo, en cuyo interior dispone de dos válvulas de retención que solo dejan pasar el agua hacia arriba formadas por dos canicas o bolas de cristal, una en el tubo interior acoplada en una reducción cónica de 50x32 y otra en el tubo desplazable que se acopla a este. Cuando se sube el tubo desplazable o pistón, se ejerce presión negativa en la válvula inferior abriéndose esta y permitiendo el paso de agua en su interior llenándose el espacio existente, a su vez se cierra la válvula en el pistón desplazando el agua hacia arriba haciendo que esta salga el orificio de salida en la Te. Luego al bajar el tubo desplazable o pistón se aumenta la presión sobre el agua en el interior haciendo que la válvula inferior se cierre y la válvula del pistón se abra permitiendo el paso de agua sobre los orificios practicados en el pistón, así por el principio de Arquímedes, el volumen de agua desplazado por el pistón saldrá por el orificio de salida en la Te, lo que completa un ciclo de bombeo.

6. Bomba Carcará 2

6.1. Funcionamiento

Su funcionamiento es similar a la bomba Carcará 1 basándose en el principio de desplazamiento positivo, también dispone de dos válvulas de retención que solo dejan pasar el agua. Cuando se sube el pistón, se ejerce presión negativa en la válvula inferior subiendo la bola de cristal dejando que pase agua en el interior llenándose el espacio existente y a su vez también en la reducción cónica de 40x25 haciendo que esta válvula se cierre e impidiendo que el agua en su parte superior baje. Luego al bajar el pistón se aumenta la presión sobre el agua en el interior haciendo que la válvula en la reducción cónica 50x25 se cierre y la válvula en la reducción 40x25 se abra, dejando así que el agua salga al exterior completándose así el ciclo de bombeo.

7. Caso didáctico. Bomba Carcará 2 en metacrilato



Figura 8. Bomba Carcará 2 de metacrilato.



Figura 9. Esquema de montaje.

En el laboratorio de “Hidráulica Aplicada al Desarrollo” de la ETSIDI se construyó un modelo de la bomba Carcará 2. En su construcción disponemos de los siguientes materiales y herramientas:

- Tubo de metacrilato 50x46
- Tubo de metacrilato 40x36
- Reducción cónica 50x25 PVC
- Reducción cónica 63x40 PVC
- Reducción casquillo 40x32 PVC
- Codo 40 Hembra - Hembra PVC
- Codo 50 Macho - Hembra PVC
- Te 50 90 grados PVC
- Te 40 90 grados PVC
- Manguito 50 PVC
- Tapón 40 PVC
- Tubo 40 PVC
- Tubo 25 PVC
- Bola de cristal D 30mm
- Bola de cristal D 25mm
- Palo plástico
- Palillo de madera
- Pegamento PVC
- Silicona
- Clavo 2,5mm
- Mechero
- Teflón

7.1. Construcción

Se cortan el tubo de metacrilato de 50x46 a la medida de 150cm y a 13 cm, el tubo de metacrilato de 40x36 a 100cm, 40cm y a 10cm, y el tubo de 40 PVC a 130cm y 2 trozos de 10cm cada uno. Para ensamblar el pistón, se pega el tapón de 40 PVC en un extremo del tubo de 40 PVC y se mecaniza en un torno el exterior del tapón cuyo diámetro es de 50mm y se reduce a 45mm, luego se pega la Te de 40 90 grados por el extremo no colineal en el otro extremo del tubo y los trozos de 10cm de tubo de 40 PVC se pegan a Te junto con los tapones de 40 PVC. El tubo de 25 PVC lo cortamos a 13,5cm y en el hacemos un bisel y una hendidura para que el agua entre sin problemas.

Para fabricar la válvula inferior, tomamos el tubo de metacrilato de 50 de 13cm y hacemos 2 marcas diametralmente opuestas a 5cm de distancia de uno de los dos bordes y practicamos

sendos agujeros en dichas marcas con el clavo previamente caliente, garantizando que por el quepa el palo de plástico de forma ajustada. Cuando terminemos, metemos el palillo de madera en el palo de plástico e introducimos el conjunto en los agujeros del tubo de metacrilato, marcamos donde queremos cortar el palo de plástico con el palillo intentando que quede a la medida del diámetro del tubo y cortamos, finalmente sellamos con silicona garantizando que por el no haya fugas. Luego pegamos la reducción casquillo 40x32 en la reducción cónica de 63x40, colocamos la bola de cristal y ponemos el tubo de metacrilato de 50 por la parte donde tiene el palo de plástico, previamente con teflón en el borde de manera que quede bien fijo y sin pérdidas.

Repetimos el mismo procedimiento para la válvula superior en el tubo de metacrilato de 40 de 100cm, aquí tomaremos la reducción cónica de 50x25 y la bola de cristal será de 25mm.



Figura 10. Detalle válvulas.



Figura 11. Detalle válvula superior.

Una vez tengamos todo lo anterior empezamos el ensamblaje. Forramos con teflón las extremidades de los tubos restantes y la parte macho del codo de 50. Luego metemos el tubo de metacrilato de 50x46 de 150cm en la Te 50 90 grados PVC y en el extremo colineal de la Te el otro tubo de metacrilato de 50x46 de 13cm, en el final de este, que previamente tiene la válvula inferior, colocamos el tubo de 25. En el extremo faltante de la Te de 50 colocamos el codo de 50 M-H al cual previamente se le pego la válvula superior con el tubo de metacrilato de 40 de 100cm continuando con el codo de 40, tubo de metacrilato de 40 de 40cm, codo de 40 y tubo de metacrilato de 40 de 10cm de longitud.

Finalmente pegamos un manguito de 50 de PVC en el extremo por donde introduciremos el pistón a fin de que este no se apoye directamente sobre el tubo, metemos el pistón y se termina el ensamblaje.

Se prueba varias veces y se corrigen los distintos defectos que pueda haber en el montaje comprobando que su funcionamiento es el adecuado.

7.2. Cálculos hidráulicos.

Para calcular el caudal de la bomba didáctica Carcará 2 se tomaron las siguientes consideraciones:

- Carrera del pistón: 50cm.
- Tanque de descarga: 30 litros.

Los resultados fueron los siguientes:

		Caudal $Q=V/t$			
Tiempo	s	l/s	m ³ /h	l/min	l/h
t ₁	70	0,43	1,54	25,71	1543
t ₂	67	0,45	1,61	26,87	1612
t ₃	66	0,45	1,64	27,27	1636
t ₄	69	0,43	1,57	26,09	1565
t ₅	62	0,48	1,74	29,03	1742
		Caudal $Q=V/t$			
Tiempo	s	l/s	m ³ /h	l/min	l/h
t ₆	63	0,48	1,71	28,57	1714
t ₇	64	0,47	1,69	28,13	1688
t ₈	63	0,48	1,71	28,57	1714
t ₉	64	0,47	1,69	28,13	1688
t ₁₀	64	0,47	1,69	28,13	1688
t ₁₁	70	0,43	1,54	25,71	1543
t ₁₂	65	0,46	1,66	27,69	1662
	Qmed	0,46	1,65	27,49	1649

Tabla 1. Resultados de caudal de la Bomba Carcará 2.

7.3. Comparativa con la Bomba de Mecate BM-II

Por último realizamos una comparativa con la bomba de mecate BM-II que se encuentra en el laboratorio de "Hidráulica aplicada al Desarrollo" con el fin de ver las capacidades de las que dispone la Bomba Carcará 2 en metacrilato (Figura 8).

Bomba Mecate II (BM-II)

Datos:

- Nº de vueltas= 100
- Diámetro rueda= 49 cm
- Altura de descarga= 300 cm

Bomba Carcará II en metacrilato

Datos:

- Volumen descarga= 8 L
- Carrera pistón= 40 cm
- Altura de descarga= 285 cm



Figura 12. Montaje y detalle de altura para comparativa BM-II y Bomba Carcará 2 en metacrilato.

Resultados:

Bomba de Mecate II (BM-II)	l/s	m ³ /h	l/min	l/h
Qmed	0,44	1,60	26,62	1597

Tabla 2. Resultados de la BM-II

Bomba Carcará 2 en metacrilato	l/s	m ³ /h	l/min	l/h
Qmed	0,31	1,12	18,70	1122

Tabla 3. Resultados de Bomba Carcará 2 en metacrilato.

Los resultados (tablas 2 y 3) nos muestran que la Bomba Carcará 2 en metacrilato posee unos valores de caudal bastante aceptable para la altura desarrollada. Cabe anotar que su principal inconveniente está en la limitación de aspiración que poseen las bombas de desplazamiento positivo.

Su fácil construcción, así como su menor coste y mantenimiento, hacen de este tipo de bombas un recurso a tomar en cuenta para soluciones prácticas y de bajo coste, adaptadas a las necesidades de las tecnologías sociales para los países del tercer mundo.

7.4. Discusión. Modificaciones introducidas.

En la construcción de la bomba tuvimos una serie de inconvenientes que son importantes a tener en cuenta. En primer lugar las válvulas superior e inferior se hicieron según como

aparece en los dibujos aportados desde Brasil. En él se puede observar que la paleta de madera se encontraba en el interior del cono de reducción separado a una distancia entre 2 y 3 mm (Figura 9). Al fabricarse con dichas especificaciones se observó que el esfuerzo requerido para su accionamiento era considerable y que también emitía un zumbido en su interior, los resultados de las primeras experiencias mostraban un tiempo de llenado del tanque de 30 litros de unos 3 minutos aproximadamente. Se resolvió colocando el palito de plástico en el interior del tubo, aguas arriba, de cada válvula (Figura 10).

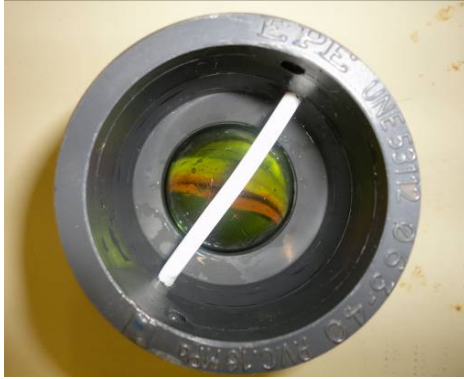


Figura 13. Montaje en reducción.



Figura 14. Montaje en tubo.

Otro aspecto importante es la holgura entre el pistón y el tubo sobre el que desliza, ya que de ella depende la capacidad de succión, cuanto menos holgura haya, más succión. En la bomba a escala traída desde Brasil pudimos observar que el pistón es fabricado de tal forma que el tapón es introducido por su exterior en el interior del tubo de 40, precalentando el borde y luego se recorta su exterior de forma que entre en el tubo de 50. Al disponer solo de las medidas dadas anteriormente para el metacrilato, la única solución que tuvimos fue poner un tapón de 50 y mecanizar su exterior e ir probando hasta que su deslizamiento fuese el adecuado.

8. Conclusiones

En el análisis del caso didáctico pudimos observar que sus caudales son aceptables para un consumo diario por persona, también de su fácil construcción y manejo. Al ser un caso didáctico el costo de ciertos materiales se hace mayor respecto a la fabricación normal en PVC y PB. Cabe resaltar que las modificaciones hechas se basaron en su carácter meramente didáctico de modo que se pudiera observar sus componentes internos y el flujo del agua, así como por sus prestaciones ya que al tener más holgura de movimiento las bolas de cristal, los esfuerzos de trabajo se ven disminuidos y caudal es mayor.

Finalmente para completar el estudio de dicha bomba es aconsejable que esta se encuentre fija a algún soporte y que su funcionamiento se haga en condiciones similares a las de trabajo, así como su posible capacidad de trabajar a mayores profundidades.

Gracias a la evaluación hecha en Brasil se ha observado que el montaje con pegamento tiene que hacerse en conexiones específicas de la bomba. Es imprescindible que pueda tener un desmontaje adecuado de forma que garantice un buen mantenimiento y funcionalidad de la bomba. Se recomienda usar teflón para aquellas conexiones ya que cumple dicho cometido sin verse afectado en demasía las pérdidas de caudal en la bomba.

Referencias

[1] ONU. 64/292. *El derecho humano al agua y el saneamiento*. Asamblea general Naciones Unidas, Sexagésimo cuarto período de sesiones, tema 48 del programa. 2010. Disponible en web: <http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S>.

[2] HOWARD, Guy; BARTRAM, Jamie. *Domestic Water Quantity, Service, Level and Health*. World Health Organization (WHO). 2003. Disponible en web: <http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf>.

[3] *Progress on Drinking Water and Sanitation: 2012 Update 1*. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Disponible en web: <<http://www.unicef.org/media/files/JMPReport2012.pdf>>.

[4] MALVEZZI, Roberto. *Semi-árido - uma visão holística*. Brasília: Confea, 2007. Disponible en web: <http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/ater/livros/Semi-%C3%81rido_uma_vis%C3%A3o_hol%C3%ADstica.pdf>.