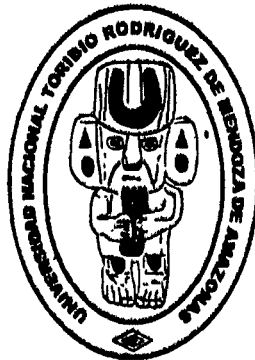


**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA 96
DE AMAZONAS**



11 3 DIC 2012

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**"DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES QUE MODELAN EL
FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA VOLUMÉTRICA MANUAL
DE 0,2 LITROS"**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR:

Br. WILINTON ACUÑA URIARTE

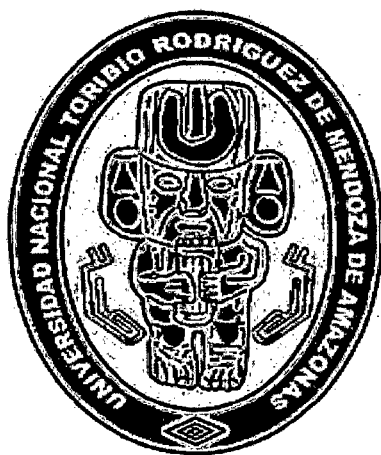
ASESOR:

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS - AMAZONAS - PERÚ

2012

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



13 DIC 2012

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES QUE MODELAN EL
FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA VOLUMÉTRICA MANUAL
DE 0,2 LITROS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR:

Br. WILINTON ACUÑA URIARTE

ASESOR:

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS-AMAZONAS-PERÚ

2012

DEDICATORIA

A mis padres, especialmente para ti mamá Felicita Uriarte Fuentes por tu fortaleza admirable que demostraste cuando estuviste con nosotros; porque creyeron en mi y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos, por lo que han hecho por mí.

WILINTON

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme permitido llegar hasta esta etapa con salud y sabiduría para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi asesor de tesis Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, quien con sus conocimientos, paciencia e interés contribuyó para que sea posible la realización de la presente investigación.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, en cuyas aulas me formé para tener una mejor posibilidad de vida.

Definitivamente este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas. Siempre resultará difícil agradecer a todos aquellos que de una u otra manera me han acompañado en el desarrollo de esta investigación, porque nunca alcanza la memoria para mencionar o dar con justicia todos los créditos y méritos a quienes se lo merecen.

WILINTON

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Dr. Hab. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

Rector

Dr. ROBERTO JOSÉ NERVI CHACÓN

Vicerrector Académico (e)

Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN

Vicerrector Administrativo (e)

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada “**DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES QUE MODELAN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA VOLUMÉTRICA MANUAL DE 0,2 LITROS**” del Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, egresado de la UNTRM-A:

WILINTON ACUÑA URIARTE

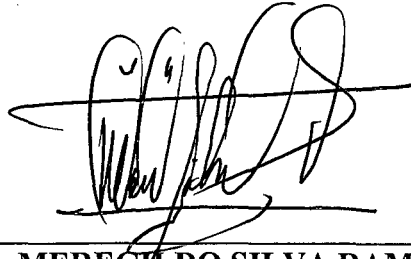
El docente de la UNTRM-A que suscribe, da el **Visto Bueno** al Informe Final de Tesis mencionado, dándole pase para que sea sometido a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones y acompañar en la sustentación de la tesis.

Chachapoyas, 07 de setiembre del 2012



Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
PROFESOR PRINCIPAL DE FICA-UNTRM-AMAZONAS

JURADO EVALUADOR



Ing. MEREGLDO SILVA RAMIREZ
Presidente



Ing. HELÍ HUMBERTO AGUIRRE ZAQUINAULA
Secretario



Ing. LIZETTE DANIANA MENDEZ FASABI
Vocal

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR	iv
JURADO EVALUADOR	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Tipos de bombas manuales	3
1.1.1. Bomba de pistón	3
1.1.2. Bomba de rosario o de mecate	3
1.1.3. Bomba de diafragma	5
1.1.4. Bomba volumétrica manual	5
1.2. Concepto VLOM	6
II. MATERIAL Y MÉTODOS	9
2.1. Componentes de la bomba volumétrica manual	9
2.1.1. Cilindro	9
2.1.2. Pistón	10
2.1.3. Palanca	10

2.1.4. Manómetro	11
2.1.5. Válvula check horizontal	11
2.1.6. Válvula de fondo de pozo (check vertical)	11
2.1.7. Tubería de descarga	12
2.1.8. Tubería de succión	12
2.1.9. Medidor de volumen	12
2.2. Metodología	13
2.2.1. Determinación de la profundidad máxima de succión	13
2.2.2. Determinación de la altura de descarga con succión de 1m	14
2.2.3. Determinación de la altura de descarga con succión de 5	14
2.2.4. Tiempo para bombear 150 L con 1 m de succión y 10 m de descarga	14
2.2.5. Variables evaluadas	14
2.2.5.1. Con descarga a nivel de la bomba	15
2.2.5.2. Con descarga a diferentes alturas sobre la bomba	15
2.2.5.3. Altura de descarga con succión a 5 m	15
2.2.6. Cálculos realizados	16
2.2.6.1. Caudal bombeado	16
2.2.6.2. Potencia para bombear	16
2.2.7. Análisis estadístico	16
2.2.7.1. Análisis de covarianza	17
III. RESULTADOS	18
3.1. Determinación de la profundidad máxima de succión	18
3.2. Determinación de la altura de descarga con succión de 1m	23
3.3. Determinación de la altura de descarga con succión de 5	35
3.4. Tiempo para bombear 150 L con 1 m de succión y 10 m de descarga	40
IV. DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ANEXO 1. Secuencia fotográfica del ensamble de la bomba volumétrica manual de 200 mL	54
ANEXO 2 .Evaluación de la bomba volumétrica manual de 200 mL	56
ANEXO 3. Ecuaciones que modelan el funcionamiento de una bomba volumétrica manual de 0,2 litros	59
ANEXO 4. Planos de la bomba volumétrica manual	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a diferentes profundidades de succión, con tubería de ½ pulgada.	17
Tabla 2. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza) Para caudal en función de la profundidad de succión a diferentes ciclos por minuto.	18
Tabla 3. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs profundidades de succión a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada.	19
Tabla 4. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes profundidades de succión.	20
Tabla 5. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs ciclos/min a diferentes profundidades de succión con tubería de ½ pulgada	20
Tabla 6. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función de potencia a diferentes ciclos por minuto	21
Tabla 7. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada	22
Tabla 8. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a diferentes alturas de descarga, para una succión de 1m; con tubería de ½ pulgada.	23

Tabla 9. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza).	24
Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto	
Tabla 10. Ecuaciones que modelan el funcionamiento	25
para caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada y succión de 1m.	
Tabla 11. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en	26
función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.	
Tabla 12. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para	26
caudal vs ciclos/min a diferentes alturas de descarga con tubería de ½ pulgada, y succión de 1m	
Tabla 13. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs	27
potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada, y succión de 1m de profundidad	
Tabla 14. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza).	28
Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.	
Tabla 15. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a	29
diferentes alturas de descarga, para una succión de 1m; con tubería de 1" pulgada.	
Tabla 16. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en	30
función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.	
Tabla 17. Ecuaciones que modelan el funcionamiento	31
para caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de 1 pulgada y succión de 1m.	

Tabla 18. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga..	32
Tabla 19. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs ciclos/min a diferentes alturas de descarga con tubería de 1 pulgada, y succión de 1m.	32
Tabla 20. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.	33
Tabla 21. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de 1 pulgada, y succión de 1m de profundidad.	34
Tabla 22. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a diferentes alturas de descarga, para una succión de 5 m, con tubería de ½ pulgada	34
Tabla 23. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto	35
Tabla 24. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada y succión de 5m	36
Tabla 25. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función a los ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.	37

Tabla 26. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs ciclos/min a diferentes alturas de descarga con tubería de ½ pulgada, y succión de 5 m	37
Tabla 27. Resultados del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto	38
Tabla 28. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada, y succión de 5m de profundidad.	39
Tabla 29. Potencia nominal de un usuario en el empleo de la bomba volumétrica manual de 0,2 L con 1 m de succión y 10 m de descarga, con tubería de ½ pulgada.	39
Tabla 30. Potencia nominal de un usuario en el empleo de la bomba volumétrica manual de 0,2 L con 1 m de succión y 10 m de descarga, con tubería de 1 pulgada.	41
Tabla 31. Posibles problemas y sus soluciones en la operación de una bomba volumétrica manual	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bomba de pistón (Tomillo, 2005).	4
Figura 2. Bomba de mecate (Tomillo, 2005).	4
Figura 3. Bomba de diafragma (Tomillo, 2005).	5
Figura 4. Esquema de la bomba volumétrica manual empleada en la presente investigación.	6
Figura 5. Caudal en función de la profundidad de succión a diferentes ciclos por minuto.	18
Figura 6. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes profundidades de succión.	19
Figura 7. Caudal en función de potencia a diferentes ciclos por minuto.	21
Figura 8. Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.	24
Figura 9. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.	25
Figura 10. Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.	27
Figura 11. Caudal en función de la altura de descarga a diferentes ciclos por minuto.	30
Figura 12. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.	31
Figura 13. Caudal en función de potencia, a diferentes ciclos por minuto.	33
Figura 14. Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.	35

Figura 15. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.	36
Figura 16. Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.	38
Figura 17. Tiempo para bombear 150 L, con tubería de ½ pulgada.	40
Figura 18. Fuerza máxima (kg) para bombeo con tubería de ½ pulgada.	40
Figura 19. Potencia útil (hp), con tubería de ½ pulgada	41
Figura 20. Fuerza máxima (kg) para bombeo con tubería de 1 pulgada.	42
Figura 21. Tiempo para bombear 150 L, con tubería de 1 pulgada .	42
Figura 22. Potencia útil (hp), con tubería de 1 pulgada.	43

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Cuerpo e interior de la bomba volumétrica.	9
Fotografía 2. Pistón, eje y tapa guía.	10
Fotografía 3. Manómetros instalados en el sistema.	11
Fotografía 4. Válvulas check instaladas.	12
Fotografía 5. Medidor de volumen de agua.	13
Fotografía 6. Cuerpo de la bomba.	53
Fotografía 7. Montaje de la bomba.	53
Fotografía 8. Instalación de accesorios.	53
Fotografía 9. Pistón y eje.	53
Fotografía 10. Bomba completa.	54
Fotografía 11. Pruebas preliminares de la bomba volumétrica manual,	54
Fotografía 12. Medición del volumen de un ciclo de bombeo: 200 mL.	54
Fotografía 13. Medición de volumen bombeado a 1 m de altura.	55
Fotografía 14. Medición de volumen bombeado a 10 m de altura.	55
Fotografía 15. Medición del esfuerzo con el dinamómetro digital.	55
Fotografía 16. Succión a 5 m de Profundidad.	55
Fotografía 17. Succión a 5 m de profundidad y descarga a 5 metros de altura.	56
Fotografía 18. Operación de la bomba a 5 m de profundidad de succión.	56
Fotografía 19. Evaluación ergonómica en hombres	56
Fotografía 20. Evaluación ergonómica en mujeres	56
Fotografía 21. Evaluación del esfuerzo del operador	57

RESUMEN

Para realizar el presente trabajo de investigación se ha construido y evaluado una bomba volumétrica manual de 200 mL, con el objetivo de determinar las ecuaciones que modelan su funcionamiento a 20, 30 y 40 ciclos/min, entendiéndose como ciclo a la succión y descarga de esta bomba. En la primera etapa de evaluación, con una descarga a 1 m de altura, se determinó que la profundidad máxima de succión de esta bomba fue de 5 metros, generó un vacío de -9 psi y con 40 ciclos /min elevó un caudal de 7,5 L/min. En la segunda etapa, la evaluación se hizo con tuberías de ½” y 1” considerando 1m de profundidad de succión y en base a la infraestructura disponible, la bomba elevó el agua hasta los 10 m de altura; con tubería de ½” el caudal máximo fue de 8 L/min con 40 ciclos/min; para la tubería de 1” el caudal máximo fue de 9,6 L/min con 40 ciclos/min, para todas las condiciones evaluadas. En la tercera etapa de evaluación, se empleó tubería de ½” para la succión y la descarga, se trabajó con una profundidad de succión a 5 metros, encontrándose que la máxima altura a la que puede elevar el agua esta bomba fue de 5 m con un caudal de 3,64 L/min a 40 ciclos/min. Los datos obtenidos en todas las evaluaciones realizadas se procesaron con el software SPSS, determinándose que todas las ecuaciones que modelan el funcionamiento de la bomba volumétrica manual de 200 mL fueron de tipo cúbico. Finalmente, se hizo la evaluación ergonómica determinándose que para bombear 150 L, con succión de 1 m de profundidad y descarga a 10 m de altura, con libre frecuencia de bombeo, con tubería de ½” un hombre de 1,65 m y 58 kg empleó 25 minutos, y una mujer de 1,56 m y 60 kg empleó 60 minutos. Con tubería de 1”, las mismas personas emplearon 45 y 96 min, respectivamente,

Palabras clave: bomba volumétrica manual, modelamiento.

ABSTRACT

For the present research has been built and evaluated a 200 mL volumetric hand pump, with the objective of determining the equations that model its operation to 20, 30 and 40 cycles/min, meaning cycle the suction and discharge of the pump. In the first stage of evaluation, with a discharge to 1 m in height, it was determined that the maximum depth of this pump suction was 5 meters, created a vacuum of - 9 psi with 40 cycles/min and a maximum flow rate of 7,5 L/min. In the second stage, the evaluation was carried out with pipe of ½ "and 1" with 1 m depth and based on the available infrastructure, the pump elevated the water up to 10 m in height; with pipe of ½" was the maximum flow rate 8 L/min with 40 cycles/min; for pipe 1" the maximum flow rate was 9,6 L/min with 40 cycles/min, for all conditions evaluated. Pipe ½" was used in the third stage of evaluation, for the suction and the discharge, we worked with a depth of 5 m suction, finding that the maximum height to which this pump can lift water was 5 m with a flow rate of 3,64 L/min to 40 cycles/min. The data obtained in all the evaluations were processed with SPSS software, determining that all equations that model the operation of 200 mL volumetric hand pump were cubic type. Finally, became the ergonomic evaluation were determined to pumped 150 L, with suction of 1 m of depth and discharge to 10 m in height, with free frequency of pumping, with pipe ½" a man of 1,65 m and 58 kg lasted 25 minutes, and a woman of 1,56 m and 60 kg lasted 60 minutes. With pipe 1", the same people employed 45 and 96 min, respectively.

Keywords: volumetric hand pump, modelling.

I. INTRODUCCIÓN

Existen numerosas fuentes de agua que no se pueden aprovechar debido a que se ubican más abajo de los lugares potenciales para su uso, siendo la única alternativa el bombeo del agua. En zonas rurales no se cuenta con energía eléctrica y dado los escasos recursos económicos del poblador rural, es imposible que puedan adquirir una motobomba para elevar el agua hasta reservorios, para satisfacer sus necesidades domésticas y emplearla en agricultura y ganadería.

En cada cultura existen hábitos diferentes en el consumo de agua con fines de uso doméstico y aún no se han determinado estándares a nivel mundial para determinar con precisión la cantidad de agua necesaria en cada ámbito cultural para la vida diaria. La norma establecida por la ONU, de la “necesidad básica de agua” es de 50 litros *per cápita* y por día: para consumo de agua de beber, saneamiento, higiene personal, cocción de alimentos y necesidades de cocina, permite plantear una estimación aproximada de la situación mundial actual. La ONU a través de numerosos informes estableció que en el año 2000, había más de 2100 millones de personas utilizando una cantidad de agua inferior a la considerada como imprescindible para evitar afecciones en la salud relacionadas con la escasez, y que en el 2050, se calcula que habrá cerca de 4200 millones de personas (más del 45% del total mundial) que estarán viviendo en países donde la población estará por debajo de este consumo básico de agua. En este estándar mínimo no se toman en cuenta otros usos necesarios del agua, como para la agricultura, la protección de los ecosistemas y la industria (WHO y UNICEF, 2000), (Tomillo, 2005). Un estándar de consumo de 100 litros por persona y por día reflejaría esas necesidades adicionales; en el año 2000, había en 80 países 3750 millones de personas por debajo de este nivel. La población de esos países aumentará hasta 6400 millones para el año 2050.

Esta problemática se ve agravada en muchas situaciones por el empleo de aguas provenientes de fuentes no saneadas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), entre 2400 y 3000 millones de personas utilizan diariamente estas fuentes. Esas limitaciones son más alarmantes en las zonas rurales, donde un 62% de los residentes carecen de acceso a fuentes saneadas (CSD, 1997), (Tomillo, 2005).

A partir de esta situación han surgido dentro de los diversos organismos internacionales, desde UNICEF, FAO, PNUD dependientes de Naciones Unidas, la OMS, el Banco Mundial, y un número creciente de ONG, numerosos programas para resolver esta problemática. En estos programas de intervención ha destacado la opción del bombeo manual como tecnología para enfrentar esta situación. A raíz de este uso ha proliferado el diseño de bombas manuales, adquiriendo un papel importante para el abastecimiento de agua en numerosos países y desarrollándose modelos específicos para cada zona en cuestión. Los sistemas de bombeo manual son especialmente interesantes por su bajo costo, facilidad de montaje, manejo, mantenimiento y sostenibilidad; por ello su implantación ha sido impulsada por los diferentes organismos internacionales bajo el paraguas de la ONU o el Banco Mundial (BM). Según la SKAT (organización suiza independiente que trabaja en el campo del desarrollo y de la ayuda humanitaria), organismo responsable del monitoreo de los programas en este ámbito del BM, actualmente más de 1000 millones de personas basan su abastecimiento en el empleo de bombas manuales, por lo que se debe delimitar la capacidad real de este bombeo manual para el abastecimiento de agua empleada en el consumo doméstico en el ámbito rural, o de poblaciones dispersas. Se deben analizar todos los parámetros que definen el uso de estos sistemas de bombeo manual, tales como el entorno de implantación, la evaluación de las necesidades de consumo diario de agua para una persona, la potencia que manualmente podrá desarrollar dicha persona en el bombeo, las características técnicas y tecnológicas de los equipos más empleados o las especificaciones relacionadas con las condiciones del terreno y la población usuaria (Tomillo, 2005).

La tecnología de bombeo de agua se desarrolló paralelamente a la disponibilidad de fuentes de energía. Efectivamente, se puede decir que el primero de nuestros ancestros que juntó sus manos y cogió agua de una corriente, escogió la técnica de “bombeo” que le era apropiada. Los dispositivos modernos, tales como las bombas centrífugas, han alcanzado un alto estado de desarrollo y son profusamente usadas, particularmente en países desarrollados, solo gracias a que se dispone de fuentes de energía adecuadas, tales como motores diesel o motores eléctricos. En pequeñas comunidades de países en desarrollo, la energía humana y la animal son a menudo la energía que con mayor facilidad se dispone para el bombeo del agua, particularmente en zonas rurales.

La selección, desarrollo y uso de bombas manuales confiables que se puedan producir, instalar y mantener localmente a un precio razonable constituye un paso importante hacia el suministro confiable de agua potable a las comunidades rurales. Debido a numerosos factores técnicos y económicos tales como la complejidad de las bombas accionadas a motor y el elevado costo del combustible, las bombas manuales seguirán utilizándose en la mayoría de las regiones del mundo, no solamente para el agua potable sino para limpieza, ganadería y riego (Sharp y Graham, 1982).

Una bomba manual de agua funciona bien o mal dependiendo de las características técnicas del artefacto, también del uso que de la misma se haga en un contexto social determinado. Como señala Pacey (1983) en “La cultura de la tecnología”, las bombas que fallaron en los años 70 en la India, casi un tercio de las 150 mil instaladas, no sólo se debió a defectos estructurales de los artefactos, sino principalmente a la omisión de las condiciones locales de uso por parte de los responsables técnicos del proyecto. Además de un problema ingenieril, el desarrollo e instalación de un artefacto es un problema cultural y administrativo (López y Valenti, 1995).

1.1. Tipos de bombas manuales

Los principales tipos de bombas manuales para sistemas de abastecimiento de agua a pequeñas comunidades se describen a continuación.

1.1.1. Bomba de pistón

Cuenta con dos válvulas de retención que pueden ser hechas de cuero, jebe, bolillas o juntas metálicas. Al subir el pistón se abre la válvula de pie y el agua ingresa; al bajar el pistón, la válvula de pie se cierra y se abre la válvula superior expulsando el agua hacia la superficie (Bellido, 2004).

1.1.2. Bomba de rosario o de mecate

Es útil cuando se requiere extraer agua de pozos de poca profundidad. Consiste de una cuerda con tapones cada cierto tramo, la que se hace girar con una manija. En la medida que gira la cuerda los tapones capturan una pequeña columna de agua que llevan hacia la superficie (Bellido, 2004).

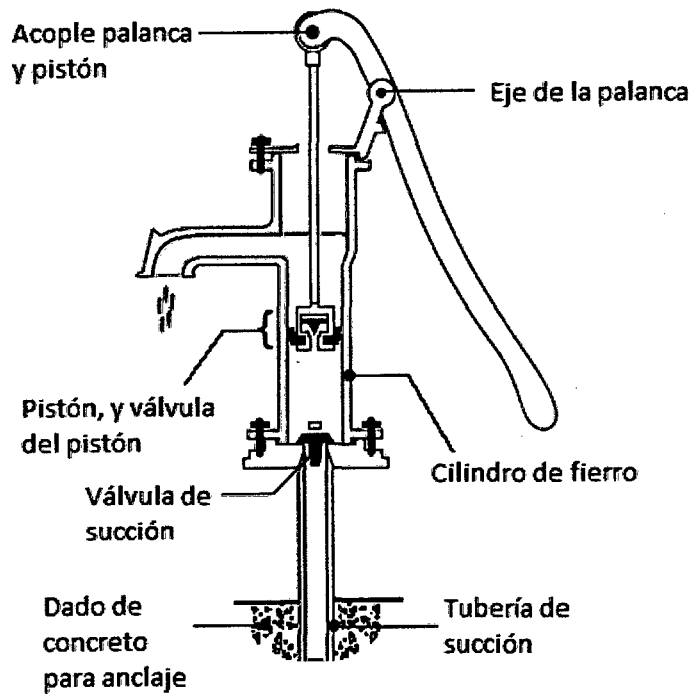


Figura 1. Bomba de pistón (Tomillo, 2005).

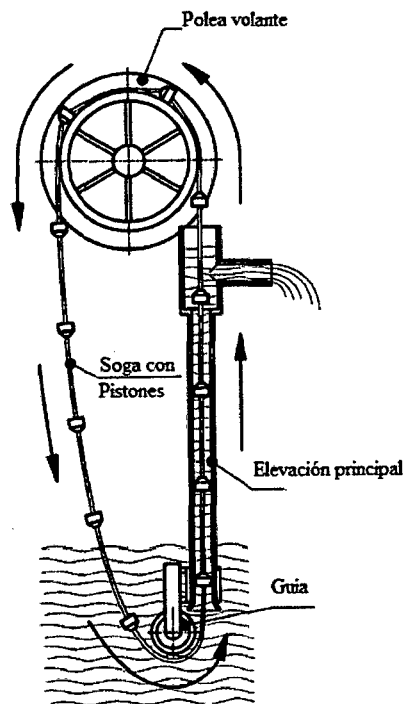


Figura 2. Bomba de mecate (Tomillo, 2005).

1.1.3. Bomba de diafragma

Se estima que se comenzó a emplear a partir del año 1730, y su mecanismo se ha usado ampliamente en las bombas de combustible. Actualmente se emplea en varios tipos de bombas manuales. Esta bomba está fundamentada en el movimiento de una membrana elástica en contacto con un volumen de líquido, provista de dos válvulas antirretorno; al elevarse esta membrana o diafragma el agua es absorbida a través de la válvula de entrada a la izquierda, se acciona el diafragma en sentido opuesto, forzando al comprimir el espacio interior, el cierre de la válvula izquierda y la apertura de la que se sitúa a la derecha que permitirá la salida del agua (Tomillo, 2005).

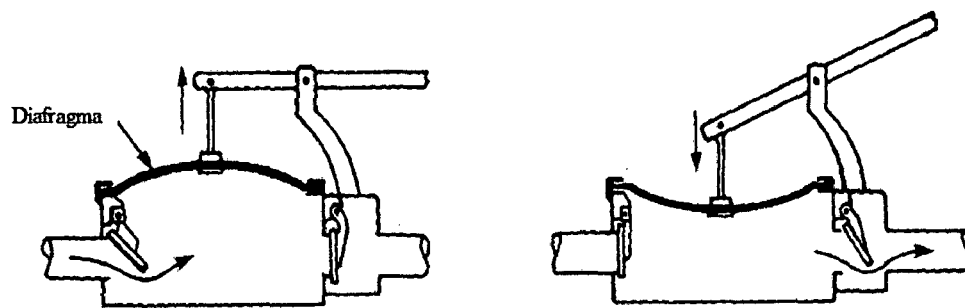


Figura 3. Bomba de diafragma (Tomillo, 2005).

1.1.4. Bomba volumétrica manual

Es un tipo de bomba accionada manualmente, succiona y bombea un volumen constante de líquido en cada ciclo (succión y bombeo). El funcionamiento de las bombas manuales se basa en dos principios: la aceleración y el desplazamiento. Las bombas centrífugas aceleran el agua y le dan presión, mientras que en las bombas de pistón la presión se obtiene por el desplazamiento del agua (Bellido, 2004).

Es una bomba de pistón que se basa en el principio de incompresibilidad del agua, a partir de ahí se han desarrollado distintos tipos, siempre en el ámbito de las bombas volumétricas. Dentro del bombeo manual, el que ha alcanzado una mayor evolución y diversificación ha sido el basado en un

émbolo o pistón, dotado de una válvula que se desplaza verticalmente arriba y abajo característico en las bombas recíprocas tanto en las de succión, como en las aspirantes para pozos profundos.

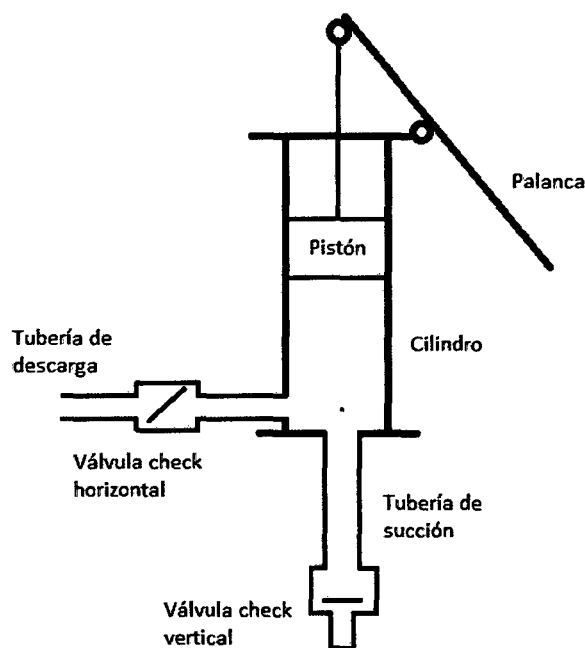


Figura 4. Esquema de la bomba volumétrica manual empleada en la presente investigación.

1.2. Concepto VL0M

El concepto VL0M (Village Level Operation and Maintenance: Mantenimiento y operación en el lugar de uso) significó el desarrollo de la tecnología tradicional de bombeo a tecnología apropiada. Es decir, el concepto VL0M supuso la adaptación o el desarrollo de bombas manuales desde un enfoque técnico del primer mundo a un enfoque técnico de los países empobrecidos. Antes de 1980 casi todas las bombas manuales eran modelos derivados de los modelos existentes a principios del siglo XX y empleados mayoritariamente en los países industrializados. Sin embargo en la actualidad las bombas manuales son fruto de un intenso desarrollo que ha generado una nueva serie de bombas VL0M, “apropiadas” para su empleo en países en desarrollo (Arroyo, 2006).

El criterio para considerar apropiada una bomba de mano había sido que su diseño debía hacerla apta para su funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado. Desde luego, la bomba debía ser capaz de resistir el deterioro causado por el uso; pero, lo que es aún más importante, debía estar diseñada y fabricada de forma tal que los pobladores debidamente adiestrados pudieran mantenerla y repararla (Tomillo 2005).

El desarrollo del concepto VLOM fue una de las primeras consecuencias del proyecto “Rural Water Supply, Handpump Project” (Proyecto de bomba manual para suministro rural de agua). La aplicación de tecnologías del primer mundo para resolver los problemas de suministro en el tercer mundo provocó que muchos de los proyectos realizados quedaran abandonados al poco de su inicio por falta de medios para sostener el sistema en funcionamiento. Tanto las tecnologías más modernas como las bombas manuales de los países desarrollados se mostraron en muchas ocasiones ineficaces como solución para la problemática existente en los países en desarrollo, que requería un enfoque específico. Uno de los principios del concepto VLOM fue que se primara la disponibilidad frente a la robustez o durabilidad. Es decir, es mejor un sistema que se estropee cada 6 meses y se pueda reparar en un par de días, que un sistema que se estropee cada 12 meses pero que el tiempo de reparación supone más de una semana (Arroyo, 2006).

Los sistemas de agua en general, incluyendo los que se abastecen mediante bombas manuales, basan su concepción en la interacción del propio sistema con el objetivo general de los proyectos de abastecimiento, el acceso al agua considerado como un derecho; y por otro lado, con el resultado del estudio de los recursos hídricos, que determina la disponibilidad en cuanto a calidad, y cantidad del recurso (Mancebo y Jiménez, 2010).

La bomba de mano CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria) para abastecimiento de agua a una familia, puede suministrar un caudal de agua de 7 litros por minuto con una carrera de pistón de 0,50 m y una frecuencia de 22 golpes (succión + descarga) por minuto, está fabricada con tubos de PVC y tiene una capacidad de bombeo de 0,6 litros por golpe a una profundidad máxima de 60 m (Bellido, 2004).

A partir de 1970, con el impulso lanzado por los programas de asistencia técnica internacional, se empieza a reactivar el estudio y la investigación relacionada con la potencialidad de las bombas manuales (Ball y Ball, 1991). (Tomillo, 2005).

Desde 1970, muchos de los abastecimientos planteados con bombas de mano fueron deficientes o han sido del todo abandonados, debido a defectos de diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento. Un mínimo fallo provocaba en muchas ocasiones la inutilización completa del pozo. A partir de ahí se impusieron criterios de diseño que fueran prácticos y que cumplieran las condiciones de operación preestablecidas, así como los requisitos sanitarios. Son necesarias bombas durables, libres de averías, baratas; cuya necesidad de mantenimiento pueda ser satisfecha dentro de las limitaciones de capacidad local; que sean fácilmente operables y aceptables por los usuarios, incluyendo niñas y que sean adecuadas para fabricación local, usando materiales, equipo y mano de obra local.

En 1980, el PNUD y el Banco Mundial iniciaron un proyecto mundial e interregional de pruebas de laboratorio, ensayos sobre el terreno y desarrollo tecnológico de bombas de mano para el abastecimiento de agua a zonas rurales (Banco Mundial, 1993).

La norma establecida por la ONU, de la “necesidad básica de agua” de 50 litros *per cápita* y por día: para consumo de agua de beber, saneamiento, higiene personal, cocción de alimentos y necesidades de cocina; permite plantear que la aplicación de la bomba volumétrica manual, motivo del presente trabajo de investigación, en zonas rurales, servirá para el abastecimiento de agua de manera que se cubra como mínimo la necesidad básica de agua del poblador rural, lo que contribuirá a mejorar su calidad de vida e inclusión social.

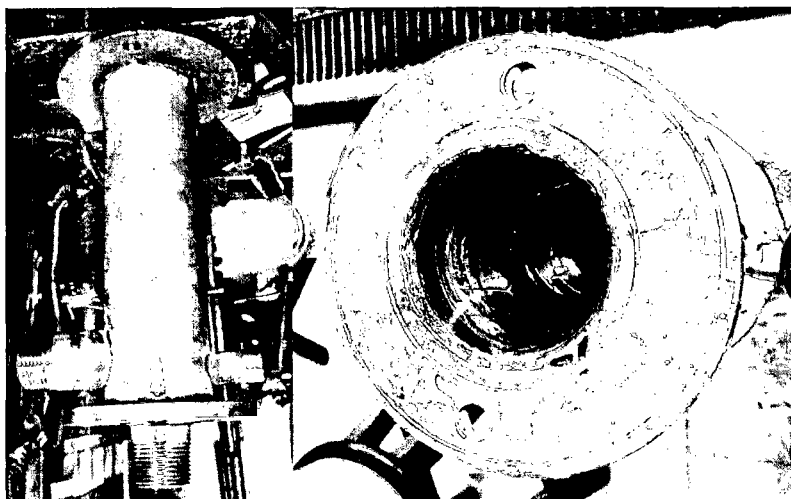
II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Componentes de la bomba volumétrica manual

Se empleó una bomba volumétrica manual de 200 mL, hecha de tubo de fierro galvanizado, con accesorios del mismo material y de bronce; montada en un trípode de varilla de fierro de 3/4", a una altura adecuada para su operación ergonómica. Los componentes de esta bomba se describen a continuación.

2.1.1. Cilindro

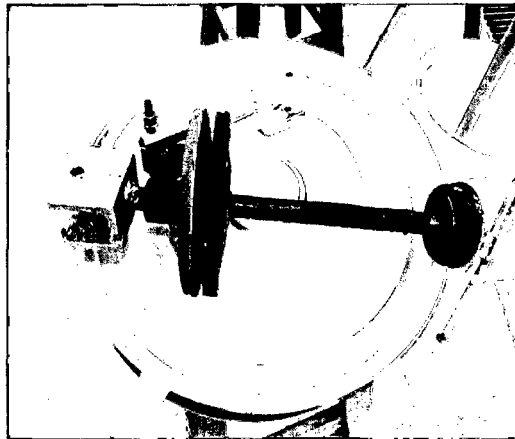
Es el cuerpo de la bomba, que se hizo de tubo de fierro galvanizado de 2"x 24 cm, cuyo interior se pulió en torno para que el pistón se deslice con suavidad. En su base se soldó un disco de fierro de 4" de diámetro x 1/4" de espesor, en cuyo centro se soldó un niple de 1"x1" de fierro galvanizado, al que se acopló la tubería de succión. A la altura de la base se perforó el cuerpo de la bomba, en lados opuestos, para insertar dos niples de fierro galvanizado, uno de 1"x1" para la descarga y otro de 1/4"x1" de largo para conectar un manómetro. En la parte superior del cuerpo de la bomba se soldó una brida de 4" con dos agujeros de 1/4", diametralmente opuestos, para sujetar la tapa con tubo guía de 1"x2" de largo para el eje del pistón. La carrera del pistón fue de 10 cm, con lo que succiona y descarga 200 mL.



Fotografía 1. Cuerpo e interior de la bomba volumétrica.

2.1.2. Pistón

El pistón es una pieza de neopreno de forma cilíndrica, de 2"x2", en cuyo centro tiene un orificio de ¼" para que pase el extremo del eje del pistón, se reforzó con anillos planos de fierro de 1,5" en ambos lados, y se fijó con una tuerca. El eje del pistón se hizo de varilla de fierro de ½"x30 cm, en cuyo otro extremo se soldó un accesorio en forma de C de 2" para conectarlo a la palanca. El pistón genera una succión del agua al desplazarse verticalmente hacia arriba por el interior del cilindro, haciendo que se abra la válvula de fondo de pozo (check vertical) y simultáneamente se cierre la válvula check horizontal de la tubería de descarga. Las válvulas operan en sentido contrario cuando el pistón baje, transmitiendo un impulso al agua para elevarla.



Fotografía 2. Pistón, eje y tapa guía.

2.1.3. Palanca

La palanca se hizo de tubo de fierro galvanizado de 1"x80 cm de largo. A uno de sus extremos se fijó el eje del pistón con un perno de ¼"x3" a manera de pasador. La palanca se accionó con esfuerzo humano para hacer que el pistón recorra el cilindro de la bomba, generando la succión al subir y la descarga o bombeo al bajar.

2.1.4. Manómetro

Se utilizó dos manómetros del tipo analógico para un rango de medida de cero a 80 psi para el primero, que se ubicó en la tubería de descarga; el segundo manómetro se ubicó a la altura de la base del cuerpo de la bomba con un rango de -15 a 30 psi.



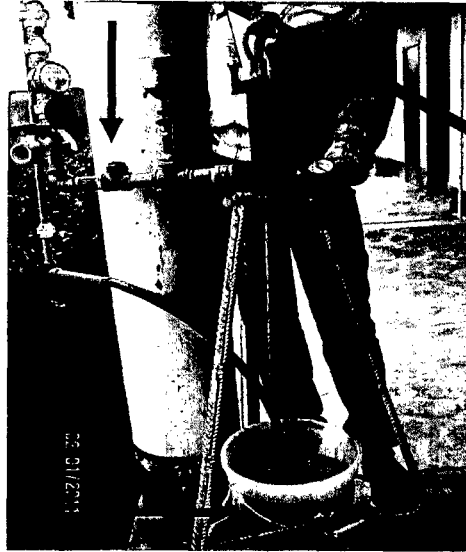
Fotografía 3. Manómetros instalados en el sistema.

2.1.5. Válvula check horizontal

Es una válvula unidireccional que permitió el paso del agua del cilindro hacia la tubería de descarga, e impidió el regreso del agua de esta tubería hacia el cilindro. Se instaló en la tubería de descarga como se muestra en la Fotografía 4.

2.1.6. Válvula de fondo de pozo (check vertical)

Es una válvula unidireccional que se instaló al inicio de la tubería de succión (Fotografía 4) y quedará sumergida bajo el nivel de agua del pozo desde donde se bombeará. Retendrá el agua en la tubería de succión, mientras que el agua contenida en el cilindro es elevada al bajar el pistón.



Fotografía 4. Válvulas check instaladas.

2.1.7. Tubería de descarga

Se empleó tubería de PVC para agua de ½” y de 1”, acoplada con uniones universales en tramos de 1 m de diferencia de altura de descarga, desde el cuerpo de la bomba.

2.1.8. Tubería de succión

Se empleó tubería de PVC para agua de ½” y de 1”, acoplada con uniones universales en tramos de 1 m de diferencia de altura desde el nivel de agua en el pozo, hasta la base del cuerpo de la bomba.

2.1.9. Medidor de volumen

Se empleó un medidor de volumen de agua doméstico, marca Amico, con escala de lectura en litros y metros cúbicos. Se conectó en la tubería de descarga.



Fotografía 5. Medidor de volumen de agua.

2.2. Metodología

La altura de la bomba sobre la fuente de agua y la altura de la salida del agua, afectará el desempeño de la bomba y su rendimiento de operación. El caudal bombeado estuvo en función de la habilidad de la persona para operar consistentemente en un periodo razonable. Las pruebas fueron diseñadas, por lo tanto, para incluir estas variables y estimar su efecto sobre el desempeño de la bomba. Para las pruebas, la bomba se instaló de tal manera que se pueda cambiar la altura mientras que opera normalmente y se pueda medir la descarga, en un recipiente calibrado.

Una curva característica de desempeño mostrará el caudal bombeado o de descarga frente a la altura de bombeo o de descarga, a diferentes ciclos de bombeo por minuto. Otra curva mostrará el caudal bombeado frente a ciclos de bombeo, a diferentes alturas de descarga.

Las pruebas de desempeño de las bombas no están diseñadas para medir la potencia humana requerida para operarlas. Sin embargo, pruebas prácticas bajo condiciones variables permitieron a los operadores trabajar la bomba por periodos más largos (≥ 1 h) y ello permitió hacer evaluaciones prácticas y ergonómicas.

2.2.1. Determinación de la profundidad máxima de succión

Para ello se utilizó tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada que se fue acoplado con uniones universales en tramos de 1 m y la bomba se instaló en las escaleras del

Pabellón de Turismo de la UNTRM, su ubicación estuvo en función a la profundidad de succión a evaluar. Primero se evaluó el caudal bombeado desde 1 m de profundidad de succión; enseguida a 2 m y así sucesivamente, metro a metro, hasta determinar la profundidad máxima de succión.

2.2.2. Determinación de la altura de descarga con succión de 1m

Esta evaluación se realizó empleando los cuatro pisos del Pabellón de Laboratorios de la UNTRM. La succión se ubicó a 1 m de profundidad y se inició el bombeo con descarga a 1 m de altura. Se fue acoplando tramos de 1 m a la tubería de descarga, mediante uniones universales. La evaluación final se realizó a nivel del cuarto piso del pabellón mencionado, hasta donde se alcanzó una altura de 10 m. Esta evaluación se hizo en primer lugar con tubería de succión y descarga de ½ y enseguida de 1 pulgada.

2.2.3. Determinación de la altura de descarga con succión de 5

Para esta etapa se utilizó, tanto para la succión como para la descarga, tubería de ½ pulgada. La bomba se ubicó a 5 m de altura en las escaleras del Pabellón de Turismo de la UNTRM. Para la descarga se fue acoplando tubería en tramos de 1m, hasta encontrar la altura máxima de descarga.

2.2.4. Tiempo para bombear 150 L con 1 m de succión y 10 m de descarga

En esta etapa final se realizaron las pruebas ergonómicas; es decir, participaron operarios, varones y mujeres, con diferentes estaturas y pesos y con una frecuencia de bombeo libre, para medir el tiempo que empleó cada uno para bombear 150 litros con 1 m de succión y 10 m de descarga. En estas evaluaciones se empleó tubería de ½” y luego de 1”.

2.2.5. Variables evaluadas

Son aquellas variables independientes y dependientes que permitieron realizar las gráficas correspondientes y su respectivo tratamiento estadístico.

2.2.5.1. Con descarga a nivel de la bomba

➤ **Independientes**

- ✓ Profundidad de succión (m): 1, 2, 3, 4, 5.
- ✓ Frecuencia de succión y descarga (ciclos/minuto): 20, 30 y 40.

➤ **Dependientes**

- ✓ Caudal bombeado (litros/minutos): Q
- ✓ Presión (psi)
- ✓ Potencia útil (W/kg): Pot

2.2.5.2. Con descarga a diferentes alturas sobre la bomba

➤ **Independientes**

- ✓ Profundidad de succión : 1 m
- ✓ Altura de descarga (m): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10
- ✓ Frecuencia de succión y descarga (ciclos/minuto): 20, 30 y 40

➤ **Dependientes**

- ✓ Caudal bombeado (litros/minutos): Q
- ✓ Presión (psi).
- ✓ Potencia útil (W/kg): Pot

2.2.5.3. Altura de descarga con succión a 5 m

➤ **Independientes**

- ✓ Profundidad de succión : 5 m
- ✓ Altura de descarga (m): 1, 2, 3, 4 y 5
- ✓ Frecuencia de succión y descarga (ciclos/minuto): 20, 30 y 40.

➤ **Dependientes**

- ✓ Caudal bombeado (litros/minutos): Q
- ✓ Presión (psi).
- ✓ Potencia útil (W/kg): Pot

2.2.6. Cálculos realizados

2.2.6.1. Caudal bombeado

Se operó la bomba a cada una de las frecuencias de bombeo, para medir el tiempo (t) correspondiente en que se llenó una jarra calibrada de 2 litros (V). Enseguida se empleó la fórmula: $Q = V/t$, el resultado se convirtió a L/min.

2.2.6.2. Potencia para bombear

Para este cálculo se requirió:

- Densidad del agua (ρ) = 1000 kg/m³
- Aceleración de la gravedad (g) = 9,8 m/s²
- Altura de descarga (h) = correspondiente a las diferentes alturas ensayadas, expresada en metros.
- Caudal bombeado (Q) = correspondiente a las diferentes alturas ensayadas, expresado en m³.

$$Pot = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q$$

2.2.7. Análisis estadístico

Los datos experimentales se registraron y procesaron para determinar el caudal elevado, y hacer las gráficas correspondientes: Q vs profundidad de succión a diferentes ciclos/min; Q vs ciclos/min a diferentes profundidades de succión; Q vs Pot. Los datos se procesaron con el software Statistical Package for Social Science (SPSS) para Windows, que realizó el análisis estadístico y la obtención de los coeficientes de las ecuaciones correspondientes que modelan el funcionamiento de la bomba volumétrica manual de 200 mL, motivo de la presente tesis.

2.2.7.1. Análisis de covarianza

Para evaluar los datos registrados en las tablas correspondientes se empleó el análisis de covarianza ya que asocia el análisis de varianza y el análisis de regresión con el objeto de controlar, en forma indirecta el error experimental al tomar en cuenta la presencia de una variable concomitante (X) o acompañante a la variable principal (Y) acerca de la cual se debe obtener conclusiones. Mediante la regresión se evaluó la influencia o no, de X en Y, la hipótesis fue:

$H_0 : \beta = 0$: No hay influencia de X en Y

$H_a : \beta \neq 0$: Si hay influencia de X en Y

III. RESULTADOS

Esta instalación de bombeo manual se vio limitada a situaciones en las que la altura de bombeo (h_{bombeo}) no es tan elevada para que permita, con la potencia desarrollable por los usuarios (Pot_{bombeo}) y con esta tecnología, bombear un caudal de agua aceptable.

3.1. Determinación de la profundidad máxima de succión

Tabla 1. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a diferentes profundidades de succión, con tubería de ½ pulgada.

Profundidad de succión (m)	Ciclos/min	Presión (psi)	Q (L/min)	Potencia (hp)
1	20	-3 a +3	4,29	$0,9 \times 10^{-3}$
	30		6,34	$1,4 \times 10^{-3}$
	40		8,57	$1,9 \times 10^{-3}$
2	20	-5 a +5	4,28	$1,9 \times 10^{-3}$
	30		6,66	$2,9 \times 10^{-3}$
	40		8,57	$3,7 \times 10^{-3}$
3	20	-6 a +6	4,14	$2,7 \times 10^{-3}$
	30		6,34	$4,2 \times 10^{-3}$
	40		8,0	$5,2 \times 10^{-3}$
4	20	-7 a +7	4,28	$3,7 \times 10^{-3}$
	30		6,66	$5,8 \times 10^{-3}$
	40		7,50	$6,6 \times 10^{-3}$
5	20	-9 a +9	4,14	$4,5 \times 10^{-3}$
	30		6,0	$6,6 \times 10^{-3}$
	40		7,50	$8,2 \times 10^{-3}$

Fuente: Elaboración propia

Para profundidades mayores a 5 m, la bomba no generaba el vacío necesario para la succión de agua, debido a la corta carrera del pistón. El máximo vacío registrado por el manómetro fue de - 9 psi.

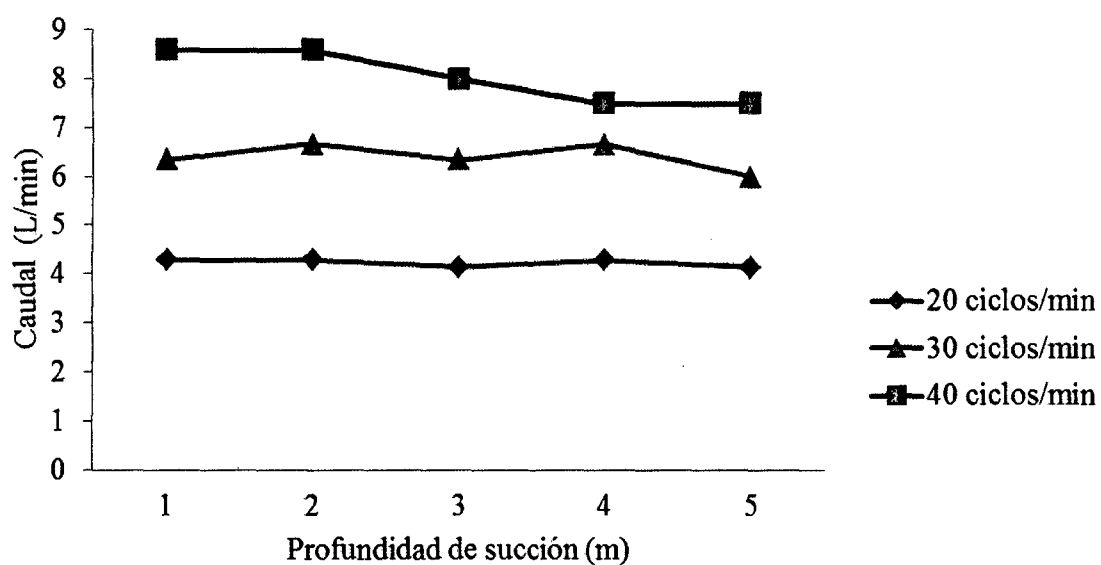


Figura 5. Caudal en función de la profundidad de succión a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 2. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA) para caudal en función de la profundidad de succión, a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Ciclo/min	36,386	2	18,193	225,418	0,000
Profundidad	0,585	1	0,585	7,251	0,021
Error	0,888	11	0,081		
Total corregida	37,859	14			

Fuente: Base de datos, Tabla 1.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre profundidad de succión y caudal ($p=0,021 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,021$ es menor que 5%, se afirma que los ciclos por minuto en estudio son significativamente diferentes en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable profundidad de succión).

Tabla 3. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs profundidades de succión a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada.

Ciclos/min	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
20	$Q = -0,013s^3 + 0,114s^2 - 0,334s + 4,536$	0,46
30	$Q = -0,028s^3 + 0,161s^2 - 0,171s + 6,420$	0,6
40	$Q = 0,089s^3 - 0,798s^2 + 1,753s + 7,528$	0,9

Fuente: Anexo 3

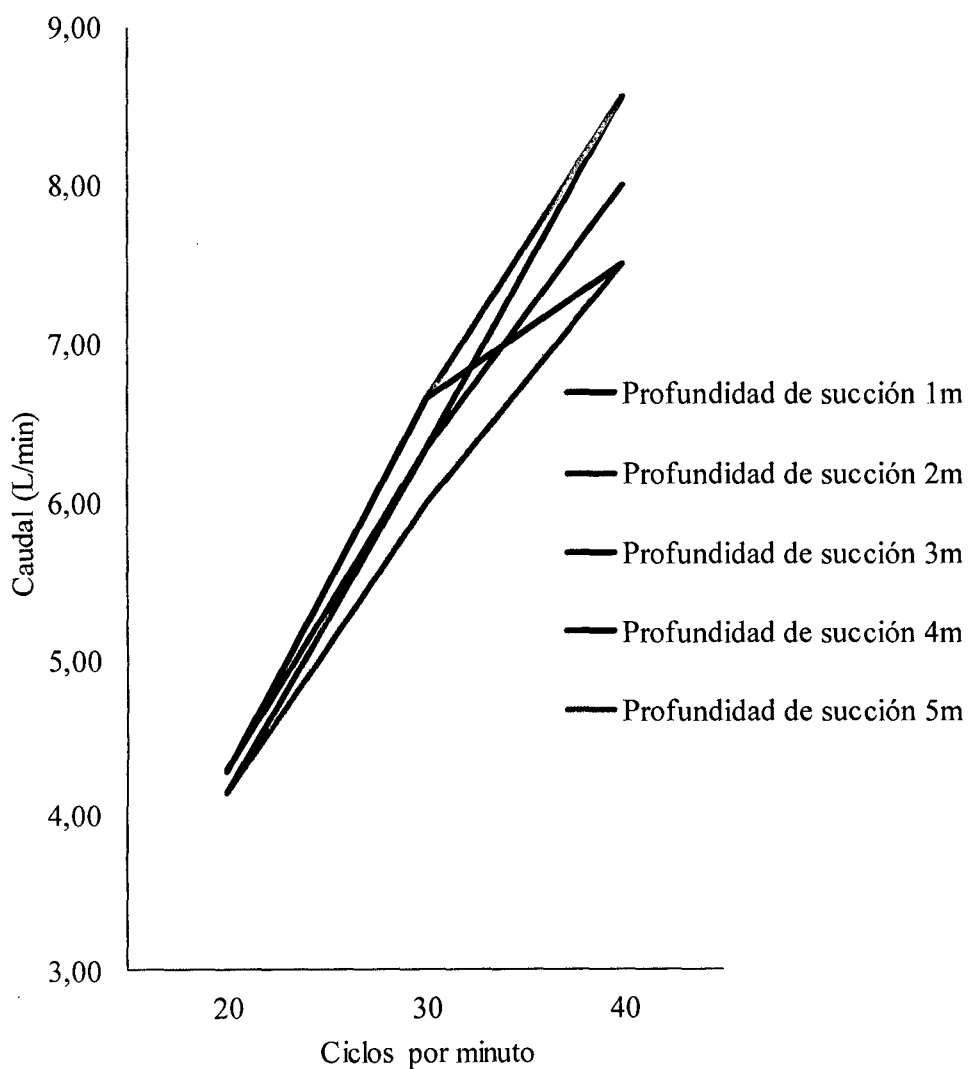


Figura 6. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes profundidades de succión.

Tabla 4. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes profundidades de succión.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Profundidad	0,712	4	0,178	1,586	0,259
Ciclos/min	36,138	1	36,138	322,110	0,000
Total	617,812	15			
Total corregida	37,859	14			

Fuente: Base de datos, Tabla 1.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre los ciclos por minuto y caudal ($p=0,000<0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,259$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre las profundidades de succión en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable ciclos por minuto).

Tabla 5. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs ciclos/min a diferentes profundidades de succión con tubería de ½ pulgada.

Profundidad de succión (m)	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
1	$Q = 0,001c^2 + 0,160c + 0,730$	1,0
2	$Q = -2,61 \times 10^{-5}c^3 + 0,288c - 1,263$	1,0
3	$Q = -3 \times 10^{-5}c^3 + 0,277c - 1,160$	1,0
4	$Q = -8,56 \times 10^{-5}c^3 + 0,401c - 3,047$	1,0
5	$Q = -2 \times 10^{-5}c^3 + 0,224c - 0,180$	1,0

Fuente: Anexo 3

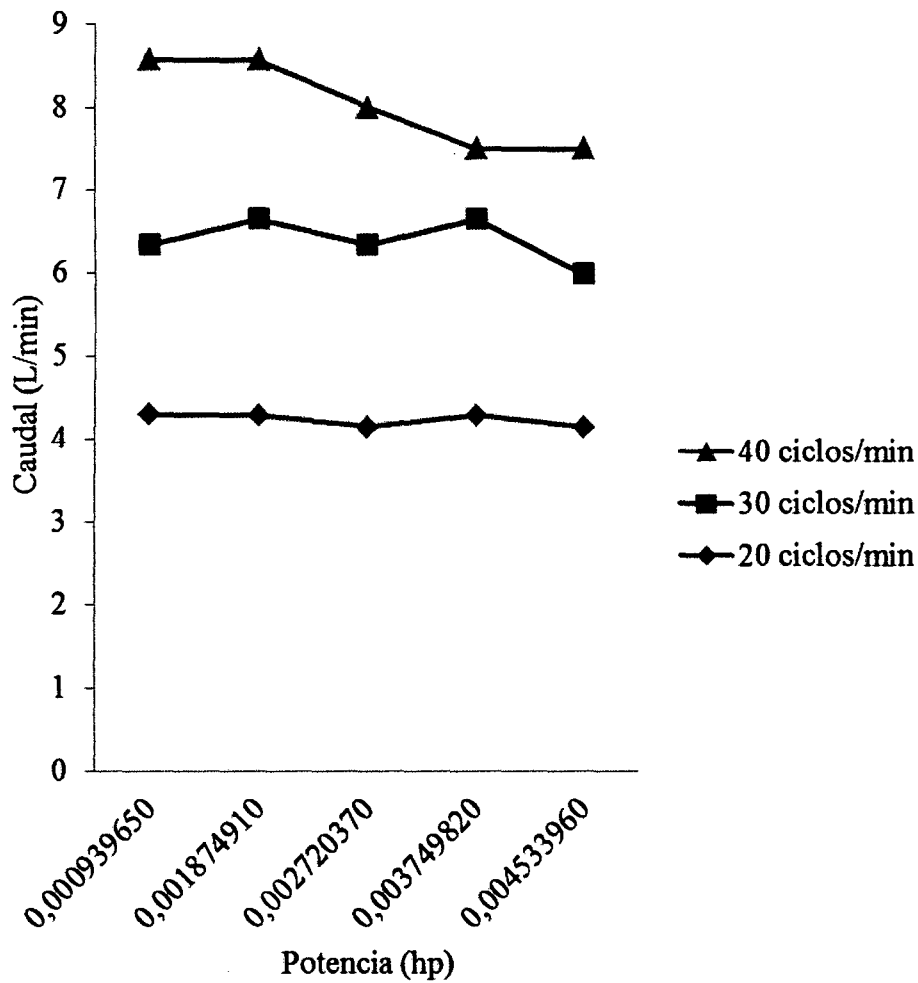


Figura 7. Caudal en función de potencia a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 6. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de potencia a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Ciclo/min	32,635	2	16,317	226,873	0,000
Potencia	0,682	1	,682	9,480	0,010
Error	0,791	11	0,072		
Total corregida	37,859	14			

Fuente: Base de datos, Tabla 1.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre la potencia y caudal ($p=0,010 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,000$ es menor que 5% se afirma que hay diferencia significativa entre los ciclos por minuto en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable potencia).

Tabla 7. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada.

Ciclos /min	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
20	$Q = -1,83 \times 10^7 p^3 + 1,53 \times 10^5 p^2 - 405,8p + 4,6$	0,438
30	$Q = -1,84 \times 10^7 p^3 + 1,68 \times 10^5 p^2 - 389,3p + 6,644$	0,442
40	$Q = 2,61 \times 10^7 p^3 - 4,00 \times 10^5 p^2 + 1613,142p + 6,779$	1,0

Fuente: Anexo 3

3.2. Determinación de la altura de descarga con succión de 1m

La bomba se evaluó hasta 10 m de altura de descarga, hasta donde se alcanzó el cuarto piso del Pabellón de Laboratorios de la UNTRM, que fue la infraestructura disponible, la cual no permitió evaluar a alturas mayores. En función a los resultados y la facilidad de operación de la bomba, es posible que se puedan alcanzar mayores alturas de bombeo. Los resultados empleando tubería de ½” se muestran en la Tabla 8 y con tubería de 1” en la Tabla 15.

Tabla 8. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a diferentes alturas de descarga, para una succión de 1m; con tubería de ½ pulgada.

Altura de descarga (m)	Ciclos/min	Presión (psi)	Caudal (L/min)	Potencia (hp)	Fuerza de bombeo (kg)	
					Subida	Bajada
1	20	10	4,28	$9,4 \times 10^{-04}$	11,6	7,5
	30	10	6,3	$1,4 \times 10^{-03}$		
	40	10	8,57	$1,9 \times 10^{-03}$		
2	20	20	4,8	$2,1 \times 10^{-03}$	14,8	8,7
	30	20	6,3	$2,8 \times 10^{-03}$		
	40	20	8,57	$3,8 \times 10^{-03}$		
3	20	22	4,62	$3,0 \times 10^{-03}$	9,7	8,4
	30	28	7,06	$4,6 \times 10^{-03}$		
	40	36	8,57	$5,6 \times 10^{-03}$		
4	20	37	4,62	$4,0 \times 10^{-03}$	10,4	9,4
	30	42	7,06	$6,2 \times 10^{-03}$		
	40	44	9,23	$8,1 \times 10^{-03}$		
5	20	44	4,8	$5,3 \times 10^{-03}$	11,9	9,8
	30	48	6,66	$7,3 \times 10^{-03}$		
	40	55	8,57	$9,4 \times 10^{-03}$		
6	20	45	4,44	$5,8 \times 10^{-03}$	12,04	10,4
	30	50	7,06	$9,3 \times 10^{-03}$		
	40	60	8,57	$1,1 \times 10^{-02}$		
7	20	47	5,0	$7,7 \times 10^{-03}$	12,7	11,9
	30	54	6,3	$9,7 \times 10^{-03}$		
	40	62	8,57	$1,3 \times 10^{-02}$		
8	20	50	4,44	$7,8 \times 10^{-03}$	13,2	11,8
	30	58	6,66	$1,2 \times 10^{-02}$		
	40	64	8	$1,4 \times 10^{-02}$		
9	20	64	4,62	$9,1 \times 10^{-03}$	13,5	12,6
	30	66	7,06	$1,4 \times 10^{-02}$		
	40	69	8,57	$1,7 \times 10^{-02}$		
10	20	73	4,29	$9,4 \times 10^{-03}$	13,9	13,2
	30	84	7,5	$1,6 \times 10^{-02}$		
	40	88	8	$1,8 \times 10^{-02}$		

Fuente: Elaboración propia

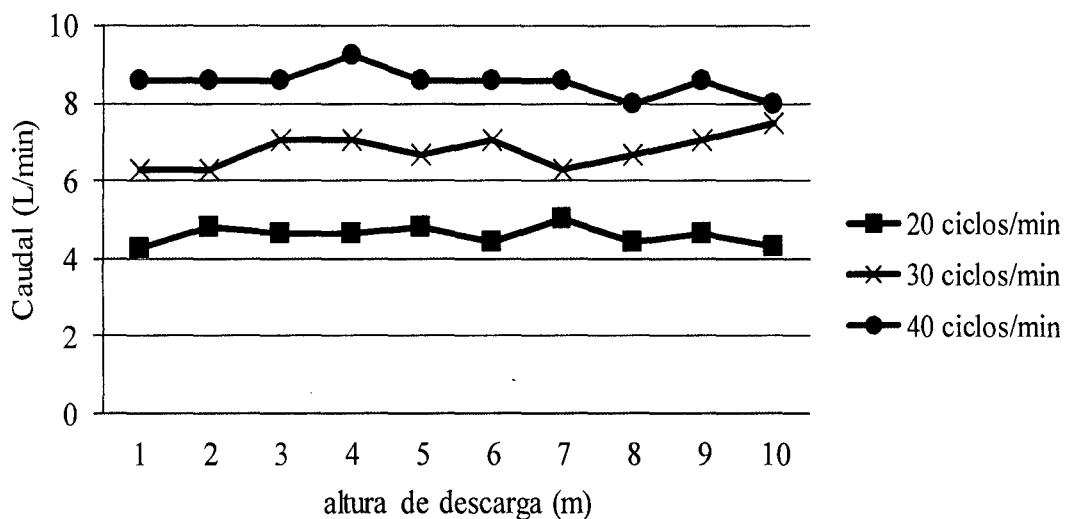


Figura 8. Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 9. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Ciclo/min	77,646	2	38,823	325,519	0,000
Altura descarga	0,001	1	0,001	0,008	0,928
Error	3,101	26	0,119		
Total corregida	80,748	29			

Fuente: Base de datos, Tabla 8.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre altura de descarga y caudal ($p=0,928 > 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,000$ es mayor que 5% se afirma que los ciclos por minuto en estudio no son significativamente diferentes en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable altura de descarga).

Tabla 10. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada y succión de 1m.

Ciclos /min	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
20	$Q = 2,61 \times 10^7 h^3 - 4,00 \times 10^5 h^2 + 1613,142h + 6,779$	0,341
30	$Q = 0,014h^3 - 0,229h^2 + 1,111h + 5,249$	0,692
40	$Q = 0,003h^3 - 0,071h^2 + 0,384h + 8,177$	0,479

Fuente: Anexo 3

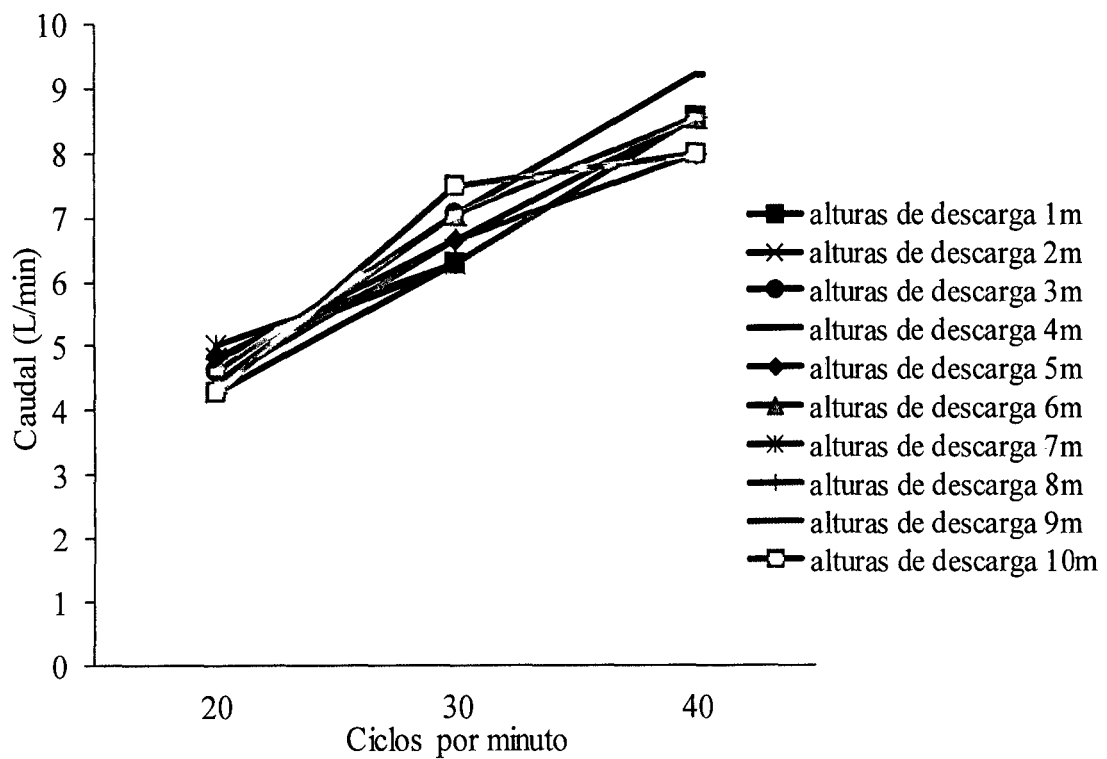


Figura 9. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.

Tabla 11. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Altura descarga	0,859	9	0,095	0,691	0,709
Ciclo/min	77,264	1	77,264	559,286	0,000
Total	1401,976	30			
Total corregida	80,748	29			

Fuente: Base de datos, Tabla 8.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre los ciclos por minuto y caudal ($p=0,000<0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,709$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre las alturas de descarga en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable ciclos por minuto).

Tabla 12. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs ciclos/min a diferentes alturas de descarga con tubería de ½ pulgada, y succión de 1m

Altura de descarga (m)	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
1	$Q = -1,3 \times 10^{-5}c^3 + 0,176c - 0,657$	1,0
2	$Q = -1,63 \times 10^{-5}c^3 + 0,002c^2 + 3718$	1,0
3	$Q = -5,17 \times 10^{-5}c^3 + 0,342c^2 - 1,810$	1,0
4	$Q = -1,5 \times 10^{-5}c^3 + 0,273c - 0,710$	1,0
5	$Q = 2,78 \times 10^{-6}c^3 + 0,181c + 1,163$	1,0
6	$Q = 2,78 \times 10^{-6}c^3 + 0,181c + 1,163$	1,0
7	$Q = 5,39 \times 10^5c^3 + 0,028c + 4,017$	1,0
8	$Q = -4,89 \times 10^5c^3 + 0,315c - 1,467$	1,0
9	$Q = -5,17 \times 10^5c^3 + 0,342c - 1,810$	1,0
10	$Q = 0,0c^3 + 0,342c - 6,647$	1,0

Fuente: Anexo 3

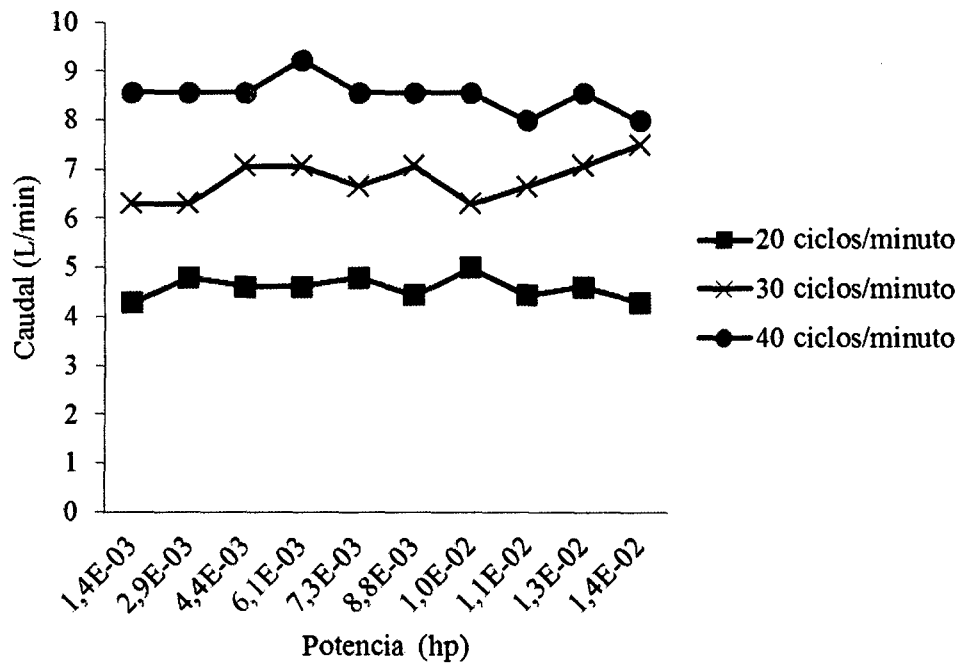


Figura 10. Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 13. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada, y succión de 1m de profundidad.

Ciclos /min	Ecuación que modela su funcionamiento	R2
20	$Q = 493677,520p^3 - 23837,423p^2 + 205,318p + 4,226$	0,228
30	$Q = 2515840,092p^3 - 65106,701p^2 + 508,920p + 5,622$	0,657
40	$Q = 763092,215p^3 - 27919,974p^2 + 262,892p + 8,065$	0,408

Fuente: Anexo 3

Tabla 14. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Ciclo/min	63,837	2	31,918	269,292	0,000
Potencia	0,020	1	0,020	0,170	0,683
Error	3,082	26	0,119		
Total corregida	80,748	29			

Fuente: Base de datos, Tabla 8.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre la potencia y caudal ($p=0,683 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,683$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre los ciclos por minuto en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable potencia).

Tabla 15. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a diferentes alturas de descarga, para una succión de 1m; con tubería de 1" pulgada.

Altura de descarga (m)	Ciclos/min	Presión (psi)	Caudal (L/min)	Potencia (hp)	Fuerza de bombeo (kg)	
					subida	bajada
1	20	6	3,6	$7,9 \times 10^{-04}$	10,8	8,3
	30	7	5,4	$1,2 \times 10^{-03}$		
	40	10	9,6	$2,1 \times 10^{-03}$		
2	20	11	4,8	$2,1 \times 10^{-03}$	11,1	8,5
	30	10	7,8	$3,4 \times 10^{-03}$		
	40	13	9,6	$4,2 \times 10^{-03}$		
3	20	13	4,8	$3,2 \times 10^{-03}$	11,4	8,9
	30	14	6,6	$4,3 \times 10^{-03}$		
	40	15	9,6	$6,3 \times 10^{-03}$		
4	20	15	5,4	$4,7 \times 10^{-03}$	12,3	9,2
	30	15	7,8	$6,8 \times 10^{-03}$		
	40	16	10,8	$9,5 \times 10^{-03}$		
5	20	16	5,4	$5,9 \times 10^{-03}$	13,0	9,7
	30	17	7,8	$8,5 \times 10^{-03}$		
	40	19	9,6	$1,1 \times 10^{-02}$		
6	20	17	4,8	$6,3 \times 10^{-03}$	13,8	10,1
	30	23	7,8	$1,0 \times 10^{-02}$		
	40	26	9,6	$1,3 \times 10^{-02}$		
7	20	26	5,2	$8,0 \times 10^{-03}$	13,9	10,5
	30	26	7,8	$1,2 \times 10^{-02}$		
	40	27	10,8	$1,7 \times 10^{-02}$		
8	20	28	5,4	$9,5 \times 10^{-03}$	14,2	11,0
	30	28	6,6	$1,2 \times 10^{-02}$		
	40	30	8,4	$1,5 \times 10^{-02}$		
9	20	37	5,4	$1,1 \times 10^{-02}$	14,6	11,8
	30	40	7,8	$1,5 \times 10^{-02}$		
	40	43	8,4	$1,7 \times 10^{-02}$		
10	20	46	5,4	$1,2 \times 10^{-02}$	14,8	12,4
	30	50	6,6	$1,4 \times 10^{-02}$		
	40	47	9,6	$2,1 \times 10^{-02}$		

Fuente: Elaboración propia

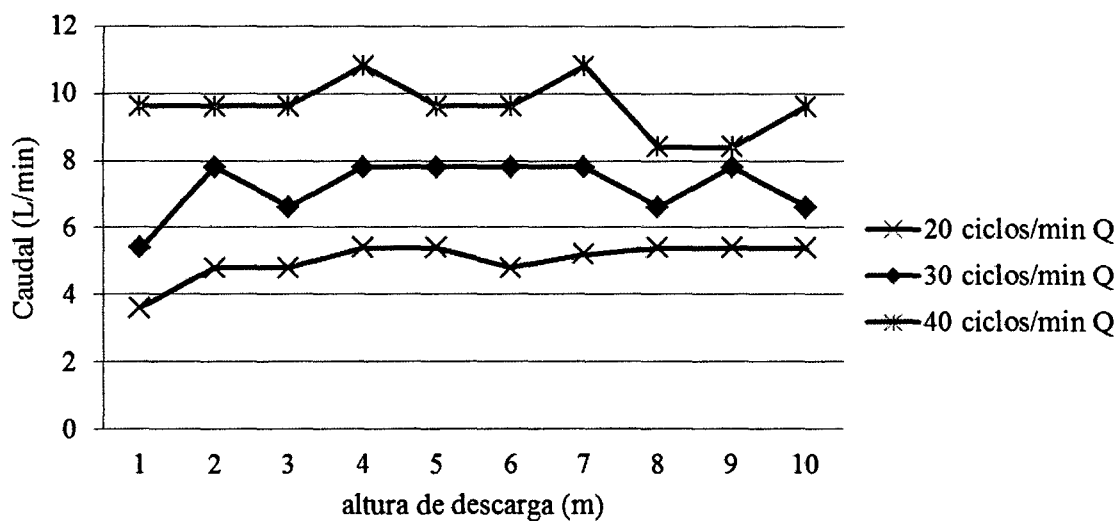


Figura 11. Caudal en función de la altura de descarga a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 16. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Altura descarga	0,349	1	0,349	0,614	0,441
Ciclo/min	104,963	2	52,481	92,156	0,000
Error	14,807	26	0,569		
Total corregida	120,119	29			

Fuente: Base de datos, Tabla 15.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre la altura de descarga y caudal ($p=0,441 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,441$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre los ciclos por minuto en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable altura de descarga).

Tabla 17. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de 1 pulgada y succión de 1m

Ciclos/min	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
20	$Q = 0,012p^3 - 0,223p^2 + 1,366p + 2,587$	0,837
30	$Q = 0,010h^3 - 0,234h^2 + 1,610h + 4,400$	0,531
40	$Q = 0,011h^3 - 0,220h^2 + 1,132h + 8,400$	0,272

Fuente: Anexo 3

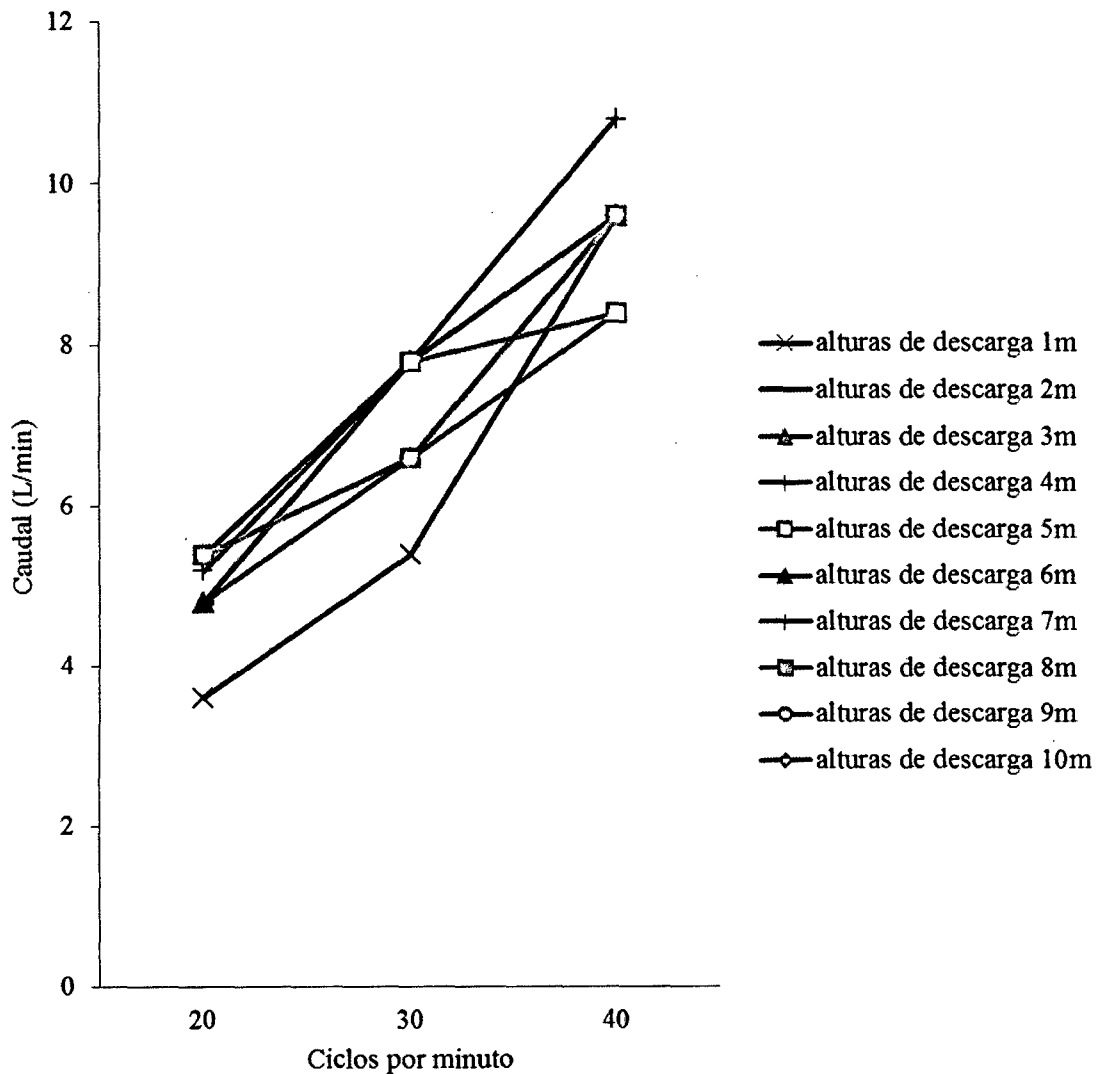


Figura 12. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.

Tabla 18. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Ciclo/min	104,882	1	104,882	264,128	0,000
Altura descarga	7,692	9	0,855	2,152	0,076
Error	7,545	19	0,397		
Total corregida	120,119	29			

Fuente: Base de datos, Tabla 15.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre la altura de descarga y caudal ($p=0,076 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,76$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre las alturas de descarga en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable ciclos por minuto).

Tabla 19. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs ciclos/min a diferentes alturas de descarga con tubería de 1 pulgada, y succión de 1m

Altura de descarga (m)	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
1	$Q = 0,0c^3 - 0,003c^2 + 3,323.$	1,0
2	$Q = -6,67 \times 10^5 c^3 + 0,427c - 3,200.$	1,0
3	$Q = 6,67 \times 10^5 c^3 + 0,053c + 3,200.$	1,0
4	$Q = 0,003c^2 + 0,090c + 2,400$	1,0
5	$Q = -3,33 \times 10^5 c^3 + 0,303c - 0,400$	1,0
6	$Q = -6,67 \times 10^5 c^3 + 0,427c - 3,200$	1,0
7	$Q = 0,002c^3 + 0,160c + 1,200$	1,0
8	$Q = 1,15 \times 10^{-5} c^3 + 0,002c + 4,523$	1,0
9	$Q = -1,0 \times 10^4 c^3 + 0,430c - 2,400$	1,0
10	$Q = 1,0 \times 10^{-4} c^3 - 0,070c + 6,000$	1,0

Fuente: Anexo 3

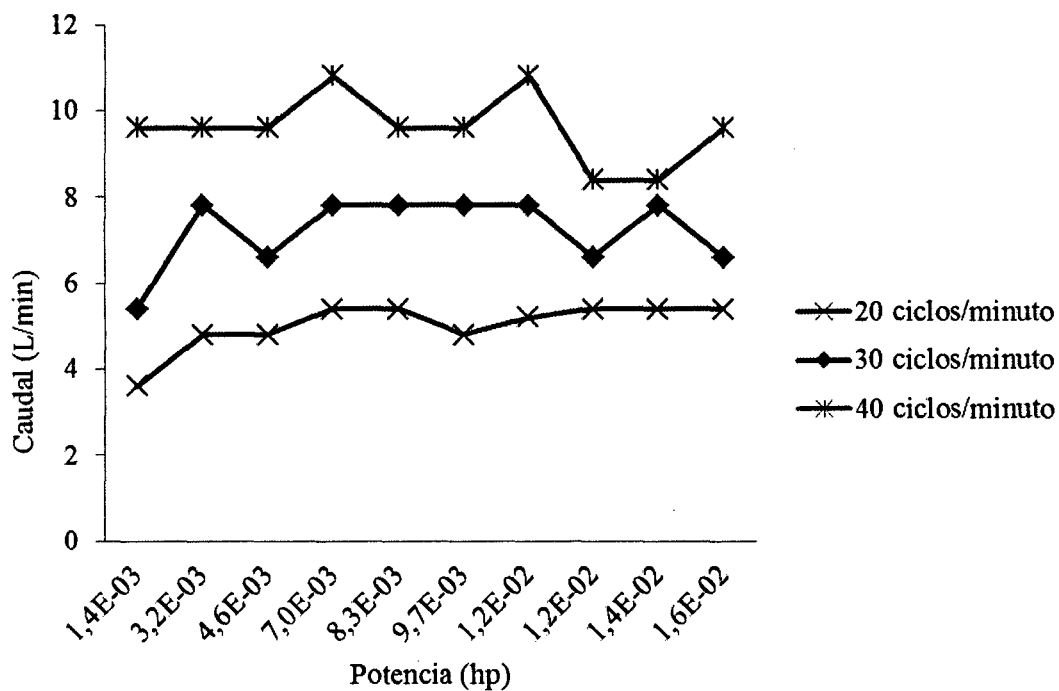


Figura 13. Caudal en función de potencia, a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 20. Resultados del análisis del ANCOVA (análisis de covarianza). Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Potencia	0,681	1	0,681	1,223	0,279
Ciclo/min	81,312	2	40,656	73,025	0,000
Error	14,475	26	0,557		
Total corregida	120,119	29			

Fuente: Base de datos, Tabla 15.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre potencia y caudal ($p=0,279 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,279$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre ciclos por minuto en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable potencia).

Tabla 21. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de 1 pulgada, y succión de 1m de profundidad.

Ciclos/min	Ecuación que modela su funcionamiento	R2
20	$Q = 493677,520p^3 - 23837,423p^2 + 205,318p + 4,226$	0,846
30	$Q = 4775787,4p^3 - 144181,3p^2 + 1300,5p + 4,121$	0,583
40	$Q = 1274918,4p^3 - 45800,6p^2 + 445,5p + 8,673$	0,103

Fuente: Anexo 3

3.3. Determinación de la altura de descarga con succión de 5

La altura máxima de descarga fue de 5 m. Para alturas mayores, la bomba no pudo elevar el agua debido al máximo vacío que debía generar (-9 psi) en la succión, lo cual ya no le permitía producir la presión necesaria para elevar el agua.

Tabla 22. Datos experimentales de la evaluación de la bomba manual a diferentes alturas de descarga, para una succión de 5 m, con tubería de ½ pulgada.

Altura de descarga (m)	Ciclos/min	Presión (psi)	Q (L/min)	Pot(hp)
1	20	-9 a +9	2,4	$5,3 \times 10^{-04}$
	30	-9 a +12	3,08	$6,7 \times 10^{-04}$
	40	-9 a +15	3,33	$7,3 \times 10^{-04}$
2	20	-9 a +30	2,35	$1,0 \times 10^{-03}$
	30	-9 a +32	3,0	$1,3 \times 10^{-03}$
	40	-9 a +35	3,16	$1,4 \times 10^{-03}$
3	20	-9 a +33	2,35	$1,5 \times 10^{-03}$
	30	-9 a +37	3,16	$2,1 \times 10^{-03}$
	40	-9 a +38	3,53	$2,3 \times 10^{-03}$
4	20	-9 a +39	2,4	$2,1 \times 10^{-03}$
	30	-9 a + 40	3,08	$2,7 \times 10^{-03}$
	40	-9 a + 41	3,43	$3,0 \times 10^{-03}$
5	20	-9 a + 42	2,31	$2,5 \times 10^{-03}$
	30	-9 a + 44	3,24	$3,5 \times 10^{-03}$
	40	-9 a + 49	3,64	$4,0 \times 10^{-03}$

Fuente: Elaboración propia

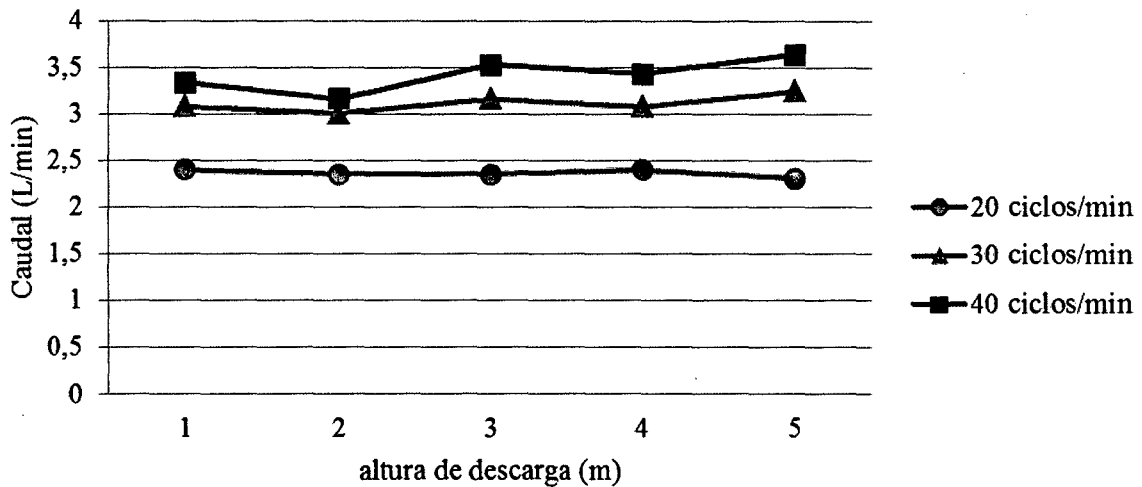


Figura 14. Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 23. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de la altura de descarga, a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	2,997(a)	3	0,999	84,150	0,000
Intersección	22,121	1	22,121	1863,384	0,000
Ciclo/min	2,952	2	1,476	124,336	0,000
Altura descarga	0,045	1	0,045	3,778	0,078
Error	0,131	11	0,012		
Total	134,907	15			
Total corregida	3,128	14			

Fuente: Base de datos, Tabla 22.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre la altura de descarga y caudal ($p=0,078 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,078$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre ciclos por minuto en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable altura de descarga).

Tabla 24. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada y succión de 5m

Ciclos/min	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
20	$Q = -0,016h^3 + 0,140h^2 - 0,374h + 2,652$	0,912
30	$Q = -9,93 \times 10^{-1} h^3 + 0,017h^2 - 0,063h + 3,112$	0,604
40	$Q = -0,019h^3 + 0,193h^2 - 0,488h + 3,618$	0,664

Fuente: Anexo 3

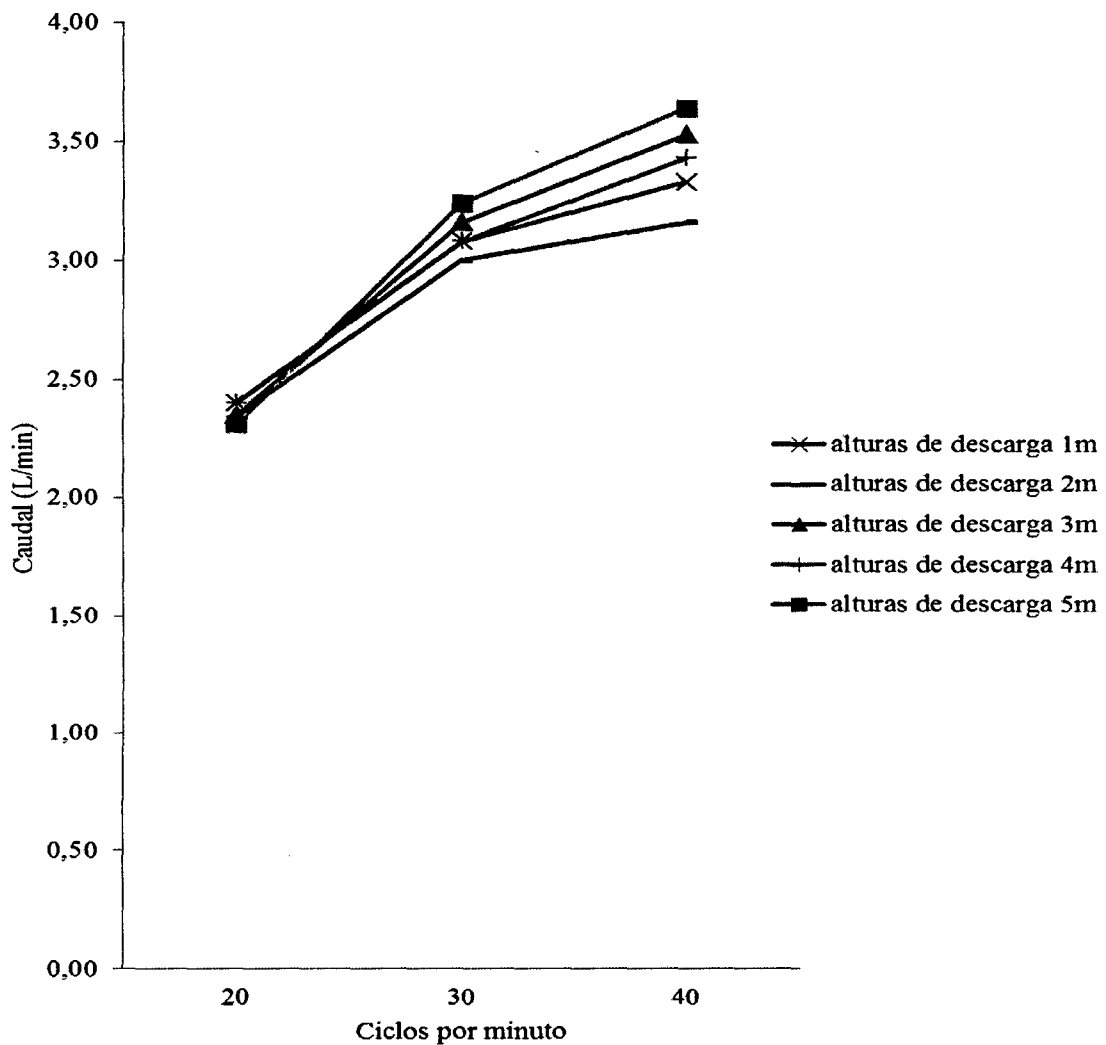


Figura 15. Caudal en función de ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.

Tabla 25. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función a los ciclos por minuto, a diferentes alturas de descarga.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Altura descarga	0,088	4	0,022	0,785	0,563
Ciclo/min	2,788	1	2,788	99,634	0,000
Error	0,252	9	0,028		
Total corregida	3,128	14			

Fuente: Base de datos, Tabla 22.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre la altura de descarga y caudal ($p=0,000 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,563$ es mayor que 5% se afirma que no hay diferencia significativa entre altura de descarga en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable ciclos por minuto).

Tabla 26. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs ciclos/min a diferentes alturas de descarga con tubería de ½ pulgada, y succión de 5 m

Altura de descarga	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
1	$Q = -2,39 \times 10^5 c^3 + 0,113c + 0,323.$	1,0
2	$Q = -2,72 \times 10^5 c^3 + 0,117c + 0,233$	1,0
3	$Q = -2,44 \times 10^{-05} c^3 + 0,127c - 0,003$	1,0
4	$Q = -1,83 \times 10^{-05} c^3 + 0,103c + 0,490$	1,0
5	$Q = -2,94 \times 10^{-05} c^3 + 0,149c - 0,433$	1,0

Fuente: Anexo 3

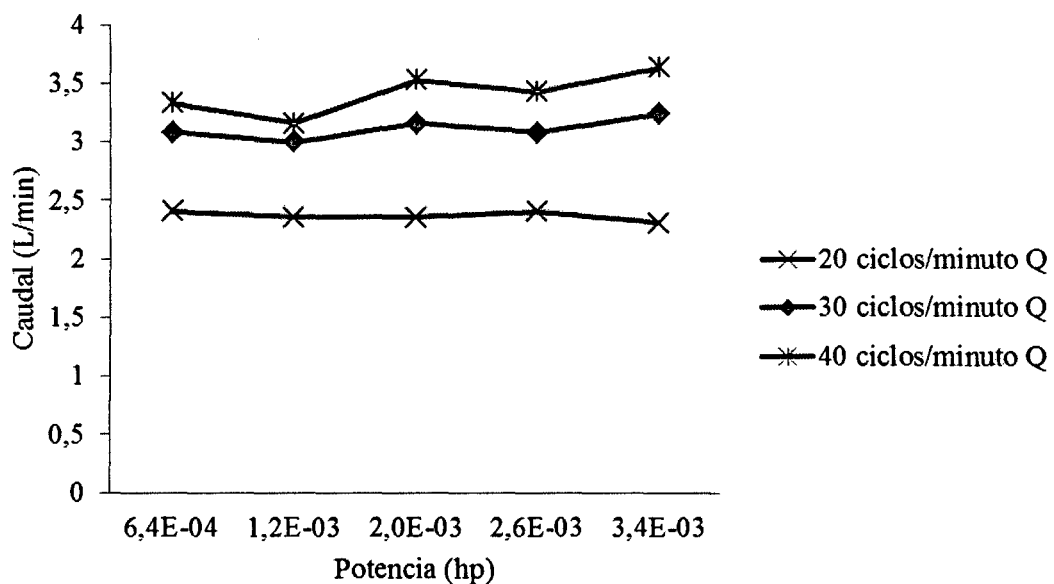


Figura 16. Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.

Tabla 27. Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA). Caudal en función de la potencia, a diferentes ciclos por minuto.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	3,021(a)	3	1,007	104,255	0,000
Intersección	23,794	1	23,794	2463,140	0,000
Ciclo/min	2,430	2	1,215	125,759	0,000
Potencia	0,069	1	0,069	7,162	0,022
Error	0,106	11	0,010		
Total	134,907	15			
Total corregida	3,128	14			

Fuente: Base de datos, Tabla 22.

Las evidencias muestrales indican que existe relación lineal entre la potencia y caudal ($p=0,022 < 0,05$), se justifica entonces el ANCOVA.

Dado que $p=0,022$ es menor que 5% se afirma que los ciclos por minuto en estudio son significativamente diferentes en cuanto al caudal promedio (después de ajustar los datos con la covariable potencia).

Tabla 28. Ecuaciones que modelan el funcionamiento para caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada, y succión de 5 m de profundidad.

Ciclos/min	Ecuación que modela su funcionamiento	R ²
20	$Q = -128199725,4p^3 + 580152,724p^2 - 790,737p + 2,677$	0,894
30	$Q = -4871495,698p^3 + 62228,651p^2 - 130,079p + 3,126$	0,639
40	$Q = -405079,7p^3 + 311323,4p^2 - 585,606p + 3,576$	0,704

Fuente: Anexo 3

3.4. Tiempo para bombear 150 L con 1 m de succión y 10 m de descarga

Tabla 29. Potencia nominal de un usuario en el empleo de la bomba volumétrica manual de 0,2 L con 1 m de succión y 10 m de descarga, con tubería de ½ pulgada.

Sexo	Edad (años)	Talla (m)	Peso (kg)	Fuerza máxima (kg)	Tiempo para bombear 150 L	Potencia útil (hp)
Femenino	22	1,56	60	12	60	$5,5 \times 10^{-03}$
	25	1,63	59	14	72	$4,6 \times 10^{-03}$
Masculino	29	1,78	76	21	30	$1,1 \times 10^{-02}$
	23	1,65	58	23	25	$1,3 \times 10^{-02}$

Fuente: Elaboración propia

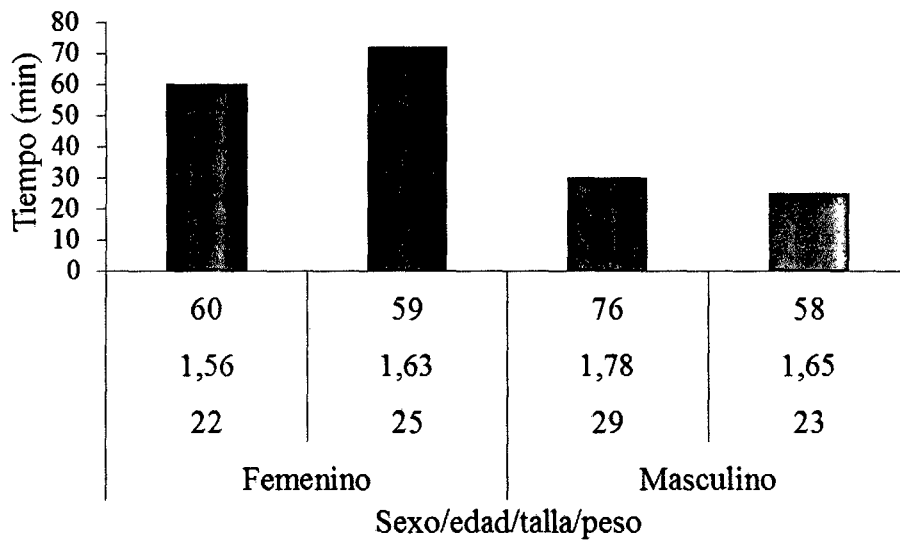


Figura 17. Tiempo para bombear 150 L, con tubería de ½ pulgada.

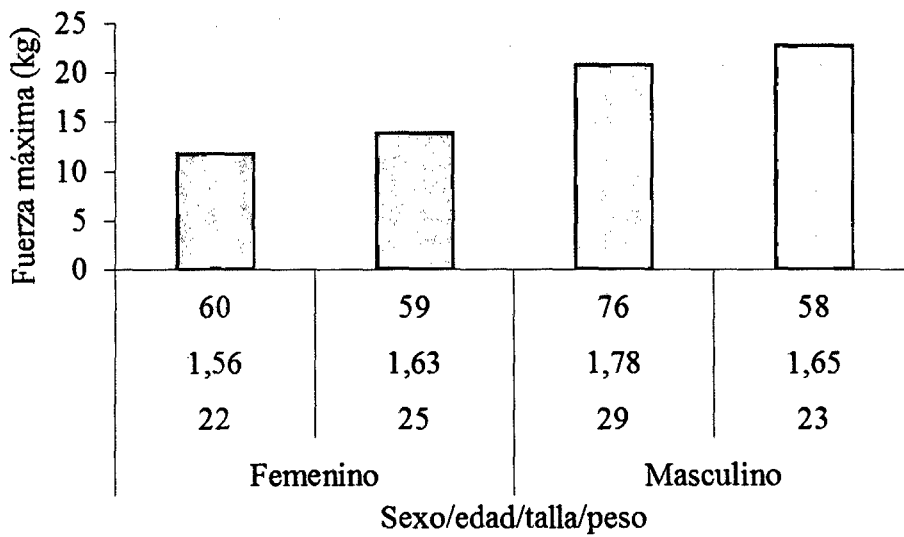


Figura 18. Fuerza máxima (kg) para bombeo con tubería de ½ pulgada.

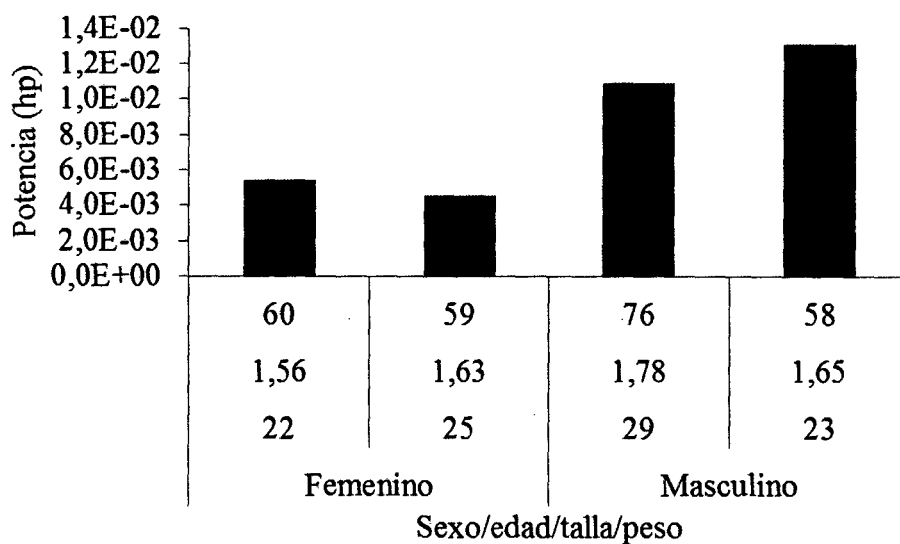


Figura 19. Potencia útil (hp), con tubería de ½ pulgada.

Tabla 30. Potencia nominal de un usuario en el empleo de la bomba volumétrica manual de 0,2 L con 1 m de succión y 10 m de descarga, con tubería de 1 pulgada.

Sexo	Edad (años)	Talla (m)	Peso (kg)	Fuerza máxima (kg)	Tiempo para bombear 150 L	Potencia útil (hp)
Femenino	24	1,60	62	14	84	$3,9 \times 10^{-03}$
	19	1,55	54	13	96	$3,4 \times 10^{-03}$
Masculino	18	1,75	68	24	36	$9,1 \times 10^{-03}$
	23	1,58	55	19	45	$7,3 \times 10^{-03}$

Fuente: Elaboración propia.

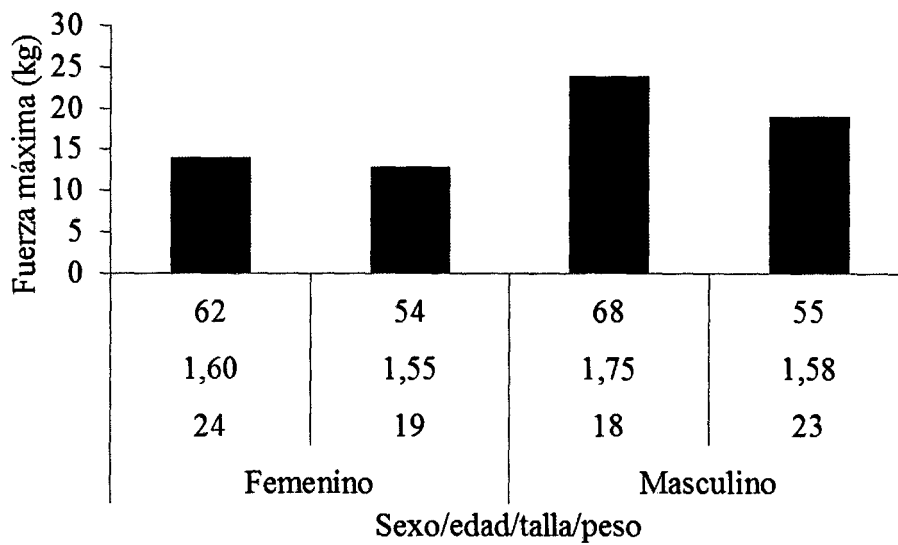


Figura 20. Fuerza máxima (kg) para bombeo con tubería de 1 pulgada.

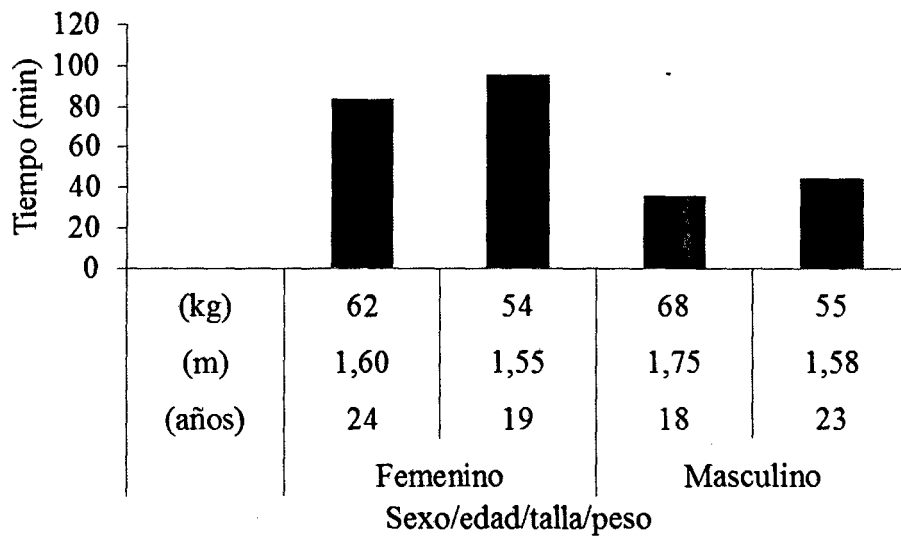


Figura 21. Tiempo para bombear 150 L, con tubería de 1 pulgada.

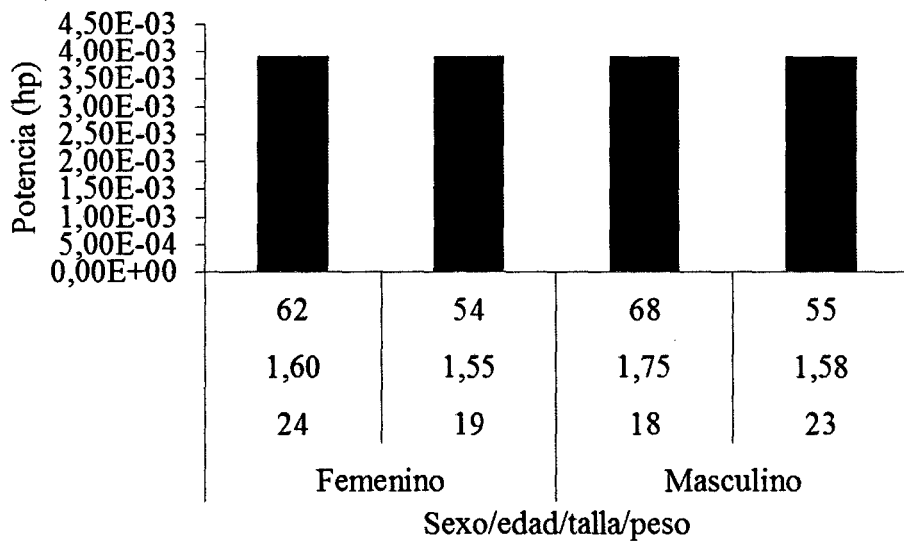


Figura 22. Potencia útil (hp), con tubería de 1 pulgada.

IV. DISCUSIÓN

Se ha diseñado, construido y evaluado una bomba volumétrica manual de 200 mL, aplicando el concepto VLOM (Village Level Operation and Maintenance: Mantenimiento y operación en el lugar de uso), por lo que todos los accesorios de esta bomba se pueden conseguir en cualquier ferretería local y los demás componentes se pueden hacer en un taller implementado con torno y máquina de soldadura eléctrica; el costo de esta bomba ascendió a S/. 550,00. Para su ensamble y mantenimiento se requiere herramientas comunes de un taller, las que también puede adquirir el usuario por su bajo costo.

La evaluación de esta bomba se ha realizado en tres etapas. En la primera etapa se determinó la profundidad de succión hasta la que puede operar, con descarga de 1m de altura, encontrándose que puede succionar hasta una profundidad de 5 m con el vacío máximo que genera de -9 psi (Tabla 1), medido con el manómetro instalado a la altura de la base de la bomba. A mayor profundidad, el pistón no puede generar el vacío requerido al ascender por el cilindro o cuerpo de la bomba, en consecuencia ya no puede succionar el agua. Para hacer que la bomba volumétrica succione a mayor profundidad, se debe incrementar la longitud de su cilindro para generar mayor vacío.

En la segunda etapa de evaluación se determinó la altura máxima de bombeo del agua con 1m de profundidad de succión, empleando tubería de succión y descarga de ½" y luego de 1". Para ambos casos se pudo bombear el agua hasta 10 m de altura, no se evaluó a mayores alturas por no contar con la infraestructura necesaria. En la Tabla 5 se aprecia que con tubería de ½", a 40 ciclos/min se ejerció una presión de 88 psi para elevar el agua a 10 m de altura con un caudal de 8 L/min, lo que demandaba que el operador ejerza una fuerza de 13,9 kg para subir el pistón (succión) y de 13,2 kg para bajar el pistón (bombeo). Mientras que en la Tabla 9 se observa que con tubería de 1", a igual frecuencia de bombeo se ejerció una presión de 47 psi (53% de la presión con tubería de ½") para elevar el agua a 10 m de altura con un caudal de 9,6 L/min (20% más que con tubería de ½"), lo que demandaba que el operador ejerza una fuerza de 14,8 kg para subir el pistón (succión) (6,5% más que con tubería de ½") y de 12,4 kg para bajar el pistón (bombeo) (6,1% menos que con tubería de ½"). Entonces, al incrementar el diámetro de la tubería en 100% se reduce la presión de bombeo en 50%,

el caudal bombeado aumenta en 20%, pero el operador deberá ejercer más fuerza (6%) para la succión por haber más agua en el tubo (doble del diámetro); sin embargo, para el bombeo ejercerá menos fuerza (6%) debido al mayor diámetro de la tubería de descarga (doble del diámetro).

En la tercera etapa de evaluación, para una profundidad de succión de 5 m, se determinó la altura máxima de descarga, empleando tubería de succión y descarga de ½". En la primera etapa de evaluación de la bomba se encontró que el máximo vacío que generó fue de -9 psi (Tabla 1), lo que se ratificó en esta tercera etapa (Tabla 13), estableciéndose 5 m como altura máxima de descarga y presión de bombeo de 49 psi, operando con una frecuencia de 40 ciclos/min para bombear 3, 64 L/min, caudal 50% menor que el bombeado a 10 m de altura con una profundidad de succión de 1 m.

El operador de la bomba volumétrica manual de 200 mL mantenía el ritmo de ciclos/minuto viendo las manecillas del segundero de un reloj de pared. La operación de la bomba a una frecuencia de 20 ciclos por minuto produjo un caudal prácticamente constante, durante la determinación de la profundidad de succión, altura de descarga con tuberías de ½" y de 1"; asimismo, para la altura de descarga con 5 m de succión. Con las frecuencias de 30 y 40 ciclos/ minuto, el caudal elevado tuvo variaciones alrededor de 1L/ minuto. Esto mismo se vio reflejado en las gráficas correspondientes a caudal vs potencia para cada una de las frecuencias de bombeo evaluadas. Las variaciones en el caudal se deben a las variaciones en el ritmo de operación, puesto que para la frecuencia de 20 ciclos/minuto el operador debería hacer un ciclo en 3 segundos, guiándose del segundero del reloj. La frecuencia de 30 ciclos/min implicaba hacer un ciclo en 2 segundos y para la frecuencia de 40 ciclos/min, cada ciclo debería hacerse en 1,5 segundos. Esto obligaba al operador a mantener la concentración para ejecutar exactamente cada ritmo de operación. El corto tiempo de ejecución de cada ciclo, sobre todo para la frecuencia de 40 ciclos/min y el mayor esfuerzo a mayor altura de descarga, ocasionaba que el operador no mantenga el ritmo establecido por algunos instantes, debido a ello se aprecia diferencias en el caudal bombeado.

Para cada una de las etapas de evaluación mencionadas, se pudo apreciar que a mayor número de ciclos de bombeo por minuto, el caudal elevado se incrementa. A 30 ciclos/min se incrementó en 50% con respecto a 20 ciclos/ minuto; a 40 ciclos/min hay

un incremento de 33,3% con respecto al caudal bombeado a 30 ciclos/min y de 100% con respecto a 20 ciclos/min. Esto se debe a que al ser una bomba volumétrica, el volumen de agua (200 mL) que succiona con toda la carrera ascendente del pistón dentro del cilindro de la bomba, será bombeado al bajar completamente el pistón (carrera descendente).

De la Tabla 1 se puede apreciar que la potencia para el bombeo a cualquier profundidad de succión es igual a la potencia requerida para un metro de succión multiplicada por la profundidad de succión correspondiente ($Pot_i = Pot_1 * h_i$) de las Tablas 5, 9 y 13 se puede establecer una relación similar para la potencia en función a la altura de descarga.

Las ecuaciones que modelan el funcionamiento de la bomba volumétrica manual de 200 mL, en cualquiera de las condiciones evaluadas, fueron del tipo cúbicas. Similar comportamiento han obtenido Barrena *et.al.* (2012), al realizar la evaluación de tres tipos de bombas de ariete hidráulico en condiciones de laboratorio y de campo.

En las evaluaciones ergonómicas realizadas, se pudo apreciar de manera general que los hombres pueden operar la bomba volumétrica manual para bombear 150 L de agua con 1 m de profundidad de succión y 10 m de altura de descarga, en un tiempo promedio 50% menor al empleado por las mujeres.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha diseñado, construido y evaluado una bomba volumétrica manual de 200 mL cuyo mantenimiento lo puede hacer el usuario en el lugar donde esté instalada. Su costo fue de S/. 550,00.
2. Para hacer que la bomba volumétrica succione a mayor profundidad, se debe incrementar la longitud de su cilindro para generar mayor vacío.
3. Al incrementar el diámetro de la tubería en 100% se reduce la presión de bombeo en 50%, el caudal bombeado aumenta en 20%, pero el operador deberá ejercer más fuerza (6%) para la succión; para el bombeo ejercerá menos fuerza (6%).
4. La bomba volumétrica manual de 200 mL genera un vacío máximo de -9 psi, con lo cual puede succionar agua desde una profundidad de 5 m y elevarla a 5 m como máximo con una presión de bombeo de 49 psi, operando con una frecuencia de 40 ciclos/min para bombear 3, 64 L/min.
5. Con tubería de ½", a 40 ciclos/min se ejerció una presión de 88 psi para elevar el agua a 10 m de altura con un caudal de 8 L/min, lo que demandaba que el operador ejerza una fuerza de 13,9 kg para la succión y de 13,2 kg para el bombeo.
6. Con tubería de 1", a igual frecuencia de bombeo se ejerció una presión de 47 psi (53% de la presión con tubería de ½") para elevar el agua a 10 m de altura con un caudal de 9,6 L/min (20% más que con tubería de ½").
7. Todas las ecuaciones que modelan el funcionamiento de la bomba volumétrica manual de 200 mL son de tipo cúbicas y se podrán emplear para simulación de la operación de este tipo de bomba y determinar los caudales mínimos y máximos que podrá elevar, en función a la altura de descarga, ciclos de bombeo por minuto y profundidad de succión.
8. En general, los hombres pueden operar la bomba volumétrica manual para bombear 150 L de agua con 1 m de profundidad de succión y 10 m de altura de descarga, en un tiempo promedio 50% menor al empleado por las mujeres.

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar la capacidad de la bomba volumétrica manual en condiciones de campo, para satisfacer las necesidades de agua de una familia.
2. Construir el cilindro de la bomba volumétrica de 40 cm de largo x 2" de diámetro, para que pueda succionar a mayores profundidades.
3. Construir de acero inoxidable el cuerpo de la bomba volumétrica, con el interior pulido, para una mayor vida útil del equipo.
4. La palanca de la bomba debe ser maciza para que soporte la tensión que le aplique el operador.
5. Difundir las bondades de la bomba volumétrica para masificar su uso en el área rural.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arroyo Fdez-Rañada, J. 2006. Diseño de un banco de ensayos de bombas manuales. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III. Madrid.
- Ball, Colin and Ball, Mog. 1991. Water Supplies for Rural Communities. Londres: ITP Publications.
- Banco Mundial. 1993. Water Resources Management: A World Bank Policy Paper. Washington: Banco Mundial.
- Bellido, A. 2004. Fabricación e instalación de bombas manuales. Módulo de capacitación. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima.
- Barrena G., M.A., O. Gamarra T., L. Taramona R. y H. Ventura R. 2011. Determinación de la eficiencia de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de 2 pulgadas. Ciencia, Tecnología y Humanidades 2(1): 61-70, 2011. Revista de Investigación Científica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- CSD. 1997. Overall Progress Achieved Since the United Nations Conference on Environment and Development. Report of the Secretary-General. Addendum – Protection of the Quality and Supply of Freshwater Resources: Application of Integrated Approaches to the Development, Management and Use of Water Resources. United Nations Economic and Social Council.
- López Cerezo, J.A. y P. Valenti. 1995. Educación tecnológica en el Siglo XXI. *Polivalencia N° 8*, Revista de la Fundación Politécnica/Universidad Politécnica de Valencia. www.oei.es/salactsi/edutec.htm. Accesado el 29 de abril de 2012.
- Mancebo, J.A. y A. Jiménez. 2010. Tecnologías apropiadas para cumplir el derecho humano al agua. Las bombas manuales. *Tiempo de paz* (98). pp. 92-96. ISSN 0212-

8926. *oa.upm.es/8726/1/INVE_MEM_2010_86082.pdf*. Accesado el 29 de abril de 2012.

- Pacey, A. 1983. La cultura de la tecnología. Fondo de Cultura Económica. México.
- Sharp, D. y M. Graham. 1984. Tecnología de bombas manuales. Investigación y evaluación en Asia. idrc.ca/library/document/056646/index_s.html. Accesado el 29 de abril de 2012.
- Smith, D.W., B.G. Sims y D.H. O'Neil. 1994. Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 110. Roma.
- Tomillo G., U. 2005. Estudio acerca del empleo de la bomba manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III. Madrid.
- WHO and UNICEF. 2000. Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. Geneva and New York, World Health Organization and United Nations Children's Fund.

ANEXOS

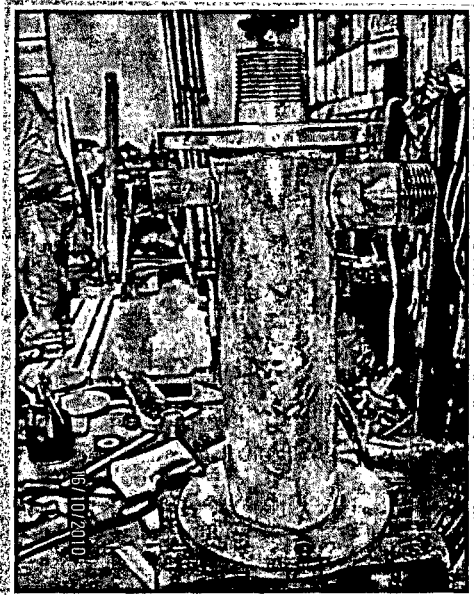
Tabla 31. Posibles problemas y sus soluciones en la operación de una bomba volumétrica manual.

Problema	Causa probable	Solución
La palanca acciona, pero no sale agua	Pozo seco	Rehabilitar el pozo
	El agua está bajo el nivel de bombeo	Profundizar la bomba
	Empaques gastados	Cambio de empaques
	Asientos de válvulas desgastados o rotos	Cambio de asiento, rectificación
	Rotura de pistón	Cambio de tubo roto
La bomba funciona, pero eleva poca agua	Empaques defectuosos o desgastados	Cambio de empaques
	El pozo no rinde la suficiente cantidad de agua	Disminuir demanda, nuevas fuentes
	Cilindro rajado	Renovar parte dañada del cilindro
	Fuga en el pistón	Renovar el pistón
	Tuberías de succión pequeñas	Verificar y poner la adecuada
	Válvula obstruida	Cambio de válvulas
La bomba requiere de muchas brazadas para elevar agua	Válvula de succión defectuosa	Revisar empaque de caucho
	Pozo con nivel de agua muy pobre	Revisar el nivel estático del pozo
La palanca se endurece	Tubería de succión taponada	Limpieza de tubería de succión
	Válvula check no se abre	Limpieza, rectificación del asiento
	Tubería de succión muy pequeña	Verificar, cambiar de tubería

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 1

Secuencia fotográfica del ensamble de la bomba volumétrica manual de 200 mL



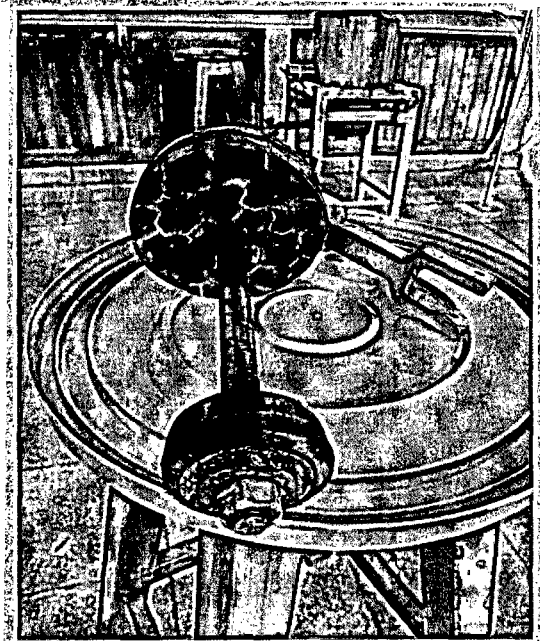
Fotografía 6: Cuerpo de la bomba.



Fotografía 7: Montaje de la bomba.



Fotografía 8: Instalación de accesorios.



Fotografía 9: Pistón y eje.



Fotografía 10. Bomba completa.



Fotografía 11. Pruebas preliminares de la bomba volumétrica manual,



Fotografía 12. Medición del volumen de un ciclo de bombeo: 200 mL.

ANEXO 2

Evaluación de la bomba volumétrica manual de 200 mL



Fotografía 13. Medición de volumen bombeado a 1 m de altura.



Fotografía 14. Medición de volumen bombeado a 10 m de altura.



Fotografía 15. Medición del esfuerzo con el dinamómetro digital.

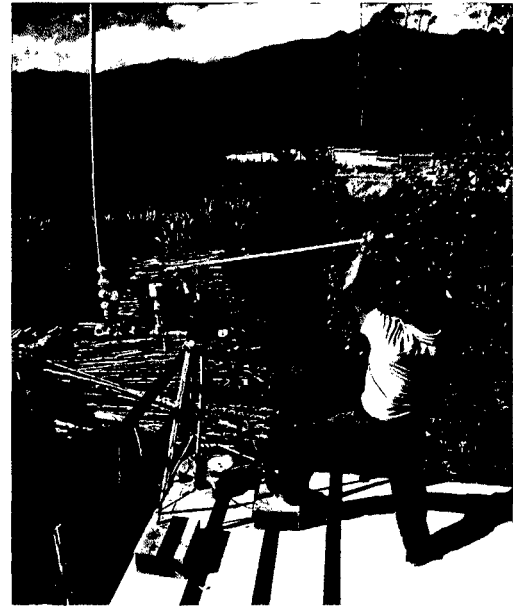


Fotografía 16. Succión a 5 m de Profundidad.

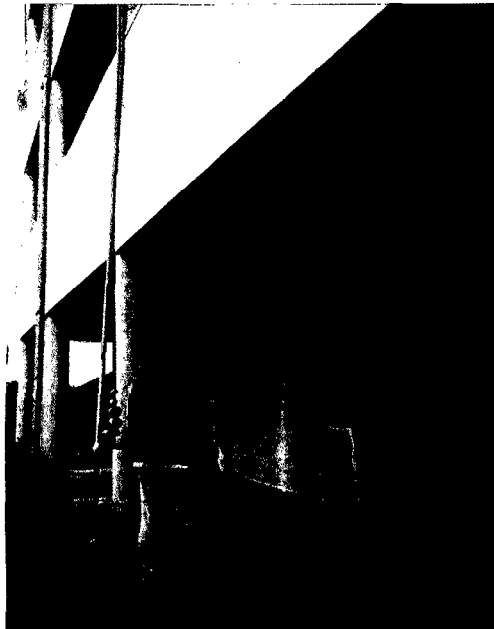


Fotografía 17. Succión a 5 m de profundidad

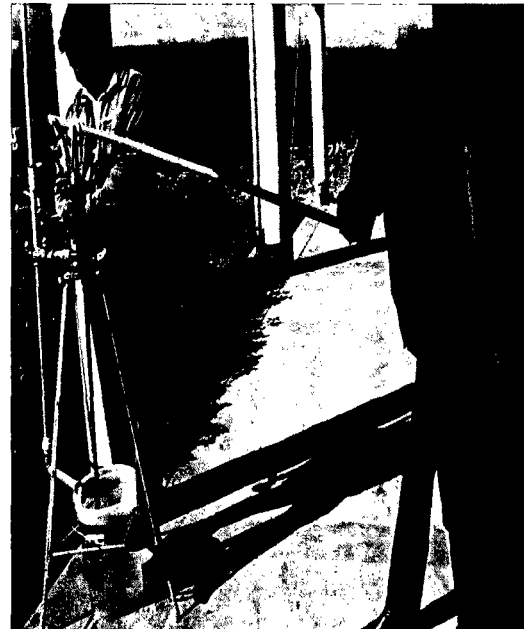
Fotografía 18. Operación de la bomba
y descarga a 5 metros de altura.



a 5 m de profundidad de succión



Fotografía 19. Evaluación
ergonómica en hombres



Fotografía 20. Evaluación
ergonómica en mujeres



Fotografía 21. Evaluación del esfuerzo del operador

ANEXO 3

ECUACIONES QUE MODELAN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA VOLUMÉTRICA MANUAL DE 0,2 LITROS

Se realizó el análisis de los datos experimentales con el software SPSS, encontrándose que todos los conjuntos de datos se ajustan a una ecuación cúbica.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs profundidad de succión a diferentes ciclos/min, con tubería de ½ pulgada

Tabla 32. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs profundidad de succión a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,675	0,456	-1,175	0,116

La variable independiente es profundidad.

Tabla 33. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs profundidad de succión a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,011	3	0,004	0,280	0,845
Residual	0,013	1	0,013		
Total	0,025	4			

La variable independiente es Profundidad.

Tabla 34. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs profundidad de succión a 20 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Profundidad	-0,334	0,746	-6,709	-0,447	0,732
Profundidad ** 2	0,114	0,277	14,013	0,412	0,751
Profundidad ** 3	-0,013	0,031	-8,104	-0,409	0,753
(Constante)	4,536	0,570		7,953	0,080

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs la profundidad de succión (s), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = -0,013s^3 + 0,114s^2 - 0,334s + 4,536$$

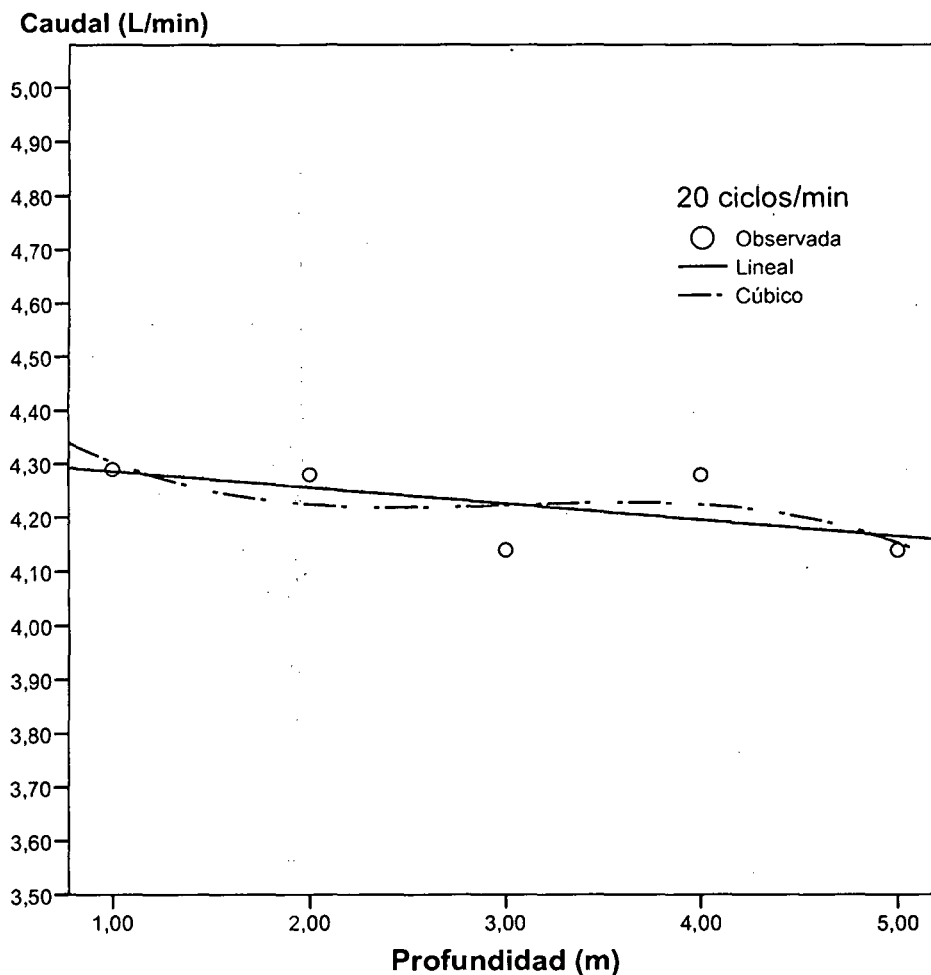


Figura 23. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs profundidad de succión a 20 ciclos por minuto.

Tabla 35. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs profundidad de succión a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,776	0,603	-0,589	0,347

La variable independiente es Profundidad.

Tabla 36. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs profundidad de succión a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,182	3	0,061	0,506	0,746
Residual	0,120	1	0,120		
Total	0,302	4			

La variable independiente es Profundidad.

Tabla 37. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs profundidad de succión a 30 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Profundidad	-0,171	2,229	-0,983	-0,077	0,951
Profundidad ** 2	0,161	0,827	5,652	0,194	0,878
Profundidad ** 3	-0,028	0,091	-5,252	-0,310	0,809
(Constante)	6,420	1,705		3,765	0,165

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs la profundidad de succión (s), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = -0,028s^3 + 0,161s^2 - 0,171s + 6,420$$

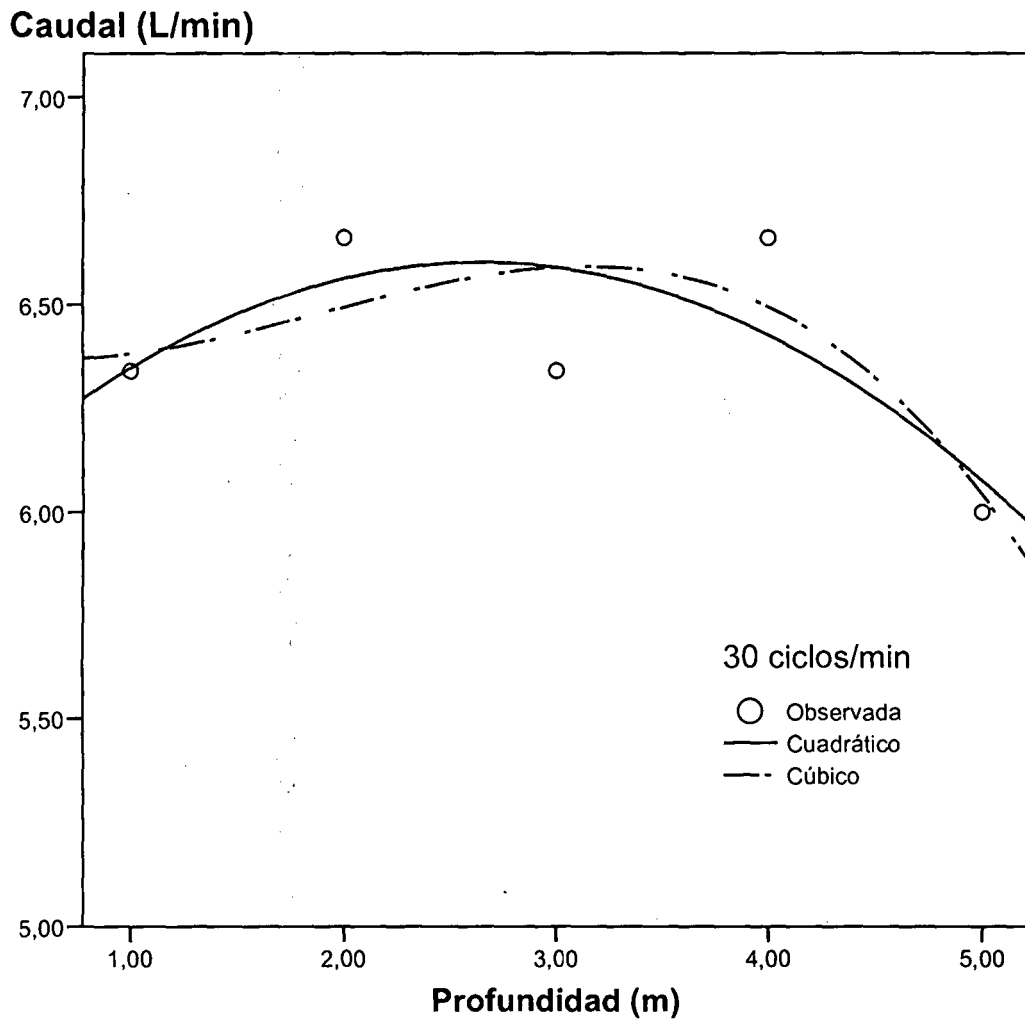


Figura 24. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cubica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs profundidad de succión a 30 ciclos/minuto.

Tabla 38. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs profundidad de succión a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	0,999	0,998	0,025

La variable independiente es Profundidad.

Tabla 39. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs profundidad de succión a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,145	3	0,382	605,952	0,030
Residual	0,001	1	0,001		
Total	1,146	4			

La variable independiente es Profundidad.

Tabla 40. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs profundidad de succión a 40 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.
	B	Error típico	Beta	t	
Profundidad	1,753	0,161	5,180	10,863	0,058
Profundidad ** 2	-0,798	0,060	-14,408	-13,312	0,048
Profundidad ** 3	0,089	0,007	8,491	13,481	0,047
(Constante)	7,528	0,123		60,968	0,010

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs la profundidad de succión (s), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 40 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = 0,089s^3 - 0,798s^2 + 1,753s + 7,528$$

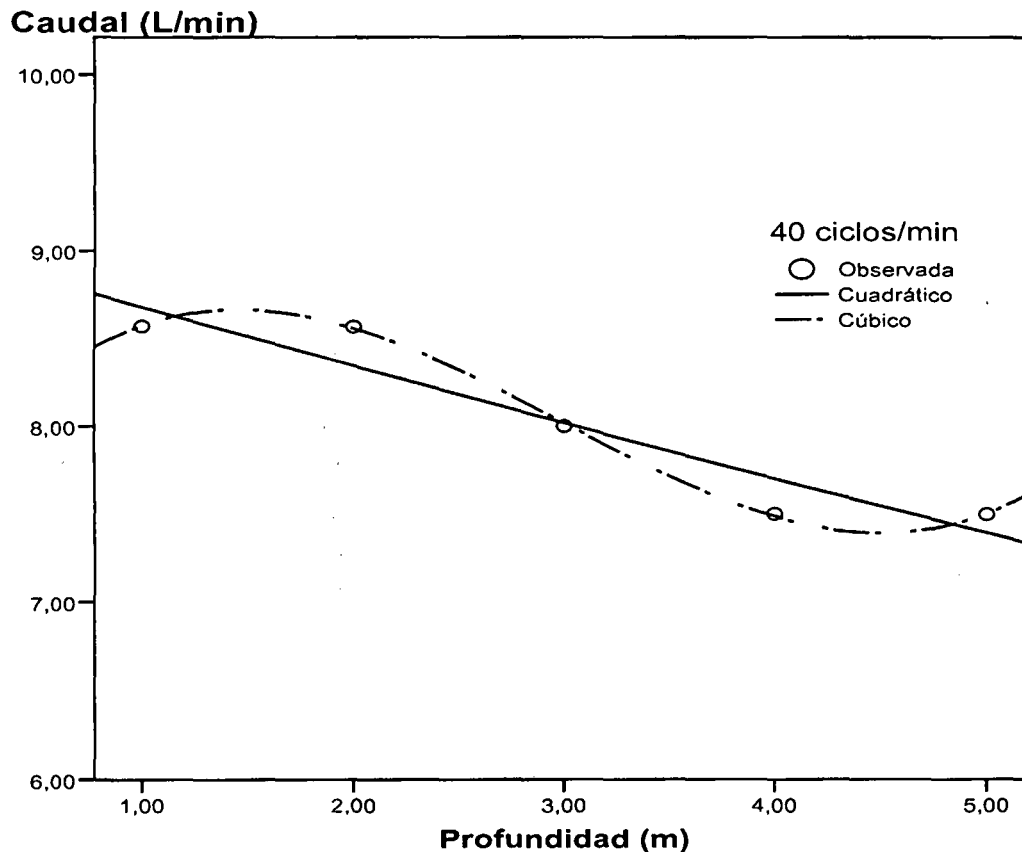


Figura 25. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cubica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs profundidad de succión a 40 ciclos/minuto.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs ciclos/min a diferentes profundidades de succión, con tubería de ½ pulgada.

Tabla 41. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 1m.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es ciclos/ min

Tabla 42. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 1m.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	9,165	2	4,582	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	9,165	2	.	.	.

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 42. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 1m.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/ min	0,160	0,000	0,747	.	.
Ciclos/min ** 2	0,001	0,000	0,253	.	.
(Constante)	0,730	0,000	.	.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclo/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual con profundidad de 1 m de succión, será de la forma:

$$Q = 0,001c^2 + 0,160c + 0,730$$

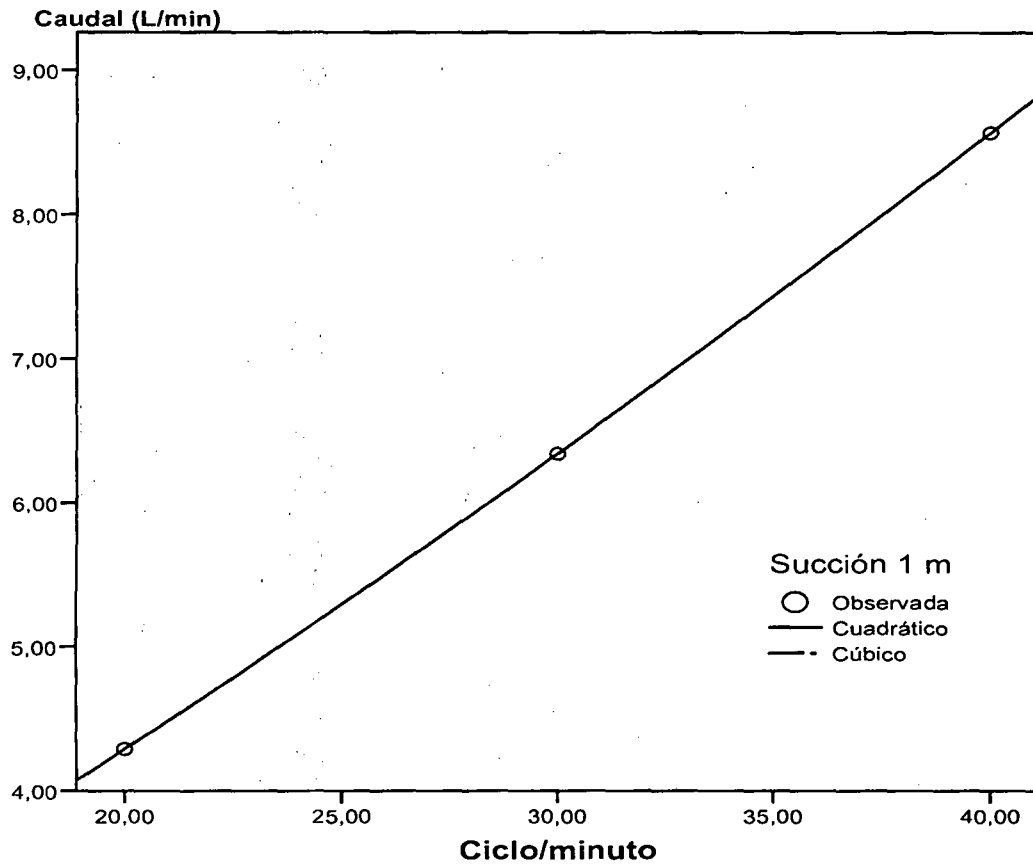


Figura 26. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cuadrática generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, con succión a 1m.

Tabla 43. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 2m.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 44. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 2m.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	9,239	2	4,619	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	9,239	2			

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 45. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 2m.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/minuto	0,288	0,000	1,338	.	.
Ciclos/minuto ** 3	-2,61E-005	0,000	-0,346	.	.
(Constante)	-1,263	0,000		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclo/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual con profundidad de 2 m de succión, será de la forma:

$$Q = -2,61 \times 10^{-5} c^3 + 0,288c - 1,263$$

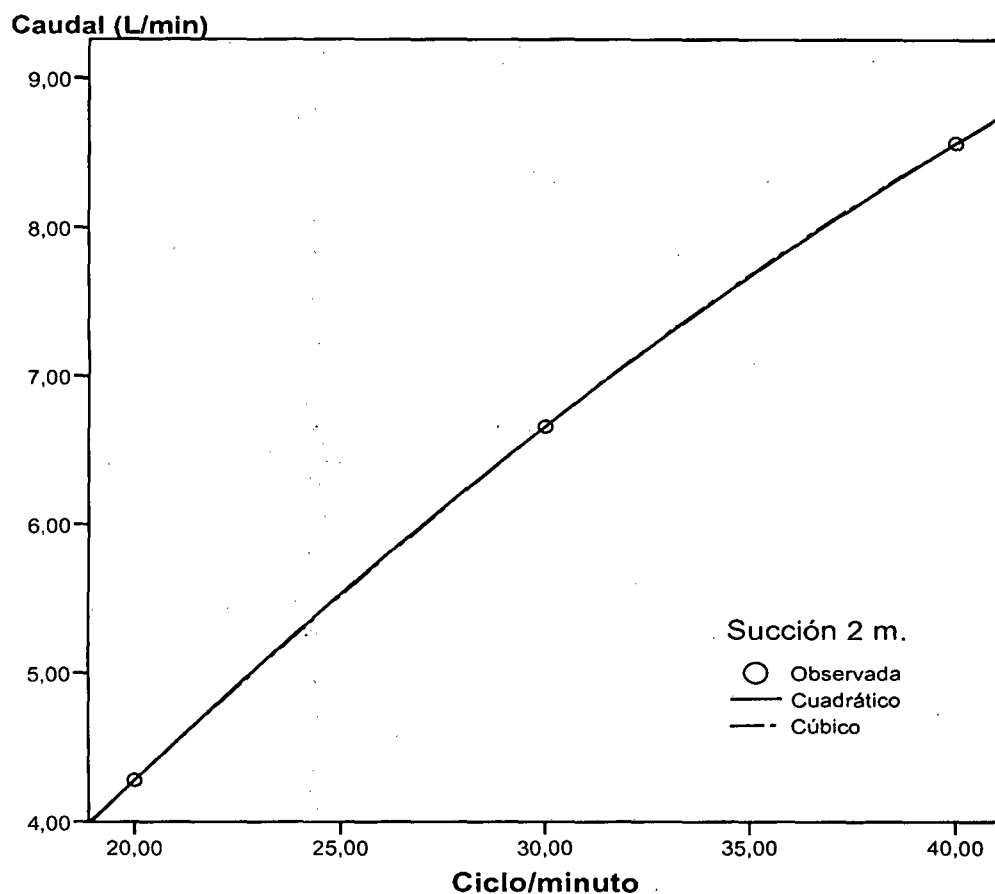


Figura 27. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, con succión a 2 m.

Tabla 46. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 3m.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 47. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 3 m.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	7,498	2	3,749	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	7,498	2	.	.	.

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 48. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 3 m

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclo/minuto	0,277	0,000	1,431	.	.
Ciclo/minuto ** 3	-3,00E-005	0,000	-0,441	.	.
(Constante)	-1,160	0,000		.	.

Tabla 49. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 3 m.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclo/minuto ** 2	1,910	0,000	0,000	0,640	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/minuto (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 3 metros de succión, será de la forma:

$$Q = -3 \times 10^{-5} c^3 + 0,277c - 1,160$$

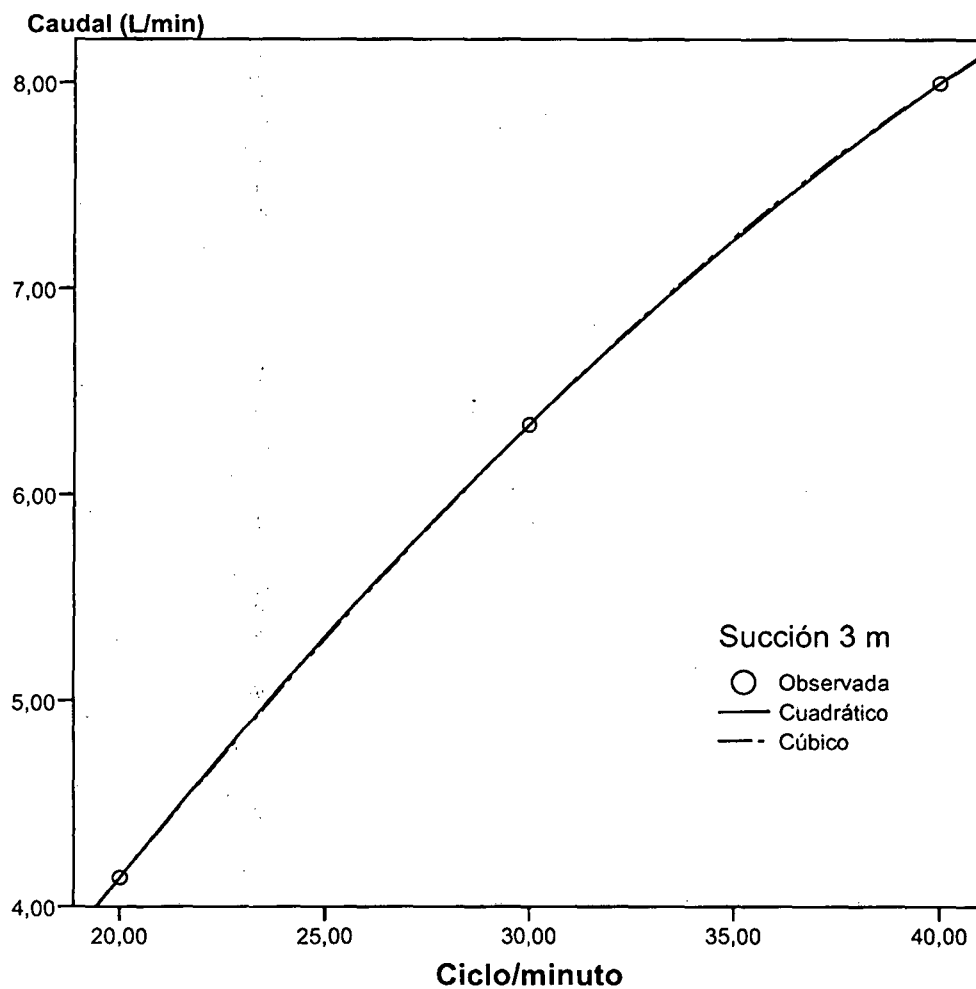


Figura 28. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, con succión a 3 m.

Tabla 50. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 4 m.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 51. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 4m

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5,579	2	2,790	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	5,579	2			

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 52. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 4m

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/minuto	0,401	0,000	2,398	.	.
Ciclos/minuto ** 3	-8,56E-005	0,000	-1,459	.	.
(Constante)	-3,047	0,000		.	.

Tabla 53. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 4 m.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclo/minuto ** 2	5,279	0,000	0,000	1,465	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/minuto (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 4 metros de succión, será de la forma:

$$Q = -8,56 \times 10^{-5} c^3 + 0,401c - 3,047$$

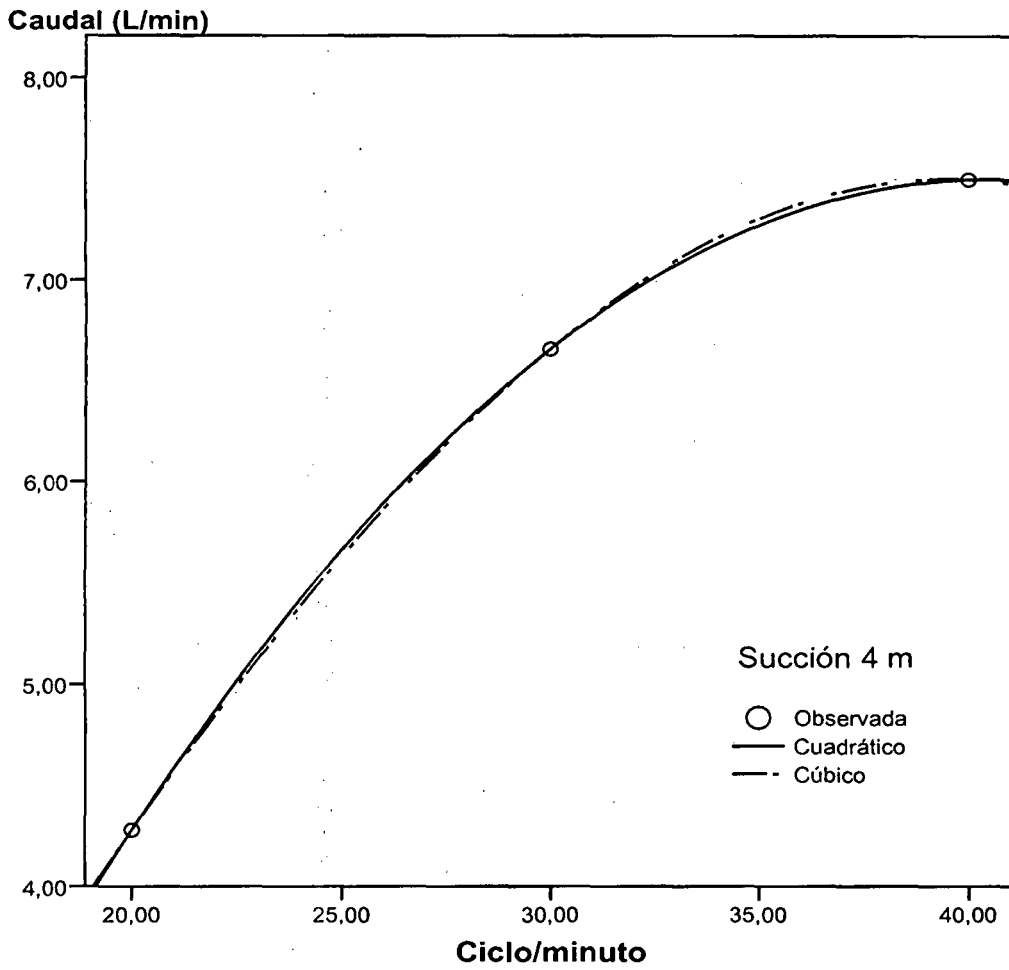


Figura 29. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, con succión a 4 m.

Tabla 54. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 5m.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 55. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 5m.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5,666	2	2,833	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	5,666	2			

La variable independiente es Ciclos/minuto.

Tabla 56. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 5 m.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/minuto	0,224	0,000	1,331	.	.
Ciclos/minuto ** 3	-2,00E-005	0,000	-0,338	.	.
(Constante)	-0,180	0,000		.	.

Tabla 57. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min con profundidad de 5 m.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/minuto ** 2	0,254	0,0	0,000	0,167	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/minuto (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 5 metros de succión, será de la forma:

$$Q = -2 \times 10^{-5} c^3 + 0,224c - 0,180$$

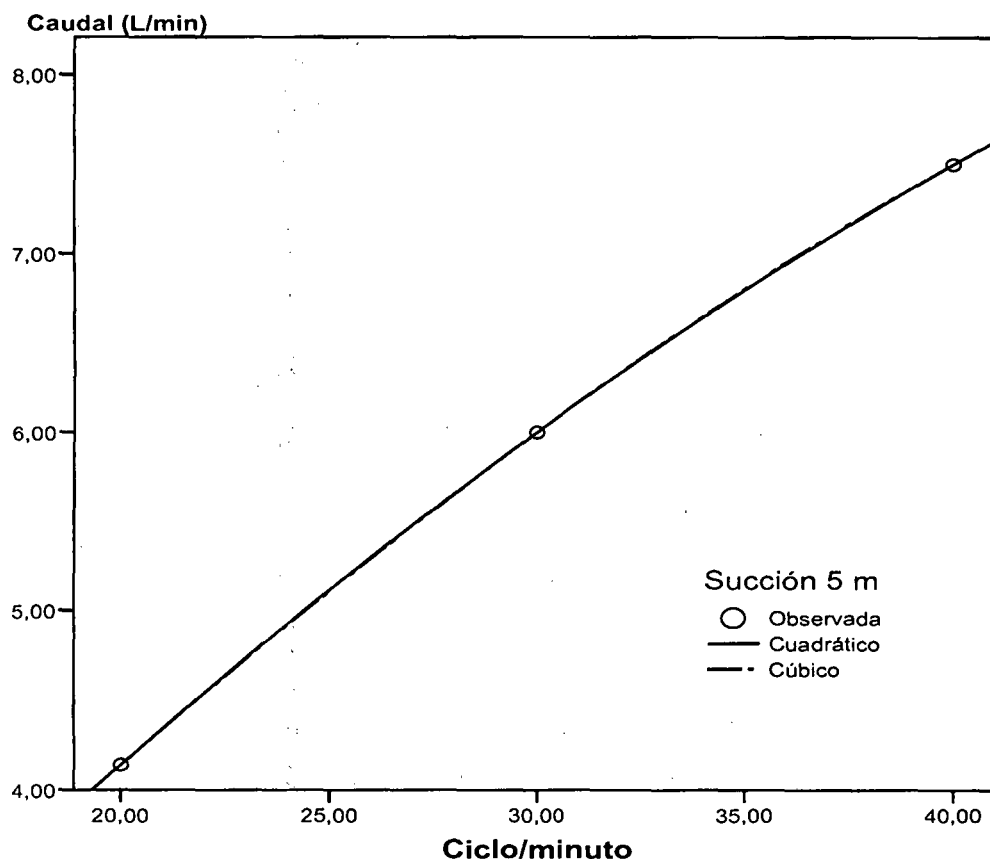


Figura 30. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, con succión a 5 m.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs potencia a diferentes ciclos/min, con tubería de ½ pulgada

Tabla 58. Resumen del modelo de regresión cúbica caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,662	0,438	-1,246	0,118

La variable independiente es potencia 20.

Tabla 59. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,011	3	0,004	0,260	0,855
Residual	0,014	1	0,014		
Total	0,025	4			

La variable independiente es Potencia20.

Tabla 60. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia.	-405,8	863,7	-7,402	-0,470	0,720
Potencia. ** 2	152757,7	352933,8	15,585	0,433	0,740
Potencia. ** 3	-18332769,3	43040496,6	-8,954	-0,426	0,744
(Constante)	4,6	0,6		7,534	0,084

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = -1,83 \times 10^7 p^3 + 1,53 \times 10^5 p^2 - 405,8p + 4,6$$

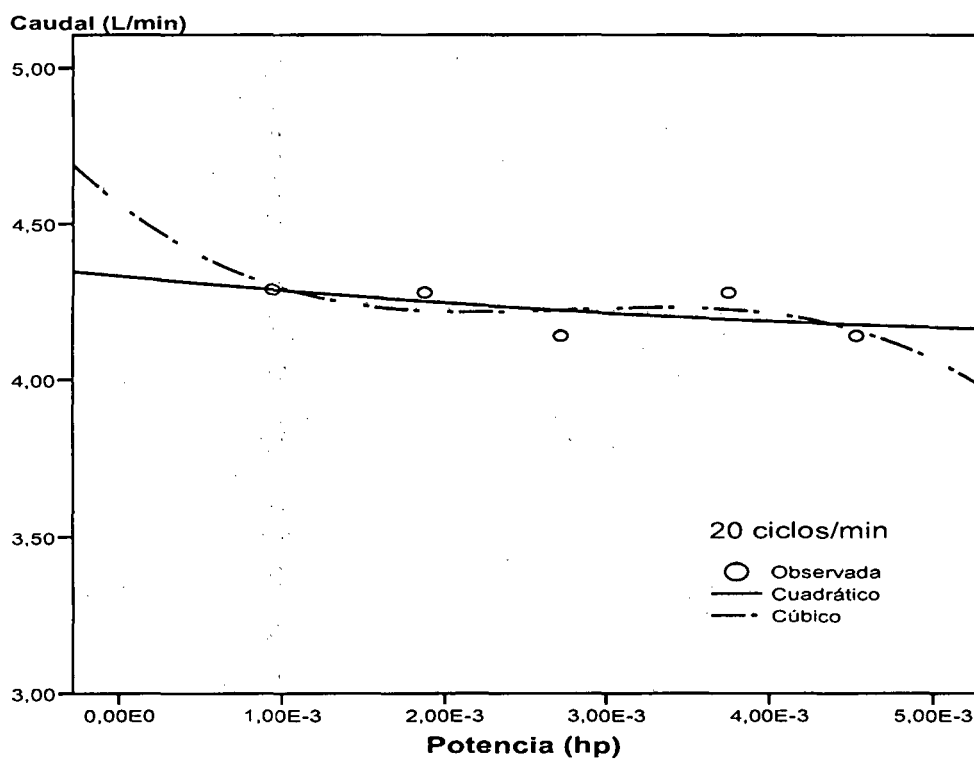


Figura 31. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 20 ciclos/min.

Tabla 61. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,665	0,442	-1,233	0,411

La variable independiente es potencia 30.

Tabla 62. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,134	3	0,045	0,264	0,853
Residual	0,169	1	0,169		
Total	0,302	4			

La variable independiente es potencia30.

Tabla 63. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia30	-389,3	2300,9	-2,990	-0,169	0,893
Potencia30 ** 2	167851,0	656694,3	10,552	0,256	0,841
Potencia30 ** 3	-18410709,1	55655387,1	-8,065	-0,331	0,797
(Constante)	6,644	2,299		2,890	0,212

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = -1,84 \times 10^7 p^3 + 1,68 \times 10^5 p^2 - 389,3p + 6,644$$

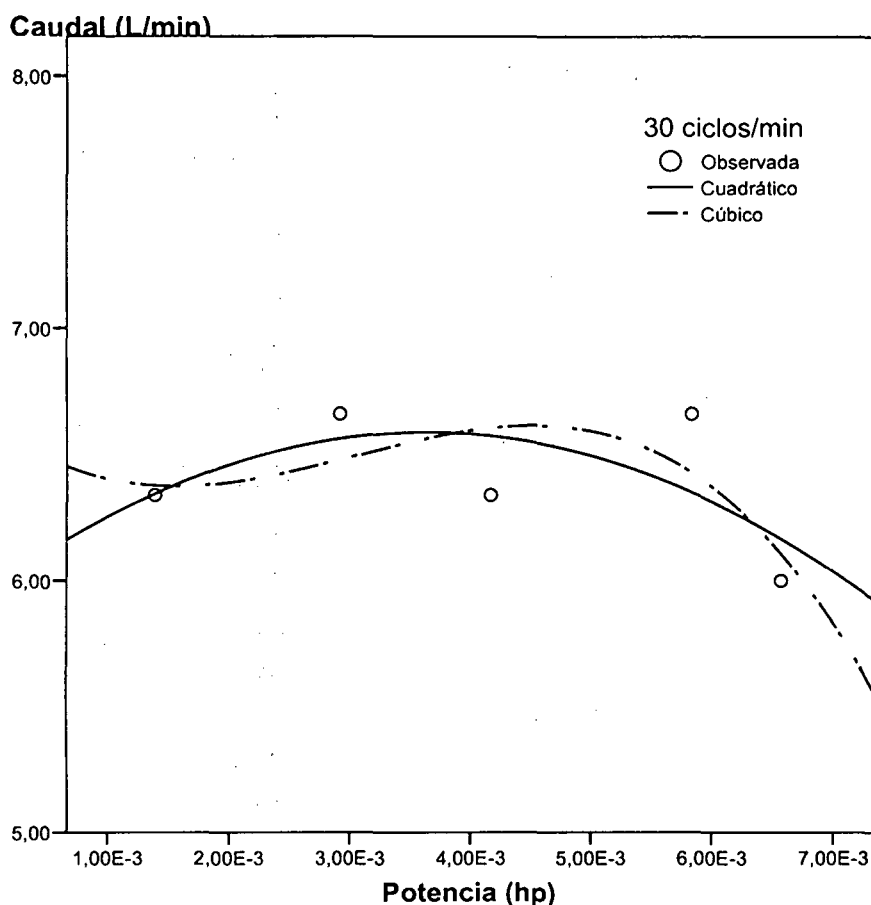


Figura 32. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 30 ciclos/min.

Tabla 64. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	1,000	0,012

La variable independiente es potencia40.

Tabla 65. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,146	3	,382	2742,74 6	,014
Residual	,000	1	,000		
Total	1,146	4			

La variable independiente es potencia40.

Tabla 66. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia40	1613,142	56,260	7,394	28,673	0,022
Potencia40 ** 2	-400368,9	12283,9	-18,812	-32,593	0,020
Potencia40 ** 3	26132202,9	805060,8	10,755	32,460	0,020
(Constante)	6,779	0,074		91,534	0,007

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 40 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = 2,61 \times 10^7 p^3 - 4,00 \times 10^5 p^2 + 1613,142p + 6,779$$

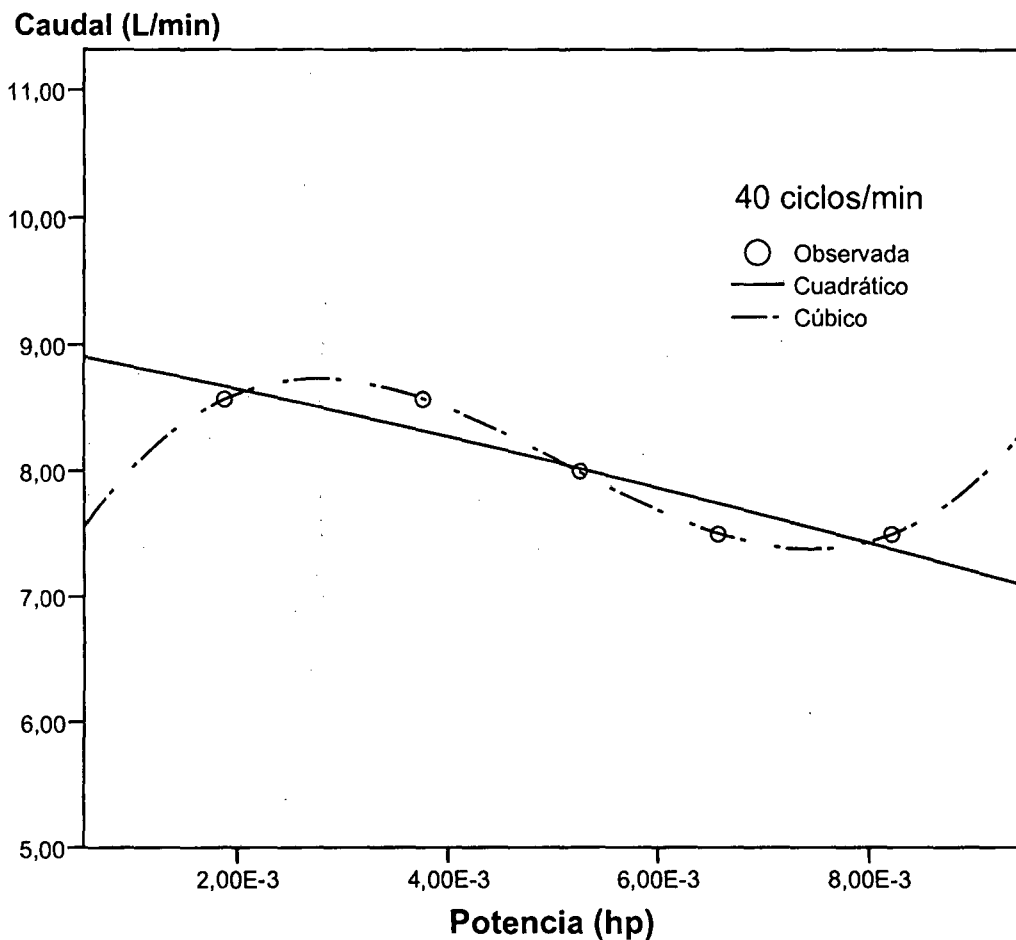


Figura 33. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 40 ciclos/min.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min, con tubería de ½ pulgada

Tabla 67. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,584	0,341	0,011	0,232

La variable independiente es altura de descarga

Tabla 68. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,167	3	0,056	1,035	0,442
Residual	0,323	6	0,054		
Total	0,490	9			

La variable independiente es altura de descarga

Tabla 69. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura_20	0,211	0,338	2,738	0,625	0,555
Altura_20 ** 2	-0,023	0,070	-3,398	-0,333	0,750
Altura_20 ** 3	0,000	0,004	0,509	0,083	0,937
(Constante)	4,219	0,450		9,370	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = 2,61 \times 10^7 h^3 - 4,00 \times 10^5 h^2 + 1613,142h + 6,779$$

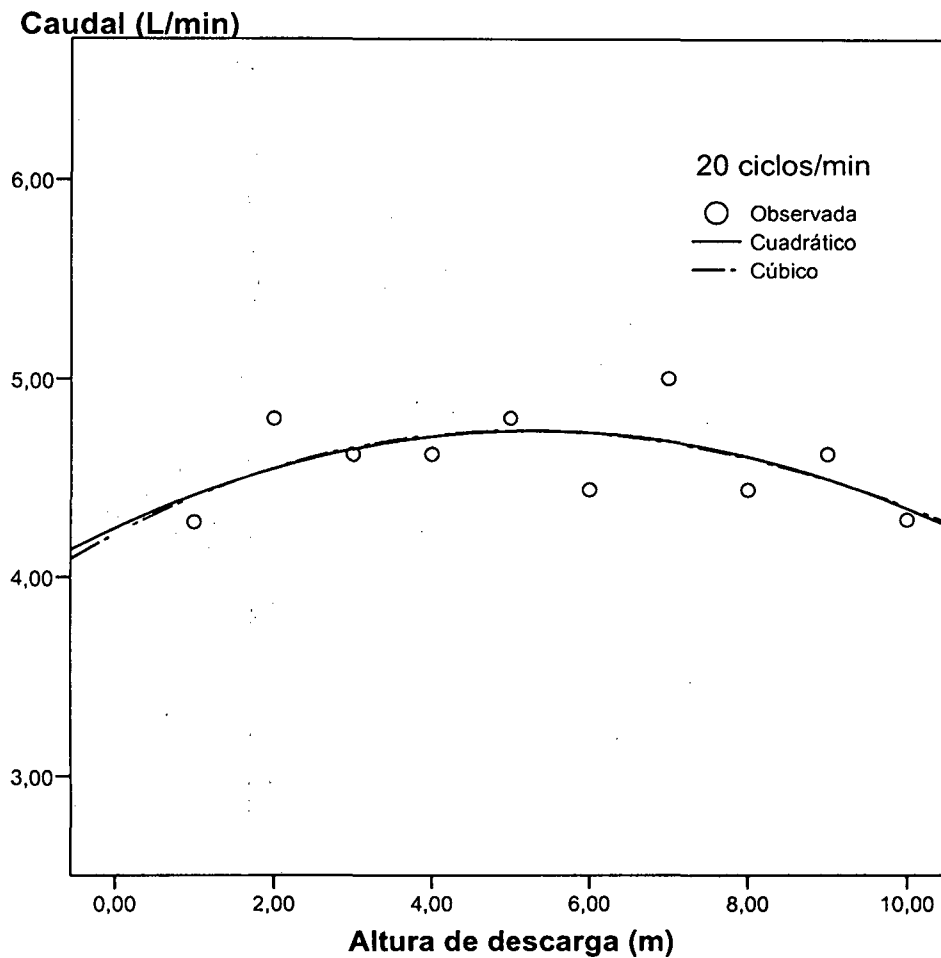


Figura 34. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga, a 20 ciclos/min.

Tabla 70. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,832	0,692	0,538	0,282

La variable independiente es altura de descarga

Tabla 71. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,072	3	0,357	4,495	0,056
Residual	0,477	6	0,080		
Total	1,549	9			

La variable independiente es altura de descarga

Tabla 72. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura_20	1,111	0,410	8,108	2,709	0,035
Altura_20 ** 2	-0,229	0,085	-18,882	-2,709	0,035
Altura_20 ** 3	0,014	0,005	11,670	2,776	0,032
(Constante)	5,249	0,547		9,591	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = 0,014h^3 - 0,229h^2 + 1,111h + 5,249$$

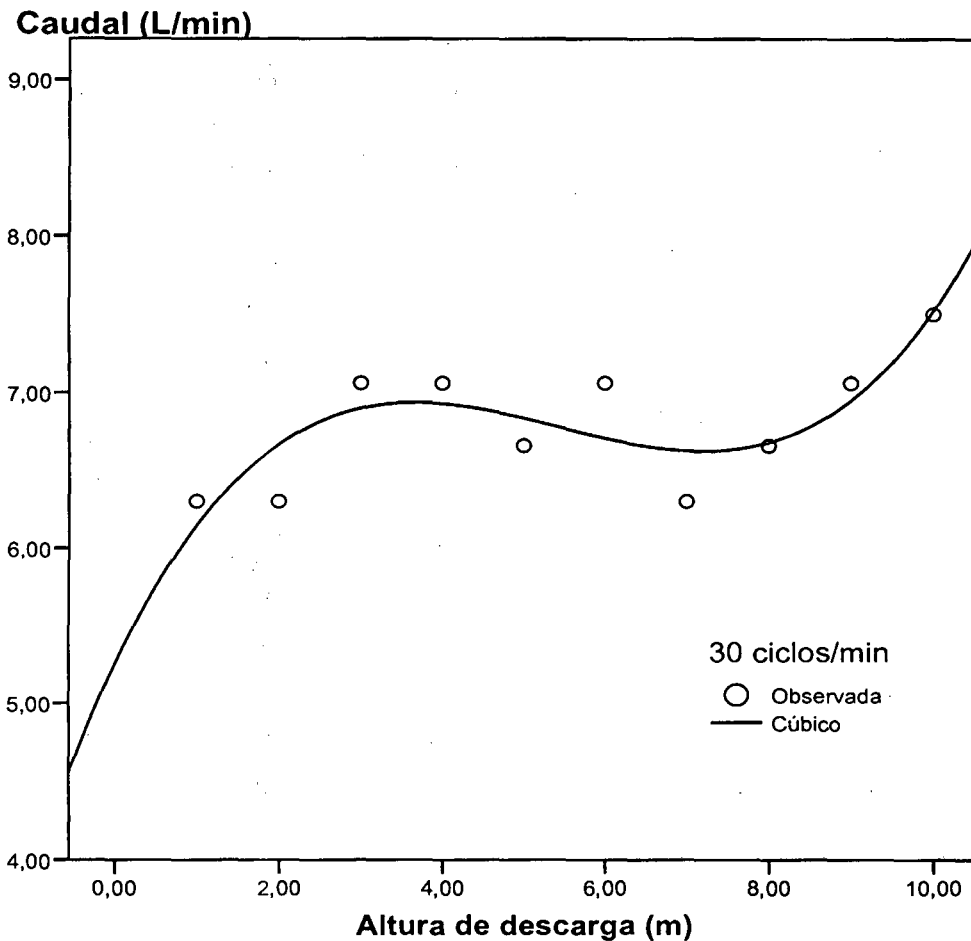


Figura 35. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga, a 30 ciclos/min.

Tabla 73. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,692	0,479	0,219	0,304

La variable independiente es altura de descarga

Tabla 74. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,509	3	0,170	1,839	0,241
Residual	0,553	6	0,092		
Total	1,062	9			

La variable independiente es altura de descarga

Tabla 75. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura_20	0,384	0,442	3,387	0,870	0,418
Altura_20 ** 2	-0,071	0,091	-7,070	-0,780	0,465
Altura_20 ** 3	0,003	0,005	3,201	0,585	0,580
(Constante)	8,177	0,589		13,873	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 40 ciclos/min, será de la forma:

$$Q = 0,003h^3 - 0,071h^2 + 0,384h + 8,177$$

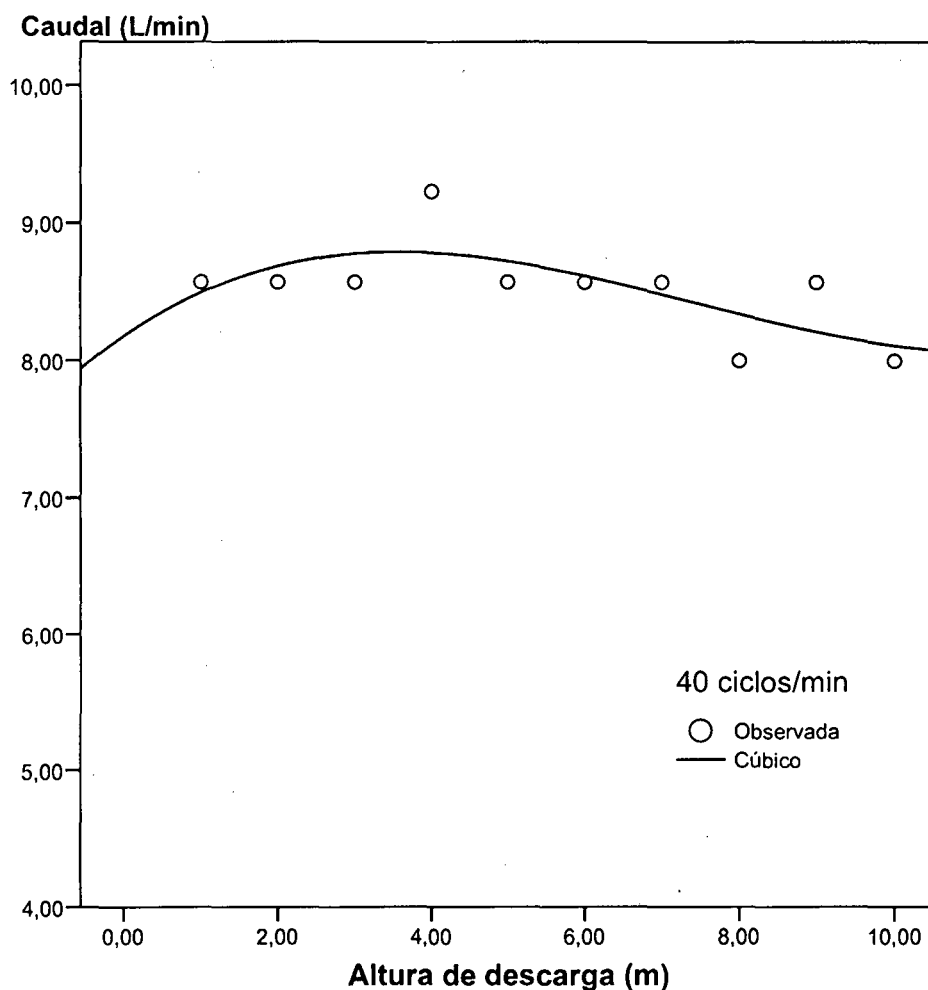


Figura 36. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga, a 40 ciclos/min.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs ciclos/min a diferentes alturas de descarga, con tubería de ½ pulgada

Tabla 76. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 77. Análisis de varianza (ANOVA del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	9,212	2	4,606	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	9,212	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 78. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,176	0,000	0,818	.	.
Ciclos/min ** 3	1,39E-005	0,000	0,184	.	.
(Constante)	0,657	0,000		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 1m de descarga será de la forma:

$$Q = 1,3 \times 10^{-5} c^3 + 0,176c + 0,657.$$

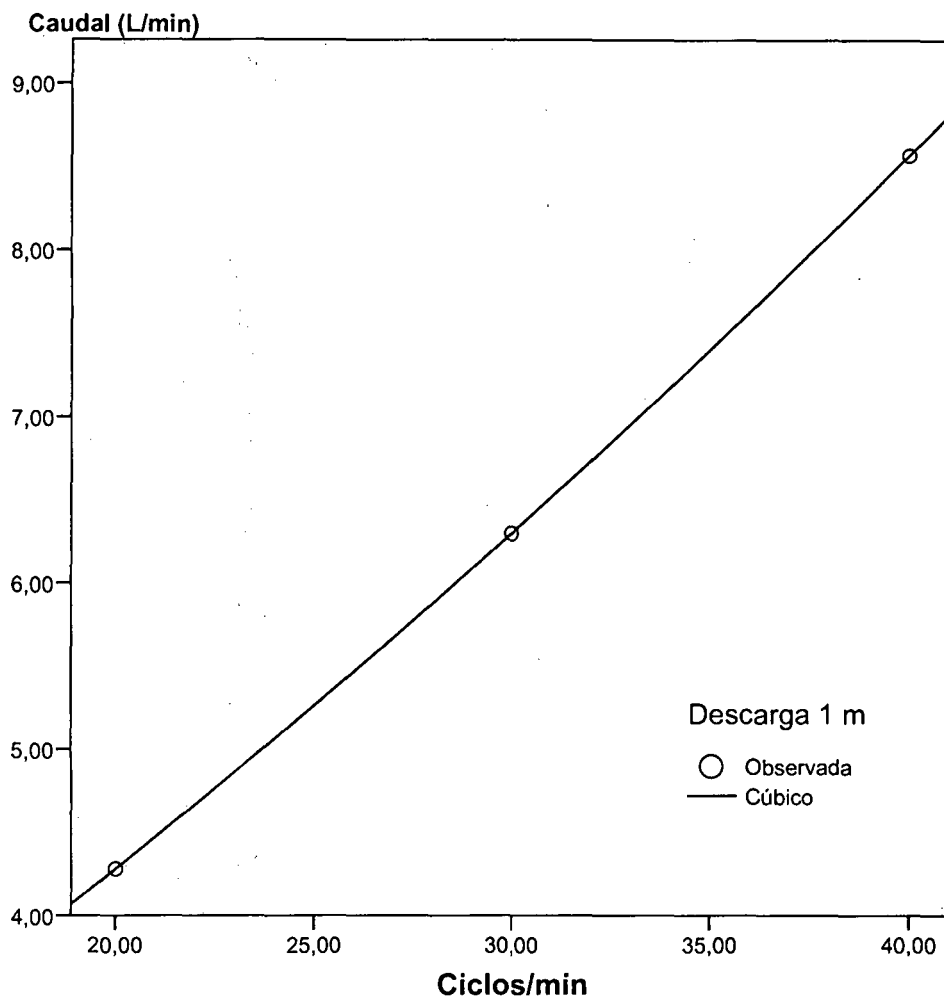


Figura 37. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

Tabla 79. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 80. Análisis de varianza (ANOVA del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	7,205	2	3,603	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	7,205	2	.	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 81. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min ** 2	0,002	0,000	0,755	.	.
Ciclos/min ** 3	1,63E-005	0,000	0,245	.	.
(Constante)	3,718	0,000	.	.	.

Tabla 82. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min	0,149	0,000	0,000	0,338	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 2m de descarga será de la forma:

$$Q = 1,63 \times 10^{-5} c^3 + 0,002 c^2 + 3718.$$

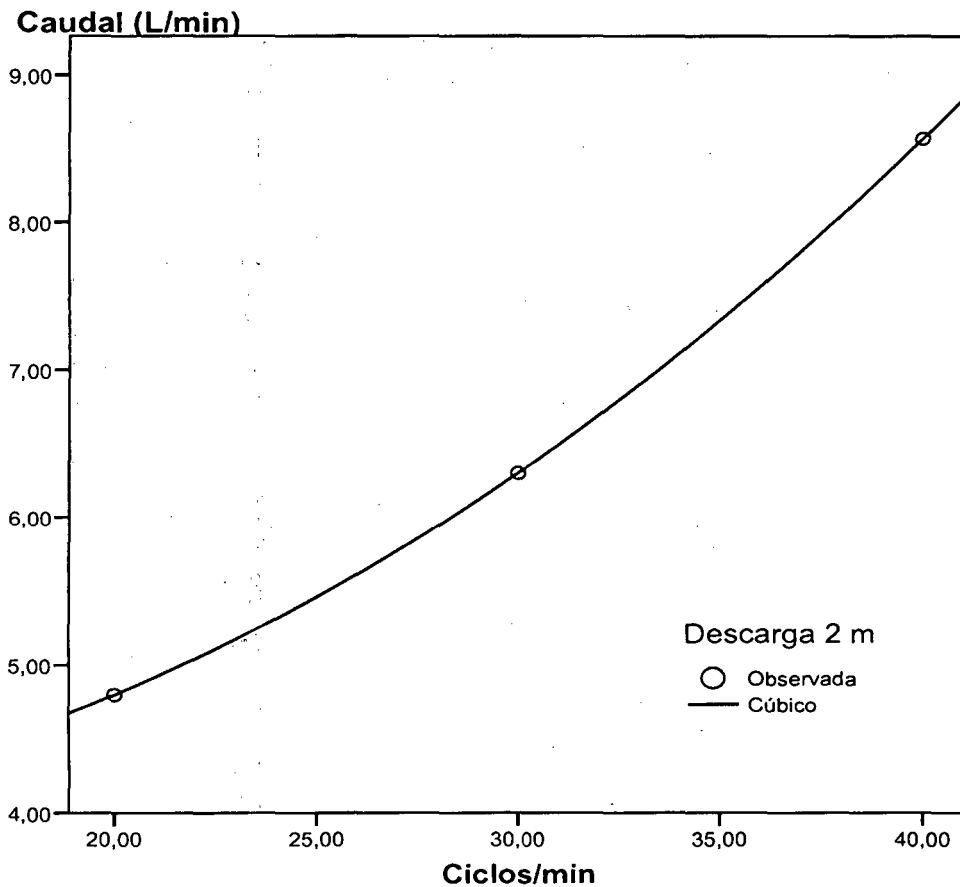


Figura 38. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

Tabla 83. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 84. Análisis de varianza (ANOVA del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	7,945	2	3,973	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	7,945	2	.	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 85. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,342	0,000	1,717	.	.
Ciclos/min ** 3	-5,17E-005	0,000	-0,738	.	.
(Constante)	-1,810	0,000	.	.	.

Tabla 86. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	2,639	0,000	0,000	1,008	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 3m de descarga será de la forma:

$$Q = -5,17 \times 10^{-5} c^3 + 0,342 c^2 - 1,810.$$

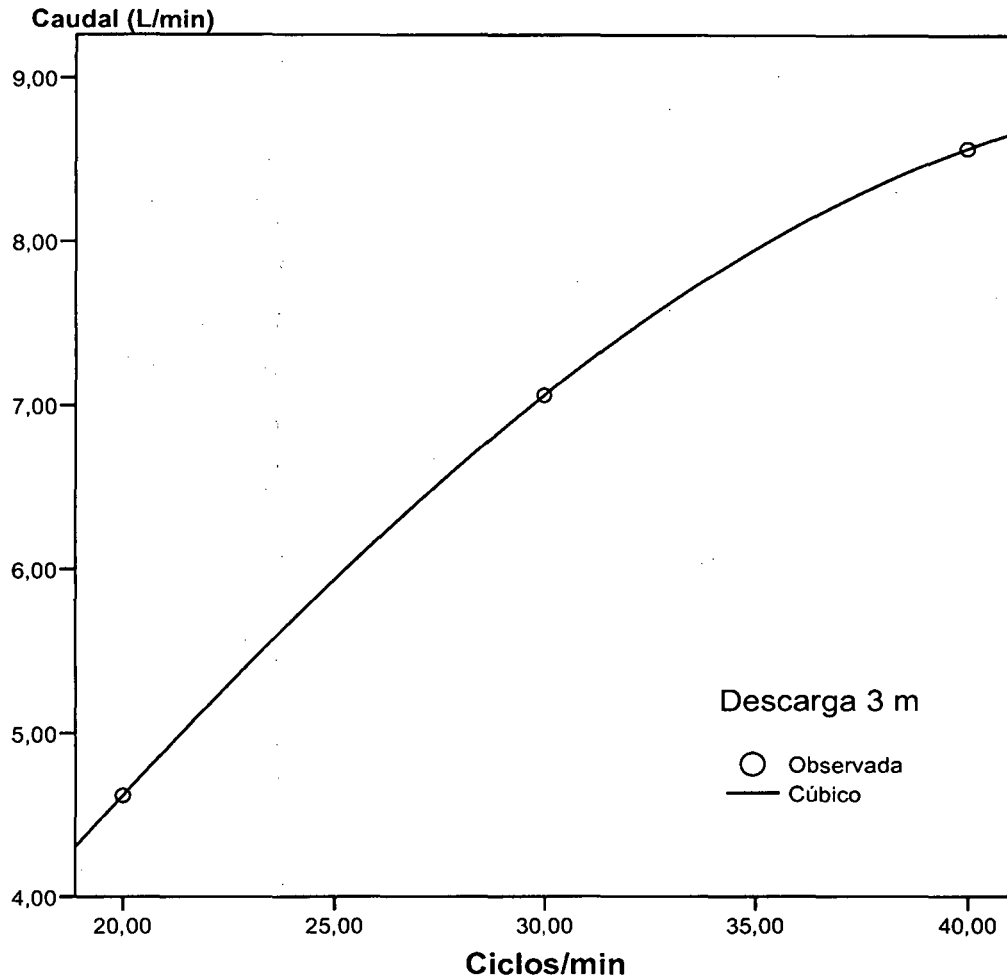


Figura 39. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

Tabla 87. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 88. Análisis de varianza (ANOVA del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	10,638	2	5,319	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	10,638	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 89. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,273	0,0	1,182	.	.
Ciclos/min ** 3	-1,50E-005	0,0	-,185	.	.
(Constante)	-0,710	0,0		.	.

Tabla 90. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	0,369	0,0	0,0	0,263	0,0

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 4m de descarga será de la forma:

$$Q = -1,5 \times 10^{-5} c^3 + 0,273c - 0,710.$$

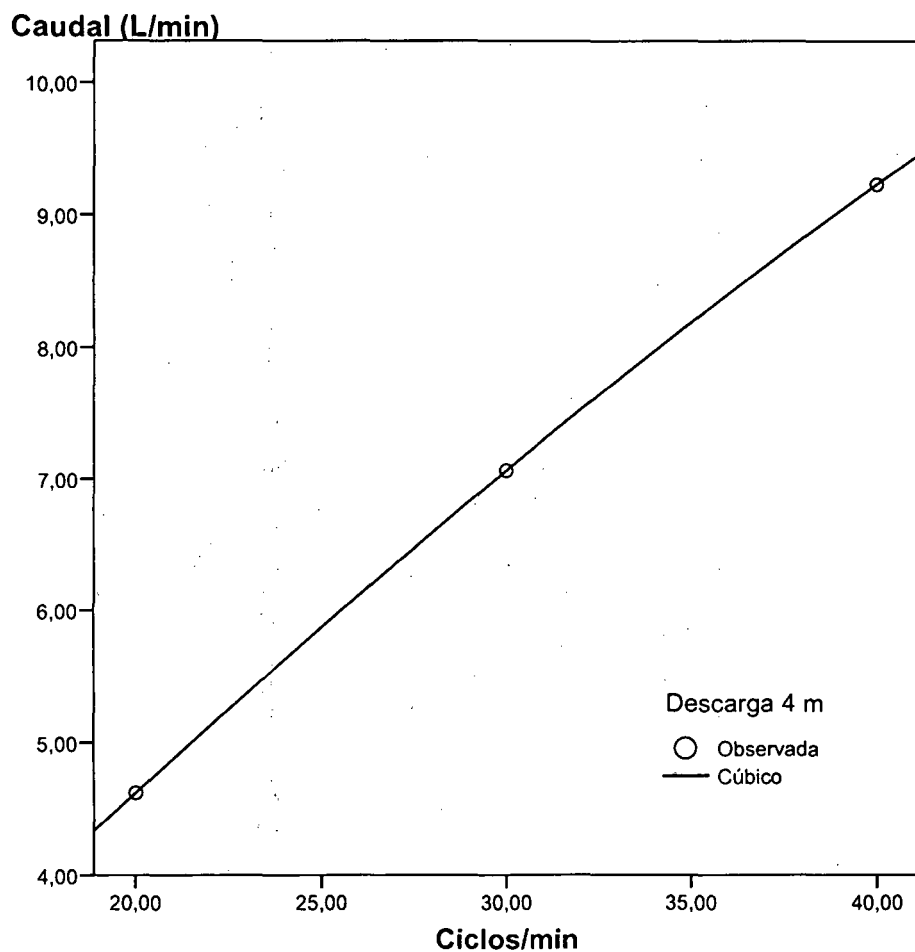


Figura 40. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

Tabla 91. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 92. Análisis de varianza (ANOVA del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	7,107	2	3,553	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	7,107	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 93. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,181	0,000	0,959	.	.
Ciclos/min ** 3	2,78E-006	0,000	0,042	.	.
(Constante)	1,163	0,000		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 5m de descarga será de la forma:

$$Q = 2,78 \times 10^{-6} c^3 + 0,181c + 1,163.$$

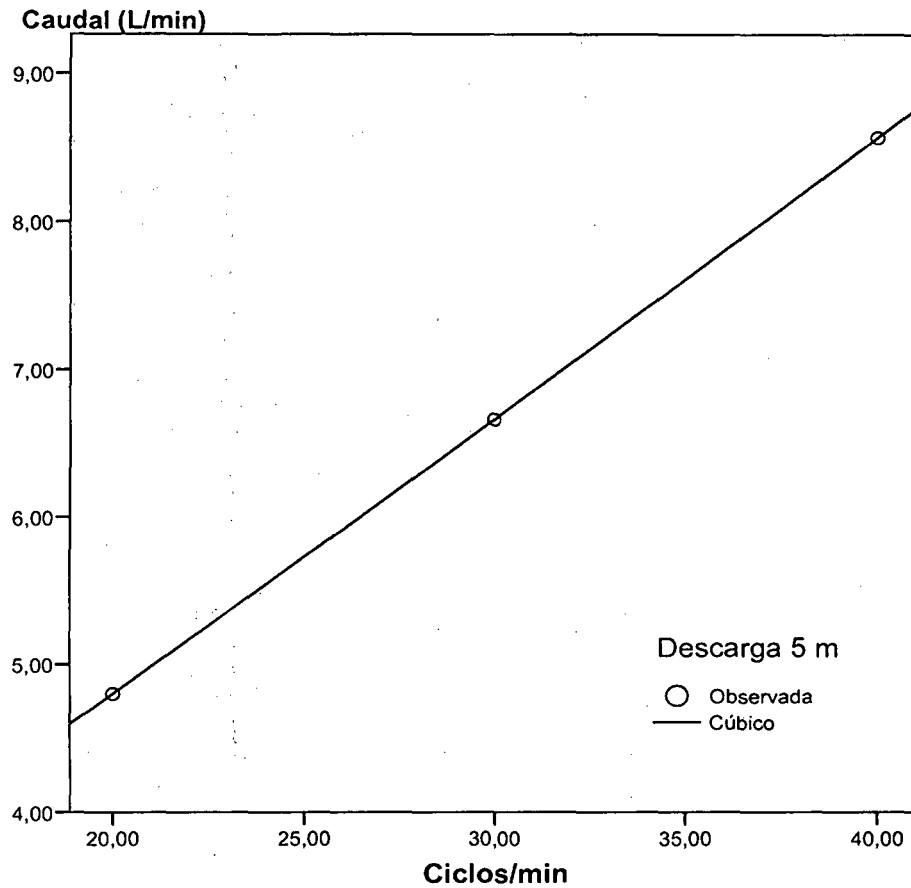


Figura 41. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

Tabla 94. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 95. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	8,734	2	4,367	.	.
Residual	,000	0	.		
Total	8,734	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 96. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,379	0,0	1,814	.	.
Ciclos/min ** 3	-6,17E-005	0,0	-,840	.	.
(Constante)	-2,650	0,0		.	.

Tabla 97. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	4,902	0,000	0,000	1,571	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 6m de descarga será de la forma:

$$Q = -6,17 \times 10^{-6} c^3 + 0,379c - 2,650.$$

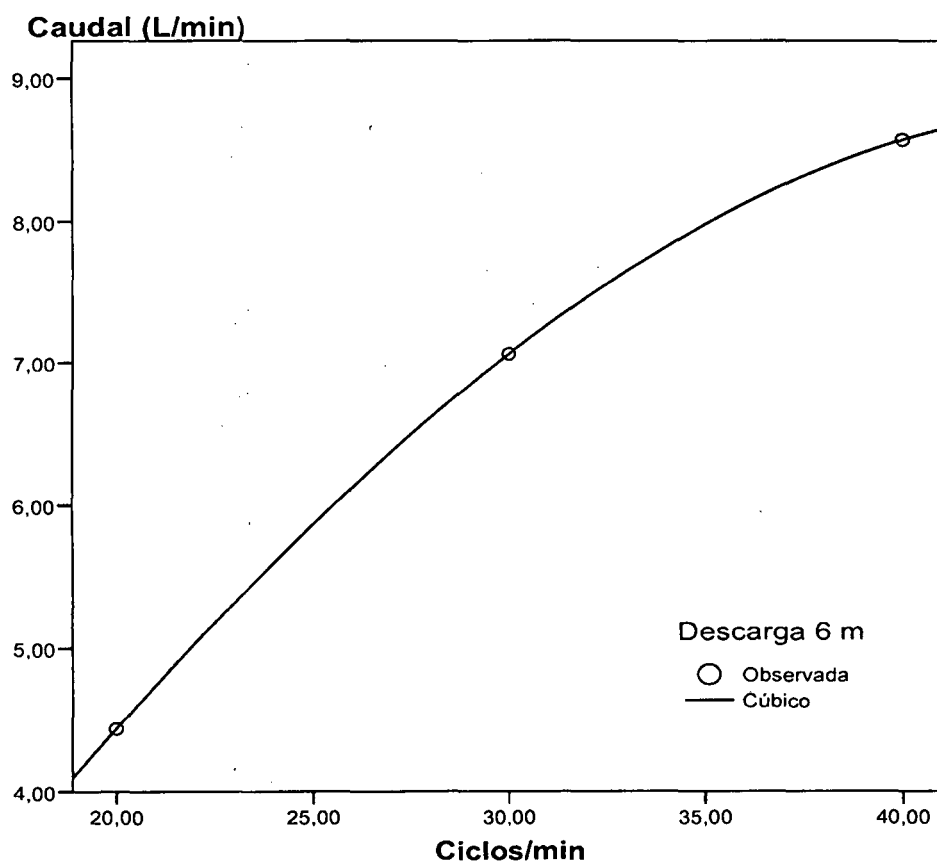


Figura 42. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

Tabla 98. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 99. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	6,529	2	3,265	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	6,529	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 100. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,028	0,000	0,153	.	.
Ciclos/min ** 3	5,39E-005	0,000	0,849	.	.
(Constante)	4,017	0,000		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 7m de descarga será de la forma:

$$Q = 5,39 \times 10^5 c^3 + 0,028c + 4,017.$$

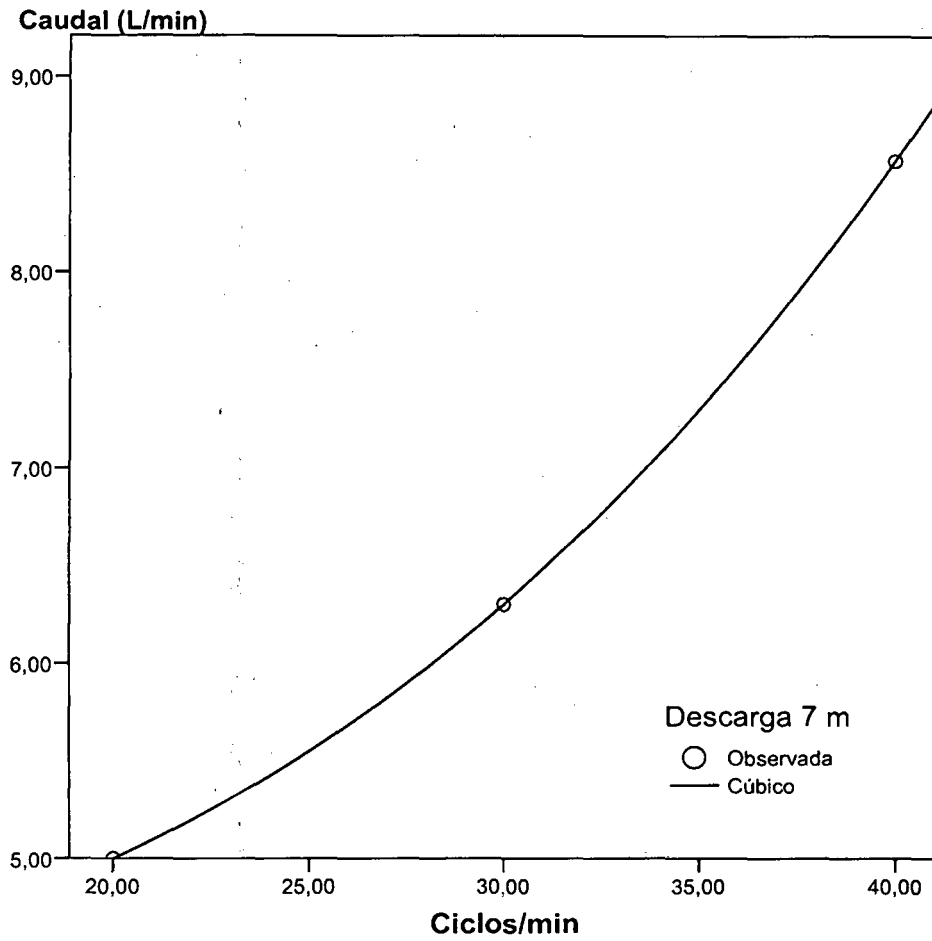


Figura 43. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

Tabla 101. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 102. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	6,466	2	3,233	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	6,466	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 103. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,315	0,0	1,751	.	.
Ciclos/min ** 3	-4,89E-05	0,0	-0,774	.	.
(Constante)	-1,467	0,0		.	.

Tabla 104. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	1,787	0,000	0,000	1,188	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 8m de descarga será de la forma:

$$Q = -4,89 \times 10^5 c^3 + 0,315c - 1,467.$$

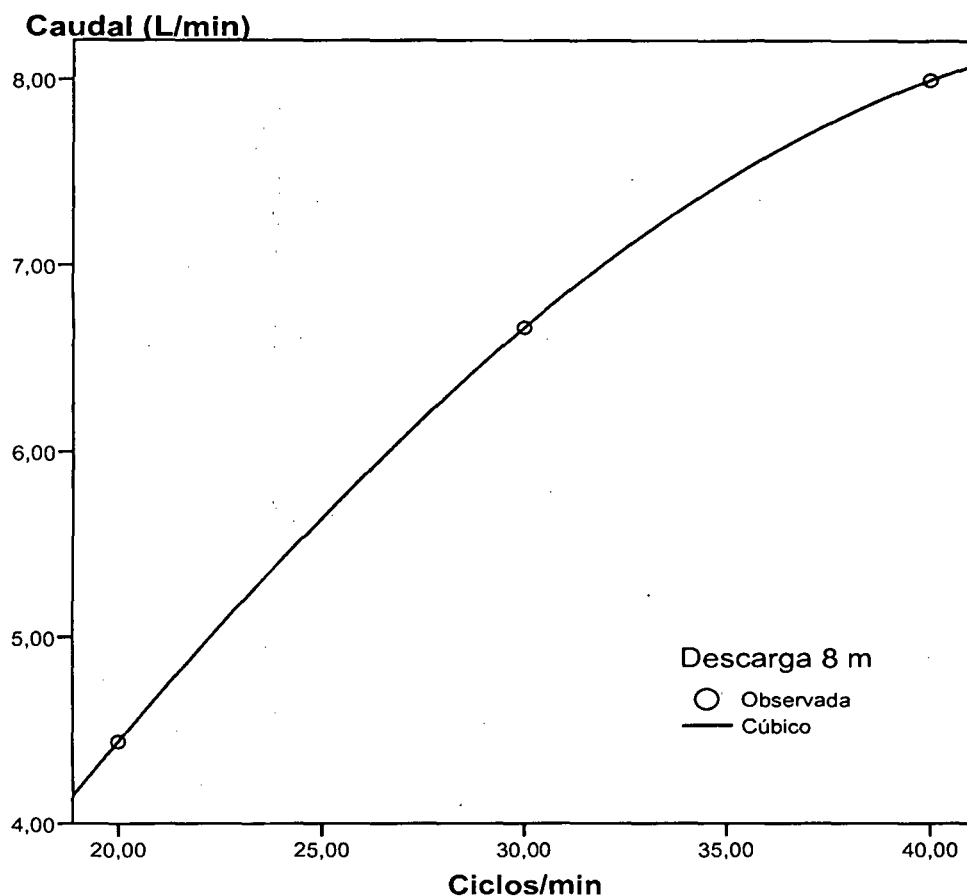


Figura 44. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

Tabla 105. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 106. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	7,945	2	3,973	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	7,945	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 107. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,342	0,0	1,717	.	.
Ciclos/min ** 3	-5,17E-005	0,0	-0,738	.	.
(Constante)	-1,810	0,0		.	.

Tabla 108. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	2,639	0,0	0,0	1,008	0,0

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 9m de descarga será de la forma:

$$Q = -5,17 \times 10^5 c^3 + 0,342c - 1,810.$$

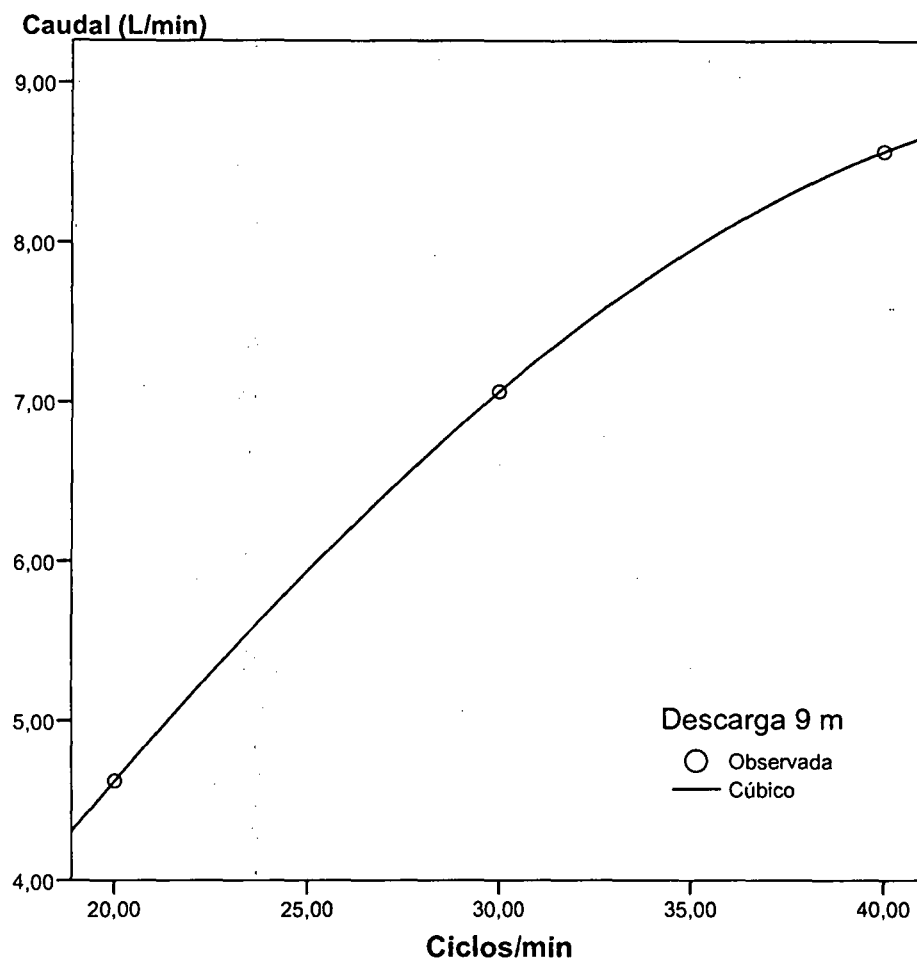


Figura 45. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

Tabla 109. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 110. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	8,106	2	4,053	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	8,106	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 111. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,607	0,000	3,015	.	.
Ciclos/min ** 3	0,000	0,000	-2,130	.	.
(Constante)	-6,647	0,000		.	.

Tabla 112. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	5,311	0,000	0,000	3,667	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 10m de descarga será de la forma:

$$Q = 0,0c^3 + 0,342c - 6,647.$$

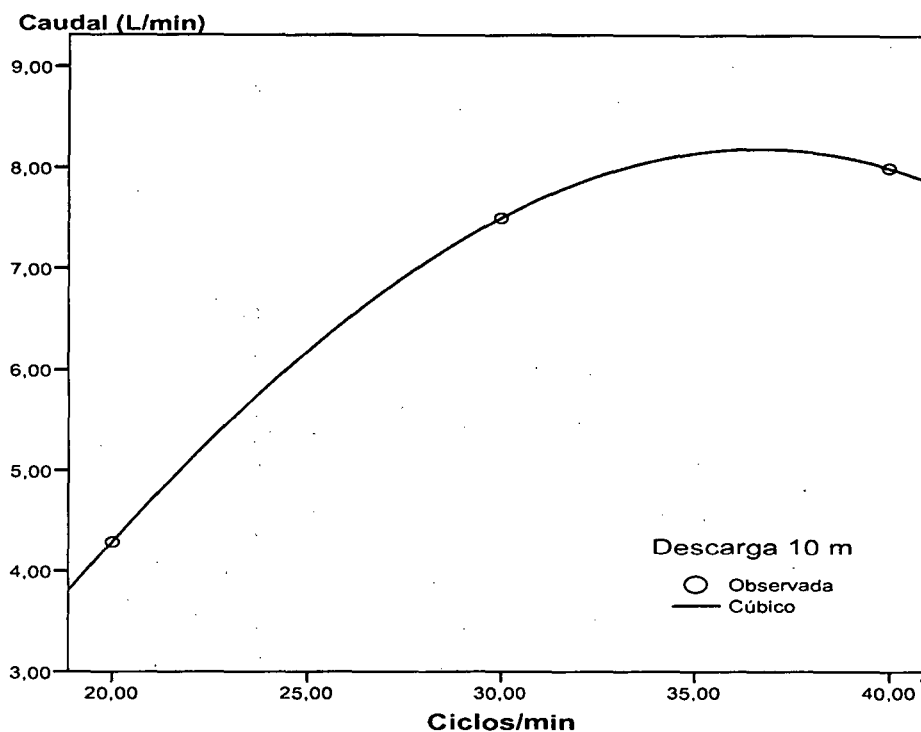


Figura 46. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada

Tabla 113. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,478	0,228	-0,158	0,251

La variable independiente es potencia.

Tabla 114. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,112	3	0,037	0,591	0,643
Residual	0,378	6	0,063		
Total	0,490	9			

La variable independiente es potencia.

Tabla 115. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia_20	205,318	389,880	2,603	0,527	0,617
Potencia_20 ** 2	-23837,423	85197,894	-3,303	-0,280	0,789
Potencia_20 ** 3	493677,520	5400445,95	0,660	0,091	0,930
(Constante)	4,226	0,493		8,568	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min.

$$Q = 493677,520p^3 - 23837,423p^2 + 205,318p + 4,226$$

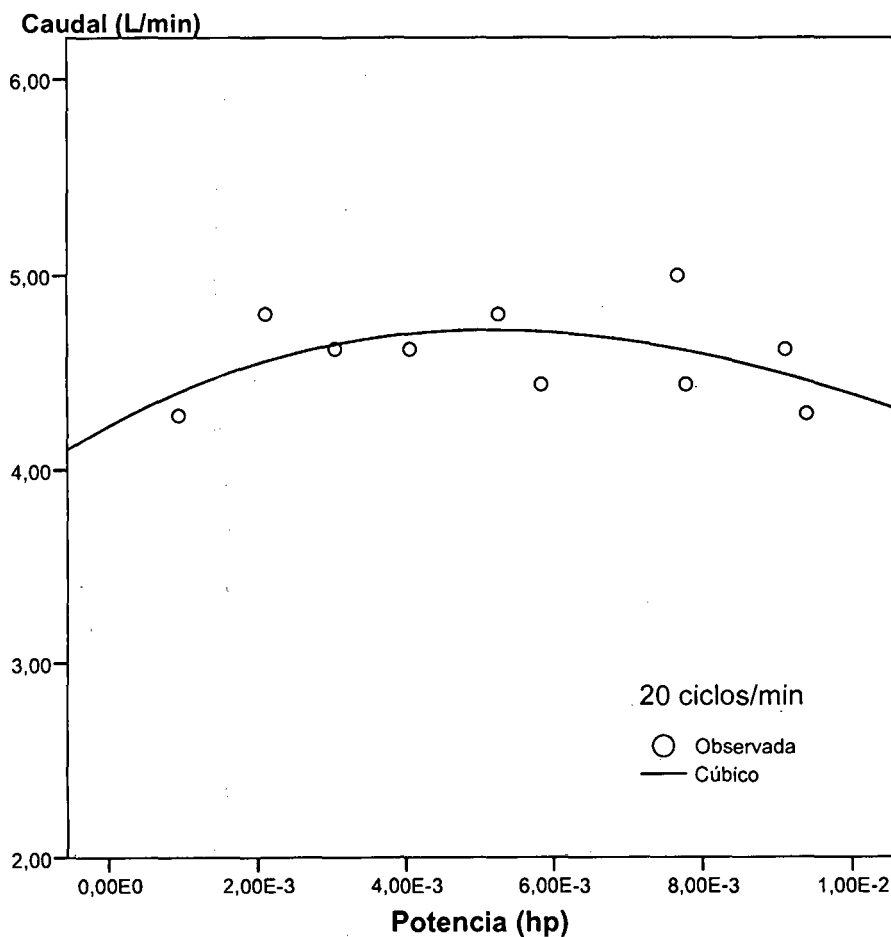


Figura 47. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 20 ciclos/min

Tabla 116. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,811	0,657	0,485	0,298

La variable independiente es potencia

Tabla 117. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,018	3	0,339	3,831	0,076
Residual	0,531	6	0,089		
Total	1,549	9			

La variable independiente es potencia

Tabla 118. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia_30	508,920	240,636	5,914	2,115	0,079
Potencia_30 ** 2	-65106,701	31382,880	-13,692	-2,075	0,083
Potencia_30 ** 3	2515840,092	1166975,930	8,727	2,156	0,075
(Constante)	5,622	0,500		11,237	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min.

$$Q = 2515840,092p^3 - 65106,701p^2 + 508,920p + 5,622$$

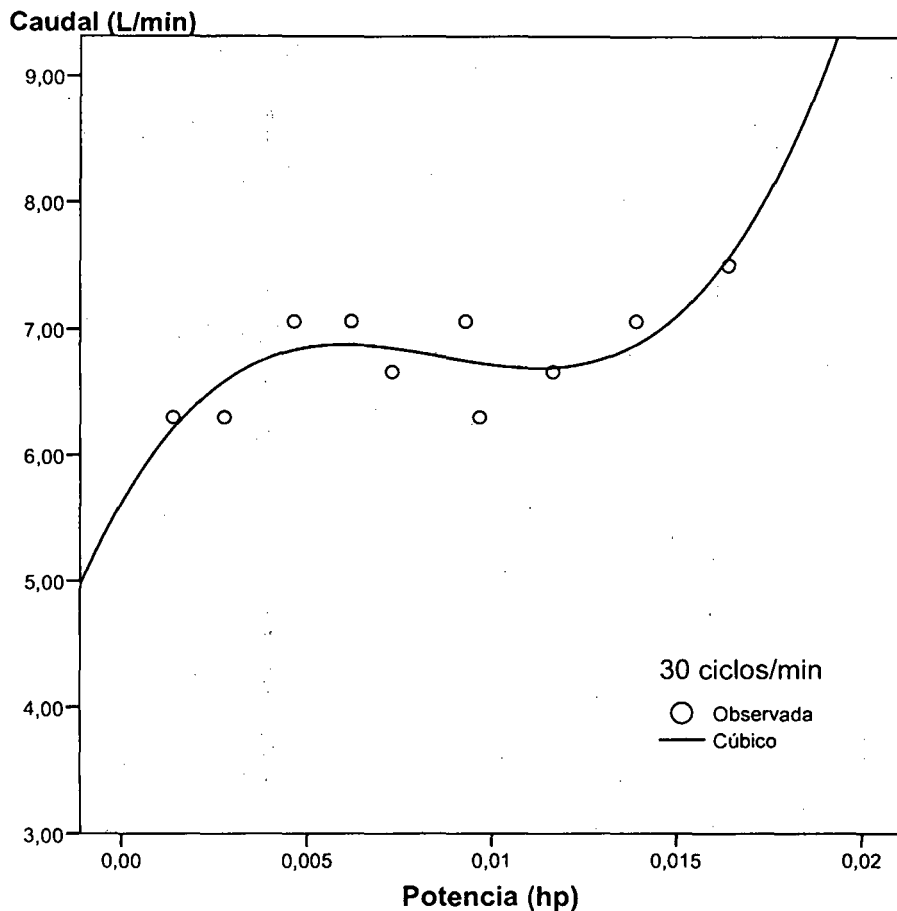


Figura 48. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 30 ciclos/min

Tabla 119. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,638	0,408	0,111	0,324

La variable independiente es potencia.

Tabla 120. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,433	3	0,144	1,376	0,337
Residual	0,629	6	0,105		
Total	1,062	9			

La variable independiente es Potencia.

Tabla 121. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia	262,892	287,842	4,109	0,913	0,396
Potencia** 2	-27919,974	33267,445	-8,851	-0,839	0,433
Potencia **3	763092,215	1114271,69	4,359	0,685	0,519
(Constante)	8,065	0,678		11,902	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 40 ciclos/min.

$$Q = 763092,215p^3 - 27919,974p^2 + 262,892p + 8,065$$

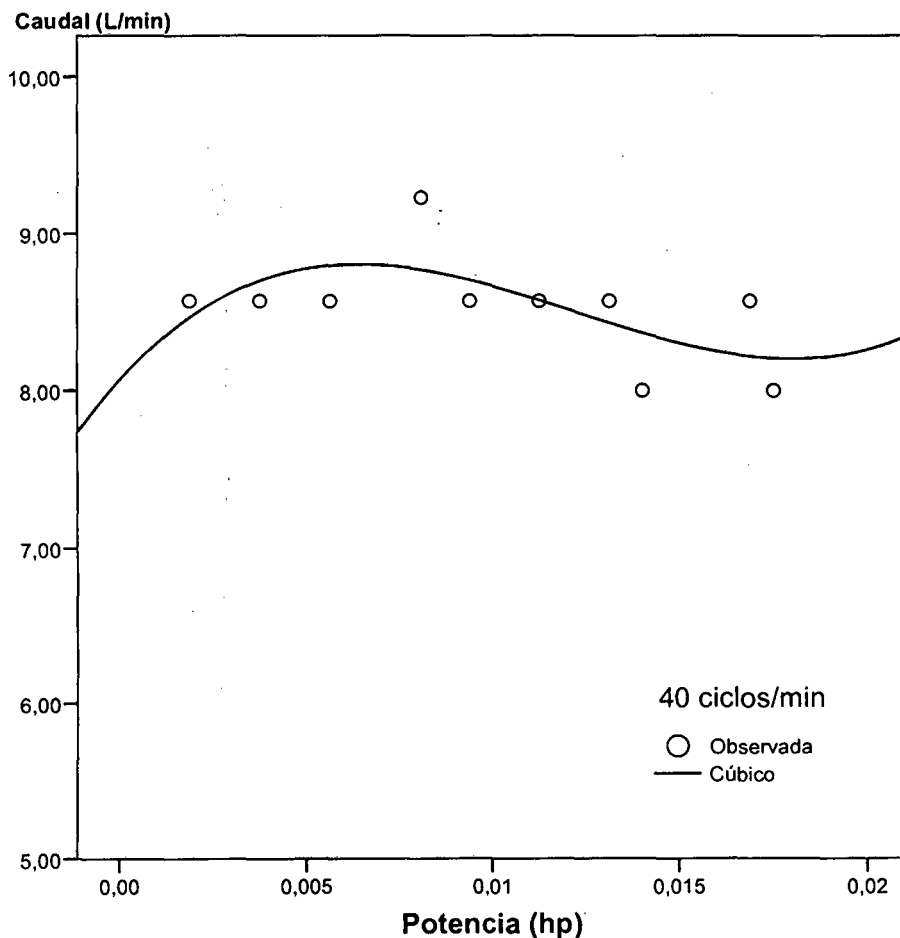


Figura 49. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 40 ciclos/min

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de 1 pulgada y succión de 1m

Tabla 122. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,915	0,837	0,756	0,281

La variable independiente es altura descarga.

Tabla 123. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,442	3	0,814	10,304	0,009
Residual	0,474	6	0,079		
Total	2,916	9			

La variable independiente es altura descarga.

Tabla 124. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura descarga	1,366	0,409	7,264	3,340	0,016
Altura descarga ** 2	-0,223	0,084	-13,379	-2,642	0,038
Altura descarga ** 3	0,012	0,005	6,991	2,289	0,062
(Constante)	2,587	0,545		4,742	0,003

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min.

$$Q = 0,012p^3 - 0,223p^2 + 1,366p + 2,587$$

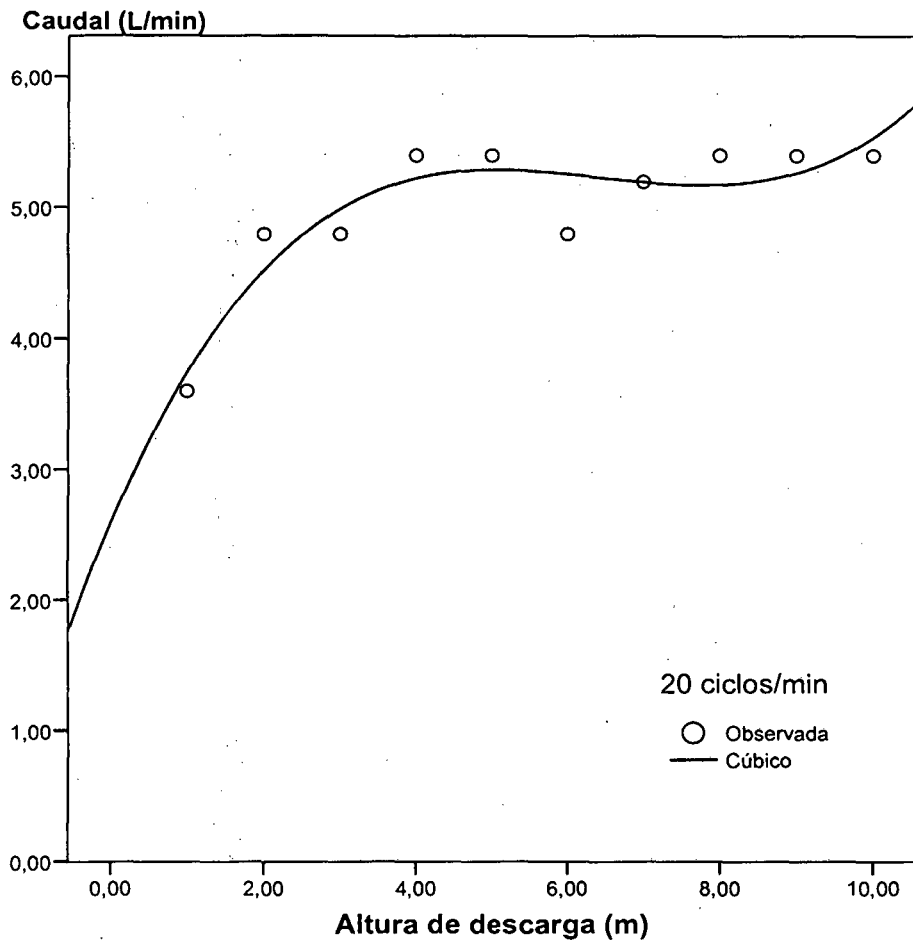


Figura 50. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

Tabla 125. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,729	0,531	0,297	0,712

La variable independiente es altura descarga.

Tabla 126. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	3,442	3	1,147	2,266	0,181
Residual	3,038	6	0,506		
Total	6,480	9			

La variable independiente es altura descarga.

Tabla 127. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura descarga	1,610	1,035	5,746	1,556	0,171
Altura descarga ** 2	-0,234	0,214	-9,435	-1,097	0,315
Altura descarga ** 3	0,010	0,013	3,966	0,765	0,473
(Constante)	4,400	1,381		3,186	0,019

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min.

$$Q = 0,010h^3 - 0,234h^2 + 1,610h + 4,400$$

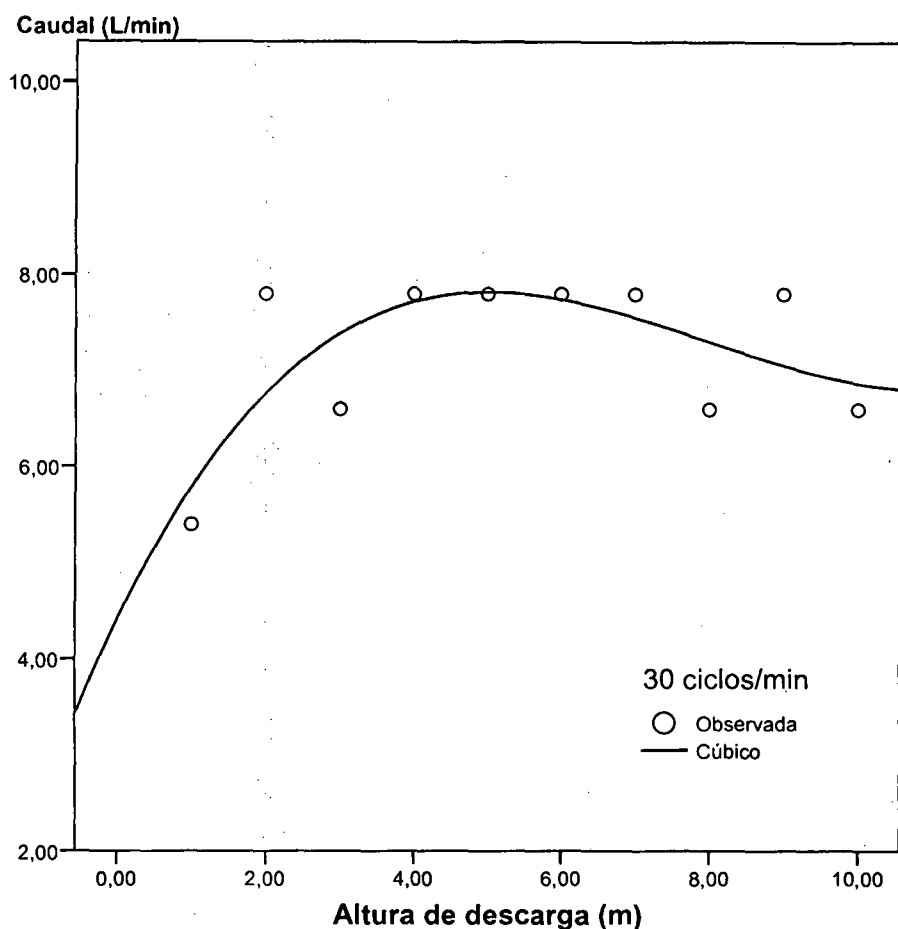


Figura 51. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

Tabla 128. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,521	0,272	-0,092	0,836

La variable independiente es altura de descarga.

Tabla 129. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,566	3	0,522	0,747	0,563
Residual	4,194	6	0,699		
Total	5,760	9			

La variable independiente es altura de descarga.

Tabla 130. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura descarga	1,132	1,216	4,284	0,931	0,388
Altura descarga ** 2	-0,220	0,251	-9,410	-0,878	0,414
Altura descarga ** 3	0,011	0,015	4,908	0,759	0,476
(Constante)	8,400	1,623		5,177	0,002

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 40 ciclos/min.

$$Q = 0,011h^3 - 0,220h^2 + 1,132h + 8,400$$

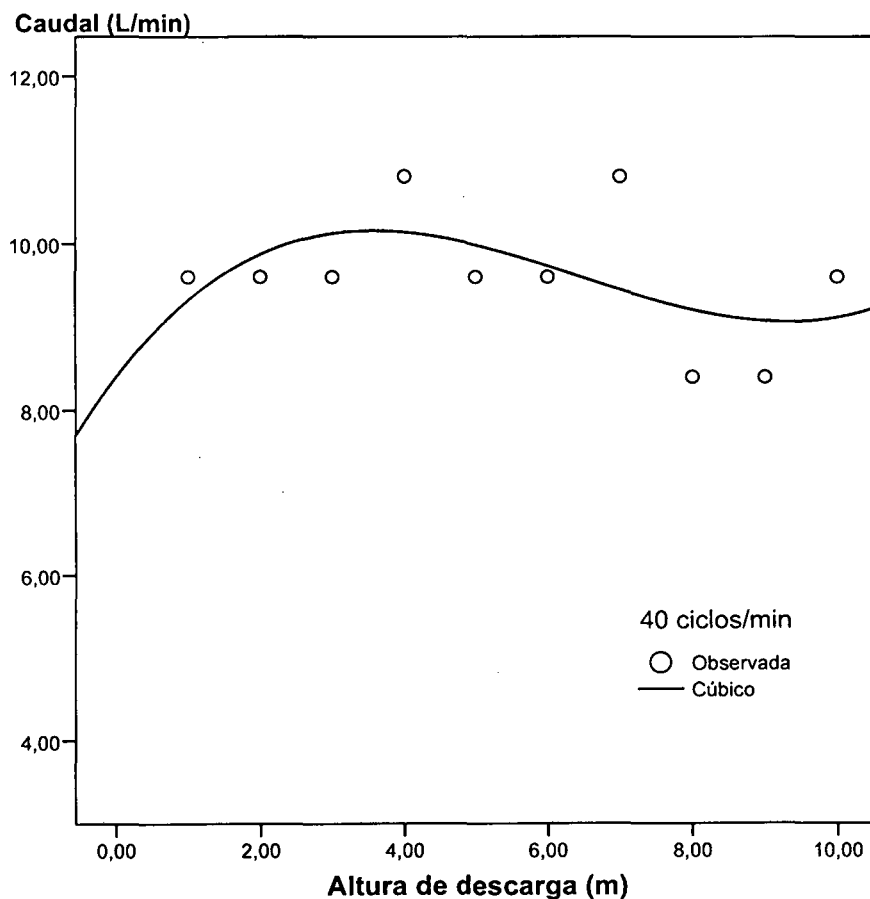


Figura 52. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs ciclos/min, a diferentes alturas de descarga con tubería de 1 pulgada y succión a 1m

Tabla 131. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 132. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	18,960	2	9,480	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	18,960	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 133. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min ** 2	-0,003	0,000	-0,497		
Ciclos/min ** 3	0,000	0,000	1,494		
(Constante)	3,323	0,000			

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 1m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = 0,0c^3 - 0,003c^2 + 3,323.$$

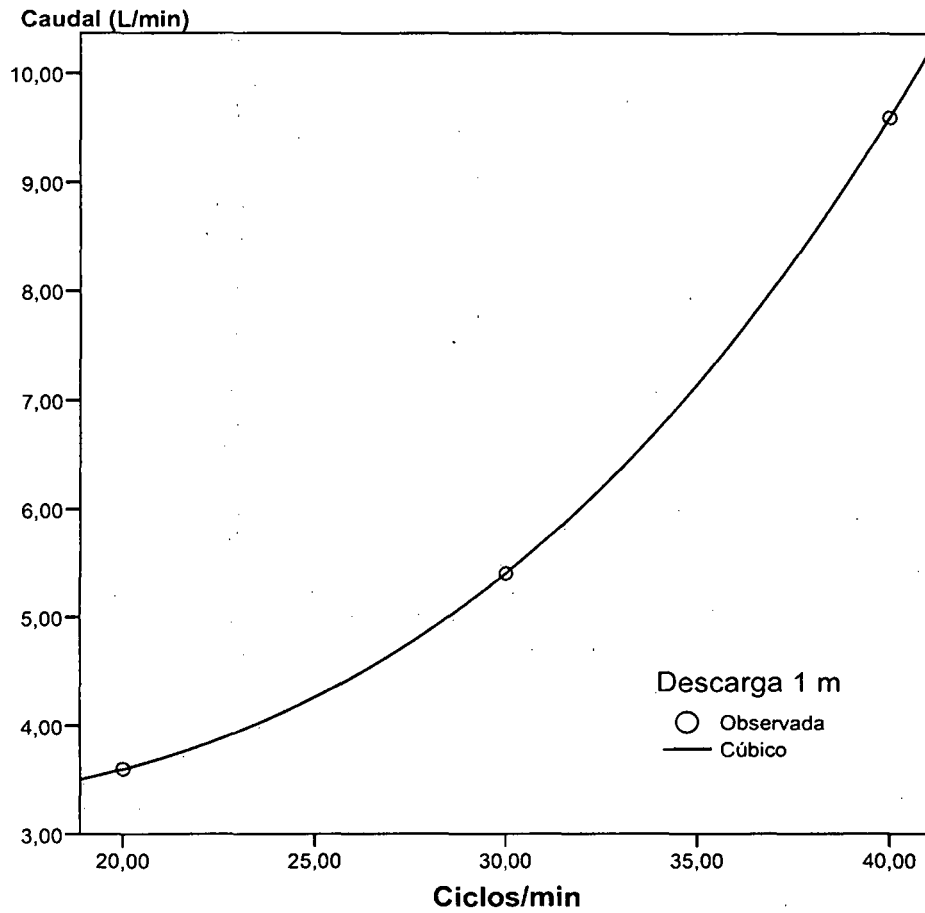


Figura 53 Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

Tabla 134. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 135. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	11,760	2	5,880	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	11,760	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 136. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,427	0,0	1,760	.	.
Ciclos/min ** 3	-6,67E-05	0,0	-0,783	.	.
(Constante)	-3,200	0,0		.	.

Tabla 137. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	0,557	0,0	0,0	0,371	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 2m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -6,67 \times 10^5 c^3 + 0,427c - 3,200.$$

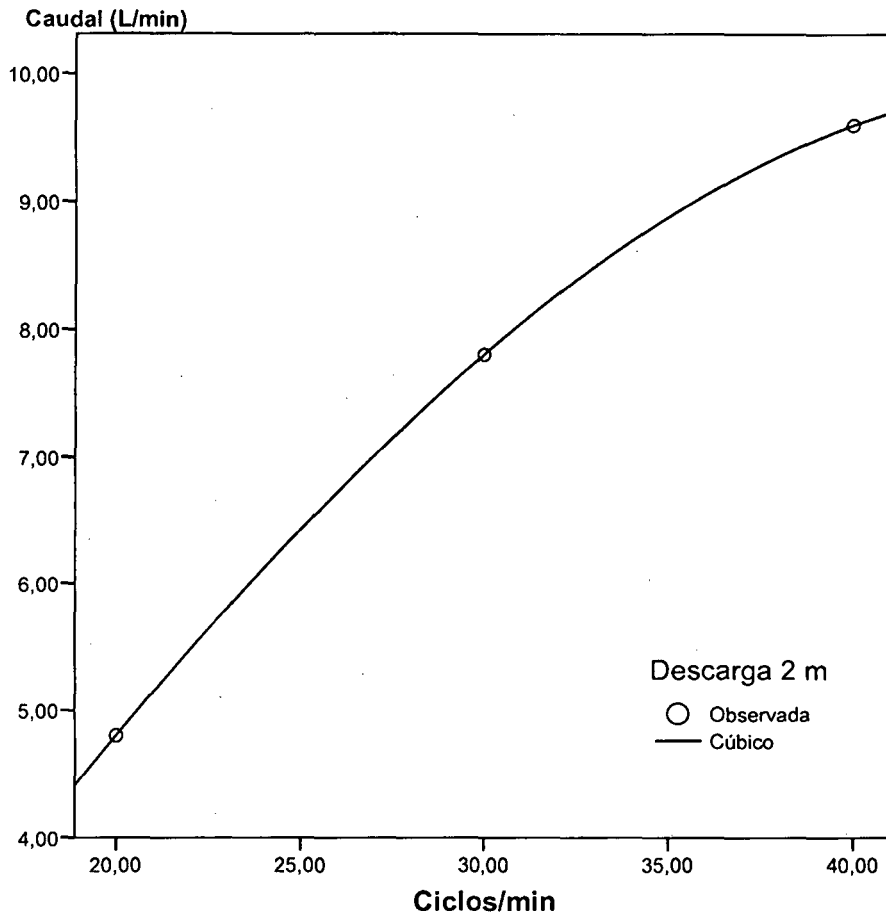


Figura 54. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

Tabla 138. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 139. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	11,760	2	5,880	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	11,760	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 140. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,053	0,000	0,220	.	.
Ciclos/min ** 3	6,67E-005	0,000	0,783	.	.
(Constante)	3,200	0,000		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 3m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = 6,67 \times 10^5 c^3 + 0,053c + 3,200.$$

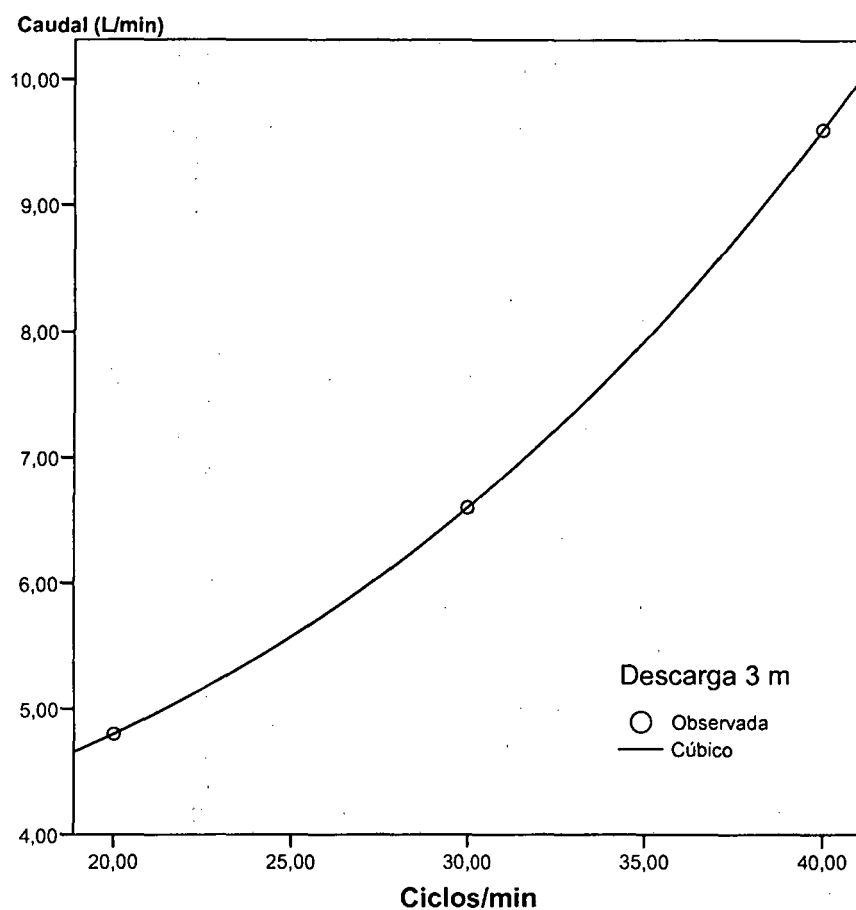


Figura 55. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

Tabla 141. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es ciclos/min.

Tabla 142. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	14,640	2	7,320	.	.
Residual	,000	0	.	.	.
Total	14,640	2			

La variable independiente es ciclos/min.

Tabla 143. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,090	0,000	0,333	.	.
Ciclos/min ** 2	0,003	0,000	0,668	.	.
(Constante)	2,400	0,000		.	.

Tabla 144. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min **3	0,422	0,000	0,000	1,254	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 4m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = 0,003c^2 + 0,090c + 2,400$$

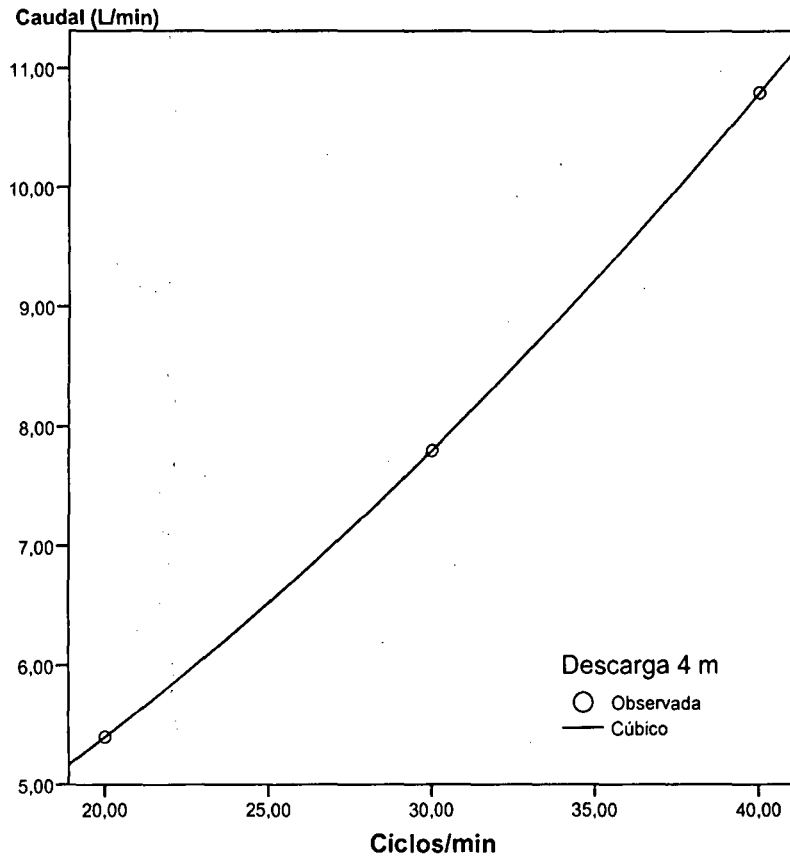


Figura 56. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

Tabla 145. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 146. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	8,880	2	4,440	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	8,880	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 147. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,303	0,000	1,440	.	.
Ciclos/min ** 3	-3,33E-005	0,000	-0,451	.	.
(Constante)	-0,400	0,000		.	.

Tabla 148. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	0,656	0,0	0,0	0,362	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 5m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -3,33 \times 10^{-5} c^3 + 0,303c - 0,400$$

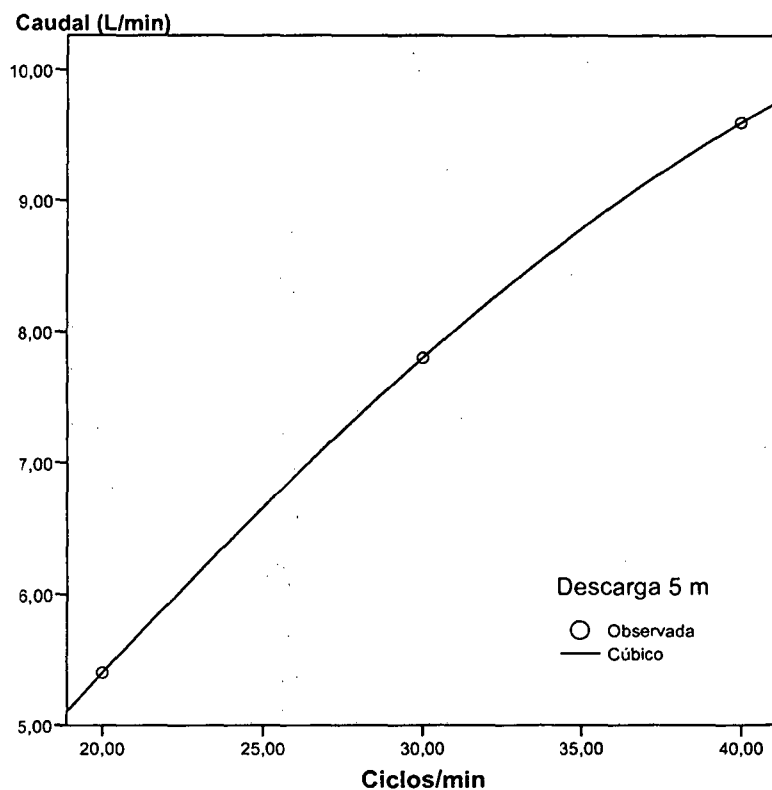


Figura 57. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

Tabla 149. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es ciclos/min.

Tabla 150. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	11,760	2	5,880	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	11,760	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 151. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,427	0,000	1,760	.	.
Ciclos/min ** 3	-6,67E-05	0,000	-0,783	.	.
(Constante)	-3,200	0,000		.	.

Tabla 152. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	0,557	0,000	0,000	0,371	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 6m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -6,67 \times 10^5 c^3 + 0,427c - 3,200$$

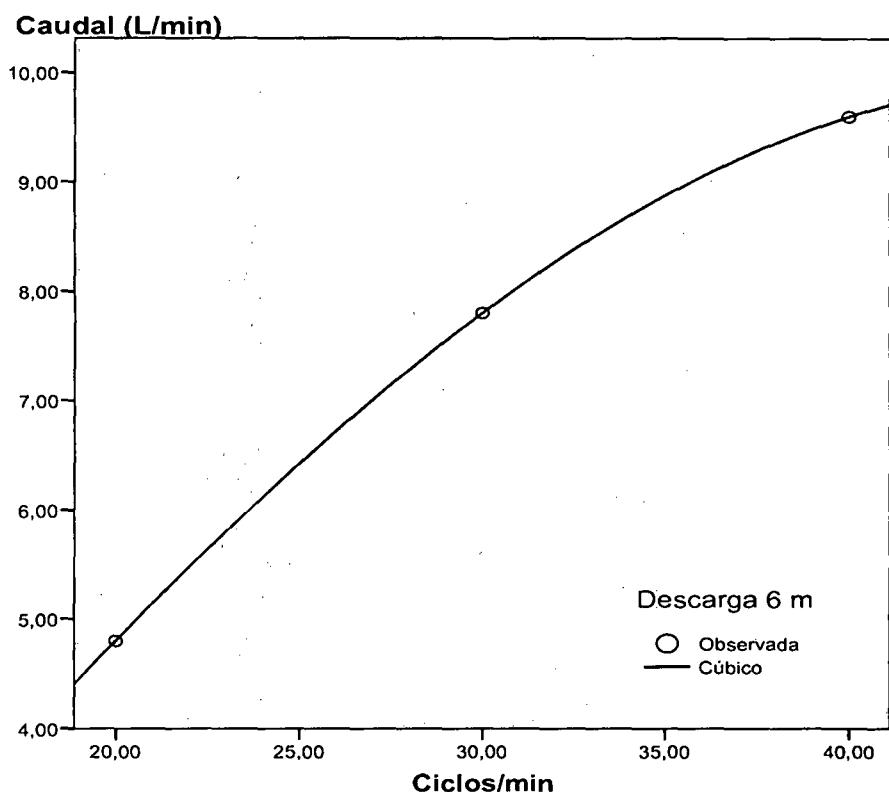


Figura 58. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

Tabla 153. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 154. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	15,707	2	7,853	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	15,707	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 155. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,160	0,000	0,571	.	.
Ciclos/min ** 2	0,002	0,000	0,430	.	.
(Constante)	1,200	0,000		.	.

Tabla 156. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 6m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 3	-0,086	0,000	0,000	-0,563	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 7m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = 0,002c^3 + 0,160c + 1,200$$

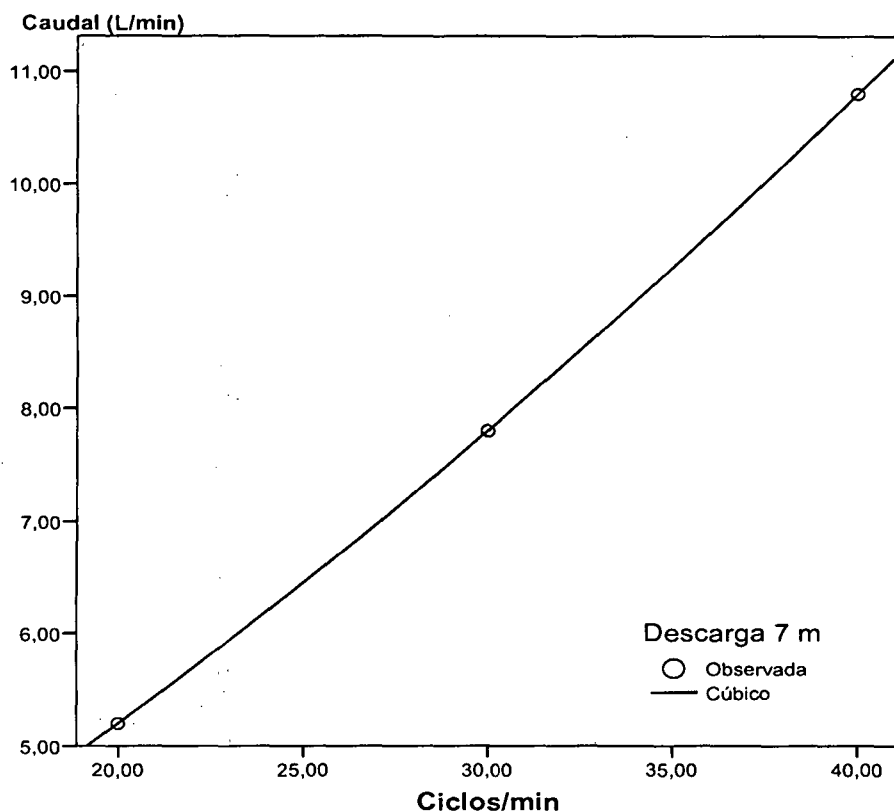


Figura 59. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 7m de altura de descarga.

Tabla 157. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 158. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	4,560	2	2,280	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	4,560	2	.	.	.

La variable independiente es ciclos/min.

Tabla 159. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min ** 2	0,002	0,000	0,783	.	.
Ciclos/min ** 3	1,15E-05	0,000	0,218	.	.
(Constante)	4,523	0,000		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 8m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = 1,15 \times 10^{-5} c^3 + 0,002c + 4,523$$

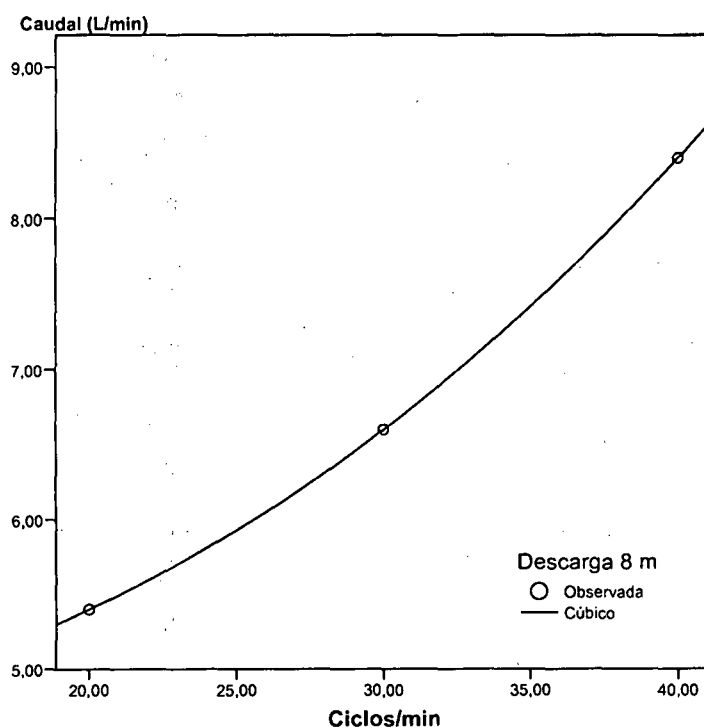


Figura 60. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 8m de altura de descarga.

Tabla 160. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 161. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5,040	2	2,520	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	5,040	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 162. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,430	0,0	2,709	.	.
Ciclos/min ** 3	-1,0E-4	0,0	-1,794	.	.
(Constante)	-2,400	0,0		.	.

Tabla 163. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	2,492	0,0	0,0	0,928	0,0

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 9m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -1,0 \times 10^4 c^3 + 0,430c - 2,400$$

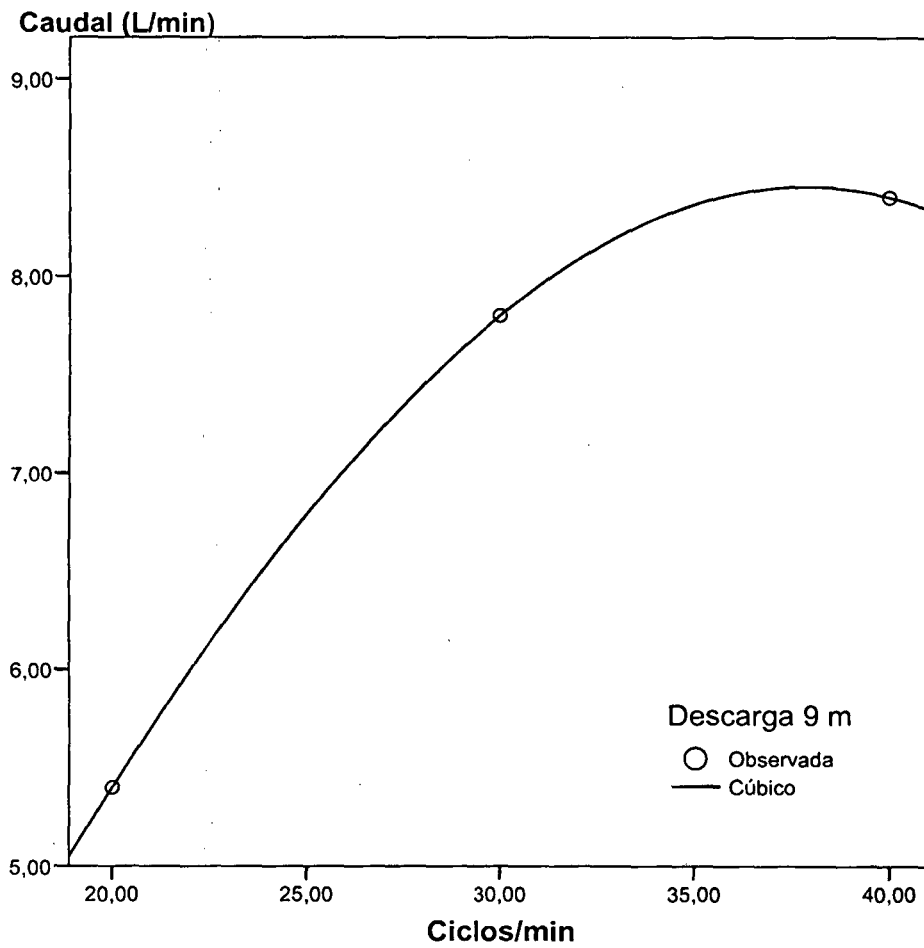


Figura 61. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 9m de altura de descarga.

Tabla 164. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 165. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	9,360	2	4,680	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	9,360	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 166. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	-0,070	0,00	-0,324	.	.
Ciclos/min ** 3	1,00E-4	0,00	1,316	.	.
(Constante)	6,000	0,00		.	.

Tabla 167. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	0,026	0,0	0,0	0,015	0,0

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 10m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = 1,0 \times 10^{-4}c^3 - 0,070c + 6,000$$

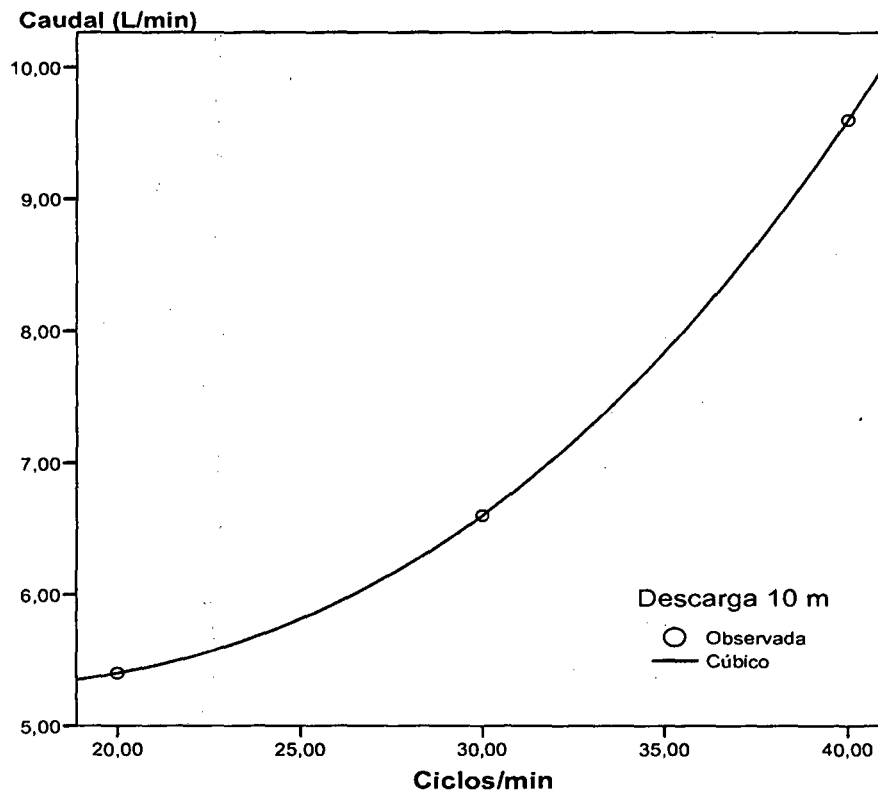


Figura 62 .Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 10m de altura de descarga.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de 1 pulgada

Tabla 168. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,920	0,846	0,770	0,273

La variable independiente es potencia.

Tabla 169. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,468	3	0,823	11,021	0,007
Residual	0,448	6	0,075		
Total	2,916	9			

La variable independiente esPotencia20.

Tabla 170. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia20	929,449	284,263	6,030	3,270	0,017
Potencia20 ** 2	-127853,526	52613,100	-10,854	-2,430	0,051
Potencia20 ** 3	5640060,32	2760936,5	5,685	2,043	0,087
(Constante)	3,083	0,413		7,466	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min.

$$Q = 5640060,32p^3 - 127853,526p^2 + 929,449p + 3,083$$

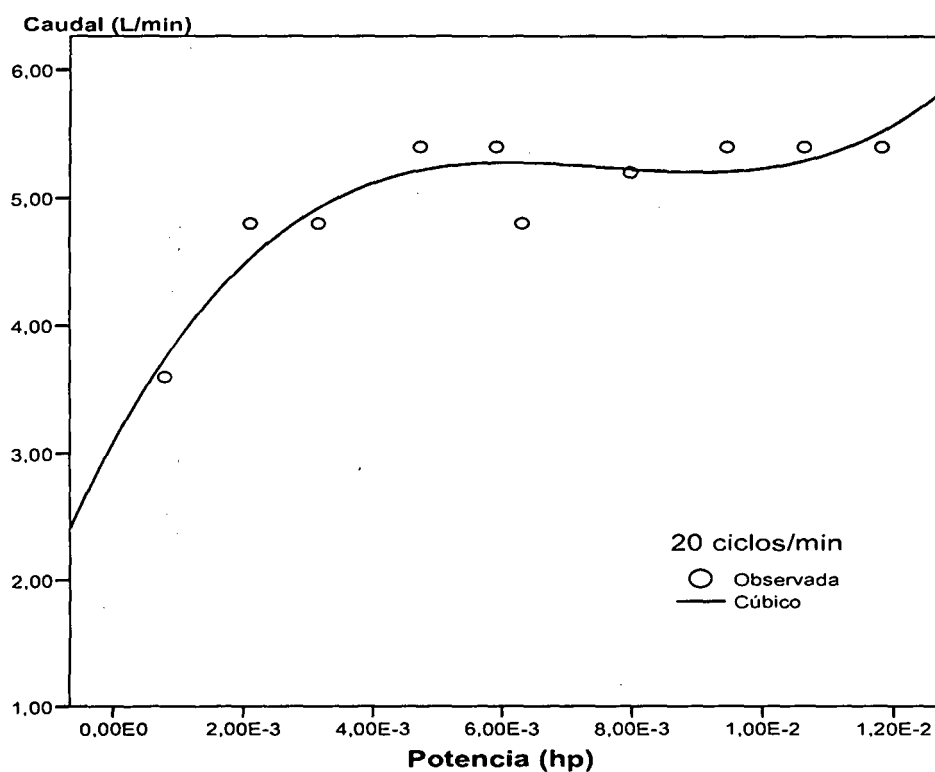


Figura 63. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 20 ciclos/min.

Tabla 171. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,764	0,583	0,375	0,671

La variable independiente es potencia.

Tabla 172. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	3,778	3	1,259	2,797	0,131
Residual	2,702	6	0,450		
Total	6,480	9			

La variable independiente es potencia.

Tabla 173. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia30	1300,5	569,371	7,329	2,284	0,062
Potencia30 ** 2	-144181,3	76925,79	-14,006	-1,874	0,110
Potencia30 ** 3	4775787,4	2997957,2	7,213	1,593	0,162
(Constante)	4,121	1,131		3,644	0,011

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min.

$$Q = 4775787,4p^3 - 144181,3p^2 + 1300,5p + 4,121$$

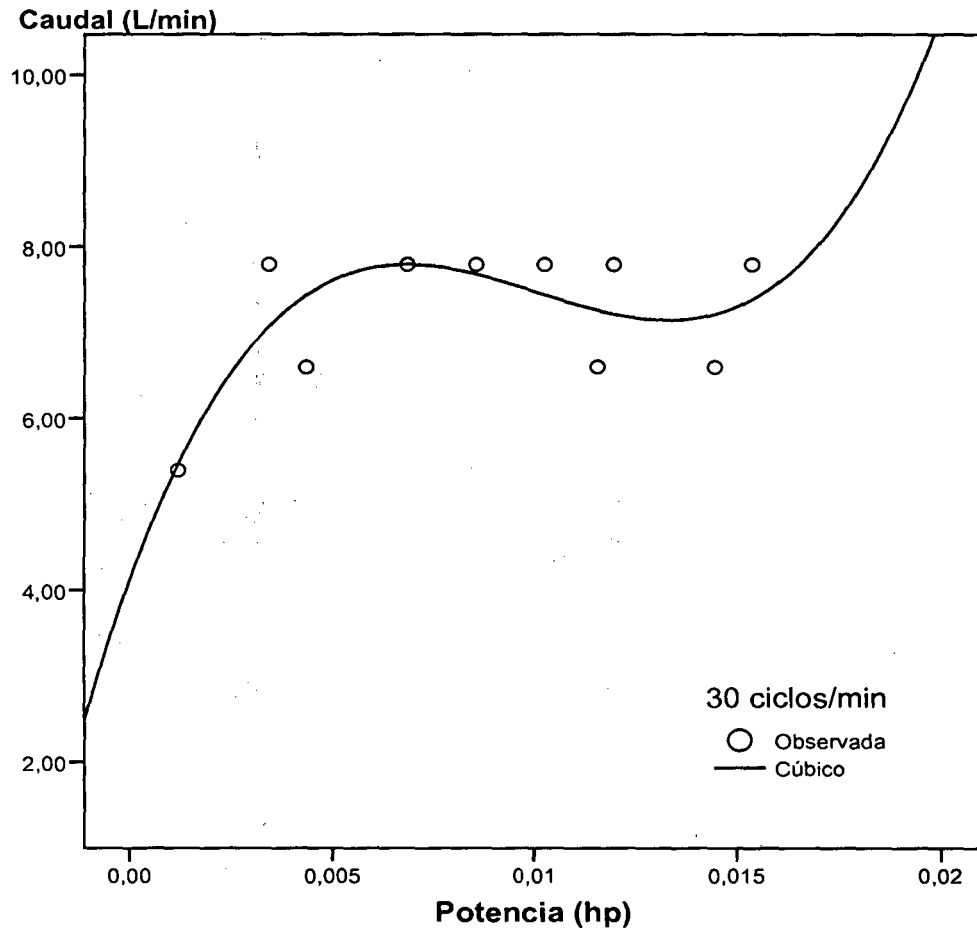


Figura 64. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 30 ciclos/min.

Tabla 174. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,321	0,103	-0,345	0,928

La variable independiente es potencia.

Tabla 175. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,594	3	0,198	0,230	0,872
Residual	5,166	6	0,861		
Total	5,760	9			

La variable independiente es potencia

Tabla 176. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia40	445,5	638,757	3,356	0,697	0,51
Potencia40 ** 2	-45800,6	61828,533	-7,986	-0,741	0,48
Potencia40 ** 3	1274918,4	1742545,62	4,656	0,732	0,49
(Constante)	8,673	1,793		4,838	0,00

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min.

$$Q = 1274918,4p^3 - 45800,6p^2 + 445,5p + 8,673$$

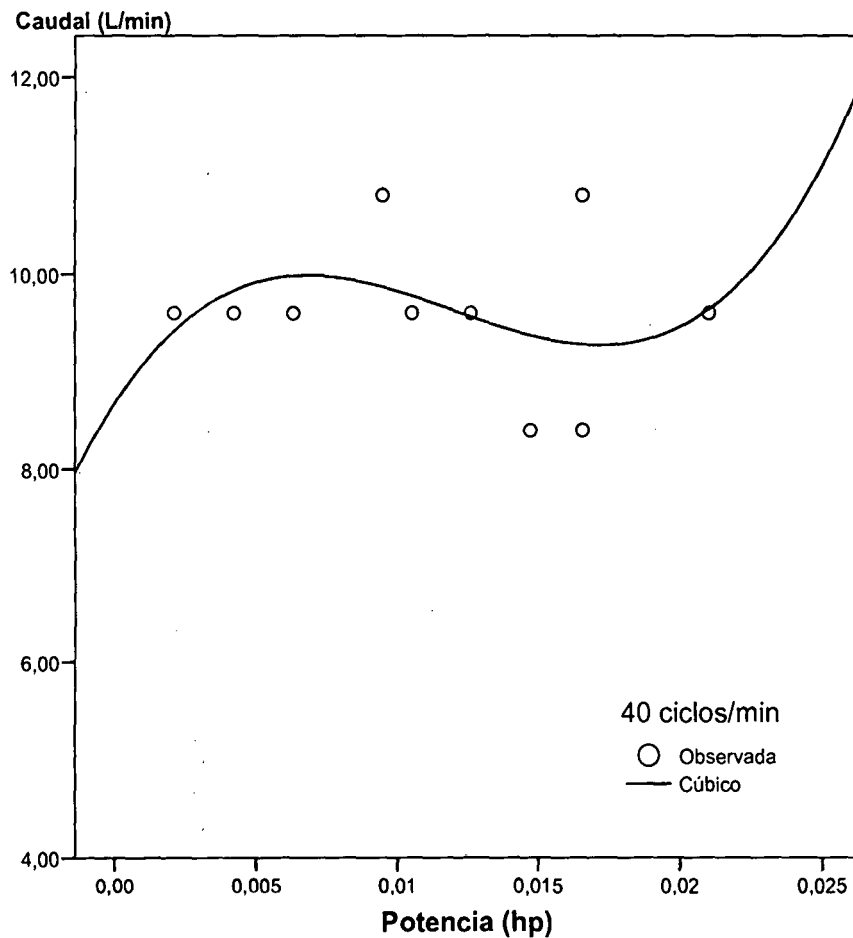


Figura 65. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 40 ciclos/min.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs altura de descarga a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada, y una succión a 5m

Tabla 177. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,955	0,912	0,649	0,023

La variable independiente es altura descarga.

Tabla 178. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,005	3	0,002	3,467	0,371
Residual	0,001	1	0,001		
Total	0,006	4			

La variable independiente es altura descarga.

Tabla 179. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 20 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura Descarga	-0,374	0,146	-15,416	-2,560	0,2
Altura Descarga ** 2	0,140	0,054	35,398	2,590	0,2
Altura Descarga ** 3	-0,016	0,006	-21,047	-2,646	0,2
(Constante)	2,652	0,112		23,739	0,02

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min y succión a 5m, será de la forma:

$$Q = -0,016h^3 + 0,140h^2 - 0,374h + 2,652$$

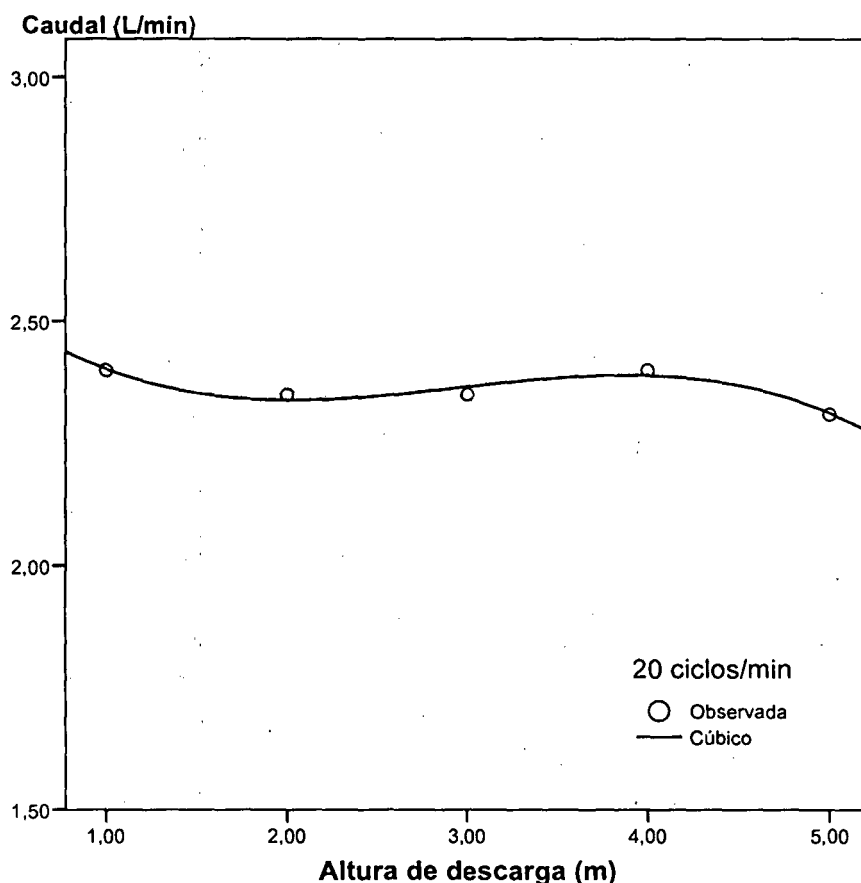


Figura 66. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga, a 20 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada, y una succión a 5m.

Tabla 180. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,777	0,604	-0,582	0,115

La variable independiente es altura descarga.

Tabla 181. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,020	3	0,007	0,509	0,744
Residual	0,013	1	0,013		
Total	0,033	4			

La variable independiente es Altura Descarga.

Tabla 182. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 30 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura descarga	-0,063	0,738	-1,090	-,085	0,946
Altura descarga ** 2	0,017	0,274	1,817	0,06	0,960
Altura descarga ** 3	-9,93E-1	0,030	0,000	0,0	1,000
(Constante)	3,112	0,564		5,513	0,114

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min y succión a 5m, será de la forma:

$$Q = -9,93 \times 10^{-1} h^3 + 0,017 h^2 - 0,063 h + 3,112$$

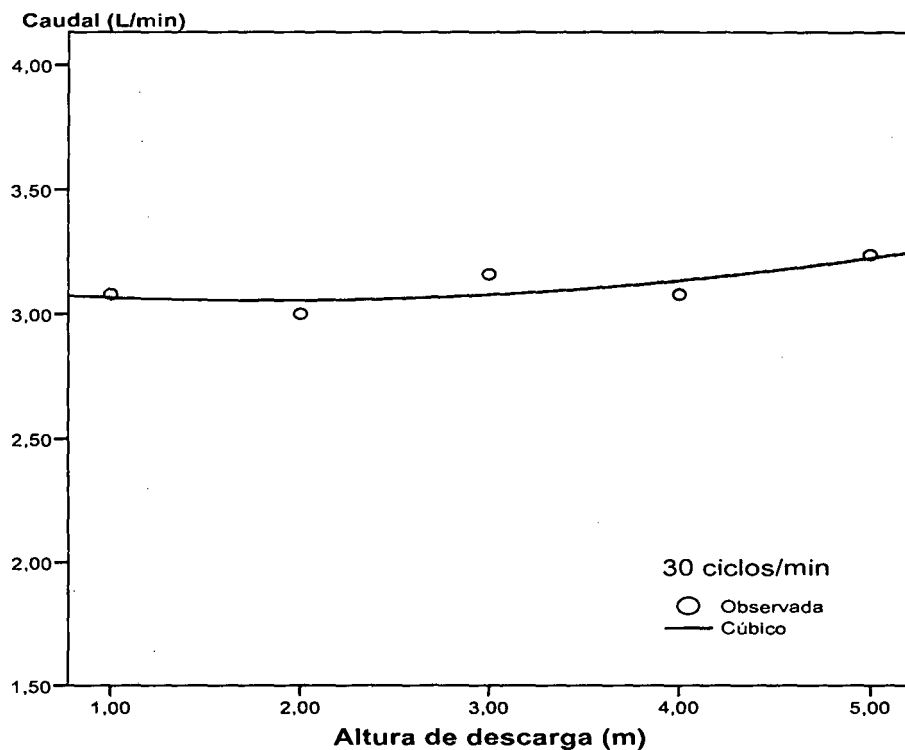


Figura 67. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga, a 30 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada, y una succión a 5m.

Tabla 183. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,815	0,664	-0,343	0,214

La variable independiente es altura de descarga.

Tabla 184. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,091	3	0,030	0,659	0,694
Residual	0,046	1	0,046		
Total	0,136	4			

La variable independiente es altura de descarga.

Tabla 185. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs altura de descarga a 40 ciclos/min.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura Descarga	-0,488	1,376	-4,177	-0,354	0,783
Altura Descarga ** 2	0,193	0,511	10,122	0,378	0,770
Altura Descarga ** 3	-0,019	0,056	-5,292	-0,340	0,791
(Constante)	3,618	1,052		3,438	0,180

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs altura de descarga (h), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 40 ciclos/min y succión a 5m, será de la forma:

$$Q = -0,019h^3 + 0,193h^2 - 0,488h + 3,618$$

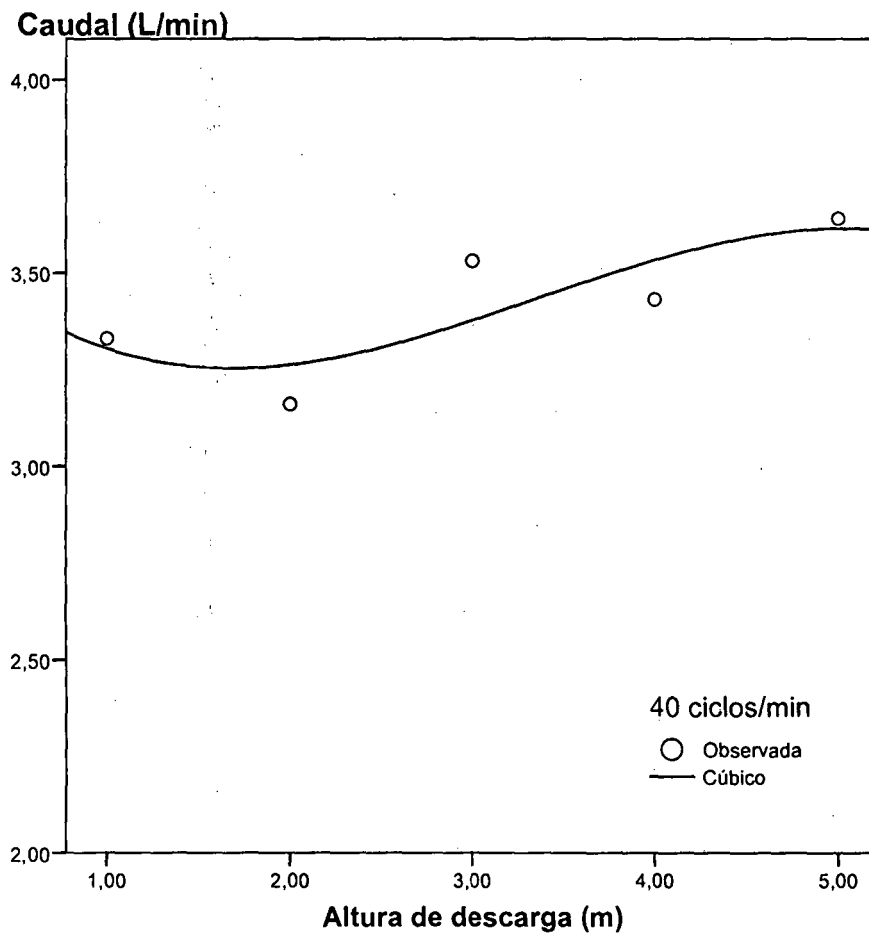


Figura 68. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs altura de descarga, a 40 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada, y una succión a 5m.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs ciclos/min, a diferentes alturas de descarga con tubería de ½ pulgada, y succión a 5m

Tabla 186. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 187. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,463	2	0,232	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	0,463	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 188. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,113	0,000	2,356	.	.
Ciclos/min ** 3	-2,39E-005	0,000	-1,414	.	.
(Constante)	0,323	0,000		.	.

Tabla 189. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	1,574	0,0	0,0	0,548	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 1m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -2,39 \times 10^{-5}c^3 + 0,113c + 0,323.$$

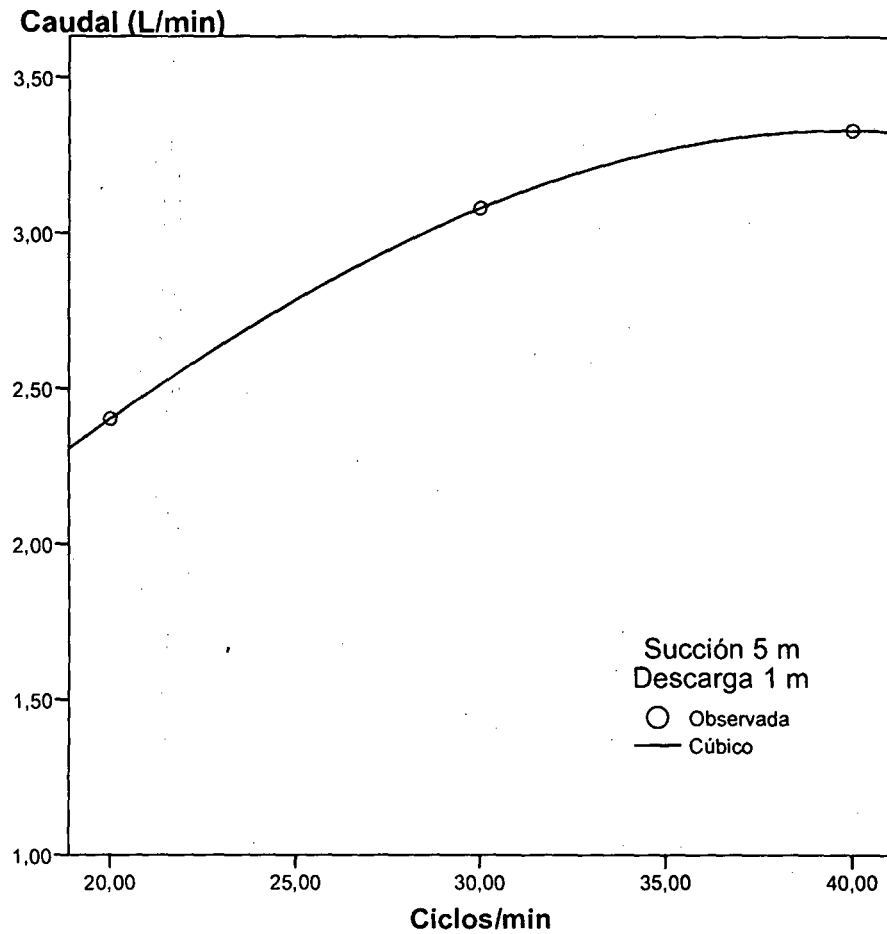


Figura 69. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 1m de altura de descarga, y 5m de profundidad.

Tabla 190. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 191. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,368	2	0,184	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	0,368	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 192. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,117	0,0	2,721	.	.
Ciclos/min ** 3	-2,72E-005	0,0	-1,807	.	.
(Constante)	0,233	0,0		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 2m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -2,72 \times 10^{-5} c^3 + 0,117c + 0,233$$

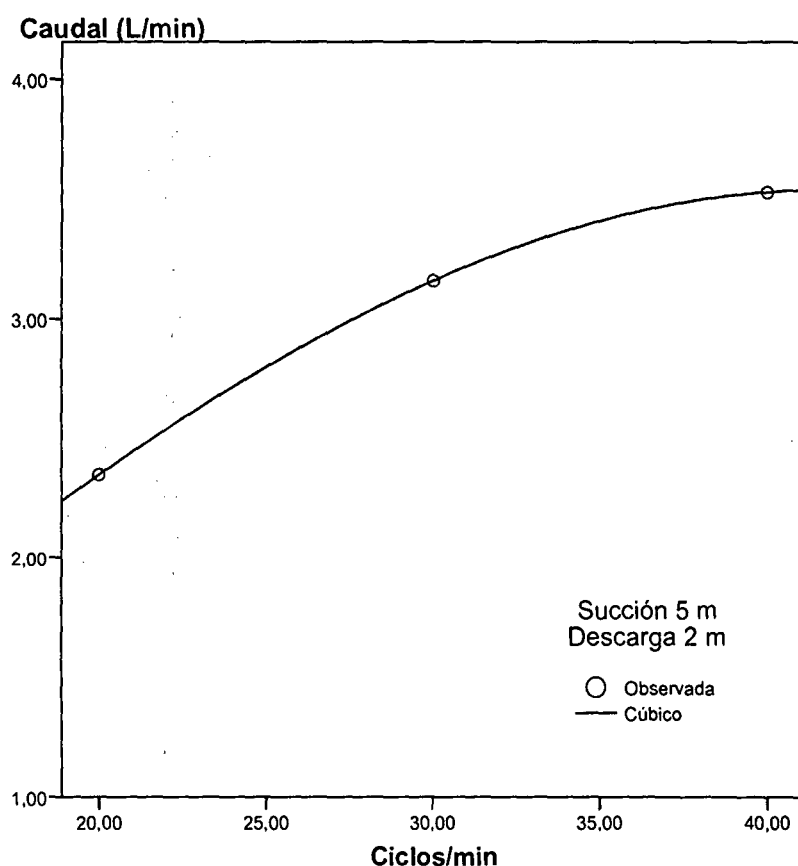


Figura 70. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga, y 5m de profundidad.

Tabla 193. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 194. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,728	2	0,364	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	0,728	2	.	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 195. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 2m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,127	0,000	2,112	.	.
Ciclos/min ** 3	-2,44E-005	0,000	-1,153	.	.
(Constante)	-0,003	0,000		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 2m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -2,44 \times 10^{-05} c^3 + 0,127c - 0,003$$

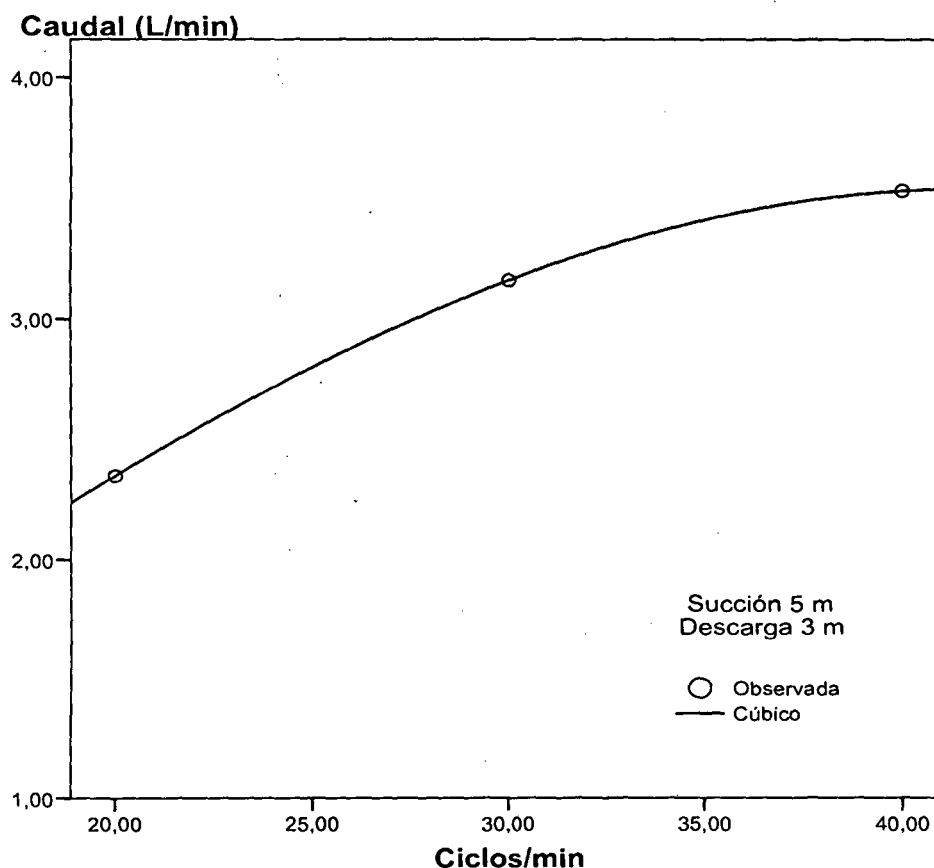


Figura 71. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 3m de altura de descarga, y 5m de profundidad.

Tabla 196. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es ciclos/min.

Tabla 197. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,549	2	0,274	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	0,549	2	.	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 198. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,103	0,0	1,963	.	.
Ciclos/min ** 3	-1,83E-005	0,0	-0,997	.	.
(Constante)	0,490	0,0	.	.	.

Tabla 199. Términos excluidos de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga.

	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Tolerancia mínima
Ciclos/min ** 2	1,443	0,0	0,0	0,740	0,000

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 4m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -1,83 \times 10^{-05} c^3 + 0,103c + 0,490$$

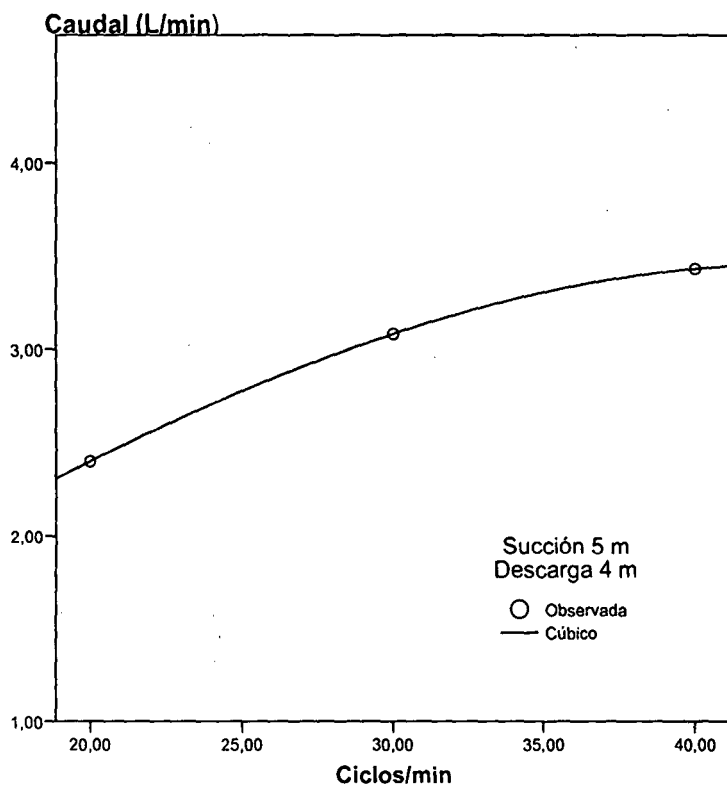


Figura 72. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 4m de altura de descarga, y 5m de profundidad.

Tabla 200. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 201. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,931	2	0,466	.	.
Residual	0,000	0	.	.	.
Total	0,931	2			

La variable independiente es Ciclos/min.

Tabla 202. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Ciclos/min	0,149	0,0	2,183	.	.
Ciclos/min ** 3	-2,94E-005	0,0	-1,229	.	.
(Constante)	-0,433	0,0		.	.

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) vs ciclos/min (c), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 5m de altura de descarga será de la forma:

$$Q = -2,94 \times 10^{-05} c^3 + 0,149c - 0,433$$

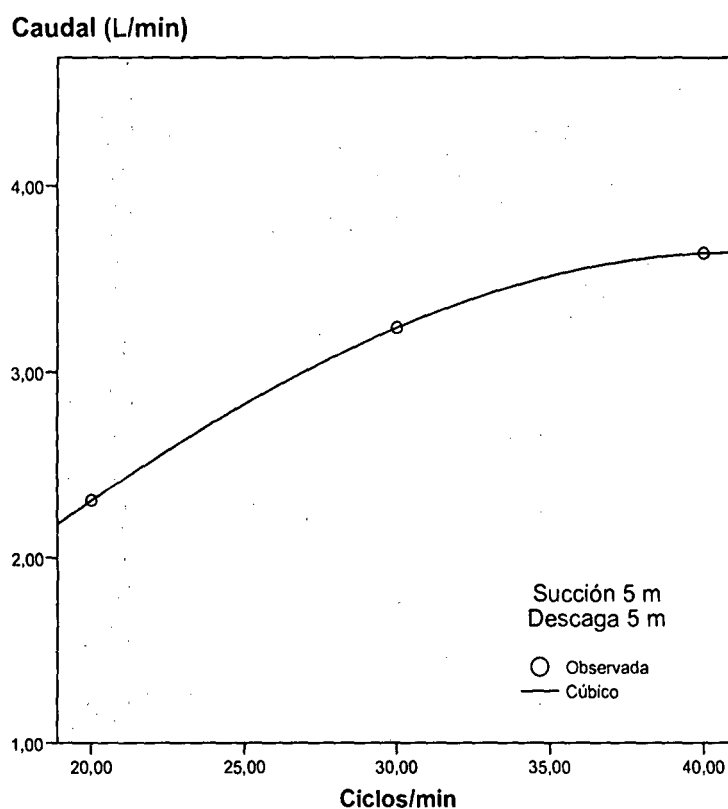


Figura 73. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs ciclos/min, a 5m de altura de descarga, y 5m de profundidad.

Análisis de regresión cúbica con el SPSS del caudal vs potencia a diferentes ciclos/min con tubería de ½ pulgada y una succión a 5m

Tabla 203. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,945	0,894	0,576	0,025

La variable independiente es potencia.

Tabla 204. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,005	3	0,002	2,808	0,407
Residual	0,001	1	0,001		
Total	0,006	4			

La variable independiente es potencia.

Tabla 205. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 20 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia20	-790,737	330,743	-16,582	-2,391	0,252
Potencia20 ** 2	580152,724	240976,619	37,904	2,408	0,251
Potencia20 ** 3 (Constante)	-128199725,4 2,677	524810,05 0,130	-22,333	-2,443 20,593	0,247 0,031

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 20 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada y una succión a 5m

$$Q = -128199725,4p^3 + 580152,724p^2 - 790,737p + 2,677$$

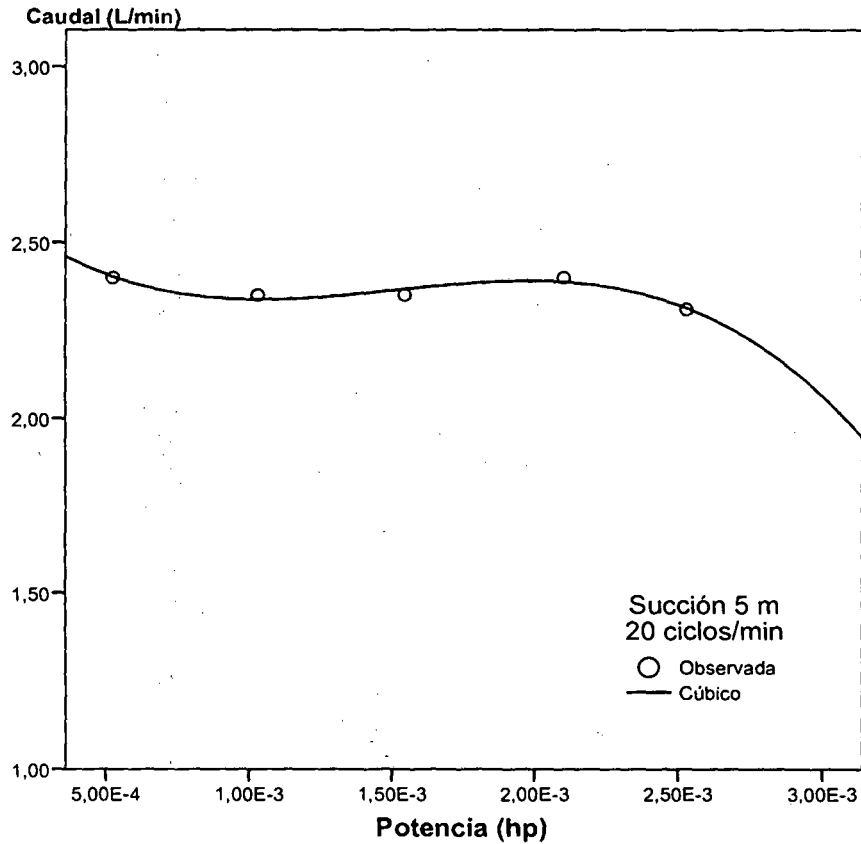


Figura 74 . Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 20 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada y una succión a 5m

Tabla 206. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,799	0,639	-0,444	0,110

La variable independiente es Potencia30.

Tabla 207. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,021	3	0,007	0,590	0,716
Residual	0,012	1	0,012		
Total	0,033	4			

La variable independiente es Potencia30.

Tabla 208. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 30 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Potencia30	-130,079	973,997	-1,610	-0,134	0,915
Potencia30 ** 2	62228,651	514035,78	3,312	0,121	0,923
Potencia30 ** 3	-4871495,698	8015544,3	-0,969	-0,061	0,961
(Constante)	3,126	0,518		6,039	0,104

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 30 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada y una succión a 5m

$$Q = -4871495,698p^3 + 62228,651p^2 - 130,079p + 3,126$$

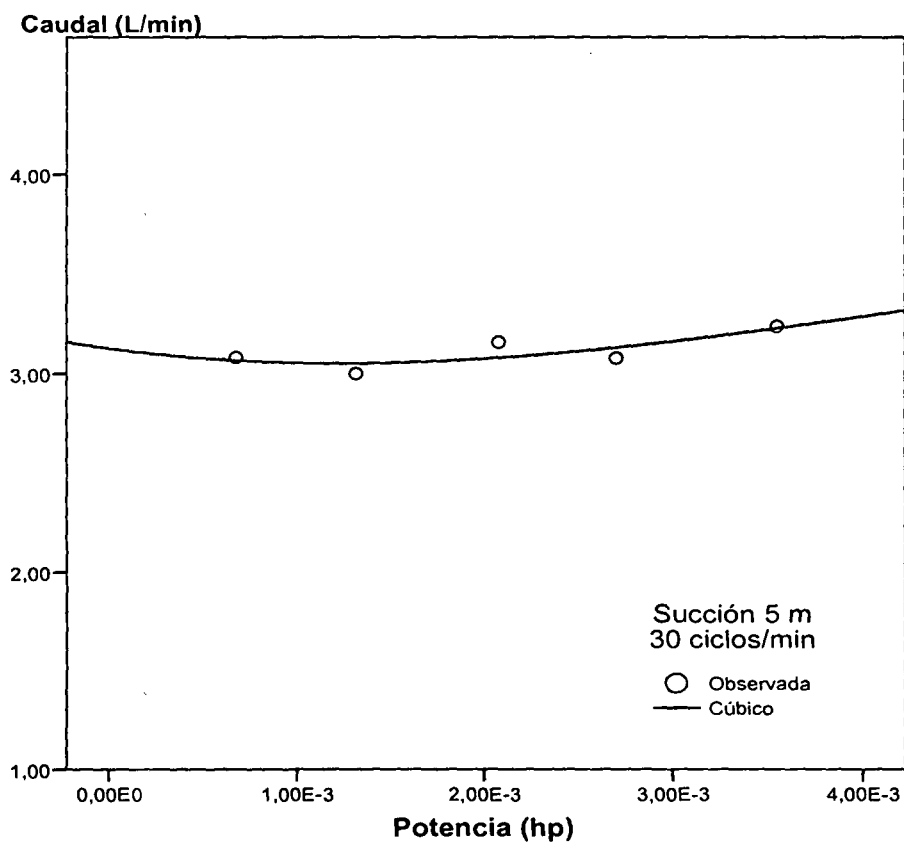


Figura 75. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 30 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada y una succión a 5m

Tabla 209. Resumen del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,839	0,704	-0,182	0,201

La variable independiente es Potencia40.

Tabla 210. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,096	3	0,032	0,794	0,656
Residual	0,040	1	0,040		
Total	0,136	4			

La variable independiente es Potencia40.

Tabla 211. Coeficientes de la ecuación cúbica del caudal vs potencia a 40 ciclos/min

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizado s	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
Potencia40	-585,606	1562,974	-4,089	-0,375	0,772
Potencia40 ** 2	311323,4	737732,7	10,413	0,422	0,746
Potencia40 ** 3	-405079,7	0,279	-5,665	-0,395	0,761
(Constante)	3,576	0,919		3,892	0,160

La ecuación de la línea cúbica del caudal (Q) potencia (p), para el funcionamiento de la bomba volumétrica manual a 40 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada y una succión a 5m

$$Q = -405079,7p^3 + 311323,4p^2 - 585,606p + 3,576$$

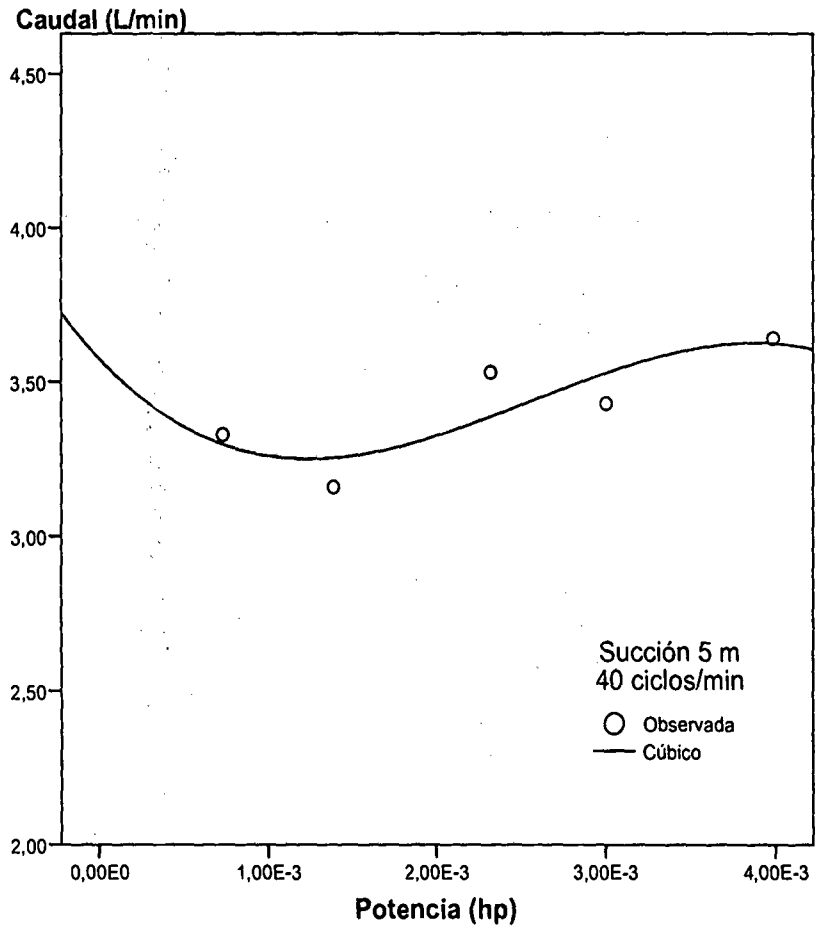
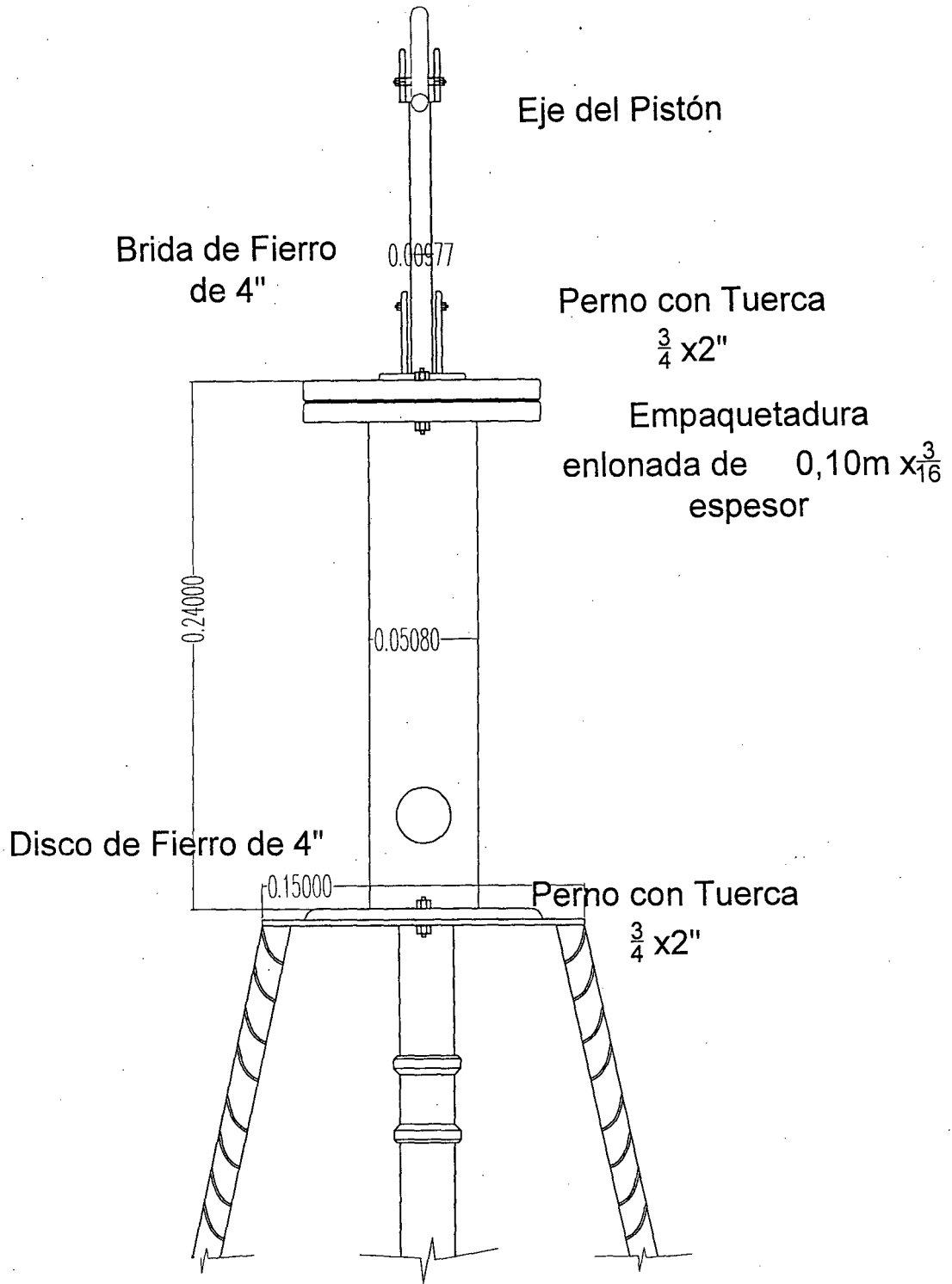


Figura 76. Representación de los datos experimentales observados (o) y de la línea cúbica (-.-) generada por el SPSS para el caudal vs potencia, a 40 ciclos/min, con tubería de ½ pulgada y una succión a 5m

ANEXO 4

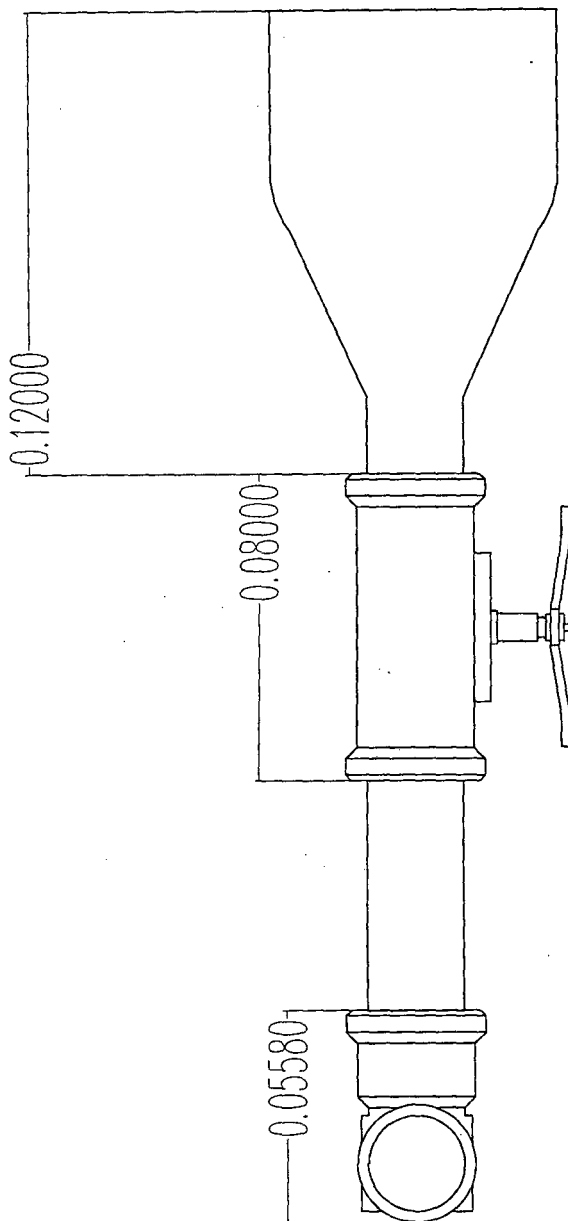
Planos de la bomba volumétrica manual de 200 mL



CORTE A-A
SECCIÓN - A

BOMBA VOLUMÉTRICA MANUAL DE 200 ml UNTRM - AMAZONAS

UBICACIÓN LABORATORIO DE INGENIERÍA - UNTRM		PLANO ELEVACIÓN FRONTAL		DIBUJO JCAD		E-1
DISTRITO CHACHAPOYAS	PROVINCIA CHACHAPOYAS	AUTOR WILINTON ACUÑA URIARTE	ASESOR Dr.MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLON	LÁMINA 02	ESCALA 1/3	



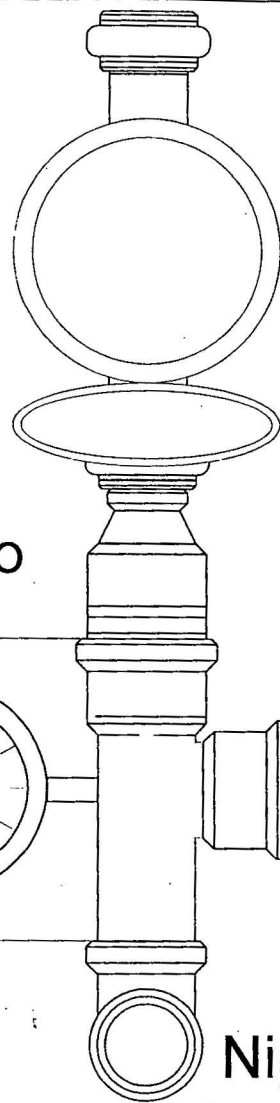
Reducción
de PVC de
2" a 1/2"

Eje del Piston

Niple
Galvanizado
de 1"

CORTE B-B
SECCION - B

PROYECTO BOMBA VOLUMÉTRICA MANUAL DE 200 ml UNTRM - AMAZONAS						
UBICACIÓN LABORATORIO DE INGENIERIA - UNTRM			PLANO ELEVACIÓN LATERAL		DIBUJO JCAD	
DISTRITO CHACHAPOYAS	PROVINCIA CHACHAPOYAS	AUTOR WILINTON ACUÑA URIARTE	ASESOR Dr.MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLON	LÁMINA 03	ESCALA 1/2	E-2



Medidor
de
volumen

CORTE C-C
SECCIÓN - C

Manómetro

Reducción de
PVC de 1" a $\frac{3}{4}$ "

Check de bronce
Horizontal de 1"

1.5

0.08000

0.06000

Niple
Galvanizado
de 1"

Codo de Fierro
Galvanizado

PROYECTO						BOMBA VOLUMÉTRICA MANUAL DE 200 ml UNTRM - AMAZONAS		
UBICACIÓN			PLANO		DIBUJO			
LABORATORIO DE INGENIERÍA - UNTRM			VISTA FRONTAL ACOPLE		JCAD			
DISTRITO	PROVINCIA	AUTOR	ASESOR	LÁMINA	ESCALA			
CHACHAPOYAS	CHACHAPOYAS	WILINTON ACUÑA URIARTE	Dr.MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLON	04	1/2			

E-3