

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD ENSENADA**



MAESTRÍA EN INGENIERÍA

TESIS

**Análisis de estaciones de bombeo para agua potable mediante el
uso de bombas centrífugas utilizando variadores de velocidad
eléctricos**

Rodolfo Vásquez Espinoza

M.I. José Gustavo Morales Nava
Director de tesis

Ensenada Baja California, México, octubre de 2008

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a mis padres, a mis hermanos y mi novia, por todo el apoyo que dieron para salir adelante

A todos mis amigos y compañeros de trabajo muy en especial a el Ing. Elias Gonzalez y A toda la familia Morales Soto por su valioso apoyo que me brindaron.

Agradecer muy es especial a mi tío Miguel Angel Vasquez (q.e.p.d), por todo el apoyo y enseñanza que de dió.

ÍNDICE

Capítulo	Página
Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	6
1.3 Justificación	6
 1 Estado del arte	 8
1.1 Revisión bibliográfica y consultas	8
 2 Análisis de la información.....	 20
2.1 Presión y carga hidráulica	20
2.2 Potencia.....	21
2.3 Perdidas de carga hidráulica o energía	21
2.4 Comportamiento de bombas centrífugas	23
2.4.1 Curvas características	23
2.4.2 Curvas de carga contra flujo	24
2.4.3 Curvas de eficiencia contra flujo	24
2.4.4 Curvas de potencia con flujo	25
2.4.5 Leyes de afinidad	25
 3 Cálculo Hidráulico	 28
3.1 Cálculo hidráulico de bombas centrífugas.....	28
3.2 Caso 1 (longitud de línea de conducción 1500mts	32
3.2 Caso 2 (longitud de la línea de conducción de 2000 mts	42

ÍNDICE

Capítulo	Página
4 Análisis de costos	49
4.1 Caso 1	49
4.2 Caso 2	52
5 Conclusiones	55
5.1 Conclusiones del funcionamiento.....	55
5.2 Conclusiones en cuanto a costos	56
5.3 Conclusiones generales	56
Bibliografía	58

INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes

Baja California es un estado joven y en pleno desarrollo y con un gran potencial en riquezas naturales, alcances tecnológicos logrados en los últimos tiempos, con un gran futuro y se le considera como uno de los mas productivos a nivel nacional. Sin embargo, tenemos problemas de escases de agua en casi todo el territorio [7].



Figura 1.- Ubicación

El agua es parte esencial del medio ambiente y resulta imprescindible para el buen funcionamiento de la biósfera; también es importante para todos los sectores, ya que el desarrollo socioeconómico es sencillamente imposible si no existe un abastecimiento de agua seguro y estable.

La carestía del agua es un fenómeno que se presenta a nivel mundial. Baja California no es la excepción. Por tal motivo y debido a esa condición limitante, esta Administración continúa realizando el mayor esfuerzo para estar a la vanguardia mediante la utilización de los mejores recursos humanos, tecnológicos y materiales, a efecto de optimizar el abastecimiento y uso de este elemento.

El dinamismo económico, el crecimiento poblacional y la migración, son factores que generan problemas de disponibilidad en el servicio de agua potable a nivel estatal. En ese sentido, se realizaron acciones para abastecer a las ciudades en los próximos años, a través de estudios y anteproyectos de nuevas fuentes de abastecimiento que mantengan los porcentajes actuales de cobertura y la posibilidad de lograr un incremento en ellos. [8])

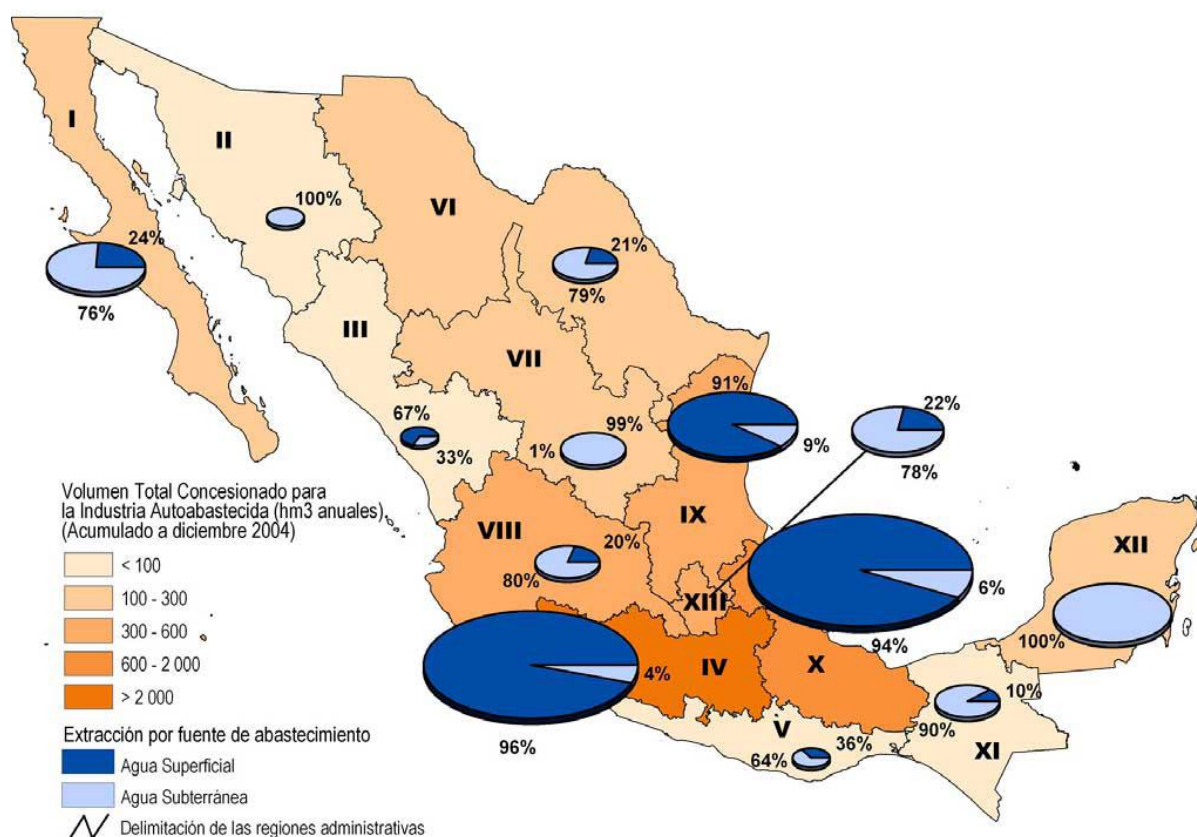


Figura 2 .- Porcentajes de fuentes de abastecimiento.

Como se aprecia en la figura 2 en Baja California la fuentes de abastecimiento son del 76% por extracción de aguas subterráneas, las cuales para su extracción requieren de equipos de bombeo al igual que para salvar los accidentes topográficos y así llevar el agua a las poblaciones. Este bombeo por ende, consume energía conjunto con la escasez de agua impacta en su abastecimiento de agua.

El progreso y la evolución de la humanidad se ha visto marcado por descubrimientos fundamentales que han cambiado la forma de vida de los hombres; pero ninguno, aparte de la escritura, ha influido más que el de la **ENERGÍA ELÉCTRICA** y sus usos prácticos. Su importancia radica en su amplia contribución al mejoramiento en la calidad de vida de la sociedad, su influencia en el logro de las aspiraciones económicas y su impacto en los equilibrios ambientales [9].

En los últimos años se ha visto una particular tendencia a promover el uso racional del agua y la energía eléctrica, en virtud del constante incremento de la población a beneficiar, la disminución de precipitaciones pluviales, que ha provocado en el abatimiento de los niveles freáticos, la sobreexplotación y contaminación de los mantos, lo cual nos lleva a definir lo anterior como una situación de crisis energética e hidráulica.

En términos generales se puede decir que el tema del ahorro de la energía eléctrica en el bombeo de agua potable, está relacionado de forma muy estrecha con todas las acciones referentes a estudios de acuíferos, rehabilitación de cuencas, recuperación de agua, catastros de redes, padrón de usuarios, estudios tarifarios y difusión cultural, donde la aplicación de sus medidas para el ahorro del agua aportan beneficios que se suman directamente al ahorro de energía eléctrica en el bombeo para agua potable.

Lo que hace indicar que basándose en esta premisa, se considera importante implementar programas estratégicos encaminados a cumplir con estos objetivos, ya que el porcentaje estimado que se puede obtener con acciones específicas al ahorro de energía eléctrica que se aplica al servicio de bombeo es aproximadamente del 20% en promedio. [10]

El suministro de energía es el concepto mas importante en los presupuestos de operación de las empresas de agua y saneamiento en México. Su porcentaje representa aproximadamente el 40% del total de la operación [11].

Para satisfacer la demanda de agua potable de la población se requiere de un alto consumo de energía eléctrica, la cual día con día es mas costosa; esto obliga a los organismos operadores a hacer un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica [11].

Hay dos grandes líneas que siguen los sistemas de agua potable y saneamiento del país [11]:

- a) La promoción del uso eficiente del agua entre los ciudadanos y
- b) La optimización del consumo de la energía eléctrica en la prestación de los servicios.

Desde siempre, el uso imprescindible del agua y la necesidad imperante de obtenerla, le ha dado al hombre, desde las antiguas civilizaciones, motivos suficientes para buscarla y así, lograr su propia supervivencia. Por tal motivo y por naturaleza, nuestros ancestros solían asentarse al lado de ríos o lagos como muestra clara de que el agua representaba un recurso de gran necesidad para el desarrollo de sus actividades cotidianas. Sin embargo, las cada vez más frecuentes concentraciones humanas y los incrementos de consumos, obligaron a la gran mayoría de los administradores hidráulicos a realizar un cambio conceptual fundamental: se debían encontrar fuentes de agua y conducir las hasta los usuarios. Con base en lo anterior, la

gestión de tan preciado líquido centraba sus esfuerzos en un nuevo tema, la oferta de agua. Así, los proyectos y obras se enfocaron a la obtención de nuevas fuentes de abastecimiento para poder satisfacer la demanda creciente del líquido [12].

Con el crecimiento poblacional de las ciudades, nuevos retos se tenían que enfrentar; por un lado la necesidad de tener numerosas fuentes de abastecimiento para dotar del servicio de agua potable a la población y, por otro lado, la sobre explotación de los acuíferos mermaba la capacidad de producción de las fuentes que se encontraban en operación. Los altos costos de infraestructura, y las relativas limitaciones de oferta de agua por cuestiones físicas y ecológicas, provocan la necesidad de llevar a cabo otro cambio conceptual en la gestión de los recursos hidráulicos: enfocar los esfuerzos en la disminución de la demanda del agua mediante el desarrollo sustentable de las poblaciones. Partiendo de lo anterior, surgen nuevos retos e inquietudes de interés mundial para reciclar y eficientar la utilización del agua [12].

Ante la problemática descrita, desde hace más de 20 años, visionarios profesionistas especializados en hidráulica, se han preocupado por estudiar metodologías para evaluar las **pérdidas de agua** [12].

1.2 Objetivos.

El propósito principal de esta tesis es el análisis de estaciones de bombeo para agua potable, mediante el uso de bombas centrifugas de velocidad variable, utilizando variadores eléctricos para optimizar su funcionamiento hidráulico y economizar energía.

- Establecer la situación actual del estado del arte para el comportamiento de los equipos de bombeo centrífugos de velocidad variable.
- Realizar análisis del comportamiento hidráulico de las estaciones de bombeo con bombas centrifugas de velocidad variable y con bombas centrifugas de velocidad fija
- Realizar análisis del comportamiento del consumo de energía en las estaciones de bombeo con bombas centrifugas de velocidad variable y con bombas de centrífugas de velocidad fija .
- Realizar análisis del costo de los equipos de velocidad variable y de los de velocidad fija.
- Evaluar los resultados obtenidos y establecer criterios de optimización del sistema.

1.3 Justificación

Dado que la topografía e hidrología no son favorables para las ciudades de la costa del Pacífico y la parte alta de Estado de Baja California, se requiere conducir el agua desde sitios lejanos como del Río Colorado, del subsuelo mediante pozo, o de presas y una vez salida del tratamiento de potabilización hacerla llegar a los centros de población o a

tanques de almacenamiento y en la mayoría de los casos se requiere el uso de bombas, impactando esto a su vez en altos costos de energía y mantenimiento, creando la necesidad de eficientar los sistemas de bombeo los cuales forman en algunos casos parte vital de las líneas de conducción. Aunado a lo anterior, mala distribución y los altos índices de pérdidas de agua en el país y en el estado se establece la necesidad de eficientar los sistemas de bombeo.

Bajo esta perspectiva resulta claro que el objetivo de esta tesis es ver si las **estaciones de bombeo para agua potable mediante el uso de bombas centrifugas utilizando variadores de velocidad eléctricos** tienen un ahorro de energía que resulte viable para el organismo, así mismo mejorar el comportamiento hidráulico en las redes de la ciudad con presiones hidráulicas mas constantes y ver la posibilidad de disminuir las pérdidas por fracturas en las tuberías.

CAPÍTULO 1 ESTADO DEL ARTE

1.1 Revisión bibliográficas y consultas.

Mediante revisiones bibliográficas actualizadas y visitas de obra a sistemas de bombeo se obtuvo información verbal y gráfica de mucho valor para el presente trabajo.

1- ENERGIA (Optimización de la altura manométrica de la bomba y ahorro energético)[13].-

Algunos consultores están utilizando válvulas de dos vías para controlar los gastos y cargas, aunque las bombas de velocidad variable han dado un paso mas allá y cuyas ventajas son aceptadas por la mayoría de los ingeniero en la actualidad. En la práctica en ocasiones no se obtienen los resultados esperados de la bombas de velocidad variable ya que en muchas veces se desconoce el diseño o comportamiento hidráulico de las redes de distribución a las cuales se conecta dicha bomba. Es necesario encontrar el equilibrio de la red hidráulicas y la bomba de velocidad variable, actualmente existen métodos modernos que pueden ayudar con éxito.

Se ha demostrado que al equilibrar la red hidráulica puede obtenerse hasta una reducción del 20% de los costos.

El ahorro de energía se presenta al reducir el caudal ya que el costo de bombeo es directamente proporcional al producto del caudal por la altura manométrica. Siendo posible reducir el caudal a carga parcial, siendo así un ahorro directo de energía.

Cuando el caudal disminuye por el cierre de válvulas en la línea la bomba de velocidad variable bajará su velocidad para mantener una altura manométrica constante, esto depende de donde se coloque el sensor de presión que interactúa con la bomba.

2).- Mejoramiento de operación de los sistemas de distribución de agua usando bombas de velocidad variable) [14].

Las bombas de velocidad variable están incrementando su uso más comúnmente en la industria de la distribución de agua, remplazando a las bombas de velocidad fija convencionales. El principal beneficio es la reducción en el consumo de energía existen otras ventajas, incluyendo las reducciones de fugas [14].

Beneficios potenciales de las bombas de velocidad variable:

Los sistemas de distribución están formados por muchos arreglos y combinaciones de tuberías y bombas de diferentes tamaños que pueden estar conectadas ya sea en serie o en paralelo o la combinación de ambas, ya que en un sistema de bombas con número fijo de las mismas y velocidad constante requiere de válvulas para controlar el flujo y presión[14].

En el uso de bombas de velocidad constante para operar sistemas de distribución de agua, en ocasiones se tiene presiones significativamente más altas de lo requerido y con ello se excede de lo indicado en las especificaciones. Para mantener los requerimiento de presión se necesita operar con válvulas en condiciones que estrangule el gasto, lo cual daría una pérdidas de energía innecesarias [14].

.

El uso de bombas equipadas con manejadores de Frecuencia Variable, proveen potencial para mejoras significantes en la eficiencia de operación de un sistema de distribución de agua, acompañados por ahorro de energía y costo [14].

Usando bombas de velocidad variable se pueden obtener resultados más precisos y eficaces, que si se usan bombas de velocidad fija. En conexiones con varias bombas de velocidad fija

se tiene cierta maniobrabilidad del sistema, sin tener que usar la válvulas de estrangulamiento del flujo [14].

En estudios hechos en sistemas de bombeo de petróleo y productos químicos, muestran una reducción de la entrada de potencia de alrededor del 50% siendo esto posible usando bombas de velocidad variable. Basándose en el ciclo de trabajo de las bombas, se obtuvo una reducción del 47% del consumo de energía anual usando bombas de velocidad variable, acompañado de una reducción de costos, los ahorros potenciales de energía y asociados a costos a través del uso de bombas de velocidad variable en la industria del suministro de agua son también altas. Frecuentemente una alta porción de las utilidades en el servicio de agua son gastadas en energía eléctrica. Se ha estimado que del 7 al 10% de la generada en Estados Unidos es usada para la distribución de aguas [14].

La suma de los beneficios económicos obvios y el mejor manejo del sistema hidráulicos que existen al usar variadores de frecuencia proporciona la siguiente ventajas:

1. - *La presión puede mantenerse muy cerca de los niveles mínimos requeridos.*
2. – *Las pérdidas de agua por fugas, las cuales están directamente relacionadas a la presión serán minimizadas al mantenerse baja.*
3. - *La operación de la bomba puede ser fácilmente controlada y usada más tiempo y se puede eliminar los picos de bombeo resultando ahorro de costos.*
4. *Los flujos en los tanque al llenarse y vaciarse, pueden ser controlados para mantener la calidad del agua.*
5. *Una mejor respuesta a situaciones anormales, como demandas de agua por incendios, cortes de líneas, etc, usando bombas de Velocidad Variable.*

6. *Transitorios asociado con el arranque y paro de bombas son eliminados, estos transitorios seguidos producen grandes presiones que pueden dañar los sistemas de distribución en las bombas [14].*

Desventajas de las bombas de velocidad variable

Mientras las bombas de velocidad variable trabajan con eficiencia en la operación de sistemas de distribución de agua, una mala selección y mal uso de esta tecnología puede generar una serie de desventajas como las siguientes [14]

1. Las bombas de velocidad variable son menos eficientes en el ahorro de energía cuando operan debajo de las velocidades óptimas.
2. Sería necesario equipo adicional para proteger la bomba y otras instalaciones en la estación de bombeo.

3 La economía del flujo determina la verdadera eficiencia del sistema de bombeo.

Una bomba con capacidad y operación adecuados, se considera una medida eficiente del rendimiento de trabajo. En promedio las bombas de capacidad adecuada operan cercanas al 75% de eficiencia, comparado con un motor de combustible, el cual opera solo al 20% [15].

La forma de operar las bombas no ha cambiado en los últimos 50 años. Ya que la tecnología nueva ha tenido en la hidráulica una muy lenta aplicación. Actualmente con los altos costos de la energía que consumen las bombas se ha avanzado un poco más [15].

Las bombas se enfocan en eficiencia, pero es necesario entender de donde viene la energía. En las bombas la falta de conocimiento de cómo administrar la energía y cuanta energía es realmente utilizada en el trabajo [15].

La fórmula de la eficiencia

Una bomba es una maquina que convierte en energía mecánica a energía de presión, la energía de presión es impartida al fluido con la cual se crea un flujo por el movimiento de la alta presión a la baja presión [15].

En un principio la reacción de una bomba con bajo consumo de energía tendrá baja eficiencia de bombeo. En la realidad el diseño de la bomba y eficiencia no han cambiado significativamente en los últimos 50 años [15].

Como determinar la eficiencia de la bomba. La eficiencia de la bomba seguido es tomada y evaluada usando flujos de agua, el cual incluye todas las perdidas en el motor y perdidas en la bomba.

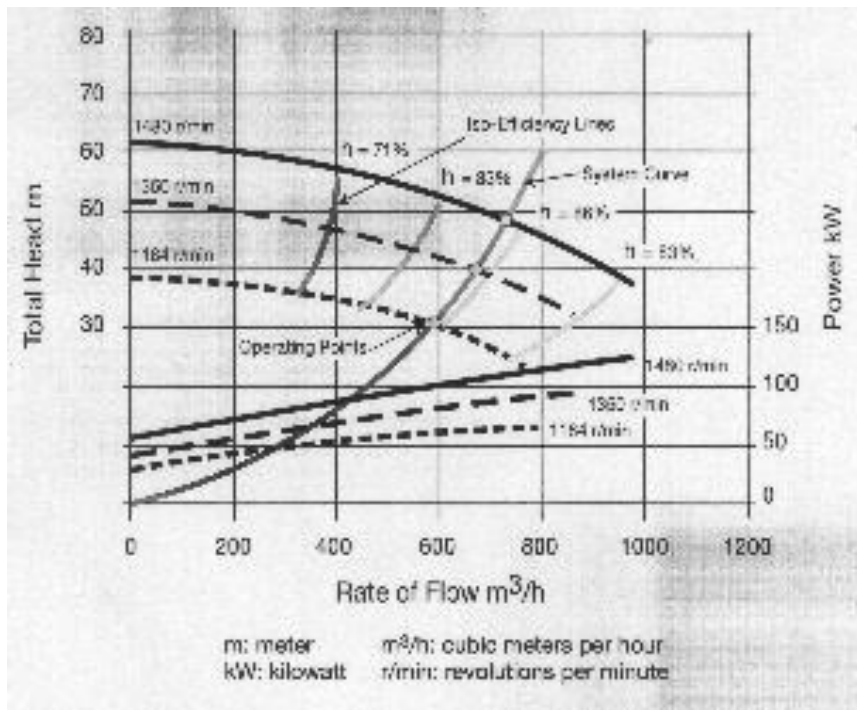
4).- Bombas de Velocidad Variable (una guía para el éxito de las aplicaciones) [16].

Efectos de la variación de la velocidad en bombas roto dinámicas

Una bomba roto-dinámica es un dispositivo dinámico que genera una carga por la impulsión rotacional. Existe una relación entre la carga generada y la velocidad, dicha relación junto con la de flujo-potencia y flujo velocidad son conocidas como leyes de afinidad [16]

Cambiando el diámetro del impulsor en la bomba también cambia efectivamente el punto de operación en un sistema dado y el costo es bajo pero esto solo puede ser usado para ajustes de rendimiento en la curva de bombeo y no como un método de control [16].

Cuando las pérdidas por fricción predominan, reduciendo la velocidad mueve el punto de operación de la bomba a lo largo de los punto de eficiencia constate o iso-eficiencia. La operación de la bomba se mantiene constante en el mejor punto de eficiencia, y se observa una substancial reducción de potencia acompañada con una reducción de flujo y carga. Haciendo un método ideal de velocidad variable.



El incremento en la velocidad del impelente puede afectarlo cuando este está muy cercas de la presión de vapor, no obstante una reducción de la velocidad del impelente ayuda positivamente a evitar este fenómeno llamado cavitación y que se trata de eliminar en toda la vida útil de la bomba.

Beneficios de las bombas de velocidad variable:

- En muchos sistemas instalado se han logrado ahorro del 30% al 50%
- Mejora el control del sistema.
- Mejora la fiabilidad del sistema

Selección.

Es esencial empezar a determinar el tamaño con el sistema hidráulico y trabajar sistemáticamente para seleccionar la bomba el motor y el controlador. Cuando la capacidad máxima de la bomba es conocida la potencia pico y la velocidad para el controlador es conocida.

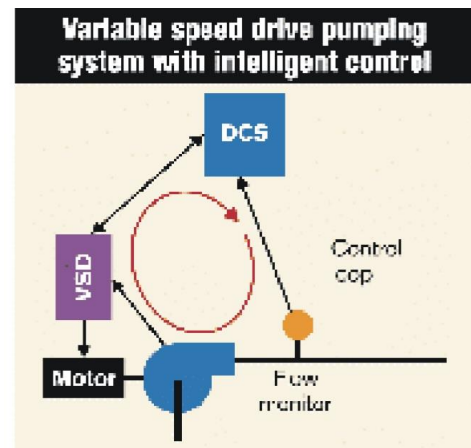
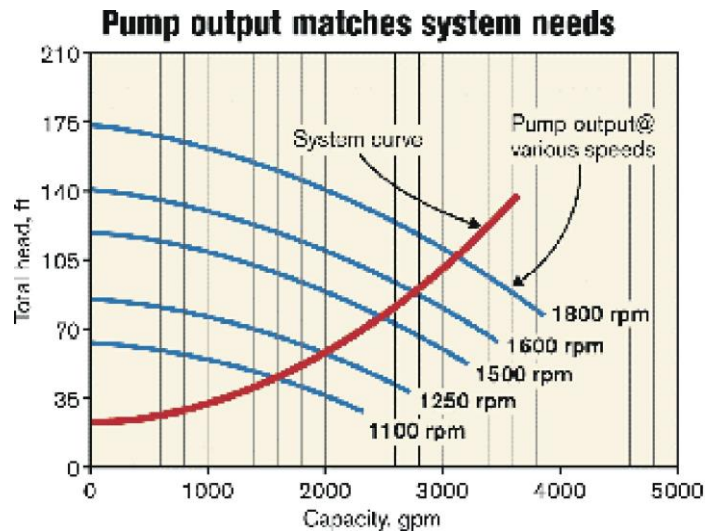
Cuando se adquiere una bomba que utilizara variador de velocidad para un sistema con alguna carga estática la bomba deberá seleccionarse para el máximo gasto.

En un sistema regulado de flujo constante lo recomendado para este caso es seleccionar una bomba que opere a la izquierda del mejor punto de eficiencia, esto aportará optimización en la operación de la bomba.

Todas las condiciones de operación deben ser consideradas cuando se diseñe un sistema algunas características pueden ser satisfechas con la instalación de varias bombas, las cuales pueden ser fija o de velocidad variable. Encendido/apagado control puede ser usado para variar el flujo en sistemas en los cuales un flujo intermitente es aceptable. Esto puede ser una solución energía-eficiencia, pero estos sistemas seguido requieren de un almacen de liquido [16].

5).- Costos de bombeo. [17]

Las bombas de velocidad variable o bombas inteligentes pueden ayudar a disminuir ciertos problemas en su funcionamiento, uno de ellos cuando el nivel de la succión baja puede la bomba llegar a cavititar, el sistema de control de la bomba ayuda a que la velocidad de la bomba baje y así pueda subir dicho nivel.[17]



Beneficios de las bombas de velocidad variable usando variadores eléctricos.

- Detección temprana en cambios en el comportamiento de la bomba.
- Reducción del mantenimiento.
- Aumento del rendimiento y ahorro de energía.
- Automatización y recopilación de información.

6 Controladores de frecuencia Variable. [18]

Para calcular la eficiencia de una bomba primero de debe conocer, la velocidad, la eficiencia y la potencia sobre la curva de la bomba.

Eficiencia y velocidad

Se basa en las leyes de afinidad para rotores de diámetro fijo, el caudal de la bomba varía directamente con la velocidad.

La carga varía con el cuadrado de la velocidad.

Con dichas leyes se determina la potencia para los demás puntos de operación del sistema.

Casi todos los VSDs para bombas centrífugas son de la variable tipo de frecuencias. Esto se debe a su costo, compacidad, y la eficiencia. La mayoría de estas unidades tienen eficiencias en el rango de 95% a 98%. [18]

7 Bombas marca “G&L pumps .- Goulds Pumps.”

Son fabricantes de bombas y controladores de sistemas de bombas (bombas de velocidad variable).

De acuerdo a este fabricante con las bombas de velocidad variable se:

- Elimina la cavitación por descentramiento, cuando se pide que la bomba produzca mas flujo que el permitido de acuerdo al diseño.
- Elimina los daños causados por el paro de bombeo, es decir que una bomba la cual abatió el nivel del agua la bomba automáticamente para antes de sufrir un daño.

8 Visita de campo a un sistema de bombas de velocidad variable ubicado en el poblado de Maneadero en Ensenada, B.C.

Actualmente se tienen equipados dos pozos con bombas de velocidad variable y controlador eléctrico; el más reciente se instaló en el poblado de Maneadero, cuyo pozo existente se rehabilitó equipándolo con una bomba de tipo sumergible de 50 HP y un gasto de diseño de

40 lps, y para sostener una presión constante en la línea de 90 Lbs/pulg²; está conectada directamente a la red de abastecimiento de agua del poblado (ya existente) y permitiendo un rebombeo a la mitad de su longitud para llevar parte del agua hasta un tanque de concreto en la parte alta de Maneadero, dividiendo así parte del poblado en dos, una parte abastecida directamente de la Bomba de Velocidad Variable y otra parte desde el tanque existente.



Variador de frecuencia



Bomba centrífuga vertical sumergible de 50 HP

El sistema cuenta con un sensor de presión en la líneas de salida, el cual manda una señal al Variador de frecuencia y éste a su vez controla la velocidad de la bomba, sosteniendo así una presión constante; cuando existe una fuga, el motor incrementa su velocidad ante la caída de presión, después de un determinado tiempo de no levantar la presión en el Variador de

Velocidad, disminuyen las revoluciones por minuto para que no se incremente la fuga y así proteger la bomba; igual cuando por alguna causa falla el suministro de agua, en este caso como es un pozo donde se puede abatir el nivel dinámico, el Variador de velocidad de la Bomba interviene para que no se dañe el equipo.



Ubicación del sensor de presión.

Otra de las ventajas es que la bomba arranca a 30 Hz y después de 15 seg incrementa a 60Hz su velocidad normal de operación, ayudando a disminuir el golpe de ariete durante el llenado de líneas y sucede lo mismo cuando el sistema se detiene, aunque para su mejor funcionamiento, tiene un pequeño tanque presurizado que atenúa las variaciones de presión; también tiene una válvula de alivio para aminorar cualquier transitorio que se pudiera presentar por parada repentina de la bomba, que normalmente sucede cuando se corta la energía eléctrica. Este sistema también se protege en caso de caída de una fase de la energía eléctrica.

De acuerdo a comentarios del personal que instaló el equipo, han disminuido en gran parte las fugas por ruptura de tuberías que anteriormente eran muy grandes, ya que las presiones se excedían en ocasiones. Según datos del fabricante ahora existe un ahorro de energía hasta del 40% y el costo aproximado del sistema completo fue de 800,000 pesos.

9).- Forma correcta del calculo de los ahorros de motores controlados por variadores de frecuencia [3].

Las bombas de velocidad variable ayudan a ahorrar energía y también dichos ahorros depende de las características del sistema, establece que la forma correctos para poder determinar la potencia que realmente consumen una bomba cuando la sacas de su punto normal de operación ósea cuando reduce su velocidad y disminuye el gasto y la carga, es utilizando las leyes de afinidad trazando la líneas de igual eficiencia en la curva de la bomba y trazando en la misma grafica la curva del sistema del tal forma que se obtenga una línea de eficiencia constante (iso-eficiencia) para cada punto de operación del sistema de la bomba mediante la siguiente formula:

$$H = \frac{H_2}{Q_2^2} Q^2$$

Posterior mente ya una ves trazadas las curvas de iso-eficiencia con la formula de la relación de potencia se obtiene la nueva potencia para el punto de operación.

$$\frac{P1}{P2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^3 : P = P_1 \left(\frac{Q_2}{Q}\right)^3$$

10).- Optimización de los consumos de energía eléctrica [4].

Existen varios parámetros que se proponen los organismos para el ahorro de energía y de agua.

En todas las transferencia de energía, ya sea de hidráulica a mecánica debe tomarse en cuenta las perdidas de energía de dicha trasferencia de energía lo que nos lleva a que la energía aprovechada en menor a la entregada.

La eficiencia se obtiene de las perdidas de energía suministrada menos la aprovechada, de ahí que la eficiencia óptima se obtiene cuando se minimizan la perdida de energía.

11).- Administración eficiente del agua mediante la sectorización y control de presiones [24].

Las pérdidas de agua mas importantes en una red de distribución son las fugas, en nuestro país llega a ser hasta del 50%.

De acuerdo con los análisis realizados por el IMTA y la CNA gran parte de la fuga se da en las tomas domiciliaria y otra parte en la línea de conducción y una pequeña parte por uso irresponsable del agua. Uno de los métodos que se utiliza para saber la cantidad de agua facturada entre el volumen de agua producido.

Para una adecuada operación es necesario determinar las presiones a las que va a trabajar el sistema, ya que en la distribución del agua potable la presión es una variable que influye directamente en las pérdidas de agua, no teniendo variaciones de presión no mayores a 5.5 kg/cm².

CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

2.1 PRESIÓN Y CARGA HIDRÁULICA.

La **presión** en un punto en reposo es la misma en todas las direcciones “principio de la Ley de Pascal”.

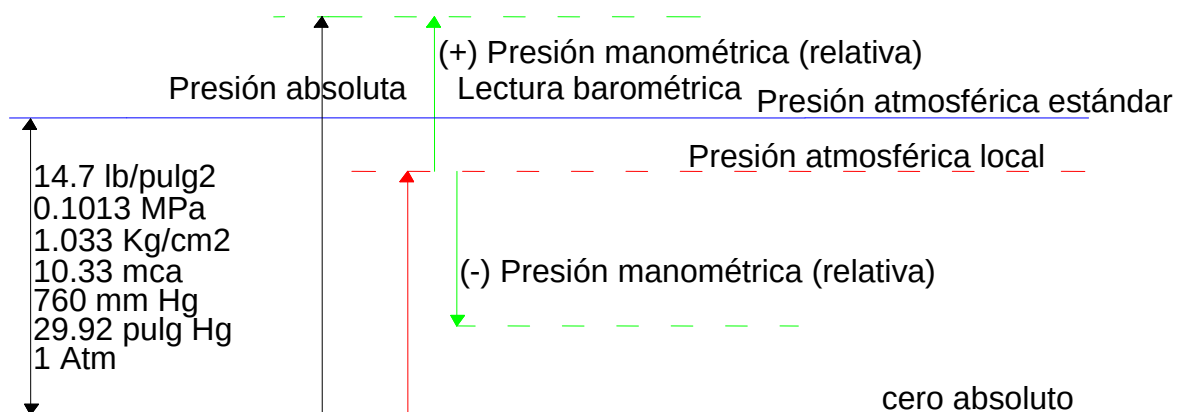
La presión es una fuerza que se aplica en una determinada área y se expresa.

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{Área} = \text{kg/m}^2 = \text{kg/cm}^2 = \text{lbs/pulg}^2$$

La **carga hidráulica** es la altura de una columna de agua de un fluido homogéneo que tiene un peso específico que producirá una cantidad de presión igual la altura del fluido por el peso específico del fluido.

$$\text{Presión} = \text{peso específico} \times \text{carga hidráulica}$$

$$\text{Presión} = \gamma \times h$$



Presión Manométrica y Presión Absoluta

2.2 POTENCIA

La potencia se calcula multiplicando el gasto por el peso específico y por la energía a vencer quedando expresada:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot h = \text{m.c.a.} \quad P = (\gamma \cdot Q \cdot h) / 75 = \text{CV} \quad . \quad P = (\gamma \cdot Q \cdot h) / 76 = \text{HP}$$

$$\gamma = \text{Peso Especifico} = \text{kg/m}^3 \quad Q = \text{Gasto o Caudal m}^3/\text{seg.} \quad h = \text{Carga Hidráulica} = \text{m}$$

Tomando en cuenta las pérdidas de energía que tiene una bombeo entre la energía que recibe y la que suministra es necesario tomar en cuenta la eficiencia.

$$. \quad P = (\gamma \cdot Q \cdot h) / (75 \cdot n) = \text{CV} \quad P = (\gamma \cdot Q \cdot h) / (76 \cdot n) = \text{HP}$$

$n = \text{eficiencia del conjunto bomba-motor}$

2.2 PÉRDIDAS DE CARGA HIDRÁULICA O ENERGÍA.

En una tubería de sección circular a través de la cual circula un líquido este sufre pérdidas de energía debido: a entrada, salida, fricción del fluido con la superficie de la tubería, contracciones, cambios de dirección y obstrucciones (válvulas, llaves, etc.).

Estas pérdidas se clasifican en dos tipos: Por fricción y locales. Siendo las más importantes por lo general las de fricción.

Pérdidas de Carga por fricción.

Se representa como **hf** ó **Hf** ; se mide en unidades de longitud y depende de las siguientes leyes que la rigen:

- En flujo turbulento aumentan con la superficie áspera del conducto.
- Es directamente proporcional al área de la superficie mojada ($\pi D L$).
- Varían en proporción inversa a alguna potencia del diámetro del conducto ($1/D^x$).
- Varían también como alguna potencia de la velocidad del fluido (V^n).
- También existe variación como alguna potencia del cociente entre la viscosidad y la densidad del fluido (μ/ρ)^u

$$hf = K \frac{L}{D^m} V^n \quad \text{Fórmula general para flujo en tuberías.}$$

Los valores de K, m y n han sido determinadas por varios investigadores.

Formula de Hazen-Williams

$$hf = \frac{10.671 * L}{C^{1.852} D^{4.871}} Q^{1.852}$$

Donde:

hf = Pérdidas por fricción (m). C= Coeficiente de rugosidad

L= Longitud de la tubería en (m) D= Diámetro interior de la tubería (m).

Q= Gasto o Caudal (m³/seg).

2.4 COMPORTAMIENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Una bomba centrífuga está formada por un conjunto de alabes rotatorios montadas en una flecha y alojados dentro de una carcasa, los cuales se utilizan para impartir energía mecánica a un flujo por medio de la fuerza centrífuga [21].

2.4.1. Curvas características.

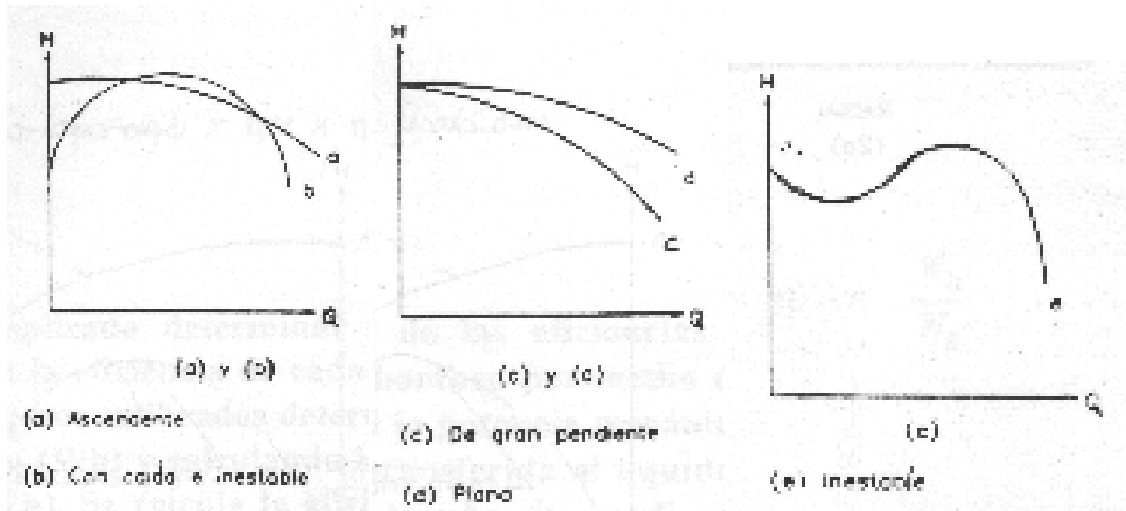
El comportamiento de cualquier bomba puede expresarse por medio de una relación entre los parámetros hidráulicos: gasto (Q), carga (H) y los mecanismos: potencia, eficiencia, etc. Esta relación se muestra gráficamente en un sistema de coordenadas cartesianas, en el cual la curva mostrada se conoce como curva característica de la bomba.

Para esta representación gráfica se escogen las variables que tiene mayor representatividad y de estas se derivan otras, las curvas características se identifican por la variable considerada y todas se grafican contra gasto de la bomba y se les denomina la curva característica de: carga(H), potencia (P), eficiencia (η), carga neta de sección (CNPS).

Las curvas características normalmente utilizadas por los fabricantes de equipos de bombeo y por los usuarios son las denominadas de trabajo. Se utilizan para elegir el mejor diseño de una bomba, para una aplicación específica dada en base a las condiciones de operación esperada de las bombas [21].

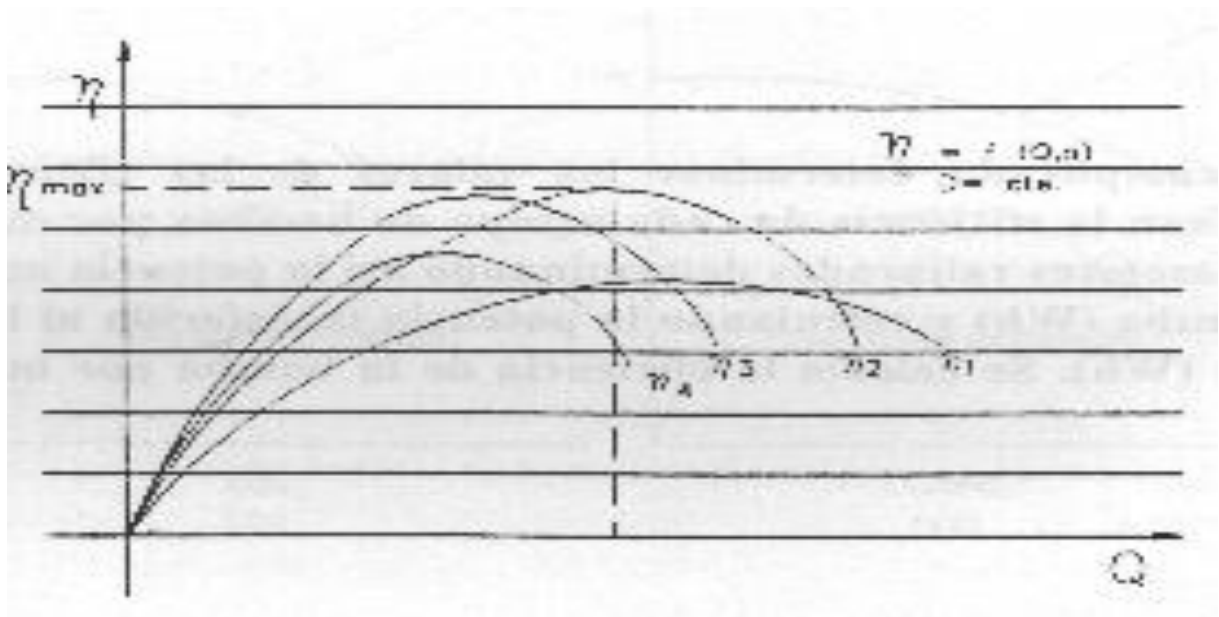
2.4.2 Curva de carga contra flujo (H-Q).

La curva de carga contra flujo ($H-Q$) puede ser de diferentes clases: ascendente, con caída, de gran pendiente, plana y estable o inestable.



2.4.3 Curva de eficiencia contra flujos ($\eta - Q$)

La curva de eficiencia contra flujo ($\eta - Q$), muestra la variación de la eficiencia en función del flujo. Esta curva pasa a través del origen del sistema y alcanza su máximo valor en el flujo de diseño, para después disminuir nuevamente a cero.



El flujo real en una bomba centrífuga no conserva un patrón de flujo en línea recta, ya que es alterado por las pérdidas internas por fricción, originadas por la rugosidad de las superficies en contacto con el flujo (eficiencia hidráulica h_h), las pérdidas por fugas resultantes del flujo del líquido entre los claros existentes en las partes rotatorias y estacionarias (eficiencia volumétrica h_v) y por las pérdidas por el choque que se presentan cuando el fluido entra a los pasajes del impulsor, así como cuando fluye del impulsor hacia la carcasa (eficiencia mecánica h_m) [21].

2.4.4 Curva de potencia contra flujo (P-Q)

La curva de potencia contra flujo puede ser de tipo con o sin sobrecarga. Las características con sobrecarga es aquella curva en la cual la potencia se incrementa para flujos mayores o menores que el flujo de diseño.

2.4.5 Leyes de afinidad

Cuando una bomba opera a una velocidad diferente a la velocidad de diseño, se puede determinar los efectos del cambio de velocidad en los parámetros de flujo, carga y potencia.

Considerando que la eficiencia se mantiene aproximadamente constante se establece las siguientes relaciones conocidas como Leyes de Afinidad.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad N = \text{revoluciones (RPM)}.$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad H = \text{Carga hidráulica (m)}.$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \quad P = \text{Potencia (W)}$$

De acuerdo a la información analizada en el estado del arte, Para el diseño las bombas de velocidad variable se requiere de conocer bien el sistema al que se va a conectar, y seleccionar la bomba para las características máximas de operación con la mejor eficiencia posible.

Otro de los parámetros que es importante mencionar son las leyes de afinidad, las cuales son las que rigen el funcionamiento de una bomba centrífuga relacionando el gasto con la velocidad, la carga con el cuadrado de la carga y la potencia con el cuadrado de la velocidad, estas relaciones nos sirven para trasladar los puntos de las condiciones originales de la bomba y de su velocidad nominal a las condiciones del sistema al que va a disminuir sus revoluciones, por lo tanto va disminuir su carga y gasto, por ende, su potencia, pero esto es respetando la eficiencia del sistema original. Para esto es necesario trazar las líneas de iso-eficiencia o de igual eficiencia y así encontrar la nueva potencia.

De los datos antes mencionados que son importantes conocer de un sistema para el diseño de un sistema de bombas centrífuga de velocidad variable, son la variabilidad de la demanda de agua potable, conjuntamente con los datos de población a servir, demanda de agua y los diferentes coeficientes de variación, con la finalidad que el nuevo sistema de bombeo sea capaz de satisfacer la cantidad necesaria.

Otros parámetros que son necesarios determinar los datos topográficos, por las cargas hidráulicas a las que va a estar sometido el sistema, la ubicación de la población o vivienda que se va a dotar, determinar el diámetro de la línea de impulsión y el material mas adecuado de acuerdo a las cargas, tipo de suelo y durabilidad del mismo conjuntamente con la comparativa de costos contra otros materiales.

El diámetro de la tubería, el tipo de tubería y los accesorios son los datos que van a dar la pérdidas por fricción que se presenta en la línea a diferentes gastos que va a operar el sistema.

CAPITULO III CALCULO HIDRAULICO.

3.1 Cálculo hidráulico de bombas de centrifugas

Para el análisis de una bomba de velocidad fija (paro y arranque con tanque de regulación) y una bomba de velocidad variable utilizando controladores de velocidad eléctricos se realizaron los siguientes cálculos. Se determinó la demanda de una población. Para fines de este cálculo se consideró una población pequeña de 4500 habitantes similar a la población de una colonia popular de una ciudad como Ensenada B.C., y los coeficientes de variación horaria de 1.5, el de variación diaria 1.1 y una dotación de 250lts/hab/dia de acuerdo a las normas del Estado [1].

La curva de demanda de agua potable para este cálculo se tomo de BANOBRAS para una población pequeña [2], a cuya tabla se le cambió la base de porcentajes de 150% a 100% y así poder obtener los diferentes porcentajes de demanda de agua potable, quedando la siguiente tabla.

HORAS		% DE Q	% DE Q EN BASE AL MAX
0	1	45%	30%
1	2	45%	30%
2	3	45%	30%
3	4	45%	30%
4	5	45%	30%
5	6	60%	40%
6	7	90%	60%
7	8	135%	90%
8	9	150%	100%
9	10	150%	100%
10	11	150%	100%
11	12	140%	93%
12	13	120%	80%
13	14	140%	93%
14	15	140%	93%
15	16	130%	87%
16	17	130%	87%
17	18	120%	80%
18	19	100%	67%
19	20	100%	67%
20	21	90%	60%
21	22	90%	60%
22	23	80%	53%
23	24	60%	40%

Tabla 1 Porcentaje de demanda de agua potable para una población pequeña de acuerdo a Banobras.

De acuerdo a la demanda de agua de 250 lts/hab/día y a los coeficientes de variación antes mencionados el gasto de diseño quedo de 21.5 lts/seg.

$$Q_m = \frac{\text{Poblacion} * \text{dotación}}{86400} = \text{lts/seg} \quad Q_m = \text{Gasto Medio, } Q_{md} = \text{Gasto máximo diario}$$

$$Q_m = \frac{4500 \text{ hab} * \frac{250 \text{ lts}}{\text{hab/día}}}{86400} = 13.02 \text{ lts/seg}$$

$$Q_{md} = 13.02 \text{ lts/seg} * 1.1 = 14.32 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{mh} = 14.32 \text{ lts/seg} * 1.5 = 21.5 \text{ lts/seg} = 0.0215 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{mh} = \text{Gasto máximo horario}$$

Con este gasto y la tabla de demandas horarias en porcentajes los gastos horarios quedaron como se indica en la siguiente tabla:

GASTO = 0.0215 m³/seg

HORAS			% DE Q	GASTO
			EN BASE AL MAX	M3/SEG
0	1		30%	0.00645
1	2		30%	0.00645
2	3		30%	0.00645
3	4		30%	0.00645
4	5		30%	0.00645
5	6		40%	0.00860
6	7		60%	0.01290
7	8		90%	0.01935
8	9		100%	0.02150
9	10		100%	0.02150
10	11		100%	0.02150
11	12		93%	0.02007
12	13		80%	0.01720
13	14		93%	0.02007
14	15		93%	0.02007
15	16		87%	0.01863
16	17		87%	0.01863
17	18		80%	0.01720
18	19		67%	0.01433
19	20		67%	0.01433
20	21		60%	0.01290
21	22		60%	0.01290
22	23		53%	0.01147
23	24		40%	0.00860

Tabla 2 Distribución de gastos de acuerdo a la demanda de una población pequeña.

La gráfica de demanda de gastos horarios.



Grafica 1 Grafica de demanda de agua potable para una población pequeña.

El diámetro económico de la tubería de la línea de impulsión se determino de la siguiente manera:

DIÁMETRO ECONÓMICO

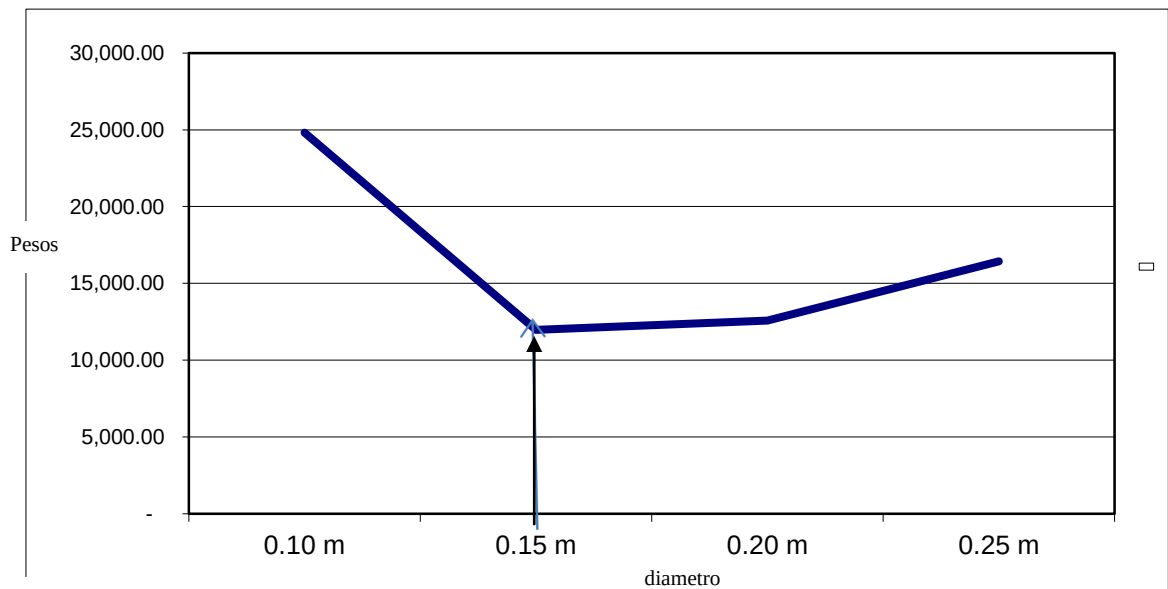
Qd = 0.02 m³ Ve = 1.20 m/seg Costo Kw*hr = 0.09 USD/(Kw*hr)	C= 130 Vida Util = 40 años	e = 80% TASA DE INTERÉS = 10% depreciación anual = 2.500%
d = 0.15 m FÓRMULA 1.1		

PROPUESTA		H-W		Costo	Costo *
		V	hf / 1000	Tuberia (us)	Km Tuberia (us)
D1 =	0.10 m	2.74	78.56	67.9	67900
D2 =	0.15 m	1.22	10.91	77.7	77700
D3 =	0.20 m	0.68	2.69	96.1	96100
D4 =	0.25 m	0.44	0.91	130	130000

		Depreciación anual / Km	Energía / hora	Energía anual
67.90	67,900.00	1,697.50	1.86	16330.08
77.70	77,700.00	1,942.50	0.26	2266.86
96.10	96,100.00	2,402.50	0.06	558.43
130.00	130,000.00	3,250.00	0.02	188.37

COSTO ANUALIZADO

D Diámetro	C Costo total	Cr/Km r= Costo anual Interés	Operación Energía	Depreciación anual DA/km	Total / km
0.10 m	67,900.00	6,790.00	16330.08	1,697.50	24,817.58
0.15 m	77,700.00	7,770.00	2266.86	1,942.50	11,979.36
0.20 m	96,100.00	9,610.00	558.43	2,402.50	12,570.93
0.25 m	130,000.00	13,000.00	188.37	3,250.00	16,438.37



Gráfica 2 Selección del diámetro económico.

Resultando mas económico el diámetro de **15cm**.

Para dicho cálculo se tomó una longitud de 1500m para la línea de impulsión y parte de línea de distribución, con esta distancia y los gastos anteriores utilizando las fórmula de Hazen-Williams, para determinar las pérdidas por fricción de la línea para elaborar la curva del sistema de la bomba como se muestra en la siguiente tabla.

3.2 Caso 1 (longitud de línea de conducción 1500mtS)

Fórmula de Hazen-Williams

$$hf = \frac{10.671 * L}{C^{1.852} D^{4.871}} Q^{1.852}$$

Donde:

hf = Pérdidas por fricción (m). C= Coeficiente de rugosidad

L= Longitud de la tubería en (m) D= Diámetro interior de la tubería (m).

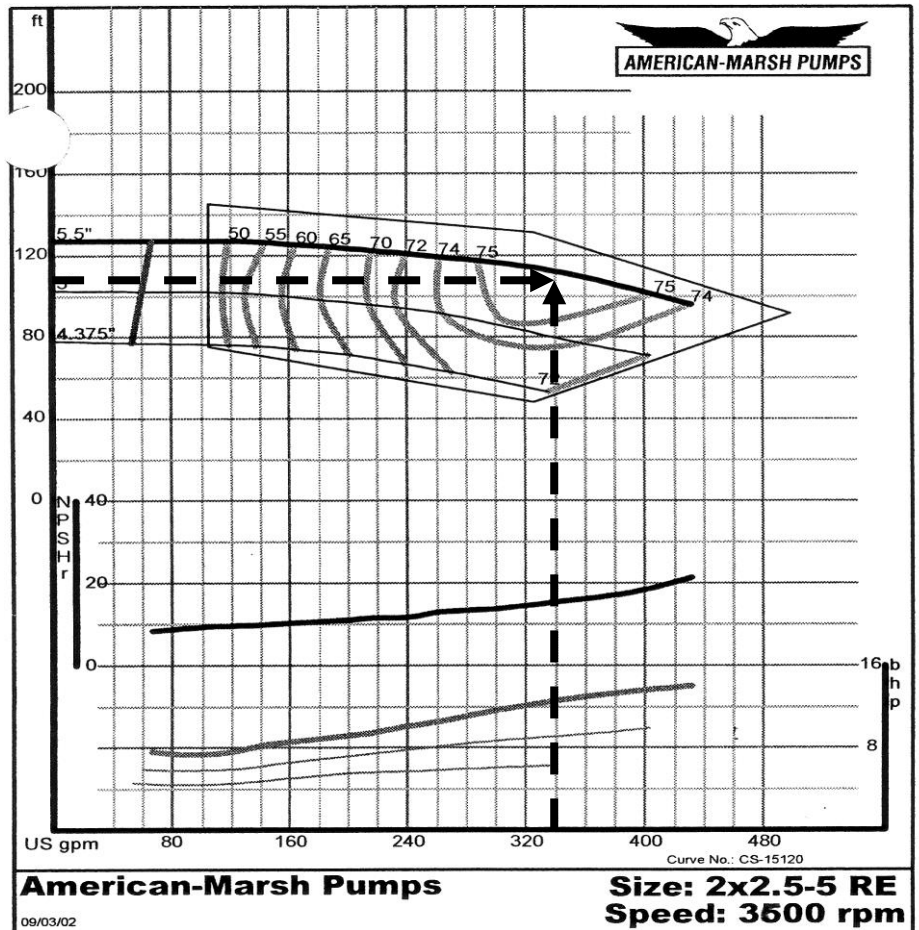
Q= Gasto o Caudal (m³/seg).

HORA	GASTO	D (TUBO)	V	H	L	hf	H Total
	m3/seg	m	m/seg	m	m	m	
1	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40
2	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40
3	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40
4	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40
5	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40
6	0.00860	0.15	0.49	18.64	1500	3.00	21.64
7	0.01290	0.15	0.73	18.64	1500	6.35	24.99
8	0.01935	0.15	1.09	18.64	1500	13.46	32.10
9	0.02150	0.15	1.22	18.64	1500	16.36	35.00
10	0.02150	0.15	1.22	18.64	1500	16.36	35.00
11	0.02150	0.15	1.22	18.64	1500	16.36	35.00
12	0.02007	0.15	1.14	18.64	1500	14.40	33.04
13	0.01720	0.15	0.97	18.64	1500	10.82	29.46
14	0.02007	0.15	1.14	18.64	1500	14.40	33.04
15	0.02007	0.15	1.14	18.64	1500	14.40	33.04
16	0.01863	0.15	1.05	18.64	1500	12.55	31.19
17	0.01863	0.15	1.05	18.64	1500	12.55	31.19
18	0.01720	0.15	0.97	18.64	1500	10.82	29.46
19	0.01433	0.15	0.81	18.64	1500	7.72	26.36
20	0.01433	0.15	0.81	18.64	1500	7.72	26.36
21	0.01290	0.15	0.73	18.64	1500	6.35	24.99
22	0.01290	0.15	0.73	18.64	1500	6.35	24.99
23	0.01147	0.15	0.65	18.64	1500	5.11	23.75
24	0.00860	0.15	0.49	18.64	1500	3.00	21.64

Tabla 3 Pérdidas para el calculo de perdidas de la línea de impulsión.

Considerando que la carga se mantendrá constante en el extremo final de la línea de conducción, se obtuvo la curva del sistema en la tabla 3.3, para una bomba de velocidad variable.

Se seleccionó una curva de una bomba centrífuga que cubriera la demanda, carga y eficiencia máximas como se muestra en la siguiente figura:

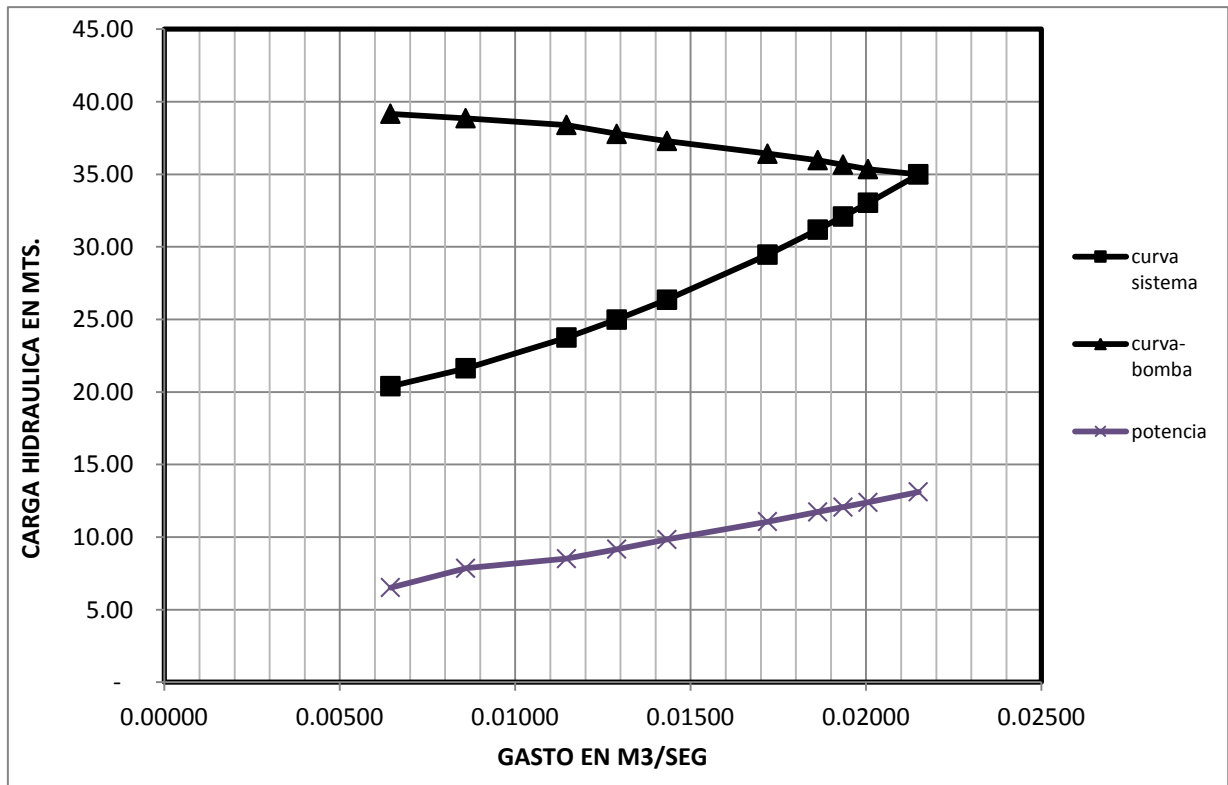


Grafica 3 Curva original de la bomba

$$340 \text{ GPM} = 21.5 \text{ lts/seg}$$

$$35 \text{ m} = 114.82 \text{ ft.}$$

Con los datos de la figura 3.1 y los datos de la tabla 3.3 se obtuvo la siguiente gráfica donde se tiene la curva de la bomba sistema como se aprecia en la siguiente gráfica:



Gráfica 2 Curva Gasto-carga hidráulica de la bomba centrífuga y del sistema.

Para la bomba de velocidad variable que va a trabajar con diferentes gastos y con una misma carga hidráulica en el extremo del sistema, o sea colocando el sensor de presión en el extremo final de la línea, se obtiene la curva del sistema en la tabla 3.3, en dicha tabla se aprecia los diferentes puntos de operación de carga y gasto con los que trabaja dicha bomba, para poder obtener la potencia que utilizara la bomba en estos puntos de operación es necesario trasladar los puntos de la curva original de la bomba mediante las leyes de afinidad a las nuevas condiciones de operación es decir trasladar los puntos con homólogos que son los de igual eficiencia (iso-eficiencia). Estas leyes relacionan la velocidad con el gasto, con la carga al cuadrado y con la potencia al cubo.

Leyes de afinidad

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad N = \text{revoluciones (RPM)}.$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad H = \text{Carga hidráulica (m)}.$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \quad P = \text{Potencia (W)}$$

Para cada punto de operación del sistema donde trabajara la bomba de velocidad variable se calcularon las líneas de isoeficiencia utilizando la relación gastos-velocidad(RPM) quedando la siguiente ecuación [3] y [4].

$$H = \frac{H_2}{Q_2^2} Q^2$$

Quedando las siguientes tablas para cada una de las líneas de iso-eficiencia de los puntos de operación del sistema:

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
33.04	0.02

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
32.1	0.01935

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	3.44
0.00860	6.11
0.01147	10.86
0.01290	13.75
0.01433	16.97
0.01720	24.44
0.01863	28.68
0.01935	30.93
0.02007	33.26
0.02150	38.18

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	3.57
0.00860	6.34
0.01147	11.27
0.01290	14.27
0.01433	17.61
0.01720	25.36
0.01863	29.77
0.01935	32.10
0.02007	34.52
0.02150	39.63

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
31.19	0.01863

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	3.74
0.00860	6.65
0.01147	11.82
0.01290	14.95
0.01433	18.46
0.01720	26.59
0.01863	31.20
0.01935	33.65
0.02007	36.19
0.02150	41.54

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
29.46	0.0172

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	4.14
0.00860	7.37
0.01147	13.09
0.01290	16.57
0.01433	20.46
0.01720	29.46
0.01863	34.57
0.01935	37.29
0.02007	40.10
0.02150	46.03

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
26.36	0.01433

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	5.34
0.00860	9.49
0.01147	16.88
0.01290	21.36
0.01433	26.37
0.01720	37.98
0.01863	44.57
0.01935	48.06
0.02007	51.69
0.02150	59.34

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
24.99	0.0129

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	6.25
0.00860	11.11
0.01147	19.75
0.01290	24.99
0.01433	30.85
0.01720	44.43
0.01863	52.14
0.01935	56.23

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
23.75	0.01147

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	7.51
0.00860	13.35
0.01147	23.74
0.01290	30.04
0.01433	37.09
0.01720	53.41
0.01863	62.68
0.01935	67.59

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
21.64	0.0086

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	12.17
0.00860	21.64
0.01147	38.47
0.01290	48.69
0.01433	60.11

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
20.4	0.00645

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	20.40
0.00860	36.27
0.01147	64.47

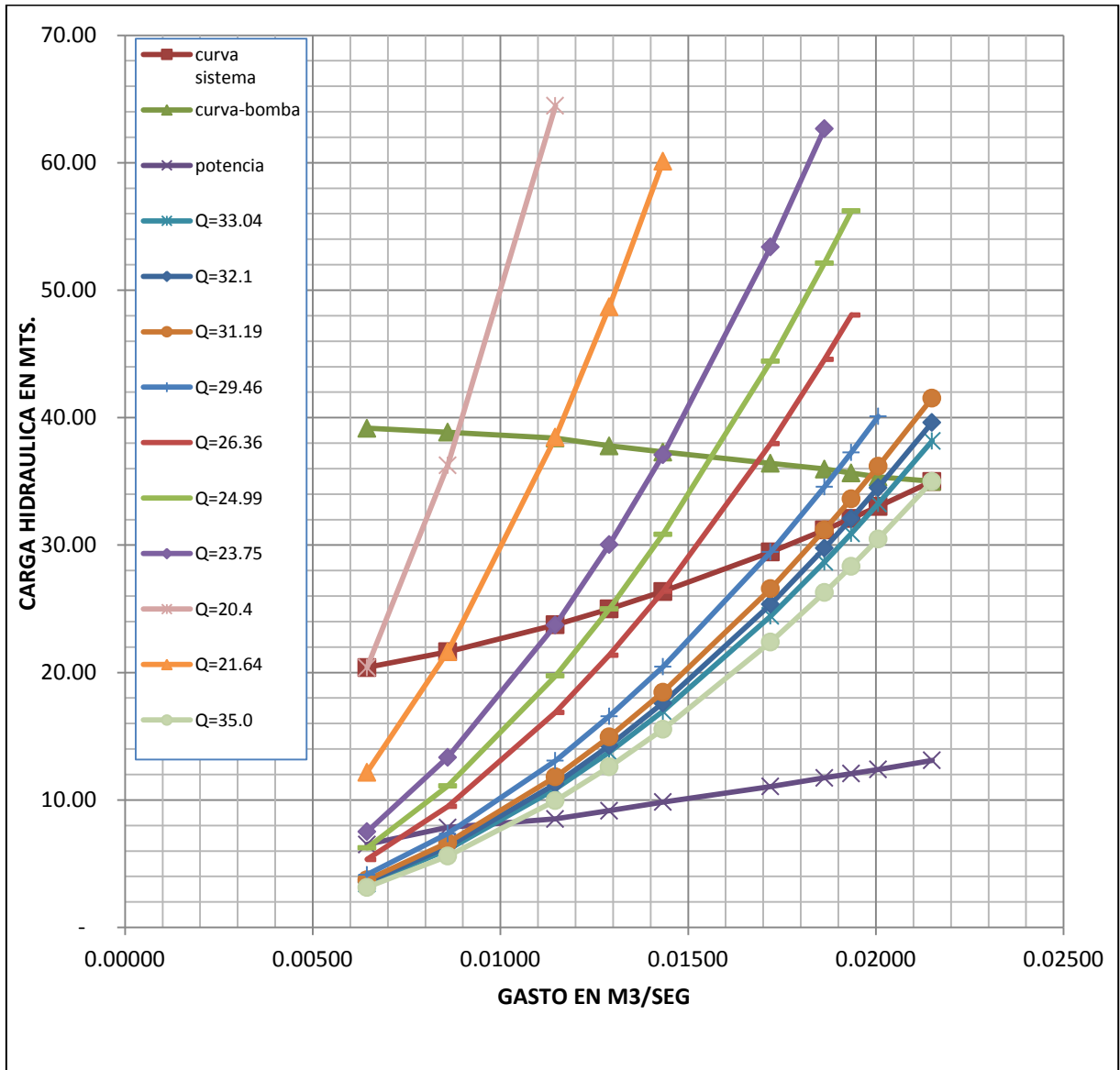
DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
35	0.0215

LINEA DE ISOEFICIENCIA

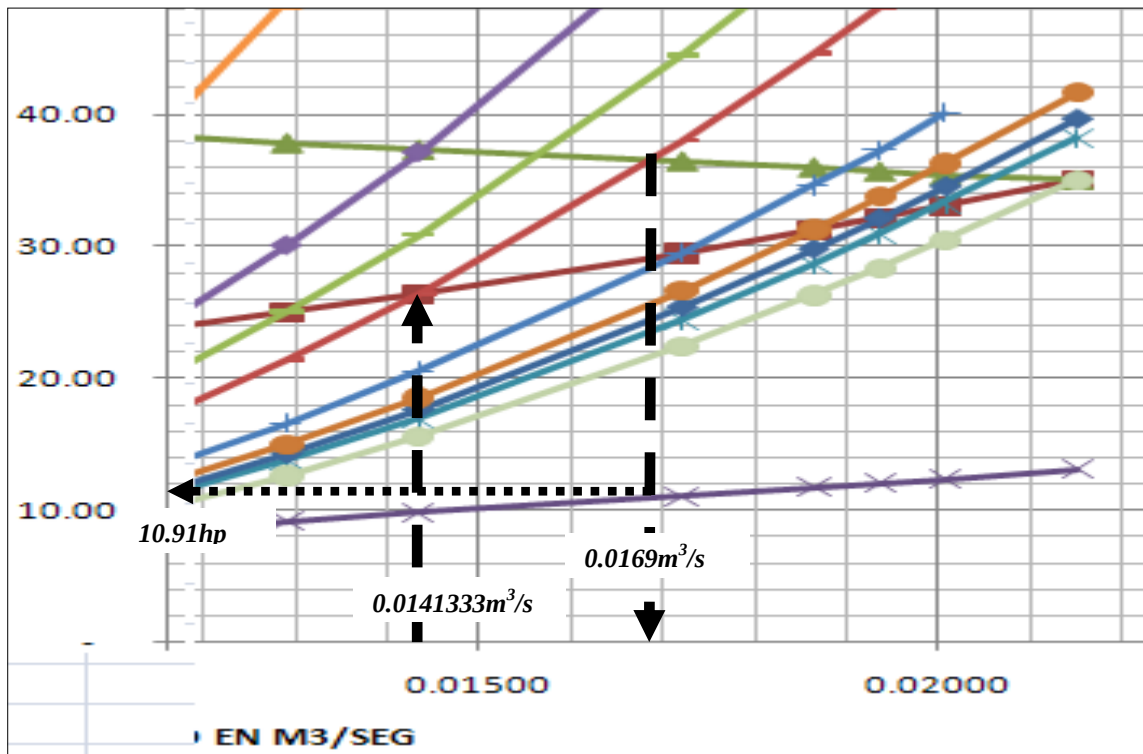
Q	H
0.00645	3.15
0.00860	5.60
0.01147	9.96
0.01290	12.60
0.01433	15.56
0.01720	22.40
0.01863	26.29
0.01935	28.35
0.02007	30.49
0.02150	35.00

Los datos obtenidos en las tablas anteriores se plasmaron en la siguiente gráfica:



Gráfica 3 Curva gasto-carga hidráulica, líneas de iso-eficiencia, y curva de potencia.

Para obtener la potencia de la bomba de velocidad variable en los puntos de operación del sistema utilizando las leyes de afinidad, la relación de velocidad (RPM) y potencia (HP) y ya graficada la iso-eficiencia para cada gasto de operación se siguen estas líneas hasta donde intercepta la curva del sistema y se obtiene el gasto para la curva del sistema y a su vez la potencia para este gasto de la gráfica anterior.



Grafica 4 Como obtener la potencia para un cambio de velocidad de la bomba.

Una vez obtenido los datos como se muestra en la figura 3.2 se despeja de la relación de velocidad – potencia la potencia del sistema para ese punto de operación del sistema.

$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$

P=Potencia N=Revoluciones por minuto

Ejemplo: $P = P_1 \left(\frac{Q_2}{Q}\right)^3 = 6.66 = 10.91 \left(\frac{0.0141333}{0.01690}\right)^3$

Resultando la siguiente tabla:

Q2	HP2	Q1	HP1
0.0064500	3.11	0.00880	7.90
0.0086000	3.59	0.01147	8.52
0.0114667	5.04	0.01433	9.84
0.0129000	5.88	0.01560	10.40
0.0143333	6.66	0.01690	10.91
0.0172000	8.98	0.01900	12.10
0.0186333	10.03	0.02000	12.40
0.0193500	10.91	0.02025	12.50
0.0200667	11.72	0.02060	12.68
0.0215000	13.11		

Tabla 4 Potencias obtenidas de la relación Gasto-Potencia.

Con la potencia que se obtuvo en la tabla anterior para cada punto de operación del sistema se hace una evaluación de todos la potencia consumida por la bomba en 24 horas y que volumen bombeo en esas mismas horas.

HOR A	GASTO m3/seg	D (TUBO) m	V m/seg	H m	L m	hf m	H Total	Potenci a hp	Energi a kw/h	VOLUME N DE AGUA
1	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40	3.11	2.32	23.22
2	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40	3.11	2.32	23.22
3	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40	3.11	2.32	23.22
4	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40	3.11	2.32	23.22
5	0.00645	0.15	0.36	18.64	1500	1.76	20.40	3.11	2.32	23.22
6	0.00860	0.15	0.49	18.64	1500	3.00	21.64	3.59	2.68	30.96
7	0.01290	0.15	0.73	18.64	1500	6.35	24.99	5.88	4.39	46.44
8	0.01935	0.15	1.09	18.64	1500	13.46	32.10	10.91	8.13	69.66
9	0.02150	0.15	1.22	18.64	1500	16.36	35.00	13.11	9.78	77.40
10	0.02150	0.15	1.22	18.64	1500	16.36	35.00	13.11	9.78	77.40
11	0.02150	0.15	1.22	18.64	1500	16.36	35.00	13.11	9.78	77.40
12	0.02007	0.15	1.14	18.64	1500	14.40	33.04	11.72	8.74	72.24
13	0.01720	0.15	0.97	18.64	1500	10.82	29.46	8.98	6.69	61.92
14	0.02007	0.15	1.14	18.64	1500	14.40	33.04	11.72	8.74	72.24
15	0.02007	0.15	1.14	18.64	1500	14.40	33.04	11.72	8.74	72.24
16	0.01863	0.15	1.05	18.64	1500	12.55	31.19	10.03	7.48	67.08
17	0.01863	0.15	1.05	18.64	1500	12.55	31.19	10.03	7.48	67.08
18	0.01720	0.15	0.97	18.64	1500	10.82	29.46	8.98	6.69	61.92
19	0.01433	0.15	0.81	18.64	1500	7.72	26.36	6.66	4.96	51.60
20	0.01433	0.15	0.81	18.64	1500	7.72	26.36	6.66	4.96	51.60
21	0.01290	0.15	0.73	18.64	1500	6.35	24.99	5.88	4.39	46.44
22	0.01290	0.15	0.73	18.64	1500	6.35	24.99	5.88	4.39	46.44
23	0.01147	0.15	0.65	18.64	1500	5.11	23.75	5.04	3.76	41.28
24	0.00860	0.15	0.49	18.64	1500	3.00	21.64	3.59	2.68	30.96
								182.14	135.82	1,238.40

Tabla 5 Calculo de la energía consumida BVV.

Resultando de la tabla anterior un consumo de 135.82 kw por día para bombear 1,238.20m³ de agua potable.

Tomando como base el volumen de agua bombeado en 24 horas por la bomba de velocidad variable y para hacer la comparativa contra una bomba de velocidad constante, se tomó el mismo volumen de 1238.20m³, y el gasto máximo de la bomba para determinar el tiempo que tardaría esta misma bomba en desplazar el mismo volumen.

$$tiempo = \frac{1238.20}{0.0215 * 3600} = 16 \text{ hrs.}$$

HORA	GASTO m3/seg	D (TUBO) m	V m/seg	H m	L m	hf m	H Total	Potencia hp	Energia kw/h	VOLUMEN DE AGUA
16	0.02150	0.15	1.22	18.64	1500	16.36	35.00	209.76	156.42	1,238.40

Tabla 6 Calculo de la energía consumida BVC

Resultando un consumo de 156.42 kw por lo que resulta un ahorro en energía de 156.42 kw-135.82 kw = 20.6 kw en 24 hrs, dándonos en porcentaje un ahorro del **13.17%**.

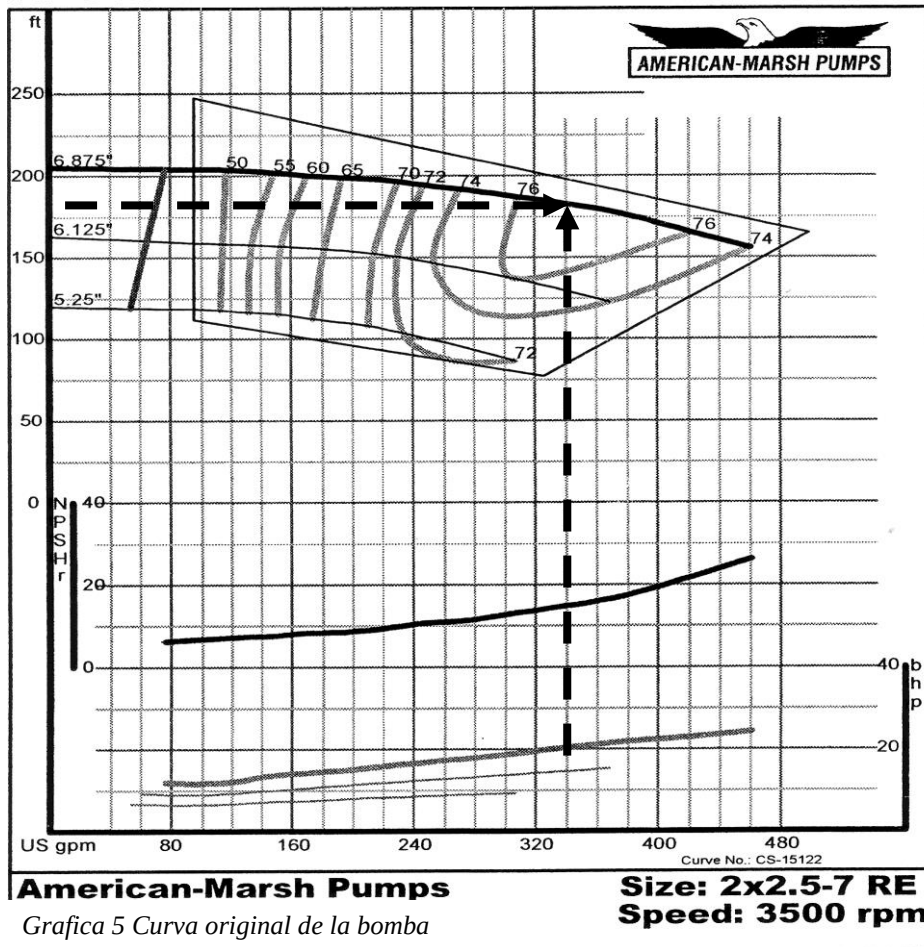
3.3 Caso 2 (Longitud de la línea de conducción de 2000mts)

COEFICIENTE DE
FRICCIÓN : 130

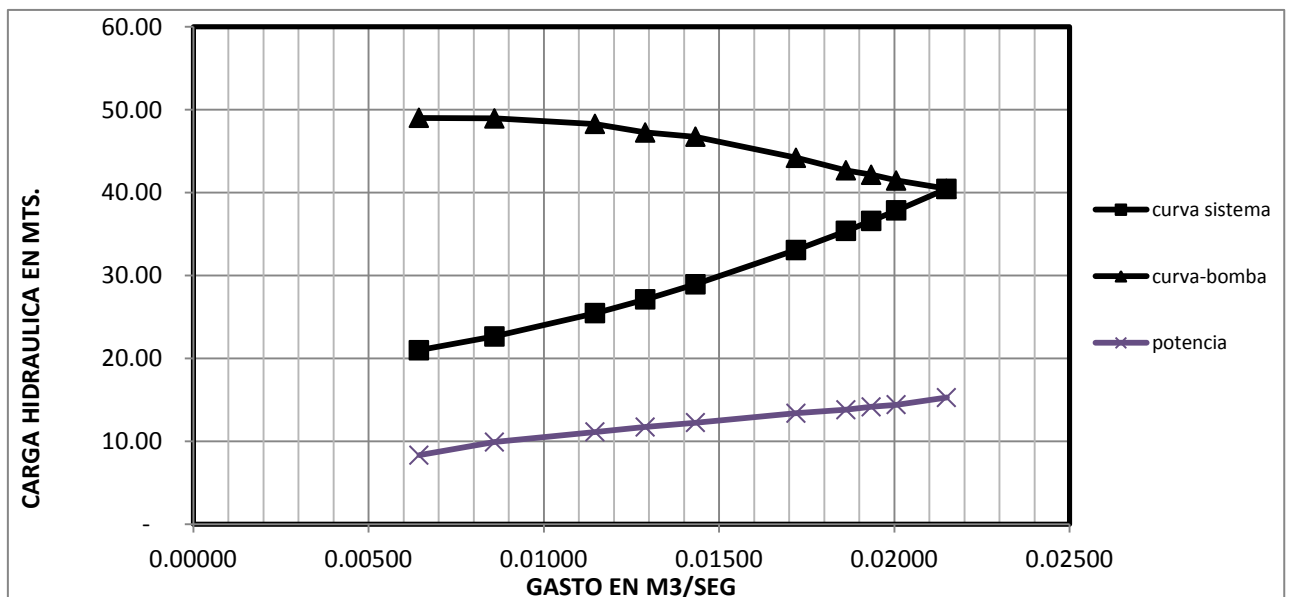
HORA	GASTO m3/seg	D (TUBO) m	V m/seg	H m	L m	hf m	H Total
1	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99
2	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99
3	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99
4	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99
5	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99
6	0.00860	0.15	0.49	18.64	2000	4.00	22.64
7	0.01290	0.15	0.73	18.64	2000	8.47	27.11
8	0.01935	0.15	1.09	18.64	2000	17.95	36.59
9	0.02150	0.15	1.22	18.64	2000	21.81	40.45
10	0.02150	0.15	1.22	18.64	2000	21.81	40.45
11	0.02150	0.15	1.22	18.64	2000	21.81	40.45
12	0.02007	0.15	1.14	18.64	2000	19.20	37.84
13	0.01720	0.15	0.97	18.64	2000	14.43	33.07
14	0.02007	0.15	1.14	18.64	2000	19.20	37.84
15	0.02007	0.15	1.14	18.64	2000	19.20	37.84
16	0.01863	0.15	1.05	18.64	2000	16.73	35.37
17	0.01863	0.15	1.05	18.64	2000	16.73	35.37
18	0.01720	0.15	0.97	18.64	2000	14.43	33.07
19	0.01433	0.15	0.81	18.64	2000	10.29	28.93
20	0.01433	0.15	0.81	18.64	2000	10.29	28.93
21	0.01290	0.15	0.73	18.64	2000	8.47	27.11
22	0.01290	0.15	0.73	18.64	2000	8.47	27.11
23	0.01147	0.15	0.65	18.64	2000	6.81	25.45
24	0.00860	0.15	0.49	18.64	2000	4.00	22.64

Tabla 7 Pérdidas para el calculo de perdidas de la línea de impulsión.

Se seleccionó una curva de una bomba centrífuga que cubriera la demanda, la carga máxima y eficiencia maximas quedando las siguientes:



La curva del sistema y de la bomba de acuerdo a los datos de la tabla anterior se realizó la grafica:



Grafica 2 Curva Gasto-carga hidráulica de la bomba centrífuga y del sistema.

Para cada punto de operación del sistema donde trabajara la bomba de velocidad variable se calcularon las líneas de isoeficiencia utilizando la relación gastos-velocidad(RPM) quedando la siguiente ecuación [3] y [4].

$$H = \frac{H_2}{Q_2^2} Q^2$$

Quedando la siguientes tablas para cada una de las líneas de iso-eficiencia y de los puntos de operación del sistema:

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
40.45	0.0215

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.01147	11.51
0.01290	14.56
0.01433	17.98
0.01720	25.89
0.01863	30.38
0.01935	32.76
0.02007	35.24
0.02150	40.45

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
37.8354309	0.02006667

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.01147	12.35
0.01290	15.64
0.01433	19.30
0.01720	27.80
0.01863	32.62
0.01935	35.18
0.02007	37.84
0.02150	43.43

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
36.5851414	0.01935

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.01147	12.85
0.01290	16.26
0.01433	20.07
0.01720	28.91
0.01863	33.93
0.01935	36.59
0.02007	39.35
0.02150	45.17

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
35.3737	0.0186

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.01147	13.40
0.01290	16.95
0.01433	20.93
0.01720	30.14
0.01863	35.37
0.01935	38.15
0.02007	41.03
0.02150	47.10
0.02007	40.10
0.02150	46.03

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
33.07	0.01720

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.01147	14.70
0.01290	18.60
0.01433	22.96
0.01720	33.07
0.01863	38.81
0.01935	41.85
0.02007	45.01
0.02150	51.67

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
28.93	0.01433

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.01147	18.52
0.01290	23.44
0.01433	28.93
0.01720	41.66
0.01863	48.90
0.01935	52.73

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
27.11	0.0129

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.009	12.048
0.011	21.419
0.013	27.109
0.014	33.468
0.017	48.194
0.019	56.560
0.019	60.995

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
25.45	0.01147

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.0086	14.3151
0.0115	25.4491
0.0129	32.2091
0.0143	39.7643
0.0172	57.2605

DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
22.6367	0.0086

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	12.73
0.00860	22.64
0.01147	40.24
0.01290	50.93

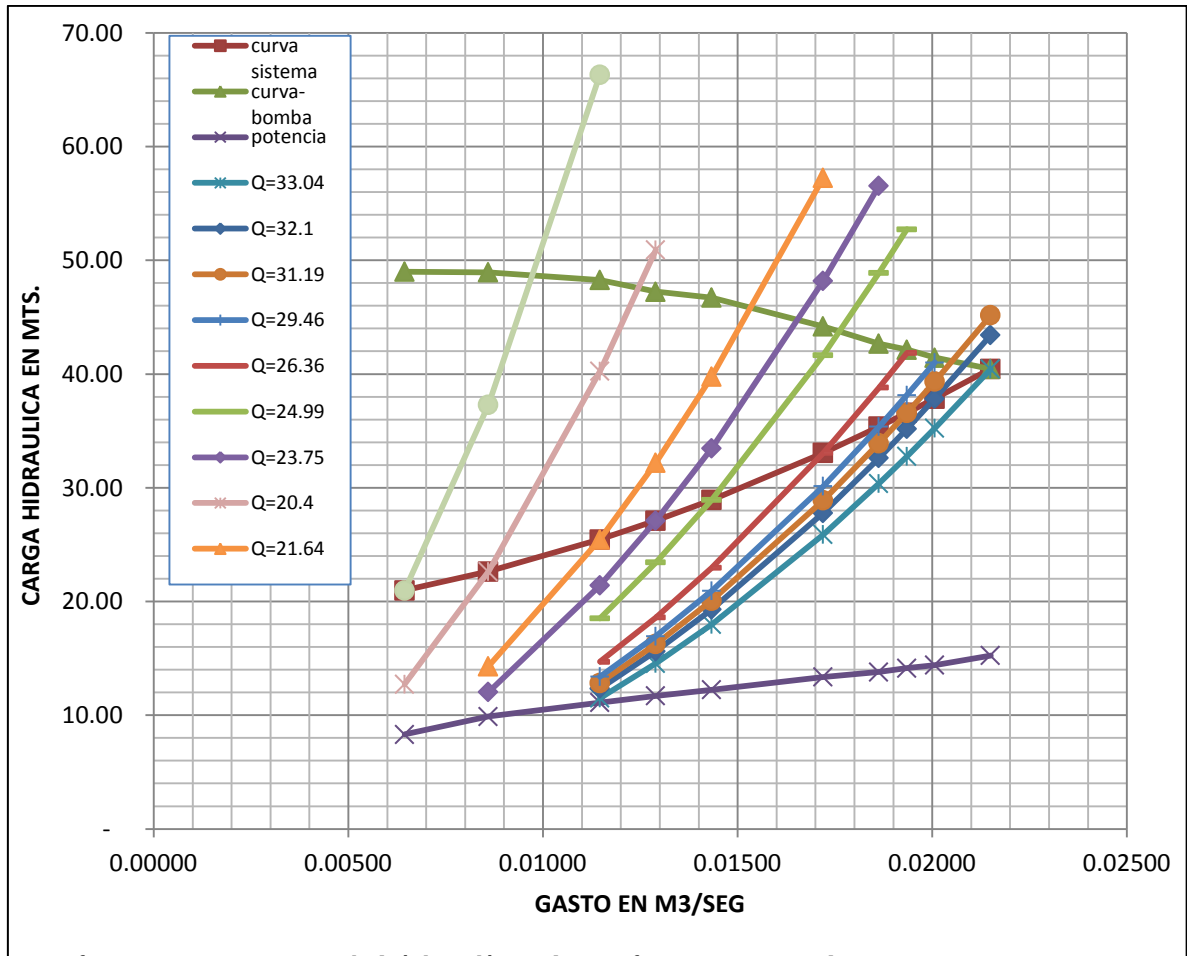
DATOS DEL SISTEMA

H2	Q2
20.9859	0.0065

LINEA DE ISOEFICIENCIA

Q	H
0.00645	20.99
0.00860	37.31
0.01147	66.33

Los datos obtenidos en las tablas anteriores se plasmaron en la siguiente grafica:



Gráfica 7 Curva gasto-carga hidráulica, líneas de iso-eficiencia, y curva de potencia

Una vez obtenido los datos , se despeja de la relación de velocidad – potencia la potencia para ese punto de operación del sistema.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad P = P_1 \left(\frac{Q_2}{Q}\right)^3$$

Resultando la siguiente tabla:

Q2	HP2	Q1	HP1
0.0064500	2.95	0.00970	10.05
0.0086000	3.84	0.01240	11.50
0.0114667	5.16	0.01540	12.50
0.0129000	6.45	0.01650	13.50
0.0143333	7.64	0.01750	13.90
0.0172000	9.83	0.01935	14.00
0.0186333	11.35	0.02005	14.14
0.0193500	12.07	0.02050	14.35
0.0200667	13.41	0.02075	14.83
0.0215000	15.26		

Tabla 8 Potencias obtenidas de la relación Gasto-Potencia

Con la potencia que se obtuvo en la tabla anterior para cada punto de operación del sistema se hace una evaluación de toda la potencia consumida por la bomba en 24 horas y que volumen bombeo en esas mismas horas.

HORA	GASTO m3/seg	D (TUBO) m	V m/seg	H m	L m	hf m	H Total	Potencia hp	Energia kw/h	VOLUMEN DE AGUA
1	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99	2.95	2.20	23.22
2	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99	2.95	2.20	23.22
3	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99	2.95	2.20	23.22
4	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99	2.95	2.20	23.22
5	0.00645	0.15	0.36	18.64	2000	2.35	20.99	2.95	2.20	23.22
6	0.00860	0.15	0.49	18.64	2000	4.00	22.64	3.84	2.86	30.96
7	0.01290	0.15	0.73	18.64	2000	8.47	27.11	6.45	4.81	46.44
8	0.01935	0.15	1.09	18.64	2000	17.95	36.59	12.07	9.00	69.66
9	0.02150	0.15	1.22	18.64	2000	21.81	40.45	15.26	11.38	77.40
10	0.02150	0.15	1.22	18.64	2000	21.81	40.45	15.26	11.38	77.40
11	0.02150	0.15	1.22	18.64	2000	21.81	40.45	15.26	11.38	77.40
12	0.02007	0.15	1.14	18.64	2000	19.20	37.84	13.41	10.00	72.24
13	0.01720	0.15	0.97	18.64	2000	14.43	33.07	9.83	7.33	61.92
14	0.02007	0.15	1.14	18.64	2000	19.20	37.84	13.41	10.00	72.24
15	0.02007	0.15	1.14	18.64	2000	19.20	37.84	13.41	10.00	72.24
16	0.01863	0.15	1.05	18.64	2000	16.73	35.37	11.35	8.46	67.08
17	0.01863	0.15	1.05	18.64	2000	16.73	35.37	11.35	8.46	67.08
18	0.01720	0.15	0.97	18.64	2000	14.43	33.07	9.83	7.33	61.92
19	0.01433	0.15	0.81	18.64	2000	10.29	28.93	7.64	5.70	51.60
20	0.01433	0.15	0.81	18.64	2000	10.29	28.93	7.64	5.70	51.60
21	0.01290	0.15	0.73	18.64	2000	8.47	27.11	6.45	4.81	46.44
22	0.01290	0.15	0.73	18.64	2000	8.47	27.11	6.45	4.81	46.44
23	0.01147	0.15	0.65	18.64	2000	6.81	25.45	5.16	3.85	41.28
24	0.00860	0.15	0.49	18.64	2000	4.00	22.64	3.84	2.86	30.96
								202.69	151.14	1,238.40

Tabla 5 Calculo de la energía consumida BVV

Resultando de la tabla anterior un consumo de 151.14 kw por día para bombear 1,238.40m³ de agua potable.

Tomando como base el volumen de agua bombeado en 24 horas por la bomba de velocidad variable y para hacer la comparativa contra una bomba de velocidad constante, se tomo el mismo volumen de 1238.40m³, y el gasto máximo de la bomba para determinar el tiempo que tardaría esta misma bomba en desplazar el mismo volumen.

$$tiempo = \frac{1238.40}{0.0215 * 3600} = 16 \text{ hrs.}$$

HORA	GASTO m3/seg	D (TUBO) m	V m/seg	H m	L m	hf m	H Total	Potencia hp	Energia kw/h	Volumen de agua
16	0.02150	0.15	1.22	18.64	2000	21.81	40.45	244.16	182.07	1,238.40

Tabla 6 Calculo de la energía consumida BVC

Resultando un consumo de 182.07 kw por lo que resulta un ahorro en energía de 182.07 kw-151.14 kw = 30.93 kw en 24 hrs, dándonos en porcentaje un ahorro del **16.98%**.

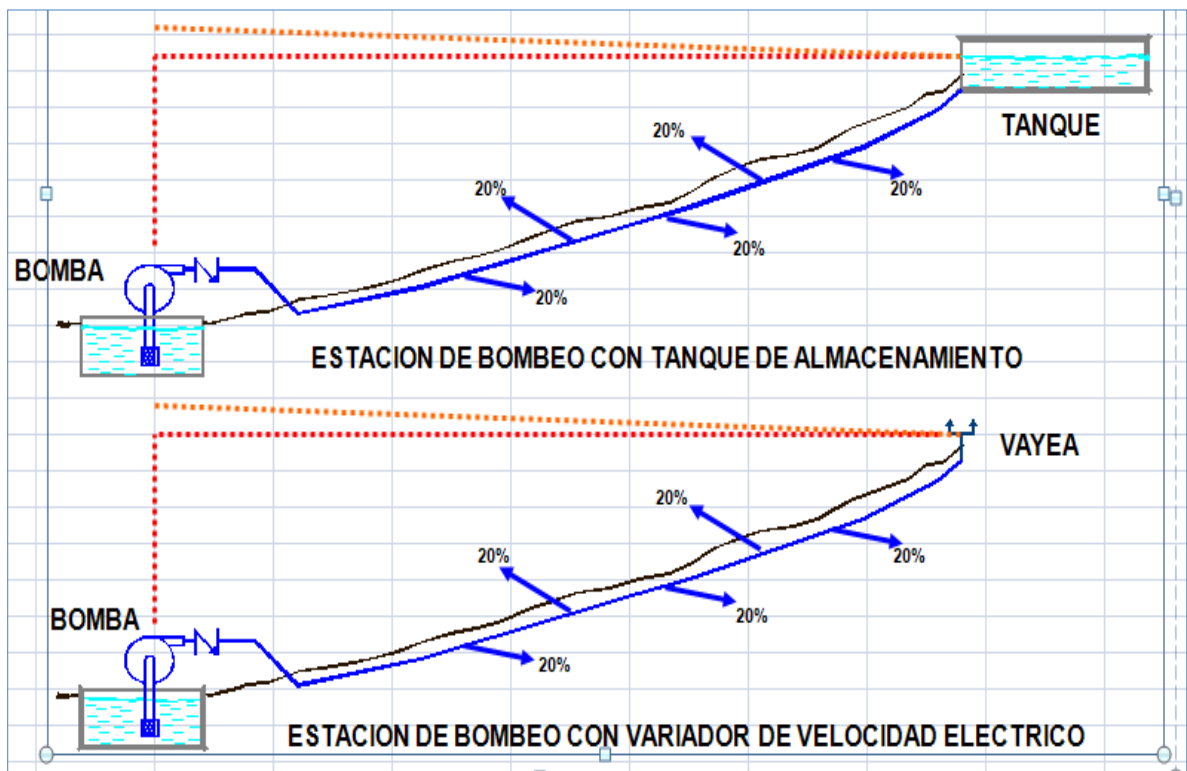


Figura 1 esquema de propuesta de línea de impulsión

CAPITULO IV ANALISIS DE COSTOS

4.1 CASO 1

En el caso 1 se analizó el comportamiento hidráulicos de una bomba de velocidad constante y una bomba con variador de velocidad eléctrico ambas bombas de 13.11 HP, tomando en cuenta los consumo de energía del cálculo del capítulo anterior tenemos lo siguiente:

El consumo por día en kWh para la bomba de velocidad fija (paro y arranque) es de 156.42 kWh.

El consumo por día en kWh para la bomba de velocidad variable (variador de velocidad eléctrico) es de 135.82 kWh.

De acuerdo a los costos de Comisión Federal de Electricidad el costo por kWh para la región utilizando la tarifa HT es de 2.93 pesos.

Consumo anual

$$BVC = 156.42\text{kWh} \times 365\text{días} \times 2.93 \text{ pesos/kWh} = 167,283.36 \text{ pesos}$$

$$BVV = 135.82\text{kWh} \times 365\text{días} \times 2.93 \text{ pesos/kWh} = 145,252.70 \text{ pesos}$$

$$\text{Representando un ahorro anual} = 22,030.66 \text{ pesos.}$$

El valor de la infraestructura se determinó con los siguientes costos índice obtenidos de las diferentes obras hidráulicas que actualmente se construyen en el Estado.

Para determinar el costo de la infraestructura habrá que determinar las partes estructurales, mecánicas y eléctricas que los constituyen y que son necesarios para su mejor funcionamiento hidráulico.

La dimensiones del tanque se obtuvo por medio de la siguiente formula

$$\text{Capacidad (m}^3\text{)} = 1/3 \text{ Qmd (86,400 seg/dia) / 1,000} \quad [1]$$

Qmd = gasto máximo diario

Tabla 9 De costo total de la infraestructura principal.

Concepto	bomba de velocidad fija pesos	bomba de velocidad variable (pesos)
Bomba de 13.5 hp	\$ 45,256.00	\$ 45,256.00
Accesorios para bomba	\$ 15,250.00	\$ 15,250.00
Tanque de concreto tipo (1000m3)	\$ 2,503,860.00	
Costo del terreno para el tanque	\$ 320,000.00	
Línea de impulsión	\$ 460,125.00	\$ 460,125.00
Variador de velocidad eléctrico		\$ 90,000.00
Suma total	\$ 3,344,491.00	\$ 610,631.00

Anualizando el costo total de la infraestructura para poder sumarle el costo anual de la energía tomando como base la tasa de interés TIIE iguala 8.0% y para un periodo de 10años de vida económica de la obra.

$$a = \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

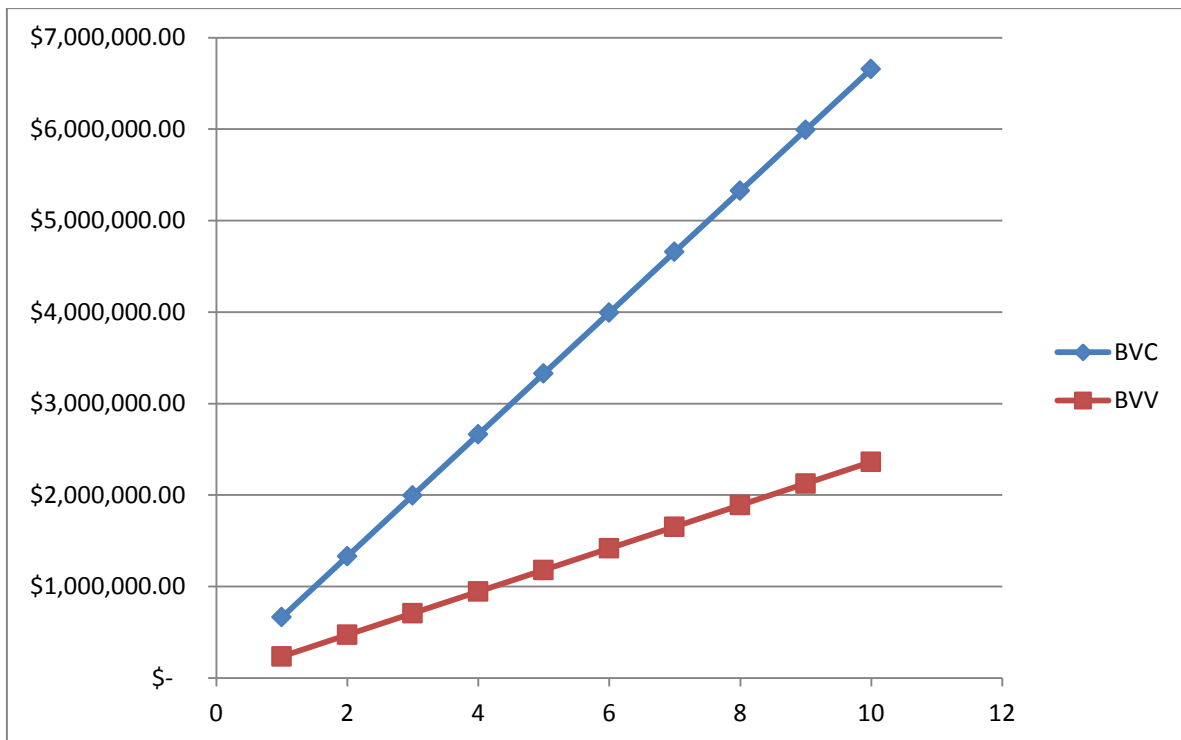
Donde: a= cargo anual de amortización.

i = Tasa interés anual de interés

n= Numero de años

a=	0.14902949	COSTO DE LA OBRA ANUALIZADO								
		Años								
bombas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BVC	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78	\$ 498,427.78
BVV	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03	\$ 91,002.03
COSTO DE LA ENERGIA										
BVC	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36	\$ 167,283.36
BVV	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70	\$ 145,252.70
COSTO TOTAL ANUALIZADO (ENERGIA + COSTO DE INFRAESTRUCTURA).										
BVC	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14	\$ 665,711.14
BVV	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73	\$ 236,254.73
COSTO ACUMULADO										
BVC	\$ 665,711.14	\$ 1,331,422.29	\$ 1,997,133.43	\$ 2,662,844.57	\$ 3,328,555.72	\$ 3,994,266.86	\$ 4,659,978.01	\$ 5,325,689.15	\$ 5,991,400.29	\$ 6,657,111.44
BVV	\$ 236,254.73	\$ 472,509.45	\$ 708,764.18	\$ 945,018.90	\$ 1,181,273.63	\$ 1,417,528.35	\$ 1,653,783.08	\$ 1,890,037.81	\$ 2,126,292.53	\$ 2,362,547.26

Tabla de comparativos de costos acumulados anualizado.



Grafica 10 Gastos anualizados acumulados

4.1 CASO 2.

En el caso 2 se analizó en comportamiento hidráulicos de una bomba de velocidad constante y una bomba con variador de velocidad eléctrico ambas bombas de 15.26 HP, tomando en cuenta los consumo de energía del cálculo del capítulo anterior tenemos lo siguiente:

El consumo por día en kWh para la bomba de velocidad fija (paro y arranque) es de 244.16 kWh.

El consumo por día en kWh para la bomba de velocidad variable (variador de velocidad eléctrico) es de 202.69 kWh.

De acuerdo a los costos de Comisión Federal de Electricidad es costo por kWh para la región utilizando la tarifa HT es de 2.93 pesos.

Consumo anual

$$BVC = 244.16\text{kWh} \times 365\text{días} \times 2.93 \text{ pesos/kWh} = 261,116.91 \text{ pesos}$$

$$BVV = 202.69\text{kWh} \times 365\text{días} \times 2.93 \text{ pesos/kWh} = 216,766.82 \text{ pesos}$$

$$\text{Representando un ahorro anual} = 44,350.09 \text{ pesos.}$$

El valor de la infraestructura se determinó con los siguientes costos índice obtenidos de las diferentes obras hidráulicas que actualmente se construyen en el Estado.

Para determinar el costo de la infraestructura habrá que determinar las partes estructurales, mecánicas y eléctricas que los constituyen y que son necesarios para su mejor funcionamiento hidráulico.

Las dimensiones del tanque se obtuvo por medio de la siguiente fórmula :

$$\text{Capacidad (m}^3\text{)} = 1/3 \text{ Qmd (86,400 seg/día) / 1,000} \quad [1]$$

Qmd = gasto máximo diario

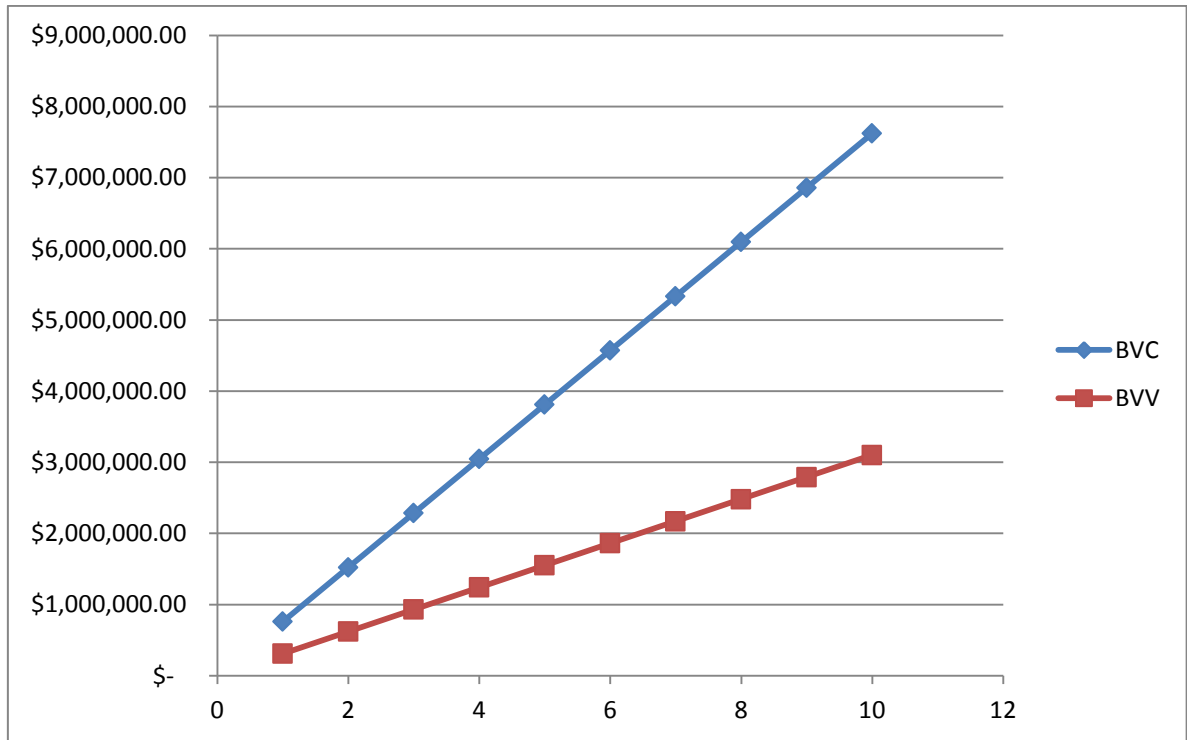
Tabla de costo total de la infraestructura principal.

Concepto	bomba de velocidad fija (pesos)	bomba de velocidad variable (pesos)
Bomba de 13.5 hp	\$ 62,756.00	\$ 62,756.00
Accesorios para bomba	\$ 15,250.00	\$ 15,250.00
Tanque de concreto tipo (1000m3)	\$ 2,503,860.00	
Costo del terreno para el tanque	\$ 320,000.00	
Línea de impulsión	\$ 460,125.00	\$ 460,125.00
Variador de velocidad eléctrico		\$ 90,000.00
	\$ 3,361,991.00	\$ 628,131.00

Anualizando el costo total de la infraestructura para poder sumarle el costo anual de la energía tomando como base la tasa de interés TIIE iguala 8.0% y para un periodo de 10años de vida económica de la obra.

i=	0.08									
n=	10									
a=	0.14902949	COSTO DE LA OBRA ANUALIZADO								
		Años								
bombas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BVC	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80	\$ 501,035.80
BVV	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04	\$ 93,610.04
		COSTO DE LA ENERGIA								
BVC	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91	\$ 261,116.91
BVV	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82	\$ 216,766.82
		COSTO TOTAL ANUALIZADO (ENERGIA + COSTO DE INFRAESTRUCTURA).								
BVC	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71	\$ 762,152.71
BVV	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86	\$ 310,376.86
		COSTO ACUMULADO								
BVC	\$ 762,152.71	\$ 1,524,305.42	\$ 2,286,458.13	\$ 3,048,610.84	\$ 3,810,763.55	\$ 4,572,916.26	\$ 5,335,068.97	\$ 6,097,221.68	\$ 6,859,374.39	\$ 7,621,527.10
BVV	\$ 310,376.86	\$ 620,753.73	\$ 931,130.59	\$ 1,241,507.46	\$ 1,551,884.32	\$ 1,862,261.19	\$ 2,172,638.05	\$ 2,483,014.92	\$ 2,793,391.78	\$ 3,103,768.65

Tabla de comparativos de costos acumulados anualizado.



Grafica 11 Gastos anualizados acumulados

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones del funcionamiento hidráulico.

De acuerdo a los sistemas propuestos, uno con bomba de velocidad fija y un tanque de regulación, para no poner un sistema de by-pass lo cual lo pondría en peores condiciones en cuanto al ahorro de energía y otro con bomba manejada por un variador de velocidad eléctrico.

Dado que la demanda de agua es hasta cierto punto vista predecible, su comportamiento no está establecido por ninguna ley, es por eso que en este sentido resulta mas favorable el uso de bombas de velocidad variable, ya que tiene la capacidad de adaptarse de forma casi instantánea a las condiciones que le demande la red en cuanto a gasto y carga hidráulica, y lo mas importante es que es automático.

La capacidad de la bomba de velocidad variable sobre de la velocidad fija es que no existe sobrepresiones tan abruptas por cierres de válvula, o por falta de demanda en los usuarios, no existe la necesidad de dar manteniendo a tanque de regulación y a sus accesorios, ya que las bombas de velocidad variable en su mayoría esta diseñadas para evaluar diversas condiciones como pueden ser:

- Abatimiento del nivel de agua en la succión y para evitar que trabajen en seco o caviten por la falta del NPSH suficiente este sistema se protege y se apaga.
- Así como también en el caso de una fuga, el sistema al no poder sostener una presión a su máxima velocidad después de un tiempo considerable, evalúa que existe una fuga y se apaga.

- Cuando este sistema arranca, puede empezar a trabajar a una velocidad lenta e ir aumentando paulatimamente, dando tiempo a un llenado lento y sin golpes de agua y permitiendo la salida del aire.
- Al igual que en el arranque, al apagarse normalmente empieza a disminuir su velocidad gradualmente, lo que disminuye el golpe de ariete que se presenta por paro de bombeo.

Tomando en cuenta que el sistema de bombas de velocidad variable tiene un mejor control sobre las presiones que actúan en la línea, esto ayudará a disminuir las pérdidas por excesos de presión.

5.2 Conclusiones en cuanto a costos.

En cuanto a consumo de energía es más favorable el uso de bombas de velocidad variable que las de velocidad fija.

En cuanto a la infraestructura necesaria también son más favorables las bombas de velocidad variable que las de velocidad fija, ya que los costos del tanque de regulación son altos.

Por lo tanto desde el punto de vista de costos es más favorable el uso de bombas de velocidad variable.

5.3 Conclusiones generales.

En los dos casos propuestos para la comparativa, uno de mayor longitud que el otro, en ambos casos resultaron favorables, aunque en el caso del de mayor longitud resultó más favorable esto es debido a que tenía mayores pérdidas de energía que el caso 1 y al reducir la velocidad para los diferentes puntos de operación estas pérdidas se reducían en mayor proporción que

el caso 1, no obstante no es recomendable poner estos sistema en líneas demasiado largas ya que la variación de las perdidas de energía puede afectar la carga en las tubería y tener variaciones exageradas de presión.

Por todo lo anterior ya mencionado es recomendable en uso de bombas de velocidad variable, no obstante es necesario recopilar toda la información para poder proyectar correctamente para que el sistema tenga el comportamiento y ahorro esperado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Normas técnicas para proyectos de sistemas de agua potables.
- [2] www.nacobre.com.mx/Man_AP_05-%20Elaboraci%C3%B3n%20de%20Proyectos.asp
- [3] Método correcto de cálculo de ahorros de energía para justificar controladores de frecuencia variable con motores de bombas centrifugas.-
www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/UEE/AHORROBOMBAS.pdf
- [4] Curso básico de aplicación de velocidad variable en sistemas de bombeo.-
www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Curso%20basico%20de%20Variadores%20de%20Velocidad.pdf
- [5] www.cfe.gob.mx/es/InformacionAlCliente/conocetutarifa/acuerdos/2008/
- [6] www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6419/6/TarifasElectricasCFE.pdf
- [7] Tesis Maestría: M.I. Gustavo Morales Nava
- [8] Informe de gobierno del Estado de Baja California
- [9] Secretaria de Energía.(pagina internet).
- [10].- (Juan Manuel Pérez Mata)
<http://seia.guanajuato.gob.mx/panel/document/phpver.php?Id=2002>
- [12].- (Ing. Fernando Contreras Serrano Director General de SAPASA)
<http://www.fugasdeagua.com/water.pdf>
- [13].- (ARTICULO TECNICO)
http://www.usuarios.lycos.es/arquinstal03/publicaciones/otras/bib637_optimizacion_de_altura_manometrica_una_bomba_y_ure.pdf
- [14].- Journal of energy engineering/diciembre 1998 / 103 “Improved Operation of Water Distribution Systems Using Variable-Speed Pumps (Mejoramiento de Operacion de los Sistemas de Distribucion Usando Bombas de Velocidad Variable”.
Vol 124 Issue 3, p90,14p.
- [15].- Plant Engineering; Jun 2007, p49-51, 3p “Flow economy determines true pump system efficiency”, Kernan, Daniel/
- [16] Variable Speed Pumping (A guide to succesful aplicacions
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/variable_speed_pumping.pdf
- [17] Intelligent Variable Speed Pumping Controls Costs.
<http://www.ittresourcecenter.com/casestories/Case%201804.pdf>

[18] Pumps & sistemas (diciembre 2005) “Variable Frequency drives”.- www.pump-zone.com

[19] How to calculate motor efficiency for variable-speed centrifugal pumps.-
<http://www.esmagazine.com/CDA/Archives/709b248514da8010VgnVCM100000f932a8c0>

[20] Goulds Pumps (Aquavar).- www.goulds.com

[21] Diseño de instalaciones mecanicas y selección de equipo mecanico, libro V tomo 1
Comisión Nacional del Agua.

[22] Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.- Claudio Mataix

[23] Mecánica de Fluidos .- Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Keith W. Bedford.

[24] Administracion eficiente del agua mediante la sectorizacion y control de presiones .- Ing,
Fernando Contreras Serrano.