"Diseño e Implementación de un Sistema de Bombeo de Aguas Residuales para una Urbanización"

AUTORES
Christian Navarrete Rodríguez [1]
Edison Martínez Barzola [2]

COAUTOR
Ing. Fernando Anchundia [3]
Director de Tesis, Ingeniero Mecánico [3]

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción [1] [2] [3]
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
navarrete_christian@macasa.com.ec [1]
emartinez@helptec.com.ec[2]

Resumen

En los últimos años se ha visto una marcada tendencia en el país hacia el desarrollo habitacional mediante urbanizaciones privadas. Las actividades de los residentes de las mismas, producen aguas afluentes contaminadas que no pueden ser liberadas al medio ambiente sin antes ser tratadas.

Normalmente los sitios donde se construyen las urbanizaciones son lugares apartados de la ciudad donde no existen o están en proyecto redes de aguas residuales, por esta razón organismos de control exigen que se construyan plantas de tratamiento de aguas residuales para su posterior descarga.

En el presente proyecto se aplican los fundamentos teóricos y prácticos de la mecánica de fluidos para diseñar e implementar un sistema de bombeo de aguas residuales que alimente dicha planta de tratamiento para una urbanización privada.

Se realizaran consideraciones que soporten el diseño y la selección del sistema de bombeo correcto, mediante cálculos teóricos y prácticos con la utilización de aplicativos comerciales usados para estas prácticas. Luego se realizaran análisis y descripciones de los costos de los equipos y materiales utilizados, incluyendo la instalación del sistema y el mantenimiento que garantice una larga vida de los equipos usados.

Finalmente se describen las conclusiones resaltando los resultados obtenidos y, las recomendaciones a tener en cuanto para el desarrollo de un proyecto de estas características.

Palabras Claves: *Aguas afluentes, descargas, tratamiento de aguas residuales, sistema de bombeo.*

Abstract

In the last years there has been a marked trend in the country for residential complexes development by private neighborhoods. The activities of the residents of these urbanizations produce contaminated waters that cannot be released into the environment without being treated properly.

The places where these urbanizations are normally built, are in the suburbs of the city where there are not or are in the planning stage of sewage systems, therefore controlling organizations demand that sewage treatment plants need to be built for further discharges to the environment.

In this project we apply theorical and practical fundaments of mechanics of fluids to design and implement a contaminated water pumping system that would connect to the sewage treatment plant for a private neighborhood.

Considerations will be made that support the design and selection of the pumping system, through theoretical and practical calculations using commercial software very useful in these practices. Then, an analysis and description of the equipment costs, materials used, including the installation and maintenance of the system to prolong the useful life of the equipment.

Finally the conclusions are described highlighting the obtained results and the important recommendations for develop of a project such as this.

Keywords*: Contaminated waters, sewage treatment plant, pumping systems.*

1. Introducción

El alto índice de crecimiento poblacional afecta profundamente a las más grandes ciudades del país tanto así que en los últimos 20 años, el Ecuador ha vivido un proceso de oleadas migratorias del campo a la ciudad; el 70 % de la población en la actualidad vive en las ciudades.

La búsqueda de nuevas alternativas llevo a el desarrollo urbanístico a escoger el levantamiento y construcción de urbanizaciones privadas en terrenos fuera de las ciudades lo cual ha conllevado a una pérdida de suelos agrícolas y al desgaste de los ecosistemas frágiles como bosques, páramos, manglares que empiezan a ser usados como zonas residenciales. Estas estructuras no respondían a un ordenamiento territorial y por tanto presentaban problemas en la oferta de servicios básicos generando depósitos de aguas servidas y residuos sólidos, sin ningún tipo de tratamiento.

Hoy, empezar un plan habitacional de este tipo requiere de forma indispensable la presentación de un proyecto de construcción de un sistema de tratamiento aguas residuales cumpliendo con las Ordenanzas Municipales, en orden de conseguir el permiso de habitabilidad.

Dentro de la construcción y diseño de esta red de tratamiento de aguas residuales existen consideraciones dinámicas hidráulicas y de selección de bombas adecuadas que permitan la completa implementación del sistema y es esta estación de bombeo, la que se describirá a lo largo de este proyecto.

2. Generalidades del proyecto

2.1 Antecedentes de la urbanización

La urbanización considerada y para la cual se ha proyectado el sistema de tratamiento de aguas residuales, corresponde a aproximadamente 8.80 Ha.

La urbanización contara, de acuerdo a la planificación urbana diseñada, con lotes para la construcción de viviendas unifamiliares de dos plantas, para personas de nivel medio-alto.

Al no existir sistema de alcantarillado sanitario, ni un colector matriz municipal, se deberá entonces diseñar las redes internas de recolección, debiendo la urbanización evacuar las aguas servidas mediantes una estación de bombeo y tratamiento provisional.

2.2. Parámetros preliminares de diseño

Estos parámetros vienen dados en las variables de alimentación de cada urbanización.

2.2.1. Población. Para cálculos de la población se realizan las siguientes consideraciones:
Numero de lotes = 205
Número de personas por solar = 6
Número total de personas = 1,230

2.2.2. Dotación de Agua Potable. En un sistema de alcantarillado, generalmente el agua que circula por este proviene del los usos que le dan los usuarios al agua potable.
Las dotaciones de diseño consideradas para este estudio se encuentran, según Estudio de Factibilidad realizado por la empresa ECAPAG fue evaluada en 270 l/hab-dia [1].
Que también puede ser definido como el consumo medio diario.

2.2.3. Aporte Domestico (Q_D). Que está definido como:

$$Q_D = \frac{C.P.R}{86400}\left[\frac{lt}{seg}\right]$$

Donde;
C = Es el consumo medio diario.
P = Población a servir.
R = El coeficiente de retorno

El coeficiente de retorno (R), de aguas servidas debe ser definido por la empresa prestadora de los servicios de agua potable o pueden utilizarse como guía los rangos descritos según el nivel de complejidad descritas en la siguiente tabla:

TABLA 1. Nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Población	Capacidad económica
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Media
Medio alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Según el factor económico y la población ya determinadas, el nivel de complejidad seleccionado será MEDIO.

Una vez seleccionado el nivel de complejidad, podemos determinar el coeficiente de retorno de aguas servidas según la siguiente tabla:

TABLA 2. Coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas

Nivel de complejidad del sistema	**Coeficiente de retorno**
Bajo y medio	0.7-0.8
Medio alto y alto *	0.8-0.85

El nivel de complejidad del proyecto es medio, por lo cual se ha estimado como 0.8 el coeficiente de retorno.

$$Q_D = 3.075\,\frac{lt}{seg}$$

2.2.4 Caudal Máximo (Q_{MH}). Es la base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Este caudal está definido por:

$$Q_{MH} = F.Q_D$$

Donde;
F = Factor de mayo ración
Q_D = Aporte domestico

El factor de mayo ración tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. Este valor disminuye en la medida en que el número de habitantes aumenta, pues el uso del agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir a amortiguar los flujos. Sin embargo, esto no es factible en muchos casos, por lo que es necesario estimarlo con base en relaciones aproximadas como la ecuación de Harmon [2], la cual se estima en función del número de habitantes:

$$F = 1 + \frac{14}{4 + P^{0.5}}$$

$$F = 3.74$$

Dejando el caudal máximo entonces:

$$Q_{MH} = 11.50\,\frac{lt}{seg}$$

2.2.5 Otros caudales. Existen otras caudales a tomar en cuenta.

Caudal de conexión errada (Q_{CE}): Se da cuando existen malas conexiones de bajantes de tejados y patios (aguas lluvias). Este valor debe ser dado por la empresa prestadora de servicios para también puede seguirse como guía para realizar cálculos estimados la siguiente tabla:

TABLA 3. Aportes máximos por conexiones erradas

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno (L/seg-Ha)
Bajo y medio	0.2
Medio alto y alto *	0.1

Como ya definimos anteriormente nuestro nivel de complejidad, esta caudal quedaría definido por:

$$Q_{CE} = 0.2\frac{lt}{seg\_Ha} * A$$

$$Q_{CE} = 1.76\,\frac{lt}{seg}$$

Caudal de infiltración (Q_{INF}). Las infiltraciones de aguas superficiales de alcantarillado sanitario, principalmente las freáticas se dan a través de fisuras en los colectores. Estos aportes se dan en función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas. Estas infiltraciones se pueden dar según la tabla en donde la categorización de infiltración alta, media o baja se relaciona con las características topográficas, de suelos, niveles freáticos y precipitación. En donde el valor inferior del rango corresponde a condiciones constructivas apropiadas.

TABLA 4. Aportes por infiltración

Nivel de complejidad	Infilt. Alta (l//seg-Ha)	Infilt. Media (l//seg-Ha)	Infilt. Baja (l//seg-Ha)
Bajo y medio	0.15-0.4	0.1-0.3	0.05-0.2
Medio alto y alto	0.15-0.4	0.1-0.3	0.05-0.2

El aporte por infiltración seleccionado según el nivel de complejidad seria 0.2, quedando:

$$Q_{INF} = 0.2\frac{lt}{seg\_Ha} * A$$

$$Q_{CE} = 1.76\,\frac{lt}{seg}$$

2.3 Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Según las Ordenanzas Municipales todas las aguas residuales provenientes de una urbanización deben ser tratadas en orden de minimizar o anular cualquier efecto negativo al medio ambiente por contaminación de desechos sólidos humanos.

El afluente a tratar llegara a la planta de tratamiento impulsado desde un pozo de bombeo, el que será el tema central de nuestro proyecto.

Luego ingresa a la cámara de aireación donde se produce la etapa de tratamiento biológico. En esta cámara se introduce oxigeno a la masa liquida, estimulando el crecimiento y desarrollo de bacterias aeróbicas.

Estas bacterias degradaran el material orgánico, convirtiéndolo el floculos de bacterias, formando lo que se denomina licor mezclado o biomasa.

El licor mezclado fluye hacia la cámara de sedimentación, donde los floculos de bacterias se decantan, formando un lodo que se deposita en el fondeo de la cámara.

El liquido clarificado sale del sedimentador a través de un canal con vertedero metálico y es conducido hacia la cámara de cloración, que es donde se lleva la etapa de desinfección del liquido tratado, mediante la dosificación de hipoclorito de sodio de forma tal que se pueda obtener un residual de cloro superior a 0.2 ppm

3. Diseño del equipo de bombeo

3.1 Condiciones de operación

3.1.2 Caudal necesario. El caudal de diseño se lo obtiene sumando el caudal de máximo horario, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas, ya definidos en el capitulo anterior.

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INFI} + Q_{CE}$$

$$Q_{DT} = 15.02\,\frac{lt}{seg} = 238.16\,GPM = 0.015\,\frac{m^3}{seg} = 54\,\frac{m^3}{hora}$$

Este caudal es el correspondiente a las contribuciones acumuladas que llegan hasta el pozo de recolección de aguas residuales. Cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea inferior a 1.5 l/seg., debe adoptarse este valor como caudal de diseño.

3.1.2 Cálculo de la altura dinámica total (TDH). La bomba a seleccionarse debe vencer la resistencia existente en el sistema para lograr que el líquido fluya. La resistencia al flujo del líquido es conocido como altura dinámica total TDH. Esta comprende los siguientes ítems: alturas estática de succión y de descarga, las pérdidas por rozamiento, la altura de velocidad, pérdidas de carga locales y la diferencia de presión existente sobre el líquido en el lado de la succión y en el lado de la descarga.

Para el presente proyecto no existen condiciones de succión, porque las bombas están sumergidas y succionan el agua residual directamente sin necesidad de accesorios y tuberías. Entonces:

$$P_D - P_S = 0,\ V_S = 0,\ Z_S = 0,$$

Reemplazando estos valores en la ecuación de energía entre dos superficies libres y considerando sólo condiciones de descargas, tenemos que:

$$TDH = Z_D + \frac{V_D^2}{2g} + f\,\frac{l}{D}\frac{V_D^2}{2g} + \sum K_L\,\frac{V_D^2}{2g}$$

3.1.3 Diseño del sistema de tuberías y accesorios. La tubería de impulsión es la que recibe el agua residual descargada por la estación de bombeo y que la transporta a presión hasta el punto de evacuación.

Los aspectos más importantes del dimensionamiento de la tubería de descarga son la velocidad de circulación y las pérdidas por fricción.

Existe un conflicto entre ellos porque la velocidad debe ser lo suficientemente alta para transportar los sólidos por la tubería, aunque las velocidades elevadas crean mayores pérdidas de fricción, aumentando la altura dinámica total a las bombas.

En general, una velocidad mínima de 1.96 ft/seg. (0.6 m/seg.) mantiene los sólidos en suspensión y una velocidad de 6.56 ft/seg (2 m/seg) puede arrastrar aquellos sólidos que hayan podido sedimentarse en la tubería [3].

Como se detalla en el APÉNDICE C la longitud y disposición del sistema de tubería están en base a las condiciones del proyecto como topografía, requerimientos de construcción, normas de construcción de sistemas de bombeo, etc. Los diámetros de la tubería se diseñan en base a las velocidades mínimas y máximas para suspender y arrastrar los sólidos, estos cálculos se desarrollan en el APÉNDICE A. Aquí se muestran las diferentes velocidades para cada diámetro de tubería a un caudal constante y de acuerdo a esto seleccionamos una tubería de diámetro nominal de 4 pulgadas, dimensiones bajo norma ANSI clase 125. Seleccionamos este diámetro porque se encuentra en el rango de diseño, y porque además la bomba a seleccionar dispone de una descargada de 4 pulgadas.

En la cámara húmeda se va a utilizar como material de la tubería acero inoxidable, debido al gran medio corrosivo al que estará expuesto. En la cámara seca se seleccionó tubería A53 Grado B CED 40, a este se le aplicará galvanizado en caliente 70 micras en la parte interior y exterior, además en la parte exterior se le aplicará un epóxico bituminoso con poliamida (Coaltar epoxi) dos capas de 200 micras, con un tiempo de curado de siete días, según normas ANSI/AWWA C210 [4]

Como elementos importantes dentro del sistema de tuberías, se tiene a los pasamuros; en el presente diseño existen dos, un elemento brida liso y otro brida-brida ambos de cuatro pulgadas, con un anillo sujetador intermedio para facilitar su montaje y excelente fijación antes de la fundición de las paredes, para evitar pérdida de niveles que ocasionarían un problema al momento de acoplar todo el sistema.

Los componentes adicionales de la tubería tales como válvulas, codos, conexiones en T, etc., se los denomina accesorios del sistema de tubería; estos contribuyen a la pérdida de carga global del sistema, cada uno de estos componentes está definido por un coeficiente de pérdida, el cual depende de la geometría del componente considerado. Para el presente proyecto la sumatoria de los coeficientes de pérdidas de todos los componentes necesarios para el sistema de tubería diseñado, como se lo puede apreciar en la tabla del APÉNDICE B, es 3.84

Los accesorios serán bridados y sus dimensiones serán según norma ANSI/AWWA C208 [5] y ANSI/AWWA C207 [6]. Además a estos accesorios se le aplicará el mismo recubrimiento contemplado para la tubería de acero A 53 Grado B CED 40. Para mayor detalle se muestra en el APÉNDICE J las tablas de especificaciones técnicas para el sistema de tubería y accesorios, las mismas que deben ser consideradas por los constructores.

El sistema de bombeo deberá tener una válvula de regulación y otra de cheque (retención) en la tubería de impulsión, además deben tener una señalización que indique si encuentran abiertos o cerrados y se deben instalar en sitios de fácil acceso para el operador, para su inspección y mantenimiento y que permitan un adecuado montaje y desmontaje. Las especificaciones técnicas de las válvulas seleccionadas se detallan en el APENDICE J.

Para la fabricación de los tramos de tubería se debe diseñar un procedimiento de soldadura el mismo que será calificado y registrado según código ASME sección IX o Normas ANSI/AWWA C206 [7].

Además se debe realizar pruebas no destructivas a los elementos si las circunstancia lo ameritan.

3.1.4 Curva del sistema de bombeo. La altura requerida por las bombas, para descargar el caudal de 15.02 l/s a través del sistema de tubería, se la obtiene desarrollando la curva altura vs caudal del sistema.

Esta curva es la representación gráfica de la altura del sistema y se la obtuvo dibujando los puntos correspondientes a la altura manométrica total (altura geométrica más pérdidas) para una gama de caudales que varían desde cero al valor máximo esperado. La tabla y el gráfico se la puede observar en el APÉNDICE A.

Expresamos la ecuación con el caudal Q en GPM, porque es más usual encontrar curvas de los fabricantes con este valor.

Entonces la ecuación sería:

$$TDH = 25.36 + 9.18\, E^{-05} Q^2$$

Obteniéndose el punto de operación con un cabezal requerido de 30.57 ft a 238.16 GPM.

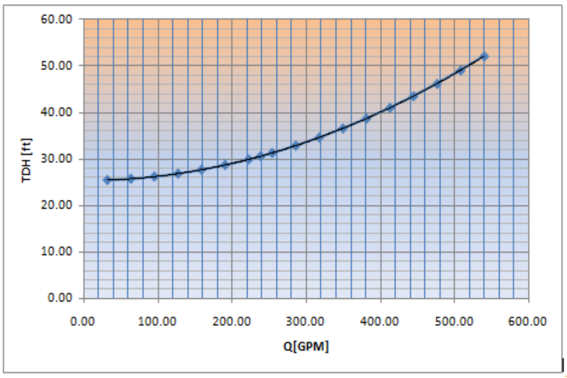

FIGURA 1. Curva del sistema.

3.1.5 Curvas características de las bombas a ser utilizadas. La altura a la que la bomba puede impulsar los diversos caudales a velocidad de funcionamiento constante se establece en los ensayos de bombeo que realizan los fabricantes. La altura manométrica de la bomba es la diferencia entre las energías existentes en el conducto de impulsión y aspiración de la bomba.

En el curso del ensayo se varía el caudal de bombeo actuando sobre una válvula dispuesta en la descarga de la bomba y se mide la altura correspondiente. Los resultados del ensayo se representan gráficamente dando lugar a una curva de alturas-caudales para la velocidad de giro empleada. Al mismo tiempo, se miden el rendimiento y la potencia absorbida y los valores resultantes se representan sobre el mismo diagrama. El conjunto de estas curvas se denomina curvas características de la bomba.

Para el presente proyecto la bomba que se adapta a nuestro requerimiento (dimensiones, diámetro de descarga, etc.) Es un modelo comercial AMX 434-184, marca Homa, cabe recalcar que se eligió esta marca porque cumple con los requerimientos del proyecto a realizar, pero queda abierta la posibilidad del constructor que seleccione otra marca de bomba siempre y cuando cumpla con los requerimientos y con la calidades de la que se ha seleccionado. El gráfico de las curvas características de esta bomba seleccionada se los puede encontrar en el APÉNDICE D.

3.1.6 Punto de operación del sistema de bombeo. El punto de operación de la bomba lo determina la intersección entre la curva del sistema y la curva característica de la bomba seleccionada. La intersección de estas curvas da un valor de 238.16 GPM y de 30.57 ft, con una eficiencia del 63.4 %. El punto de operación de la bomba se lo puede visualizar en el APÉNDICE D.

3.1.7 Cálculo de la potencia de los equipos de bombeo utilizados. Mediante cálculos realizados en el APÉNDICE B se obtiene la mínima potencia hidráulica ganada por el fluido con un valor de aproximadamente 3 HP, el motor eléctrico trabajará a 460 voltios a una frecuencia de 60 Hertz a 1750 rpm además el diseño será de 5 HP y devanado de 4 polos.

3.1.8 Sistema de izaje. La estación debe contar con elementos que permitan el transporte y movilización de maquinaria, teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

- La capacidad del equipo debe ser suficiente para mover el elemento de mayor peso que pueda ser transportado.
- El curso del equipo debe ser analizado para permitir en todo momento el retiro, movilización del equipo de bombeo.
- Deben ser previstos los accesos necesarios en la casa de bombas, de manera que permitan el manejo adecuado de los equipos en los labores de mantenimiento.

Para el presente proyecto, debido a que las dimensiones y peso de las bombas y accesorios a montar o desmontar son de baja magnitud, el izaje que se diseñó consiste en dos sistemas idénticos con un carro y polipasto manual de 500 Kg, los mismos que se ajustarán a una viga I, fabricada. Se provee al carro una protección estándar contra caída e inclinación de acuerdo con la norma DIN 15018 y con las directrices sobre la maquinaria. Además el polipasto está constituido con cadenas resistentes de acero inoxidable para aumentar la resistencia a la corrosión.

En el APÉNDICE I se detallan los planos y especificaciones del sistema de izaje. Como un adicional al sistema de izaje las bombas seleccionadas tienen accesorios de izaje el mismo que comprenden principalmente de un riel de dos tubos de 1 ½” y un codo base de descarga fijo, este codo con brida ANSI de 4”, entonces cuando se requiere realizar un mantenimiento a cualquiera de las bombas, sólo basta con desensamblar los pernos y la bomba será levantada fácilmente con el polipasto manual.

3.2 Diseño del pozo húmedo

3.2.1 Dimensiones del pozo húmedo. Despejando de la ecuación deducida en el APÉNDICE G el volumen requerido para el pozo húmedo:

$$V = \frac{Q\Phi_{min}}{4}$$

Por lo tanto, si:

Φ_{min} = 900 segundos (La frecuencia de cada arranque será cada 15 minutos).

Q = Caudal de bombeo o capacidad de bombeo, el cual se lo obtiene por el cálculo de la planilla.

$$V = 3379.5\ litros$$

Por razones de órdenes prácticos y constructivos (debido a la cota de llegada de los ramales primarios), se adoptan las siguientes dimensiones para el pozo húmedo:
Largo = 2 m.
Ancho = 2 m.
Altura de bombeo= 5.38 m.
Volumen = 21.52 m3.

3.2.2 Características del pozo húmedo. Entre las consideraciones a tomar para la construcción del pozo misma se tienen:

- A la base del pozo húmedo se le consideró una inclinación hacia la zona de aspiración de las bombas, debido a que por el tamaño del pozo el flujo no siempre es turbulento, por lo que suele producirse la deposición de arenas y sólidos.
- Para evitar una obstrucción de las bombas con trapos u otros sólidos que pueden causar un atascamiento se ha anexado al diseño una reja para que separe los trapos y otros materiales. La reja es un dispositivo formado por un conjunto de barras paralelas cuya separación es de 10 cm y la limpieza de esta se la realiza de forma manual.
- Como el ciclo de funcionamiento de las bombas depende de la potencia de las mismas y de las recomendaciones del fabricante, se diseñó el sistema mediante el siguiente criterio para bombas de hasta 20 HP el tiempo entre arranques debe ser entre 10 y 15 minutos.

Dos elementos importantes a instalarse en la cámara húmeda son las compuertas planas deslizantes, se entenderá como compuertas a los dispositivos que permiten controlar el flujo de las aguas residuales entre las cámara de llegada y la cámara húmeda de bombeo y también para dar paso a un posible flujo de rebose si el caso lo amerita, sus ubicaciones se detallan en el APÉNDICE C. Estas serán de accionamiento manual a través de un volante y se debe realizar una prueba de maniobrabilidad luego del montaje. Esta prueba consiste en levantar y descender la compuerta verificando que la operación se realice con suavidad y sin presentar atascamientos.

3.3 Consideraciones para la construcción de la estación de bombeo

La estructura de la estación de bombeo será de hormigón armado.

A las paredes exteriores situadas por debajo del terreno y las de la cámara de aspiración que se encuentran por debajo del nivel máximo de agua se les colocará un revestimiento bituminoso para evitar filtraciones.

Las secciones serán cuadradas y rectangulares, ya que permiten una utilización mejor del espacio disponible.

Se tiene que tener en cuenta que para el montaje de los pasamuros se deben rigidizar de la mejor manera posible, no hay que escatimar materiales y costos porque estos son de extrema importancia al momento de montar las tuberías restantes y si se los instala con algún desalineamiento o que se muevan durante la fundición de los muros conllevaran a que haya problemas a futuro con el montaje del resto de los accesorios y tubería.

Se han diseñado vigas carril para suspender a las bombas para cuando necesiten mantenimiento.

Para atender situaciones de emergencia y en base al criterio de que el número de habitantes es menor a 3000, se colocarán dos bombas, cada una con capacidad de bombear el caudal de bombeo calculado. Una de ellas será la unidad de reserva y funcionará alternamente con la unidad principal.

A las bombas se le ha incorporado un sistema de fijación que permite su extracción sin afectar a la tubería de descarga, mediante unas guías a lo largo de las cuales se deslizan las bombas.

Se ha diseñado tapas de inspección sobre las válvulas check y válvulas compuertas.

El proceso de funcionamiento, tanto manuales, como automáticos de los equipos del sistema de bombeo, se los realizará desde un TABLERO DE CONTROL, el panel está conformado de equipos de protección (guardamotores, breakers y relés térmicos), de maniobra (interruptores y relés auxiliares) y de equipos de control, será fabricado con plancha de acero inoxidable con las siguientes dimensiones 0.70x0.80x 0.30 m. Los elementos de control instalados en la estación de bombeo son:

- ✓ Tres boyas de nivel o flotadores de dos posiciones, instaladas en el pozo de bombeo, las mismas que indican los niveles de arranques y paradas de las bombas. Los tres flotadores se denominan SW1, SW2 Y SW3, y serán del modelo MB para la marca seleccionada (HOMA), las especificaciones de los mismos se detallan en el APÉNDICE D. SW2 enciende la bomba 1, SW3 enciende a la bomba 2 en caso de emergencia y SW1 apaga las bombas cuando se llega al nivel -1.38 m.
- ✓ Un selector rotativo para conmutación del modo de funcionamiento de bombeo, única y exclusivamente operable manualmente, con opciones: Apagado, Manual y automático.
- ✓ Pulsanteras de arranque y paro para el modo de funcionamiento manual.
- ✓ Pulsantera de paro de emergencia.
- ✓ Luminarias de señalización de estado de equipos y/o procesos.

Las longitudes de las trabas del flotador se lo diseñaron en base a la altura del rango de bombeo. Los gráficos utilizados para el diseño se los muestra en el APÉNDICE C.

En modo de operación APAGADO, no será posible la operación de bombas, se empleará solo para mantenimiento e intervención de los equipos, sin riesgo para el personal que efectuará estas labores.

En modos de operación MANUAL, será posible o encender o apagar las bombas, mediante la simple acción sobre las teclas de la tarjetas de control de funcionamientos de las bombas.

En modo AUTOMÁTICO será el controlador programable, el responsable de encender o apagar las bombas mediante rutinas que ejecuten el proceso de funcionamiento automático de las bombas siguiente:

- Cuando el nivel del agua haya alcanzado la cota -0.88 m, es decir cuando se alcance el nivel de marcha de bombeo, el flotador SW2 encenderá la bomba # 01.
- Si en un supuesto caso si el nivel sigue subiendo y logra alcanzar la cota -0.28 m se encenderá una alarma y a su vez la bomba #02.
- Las bombas permanecerán en funcionamiento hasta cuando se alcance la cota -1.38 m, en cuyo caso se apagarán ambas bombas.

4. Cálculos de costos de inversión

4.1 Cálculo de los equipos de bombeo, tuberías y accesorios

A continuación se detalla el listado de los rubros de suministros que componen a la estación de bombeo. En el listado se detallan los precios unitarios de cada uno de los rubros, estos elaborados mediante un análisis de precio unitario (APU). Al final se muestra el total de suministros con un valor de US$44,134.33.

4.2 Costos de Instalación de los Equipos de Bombeo y sus Accesorios

Se ha realizado un análisis de precios unitarios (APU) de todos los rubros de instalaciones de los componentes de la Estación de Bombeo. Este listado y el anterior (suministros) serán la base para realizar el proyecto y serán una guía al momento de licitar el proyecto si el caso lo amerita. Al final se muestra el total de instalación de suministros con un valor de US$6,359.50.

4.3 Costos de Mantenimiento de los Equipos de Bombeo

Para el análisis de costos de mantenimiento de los Equipos de bombeo, se ha considerado el costo de operación más los costos de mantenimiento diario (limpieza de canastilla de retención de sólidos), el mismo que se considera a una persona que trabaje cuatro veces a la semana, mas el costo de mantenimiento periódico preventivo y/o correctivo que se le realizará a las bombas; los suministros se calcularon a partir del 5% de la mano de obra y las herramientas a partir del 2.5% de la mano de obra. De manera aproximada el tiempo de operación diario de la bomba se consideró a partir del coeficiente entre el caudal doméstico Q_D y el caudal de diseño Q_{MH} multiplicado por 24 horas. La energía requerida anual del equipo, se calculó a partir de recomendaciones del fabricante.

4.4 Análisis de costos de inversión

El costo de inversión es uno de los aspectos más importante a analizar, puesto que esto influye directamente en los cálculos de costos indirectos al fijar un precio por villa o condominio en una urbanización. Para el presente proyecto se ha analizado previamente los costos de suministros y montaje de los mismos; además se analizó los costos por mantenimiento que influirán en el cálculo de las tasas mensuales que tendrán que cancelar los habitantes a la administración por mantenimiento de la estación de bombeo.

Para los suministros e instalación de la Estación de Bombeo, resulta un total de US$49,493.83, al dividir para los 205 lotes, resulta un valor de US$241.43 que será un costo indirecto que deberá sumarse al costo total de la villa o condominio a construirse.

Cuando la Estación de bombeo esté operativa con el valor de US$4,767.05 se calculó que cada uno de los dueños de los 205 lotes de la urbanización pagará aproximadamente US$1.93 mensuales por mantenimiento del equipo de bombeo.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Basados en cálculos teóricos y aplicaciones comerciales se ha podido seleccionar un equipo de bombeo de aguas residuales para una urbanización. Además se ha establecido un sistema normalizado para el cálculo del caudal y se ha calculado el cabezal dinámico total, mediante ecuaciones básicas de la Mecánica de Fluidos.

En el cálculo de diseño se debe tener un extremo cuidado al realizarlo porque una equivocación provocaría que las bombas se seleccionaran de manera errónea. Un correcto diseño, una buena selección y una adecuada calibración del equipo de bombeo permitirán que el proyecto se desarrolle óptimamente, para desempeñar el trabajo requerido.

Es necesario que el constructor realice un análisis de costo, tiempo y calidad antes de empezar a ejecutar el proyecto. Es decir tiene que seleccionar los accesorios y equipos de bombeo bajo las normas establecidas y además de planificar con anticipación la importación de los accesorios, para no generar retraso.

Durante la construcción se debe tener cuidado al momento de instalar los pasamuros antes y durante la fundición de las paredes porque de esto depende la instalación a futuro del sistema de tubería.

El uso de la información de la marca utilizada, en ningún caso pretende direccionar la selección definitiva de los equipos de bombeo a la referida marca. En efecto, la aprobación definitiva de los equipos a instalarse deberá efectuarse a base de la verificación del cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.

El presente proyecto considera la instalación de dos equipos de bombeo de iguales características, de manera que se instalen dos bombas, una operativa y una de reserva, la misma que funcionará cuando exista alguna anomalía en una de las bombas o cuando se le realice el respectivo mantenimiento preventivo.

Se debe realizar pruebas preliminares de bombeo en las condiciones normales y críticas de operación con el fin de detectar posibles errores y tomar las medidas correctivas.

El mantenimiento de todo el equipo debe ser de carácter preventivo y debe llevarse un registro de las actividades de mantenimiento realizadas, que incluya el tipo de daño presentado, las posibles fallas, repuestos utilizados, tiempo de reparación y medidas preventivas tomadas para disminuir su ocurrencia.

6. Referencias

[1] Informe de Factibilidad de Servicios No. 034-PLDE, de abril 2001, emitido por ECAPAG.
[2] Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000.
[3] Ingeniería de Aguas Residuales, McGraw Hill, Segunda edición.
[4] ANSI/AWWA - Liquid epoxic coating systems for the interior and exterior of steel wáter pipelines.
[5] ANSI/AWWA – Dimensions for fabricated steel water pipe fittings.
[6] ANSI/AWWA – Steel pipe flanges for waterworks service.
[7] ANSI/AWWA – Field welding of steel water pipe.