El caudal de diseño se lo obtiene sumando el caudal de máximo horario, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas, los mismos que fueron definidos y calculados en el capítulo 1.

$$Q\_{DT}=Q\_{MH}+Q\_{INFI}+Q\_{CE} $$

$$Q\_{DT}=\left(15.50+1.76+1.76\right)\frac{lt}{seg}$$

$$Q\_{DT}=15.02\frac{lt}{seg}=238.16 GPM=0.015 \frac{m³}{seg}=54\frac{m^{3}}{hora}$$

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

**3.1.2 Cálculo de la altura dinámica total** $(TDH$**).**

La bomba a seleccionar debe vencer la resistencia de un sistema de bombeo para lograr que el líquido fluya totalmente en el sistema. 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 estás 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.

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 muestran en el APÉNDICE A.

Aquí se muestran las diferentes velocidades para cada diámetro de tubería a un caudal constante y de acuerdo a esto se selecciona una tubería de diámetro nominal de 4 pulgadas, dimensiones bajo norma ANSI clase 125. Se selecciona 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 las condiciones del punto de trabajo. En la cámara húmeda se selecciona como material de la tubería acero Inoxidable, debido al gran medio corrosivo al que estará expuesto. En la cámara seca se selecciona 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 (Liquid epoxi coating systems for the interior and exterior of steel water pipelines).

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 de cuatro pulgadas de diámetro nominal, ambos con un anillo de estanqueidad, para evitar posibles filtraciones y este anillo se lo utilizará también para fijarlo mediante puntos de soldadura proveyendo así una excelente fijación antes de la fundición de las paredes, evitando un posible desalinamiento o 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 Tee, 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 es 3.84, como se lo puede apreciar en la tabla del APÉNDICE A.

Los accesorios serán bridados y sus dimensiones serán según norma ANSI/AWWA C208 (Dimensions for fabricated steel water pipe fittings) y ANSI/AWWA C207 (Steel Pipe Flanges for Waterworks Service). Además a estos accesorios se les 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 de la Estación de Bombeo.

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 APÉNDICE 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 (Field welding of steel water pipe). 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 lt/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 obtiene 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. El gráfico se lo puede observar en el APÉNDICE A y en la figura 3.1.

Se expresa la ecuación con el caudal Q en GPM, porque es más usual encontrar curvas de los fabricantes con este valor. Entonces la ecuación sería:

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

Se obtiene el punto de operación, con un cabezal requerido de 30.57 ft a 238.16 GPM.

**FIGURA 3.1** 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 la 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 mide 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 los requerimientos del proyecto (dimensiones, diámetro de descarga, punto de operación, etc.), es un modelo comercial AMX 434-184, marca Homa, cabe recalcar que se ha elegido 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 visualizar 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 seleccionado trabajará a 460 voltios, frecuencia de 60 Hertz a 1750 rpm además la potencia de la bomba seleccionada por marca, 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:

1. La capacidad del equipo debe ser suficiente para mover el elemento de mayor peso que pueda ser transportado.
2. El curso del equipo debe ser analizado para permitir en todo momento el retiro, movilización del equipo de bombeo.
3. 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 debe estar 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 a seleccionar deben tener accesorios de izaje adicionales, los mismos que se compondrán principalmente de un riel de dos tubos de 1 ½” y un codo base de descarga fijo, este codo será bridado de 4” según ANSI B16.1, entonces cuando se requiera realizar un mantenimiento a cualquiera de las bombas, sólo bastará 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 será:

$$V=\frac{QΦ\_{min}}{4}$$

 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.

$$V=\frac{15.02x900}{4}$$

$$V=3379.5 litros$$

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 = 5.38 m.

 Volumen **= 21.52 m3.**

**3.2.2 Características del Pozo Húmedo**

Entre las consideraciones para el diseño y construcción del pozo húmedo 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 diseñado 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 ha diseñado 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, en el plano PEB 003. 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. En el APÉNDICE C, se detallan más especificaciones técnicas que provee el fabricante.

**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 tuberías.
* 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 desmontar a la tubería de descarga, mediante unas guías a lo largo de las cuales se deslizan las bombas.
* Se han 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 (guarda motores, breakers y relés térmicos), maniobra (interrupturos y relés auxiliares) y equipos de control, será fabricado con plancha de acero inoxidable con las siguientes dimensiones 0.70x0.80x 0.30 m. Los elementos de control a instalar en la estación de bombeo son:
* Tres boyas de nivel o flotadores de dos posiciones, que serán instaladas en el pozo de bombeo, las mismas que indicarán los niveles de arranques y paradas de las bombas. Los tres flotadores se denominarán 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 encenderá la bomba # 1, SW3 encenderá a la bomba # 2 en caso de emergencia y SW1 apagará las bombas cuando se llegue 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 las ha diseñado 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 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.