

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



REPORTE FINAL DE RESIDENCIAS PROFESIONALES

**“ESTUDIO, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE
MODERNIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO DEL
SISTEMA SANTO DOMINGO” – PLANTA
POTABILIZADORA LOS PÁJAROS –**

INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:

EDUARDO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

10270828

ASESOR: ING. SAÚL DE JESÚS MOLINA DOMÍNGUEZ

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS 25 DE JULIO DEL 2015

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Agradezco a Dios por las bendiciones y por llegar hasta este día importante en mi vida sin duda el mejor apoyo que podemos tener.

A LA INSTITUCION EDUCATIVA

Al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por proporcionarme los conocimientos y habilidades que me permitirán desempeñarme en un ambiente laboral.

A MIS PADRES:

Sr. Gonzalo Rodríguez Vázquez y Sra. Angélica González Avendaño. Por la confianza y todo el apoyo brindado durante mi vida y mi carrera asiéndoles saber que los aprecio y los valoro mucho.

A MIS HERMANOS:

Ediberto Rodríguez González y Gonzalo Rodríguez González por el apoyo que me prestaron durante el tiempo de mis estudios.

A MIS ASESORES:

Ing. Virgilio Montoya Castellanos y el Ing. Saúl de Jesús Molina Domínguez por todo el apoyo, el tiempo y la disposición que me prestaron durante el periodo de mi residencia.

RESUMEN EJECUTIVO

Durante el proyecto de residencia se desarrolló el levantamiento de datos nominales (eléctricos, hidráulicos y mecánicos) de cada bomba de servicio estos datos fueron obtenidos de las tarjetas de control de cada planta del sistema de tuberías del río Santo Domingo.

Se realizó el diagrama unifilar de las tres líneas de conducción de 20", 24" y 36" de diámetro, así como, de las plantas de rebombeo de dicho sistema considerando el tipo de material de las tuberías, los años de servicio, la longitud de las líneas de conducción, la edad y longitud del múltiple, la altura de demasías de tanques así como la cota de terreno de las plantas. Empleando Planos y croquis para la obtención de datos requeridos para el cálculo.

Estos datos nos permitieron realizar la memoria de cálculo para la selección de los equipos de bombeo realizando una propuesta de rehabilitación del sistema.

Para finalizar se emplearon curvas de rendimiento para la selección del núm. de tazones así como los NPSH-R, la potencia al freno (BHP) y la Eficiencia de las bombas, solicitando así una cotización para obtener el presupuesto que se requiere para rehabilitar cada Planta de Rebombeo.

CONTENIDO

| | |
|-----------------------|-----|
| AGRADECIMIENTO..... | II |
| RESUMEN EJEUTIVO..... | III |
| INTRODUCCION..... | V |

CAPITULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO

| | |
|--|-----------|
| 1.1 Antecedentes del proyecto | 10 |
| 1.2 Descripción General del Sistema | 10 |
| 1.3 Líneas de Conducción | 12 |
| 1.3.1 Línea de 20 pulgadas de Diámetro | 12 |
| 1.3.2 Línea de 24 pulgadas de Diámetro | 13 |
| 1.3.3 Línea de 36 pulgadas de Diámetro | 14 |
| 1.4 Situación actual de las Plantas de Rebombeo | 15 |
| 1.4.1 Captación Rio Santo Domingo | 15 |
| 1.4.2 Planta de Rebombeo N° 1 Tanque Sedimentador | 16 |
| 1.4.3 Planta de Rebombeo N° 2 Antigua L- de 20" y 24" de Diámetro | 17 |
| 1.4.4 Planta de Rebombeo N° 2 Nueva Línea de 36" de Diámetro | 17 |
| 1.4.5 Planta de Rebombeo N° 3 Antigua L- de 20" y 24" de Diámetro | 18 |
| 1.4.6 Planta de Rebombeo N° 3 Nueva Línea de 36" de Diámetro | 19 |
| 1.5 Antecedentes de los Centros de Control de Motores "CCM" y de las Subestaciones Eléctricas | 19 |
| 1.6 Planteamiento del Problema | 21 |
| 1.7 Justificación | 22 |
| 1.8 Objetivo | 23 |
| 1.9 Alcance | 23 |
| 1.10 Cronograma de Actividades | 23 |

CAPITULO II MARCO TEORICO

| | |
|---|-----------|
| 2.1 Objetivos Específicos | 25 |
| 2.2 Descripción de las Maquinas Hidráulicas | 25 |
| 2.2.1 Sentido de transferencia de la Energía | 25 |
| 2.2.2 Grado de Compresibilidad del Fluido | 26 |
| 2.2.3 Principio de Funcionamiento | 27 |
| 2.3 Características Principales de las Bombas | 28 |
| 2.4 Alturas | 29 |
| 2.4.1 Caso 1 Achicando | 30 |
| 2.4.2 Caso 2 Elevando | 31 |
| 2.4.3 Caso 3 Evacuando | 32 |
| 2.4.4 Caso 4 Transportando | 33 |
| 2.5 Clasificación de las Bombas | 34 |
| 2.5.1 Por la continuidad de la circulación del fluido de trabajo | 34 |
| 2.5.2 Conceptos de la bomba de desplazamiento positivo. | 35 |
| 2.5.3 Características | 36 |
| 2.5.4 Aplicaciones | 36 |
| 2.6 Clasificación de las Bombas de Desplazamiento Positivo | 37 |
| 2.7 Conceptos de la bomba rotodinámica. | 37 |
| 2.7.1 Características | 37 |
| 2.7.2 Utilización | 38 |
| 2.7.3 Componentes | 38 |
| 2.8 Clasificación bombas Rotodinámica | 41 |
| 2.9 Conceptos de bomba centrífuga | 42 |
| 2.10 Turbinas Hidráulicas | 45 |
| 2.10.1 Clasificación de las Turbinas | 47 |
| 2.10.2 Factores para la Selección del Tipo de Bomba | 47 |
| 2.11 Cálculo de Pérdidas de Energía | 48 |
| 2.11.1 Pérdidas de carga por fricción | 48 |
| 2.11.2 Ecuación de Darcy-Weisbach | 48 |
| 2.11.3 Ecuación modificada de Colebrook – White | 49 |
| 2.11.4 Diagrama de Moody | 50 |
| 2.11.5 Número de Reynolds | 51 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.11.6 | Rugosidad absoluta y Rugosidad Relativa. | 52 |
| 2.11.7 | Variación del Coeficiente de Fric. Con la Edad de la Tubería | 53 |
| 7.11.8 | Criterio de Genijew | 54 |
| 2.12 | Carga en el Sistema (conceptos) | 55 |
| 2.12.1 | Carga Estática | 56 |
| 2.12.2 | Elevación Estática de Succión y Carga Estática de Succión. | 56 |
| 2.12.3 | Carga Estática de Descarga | 56 |
| 2.12.4 | Carga Estática Total | 56 |
| 2.12.5 | Carga de Fricción | 57 |
| 2.12.6 | Carga de Velocidad | 57 |
| 2.12.7 | Elevación de Succión | 57 |
| 2.12.8 | Carga de Succión | 57 |
| 2.12.9 | Carga de Descarga | 58 |
| 2.12.10 | Carga Total | 58 |
| 2.12.11 | Condición de Succión | 58 |
| 2.12.12 | Carga Neta Positiva de Succión (NPSH-R) | 58 |
| 2.13 | Pérdidas Secundarias | 58 |
| 2.14 | Potencias | 59 |
| 2.14.1 | Potencia P del flujo | 59 |
| 2.14.2 | Potencia interior en el eje, P_i | 60 |
| 2.14.3 | Potencia interior teórica en el eje, P_{it} | 60 |
| 2.14.4 | Potencia exterior en el eje, P_e | 60 |
| 2.15 | Rendimientos | 60 |
| 2.16 | Curva Característica | 61 |
| 2.17 | Selección de una Bomba | 61 |

CAPÍTULO III CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 3.1 | Generalidades de la empresa | 65 |
| 3.2 | Organigrama | 65 |
| 3.3 | Descripción del Área de Negocios | 66 |
| 3.4 | Puesto Asignado y Funciones | 66 |

CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLADAS

| | |
|---|------------|
| 4.1 Levantamiento de Datos hidráulicos, Mecánicos y Electricos | 68 |
| 4.2 Cálculo de perdidas Primarias y Secundarias en las plantas | 69 |
| 4.2 Cálculo de Potencia | 79 |
| 4.3 Selección de la Bomba | 81 |
| 4.4 Cotización de los equipos de Bombeo | 113 |

CAPÍTULO V RESULTADOS OBTENIDOS

| | |
|-----------------------|------------|
| 5.1 Resultados | 119 |
|-----------------------|------------|

CAPÍTULO VI ALCANCES Y LIMITACIONES

| | |
|-------------------------|------------|
| 6.1 Alcance | 122 |
| 6.2 Limitaciones | 122 |

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------------------------|------------|
| 7.1 Conclusiones | 124 |
| 7.2 Recomendaciones | 125 |
| 7.3 Referencias Bibliográficas | 133 |
| 7.4 Anexos | 134 |

INTRODUCCIÓN

En el capítulo uno se presenta los antecedentes del proyecto así como el planteamiento, la justificación, los objetivos y el cronograma de actividades. Con la finalidad de dar una visión del proyecto y sus características a desarrollar dentro del mismo.

En el capítulo dos, se introduce un marco teórico así como fórmulas y ecuaciones que son esenciales para poder determinar los parámetros que ayudan a seleccionar los equipos de bombeo, dentro de estos se encuentra la carga dinámica total, la potencia y la eficiencia, entre los más relevantes.

Los parámetros antes mencionados, dan la oportunidad de poder obtener una idea de cómo se comporta nuestro sistema, en donde se le pueden hacer mejoras y cómo utilizar los accesorios para que tengan una menor pérdida hidráulica. Así las fórmulas presentadas tienden a conducirnos hacia el punto principal, que es la deducción de los parámetros hidráulicos y la potencia consumida por los equipos de bombeo.

En los capítulos siguientes se desarrolla la teoría expuesta en el capítulo dos; en donde se llega a la deducción de cuál es la mejor propuesta dentro de los proveedores de bomba que se analizan. Al llegar a este punto se desarrollara un formato de datos y especificaciones para obtener una cotización de los equipos de bombeo para cada planta y poder obtener los costos necesarios para la rehabilitación de nuestro sistema; así como los equipos seleccionados deberán satisfacer las necesidades de abastecimiento, con características apropiadas, de tal forma que el los mismo sean confiables y eficientes.

Como complemento se presentaran las curvas de rendimiento para la selección de las bombas describiendo en cada una de ellas el gasto, la carga, la velocidad por etapas y el NPSH – R; para posteriormente obtener el número de pasos o etapas de cada bomba vertical, tomando como base la carga dinámica total calculada.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes del Proyecto

El proyecto se planteó en el Departamento Electromecánico y Mantenimiento de SMAPA ubicado en el edificio de la Planta Potabilizadora N° 2 con capacidad de 1000 LPS. El cual se encarga del control de los equipos y líneas de conducción, así como del mantenimiento preventivo y correctivo del Sistema por Bombeo Santo Domingo Plantas Potabilizadoras “Los Pájaros”.

El proyecto surge de la necesidad de revisar y diagnosticar la situación que actualmente tienen los equipos electromecánicos que componen este sistema por bombeo, este proyecto fue propuesto por la Dirección General de Operación y Mantenimiento del Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA) de Tuxtla Gutiérrez, la cual está ubicada en el tercer piso del edificio anexo a la Torre Chiapas. La finalidad principal del mismo es realizar una propuesta de rehabilitación y mejoramiento de los Equipos de Bombeo y de las instalaciones que también complementan este sistema.

1.2 Descripción General del Sistema Santo Domingo

El Sistema de Bombeo de Santo Domingo está integrado por una captación de agua directa del río Santo Domingo que consiste en un cárcamo de concreto armado, construido en la margen izquierda de dicho río y se encuentra localizado a unos 500 m antes del entronque del mismo con el río Grijalva. Cuenta con tres líneas de conducción de 20”, 24” y 36” de diámetro, instaladas en forma paralela hasta las Plantas Potabilizadoras “Los Pájaros”.

El sistema por bombeo parte del cárcamo de Santo Domingo hacía en un Tanque Sedimentador el cual descarga en el cárcamo de bombeo de la Planta N° 1. Posteriormente estas líneas parten de este cárcamo y se dividen en línea de 20” y 24” de diámetro que descargan su agua al tanque de mampostería con capacidad de 1000 m^3 de la Planta de Rebombeo N° 2 Antigua.

La línea de 36" de diámetro se dirige hacia la Planta de Rebombéo N° 2 Nueva descargando su agua en el tanque de concreto de 1000 m^3 de capacidad. Esta última planta se encuentra construida en terrenos aledaños a la primera.

Nuevamente las líneas de 20" y 24" de diámetro son dirigidas hacia la Planta de Rebombéo N° 3 Antigua descargando en un tanque de mampostería con capacidad 1000 m^3 y la línea de 36" de diámetro se dirige a la Planta de Rebombéo N° 3 Nueva descargando en otro tanque de concreto con capacidad de 1000 m^3 . Esta planta también se encuentra construida en terrenos cercanos a la 3 Antigua.

Finalmente las líneas de 20" y 24" de diámetro se dirigen y descargan en el tanque sedimentador de la Planta Potabilizadora N° 1 con capacidad de 500 LPS, y la línea de 36" de diámetro descarga su agua en el Tanque Sedimentador de la Planta Potabilizadora N° 2 con capacidad de 1000 m^3 .

El agua potable que produce la Planta Potabilizadora N° 1, descarga en una cisterna de la cual parten 3 líneas de alimentación de 12", 18" y 20" de diámetro. Estas líneas son alimentadas por un sistema de gravedad. El agua potable que produce la Plantan Potabilizadora N° 2, descarga en otro tanque o cisterna de la cual parten 2 líneas de 30" de diámetro que alimentan a los brazos Sur y Norte de la ciudad, también estas líneas son alimentadas por gravedad.

1.3 Líneas de Conducción

1.3.1 Línea de 20 pulgadas de diámetro.

La *línea de 20 pulgada de diámetro* consiste de aproximadamente 10 km de asbesto cemento, con tres plantas de rebombeo que según datos históricos fue puesta en operación en 1975, teniendo una antigüedad de 40 años.

El máximo gasto que llegó a conducir, a través de 3 bombeos, fue de 220 LPS, en la actualidad apenas conduce 80 LPS. Las aguas de esta línea se descargan en el tanque sedimentador de la Planta Potabilizadora con capacidad de 500 LPS.

De la Captación Santo domingo al Tanque Sedimentador que es de concreto armado con 7 secciones de sedimentación y con un canal de entrada y uno de salida, el cual descarga en el cárcamo de la Planta N° 1 de concreto armado con una profundidad de 5 m. Esta línea tiene una longitud de 179.5 m, con un desnivel de terreno de 5.10 m. Este tanque sedimentador y el cárcamo de bombeo de la estación N° 1 fueron construidos entre 1994 – 1995 y se le conoce actualmente como Planta de Rebombeo N° 1.

De la Planta N° 1 (Tanque Sedimentador) hasta la Planta N° 2 (Antigua) la línea descarga en un tanque de mampostería con capacidad de 1000 m^3 y una altura de 3 m. Tiene una distancia aproximada de 5.060 km. Con un desnivel de terreno de 42.5 m. Este tanque se construyó el mismo año que la línea de conducción de 20" de diámetro.

De la Planta N° 2 (Antigua) hasta la Planta N° 3 (Antigua) la línea descarga en un tanque de mampostería con capacidad de 1000 m^3 y una altura de 3 m. Tiene una distancia aproximada de 2.074 km. Con un desnivel de terreno de 84.5 m. También este tanque se construyó el mismo año que esta línea de conducción de 20" de diámetro.

Nota: La denominación de Plantas Antiguas se les dio a partir que entraron en operación las Plantas de Rebombear de la línea de conducción de 36" de diámetro, a las que se les dio el nombre de Plantas Nuevas de Rebombear que fueron construidas años después.

De la Planta N° 3 (Antigua) hasta el Tanque Sedimentador de concreto armado de la Planta Potabilizadora N° 1 con capacidad de 500 LPS ("Los Pájaros") a donde descarga esta línea de 20" de diámetro tiene una longitud de 2.631 km con un desnivel de terreno de 75, m con una altura del tanque de 5 m.

1.3.2 Línea de Conducción de 24 pulgadas de diámetro.

La *línea de 24 pulgadas de diámetro* tiene una longitud de 10 km aproximadamente de asbesto cemento, que fue puesta en operación en 1978, Teniendo una antigüedad de 37 años. El máximo gasto que llegó a conducir, a través de 3 bombes, fue de 300 LPS, en la actualidad apenas conduce 120 LPS. Las aguas de esta línea se descargan en el tanque sedimentador de la Planta Potabilizadora con capacidad de 500 LPS.

De la Captación Santo domingo al Tanque Sedimentador, tiene una longitud de 179.5 m, con un desnivel de terreno de 5.10 m, al igual que la línea de 20" de diámetro.

De la Planta N° 1 (Tanque Sedimentador) hasta la Planta N° 2 (Antigua) la línea descarga en un tanque de mampostería con capacidad de 1000 m^3 y una altura de 3 m. Tiene una distancia aproximada de 5.0 km. Con un desnivel de terreno de 42.5 m. Esta línea se construyó de forma paralela a la línea de conducción de 20" de diámetro para descargar al mismo tanque.

De la Planta N° 2 (Antigua) hasta la Planta N° 3 (Antigua) la línea también descarga en un tanque de mampostería con capacidad de 1000 m^3 y una altura de 3 m. Tiene una distancia aproximada de 2.017 km. Con un desnivel de terreno de 72.5 m. También este tramo de línea se instaló en forma paralela a la línea de conducción de 20" de diámetro.

De la Planta N° 3 (Antigua) hasta el Tanque Sedimentador de concreto armado de la Planta Potabilizadora N° 1 con capacidad de 500 LPS (“Los Pájaros”) a donde también descarga esta línea de 24” de diámetro tiene una longitud de 2.603 km con un desnivel de terreno de 75 m con una altura del tanque de 5 m.

El aumento de las pérdidas por fricción en las líneas de 20” y 24” de diámetro, así como, la reducción de la cantidad de agua que conduce, está en razón directa a la antigüedad de ambas y al grado de azolvamiento que deben tener después de tantos años de operar con aguas lodosas de las temporadas de lluvia que aproximadamente duran 6 meses. Esto se debe acentuar en las partes bajas o columpios que tiene según las condiciones físicas del terreno.

1.3.3 Línea de Conducción de 36 pulgadas de diámetro.

La *línea de 36 pulgadas de diámetro* consiste de 10 km aproximadamente de asbesto cemento, que fue puesta en operación en 1982, Teniendo una antigüedad de 33 años. El máximo gasto que llegó a conducir, a través de 3 bombes, fue de 1000 LPS, en la actualidad apenas conduce 780 LPS. Las aguas de esta línea se descargan en el tanque sedimentador de la Planta Potabilizadora con capacidad de 1000 LPS (Planta Potabilizadora N° 2)

De la Captación Santo Domingo al Tanque Sedimentador de concreto armado, tiene una longitud de 179.5 m, con un desnivel de terreno de 5.10 m. al igual que las otras líneas de 20” y 24” de diámetro.

De la Planta N° 1 (Tanque Sedimentador) hasta la Planta N° 2 (Nueva) la línea descarga en un tanque de concreto armado con capacidad de 1000 m^3 y una altura de 3 m. Tiene una distancia aproximada de 5.055 km. Con un desnivel de terreno de 46.17 m. Este tanque se construyó el mismo año que la línea de conducción de 36” de diámetro.

De la Planta N° 2 (Nueva) hasta la Planta N° 3 (Nueva) la línea descarga en otro tanque de concreto armado con capacidad de 1000 m^3 y una altura de 3 m. Tiene una distancia aproximada de 2.400 km. Con un desnivel de terreno de 72.5 m. También este tanque se construyó el mismo año que la línea de conducción de 36" de diámetro.

De la Planta N° 3 (Nueva) hasta el Tanque Sedimentador de concreto armado de la Planta Potabilizadora N° 2 con capacidad de 1000 LPS ("Los Pájaros") a donde descarga esta línea de 36" de diámetro tiene una longitud de 2.500 km con un desnivel de terreno de 75 m, con una altura del tanque de 5 m.

El aumento de las pérdidas por fricción de esta línea es poco más severo que en las líneas de 20" y 24" de diámetro, debido al tipo de material de que los construyeron (concreto preesforzado) y desde luego el grado de azolvamiento que también debe tener, porque conduce el mismo tipo de agua que las dos líneas ya mencionadas.

1.4 Situación Actual de las Plantas de Rebombeo

1.4.1 Captación Río Santo Domingo

Las aguas que alimentan al cárcamo del río Santo Domingo son demasiadas agresivas en los 6 meses que duran las temporadas de lluvia de cada año, acarreando, sobre todo, mucha arena abrasiva y limo, multiplicando su efecto destructor, después del paso de algún ciclón, como lo que han afectado en 1998, 2005 y en el 2010. Este tipo de agua arenosa destruye generalmente los impulsores, las chumaceras y las flechas de las bombas, por lo que después de una afectación como las indicadas es muy difícil que puedan dar la cantidad de agua necesaria.

Sobre su loza superior se instalaron 7 equipos de bombeo tipo turbina vertical, de los cuales 3 de estos equipos alimentan a la línea de conducción existente de asbesto cemento de 20" de diámetro (dos equipos en operación y uno en reserva), y 4 equipos alimentan a la línea de conducción de asbesto cemento de 24" de diámetro (3 equipos en operación y uno en reserva). Esta línea de conducción se inauguró y se puso en operación junto con la obra de captación. Entre ambas líneas han enviado un gasto aproximado de 500 LPS.

En el año de 1982 se puso en operación una nueva línea de conducción, de concreto preesforzado de 36" de diámetro que partió del cárcamo de Santo Domingo para conducir un gasto aproximado de 1000 LPS. En la actualidad se tiene instalados sobre la losa del mismo cárcamo, 5 equipos de bombeo de tipo vertical flujo mixto (cuatro en operación y uno en reserva) aportando un gasto aproximado de 800 LPS.

Con el paso del ciclón Stan en el 2005, se tuvo que sustituir las 12 bombas (cuerpo de tazones) que operan en el cárcamo de Santo Domingo, esto se realizó a través del fondo de Desastres. También entraron en este fondo, las 11 bombas (cuerpo de tazones) instaladas en el cárcamo de la planta de Rebombeo N° 1 (Tanque Sedimentador) que se encuentra ubicado a unos 180 m del cárcamo de Santo Domingo, que por esta cercanía ambas plantas de bombeo, los equipos sufren el mismo grado de afectación.

1.4.2 Planta de Rebombeo N° 1 Tanque Sedimentador

La Planta de Rebombeo N° 1, es la más importante de Sistema Santo Domingo - Plantas Potabilizadoras - "Los Pájaros", ya que a ella confluyen las aguas de ambos ríos y también de esta planta parten las tres líneas de conducción de 20", 24" y 36" de diámetro. Debido a que por estas líneas únicamente se puede conducir un máximo de 1,200 LPS, siendo esta capacidad la que esta planta tiene en este momento.

Aunque, por el fuerte deterioro que sufren las bombas en las temporadas de lluvia de cada año, esto se acentúa cuando se presentan contingencias provocadas por el paso de tormentas tropicales como las que se han tenido en años anteriores.

1.4.3 Planta de Rebombeo N° 2 Antigua Línea de 20” y 24” de diámetro

Esta planta antigua consiste de un tanque de rebombeo de mamposterías con una capacidad de 1000 m^3 que alimentan a los equipos de bombeo que abastecen a las líneas de 20” y 24” de diámetro. Una batería de equipos instalada que consiste de 3 bombas centrifugas verticales tipo autocontenidas o de bote instaladas en el lado sur de dicho tanque para operar 2 y 1 de reserva, las cuales abastecen a la línea de 20” de diámetro.

La denominación de autocontenidas quiere decir, que la bomba vertical o cuerpo de tazones viene instalada o se instalan dentro de un bote de acero, el cual se alimenta del taque.

Para la línea de 24” de diámetro tenemos una batería de equipos compuesta de 4 bombas centrifugas verticales tipo auto contenidas o de bote instaladas en el lado oriente del mismo tanque para operar 2 y 2 de reserva, para abastecer a la línea de 24” de diámetro. La línea de 20” de diámetro conduce un gasto actual de 200 LPS y la línea de 24” de diámetro con un gasto de 300 LPS.

1.4.4 Planta de Rebombeo N° 2 Nueva Línea de 36” de diámetro

Como ya se indicó, a línea de 36” de diámetro es la más importante del Sistema por Bombeo Santo Domingo – “Los Pájaros”, es la menos antigua de las tres líneas existentes, pero por ser de concreto preesforzado sus pérdidas por fricción han aumentado considerablemente, por lo que se hace necesario recalcular la carga dinámica total de los equipos de bombeo para que pueda volver a conducir 1,000 LPS.

Esta Planta Nueva consiste de un tanque de rebombeo de concreto armado con una capacidad de 1000 m^3 que alimentan a los equipos de bombeo que abastecen a la línea de 36" de diámetro. Una batería de equipos instalada que consiste de 7 bombas centrifugas verticales tipo auto contenidas o de bote instaladas en el lado poniente de dicho tanque para operar 6 y 1 de reserva, las cuales abastecen a la línea de 36" de diámetro. La línea de 36" de diámetro conduce un gasto actual de 780 LPS.

Este Tanque de Rebombeo en la actualidad tiene fisuras importantes lo cual ocasiona fugas de agua las que se considera que deben ser revisadas y atendidas para evitar un mayor daño, sobre todo que se sabe que el Estado de Chiapas se encuentra en una zona sísmica de importancia y que con estos movimientos telúricos que suceden con bastante frecuencia, las grietas se irán agravando cada vez más.

1.4.5 Planta de Rebombeo N° 3 Antigua Línea de 20" y 24" de diámetro

Esta planta antigua también consiste de un tanque de rebombeo de mampostería con una capacidad de 1000 m^3 que alimentan a los equipos de bombeo que abastecen a las líneas de 20" y 24" de diámetro. Una batería de equipos que consiste de 3 bombas centrifugas verticales tipo auto contenidas o de bote instaladas en el lado poniente de dicho tanque para operar 2 y 1 de reserva las cuales abastecen a la línea de 20" de diámetro.

Para la línea de 24" de diámetro tenemos una batería de equipos compuesta de 4 bombas centrifugas verticales tipo auto contenidas o de bote instaladas en el lado oriente del mismo tanque para operar 2 y 2 de reserva, que abastecer a dicha la línea.

1.4.6 Planta de Rebombear N° 3 nueva Línea de 36" de diámetro

Esta Planta Nueva consiste de un tanque de rebombear de concreto armado con una capacidad de 1000 m³ que alimentan a los equipos de bombeo que abastecen a la línea de 36" de diámetro. Una batería de equipos que consiste de 7 bombas centrifugas verticales tipo auto contenidas o de bote instaladas en el lado poniente de dicho tanque para operar 6 y 1 de reserva, las cuales abastecen a la línea de 36" de diámetro. Esta línea conduce un gasto actual de 780 LPS como ya se indicó.

También este tanque de rebombear se encuentra fisurado con grietas, aunque la magnitud de las fisuras no es tan grave como las del tanque de la Planta N° 2 Nueva, por lo que también deben ser atendidas para evitar un mayor daño que podría llegar a inutilizar esta Planta con algún movimiento telúrico de importancia

1.5 Antecedentes de los Centros de Control de Motores "CCM" y de las Subestaciones Eléctricas

Los centros de control de motores están instalados bajo techo en casetas adecuadas para su operación. La mayoría de estos los integran arrancadores automáticos a tensión reducida en gabinetes apropiados para usos generales, que operan a los motores existentes a los cuales proveen un voltaje en baja tensión de 440 voltios y 60 ciclos.

La mayoría son del tipo ya indicado con excepción del centro de control que alimenta a los 5 motores de la línea de 36" de diámetro en el cárcamo de Santo Domingo, que está conformado por 5 arrancadores de estado sólido (electrónicos).

Las subestaciones eléctricas para las Plantas de Bombeo de las líneas de 20" y 24" de diámetro son del tipo tendadero (Planta N° 1 con 3 transformadores de 750 KVA; Relación de Transformación: 13200 / 440 / 254 volts, 60 ciclos. Esta subestación también alimenta a los motores de la línea de 36" de diámetro.

La Planta N° 2 Antigua para la línea de 20" de diámetro cuenta con 2 transformadores de 200 y 300 KVA con misma relación de transformación. Para la Línea de 24" de diámetro, cuya subestación cuenta con 2 transformadores de 200 y 300 KVA y la misma relación de transformación).

Para la Planta 3 Antigua, también tenemos 2 subestaciones que alimentan a los motores de cada línea (20" y 24" de diámetro), con 2 transformadores cada una de 200 y 300 KVA con relaciones de transformación de 13200 / 440 / 254 volts, 60 ciclos.

Para la línea de 36" de diámetro, en el cárcamo de Santo Domingo se tiene una subestación del tipo compacto intemperie con 2 transformadores de 500 KVA; Relación de Transformación 13200 / 440 / 254 volts, 60 ciclos. Esta subestación provee de energía a los motores instalados en el cárcamo de Santo Domingo, que operan a las bombas que a su vez alimentan a las líneas de conducción de 20", 24" y 36" de diámetro, que parten de este cárcamo.

Para las plantas de rebombeo 2 y 3 Nuevas, se tiene instalados en cada planta subestaciones eléctricas del tipo compacto intemperie con 2 transformadores cada una de 1000 KVA (uno en operación y una en reserva); con relación de transformación de 34000 / 440 / 254 volts. 60 ciclos.

Por cierto las condiciones que tienen los gabinetes de estas dos subestaciones se encuentran en una situación muy deplorable ya que están con varias picaduras por la oxidación por lo que para que puedan seguir operando se tienen tapadas con lonas para evitar que penetre el agua de lluvia que pueda ocasionar algún accidente. Es recomendable cambiar estos gabinetes.

1.6 Planteamiento del Problema.

1.- El problema principal de este sistema por bombeo es la antigüedad de sus líneas de conducción sobre todo la de tipo de asbesto cemento de 20 y 24 pulgadas de diámetro cuya edad de operación pasa de los 30 años.

2.- El tipo de agua que se maneja en las temporadas de lluvia que hace que dichas líneas tengan cierta cantidad de azolve en sus partes bajas o columpios, lo que aumenta las perdidas por fricción de las mismas al reducirse su área de paso, lo que también genera una reducción en el gasto de conducción. Esta agua lodosa también reduce la vida útil de las bombas por el desgaste que tienen sus partes en movimiento como son los impulsores, chumaceras y las flechas de transmisión.

3.- Otro problema grave es la localización de las plantas Potabilizadoras que se encuentran al final de las 3 líneas de conducción siendo que deberían de estar instaladas cerca de la obra de captación para evitar el daño que actualmente se produce en todas las plantas de rebombeo y en las líneas de conducción.

1.7 Justificación.

Debido a que la fuente de suministro de agua hacia las Plantas Potabilizadoras “Los Pájaros”, es del tipo superficial como el río Santo Domingo. Habiendo entre este y dichas Plantas Potabilizadoras un desnivel aproximado de 210 m, hay la necesidad de emplear estaciones de rebombeo y de dividir el gasto total entre un número apropiado de equipos en cada estación a manera de contar con potencias de motores y de gastos de cada bomba (LPS) que sean manejables así como presiones de bombeo que nos permitan evitar sobrepresiones dañinas para las tuberías de conducción existentes en el mercado.

Lo mismo podemos considerar para el caso de las subestaciones eléctricas, que se reducen la capacidad de los transformadores utilizados. Esto aunque encarece el proyecto al utilizar varias estaciones de bombeo reduce los riesgos en la parte operativa.

Como el Sistema por Bombeo Santo Domingo, Planta Potabilizadora “Los Pájaros” fue construido en distintas etapas y fechas y aunque los equipos de bombeo que se utilizan en la actualidad se cambian con relativa frecuencia, debido al tipo de agua que se bombea en las temporadas de lluvia, que como ya se indicó destruye impulsores, chumaceras, flechas y de más elementos rotativos; así como asolvamiento de líneas de conducción y tanques de rebombeo. Todo esto ocasiona que todo este sistema tenga una destrucción considerable por lo que a la fecha debe proponerse una rehabilitación general y quizás la sustitución de las líneas de conducción más antiguas (20” y 24” pulg. de diámetro) que ya concluyeron con su vida útil.

1.8 Objetivos.

Realizar una propuesta de modernización de los equipos de Bombeo del Sistema Santo Domingo Planta Potabilizadora “Los Pájaros”, mediante un estudio y diagnóstico de los equipos de bombeo de dicho sistema. Para tal efecto es necesario conocer la forma de poder abordar y seleccionar debidamente los mismos, el cual tendrá la capacidad de abastecer a todo este sistema en todas sus necesidades de producción de agua.

1.9 Alcance.

Este proyecto se centra en proponer y seleccionar equipos de bombeo para el sistema Santo Domingo, el cual se realizara fundamentos de cálculo para la selección de las bombas para obtener una cotización del costo de los equipos electromecánicos seleccionados. Aunque no se realizara dicha comprar nos permitirá conocer un margen de los fondos necesarios para llevar acabo dicho proyecto.

1.10 Cronograma de Actividades.

| ACTIVIDAD | SEMANAS | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| LEVANTAMIENTO DE DATOS ELECTRICOS, HIDRAULICOS Y MECANICOS DE CADA BOMBA DE SERVICIO | P | X | | | | | | | | | | | | | |
| | R | X | | | | | | | | | | | | | |
| EVALUACION DEL ESTADO DE CADA BOMBA DE SERVICIO. | P | | X | | | | | | | | | | | | |
| | R | | X | | | | | | | | | | | | |
| REALIZACION DE ISOMETRICO DE LA TUBERIA PARA DETERMINAR LA CARRGA ESTATICA EN CADA CASO | P | | X | X | | | | | | | | | | | |
| | R | | X | X | | | | | | | | | | | |
| REALIZACION DE PLANOS DEL ISOMETRICO EN LOS EQUIPOS, ASI COMO DE LA PLANTA Y CONJUNTOS | P | | | | X | X | X | | | | | | | | |
| | R | | | | X | | | | | | | | | | |
| ANALISIS DE LOS GASTOS, PERDIDAS Y EFICIENCIA DE LAS BOMBAS DE SERVICIO. | P | | | | | | X | X | X | X | X | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | |
| PROPUESTA DE EQUIPOS DE BOMBEO ACTUALIZADOS EN EL MERCADO PARA LA SUSTITUCION DE LAS BOMBAS DE SERVICIO. | P | | | | | | | | | | | X | X | X | X |
| | R | | | | | | | | | | | | | | |

CAPÍTULO II.
MARCO TEÓRICO

2.1 Objetivos específicos.

En este capítulo se requiere comprender el concepto de bomba para un mejor manejo en su expresión, el análisis de la clasificación general de las bombas atendiendo a sus aplicaciones, además se analizará el funcionamiento básico de cómo objetivo es identificar la bomba más viable para el proyecto a desarrollar.

2.2 Descripción de las Máquinas Hidráulicas

Una máquina de fluido es un sistema mecánico que intercambia energía con un fluido que circula a través de él. En este apartado se proponen tres clasificaciones diferentes atendiendo a los siguientes criterios:

- 1.- El sentido de transferencia de energía entre la máquina y el fluido,
- 2.- El grado de compresibilidad del fluido utilizado
- 3.- El principio de funcionamiento.

2.2.1 Sentido de transferencia de la Energía

Según el sentido de transferencia de la energía entre la máquina y el fluido que circula a través de ella, las máquinas se pueden clasificar en: generadoras, motoras, reversibles y transmisoras.

- Las *máquinas generadoras* comunican energía al fluido, de forma que éste experimenta un incremento de energía específica entre las secciones de entrada y salida de la máquina.

Ejemplos de máquinas generadoras son: las bombas, los ventiladores y los compresores. En ocasiones, el objetivo esencial de una máquina generadora no es realmente suministrar energía al fluido, sino producir una fuerza de empuje sobre un cuerpo que se mueve en el seno de aquel, por ejemplo, las hélices marinas y aéreas.

- Las *máquinas motoras* extraen energía del fluido, dando lugar a una reducción de la energía específica de éste a su paso por la máquina. Algunos ejemplos son: las turbinas hidráulicas, de vapor, de gas y las Aero turbinas. La energía mecánica obtenida por una máquina motora puede transmitirse a un generador eléctrico o, directamente, a un vehículo, a una máquina herramienta, etc.
- Las *máquinas reversibles* pueden funcionar indistintamente como generadoras o motoras. Un ejemplo son grupos turbina-bomba utilizados en centrales de acumulación por bombeo.
- Las *máquinas transmisoras* permiten transmitir energía mediante un fluido, y están construidas por una combinación de máquinas motoras y generadoras. Ejemplos típicos son los acoplamientos, los convertidores de par, las transmisiones hidráulicas y neumáticas, etc.

2.2.2 Grado de Compresibilidad del Fluido

En función de la compresibilidad del fluido que atraviesa la máquina, éstas se clasifican en máquinas hidráulicas y máquinas térmicas (de flujo compresible).

- En las *máquinas de flujo compresible*, las variaciones de volumen específico sufridas por el fluido no son despreciables. El desacoplamiento mecánico y térmico de las ecuaciones no es posible, y se hace necesario establecer un balance de energía total, ya que la variación del volumen específico permite la transformación de energía interna en energía mecánica y viceversa.
- En las *máquinas hidráulicas*, las variaciones de volumen específico que experimenta el fluido a través de la máquina son despreciables. Esto ocurre cuando el fluido es un líquido, o bien cuando es un gas que sufre variaciones de presión poco importantes, como en el caso de los ventiladores.

En el caso de fluidos incompresibles de viscosidad constante existe un desacoplamiento entre los problemas mecánico y térmico, lo que supone una simplificación considerable al poder realizarse el balance de energía mecánica sin necesidad de recurrir a la ecuación de conservación de la energía total (mecánica + interna). La energía interna del fluido a la entrada de la máquina no puede transformarse en energía mecánica en el eje.

2.2.3 Principio de Funcionamiento

Según el principio de funcionamiento de las máquinas, se pueden clasificar en: máquinas dinámicas y de desplazamiento positivo.

- Las *máquinas dinámicas* se basan en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido. Las más importantes son las denominadas máquinas rotodinámica (turbomaquinas) cuyo elemento principal está dotado de un movimiento giratorio, que intercambia energía con el fluido través de una variación de momento cinético.
- Las *máquinas de desplazamiento positivo* se basan fundamentalmente en principios fluidos estáticos y mecánicos (aunque en ocasiones puede ser necesario considerar efectos fluidos dinámicos). Existe una gran variedad de diseños atendiendo a la aplicación concreta en que se utiliza. La característica común a todas ellas es la circulación del fluido a través de la máquina de forma discontinua.
- En algunas máquinas, una determinada masa fluida es confinada en un compartimento (órgano de retención) que se desplaza desde la zona de alimentación de la máquina (baja presión en bombas) a la zona de descarga (alta presión en bombas). Otras tienen un compartimento de volumen variable llevándose a cabo los procesos de admisión y descarga mediante válvulas que se abren y cierran alternativamente.

A continuación se presentan los esquemas de diversas máquinas de desplazamiento positivo (ver fig. 2.1 Máquinas de Desplazamiento

Positivo). En los siguientes apartados de este capítulo se hará referencia solamente a las máquinas de tipo rotodinámica.

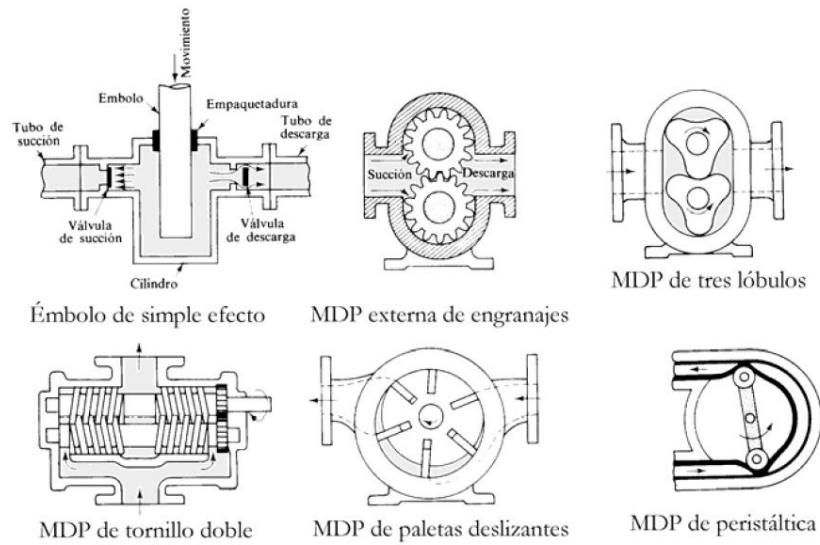


Fig. 2.1 Máquinas de Desplazamiento Positivo

2.3 Características Principales de las Bombas

- Caudal suministrado (m^3/h o l/h)
- Presión o altura suministrada H (En m.c.a, bar, kg/cm^2)
- Altura de aspiración (NPSH- R)
- La potencia consumida
- El rendimiento
- La presión máxima que puede soportar su estanquidad

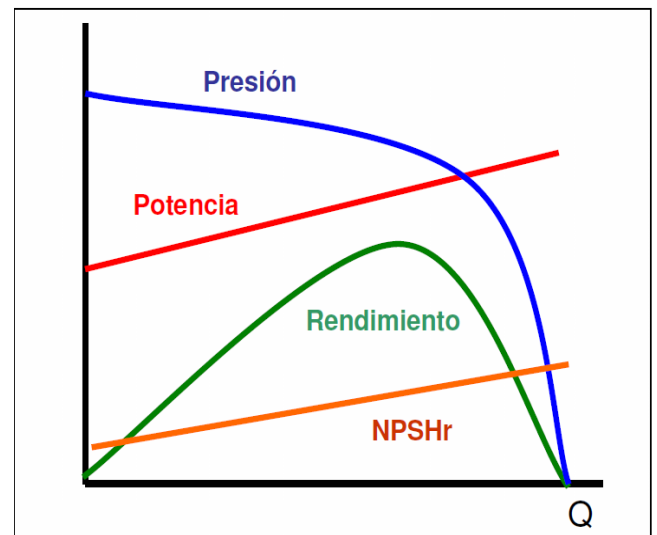


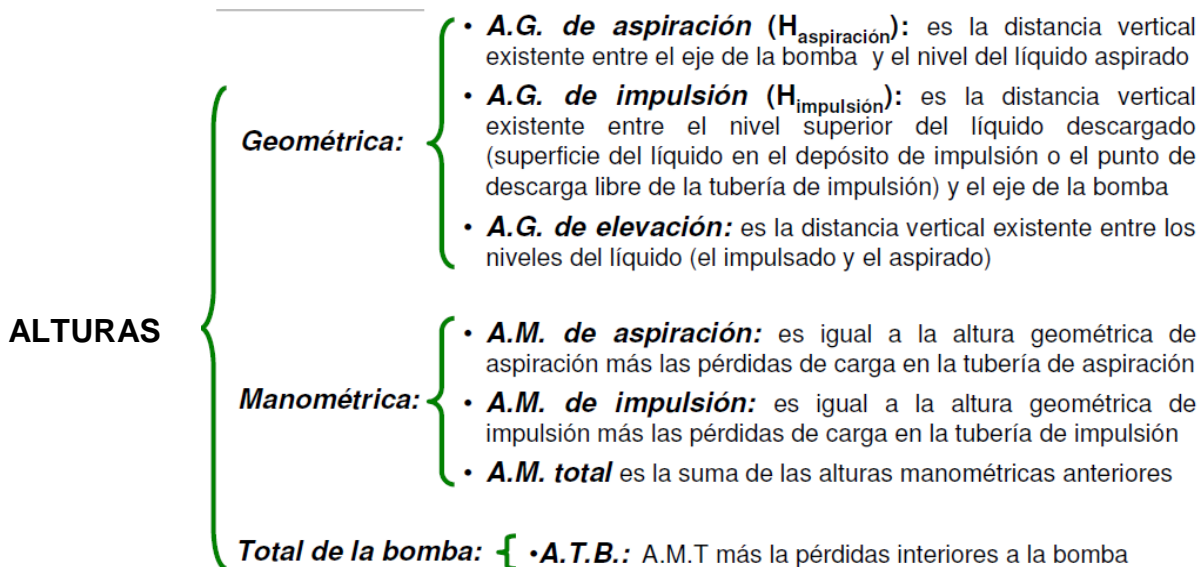
Fig. 2.2 Características de las Bombas

En la parte izquierda se muestra una Gráfica de las partes principales de las Bombas (ver fig. 2.2 Características de las Bombas).

2.4 Alturas

1. Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de Líquido (m.c.a.)
2. Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo.
3. La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de: Impulsión y Aspiración

A continuación se presenta un Mapa Conceptual describiendo las distintas alturas tanto Geométricas, Manométricas y Altura Total de la Bomba



La altura de elevación o geométrica: $H_{\text{geométrica}} = H_{\text{elevación}} = H_{\text{impulsión}} + H_{\text{aspiración}}$

La altura manométrica o útil: $H_{\text{manométrica}} = H_{\text{elevación}} + H_{L\text{-tubería}}$ $\leftarrow H_{\text{útil}}$

$$H_{L\text{-Tubería}} = H_{L\text{-Tasp}} + H_{L\text{-Timp}}$$

La altura total: $H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{L\text{-intB}}$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{elevación}} + H_{L\text{-tubería}} + H_{L\text{-int Bom}}$$

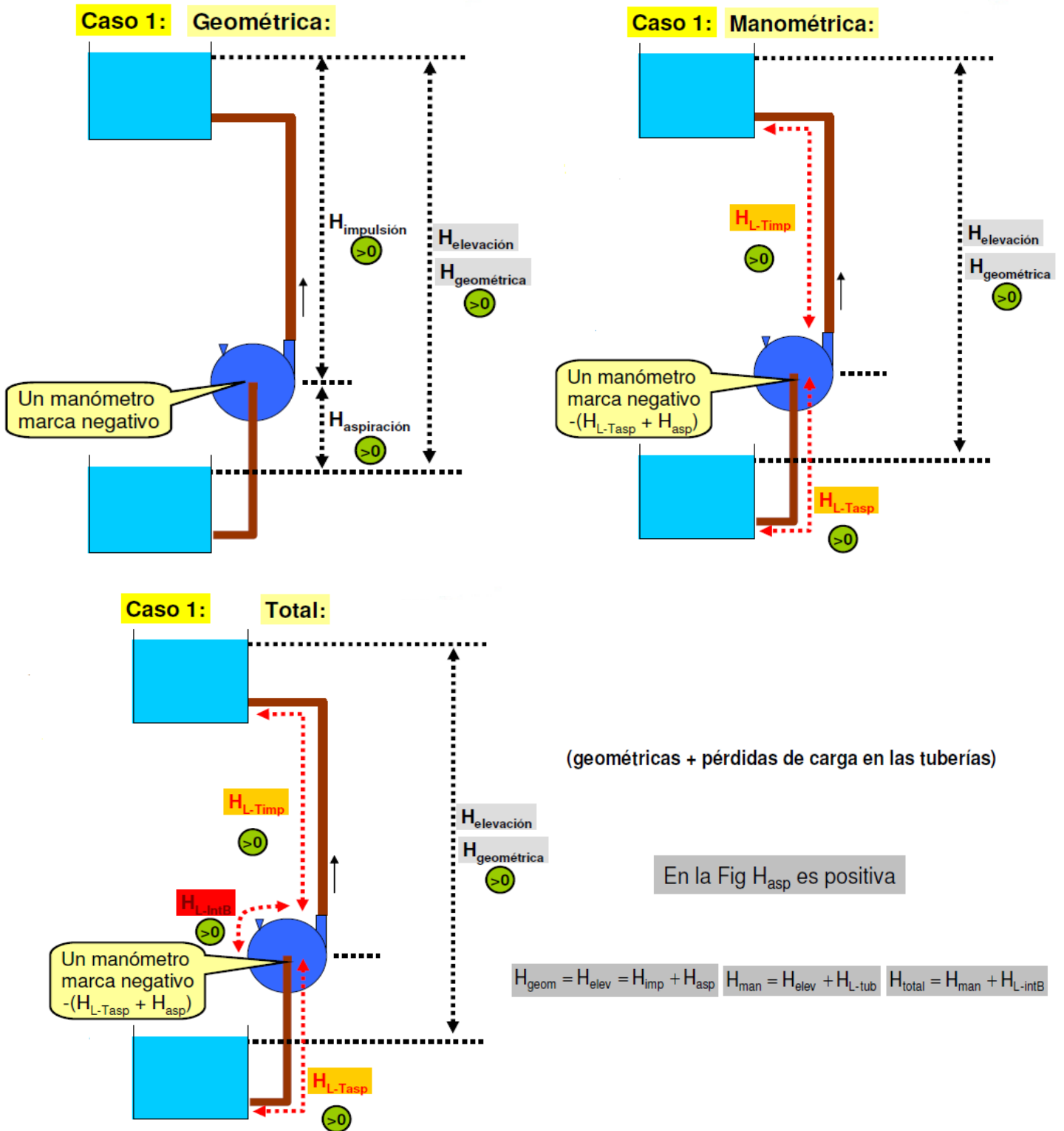
> ó < 0

>0

>0

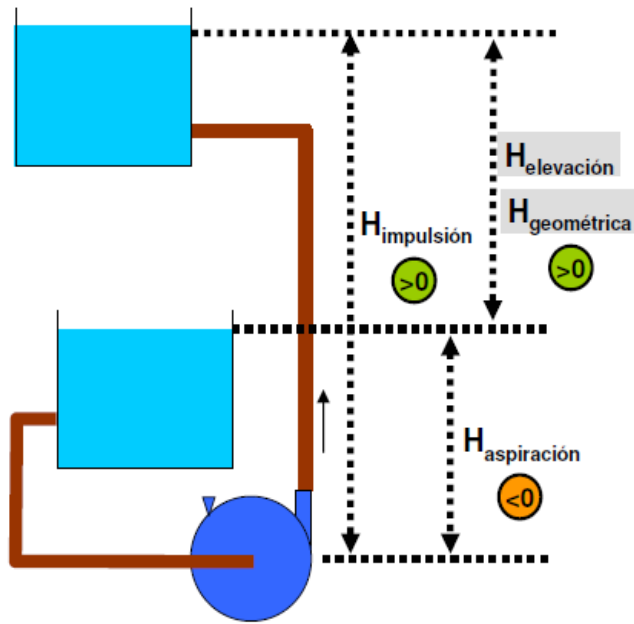
A continuación se muestra las distintas alturas descritas en el mapa conceptual anterior de manera gráfica.

2.4.1 CASO 1 ACHICANDO



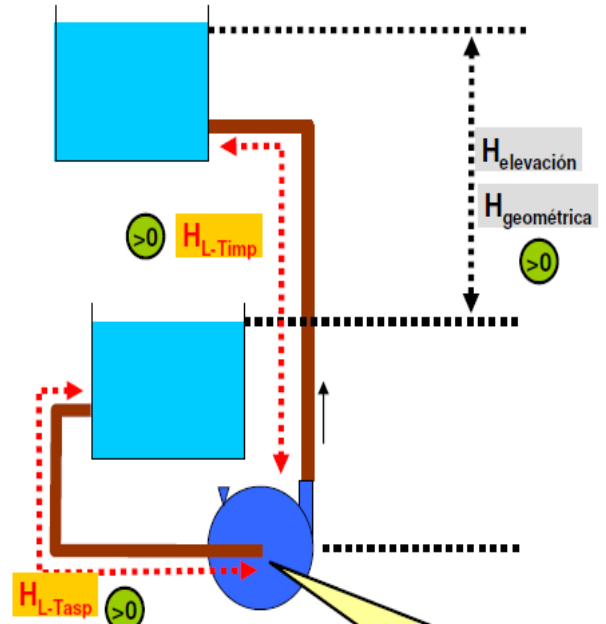
2.4.2 CASO 2 ELEVANDO

Caso 2: Geométrica:



Bomba "en carga"

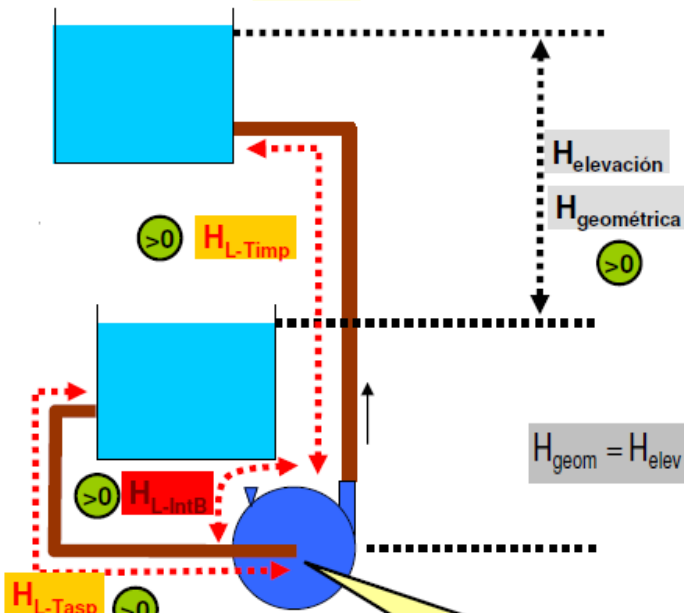
Caso 2: Manométrica:



Bomba "en carga"

Un manómetro marca
($H_{asp} - H_{L-Tasp}$) (< 0 > 0)

Caso 2: Total:



Bomba "en carga"

Un manómetro marca
($H_{asp} - H_{L-Tasp}$) (< 0 > 0)

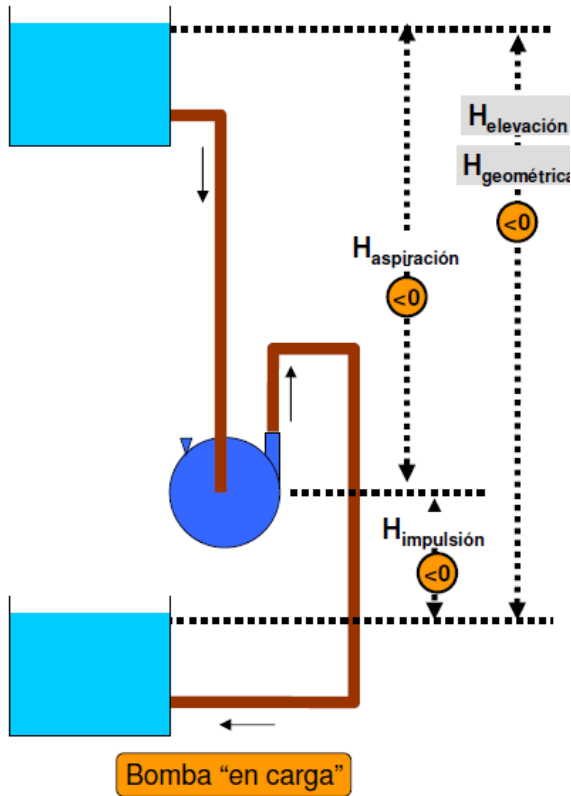
(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig H_{asp} es negativa

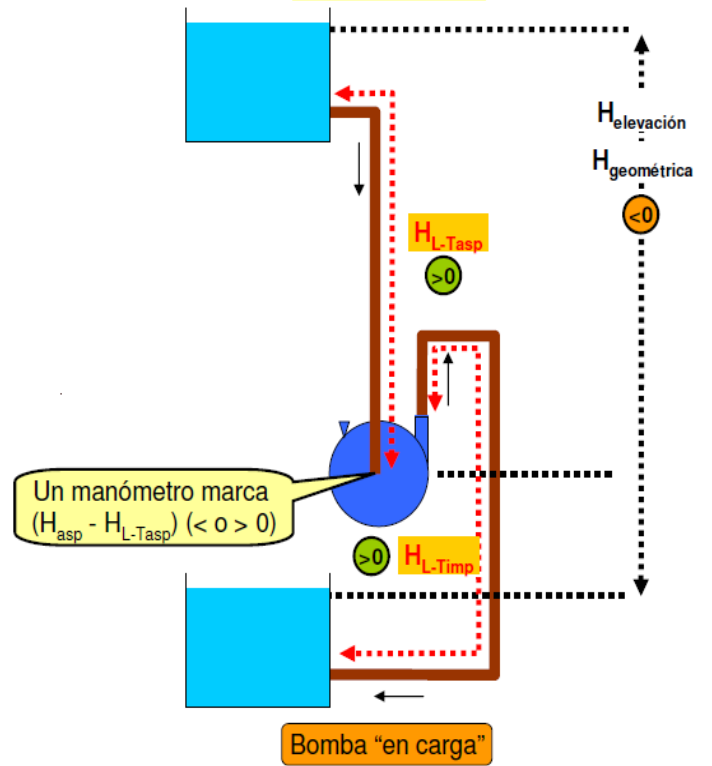
$$H_{geom} = H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \quad H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \quad H_{total} = H_{man} + H_{L-intB}$$

2.4.3 CASO 3 EVACUANDO

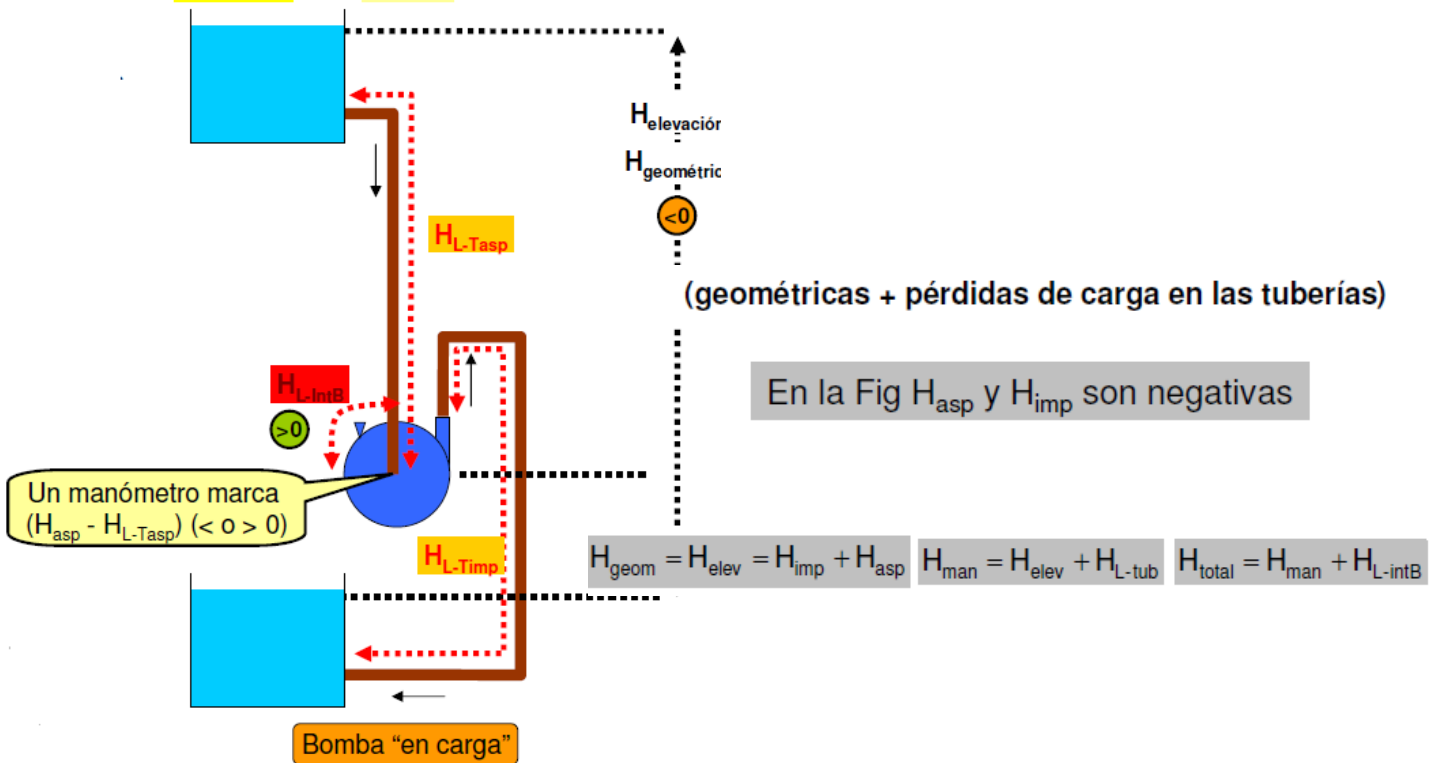
Caso 3: Geométrica:



Caso 3: Manométrica:

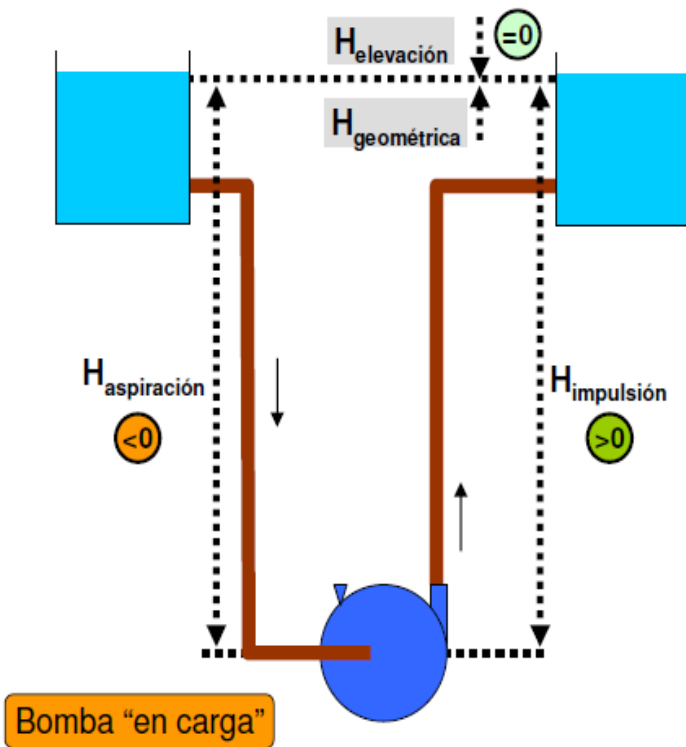


Caso 3: Total:

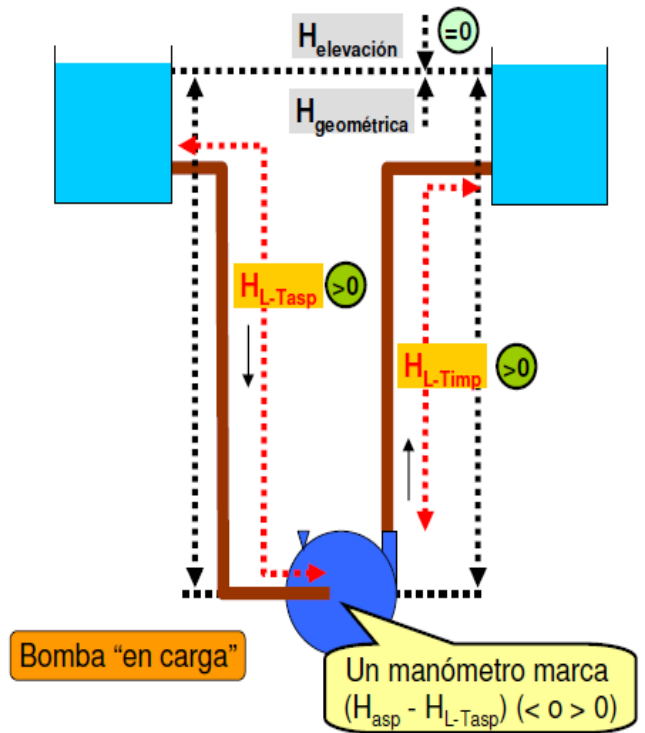


2.4.4 CASO 4 TRANSPORTANDO

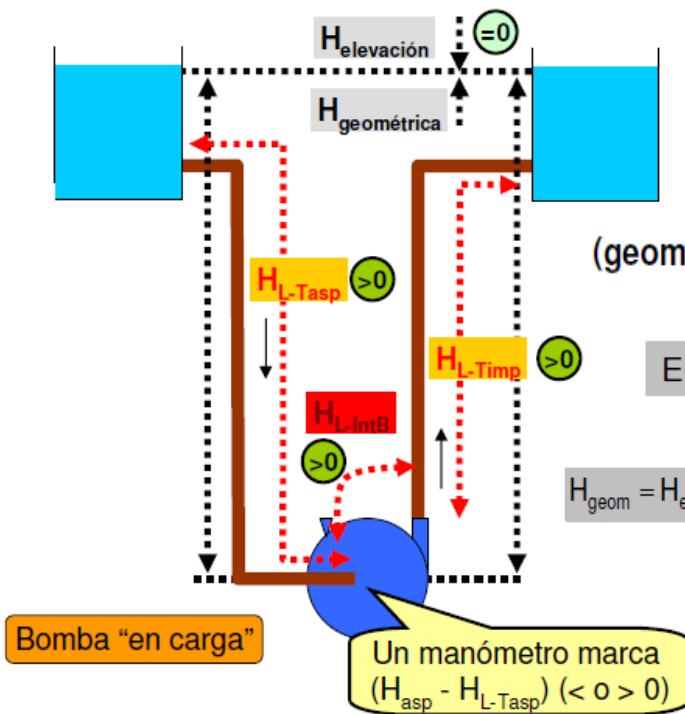
Caso 4: Geométrica:



Caso 4: Manométrica:



Caso 4: Total:



(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig H_{asp} es negativa y H_{imp} positiva

$$H_{geom} = H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \quad H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \quad H_{total} = H_{man} + H_{L-intB}$$

2.5 Clasificación de las Bombas

2.5.1 Por la continuidad de la circulación del fluido de trabajo

- **Volumétricas o de Desplazamiento Positivo:** en cada instante evoluciona una cantidad determinada de fluido ejemplo: alternativa, engranajes, de tornillo.

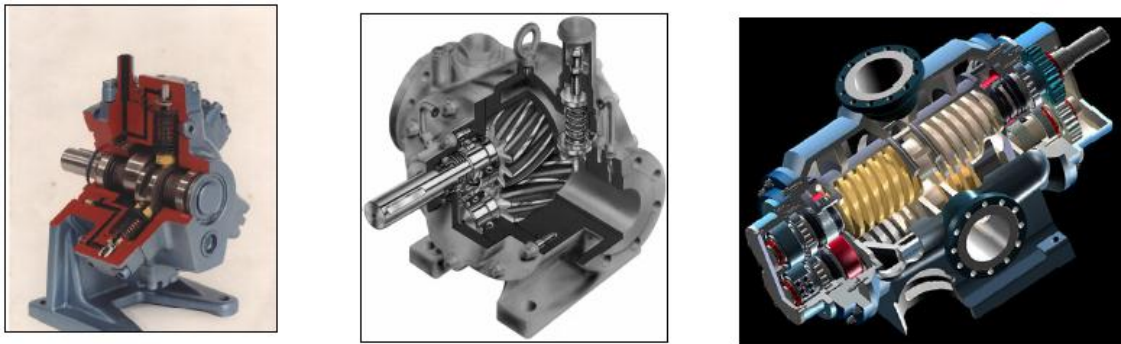


Fig. 2. 3 Bombas Volumétricas

- **Dinámicas, Turbomáquinas o Rotodinámicas:** provocan circulación continua del fluido ejemplo: centrífuga

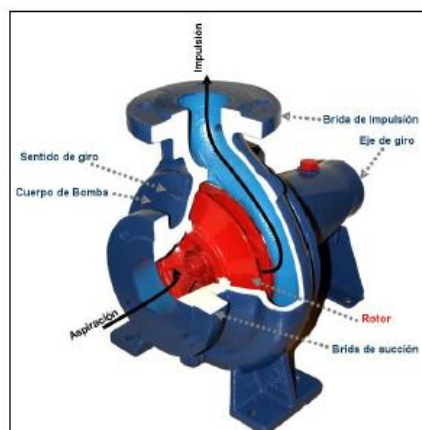
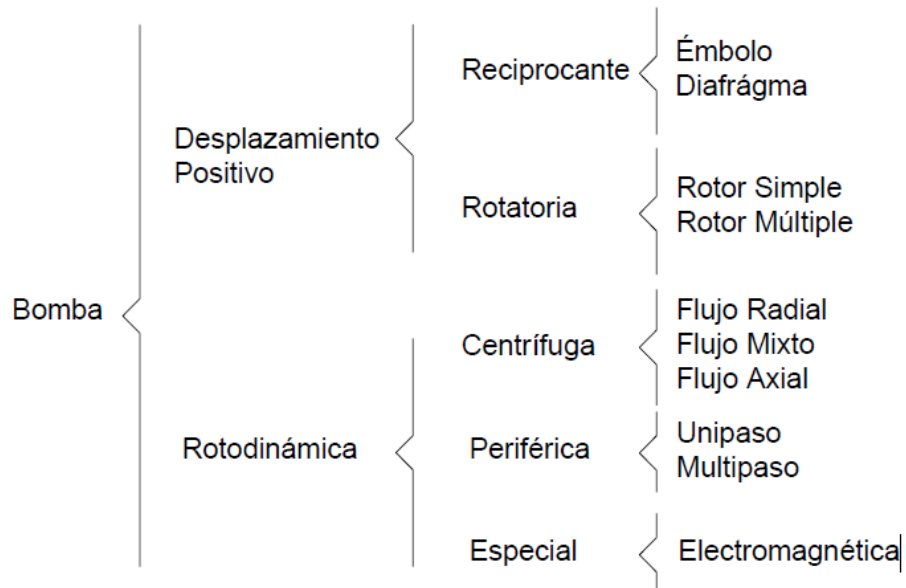


Fig. 2. 4 Turbomáquinas

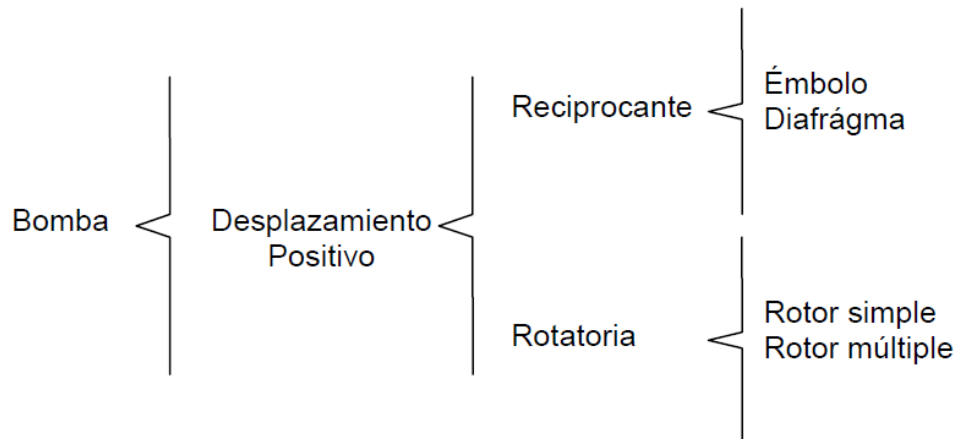
Esquema de la clasificación de la bomba



2.5.2 Conceptos de la bomba de desplazamiento positivo.

- 1) A este tipo pertenecen no solo las bombas alternativas, sino también las rotativas llamadas roto estáticas; en ellas el rodete comunica energía al fluido en forma de presión. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo.
- 2) En una bomba de desplazamiento positivo o volumétrico, la cavidad de la máquina, cuyo volumen varía periódicamente, va unida de forma alternativa al orificio de aspiración o al de descarga. El desplazamiento del líquido se efectúa por volúmenes engendrados
- 3) Las bombas volumétricas pueden ser de movimiento alternativo o rotativo continuo.

Esquema de la clasificación de las bombas de desplazamiento positivo.



2.5.3 Se caracterizan por:

- Desplazan un volumen determinado de fluido, elevando su presión, pero trabajando con dicho volumen de forma independiente al resto del fluido
- Suministran un caudal pulsante (se abre una cavidad, el fluido entra, la cavidad se cierra y desplaza el fluido hacia la salida)
- Suministran caudales moderados
- Pueden suministrar presiones altas
- Su rango de caudal es estrecho
- Son máquinas reversibles (bomba o motor hidráulico indistintamente)

2.5.4 Aplicación

- Maquinaria hidráulica industrial: grúas, prensas, automatismos y robots.
- Maquinaria hidráulica en automoción: carretillas, control y tracción.
- Maquinaria hidráulica en agroforestal: procesadoras.
- Sistemas de lubricación
- Ingeniería civil: puentes levadizos, movimiento de tierras, excavación.
- Ingenierías aeroespacial y naval: simuladores de vuelo, movimiento de alerones, tren de aterrizaje, posicionamiento de los álabes, timón.

2.6 Clasificación de las Bombas de Desplazamiento Positivo

- Alternativas
- Rotativas

- Desplazamiento fijo
- Desplazamiento variable

2.7 Conceptos de la bomba rotodinámica.

- 1) Son rotativas, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; su órgano de transmisión de energía se llama rodete.
- 2) Se llaman rotodinámica por que su movimiento es rotativo y el rodete comunica energía al fluido en forma de energía cinética.

La energía mecánica que recibe puede ser de un motor eléctrico, térmico, etc. y posteriormente la convierte en energía hidráulica, que el fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

2.7.1 Características:

- El fluido las atraviesa de forma continua
- Suministran caudales altos
- Suministran presiones moderadas
- Su rango de caudal de trabajo es amplio
- Son de construcción sencilla, no requieren tolerancias estrictas
- Son compactas y de poco peso
- No tienen válvulas, no tienen movimientos alternativos (silenciosas y con pocas vibraciones)
- Son de fácil mantenimiento y de vida prolongada
- Tiene bajos rendimientos con caudales pequeños

2.7.2 Utilización:

- Circuitos de bombeo: industriales, redes de suministro urbano, sistemas de riego.
- Generación de electricidad: centrales hidroeléctricas, centrales térmicas.
- Sistemas de aire acondicionado y calefacción
- Circuitos de refrigeración en automoción
- Electrodomésticos
- Sistemas de achique
- Grupos contraincendios

2.7.3 Componentes

- El rodete o impulsor
- Aspiración
- Carcasa o voluta, puede incluir un difusor (sistema de álabes fijos)
- Empaquetaduras y cierres mecánicos

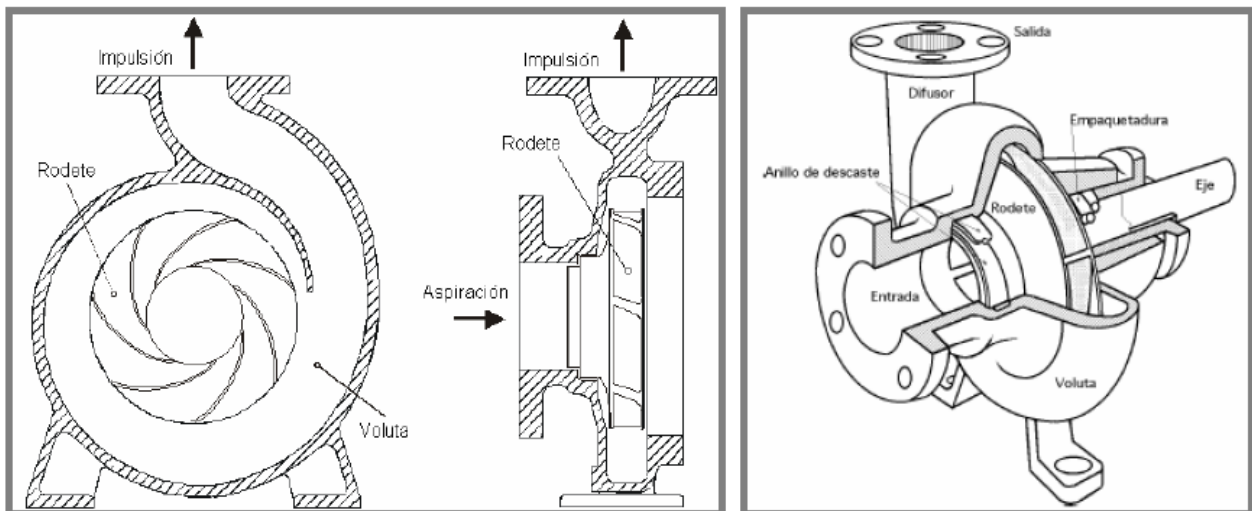


Fig. 2.5 Elementos de Bombas Rotodinámicas

Aspiración:

El líquido es aspirado por el ojo del rodete

Alabes directores:

Recoger el fluido y lo envía hacia la voluta sin choques ni turbulencias (opcionales)

Rodete:

Comunica energía cinética al fluido. El flujo pasa de flujo axial a radial

Voluta:

En ella se transforma la energía cinética del fluido en energía de presión

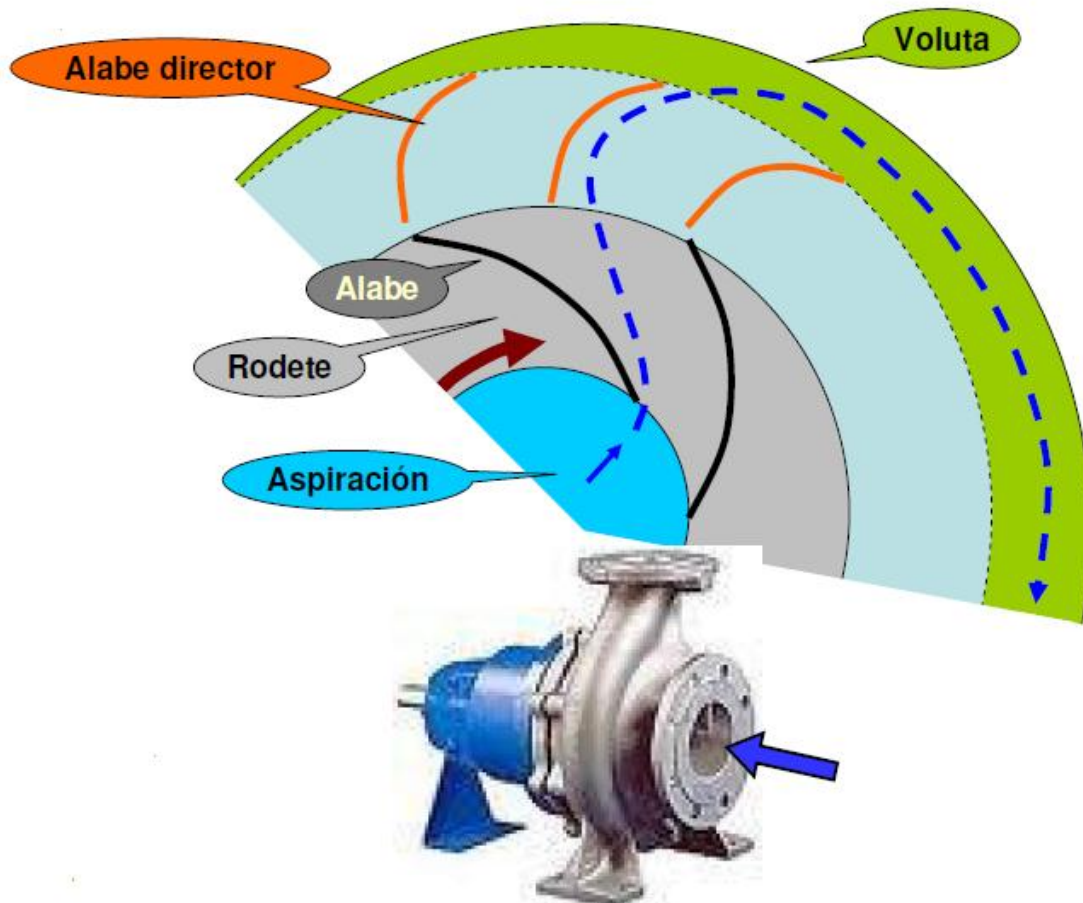
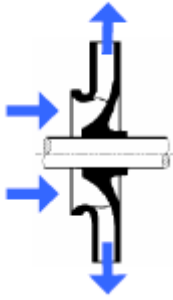


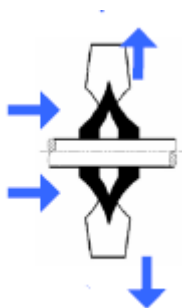
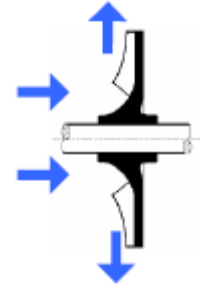
Fig. 2.6 Elementos Gráficos de Bombas Rotodinámicas

Los Rodetes



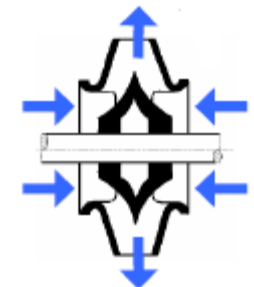
Cerrados: el habitual, mejor rendimiento, posibles problemas de obstrucción

Semiabiertos: sin problemas de obstrucción, se emplean con fluidos "sucios"



Abiertos: sin problemas de obstrucción, muy malos rendimientos hidráulicos por "fugas internas"

Doble aspiración: compensa esfuerzos axiales, para grandes caudales



VOLUTA

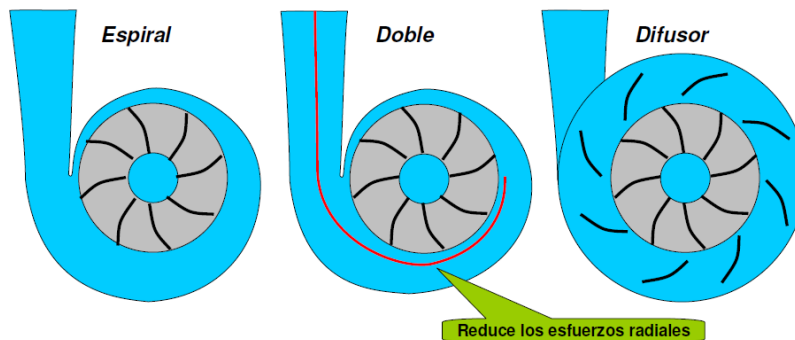


Fig. 2.8 Voluta

2.8 Clasificación bombas Rotodinámicas

Forma del rodete

➤ **La dirección del flujo**

- Radiales
- Axiales
- Radioaxial o mixta

➤ **Flujo a la entrada**

- Aspiración simple
- Aspiración doble

➤ **Separación bomba-motor**

- Rotor seco (mejor rendimiento)
- Rotor húmedo (menos ruido, menos mantenimiento, sólo para circuitos cerrados)



➤ **Número de rodetes**

- Una etapa
- Multicelulares, multifase o multietapa



➤ **Ubicación**

- Sumergible
- Pozo profundo

➤ **Construcción**

- Partida

➤ **Presión suministrada**

- Baja
- Media
- Alta



➤ **Posición del eje**

- Horizontal
- Vertical
- Inclinado

2.9 Conceptos de bomba centrífuga.

- 1) En las bombas centrífugas, una rueda alabeada comunica presión y velocidad al líquido que mueve, para que a la salida de dicha rueda, la energía cinética producida por esta velocidad se transforme en energía potencial (presión) en una parte fija llamada difusor.
- 2) Tiene un sistema simétrico de álabes que son parte esencial del elemento rotativo de la máquina que se denomina impulsor. Al circular el flujo a través de estos sistemas de álabes cambia la componente de velocidad absoluta, aumentando a través del impulsor de la bomba.

Principio básico de funcionamiento de la bomba centrífuga.

Toda bomba centrífuga, basa su funcionamiento en el aprovechamiento de la fuerza de un impulsor, que gira a cierta velocidad dentro de una carcasa y que su movimiento impulsa al fluido en contacto con él, hacia la periferia del mismo con cierta velocidad.

La energía de velocidad del fluido se convierte en presión por medio de una voluta interna o mediante un juego de álabes estacionarios llamados difusores, que rodean la periferia del impulsor.

2.9.1 Clasificación de las bombas centrífugas

Clasificación según la dirección del flujo:

- De acuerdo a la trayectoria del fluido en el interior del impulsor.

1) Bomba de flujo radial.

El movimiento del flujo se inicia en un plano paralelo al eje del giro del impulsor de la bomba y termina en un plano perpendicular a este. Estas bombas pueden ser verticales y horizontales.

2) Bomba de flujo axial.

La dirección del fluido en el impulsor es en forma axial y alrededor del eje de giro del impulsor de la bomba, sin tener cambios de dirección. Estas bombas desarrollan su carga por la acción de un impulsor o elevación de los álabes sobre el líquido y usualmente son bombas verticales de un solo paso.

3) Bomba de flujo radio axial, o mixto.

El movimiento del fluido dentro del impulsor se desarrolla en tres direcciones, tangencial, radial y axial al eje de giro del impulsor de la bomba. Estas bombas desarrollan su carga parcialmente por fuerza centrífuga y parcialmente por el impulsor de los álabes sobre el líquido.

Subdivisiones:

1) Según la entrada del flujo en la bomba:

- Bomba de simple succión.
- Bomba de doble succión.

2) Según el número de rodets:

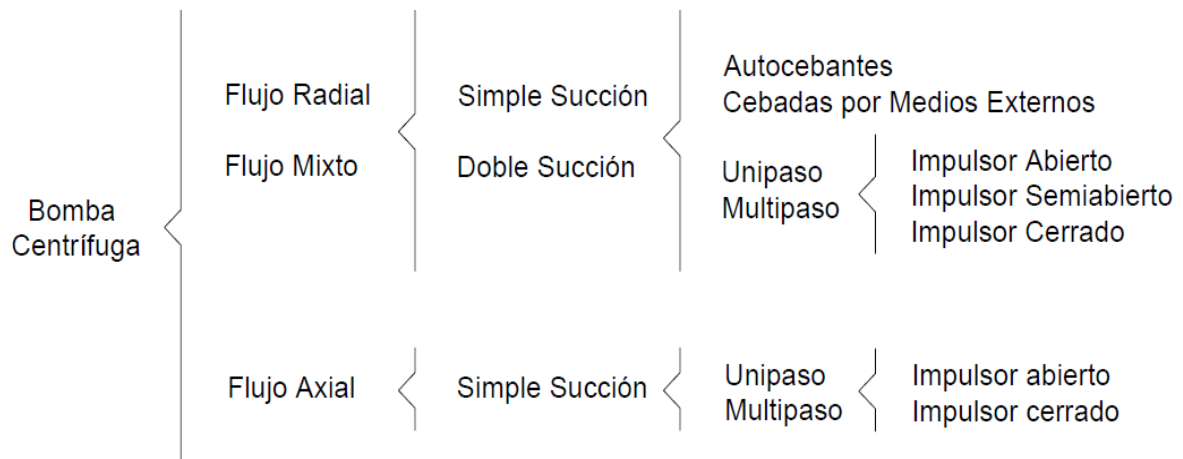
- Bomba de un escalonamiento.
- Bomba de varios escalonamientos.

3) Por el número específico de revoluciones en el rodete:

- Bomba de rodete cerrado de simple aspiración
- Bomba de rodete cerrado de doble aspiración.
- Bomba de rodete semiabierto de simple aspiración.

- Sin la cara anterior los álabes se fijan sólo en la cara posterior.
- Bomba de rodete abierto de doble aspiración.
- Sin cara anterior y posterior, los álabes se fijan en el núcleo o cubo del rodete.

Esquema de la clasificación de las bombas centrífugas.



Hay otra subdivisión basada en las características estructurales y generales, tales como unidades horizontales y verticales, diseños de acoplamiento directo, impulsores de succión simple y doble; carcasas divididas horizontalmente, carcasas de barril, etc.

- Según la posición del eje:
 - Bomba de eje horizontal.
 - Bomba de eje vertical.
 - Bomba de eje inclinado.
- Según la presión engendrada:
 - Bomba de baja presión.
 - Bomba de media presión.
 - Bomba de alta presión.

- De acuerdo al tipo de carcasa:
 - Carcasa dividida axialmente.
 - Carcasa dividida radialmente.
 - Carcasa de corte mixto.
- 4) Según su aplicación.

Aun cuando no todas las bombas centrífugas están clasificadas por un nombre genérico que designa su aplicación final, se puede hacer mención del término relacionado con su servicio. En general cada una tiene características específicas de diseño, así como los materiales que el constructor recomienda para el servicio particular.


- Alimentación de caldera.
- Propósito general.
- Sumidero.
- Refinería (petróleo caliente)
- Desperdicios.
- Drenaje.
- Condensación.
- Vacío de proceso (calefacción)

2.10 Turbinas Hidráulicas

Una **Turbina** es un dispositivo mecánico capaz de convertir en trabajo (en forma de movimiento de rotación) la energía presente en una masa de fluido. Puesto que se trata de una Turbomáquinas, su principio de funcionamiento se basa en la **ecuación de Euler**

El paso de una corriente fluida a través de una turbina provoca cambios en la magnitud y dirección de la velocidad del fluido, lo cual da lugar a la aparición de un par en el eje (Teorema del momento cinético)

Los elementos necesarios para que esto suceda son análogos a los de una bomba, pero dispuestos en orden inverso:

- 
- Canal de llegada o tubería forzada
 - Caja espiral
 - Distribuidor
 - Rodete
 - Tubo de aspiración

Analogía entre los elementos de una turbina y los de una bomba:

- **Canal de llegada o tubería forzada** debe tener una válvula de cierre lento para evitar el golpe de ariete
- **La caja espiral** de una turbina es análoga a la voluta de una bomba centrífuga; transforma presión en velocidad (al contrario que la voluta)
- **El distribuidor** de una turbina es análogo a la corona directriz de una bomba. Actúa transformando presión en velocidad (* también es un órgano de regulación)
- **El rodete** de una turbina es análogo al rodete de una bomba. Absorbe energía del fluido y la convierte en energía mecánica
- **El tubo de aspiración** de una turbina es análogo al tubo de aspiración de una bomba. Es el órgano de desagüe y su función es crear una succión a la salida de la turbina (depresión).

2.10.1 Clasificación de las Turbinas

• **Según el grado de reacción (σ):**

- Turbina de acción $\sigma = 0$
- Turbina de reacción $\sigma \neq 0$

• **Según la posición del eje:**

- Turbina horizontal
- Turbina vertical

• **Según el número específico de revoluciones (n_s):**

- Turbina lenta
- Turbina normal
- Turbina rápida
- Turbina extrarrápida

2.10.2 Factores para la Selección del Tipo de Bomba

Los tres factores principales para determinar si usaremos una bomba de desplazamiento positivo son: presión, gasto y las siguientes características de los Líquidos.

- a) Índice de acidez-alcalinidad (pH).
- b) Condiciones de viscosidad.
- c) Temperatura.
- d) Presión de vaporización del líquido a la temperatura de bombeo.
- e) Densidad.
- f) Materiales en suspensión, tamaño, naturaleza, etc.
- g) Condiciones de abrasión.
- h) Contenido de impurezas.

2.11 Cálculo de Pérdidas de Energía

2.11.1 Pérdidas de carga por fricción

Se ha determinado que en el diseño de conductos a presión de sistemas de agua potable, para obtener de las pérdidas de energía se utilice el modelo de Darcy - Weisbach. Esto se debe a:

El modelo de Darcy-Weisbach tiene un fundamento teórico, respecto al esfuerzo cortante entre la pared de la tubería y el líquido, así como a la viscosidad del mismo.

Su rango de aplicación no se restringe a las variables experimentales, como sucede con los modelos experimentales de Hazen-Williams y Manning.

Este modelo considera a los tres tipos de regímenes de flujo (laminar, transición y turbulento), lo cual no ocurre con el modelo empírico de Hazen-Williams, y como se ha podido observar en redes de agua potable y líneas de conducción, se han detectado tramos en los que el flujo se comporta, en el rango de transición o turbulento.

Debido a la automatización por computadora del proceso de cálculo de las redes de agua potable, se facilita el uso de modelos complicados, que en otro tiempo tuvieron que ser sustituidos por aproximaciones experimentales.

2.11.2 Ecuación de Darcy-Weisbach

Se usará para el cálculo de pérdidas por fricción en el diseño de conductos a presión para agua potable, la fórmula:

Perdidas por Fricción en la tubería (Ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuacion ... 1}$$

Donde;

f = factor de fricción, sin dimensiones

g = aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$

hf = Pérdida por fricción (m)

D = diámetro (m)

L = longitud del tubo (m)

V = velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

Para encontrar el valor del factor de pérdidas de carga por fricción f , se usa la siguiente fórmula, conocida como la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación ... 2}$$

2.11.3 Ecuación modificada de Colebrook - White

La ecuación de Darcy-Weisbach se ha conocido desde un principio como la mejor fórmula para calcular las pérdidas de energía por conducción, sin embargo, por la dificultad que presenta la ecuación de Colebrook - White para obtener el valor de f , principalmente en redes de tubos, ha ocasionado el uso generalizado de las ecuaciones empíricas de Manning y de Hazen – Williams en los sistemas de agua potable.

Se han realizado varios estudios para obtener expresiones explícitas para el cálculo del factor de pérdida de carga f ajustado a los resultados de la ecuación de Colebrook - White y poder aprovechar las ventajas que tiene esta ecuación.

A continuación se presentan dos expresiones que arrojan valores de f muy similares a los de la ecuación de Colebrook – White:

Ecuación de Swamme y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{5.74}{R_e^{0.90}} \right) \right]^2}$$

Ecuación de Guerrero:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)}{3.71} + \frac{G}{R_e^T} \right) \right]^2}$$

donde:

$$G = 4.555 \text{ y } T = 0.8764 \text{ para } 4000 \leq R_e \leq 10^5$$

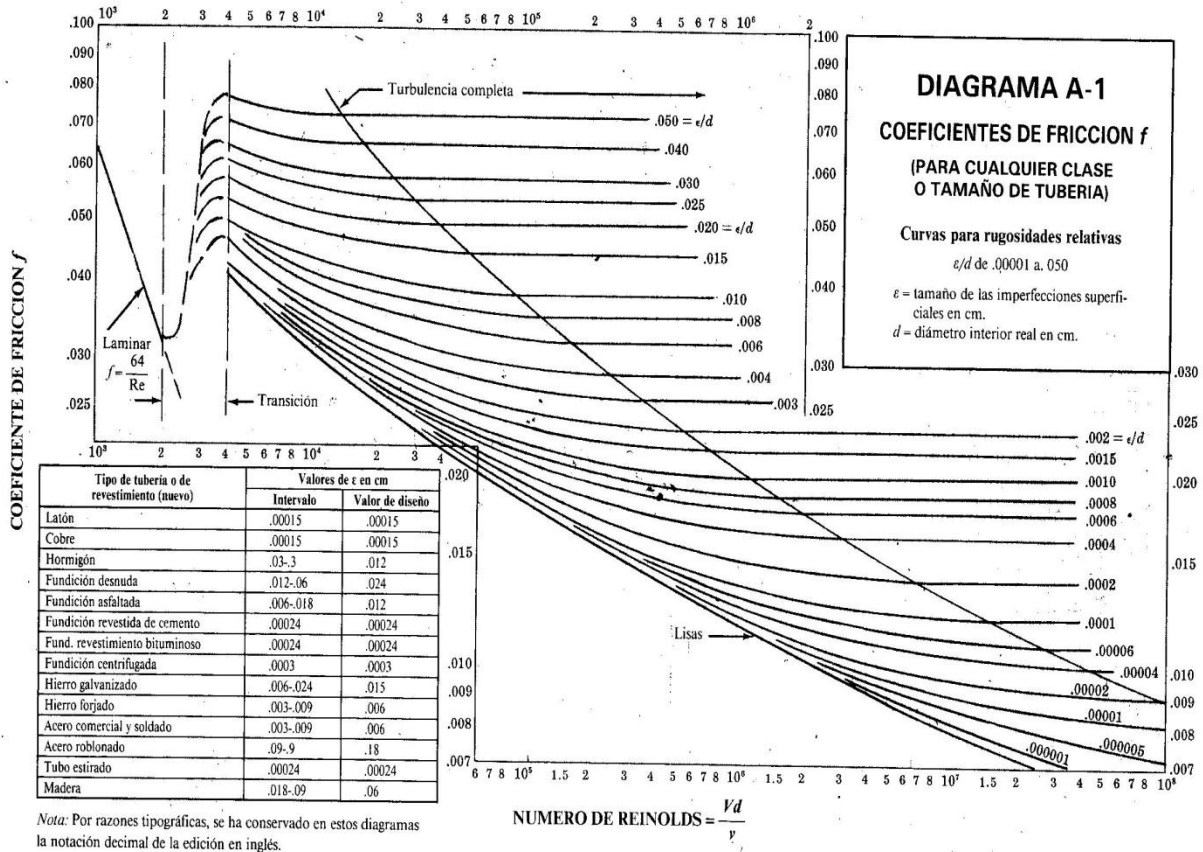
$$G = 6.732 \text{ y } T = 0.9104 \text{ para } 10^5 \leq R_e \leq 3 \times 10^6$$

$$G = 8.982 \text{ y } T = 0.9300 \text{ para } 3 \times 10^6 \leq R_e \leq 10^8$$

2.11.4 Diagrama de Moody

- resuelve todos los problemas de pérdidas de carga primarias en tuberías con cualquier diámetro, cualquier material de tubería y cualquier caudal;
- Puede emplearse con tuberías de sección no circular sustituyendo el diámetro D por el radio hidráulico R_h .
- Se usa para determinar el coeficiente λ , el cual luego se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach.
- Por el contrario, las tablas, curvas, etc., de que están llenos los formularios de hidráulica:
- no suelen ser de uso universal;
- Sirven también para determinar el coeficiente λ de la ecuación de Darcy-Weisbach;

- Con frecuencia no tienen en cuenta todas las variables de que en general depende el coeficiente λ ;
- Sin embargo, pueden ser de uso más cómodo que el diagrama de Moody en casos particulares.



2.11.5 Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.

El número de Reynolds depende de la velocidad del fluido, del diámetro de tubería, o diámetro equivalente si la conducción no es circular, y de la viscosidad cinemática o en su defecto densidad y viscosidad dinámica.

En una tubería circular se considera:

- $Re < 2300$ El flujo sigue un comportamiento laminar.
- $2300 < Re < 4000$ Zona de transición de laminar a turbulento.
- $Re > 4000$ El fluido es turbulento.

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v D}{V}$$

Donde;

v = Velocidad

D = Diámetro

V = Viscosidad Cinemática (considerando una T^0 promedio del agua de $26^{\circ} C$; $V = 0.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

2.11.6 Rugosidad absoluta y Rugosidad Relativa.

En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad absoluta (E), y que puede definirse como la variación media del radio interno de la tubería.

Los experimentos de Nikuradse permitieron determinar el valor de esta rugosidad absoluta. Consistieron en producir una rugosidad artificial pegando en el interior de un tubo de vidrio (liso) áridos de diferentes granulometrías tamizados, es decir, de rugosidad conocida, hasta conseguir una pérdida de carga igual que la producida en un tubo comercial de un material determinado con igual longitud y diámetro que el de vidrio.

Estos tubos artificialmente preparados se conocen como tubos arenisca. Cuando una casa comercial da el valor de rugosidad K es en realidad la rugosidad media equivalente, lo que significa que se comporta del mismo modo que una tubería artificialmente preparada con la rugosidad absoluta K.

Un mismo valor de rugosidad absoluta puede ser muy importante en tubos de pequeño diámetro y ser insignificante en un tubo de gran diámetro, es decir, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo. Por ello, para caracterizar un tubo por su rugosidad resulta más adecuado utilizar la rugosidad relativa (ϵ), que se define como el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería.

Tabla 2.5. Rugosidad ϵ de algunos materiales (ref. 10)

| MATERIAL | ϵ en mm |
|--|------------------|
| Cobre, PVC, polietileno de alta densidad | 0.0015 |
| Fierro fundido | 0.005 a 0.03 |
| Acero | 0.04 a 0.10 |
| Asbesto cemento | 0.025 a 0.030 |
| Concreto | 0.16 a 2.0 |

Notas: Para fierro fundido nuevo el valor de ϵ será de 0.005; cuando se use fierro fundido oxidado será de 0.030.

Con concreto liso el valor de ϵ será de 0.16; si se tiene concreto áspero ϵ será de 2.0.

Rugosidad Relativa

$$E = \frac{E_T}{D}$$

Dónde:

E_T = Edad de la tubería

D= diámetro de la tubería

2.11.7 Variación del Coeficiente de Fricción con la Edad de la Tubería

Los experimentos hechos con tuberías de varios materiales, que han sido utilizadas por largo tiempo, con frecuencia muestran valores de coeficientes de pérdida de carga por fricción mucho mayores que los dados para conductos nuevos. Esto se debe al aumento de la rugosidad o incrustación gradual de la tubería, por la acumulación de protuberancias de oxidación o de otros materiales sobre las paredes de la tubería.

El deterioro de la tubería con la edad de la misma depende de la calidad del agua y del tipo de material, por lo cual el tiempo no es el único factor que influye en este problema.

Las tuberías de diámetro pequeño se deterioran más rápidamente que las de diámetro más grande, debido al efecto proporcionalmente mayores de la resistencia de las paredes ya que el área de la sección queda reducida rápidamente por las incrustaciones.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua realizó en el año de 1991 mediciones de gasto y presión en los acueductos y conducciones de las ciudades de Chihuahua, Hidalgo del Parral, Ciudad Juárez y Tuxtla Gutiérrez, con el objetivo de evaluar el coeficiente de fricción para tuberías de asbesto cemento con diferentes edades de operación.

Se determinaron los coeficientes de fricción para, tuberías de asbesto cemento de diferentes clases, diámetros nominales desde 10" (254 mm) hasta 30" (762 mm) y con edades de operación desde 0.3 hasta 34 años.

7.11.8 Criterio de Genijew

Se han hecho distintos intentos para evaluar el efecto corrosivo del agua en conductos, basándose en la reducción del gasto calculado teóricamente de acuerdo con el pH del agua y el número de años de servicio de la tubería.

El criterio de Genijew, expuesto por G. Sotelo A. (1982), parece ser el más efectivo para modificar la rugosidad absoluta del tubo nuevo.

Edad de la tubería (Criterio de Genijew)

$$E_T = E_0 + at$$

Donde;

E_0 = Rugosidad del tubo (mm)

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua

t = Núm. De años de servicio de la tubería

E_T = Rugosidad del conducto (mm)

Tabla 2.12. Coeficientes a de la fórmula de Genijew. Sotelo A., G. 1982.

| Grupo | Tipo de agua | a |
|--------------|--|--|
| I | Agua con poco contenido mineral que no ocasiona corrosión. Agua con un pequeño contenido de materia orgánica y de solución de hierro. | $0.005 < a < 0.055$ Valor medio = 0.025 |
| II | Agua con poco contenido mineral que origina corrosión. Agua que contiene menos de 3 mg/l de materia orgánica y hierro en solución. | $0.055 < a < 0.18$ Valor medio = 0.07 |
| III | Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfatos (menos de 100 a 150 mg/l). Agua con un contenido de hierro de mas de 3 mg/l. | $0.18 < a < 0.40$ Valor medio = 0.20 |
| IV | Agua que origina corrosión, con un gran contenido de cloruros y sulfatos (mas de 500 a 700 mg/l). Agua impura con una gran cantidad de materia orgánica. | $0.4 < a < 0.6$ Valor medio = 0.51 |
| V | Agua con cantidades importantes de carbonatos, pero de dureza pequeña permanente, con residuo denso de 2000 mg/l. | a varía de 0.6 a mas que 1. |

2.12 Carga en el Sistema (conceptos)

La selección correcta de equipo asegura una buena operación que, indudablemente, se traduce en economía y duración del sistema. Es muy importante conocer bien los distintos términos y definiciones usados en el bombeo.

Se han designado tres tipos de presión: la absoluta, que es la presión arriba del cero absoluto; la barométrica, que es la presión atmosférica de una localidad determinada, y la de carga, que es la presión arriba de la presión atmosférica de la localidad que se mida.

La presión absoluta puede encontrarse arriba o debajo de la presión atmosférica. Un vacío deberá considerarse como una presión de carga negativa.

2.12.1 Carga Estática

Es la altura, expresada en metros, de la columna de fluido que actúa sobre la succión (entrada) o descarga (salida) de una bomba.

2.12.2 Elevación Estática de Succión y Carga Estática de Succión.

Si la bomba se encuentra arriba del nivel libre de bombeo, la distancia entre el nivel del líquido a bombear y el eje central de la bomba se llama elevación estática de succión. Si la bomba se encuentra abajo del nivel del líquido y el eje central de la bomba se denomina carga estática de succión. No se consideran las pérdidas por fricción en la tubería y sus accesorios.

2.12.3 Carga Estática de Descarga

Es la distancia vertical entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.

2.12.4 Carga Estática Total

Es la distancia vertical entre los niveles de succión y descarga.

2.12.5 Carga de Fricción

Es la columna, en metros, del líquido que se maneja, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías de succión y descarga y de sus accesorios. Varía de acuerdo con la velocidad del líquido, tamaño, tipo y condiciones interiores de las tuberías y naturaleza del líquido que se maneja.

2.12.6 Carga de Velocidad

Un líquido que se mueve a cualquier velocidad dentro de un tubo, tiene energía cinética debida a su movimiento. La carga de velocidad es la distancia de caída necesaria para que un líquido adquiriera una velocidad dada y se determina por:

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$$\frac{v^2}{2g} = \text{Carga de velocidad}$$

2.12.7 Elevación de Succión

Es la suma de la elevación estática de succión, de la carga de fricción de succión total y de las pérdidas de admisión (la elevación de succión es una carga de succión negativa).

2.12.8 Carga de Succión

Es la carga estática de succión menos la carga de fricción total y las pérdidas de admisión, más cualquier presión que se encuentre en la línea de succión. Es una presión negativa (hay vacío) y se suma algebraicamente a la carga estática de succión del sistema.

2.12.9 Carga de descarga

Es la suma de la carga de descarga estática, de la carga de fricción de descarga y de la carga de velocidad de descarga.

2.12.10 Carga Total

Es la suma de las cargas de elevación de succión y descarga. Cuando hay una columna de succión, la columna total de la bomba es la diferencia entre las cargas de succión y descarga.

2.12.11 Condiciones de Succión

Por lo que respecta al líquido, se tomará en cuenta la influencia de su temperatura sobre la succión.

2.12.12 Carga Neta Positiva de Succión (NPSH-R)

Es, también conocida como altura neta positiva de succión (Net Positive Suction Head, por sus siglas en inglés), la presión disponible o requerida para reforzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. Se da en metros del líquido manejado, equivalentes a la presión en kg/cm^2 requeridos para forzar el líquido a la bomba.

2.13 Pérdidas Secundarias.

Donde el coeficiente de pérdida de carga (K) depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y configuración de la corriente antes del accesorio.

Las pérdidas de carga secundarias o de forma, son ocasionadas por la resistencia que presenta el fluido a su paso por los accesorios; las pérdidas tienen lugar en los cambios de sección (arreglo de tuberías) y dirección de la corriente, en las contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas y en general en todos los accesorios de tuberías, donde estos elementos producen una perturbación de la corriente que origina remolinos y desprendimientos que intensifican las pérdidas.

Los cálculos de las pérdidas locales de los accesorios se obtienen como una pérdida de la velocidad del fluido por medio de la siguiente expresión:

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$$\frac{v^2}{2g} = \text{Carga de velocidad}$$

El valor de (K) depende de la geometría del accesorio y del coeficiente de fricción (hf), por lo que la pérdida de carga para los accesorios se evalúa en forma individual, por medio de las tablas y gráficas, que indican los valores de (K).

2.14 POTENCIAS

2.14.1 Potencia P del flujo

Es la que corresponde al salto de energética H que sufre en la máquina el caudal Q.

$$P = \gamma * Q * H$$

2.14.2 Potencia interior en el eje, P_i

Es la suministrada al (o por el) eje por el (o al) caudal Q_r que pasa por el interior del rodete:

$$P_i = \gamma * Q_r * H_t$$

2.14.3 Potencia interior teórica en el eje , P_{it}

Si $q = 0$

$$P_{it} = \gamma * Q * H_t$$

La potencia P_v perdida a causa de las pérdidas volumétricas sería,

$$P_v = \gamma * q * H_t$$

2.14.4 Potencia exterior en el eje, P_e

Es la potencia medida exteriormente en el eje y recibe otro nombre como potencia efectiva o potencia al freno:

$$P_e = P_i - P_m$$

$$P_e = M - w$$

2.15 Rendimientos

❖ Rendimiento Hidráulico, n_h

Turbinas

$$n_h = \frac{P_{it}}{P} = \frac{H_t}{H}$$

Bombas

$$n_h = \frac{P}{P_{it}} = \frac{H}{H_t}$$

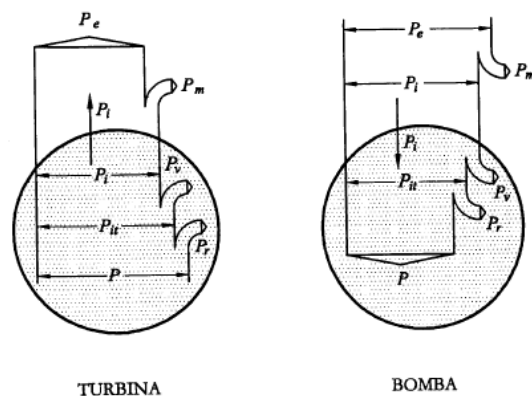


Fig. 2.9 Rendimiento Hidráulico

2.16 Curva Característica

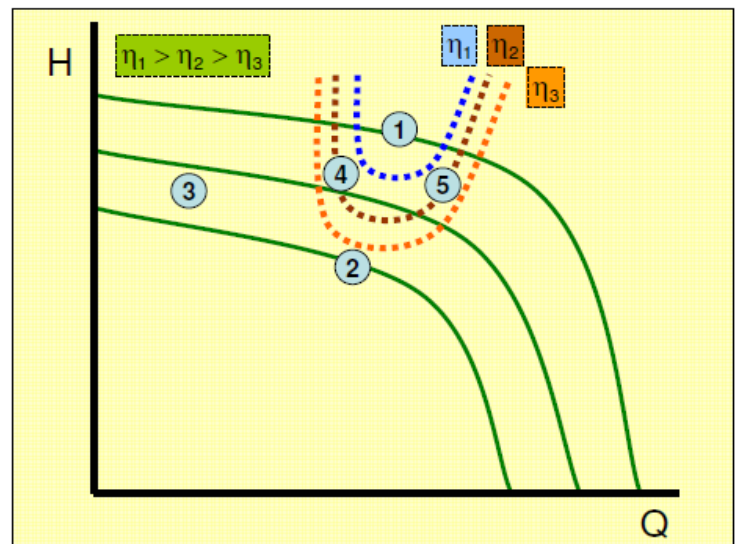
El comportamiento hidráulico de una bomba viene especificado en sus curvas características que representan una relación entre los distintos valores del caudal proporcionado por la misma con otros parámetros como la altura manométrica, el rendimiento hidráulico, la potencia requerida y la altura de aspiración, que están en función del tamaño, diseño y construcción de la bomba.

Estas curvas, obtenidas experimentalmente en un banco de pruebas, son proporcionadas por los fabricantes a una velocidad de rotación determinada (N). Se representan gráficamente, colocando en el eje de abscisas los caudales y en el eje de ordenadas las alturas, rendimientos, potencias y alturas de aspiración.

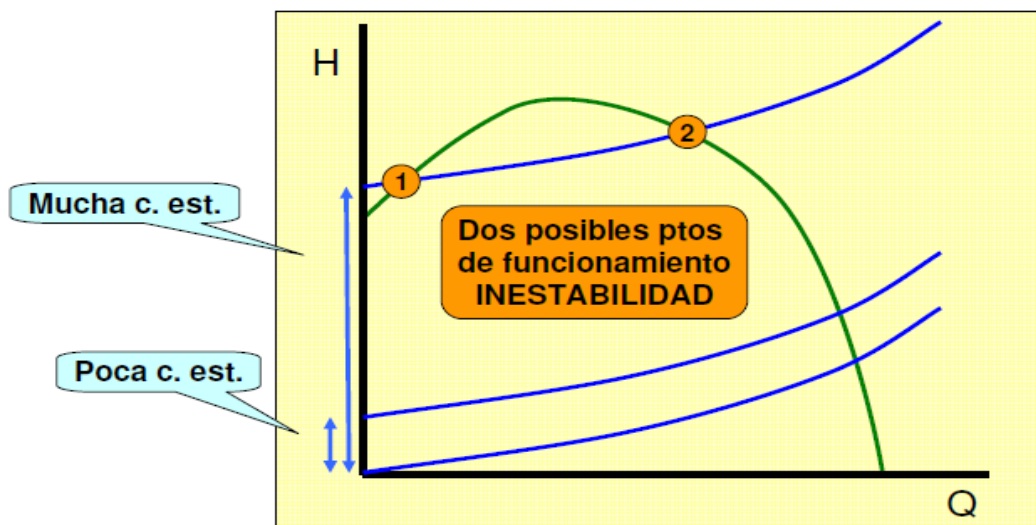
2.17 Selección de una Bomba

Si se selecciona una bomba para trabajar en el punto:

- 1) En la curva del $\Phi_{\text{máx}}$ del impulsor
La bomba no tiene posibilidades de incrementar su caudal o altura
- 2) En la curva del Φ_{min} del impulso
La bomba está sobredimensionada, por lo que resultará muy cara y el η será bajo
- 3) Muy a la izda del pto de η_{max}
La bomba está sobredimensionada, por lo que resultará muy cara y el η será bajo
- 4) A la izda del pto de η_{max}
Si se requiere más caudal o presión se puede colocar un rodete de mayor Φ , y se mejorará el rendimiento
- 5) A la dcha del pto de η_{max}
Bomba "subdimensionada", difícilmente se podrá aumentar el caudal o la altura



Si la curva característica de la bomba (H-Q) tiene un máximo, hay que tener cuidado si la curva de la tubería tiene una gran componente de carga estática



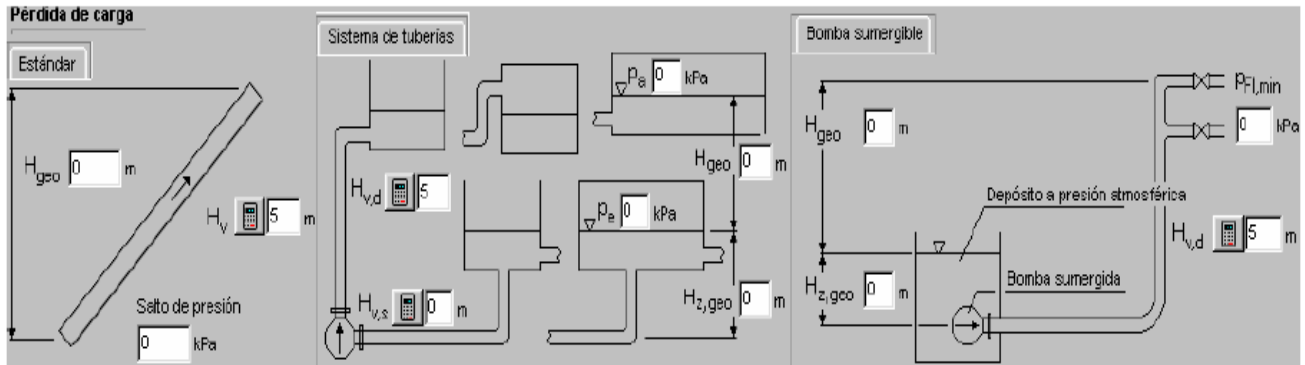
CATALOGOS DE FABRICANTE

WILO

- FLUIDO DE TRABAJO

La imagen muestra una interfaz de usuario de un software con el título 'Modificar'. A la izquierda hay una lista de fluidos, donde 'Agua limpia' está seleccionada. A la derecha, se muestran los 'Datos de fluidos' con los siguientes valores: Temperatura: 293 K, Densidad: 998,2 kg/m³, Concentración: 100 %, Viscosidad: 1 mm²/s, Presión de vapor: 10 kPa. Abajo, se encuentra un gráfico 'Vista' que muestra cuatro propiedades físicas en función de la temperatura (en Kelvin, de 280 a 480): Densidad (de ~900 a ~800 kg/m³), Viscosidad (de ~800 a ~600 mm²/s), Presión de vapor (de ~0,0036 a ~0,0048 kPa) y Capacidad calorífica (de ~1000 a ~2000 J/(kg K)).

- TIPO DE CIRCUITO



- RESULTADOS

The screenshot shows the 'Selección Hidráulica' software interface. The 'Curva' tab is active, displaying a performance graph with three sub-plots: 'Atura de impulsión' (head vs. flow), 'Valores NPSH' (NPSH values vs. flow), and 'Potencia en el eje P2' (shaft power vs. flow). The graph shows a design point at 50.3 l/s and 20.4 m head. A table below the graph lists three pump models for comparison.

| Bomba | Diseño | DQ/Q [%] | Costes energé | Precio [EUR] | Potencia en el eje P2 máx. con ro | Boca aspiració | Boca impulsión | |
|--------------------|-------------|----------|---------------|--------------|-----------------------------------|----------------|----------------|--------|
| NP 100/315V-15/4 a | Bomba norma | 0,8063 | 6312,57 | Consultar | 13,35 | 13,71 | DN 125 | DN 100 |
| NP 125/250V-15/4 a | Bomba norma | 0 | 6223,36 | Consultar | 13,12 | 16,84 | DN 150 | DN 125 |
| NP 80/160-15/2 a | Bomba norma | 0 | 7156,27 | Consultar | 13,1 | 13,13 | DN 100 | DN 80 |

Additional data from the interface:

- Pto. de diseño:** Q = 50,1/s, H = 20,4 m
- Pto. de trabajo (real):** Q = 50,3/s, H = 20,7 m, P2 = 13,4 kW, NPSH = 2,16 m
- Curva:** 278

• ***CAPÍTULO III***
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

3.1 Generalidades de la empresa



EMPRESA:

SISTEMA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO (SMAPA)

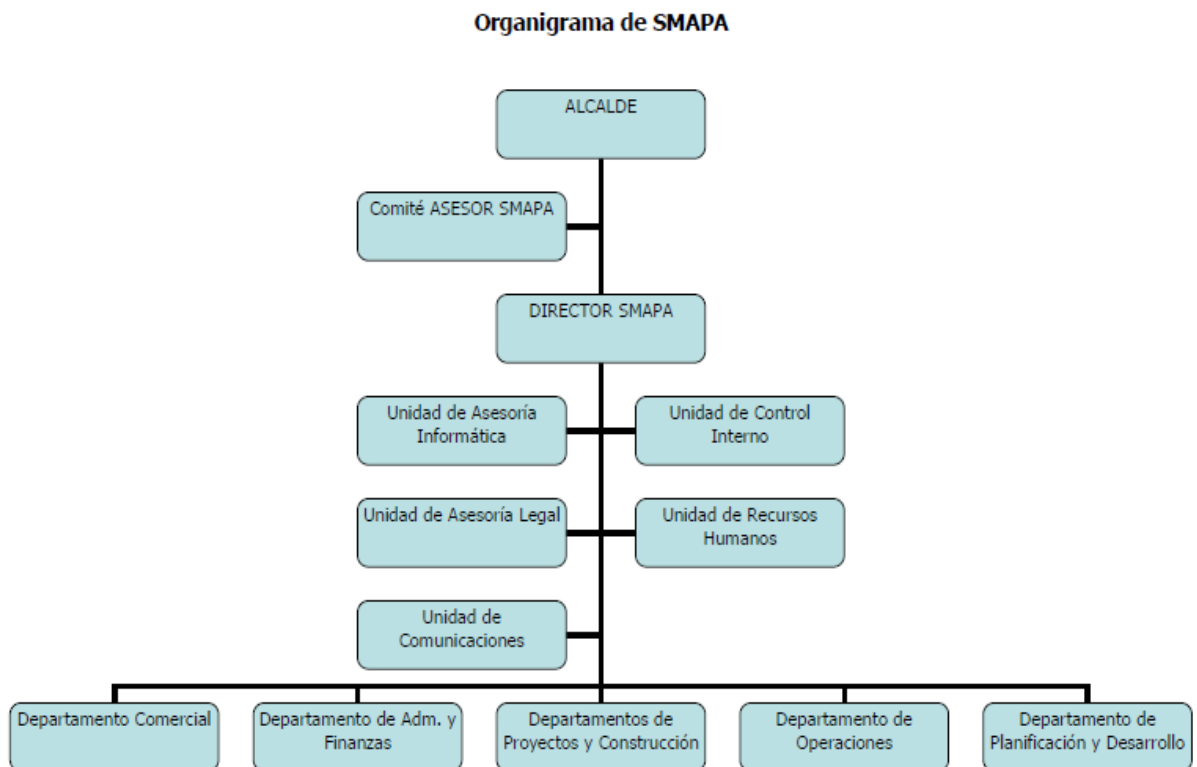
TELEFONO:

61 8 77 49

CORREO ELECTRONICO:

WWW.SMAPA.GOB.MX

3.2 Organigrama



Misión

Ofrecer a los usuarios un servicio de calidad en el suministro de agua potable y alcantarillado sanitario, concientizando a la población del uso y la preservación del agua como elemento indispensable en la vida.

Visión

Consolidarse como uno de los mejores organismos a nivel nacional, con base en la ética de trabajo en equipo y tecnología de vanguardia, capaz de satisfacer las necesidades actuales y futuras de la comunidad.

3.3 Descripción del Área de Negocios.

DEPARTAMENTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Este departamento cumple con el control de calidad de los equipos y líneas de todo el sistema de bombeo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, así como del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de bombeo y de las líneas de conducción del sistema por Bombeo Santo Domingo Plantas Potabilizadoras “Los Pájaros”.

En colaboración con el departamento de laboratorio y de control de calidad y de distribución contribuyen al objetivo de abastecer de agua a los sistemas conectados a la Planta Potabilizadora “Los Pájaros”.


3.4 Puesto Asignado y Funciones.

El puesto asignado es como residente para realizar el proyecto en la sub dirección de agua potable del SMAPA, con conocimientos y fundamentos previos en hidráulica y sistemas de bombeo. Las actividades a realizar serán de acuerdo al cronograma propuesto.

- ***CAPÍTULO IV.***

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLADAS.

Levantamiento de datos electricos, hidráulicos y mecánicos

| | | | |
|---|--|----------------------------|------------------------|
| INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ | | | |
|  | SISTEMA POR BOMBEO SANTO DOMINGO - "LOS PAJAROS" - | | |
| | DATOS DE PLACA Y DE DISEÑO DE QUIPOS ELECTROMECANICOS | | |
| OBRA DE TOMA | PLANTA Nº 1 SEDIMENTADOR | LINEA DE CONDUCCION | 20" Ø |
| CARCAMO RECTANGULAR DE CONCRETO DE 13 X 5 X 5 m DE PROFUNDIDAD | | LONGITUD | 5060 m |
| | | DIAMETRO | 508 mm 20" |
| Nº DE EQUIPOS DE BOMBEO | 3 + 1 | MATERIAL | ASBESTO-CEMENTO |

| MOTOR | | BOMBA | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|------------|----------------|
| MARCA | FAIRBANK'S | MARCA | WDM - DEMING | | |
| HP | 200 | TIPO | TURVINA VERTICAL | | |
| ARMAZON | 445 - T | MODELO | H-16 | | |
| VOLTAJE | 440 | GASTO | 166.67 LPS | CARGA | 76 m.c.a |
| AMPERAJE | 256 | RPM | 1760 | EFICIENCIA | 84% |
| K.W. | 149 | LUBRICACION | AGUA | NPSH - R | 6.7 m |
| MODELO/CLASE | KZKV | Ø IMPULSOR | 11 9/16 " | TIPO | SEMI - ABIERTO |
| RPM | 1765 | Nº DE PASOS | 3 | | |
| Nº DE POLOS | 4 | Ø COLUMNA | 12" | | |
| FACT. SERV. | 1.15 | LONG. COLUMNA | 2 X 1.525 m | | |
| BALERO SUP. | 7322-GM | FLECHA BOMBA | 2 1/8 X 1.70 mts | | |
| BALERO INF. | 6212 | COLADOR TIPO | CANASTA DE 12" Ø | | |
| FLECHA DE MANDO | 1 11/16" Ø X 2.90 | Ø PORTACHUMACERA | 12" X 1 11/16 X 3" | | |
| FLECHA INTERM. | 1 11/16" Ø X 1.52 | Ø CHUMACERA DE HULE TAZON | 2 1/8" X 2 3/4" X 6" | | |
| | | Ø CHUMACERA DE BRONCE TAZON | 2 1/8" X 2 3/4" X 3" | | |

| ARRANCADOR | | | | | | | |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|---------------------|-----------|---------|---------|
| MARCA | SQUARED | | | MARCA | CAPACIDAD | CLASE | TAMAÑO |
| MARCA | No. CATALOGO | TIPO/MODELO | CAPACIDAD | CONTACTOR No. 1 | | | |
| BREAKER | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8536 | TM5 |
| SQUARED | LAL36350 | SERIE 4 | 350 AMPS | CONTACTOR No. 2 | | | |
| RELEVADOR | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8502 | TM4 |
| SQUARED | S/P | S/P | S/P | CONTACTOR No. 3 | | | |
| AUTOTRANSFORMADOR | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8502 | TM4 |
| SQUARED | ATS160 - 4 | EEL | 200 HP | CAL CONDUCTOR: 2/0 | | | |
| TIMER | | | | INTERRUPTOR GENERAL | | | |
| SQUARED | PTE - 180 | CLASE 9999 | 1.8 -180 SEG | SQUARED | 2000 AMPS | SERIE 4 | PHF2036 |

| SUBESTACION ELECTRICA | | | |
|------------------------------|----------|------------------------|----------|
| DATOS DE PLACA | | TRANSFORMADORES | 3 |
| TIPO | AEREA | CAPACIDAD | 750 KVA |
| VOLTAJE | 13,200 V | RELACION | 440/254 |
| CAPACIDAD | 2250 KVA | IMPEDANCIA | 5.88 % |

Línea de conducción de L= 5,060 m de Asbesto-Cemento de 508 mm (20) Ø

| CAPTACION SANTO DOMINGO | | |
|-------------------------|--|----------|
| DIMENSIONES DEL CARCAMO | | 13 X 5 m |
| NUM. DE EQUIPOS | | 3 + 1 |
| NIVEL DINAMICO | | 3.5 m |
| Q DE DISEÑO | | 500 LPS |
| COTA DE TERRENO | | 42.5 m |
| ALTURA DE MACIAS TANQUE | | 3 m |
| EFICIENCIA | | 84% |

PERDIDAS PRIMARIAS

- ❖ Cálculos por las pérdidas de fricción en la línea de conducción considerando que en la línea de 20" hay un $Q = 200 \text{ LPS}$

$$Q_T = 200 \text{ LPS} = 0.2 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.508)^2}{4} = 0.2027 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0.2}{0.2027} = 0.9867 \frac{m}{s}$$

Edad de la tubería (Criterio de Genijew)

$$E_T = E_0 + at$$

Donde;

E_0 = Rugosidad del tubo (mm)

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua

t = Núm. De años de servicio de la tubería

E_T = Rugosidad del conducto (mm)

| TABLA 8.1 RUGOSIDAD ADSOLUTA EN TUBOS | |
|---------------------------------------|----------|
| MATERIAL | E_0 |
| Asbesto – Cemento | 0.025 mm |

| TABLA 8.2 COEFICIENTE “a” DE LA FORMULA DE GENIJEW | |
|--|--|
| Grupo 3 | Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfato (menos de 100 a 150 mg/lit) |
| “a” varia de 0.18 a 0.40; valor medio = 0.20 | |

Años de la tubería (t) para la línea de conducción:

$$t = 2015 - 1975 = 40 \text{ años}$$

Sustituyendo en la fórmula de Genijew

$$E_T = E_0 + at$$

$$E_T = (0.025) + (0.20)(40)$$

$$E_T = 8.025 \text{ mm}$$

Rugosidad Relativa

$$E = \frac{E_T}{D} = \frac{8.025}{508} = 0.0158$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v D}{V}$$

Donde;

v = Velocidad

D = Diámetro

V = Viscosidad Cinemática (considerando una T° promedio

del agua de 26° C; $V = 0.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

$$Re = \frac{(0.9867) \frac{m}{s} (0.508)m}{(0.8 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}} = 6.26 \times 10^5$$

Factor de fricción (Colebrook – White modificada)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.71} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2}$$

donde:

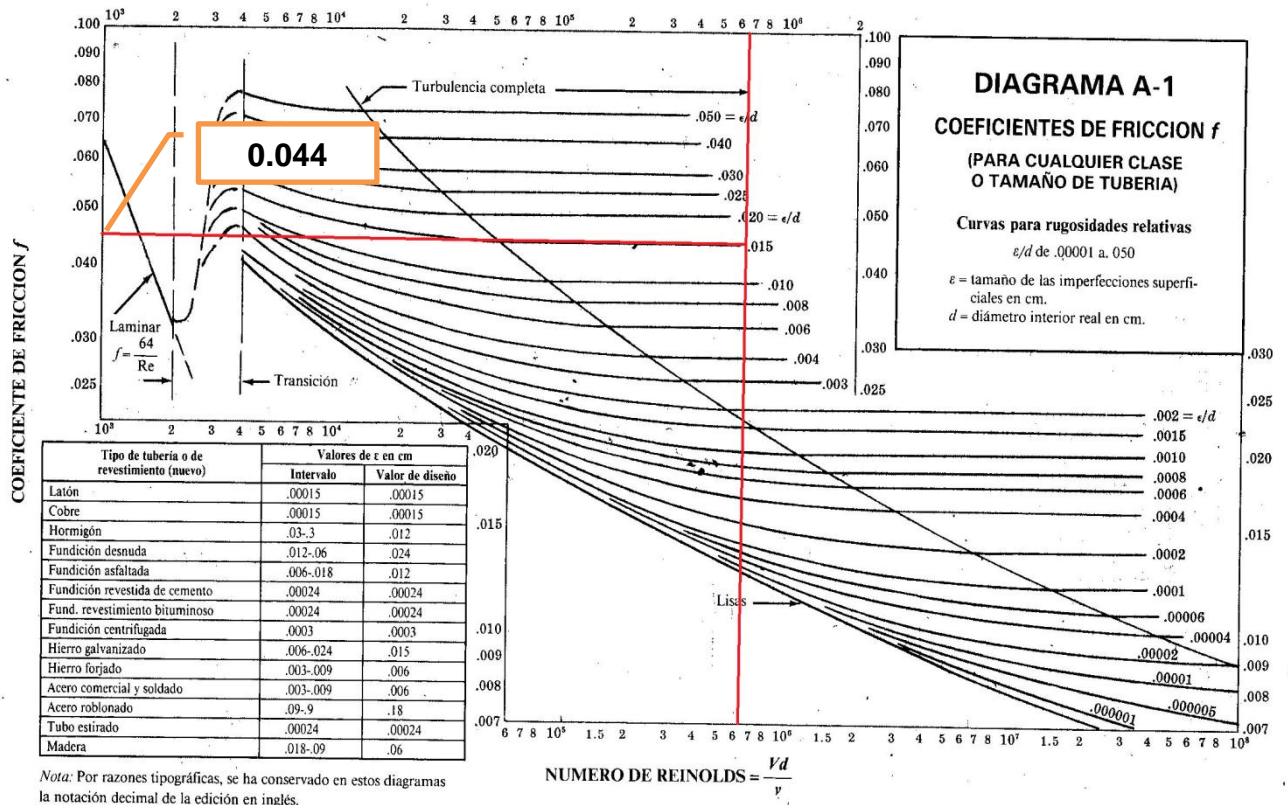
$$G = 4.555 \text{ y } T = 0.8764 \text{ para } 4000 \leq Re \leq 10^5$$

$$G = 6.732 \text{ y } T = 0.9104 \text{ para } 10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$$

$$G = 8.982 \text{ y } T = 0.9300 \text{ para } 3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{0.0158}{3.71} + \frac{6.732}{(6.26 \times 10^5)^{0.9104}} \right) \right)^2} = 0.0446$$

Comparando con el diagrama de Moody ($\frac{\epsilon}{D} = 0.0158$; $Re = 6.26 \times 10^5$)



Perdidas por Fricción en la tubería (Ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

f = factor de fricción, sin dimensiones

g = aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$

h_f = Pérdida por fricción (m)

D = diámetro (m)

L = longitud del tubo (m)

V = velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

Sustituyendo valores en la ecuación de Darcy-W

$$h_f = (0.0446) \left(\frac{5060 \text{ m}}{0.508 \text{ m}}\right) \left(\frac{(0.9867 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}\right) = 22.04 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h = Pérdida de Energía

k = Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE CONDUCCION | | | | |
|--|----|------|------|------|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| Codo 90 | 4 | 0,75 | 3 | 7,35 |
| codo 45 | 2 | 0,45 | 0,9 | |
| Y 45 | 1 | .50 | 0,5 | |
| Valvula Check | 1 | 2,7 | 2,7 | |
| Valvula Compuerta | 1 | 0,25 | 0,25 | |

Sustituyendo en la fórmula de Pérdidas Locales

$$h = (7.35) \left(\frac{(0.9867 \text{ m/s})^2}{2(9.81)}\right) = 0.3648 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES

$$Q_{por\ Equipo} = \frac{500}{3} LPS = .16667 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.3048)^2}{4} = 0.073 m$$

$$v = \frac{0.16667}{0.073} = 2.2831 \frac{m}{s}$$

Perdidas por descarga

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE DESCARGA | | | | |
|--|----|------|------|-----|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| codo 45 | 1 | 0,45 | 0,45 | 3,4 |
| Valvula Check | 1 | 2,7 | 2,7 | |
| Valvula Compuerta | 1 | 0,25 | 0,25 | |

Sustituyendo en la fórmula de Perdidas Locales

$$h_{Descarga} = (3.4) \left(\frac{(2.2831 m/s)^2}{2(9.81)} \right) = 0.9033 m$$

Perdidas por fricción en el múltiple de acero de L= 17.55 m y 609.6 mm (24") Ø

$$Q_T = 500 \text{ LPS} = 0.5 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.6096)^2}{4} = 0.2918 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0.5}{0.2918} = 1.7131 \frac{m}{s}$$

Edad del Múltiple (Criterio de Genijew)

$$E_{Multiple} = E_0 + at$$

Donde;

E_0 = Rugosidad del tubo (mm)

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua

t = Núm. De años de servicio de la tubería

E_T = Rugosidad del conducto (mm)

| TABLA 8.1 RUGOSIDAD ADSOLUTA EN TUBOS | |
|---------------------------------------|-------|
| MATERIAL | E_0 |
| Acero | 1 mm |

| TABLA 8.2 COEFICIENTE "a" DE LA FORMULA DE GENIJEW | |
|--|--|
| Grupo 3 | Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfato (menos de 100 a 150 mg/lit) |
| "a" varia de 0.18 a 0.40; valor medio = 0.20 | |

Edad del Múltiple (t) para la línea de conducción:

$$t = 2015 - 1994 = 21 \text{ años}$$

Sustituyendo en la fórmula de Genijew

$$E_{Multiple} = E_0 + at$$

$$E_{Multiple} = (1) + (0.20)(21)$$

$$E_{Multiple} = 5.2 \text{ mm}$$

Rugosidad Relativa

$$E = \frac{E_T}{D} = \frac{5.2}{609.6} = 0.0085$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v D}{V}$$

Donde;

v = Velocidad

D = Diámetro

V = Viscosidad Cinemática (considerando una T° promedio

del agua de 26° C; V= $0.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

$$Re = \frac{(1.7131) \frac{m}{s} (0.6096)m}{(0.8 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}} = 1.30 \times 10^6$$

Factor de fricción (Colebrook – White modificada)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)}{3.71} + \frac{G}{R_e^T} \right) \right]^2}$$

donde:

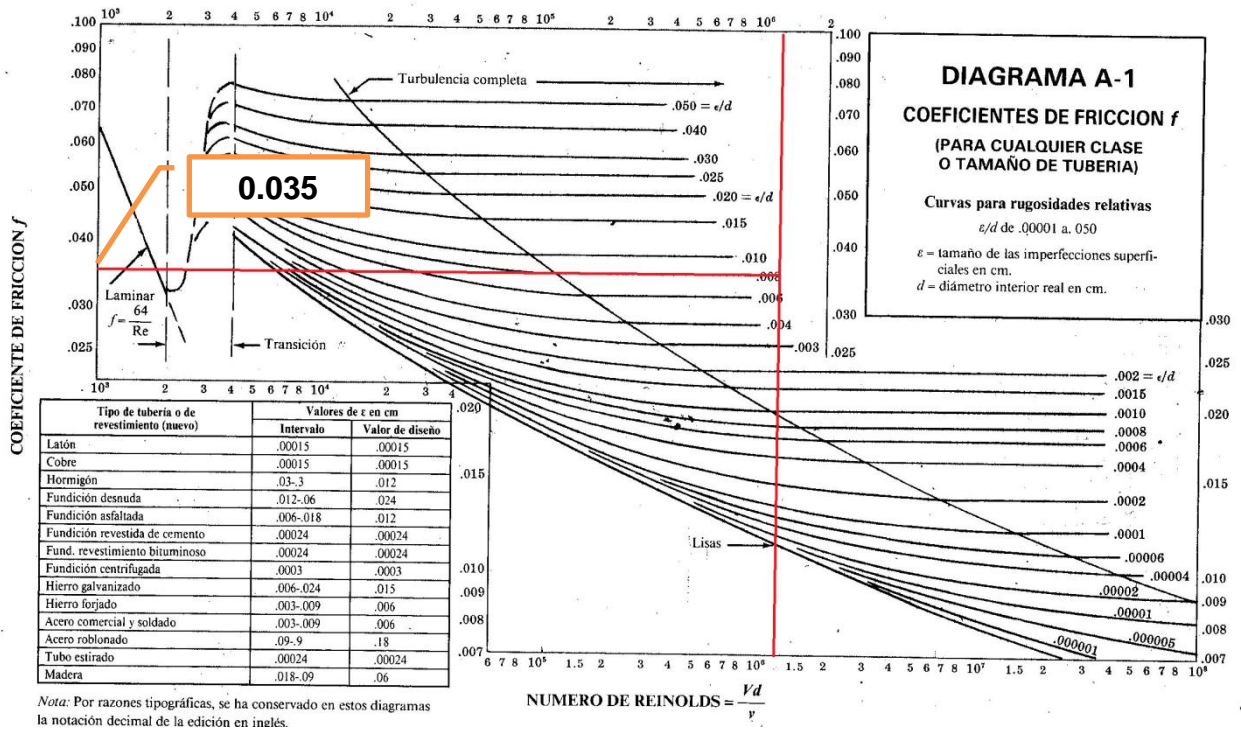
G = 4.555 y T = 0.8764 para $4000 \leq R_e \leq 10^5$

G = 6.732 y T = 0.9104 para $10^5 \leq R_e \leq 3 \times 10^6$

G = 8.982 y T = 0.9300 para $3 \times 10^6 \leq R_e \leq 10^8$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.0085}{3.71} + \frac{6.732}{(1.30 \times 10^6)^{0.9104}}\right)\right)^2} = 0.0359$$

Comparando con el Diagrama de Moody $\frac{E}{D} = 0.0085$; $Re = 1.30 \times 10^6$



Perdidas por Fricción en el Múltiple (Ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_{f \text{ multiple}} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

f = factor de fricción, sin dimensiones

g = aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$

h_f = Pérdida por fricción (m)

D = diámetro (m)

L = longitud del tubo (m)

V = velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

Sustituyendo valores en la ecuación de Darcy-W

$$hf = (0.0359) \left(\frac{17.55 \text{ m}}{0.6096 \text{ m}} \right) \left(\frac{(1.7131 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 0.1546 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES EN EL MULTIPLE

$$h_{Multiple} = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE DESCARGA | | | | |
|--|----|------|------|-----|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| Codo 90 | 1 | 0,75 | 0,75 | 1,2 |
| codo 45 | 1 | 0,45 | 0,45 | |

Sustituyendo en la fórmula de Pérdidas Locales

$$h_{Descarga} = (1.21) \left(\frac{(1.7131 \text{ m/s})^2}{2(9.81)} \right) = 0.1794 \text{ m}$$

Pérdidas en la bomba

❖ Entrada (fabricante "F MOURSE") 1.5 ft = 0.4572 m

❖ Pérdida por fricción en la Columna

| DONDE: | | | |
|--------|---------------------|-------|------------|
| | LONGITUD DE COLUMNA | _____ | 3.05 m |
| | Ø COLUMNA | _____ | 12" |
| | Q POR EQUIPO | _____ | 166.67 LPS |
| | Ø FLECHA | _____ | 1 1/2 " |

Tabla en la perdida de columna (f por cada 100 ft) indica los siguientes valores

| | | | |
|---------------------|-----------|---------|-----|
| 166,67 | LPS = | 2641,72 | GPM |
| <i>INTERPOLANDO</i> | | | |
| GPM | f | | |
| 2500 | 1.17 ft | | |
| 2641.72 | 1.3032 ft | | |
| 3000 | 1.64 ft | | |

Convirtiendo la longitud de columna de 3.05 m a pies = $3.05 * 3.28 = 10.004$ ft

$$h_{f \text{ columna}} = \left(\frac{10.004 \text{ ft} * 1.3032 \text{ ft}}{100} \right) = 0.133 \text{ ft} = 0.04 \text{ m}$$

Carga total H_T de la Planta 1 Sedimentador a la Planta 2 Antigua para la línea de 20"

| Perdidas por fricción | h_f (m) |
|-------------------------------|----------------|
| Línea de Conducción | 22.04 |
| Accesorio Línea de Conducción | 0.3648 |
| Accesorio Línea de Descarga | 0.9033 |
| Línea del Múltiple | 0.1546 |
| Accesorio Línea del Múltiple | 0.18 |
| Entrada Bomba | 0.4572 |
| Columna Bomba | 0.04 |
| TOTAL | 24.1399 |

❖ **Altura Dinámica**

$$h_{Dinamica} = N_d + A_t + \text{Cota de terreno}$$

$$h_{Dinamica} = 3.5 \text{ m} + 3 \text{ m} + 42.5 \text{ m} = 49 \text{ m}$$

❖ Carga Total

$$H_T = h_{Dinamica} + h_{ft}$$

$$H_T = 49 + 24.1399 \text{ m}$$

$$H_T = 73.14 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en HP en la flecha de la Bomba (tabla N° 3)

Donde;

| RPM | Ø FLECHA | HP |
|------|----------|------|
| 1760 | 1 ½ " | 1.18 |

➤ POTENCIA REQUERIDA EN HP

$$P_{Requerida} = \frac{Q * \rho * H_T}{n_B * 76} + \text{Pérdidas en la Flecha}$$

Donde;

$$Q_{por \text{ Equipo}} = 0.16667 \frac{m^3}{s}$$

$$\rho_{H20} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$n_B = 84 \%$$

$$h_{flecha} = 1.18 \text{ HP}$$

$$P_{Requerida} = \frac{(0.16667 \text{ LPS}) * \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * (73.14 \text{ m})}{0.84 * 76} + 1.18 \text{ HP}$$

$$P_{Requerida} = 192.13 \text{ HP}$$

POTENCIA NOMINAL RECOMENDADA (TABLA N° 5)

$$P_N = 200 \text{ HP} - 4 \text{ POLOS} - 460 \text{ VOLTS}$$

Datos y Especificaciones para Cotizar los Equipos de Bombeo para la línea de 508 mm (20") Ø

- (3 + 1) bombas tipo turbina vertical para instalarse en la planta 1 Sedimentador para operar conectadas en paralelo.
- Los datos de operación por equipos son:

| | | |
|-----------------------------|-------|------------|
| Gastos | _____ | 166.67 LPS |
| Carga total | _____ | 73.14 m |
| Velocidad | _____ | 1760 RPM |
| Eficiencia mínima | _____ | 84% |
| Longitud de columna (brida) | _____ | 3.05 m |
| Lubricación de columna | _____ | Agua |
| Profundidad del cárcamo | _____ | 5 m |
| Nivel de operación | _____ | 3.5 m |

- Considerar colador tipo: canasta de 12" Ø
- El cabezal de descarga será de hierro colado tipo "C", tendrá su descarga sobre la superficie y conectara con piezas especiales de 12" Ø bridadas.
- Agua para Bombear: Turbia con arena fina disuelta
- Considerar: (3 + 1) Motores Eléctricos Verticales flecha hueca tropicalizados de **200 HP, 60 Hz, 4 Polos, 3 Fases, 460 Voltios**, con aparatos de control adecuados para estos motores.

CURVAS DE RENDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN



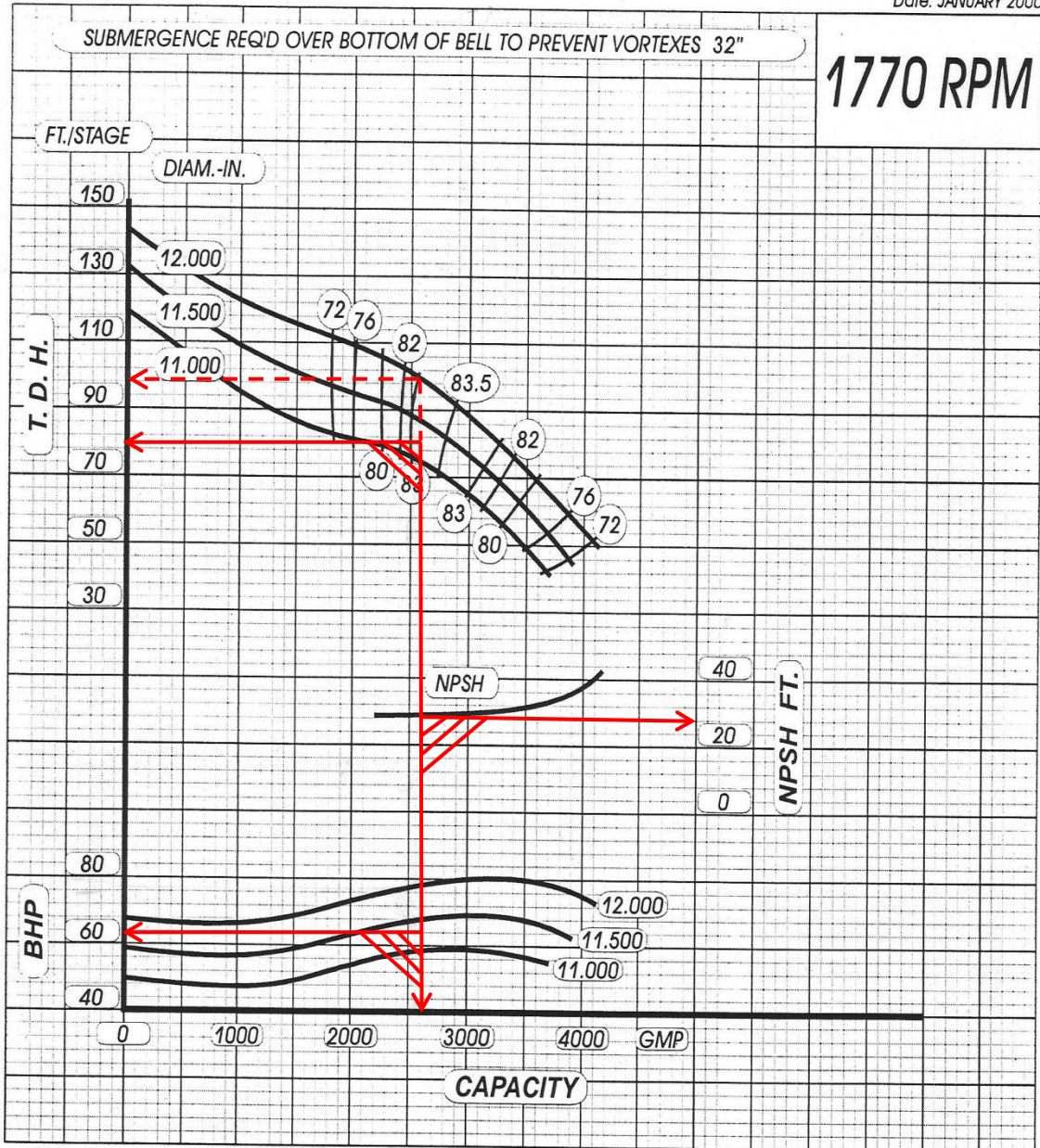
VERTICAL TURBINE PUMP MODEL: 16D-280

60 HERTZ

Curve No.: VTP298

Date: JANUARY 2000

P U M P S



Performance based on multistage tests pumping clear cold water sp. gr. 1.0

| No. of stages. | Mult HD & eff. By | No. of stages. | Mult HD & eff. By |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1 | 0.97 | ---- | ---- |
| 2 | 0.99 | ---- | ---- |
| ---- | ---- | ---- | ---- |

| TECHNICAL DATA | | KG. | LBS. |
|---------------------------------|--|------|------|
| Bowl wt. addl stage (lbs.) | | 104 | 230 |
| Rotor wt. per stage (lbs.) | | 26.3 | 58 |
| Bowl wt. first stage (lbs.) | | 272 | 600 |
| Thrust factor | | 22 | |
| Max bowl horsepower | | 570 | |
| Impeller eye area (sq. inch.) | | 42 | |

DATOS DE LA CURVA DE RENDIMIENTO

Línea de 20" RPM = 1770

$$Q_{Por\ Equipo} = 166.67\ LPS$$

Convirtiendo a GPM y pies

$$Q_{Por\ Equipo} = 166.67\ LPS \times 15.85 = 2641.72\ GPM$$

$$ft\ por\ tazon = 98\ ft$$

$$Carga\ Total = 73.14\ m \times 3.28 = 240\ ft$$

Numero de Tazones

$$\frac{Carga\ total}{ft\ por\ tazon} = \frac{240\ ft}{98\ ft} = 2.4489 \approx 3\ tazon\ (impulsor)$$

Punto de Selección

$$\frac{Carga\ total}{Num\ de\ Tazones} = \frac{240\ ft}{3} = 80\ ft$$

N P S H - R

$$\frac{28\ ft}{3.28} = 8.5365\ m$$

B H P


*Punto de Selección * Num de Tazones*

$$BHP = 64 \times 3 = 192\ HP$$

Eficiencia

$$n_B = 83.2\ \%$$

Levantamiento de datos eléctricos, hidráulicos y mecánicos de cada bomba de servicio.

| | | | |
|---|--------------------------|--|-----------------|
| BORRADOR | | INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ | |
|  | | SISTEMA POR BOMBEO SANTO DOMINGO - "LOS PAJAROS" - | |
| DATOS DE PLACA Y DE DISEÑO DE QUIPOS ELECTROMECANICOS | | | |
| OBRA DE TOMA | PLANTA N° 1 SEDIMENTADOR | LINEA DE CONDUCCION | 24" Ø |
| CARCAMO RECTANGULAR DE CONCRETO DE 13 X 5 X 5 m DE PROFUNDIDAD | | LONGITUD | 5000 m |
| | | DIAMETRO | 609.6 mm (24") |
| N° DE EQUIPOS DE BOMBEO | 3 + 1 | MATERIAL | ASBESTO-CEMENTO |

| MOTOR | | BOMBA | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|----------------|
| MARCA | FAIRBANK'S | MARCA | WDM - DEMING | | |
| HP | 200 | TIPO | TURVINA VERTICAL | | |
| ARMAZON | 445 - T | MODELO | H-16 | | |
| VOLTAJE | 440 | GASTO | 166.67 LPS | CARGA | 76 m.c.a |
| AMPERAJE | 256 | RPM | 1760 | EFICIENCIA | 84% |
| K.W. | 149 | LUBRICACION | AGUA | NPSH - R | 6.7 m |
| MODELO/CLASE | KZKV | Ø IMPULSOR | 11 9/16 " | TIPO | SEMI - ABIERTO |
| RPM | 1765 | N° DE PASOS | 3 | | |
| N° DE POLOS | 4 | Ø COLUMNA | 12" | | |
| FACT. SERV. | 1.15 | LONG. COLUMNA | 2 X 1.525 m | | |
| BALERO SUP. | 7322-GM | FLECHA BOMBA | 2 1/8 X 1.70 mts | | |
| BALERO INF. | 6212 | COLADOR TIPO | CANASTA DE 12" Ø | | |
| FLECHA DE MANDO | 1 11/16" Ø X 2.90 | Ø PORTACHUMACERA | 12" X 1 11/16 X 3 " | | |
| FLECHA INTERM. | 1 11/16" Ø X 1.52 | Ø CHUMACERA DE HULE TAZON | 2 1/8" X 2 3/4 " X 6" | | |
| | | Ø CHUMACERA DE BRONCE TAZON | 2 1/8" X 2 3/4 " X 3" | | |

| ARRANCADOR | | | | | | | |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|---------------------|-----------|---------|---------|
| MARCA | SQUARED | | | MARCA | CAPACIDAD | CLASE | TAMAÑO |
| MARCA | No. CATALOGO | TIPO/MODELO | CAPACIDAD | CONTACTOR No. 1 | | | |
| BREAKER | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8536 | TM5 |
| SQUARED | LAL36350 | SERIE 4 | 350 AMPS | CONTACTOR No. 2 | | | |
| RELEVADOR | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8502 | TM4 |
| SQUARED | S/P | S/P | S/P | CONTACTOR No. 3 | | | |
| AUTOTRANSFORMADOR | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8502 | TM4 |
| SQUARED | ATS160 - 4 | EEI | 200 HP | CAL CONDUCTOR: 2/0 | | | |
| TIMER | | | | INTERRUPTOR GENERAL | | | |
| SQUARED | PTE - 180 | CLASE 9999 | 1.8 -180 SEG | SQUARED | 2000 AMPS | SERIE 4 | PHF2036 |

| SUBESTACION ELECTRICA | | | |
|-----------------------|----------|-----------------|-----------------|
| DATOS DE PLACA | | TRANSFORMADORES | 3 |
| TIPO | AEREA | CAPACIDAD | 750 KVA |
| VOLTAJE | 13,200 V | RELACION | 13200/440/254 V |
| CAPACIDAD | 2250 KVA | IMPEDANCIA | 6.11 % |

Línea de conducción de L= 5,000 m de Asbesto-Cemento de 609.6 mm (24'') Ø

| CAPTACION SANTO DOMINGO | | |
|-------------------------|--|----------|
| DIMENSIONES DEL CARCAMO | | 13 X 5 m |
| NUM. DE EQUIPOS | | 3 + 1 |
| NIVEL DINAMICO | | 3.5 m |
| Q DE DISEÑO | | 500 LPS |
| COTA DE TERRENO | | 42.5 m |
| ALTURA DE MACIAS TANQUE | | 3 m |
| EFICIENCIA | | 84% |

PERDIDAS PRIMARIAS

- ❖ Cálculos por las pérdidas de fricción en la línea de conducción considerando que en la línea de 24 '' hay un $Q = 300 \text{ LPS}$

$$Q_T = 300 \text{ LPS} = 0.3 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.6096)^2}{4} = 0.2918m$$

$$v = \frac{0.3}{0.2918} = 1.0278 \frac{m}{s}$$

Edad de la tubería (Criterio de Genijew)

$$E_T = E_0 + at$$

Donde;

E_0 = Rugosidad del tubo (mm)

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua

t = Núm. De años de servicio de la tubería

E_T = Rugosidad del conducto (mm)

| TABLA 8.1 RUGOSIDAD ADSOLUTA EN TUBOS | |
|---------------------------------------|----------|
| MATERIAL | E_0 |
| Asbesto – Cemento | 0.025 mm |

| TABLA 8.2 COEFICIENTE “a” DE LA FORMULA DE GENIJEW | |
|--|--|
| Grupo 3 | Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfato (menos de 100 a 150 mg/lit) |
| “a” varia de 0.18 a 0.40; valor medio = 0.20 | |

Años de la tubería (t) para la línea de conducción:

$$t = 2015 - 1978 = 37 \text{ años}$$

Sustituyendo en la fórmula de Genijew

$$E_T = E_0 + at$$

$$E_T = (0.025) + (0.20)(37)$$

$$E_T = 7.425 \text{ mm}$$

Rugosidad Relativa

$$E = \frac{E_T}{D} = \frac{7.425}{609.6} = 0.0121$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v D}{V}$$

Donde;

v = Velocidad

D = Diámetro

V = Viscosidad Cinemática (considerando una T° promedio

del agua de 26° C; $V = 0.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

$$Re = \frac{(0.9867) \frac{m}{s} (0.6096)m}{(0.8 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}} = 7.83 \times 10^5$$

Factor de fricción (Colebrook – White modificada)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.71} + \frac{G}{R_e^T} \right) \right]^2}$$

donde:

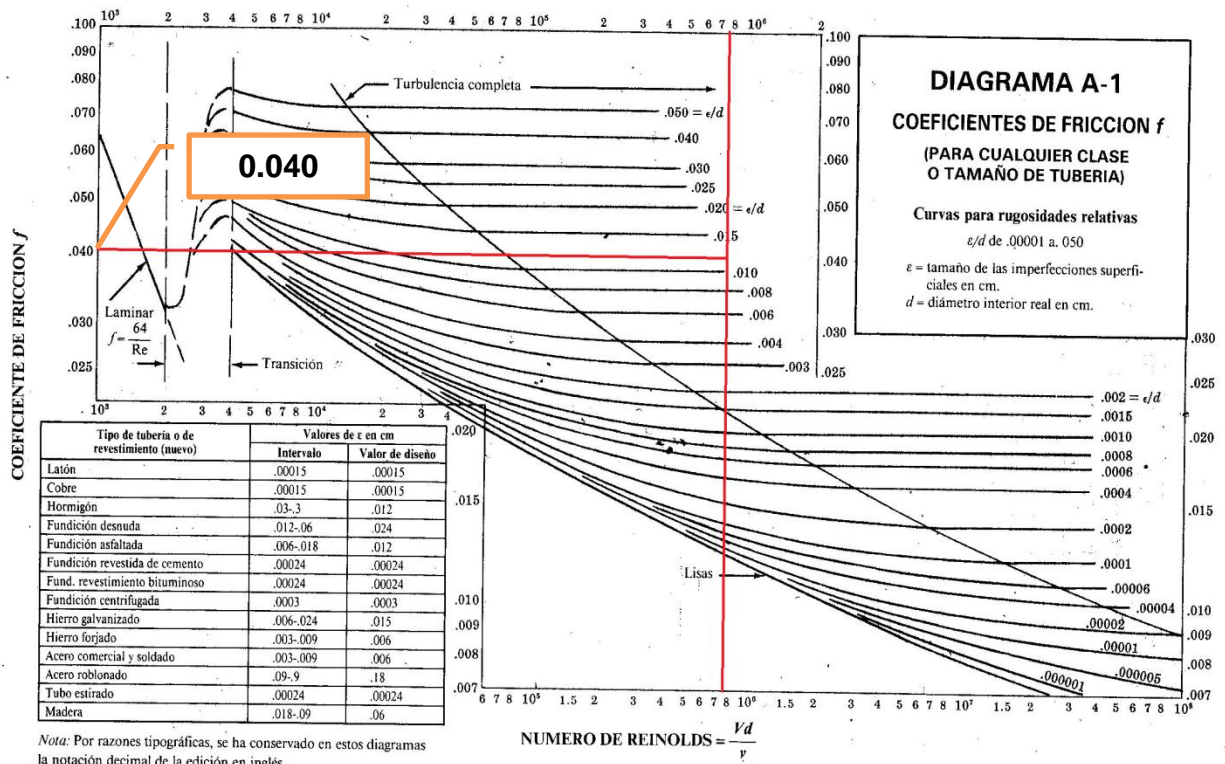
$$G = 4.555 \text{ y } T = 0.8764 \text{ para } 4000 \leq R_e \leq 10^5$$

$$G = 6.732 \text{ y } T = 0.9104 \text{ para } 10^5 \leq R_e \leq 3 \times 10^6$$

$$G = 8.982 \text{ y } T = 0.9300 \text{ para } 3 \times 10^6 \leq R_e \leq 10^8$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{0.0121}{3.71} + \frac{6.732}{(7.83 \times 10^5)^{0.9104}} \right) \right)^2} = 0.0405$$

Comparando con el diagrama de Moody ($\frac{\epsilon}{D} = 0.0121$; $Re = 7.83 \times 10^5$)



Perdidas por Fricción en la tubería (Ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

f = factor de fricción, sin dimensiones

g = aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$

hf = Pérdida por fricción (m)

D = diámetro (m)

L = longitud del tubo (m)

V = velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

Sustituyendo valores en la ecuación de Darcy-W

$$hf = (0.0405) \left(\frac{5000 \text{ m}}{0.6096 \text{ m}} \right) \left(\frac{(1.0278 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 17.88 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h = Pérdida de Energía

k = Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE CONDUCCION | | | | |
|--|----|------|------|------|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| Codo 90 | 4 | 0,75 | 3 | 8,13 |
| codo 45 | 4 | 0,45 | 1,8 | |
| Y 45 | 1 | .38 | 0,38 | |
| Valvula Check | 1 | 2,7 | 2,7 | |
| Valvula Compuerta | 1 | 0,25 | 0,25 | |

Sustituyendo en la fórmula de Pérdidas Locales

$$h = (8.13 \text{ m}) \left(\frac{(1.0278 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 0.4377 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES

$$Q_{por\ Equipo} = \frac{500}{3} LPS = .16667 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.3048)^2}{4} = 0.073 m$$

$$v = \frac{0.16667}{0.073} = 2.2831 \frac{m}{s}$$

Perdidas por descarga de 304.8 mm (12") Ø

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE DESCARGA | | | | |
|--|----|------|------|-----|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| codo 45 | 1 | 0,45 | 0,45 | 3,4 |
| Valvula Check | 1 | 2,7 | 2,7 | |
| Valvula Compuerta | 1 | 0,25 | 0,25 | |

Sustituyendo en la fórmula de Perdidas Locales

$$h_{Descarga} = (3.4) \left(\frac{(2.2831 m/s)^2}{2(9.81)} \right) = 0.9033 m$$

Perdidas por fricción en el múltiple de acero de L= 17.55 m y 609.6 mm (24") Ø

$$Q_T = 500 \text{ LPS} = 0.5 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.6096)^2}{4} = 0.2918 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0.5}{0.2918} = 1.7131 \frac{m}{s}$$

Edad del Múltiple (Criterio de Genijew)

$$E_{Multiple} = E_0 + at$$

Donde;

E_0 = Rugosidad del tubo (mm)

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua

t = Núm. De años de servicio de la tubería

E_T = Rugosidad del conducto (mm)

| TABLA 8.1 RUGOSIDAD ADSOLUTA EN TUBOS | |
|---------------------------------------|-------|
| MATERIAL | E_0 |
| Acero | 1 mm |

| TABLA 8.2 COEFICIENTE "a" DE LA FORMULA DE GENIJEW | |
|--|--|
| Grupo 3 | Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfato (menos de 100 a 150 mg/lit) |
| "a" varia de 0.18 a 0.40; valor medio = 0.20 | |

Edad del Múltiple (t) para la línea de conducción:

$$t = 2015 - 1994 = 21 \text{ años}$$

Sustituyendo en la fórmula de Genijew

$$E_{Multiple} = E_0 + at$$

$$E_{Multiple} = (1) + (0.20)(21)$$

$$E_{Multiple} = 5.2 \text{ mm}$$

Rugosidad Relativa

$$E = \frac{E_T}{D} = \frac{5.2}{609.6} = 0.0085$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v D}{V}$$

Donde;

v = Velocidad

D = Diámetro

V = Viscosidad Cinemática (considerando una T° promedio

del agua de 26° C; V= $0.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

$$Re = \frac{(1.7131) \frac{m}{s} (0.6096)m}{(0.8 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}} = 1.30 \times 10^6$$

Factor de fricción (Colebrook – White modificada)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)}{3.71} + \frac{G}{R_e^T} \right) \right]^2}$$

donde:

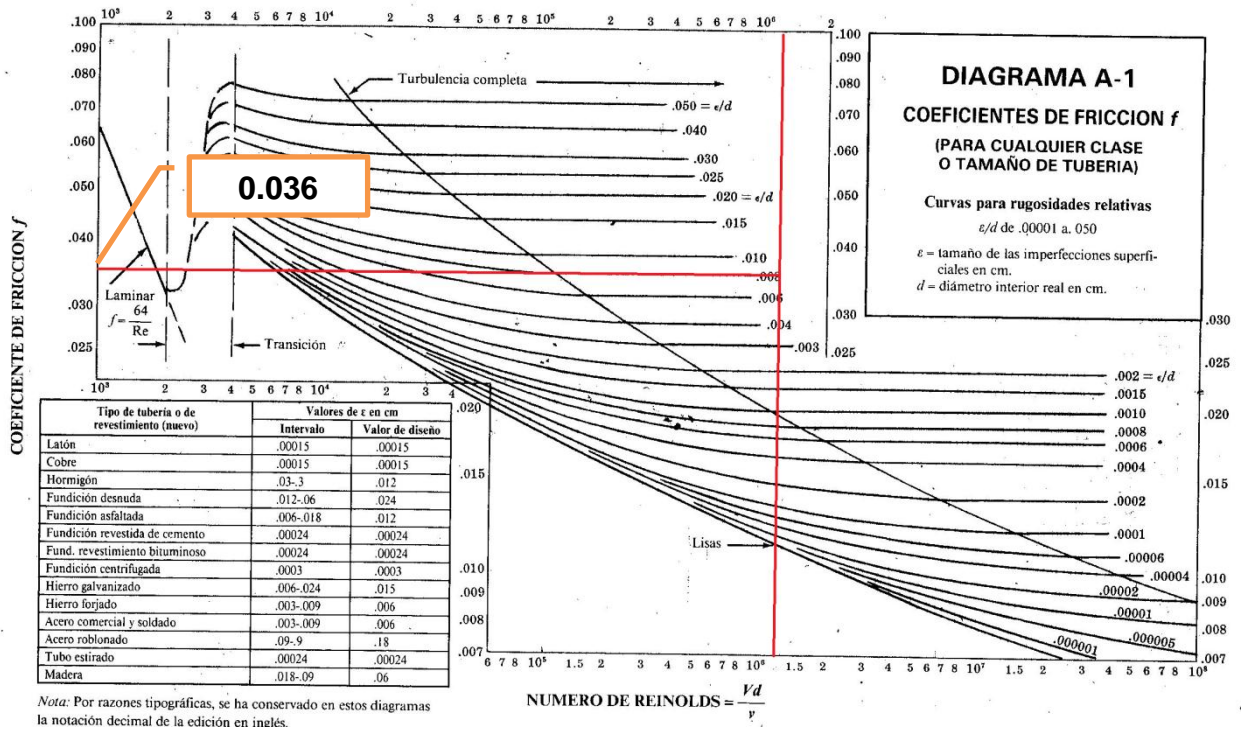
G = 4.555 y T = 0.8764 para $4000 \leq R_e \leq 10^5$

G = 6.732 y T = 0.9104 para $10^5 \leq R_e \leq 3 \times 10^6$

G = 8.982 y T = 0.9300 para $3 \times 10^6 \leq R_e \leq 10^8$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.0085}{3.71} + \frac{6.732}{(1.30 \times 10^6)^{0.9104}}\right)\right)^2} = 0.0359$$

Comparando con el Diagrama de Moody $\frac{E}{D} = 0.0085$; $Re = 1.30 \times 10^6$



Perdidas por Fricción en el Múltiple (Ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_{f \text{ multiple}} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

f = factor de fricción, sin dimensiones

g = aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$

h_f = Pérdida por fricción (m)

D = diámetro (m)

L = longitud del tubo (m)

V = velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

Sustituyendo valores en la ecuación de Darcy-W

$$h_f = (0.0359) \left(\frac{17.55 \text{ m}}{0.6096 \text{ m}} \right) \left(\frac{\left(1.7131 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) = 0.1546 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES EN EL MULTIPLE

$$h_{Multiple} = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE DESCARGA | | | | |
|--|----|------|------|-----|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| Codo 90 | 1 | 0,75 | 0,75 | 1,2 |
| codo 45 | 1 | 0,45 | 0,45 | |

Sustituyendo en la fórmula de Pérdidas Locales

$$h_{Descarga} = (1.21 \text{ m}) \left(\frac{\left(1.7131 \text{ m/s}\right)^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 0.1794 \text{ m}$$

Pérdidas en la bomba

❖ Entrada (fabricante "F MOURSE") 1.5 ft = 0.4572 m

❖ Pérdida por fricción en la Columna

| DONDE: | | | |
|--------|---------------------|--|------------|
| | LONGITUD DE COLUMNA | | 3.05 m |
| | Ø COLUMNA | | 12" |
| | Q POR EQUIPO | | 166.67 LPS |
| | Ø FLECHA | | 1 1/2 " |

Tabla en la perdida de columna (f por cada 100 ft) indica los siguientes valores

| | | | |
|---------------------|-----------|---------|-----|
| 166,67 | LPS = | 2641,72 | GPM |
| <i>INTERPOLANDO</i> | | | |
| GPM | f | | |
| 2500 | 1.17 ft | | |
| 2641.72 | 1.3032 ft | | |
| 3000 | 1.64 ft | | |

Convirtiendo la longitud de columna de 3.05 m a pies = $3.05 * 3.28 = 10.004$ ft

$$h_{f \text{ columna}} = \left(\frac{10.004 \text{ ft} * 1.3032 \text{ ft}}{100} \right) = 0.133 \text{ ft} = 0.04 \text{ m}$$

Carga total H_T de la Planta 1 Sedimentador a la Planta 2 Antigua para la línea de 24"

| Perdidas por fricción | h_f (m) |
|-------------------------------|----------------|
| Línea de Conducción | 17.88 |
| Accesorio Línea de Conducción | 0.4377 |
| Accesorio Línea de Descarga | 0.9033 |
| Línea del Múltiple | 0.1546 |
| Accesorio Línea del Múltiple | 0.1794 |
| Entrada Bomba | 0.4572 |
| Columna Bomba | 0.04 |
| TOTAL | 20.0512 |

❖ **Altura Dinámica**

$$h_{Dinamica} = N_d + A_t + \text{Cota de terreno}$$

$$h_{Dinamica} = 3.5 \text{ m} + 3 \text{ m} + 42.5 \text{ m} = 49 \text{ m}$$

❖ Carga Total

$$H_T = h_{Dinamica} + h_{ft}$$

$$H_T = 49 + 20.0512 \text{ m}$$

$$H_T = 69.0512 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en HP en la flecha de la Bomba (tabla N° 3)

Donde;

| RPM | Ø FLECHA | HP |
|------|----------|------|
| 1760 | 1 ½ " | 1.18 |

➤ POTENCIA REQUERIDA EN HP

$$P_{Requerida} = \frac{Q * \rho * H_T}{n_B * 76} + \text{Pérdidas en la Flecha}$$

Donde;

$$Q_{por \text{ Equipo}} = 0.16667 \frac{m^3}{s}$$

$$\rho_{H20} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$n_B = 84 \%$$

$$h_{flecha} = 1.18 \text{ HP}$$

$$P_{Requerida} = \frac{(0.16667 \text{ LPS}) * \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * (69.0512 \text{ m})}{0.84 * 76} + 1.18 \text{ HP}$$

$$P_{Requerida} = 181.45 \text{ HP}$$

POTENCIA NOMINAL RECOMENDADA (TABLA N° 5)

$$P_N = 200 \text{ HP} - 4 \text{ POLOS} - 460 \text{ VOLTS}$$

Datos y Especificaciones para Cotizar los Equipos de Bombeo para la línea de 609.6 mm (24") Ø

- (3 + 1) bombas tipo turbina vertical para instalarse en la planta 1 Sedimentador para operar conectadas en paralelo.
- Los datos de operación por equipos son:

| | | |
|-----------------------------|-------|------------|
| Gastos | _____ | 166.67 LPS |
| Carga total | _____ | 70 m |
| Velocidad | _____ | 1760 RPM |
| Eficiencia mínima | _____ | 84% |
| Longitud de columna (brida) | _____ | 3.05 m |
| Lubricación de columna | _____ | Agua |
| Profundidad del cárcamo | _____ | 5 m |
| Nivel de operación | _____ | 3.5 m |

- Considerar colador tipo: canasta de 12" Ø
- El cabezal de descarga será de hierro colado tipo "C", tendrá su descarga sobre la superficie y conectara con piezas especiales de 12" Ø bridadas.
- Agua para Bombear: Turbia con arena fina disuelta
- Considerar: (3 + 1) Motores Eléctricos Verticales flecha hueca tropicalizados de **200 HP, 60 Hz, 4 Polos, 3 Fases, 460 Voltios**, con aparatos de control adecuados para estos motores.

CURVAS DE RENDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN

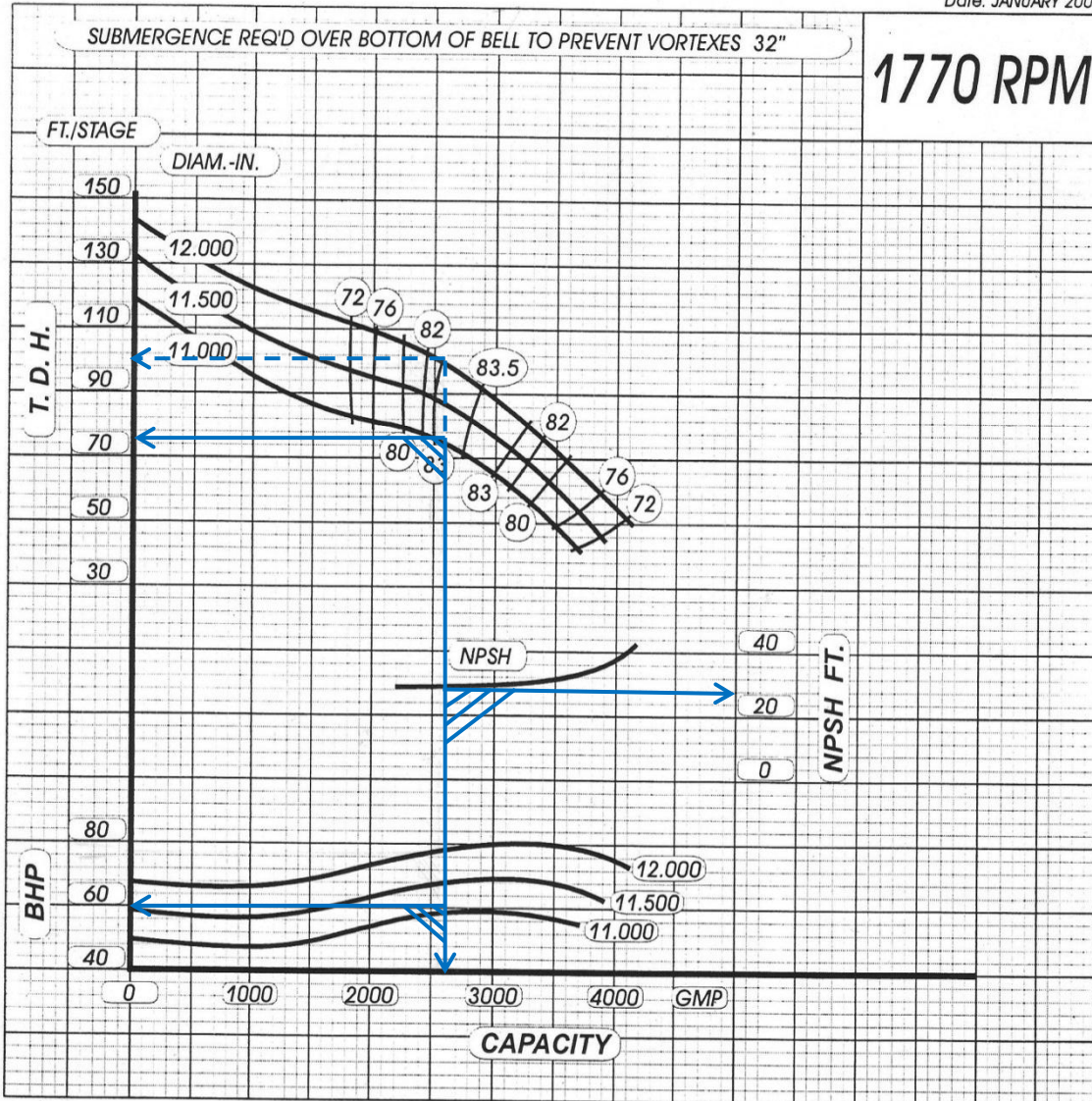


VERTICAL TURBINE PUMP MODEL: 16D-280

60 HERTZ

Curve No.: VTP298

Date: JANUARY 2000



Performance based on multistage tests pumping clear cold water sp. gr. 1.0

| No. of stages. | Mult HD & eff. By | No. of stages. | Mult HD & eff. By |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1 | 0.97 | ---- | ---- |
| 2 | 0.99 | ---- | ---- |
| ---- | ---- | ---- | ---- |

| TECHNICAL DATA | | KG. | LBS. |
|---------------------------------|--|------|------|
| Bowl wt. addl stage (lbs.) | | 104 | 230 |
| Rotor wt. per stage (lbs.) | | 26.3 | 58 |
| Bowl wt. first stage (lbs.) | | 272 | 600 |
| Thrust factor | | | 22 |
| Max bowl horsepower | | | 570 |
| Impeller eye area (sq. inch.) | | | 42 |

DATOS DE LA CUERVA DE SELECCION

Línea de 24" RPM = 1770

$$Q_{Por\ Equipo} = 166.67\ LPS$$

Convirtiendo a GPM y pies

$$Q_{Por\ Equipo} = 166.67\ LPS \times 15.85 = 2641.72\ GPM$$

$$ft\ por\ tazon = 98\ ft$$

$$Carga\ Total = 70\ m * 3.28 = 230\ ft$$

Numero de Tazones

$$\frac{Carga\ total}{ft\ por\ tazon} = \frac{230\ ft}{98\ ft} = 2.3469 \approx 3\ tazon\ (impulsor)$$

Punto de Selección

$$\frac{Carga\ total}{Num\ de\ Tazones} = \frac{230\ ft}{3} = 76.667\ ft$$

N P S H - R

$$\frac{28\ ft}{3.28} = 8.5365\ m$$

B H P


*Punto de Selección * Num de Tazones*

$$BHP = 60 * 3 = 180\ HP$$

Eficiencia

$$n_B = 83.2\ \%$$

Levantamiento de datos eléctricos, hidráulicos y mecánicos de cada bomba de servicio.

| | | | |
|---|---|---------------------|----------------------|
| INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ | | | |
|  | SISTEMA POR BOMBEO SANTO DOMINGO - "LOS PAJAROS" - | | |
| | DATOS DE PLACA Y DE DISEÑO DE QUIPOS ELECTROMECANICOS | | |
| OBRA DE TOMA | PLANTA Nº 1 SEDIMENTADOR | LINEA DE CONDUCCION | 36" Ø |
| CARCAMO RECTANGULAR DE CONCRETO DE 13 X 5 X 5m DE PROFUNDIDAD | | LONGITUD | 5,055 m |
| | | DIAMETRO | 914.4 mm (36") |
| Nº DE EQUIPOS DE BOMBEO | 6 + 1 | MATERIAL | Concreto-Presforzado |

| MOTOR | |
|-----------------|-----------------------|
| MARCA | FAIRBANK'S MORSE |
| HP | 200 |
| ARMAZON | 445 - T |
| VOLTAJE | 440 |
| AMPERAJE | 256 |
| K.W. | 149 |
| MODELO/CLASE | KZKV |
| RPM | 1765 |
| Nº DE POLOS | 4 |
| FACT. SERV. | 1.15 |
| BALERO SUP. | 7322-GM |
| BALERO INF. | 6212 |
| FLECHA DE MANDO | 1 11/16" Ø X 2.90 mts |
| FLECHA INTERM. | 1 11/16" Ø X 1.52 mts |

| BOMBA | | | |
|-----------------------------|-----------------------|------------|----------------|
| MARCA | WDM - DEMING | | |
| TIPO | TURVINA VERTICAL | | |
| MODELO | H-16 | | |
| GASTO | 166.67 LPS | CARGA | 67 m.c.a |
| RPM | 1760 | EFICIENCIA | 80% |
| LUBRICACION | AGUA | NPSH - R | 6.7 m |
| Ø IMPULSOR | 11 9/16 " | TIPO | SEMI - ABIERTO |
| Nº DE PASOS | 3 | | |
| Ø COLUMNA | 12" | | |
| LONG. COLUMNA | 2 X 1.525 m | | |
| FLECHA BOMBA | 2 1/8 X 1.70 mts | | |
| COLADOR TIPO | CANASTA DE 12" Ø | | |
| Ø PORTACHUMACERA | 12" X 1 11/16 X 3 " | | |
| Ø CHUMACERA DE HULE TAZON | 2 1/8" X 2 3/4 " X 6" | | |
| Ø CHUMACERA DE BRONCE TAZON | 2 1/8" X 2 3/4 " X 3" | | |

| ARRANCADOR | | | | | | | |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|---------------------|-----------|---------|---------|
| MARCA | SQUARED | | | MARCA | CAPACIDAD | CLASE | TAMAÑO |
| MARCA | No. CATALOGO | TIPO/MODELO | CAPACIDAD | CONTACTOR No. 1 | | | |
| BREAKER | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8536 | TM5 |
| SQUARED | LAL36350 | SERIE 4 | 350 AMPS | CONTACTOR No. 2 | | | |
| RELEVADOR | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8502 | TM4 |
| SQUARED | S/P | S/P | S/P | CONTACTOR No. 3 | | | |
| AUTOTRANSFORMADOR | | | | SQUARED | 440 VOLTS | 8502 | TM4 |
| SQUARED | ATS160 - 4 | EEI | 200 HP | CAL CONDUCTOR: 2/0 | | | |
| TIMER | | | | INTERRUPTOR GENERAL | | | |
| SQUARED | PTE - 180 | CLASE 9999 | 1.8 -180 SEG | SQUARED | 2000 AMPS | SERIE 4 | PHF2036 |

| SUBESTACION ELECTRICA | | | |
|-----------------------|----------|-----------------|-----------------|
| DATOS DE PLACA | | TRANSFORMADORES | 3 |
| TIPO | AEREA | CAPACIDAD | 750 KVA |
| VOLTAJE | 13,200 V | RELACION | 13200/440/254 V |
| CAPACIDAD | 2250 KVA | IMPEDANCIA | 5.97 % |

Línea de conducción de L= 5,055 m de Concreto-Pres forzado de 914.46 mm (36") Ø

| CAPTACION SANTO DOMINGO | | |
|-------------------------|--|----------|
| DIMENSIONES DEL CARCAMO | | 13 x 5 m |
| NUM. DE EQUIPOS | | 6 + 1 |
| NIVEL DINAMICO | | 3.50 m |
| Q DE DISEÑO | | 1000 LPS |
| COTA DE TERRENO | | 46.17 m |
| ALTURA DE MACIAS TANQUE | | 3 m |
| EFICIENCIA | | 80% |

PERDIDAS PRIMARIAS

❖ Cálculos por las pérdidas de fricción en la línea de conducción

$$Q_T = 1000 \text{ LPS} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.9144)^2}{4} = 0.6567 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{1}{0.6567} = 1.5228 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Edad de la tubería (Criterio de Genijew)

$$E_T = E_0 + at$$

Donde;

E_0 = Rugosidad del tubo (mm)

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua

t = Núm. De años de servicio de la tubería

E_T = Rugosidad del conducto (mm)

| TABLA 8.1 RUGOSIDAD ADSOLUTA EN TUBOS | |
|---------------------------------------|---------|
| MATERIAL | E_0 |
| Concreto | 0.25 mm |

| TABLA 8.2 COEFICIENTE “a” DE LA FORMULA DE GENIJEW | |
|--|--|
| Grupo 3 | Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfato (menos de 100 a 150 mg/lit) |
| “a” varia de 0.18 a 0.40; valor medio = 0.20 | |

Años de la tubería (t) para la línea de conducción:

$$t = 2015 - 1982 = 33 \text{ años}$$

Sustituyendo en la fórmula de Genijew

$$E_T = E_0 + at$$

$$E_T = (0.025) + (0.20)(33)$$

$$E_T = 6.85 \text{ mm}$$

Rugosidad Relativa

$$E = \frac{E_T}{D} = \frac{6.85}{914.4} = 0.0075$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v D}{V}$$

Donde;

v = Velocidad

D = Diámetro

V = Viscosidad Cinemática (considerando una T° promedio

del agua de 26° C; $V = 0.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

$$Re = \frac{(1.5228) \frac{m}{s} (0.9144)m}{(0.8 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}} = 1.74 \times 10^6$$

Factor de fricción (Colebrook – White modificada)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.71} + \frac{G}{R_e^T} \right) \right]^2}$$

donde:

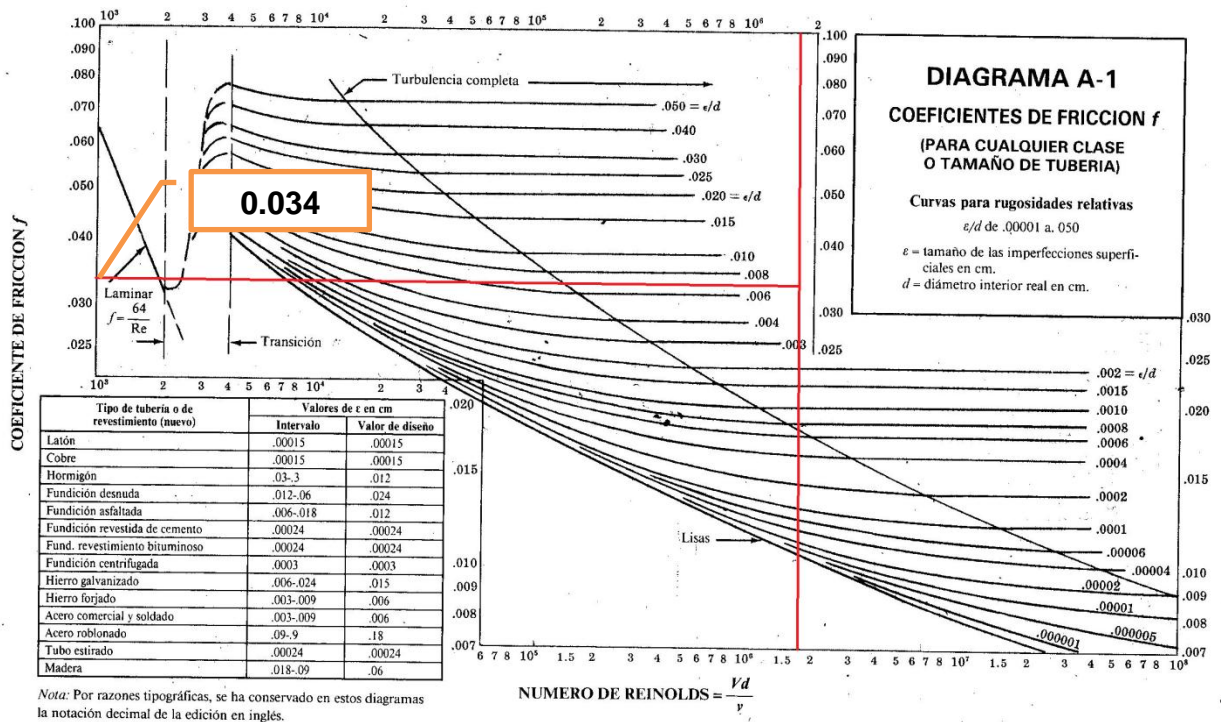
$$G = 4.555 \text{ y } T = 0.8764 \text{ para } 4000 \leq R_e \leq 10^5$$

$$G = 6.732 \text{ y } T = 0.9104 \text{ para } 10^5 \leq R_e \leq 3 \times 10^6$$

$$G = 8.982 \text{ y } T = 0.9300 \text{ para } 3 \times 10^6 \leq R_e \leq 10^8$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{0.0075}{3.71} + \frac{6.732}{(1.74 \times 10^6)^{0.9104}} \right) \right)^2} = 0.0345$$

Comparando con el diagrama de Moody ($\frac{\epsilon}{D} = 0.0075$; $Re = 1.74 \times 10^6$)



Perdidas por Fricción en la tubería (Ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

f = factor de fricción, sin dimensiones

g = aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$

hf = Pérdida por fricción (m)

D = diámetro (m)

L = longitud del tubo (m)

V = velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

Sustituyendo valores en la ecuación de Darcy-W

$$hf = (0.0345) \left(\frac{5055 \text{ m}}{0.9144 \text{ m}} \right) \left(\frac{(1.5228 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 22.54 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h = Pérdida de Energía

k = Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE CONDUCCION | | | | |
|--|----|------|------|-----|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| Codo 90 | 4 | 0,75 | 3 | 7,3 |
| codo 45 | 3 | 0,45 | 1,35 | |
| Valvula Check | 1 | 2,7 | 2,7 | |
| Valvula Compuerta | 1 | 0,25 | 0,25 | |

Sustituyendo en la fórmula de Pérdidas Locales

$$h = (7.3 \text{ m}) \left(\frac{(1.5228 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 0.8628 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES

$$Q_{por\ Equipo} = \frac{1000}{6} LPS = .16667 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.3048)^2}{4} = 0.073$$

$$v = \frac{0.16667}{0.073} = 2.2842 \frac{m}{s}$$

Perdidas por descarga de 304.8 mm (12") Ø

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE DESCARGA | | | | |
|--|----|------|------|------|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| codo 45 | 1 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |

Sustituyendo en la fórmula de Pérdidas Locales

$$h_{Descarga} = (0.45 m) \left(\frac{(2.397 m/s)^2}{2 * 9.81 m/s^2} \right) = 0.1722 m$$

Perdidas por fricción en el múltiple de acero de L= 19.58 m y 914.4 mm (36”) Ø

$$Q_T = 1000 \text{ LPS} = 1 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}; \quad \gg A = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(0.9144)^2}{4} = 0.6567 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{1}{0.6567} = 1.5228 \frac{m}{s}$$

Edad del Múltiple (Criterio de Genijew)

$$E_{Multiple} = E_0 + at$$

Donde;

E_0 = Rugosidad del tubo (mm)

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua

t = Núm. De años de servicio de la tubería

E_T = Rugosidad del conducto (mm)

| TABLA 8.1 RUGOSIDAD ADSOLUTA EN TUBOS | |
|---------------------------------------|-------|
| MATERIAL | E_0 |
| Acero | 1 mm |

| TABLA 8.2 COEFICIENTE “a” DE LA FORMULA DE GENIJEW | |
|--|--|
| Grupo 3 | Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfato (menos de 100 a 150 mg/lit) |
| “a” varia de 0.18 a 0.40; valor medio = 0.20 | |

Edad del Múltiple (t) para la línea de conducción:

$$t = 2015 - 1982 = 33 \text{ años}$$

Sustituyendo en la fórmula de Genijew

$$E_{Multiple} = E_0 + at$$

$$E_{Multiple} = (1) + (0.20)(33)$$

$$E_{Multiple} = 7.6 \text{ mm}$$

Rugosidad Relativa

$$E = \frac{E_T}{D} = \frac{7.6}{914.4} = 0.0083$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v D}{V}$$

Donde;

v = Velocidad

D = Diámetro

V = Viscosidad Cinemática (considerando una T° promedio del agua de 26° C; V= 0.8X10⁻⁶ $\frac{m^2}{s}$)

$$Re = \frac{(1.5227) \frac{m}{s} (0.9144)m}{(0.8 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}} = 1.74 \times 10^6$$

Factor de fricción (Colebrook – White modificada)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)}{3.71} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2}$$

donde:

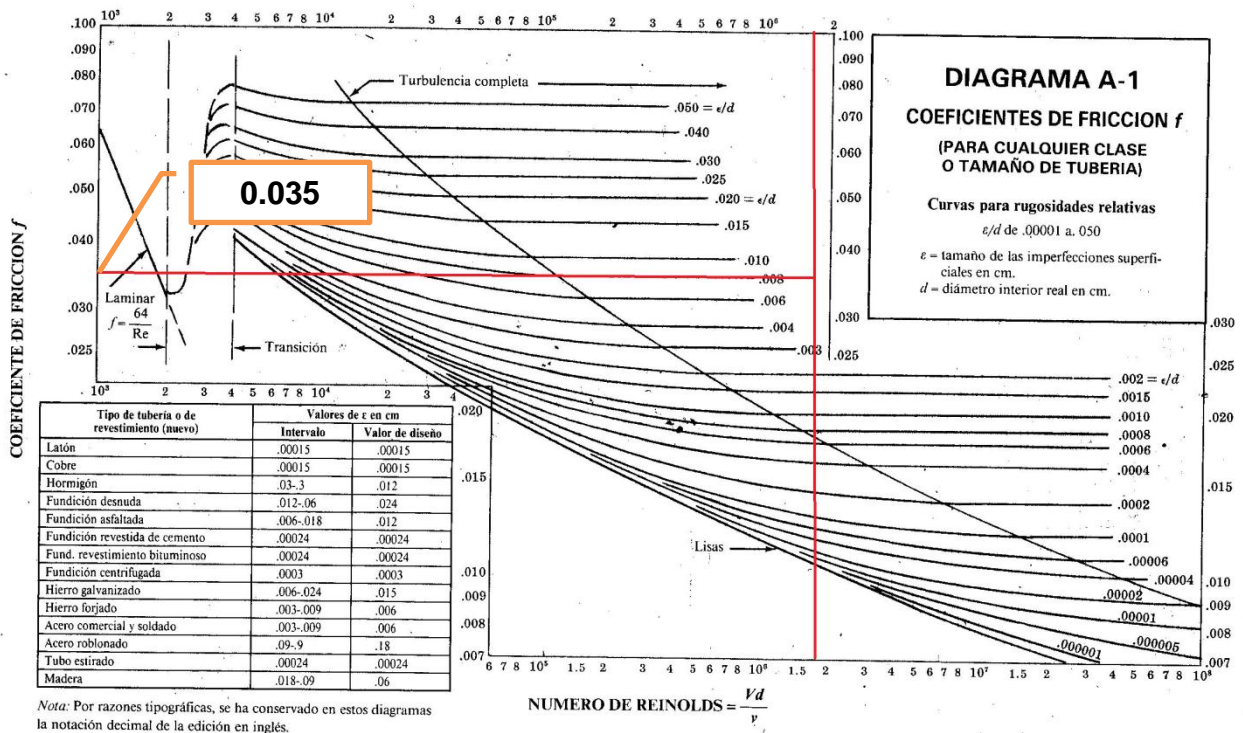
G = 4.555 y T = 0.8764 para $4000 \leq Re \leq 10^5$

G = 6.732 y T = 0.9104 para $10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$

G = 8.982 y T = 0.9300 para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.0083}{3.71} + \frac{6.732}{(1.30 \times 10^6)^{0.9104}}\right)\right)^2} = 0.0356$$

Comparando con el Diagrama de Moody $\frac{E}{D} = 0.0083$; $Re = 1.74 \times 10^6$



Perdidas por Fricción en el Múltiple (Ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_{f \text{ multiple}} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

f = factor de fricción, sin dimensiones

g = aceleración de la gravedad, $\frac{m}{s^2}$

h_f = Pérdida por fricción (m)

D = diámetro (m)

L = longitud del tubo (m)

V = velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

Sustituyendo valores en la ecuación de Darcy-W

$$h_f = (0.0356) \left(\frac{19.58 \text{ m}}{0.9144 \text{ m}} \right) \left(\frac{(1.5227 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 0.090 \text{ m}$$

PERDIDAS LOCALES EN EL MULTIPLE

$$h_{Multiple} = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h= Pérdida de Energía

k= Coeficiente de pérdidas por Accesorio

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

| PERDIDAS POR ACCESORIO EN LA LINEA DE DESCARGA | | | | |
|--|----|------|------|-----|
| Accesorio | Nº | K | K0 | KT |
| Codo 90 | 1 | 0,75 | 0,75 | 1,2 |
| codo 45 | 1 | 0,45 | 0,45 | |

Sustituyendo en la fórmula de Pérdidas Locales

$$h_{Descarga} = (1.21 \text{ m}) \left(\frac{(1.5227 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) = 0.1418 \text{ m}$$

Pérdidas en la bomba

❖ Entrada (fabricante "F MOURSE") 1.5 ft = 0.4572 m

❖ Pérdida por fricción en la Columna

| | | | |
|--------|---------------------|-------|------------|
| DONDE: | | | |
| | LONGITUD DE COLUMNA | _____ | 3.05 m |
| | Ø COLUMNA | _____ | 12" |
| | Q POR EQUIPO | _____ | 166.67 LPS |
| | Ø FLECHA | _____ | 1 1/2 " |

Tabla en la pérdida de columna (f por cada 100 ft) indica los siguientes valores

| | | | |
|---------------------|-----------|---------|-----|
| 166,67 | LPS = | 2641,72 | GPM |
| <i>INTERPOLANDO</i> | | | |
| GPM | f | | |
| 2500 | 1.17 ft | | |
| 2641.72 | 1.3032 ft | | |
| 3000 | 1.64 ft | | |

Convirtiendo la longitud de columna de 3.05 m a pies = $3.05 * 3.28 = 10.004$ ft

$$h_{f \text{ columna}} = \left(\frac{10.004 \text{ ft} * 1.3032 \text{ ft}}{100} \right) = 0.133 \text{ ft} = 0.04 \text{ m}$$

Carga total H_T de la Planta 1 Sedimentador a la Planta 2 Nueva para la línea de 36"

| Perdidas por fricción | h_f (m) |
|-------------------------------|-----------------|
| Línea de Conducción | 22.542 |
| Accesorio Línea de Conducción | 0.8628 |
| Accesorio Línea de Descarga | 0.1722 |
| Línea del Múltiple | 0.090 |
| Accesorio Línea del Múltiple | 0.1418 |
| Entrada Bomba | 0.4572 |
| Columna Bomba | 0.04 |
| TOTAL | 24.306 m |

❖ **Altura Dinámica**

$$h_{Dinamica} = N_d + A_t + \text{Cota de terreno}$$

$$h_{Dinamica} = 3.5 \text{ m} + 3 \text{ m} + 46.17 \text{ m} = 52.67 \text{ m}$$

❖ **Carga Total**

$$H_T = h_{Dinamica} + h_{ft}$$

$$H_T = 52.67 + 24.306 \text{ m}$$

$$H_T = 77 \text{ m}$$

❖ Perdidas en HP en la flecha de la Bomba (tabla N° 3)

Donde;

| RPM | Ø FLECHA | HP |
|------|----------|------|
| 1760 | 1 ½ " | 1.18 |

➤ **POTENCIA REQUERIDA EN HP**

$$P_{Requerida} = \frac{Q * \rho * H_T}{n_B * 76} + \text{Perdidas en la Flecha}$$

Donde;

$$Q_{por \text{ Equipo}} = 0.16667 \frac{m^3}{s}$$

$$\rho_{H20} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$n_B = 80 \%$$

$$h_{flecha} = 1.18 \text{ HP}$$

$$P_{Requerida} = \frac{(0.16667 \text{ LPS}) * \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * (77 \text{ m})}{0.80 * 76} + 1.18 \text{ HP}$$

$$P_{Requerida} = 212 \text{ HP}$$

POTENCIA NOMINAL RECOMENDADA (TABLA N° 5)

$$P_N = 250 \text{ HP} - 4 \text{ POLOS} - 460 \text{ VOLTS}$$

Datos y Especificaciones para Cotizar los Equipos de Bombeo para la línea de 914.4 mm (36") Ø

- (6 + 1) bombas tipo turbina vertical para instalarse en la planta 1 Sedimentador para operar conectadas en paralelo.
- Los datos de operación por equipos son:

| | | |
|-----------------------------|-------|------------|
| Gastos | _____ | 166.67 LPS |
| Carga total | _____ | 77 m |
| Velocidad | _____ | 1760 RPM |
| Eficiencia mínima | _____ | 80% |
| Longitud de columna (brida) | _____ | 3.05 m |
| Lubricación de columna | _____ | Agua |
| Profundidad del cárcamo | _____ | 5 m |
| Nivel de operación | _____ | 3.5 m |

- Considerar colador tipo: cebolla de 12" Ø
- El cabezal de descarga será de hierro colado tipo "C", tendrá su descarga sobre la superficie y conectara con piezas especiales de 12" Ø bridadas.
- Agua para Bombear: Turbia con arena fina disuelta
- Considerar: (6 + 1) Motores Eléctricos Verticales flecha hueca tropicalizados de **250 HP, 60 Hz, 4 Polos, 3 Fases, 460 Voltios**, con aparatos de control adecuados para estos motores.

CURVAS DE RENDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN

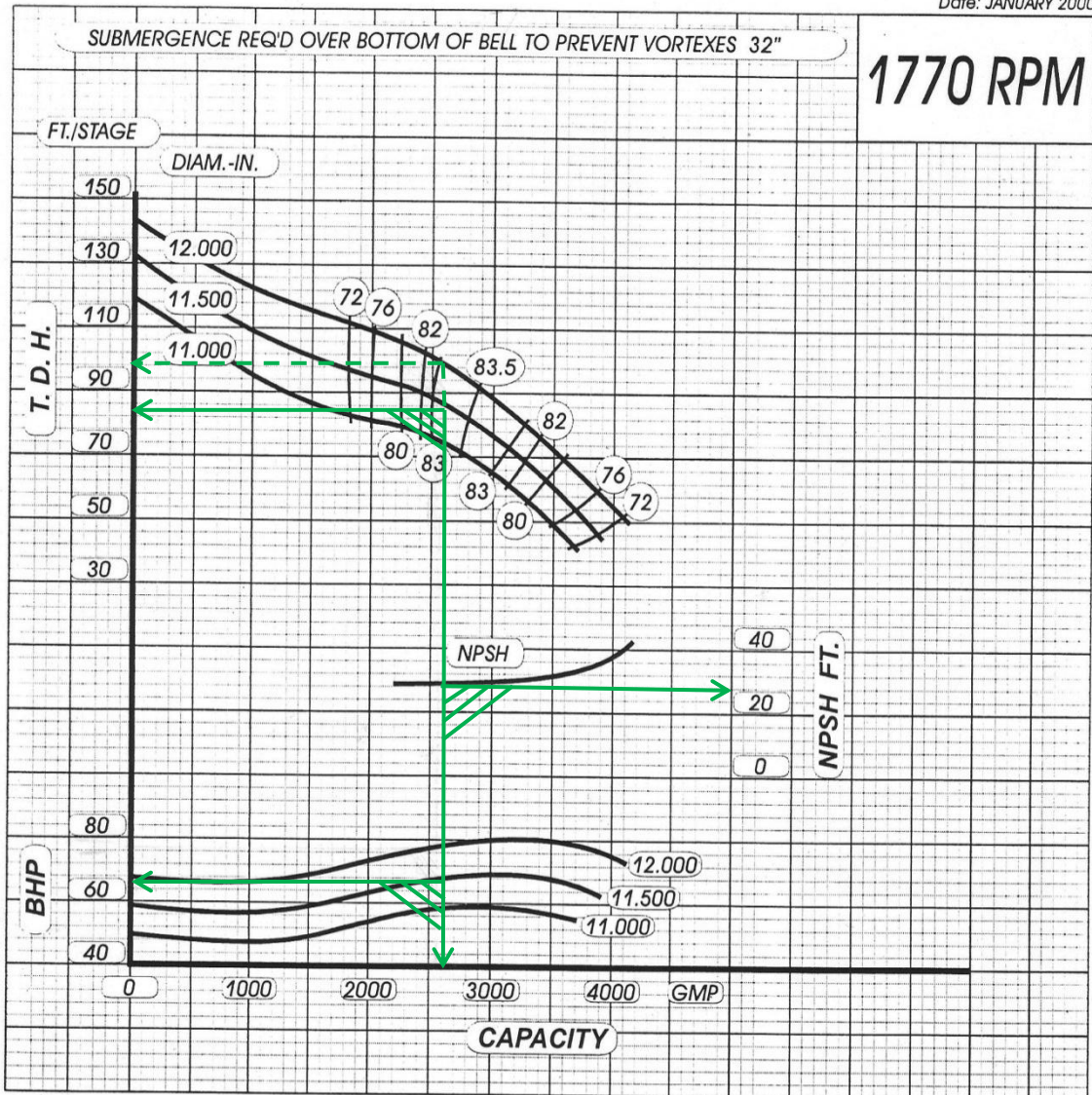


VERTICAL TURBINE PUMP MODEL: 16D-280

60 HERTZ

Curve No.: VTP298

Date: JANUARY 2000



Performance based on multistage tests pumping clear cold water sp. gr. 1.0

| No. of stages. | Mult HD & eff. By | No. of stages. | Mult HD & eff. By |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1 | 0.97 | ---- | ---- |
| 2 | 0.99 | ---- | ---- |
| ---- | ---- | ---- | ---- |

| TECHNICAL DATA | | KG. | LBS. |
|---------------------------------|--|------|------|
| Bowl wt. add stage (lbs.) | | 104 | 230 |
| Rotor wt. per stage (lbs.) | | 26.3 | 58 |
| Bowl wt. first stage (lbs.) | | 272 | 600 |
| Thrust factor | | | 22 |
| Max bowl horsepower | | | 570 |
| Impeller eye area (sq. inch.) | | | 42 |

DATOS DE LA CURVA DE SELECCION

Línea de 36" RPM = 1770

$$Q_{Por\ Equipo} = 166.67\ LPS$$

Convirtiendo a GPM y pies

$$Q_{Por\ Equipo} = 166.67\ LPS \times 15.85 = 2641.72\ GPM$$

$$ft\ por\ tazon = 98\ ft$$

$$Carga\ Total = 77\ m \times 3.28 = 252.56\ ft$$

Numero de Tazones

$$\frac{Carga\ total}{ft\ por\ tazon} = \frac{253\ ft}{98\ ft} = 2.5816 \approx 3\ tazon\ (impulsor)$$

Punto de Selección

$$\frac{Carga\ total}{Num\ de\ Tazones} = \frac{253\ ft}{3} = 84.33\ ft$$

N P S H - R

$$\frac{28\ ft}{3.28} = 8.5365\ m$$

B H P

*Punto de Selección * Num de Tazones*

$$BHP = 68 \times 3 = 204\ HP$$

Eficiencia

$$n_B = 83.2\ \%$$

Cotización de los equipos de bombeo, subestaciones eléctricas, CCM y conductos electricos.
(Manual de presupuestos del SMAPA)

| CONCEPTOS | CANTIDAD | UNIDAD | P. U. | TOTAL |
|---|----------|--------|----------------|--------------|
| CAPTACIÓN RÍO SANTO DOMINGO - LÍNEA DE 36"Ø | | | | |
| Cuerpo de tazones de 12"Ø, bridados con impulsores semi-abiertos tipo flujo mixto, modelo 10 KMP, marca RUHRPUMPEN, de dos pasos, para un gasto de 200 lps., y una carga dinámica total de 22 mca., con un colador tipo cebolla, para operar con flecha de línea de 1 1/2"diámetro a 1760 rpm., lubricación por agua. | 3 | Piezas | 75.250,00 | 225.750,00 |
| CAPTACIÓN RÍO SANTO DOMINGO - LÍNEA DE 20" Y 24" Ø | | | | |
| Suministro e instalación de equipo de bombeo completo, consistente en: bomba vertical de 12" bridado con impulsor semi-abierto en acero inoxidable tipo flujo mixto, a 1760 rpm., con un gasto de 200 lps. Y una carga dinámica total de 23 m. Con una eficiencia de 81.5%. Para instalarse en carcamo de bombeo de 14.00 m. de profundidad, acoplado a tubo de columna de 12.90 m. x 12"Ø bridado incluye colador tipo cebolla, sobre cabezal en acero estructural tipo"L" de 12" x 12", incluye: motor vertical de 100 hp, trifasico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm, con trinquete de no retroceso, aislamiento clase f, servicio continuo, eficiencia premium. Incluye: desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación, plomeado, pruebas atestiguadas de operación en campo y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante debera realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 7 | Piezas | 459.305,00 | 3.215.135,00 |
| CCM ´S BAJA TENSIÓN ESTADO SOLIDO, 460 VOLTS | | | | |
| Suministro e instalación de centro de control de motores en gabinete NEMA 12, operación voltaje nominal 460 volts, 3 fases, 60 hzt, compuesto de 17 secciones, con capacidad de aceptar tarjeta de comunicación profibus, el cual consta de lo siguiente: a).- 12 arrancadores softstarter tipo estado sólido para servicio de motor de 100 hp, con soft-PLC integrado, interruptor termomagnético individual, medición en voltaje y corriente individual digital con sus respectivos conmutadores, estación de botón paro y arranque iluminado y lámpara indicadora de falla. b).- 3 interruptores electromagnéticos de 1400 amperes corriente nominal, montaje removible, operación eléctrica con unidad de disparo LSIG. Nota: dos principales para acometida y un tercero para transición de buss, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. c).- dos arrancadores ATP combinado, no reversible para motor trifasico de 5 hp.d).- transformador tipo seco para servicios propios de 45 kVA, Relación 460/230-127 volts, incluye ITM de protección en primario y secundario, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. e).- centro de carga de 20 circuitos, 3 fases, 4 hilos, 230 volts, 60 hzt. f).- 2 medidores de potencia y parámetros generales (amps, volts, fp, kw, kw/h, kvar ´s, kva ´s etc.; uno para acometida. g).- celda futura para albergar un arrancador de 100 hp ´s. Incluye: montaje, nivelación, pruebas de control, pruebas de potencia, programación, puesta en marcha, herramienta menor y todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 1 | EQUIPO | \$3.604.575,60 | 3.604.575,60 |
| Suministro e instalación de conductor de cobre monopolar, clase 600 volts, 90 °, con aislamiento THHW, calibre 2/0 AWG (67.4 mm ²), incluye: desmantelado del conductor actual, herramientas menores, material de fijación en trincheras, todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 1980 | MTRS | \$1.775,44 | 3.515.371,20 |

| CONCEPTOS | CANTIDAD | UNIDAD | P. U. | TOTAL |
|--|----------|--------|------------|--------------|
| PLANTA N° 1 TANQUE SEDIMENTADOR Línea DE 20" Y 24" DE DIAMTRO | | | | |
| Suministro y colocación de equipo completo consistente en: bomba vertical tipo turbina para instalarse en carcamo de concreto, seccion rectangular de 5.00 mts. De profundidad que opere con las siguientes condiciones: 166.67 lps., con CDT. De 69 mts., a 1770 rpm. Con una eficiencia de 84%, columna bridada de 12" X 3.05 (2 X 1.52 mts)., lubricados por agua, de impulsor tipo semi-abierto en bronce., colador tipo canasta., considerar cabezal de descarga tipo "L" de 12"x 12" en acero estructural., motor electrico vertical tipo flecha hueca, tropicalizado, de 200 hp., 60 ciclos,3 fases, 460 volts., 4 polos, con trinquete de no retroceso y aislamiento clase F. eficiencia premium. Incluye: desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación, plomeado, pruebas atestiguadas de operación en campo y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante debere realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 2 | Piezas | 602.833,00 | 1.205.666,00 |

| PLANTA N°1 TANQUE SEDIMENTADOR - LÍNEA DE 36" | | | | |
|---|---|--------|------------|--------------|
| Suministro y colocación de equipo completo consistente en: bomba vertical tipo turbina para instalarse en carcamo de concreto, seccion rectangular de 5.00 mts. De profundidad que opere con las siguientes condiciones: 166.67 lps., con CDT. De 76 mts., a 1770 rpm., Con una eficiencia de 84%, columna bridada de 12" X 3.05 (2 X 1.52 mts)., lubricados por agua, de impulsor tipo semi-abierto en bronce., colador tipo canasta., considerar cabezal de descarga tipo "L" de 12"x 12" en acero estructural., motor electrico vertical tipo flecha hueca, tropicalizado, de 250 hp., 60 ciclos,3 fases, 460 volts., 4 polos, con trinquete de no retroceso y aislamiento clase F. eficiencia premium. Incluye: desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación, plomeado, pruebas atestiguadas de operación en campo y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante debere realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 7 | Piezas | 693.000,00 | 4.851.000,00 |

| CCM´S BAJA TENSIÓN ESTADO SOLIDO, 460 VOLTS | | | | |
|--|------|--------|----------------|--------------|
| Suministro e instalación de centro de control de motores en gabinete NEMA 12, operación voltaje nominal 460 volts, 3 fases, 60 hzt, compuesto de 17 secciones, con capacidad de aceptar tarjeta de comunicación profibus, el cual consta de lo siguiente: a).- 12 arrancadores softstarter tipo estado sólido para servicio de motor de 100 hp, con soft-PLC integrado, interruptor termomagnetico individual, medición en voltaje y corriente individual digital con sus respectivos conmutadores, estación de boton paro y arranque iluminado y lampara indicadora de falla. b).- 3 interruptores electromagneticos de 1400 amperes corriente nominal, montaje removible, operación eléctrica con unidad de disparo LSIG. Nota: dos principales para acometida y un tercero para transición de buss, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. c).- dos arrancadores ATP combinado, no reversible para motor trifasico de 5 hp.d).- transformador tipo seco para servicios propios de 45 kVA, Relación 460/230-127 volts, incluye ITM de protección en primario y secundario, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. e).- centro de carga de 20 circuitos, 3 fases, 4 hilos, 230 volts, 60 hzt. f).- 2 medidores de potencia y parametros generales (amps, volts, fp, kw, kw/h, kvar´s, kva´s etc.; uno para acometida. g).- celda futura para albergar un arrancador de 100 hp´s. Incluye: montaje, nivelación, pruebas de control, pruebas de potencia, programación, puesta en marcha, herramienta menor y todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 1 | EQUIPO | \$3.604.575,60 | 3.604.575,60 |
| Suministro e instalación de conductor de cobre monopolar, clase 600 volts, 90°, con aislamiento THHW, calibre 2/0 AWG (67.4 mm²), incluye: desmantelado del conductor actual, herramientas menores, material de fijación en trincheras, todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 1980 | MTRS | \$1.775,44 | 3.515.371,20 |

| CONCEPTOS | CANTIDAD | UNIDAD | P. U. | TOTAL |
|---|----------|--------|--------------|----------------|
| PLANTA N° 2 NUEVA - LÍNEA DE 36"Ø | | | | |
| Suministro e instalación de equipo completo consistente en: bomba vertical bridado de 12", tipo turbina, impulsor de bronce tipo semiabierto, gasto 166.67 lps, CDT. 92 metros, 1770 RPM. Con una eficiencia de 84%. con tubería de columna bridada de 12" x 2.00 mts. considerar cabezal tipo "T" de 12" x 12" x 12" en acero estructural para columna bridada, e instalarse en bote de acero de 24" x 4.00 mts. para operar con motor vertical de 300 HP. tipo flecha hueca a 1770 RPM. 460 volts. (no incluye motor). Incluye: desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación, plomeado, pruebas atestiguadas de operación en campo y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante debera realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 4 | Piezas | \$207.146,50 | \$828.586,00 |
| Suministro e instalación de motor vertical de 300 hp, trifasico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm, 60 hz, con trinquete de no retroceso, ailamiento clase f, servicio continuo, tropicalizado, eficiencia premium. Incluye desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación y pruebas de funcionamiento, eléctricas y todo lo necesario para su correcta operación. | 4 | Piezas | \$303.993,36 | \$1.215.973,44 |

| CCM ´S BAJA TENSIÓN ESTADO SOLIDO, 460 VOLTS | | | | |
|--|-----|--------|----------------|--------------|
| Suministro e instalación de centro de control de motores en gabinete NEMA 12, operación voltaje nominal 460 volts, 3 fases, 60 htz, compuesto de 12 secciones, con capacidad de aceptar tarjeta de comunicación profibus, el cual consta de lo siguiente: a).- 7 arrancadores softstarter tipo estado sólido para servicio de motor de 300 hp, con soft-PLC integrado, interruptor termomagnetico individual, medición en voltaje y corriente individual digital con sus respectivos conmutadores, estación de boton paro y arranque iluminado y lampara indicadora de falla. b).- 3 interruptores electromagneticos de 2500 amperes corriente nominal, montaje removible, operación eléctrica con unidad de disparo LSIG. Nota: dos principales para acometida y un tercero para transición de buss, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. c).- dos arrancadores ATP combinado, no reversible para motor trifasico de 5 hp.d).- transformador tipo seco para servicios propios de 45 kVA, Relación 460/230-127 volts, incluye ITM de protección en primario y secundario, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. e).- centro de carga de 20 circuitos, 3 fases, 4 hilos, 230 volts, 60 htz. f).- 2 medidores de potencia y parametros generales (amps, volts, fp, kw, kw/h, kvar´s, kva´s etc.; uno para acometida. g).- celda futura para albergar un arrancador de 300 hp´s. Incluye: montaje, nivelación, pruebas de control, pruebas de potencia, programación, puesta en marcha, herramienta menor y todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 1 | EQUIPO | \$3.604.575,60 | 3.604.575,60 |
| Suministro e instalación de conductor de cobre monopolar, clase 600 volts, 90°, con aislamiento THHW, calibre 500 MCM (253 mm ²), incluye: desmantelado del conductor actual, herramientas menores, material de fijación en trincheras, todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 672 | MTRS | \$1.775,44 | 1.193.095,68 |

| CONCEPTOS | CANTIDAD | UNIDAD | P. U. | TOTAL |
|--|----------|--------|--------------|----------------|
| PLANTA N° 3 NUEVA - LÍNEA DE 36"Ø | | | | |
| Suministro e instalación de equipo completo consistente en: bomba vertical bridada de 12", tipo turbina, impulsor de bronce tipo semiabierto, mod. H-16, gasto 166.67 lps, CDT. 102 metros, 1770 RPM. Con una eficiencia de 84%. con tubería de columna bridada de 12" x 2.00 mts. considerar cabezal tipo "t" de 12" x 12" x 12" en acero estructural para columna bridada, e instalarse en bote de acero de 24" x 4.00 mts. para operarse con motor eléctrico vertical de 300 HP. 1770 RPM. (no incluir motor). Incluye: desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación, plomeado, pruebas atestiguadas de operación en campo y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante deberá realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 7 | Piezas | \$207.146,50 | \$1.450.025,50 |
| Suministro e instalación de motor vertical de 300 hp, trifásico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm, 60 hz, con trinquete de no retroceso, aislamiento clase f, servicio continuo, tropicalizado, eficiencia premium. Incluye desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación y pruebas de funcionamiento, eléctricas y todo lo necesario para su correcta operación. | 7 | Piezas | \$303.993,36 | \$2.127.953,52 |

| CCM ´S BAJA TENSIÓN ESTADO SÓLIDO, 460 VOLTS | | | | |
|---|-----|--------|----------------|--------------|
| Suministro e instalación de centro de control de motores en gabinete NEMA 12, operación voltaje nominal 460 volts, 3 fases, 60 hz, compuesto de 12 secciones, con capacidad de aceptar tarjeta de comunicación profibus, el cual consta de lo siguiente: a).- 7 arrancadores softstarter tipo estado sólido para servicio de motor de 300 hp, con soft-PLC integrado, interruptor termomagnético individual, medición en voltaje y corriente individual digital con sus respectivos conmutadores, estación de botón paro y arranque iluminado y lámpara indicadora de falla. b).- 3 interruptores electromagnéticos de 2500 amperes corriente nominal, montaje removible, operación eléctrica con unidad de disparo LSIG. Nota: dos principales para acometida y un tercero para transición de bus, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. c).- dos arrancadores ATP combinado, no reversible para motor trifásico de 5 hp.d).- transformador tipo seco para servicios propios de 45 kVA, Relación 460/230-127 volts, incluye ITM de protección en primario y secundario, de acuerdo a diagrama unifilar adjunto. e).- centro de carga de 20 circuitos, 3 fases, 4 hilos, 230 volts, 60 hz. f).- 2 medidores de potencia y parámetros generales (amps, volts, fp, kw, kw/h, kvar´s, kva´s etc.; uno para acometida. g).- celda futura para albergar un arrancador de 300 hp´s. Incluye: montaje, nivelación, pruebas de control, pruebas de potencia, programación, puesta en marcha, herramienta menor y todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 1 | EQUIPO | \$3.604.575,60 | 3.604.575,60 |
| Suministro e instalación de conductor de cobre monopolar, clase 600 volts, 90°, con aislamiento THHW, calibre 500 MCM (253 mm²), incluye: desmantelamiento del conductor actual, herramientas menores, material de fijación en trincheras, todo lo necesario para su correcta instalación y puesta en marcha. | 693 | MTRS | \$1.775,44 | 1.230.379,92 |

| CONCEPTOS | CANTIDAD | UNIDAD | P. U. | TOTAL |
|---|----------|--------|--------------|----------------|
| PLANTA N° 2 ANTIGUA - LÍNEA DE 20" Y 24" Ø | | | | |
| Suministro e instalación de equipo completo consistente en: bomba vertical tipo turbina bridada de 12", impulsor de bronce tipo semiabierto, gasto 101 lps, CDT. 90 metros, eficiencia de 82.5%, 1770 RPM. Con tubo de acero de columna bridada de 10" x 2.00 mts. para instalarse en bote de acero de 20" x 4.00 mts. Considerar cabezal tipo"T" de 10" x 10" en acero estructural, incluye motor vertical de 200 hp, trifasico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm, 60 hz, con trinquete de no retroceso, aislamiento clase f, servicio continuo, tropicalizado, eficiencia premium. Incluye: desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación, plomeado, pruebas atestiguadas de operación en campo y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante debera realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 1 | Piezas | \$609.950,88 | \$609.950,88 |
| Suministro e instalación de equipo completo consistente en: bomba vertical tipo turbina bridado de 12" , impulsor de bronce tipo semiabierto, gasto 164 lps, CDT. 86 metros, eficiencia de 83%, 1770 RPM. Con tubo de acero de columna bridada de 12" x 2.00 mts. para instalarse en bote de acero de 24" x 4.00 mts. Considerar cabezal tipo"T" de 12" x 12" en acero estructural, incluir motor eléctrico vertical de 250 HP. 1770 RPM; trifasico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm, 60 hz, con trinquete de no retroceso, aislamiento clase f, servicio continuo, tropicalizado, eficiencia premium. Incluye: desmontaje de equipo existente, montaje, nivelación, plomeado, pruebas atestiguadas de operación en campo y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante debera realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 2 | Piezas | \$655.485,60 | \$1.310.971,20 |

| CONCEPTOS | CANTIDAD | UNIDAD | P. U. | TOTAL |
|--|----------|--------|--------------|--------------|
| PLANTA N° 3 ANTIGUA - LÍNEA DE 20" Y 24" Ø | | | | |
| Suministro e instalación de equipo completo consistente en: bomba vertical tipo turbina bridada de 12", impulsor de bronce tipo semiabierto, gasto 101 lps, CDT. 96 metros, eficiencia de 82%, 1770 RPM. Con tubo de columna bridada en acero de 10" x 2.00 mts. para instalarse en bote de acero de 20" x 4.00 mts. Considerar cabezal tipo"T" de 10" x 10" en acero estructural, para operar con motor vertical de 200 hp, trifasico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm; incluye motor vertical de 200 hp, trifasico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm, 60 hz, con trinquete de no retroceso, aislamiento clase f, servicio continuo, tropicalizado, eficiencia premium. | 1 | Piezas | \$534.592,30 | \$534.592,30 |
| Suministro e instalación de equipo completo consistente en: bomba vertical tipo turbina bridada de 12", impulsor de bronce tipo semiabierto, gasto 164 lps, CDT. 94 metros, eficiencia de 83%, 1770 RPM. Con tubo de columna bridada en acero de 12" x 2.00 mts. para instalarse en bote de acero de 24" x 4.00 mts. Considerar cabezal tipo"T" de 12" x 12" en acero estructural, para operar con motor vertical de 250 hp, trifasico, 460 volts, 4 polos 1770 rpm (no incluir motor). Incluye: retiro de material existente, instalación del mismo debidamente acomodado e identificado, colocación de conectores ponchables tipo ojillo en ambas puntas (3Φ), pruebas de funcionamiento y todo lo necesario para su correcta operación. Nota: el ofertante debera realizar visita previa para analizar las adaptaciones necesarias según sea el caso. | 2 | Piezas | \$239.292,24 | \$478.584,48 |

| | |
|----------------------|-------------------------|
| TOTAL DE OBRA | \$ 41,926,708.52 |
|----------------------|-------------------------|

- ***CAPÍTULO V***
RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación de presentan los resultados finales obtenidos de todo el análisis

| Captación Santo Domingo | Nº EQUIPOS | PORTENCIA NOMINAL RECOMENDADA | EFICIENCIA |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Línea de 20" Ø | 2 + 1 | 75 HP | 80 % |
| Línea de 24" Ø | 3 + 1 | 75 HP | 80 % |
| Línea de 36" Ø | 5 + 1 | 100 HP | 81 % |

| Planta Nº 1 Tanque Sedimentador | Nº EQUIPOS | PORTENCIA NOMINAL RECOMENDADA | EFICIENCIA |
|--|-------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Línea de 20" Ø | 3 + 1 | 200 HP | 84 % |
| Línea de 24" Ø | 3 + 1 | 200 HP | 84 % |
| Línea de 36" Ø | 6 + 1 | 250 HP | 80 % |

| Planta Nº 2 Antigua | Nº EQUIPOS | PORTENCIA NOMINAL RECOMENDADA | EFICIENCIA |
|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Línea de 20" Ø | 2 + 1 | 200 HP | 82 % |
| Línea de 24" Ø | 2 + 2 | 250 HP | 83% |

| Planta Nº 2 Nueva | Nº EQUIPOS | PORTENCIA NOMINAL RECOMENDADA | EFICIENCIA |
|--------------------------|-------------------|--|-------------------|
| Línea de 36'' Ø | 6 + 1 | 300 HP | 83 % |

| Planta Nº 3 Antigua | Nº EQUIPOS | PORTENCIA NOMINAL RECOMENDADA | EFICIENCIA |
|----------------------------|-------------------|--|-------------------|
| Línea de 20'' Ø | 2 + 1 | 200 HP | 82% |
| Línea de 24'' Ø | 2 + 2 | 250 HP | 82% |

| Planta Nº 3 Nueva | Nº EQUIPOS | PORTENCIA NOMINAL RECOMENDADA | EFICIENCIA |
|--------------------------|-------------------|--|-------------------|
| Línea de 36'' Ø | 6 + 1 | 300 HP | 83% |

- ***CAPÍTULO VI.***
ALCANCES Y LIMITACIONES.

6.1 Alcances.

El beneficio que puede obtener el SMAPA si se lleva a cabo este proyecto, que redundaría en un beneficio para la población de Tuxtla Gutiérrez con el aumento de la cantidad de agua que este sistema por bombeo podría darle.

6.2 Limitaciones.

La falta de recurso económico o de programas a nivel federal que puedan absorber los costos de rehabilitación del Sistema por Bombeo Santo Domingo

- ***CAPÍTULO VII.***
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones.

Se logró el objetivo principal que era de realizar una propuesta de modernización de los equipos de Bombeo del Sistema Santo Domingo Planta Potabilizadora “Los Pájaros”, mediante un estudio y diagnóstico de los equipos existentes de este sistema. Por medio de la selección de los equipos de bombeo que cumplan con el requerimiento principal de los gastos requeridos, con una eficiencia y potencia aceptables, los cuales, no deben exceder los parámetros calculados.

Para la memoria de cálculo se tomaron en cuenta todos los parámetros para que nuestros resultados fueran lo más exactos posibles, comparando los resultados obtenidos de los equipos de bombeo de cada planta con las propuestas técnico económicas que proporciona el fabricante en su hoja de datos y especificaciones (cotizaciones).

Para fines prácticos, las potencias requeridas obtenidas en el cálculo se tomaron en cuenta las potencias nominales existentes en el mercado. Las bombas podrán operar con motores con suficiente capacidad para abastecer de agua a nuestro sistema, ya que los cálculos para diseño de las mismas fueron realizados tomando en cuenta su máxima eficiencia.

Se seleccionó la marca WDM PUMPS hoy RUHRPUMPEM por que en el Sistema por Bombeo Santo Domingo es la que tiene en un 90 % de los equipos existentes, por ser de las mejores que existen en el mercado nacional, aparte que cuenta con una gran gama de productos, dispone de un catálogo extenso de todo tipo de bombas y proporciona las curvas características y de funcionamiento adecuadas a nuestro sistema.

Con este proyecto de residencia profesional se pretende ayudar a resolver las problemáticas existentes en el Sistema por Bombeo Santo Domingo, como el deterioro que sufren las bombas con el tipo de agua que manejan en las temporadas de lluvias y la ubicación que tienen las Plantas Potabilizadoras “Los Pájaros”, lo que hace que todos los equipos de bombeo tengan el mismo grado de destrucción en sus impulsores, flechas y chumaceras. Por lo que se propone principalmente la rehabilitación de dicho sistema para operar en óptimas condiciones y generar el gasto de diseño requerido.

7.2 Recomendaciones.

- **7.2.1 Captación Santo Domingo**

Entre las acciones que se están considerando para la rehabilitación de la captación del río Santo Domingo, se tiene como primer punto la reposición de 3 cuerpos de tazones tipo flujo mixto para la línea de conducción de 36” de diámetro, ya que únicamente se encuentran en operación 3 equipos de los 6 que deben alimentar esta línea (5 + 1).

Como segundo punto, se propone la sustitución de los equipos de bombeo tipo turbina por 7 equipos tipo flujo mixto. A través de los años que se tiene en operación este tipo de bombas, se ha llegado a comprobar que las bombas de tipo flujo mixto, resultan más eficientes, duran el doble de las bombas tipo turbina y son de menor costo que estas últimas.

Además, en la actualidad las bombas que alimentan a las líneas de 20” y 24” de diámetro, son operadas con motores de 75 HP muy viejos de marca descontinuada, fabricación estándar con varias reparaciones, que además trabajan sobrecargados.

Por esta razón se propone que sean sustituidos por motores de alta eficiencia de 100 HP marca U.S, para estandarizarlos con los motores de la línea de 36" de diámetro. Así como el cambio de los 7 cabezales de descarga de fierro colado existentes, por 7 cabezales de acero estructural de 12" x 12" de diámetro.

También, en la parte eléctrica, se propone la sustitución del centro del control de los motores de 75 HP que opera a las bombas que alimentan a las líneas de 20" y 24" de diámetro. Al respecto se puede afirmar que este centro de control tiene una antigüedad de más de 30 años, es el único equipo que queda de las primeras bombas que se instalaron en el cárcamo de Santo Domingo en 1978.

Prácticamente no es posible conseguir refacciones de los elementos que lo constituyen, por lo que se está proponiendo la sustitución del mismo por uno más moderno, que traiga arrancadores de estado sólido o electrónico para operar los 7 motores nuevos de 100 HP. Como resultado de este cambio de potencia de los motores, se tendrá la necesidad de cambiar el calibre del conductor que alimenta a los actuales motores de 75 HP.

En la parte de alta tensión, se consideró la reposición de la subestación eléctrica compacta de 1,000 KVA incluyendo los dos transformadores de 1,000 KVA. En la actualidad, la subestación eléctrica que suministra energía a todos los motores instalados en el cárcamo Santo Domingo, tiene una capacidad de 500 KVA con dos transformadores que apenas cubren la carga instalada, o sea, que no existe transformador de reserva, lo cual, es muy riesgoso porque si falla uno de los transformadores, varios de los equipos de bombeo se quedaría fuera de operación, lo cual reduciría la cantidad de agua que se obtiene de esta captación.

Aprovechando que se tiene el gabinete de una subestación eléctrica compacta de 1000 KVA, la cual se utilizó en el año de 1982, cuando se puso en operación la línea de conducción de 36" de diámetro, que era alimentada con 6 equipos de bombeo con motores de 350 HP y que años después (1995) en que entro en operación la Planta de Rebombeo N° 1 (Tanque Sedimentador), que por su cercanía con el cárcamo de Santo Domingo, se redujo la carga de las bombas y

por ende la capacidad de los motores, que ahora son de 100 HP, por lo que quedo fuera de servicio la antigua subestación de 1,000 KVA.

Viendo la necesidad de contar con 1 transformador de reserva para darles mayor seguridad y protección a los equipos instalados en esta captación, se propone la reposición completa de esta subestación incluyendo sus dos transformadores de 1,000 KVA. Desde luego para poder conectarla con los 2 centros de control de motores, se necesita también considerar la reposición del conductor eléctrico en baja tensión.

También se propone la reposición del malacate eléctrico para el montaje y desmontaje de los equipos de bombeo instalados sobre el cárcamo, el cual tiene mucho tiempo que quedó inservible.

- **7.3.2 Planta N° 1 Tanque Sedimentador**

Considerando la descripción actual que se mencionó en los antecedentes del proyecto de la Planta N° 1, se están proponiendo varios puntos a realizar, siendo el primero la reposición de 2 equipos de bombeo del tipo turbina vertical, para un gasto de 166.67 LPS, contra una carga total de 69 m.c.a. operados con motores eléctricos verticales de alta eficiencia de 200 HP, para que alimenten a las líneas de conducción de 20' y 24" de diámetro que parten de esta planta.

Como segundo punto, se propone el cambio de los 7 equipos de bombeo del tipo turbina vertical con motores de 200 HP por 7 equipos de bombeo del mismo tipo, para un gasto de 166.67 LPS y una carga total de 77 m.c.a por equipo, operados como motores eléctricos de alta eficiencia de 250 HP, que alimentaran a la línea de 36" de diámetro. Este cambio de potencia de estos equipos de bombeo se debe a que con los aproximados 33 años que tiene en operación la línea de concreto preesforzado de 36" de diámetro, sus pérdidas por fricción han aumentado en $1.0 \frac{kg}{cm^2}$ (10 m.c.a) aproximadamente y el gasto de conducción se ha reducido de 1000 LPS a 780 LPS. Con el aumento de carga de las bombas se podrá restituir el gasto original de esta línea.

El cambio de la capacidad de los motores, trae consigo el cambio del centro de control de motores, por eso se propone el cambio del centro de control (existente) con 7 arrancadores a voltaje reducido de 200 HP, 440 voltios, 60 ciclos, por un centro de control con 7 arrancadores a voltaje reducido de 350 HP, 460 voltios, con un interruptor general de capacidad adecuada.

Como complemento a esto, se propone el cambio de todo el conductor eléctrico que alimentara de energía a los 7 motores d 250 HP, 460 Volts; desde la subestación eléctrica al CCM y de este a los motores propuestos.

- **7.3.3 Planta N° 2 Nueva**

Como primer punto, se propone la revisión y reparación del Tanque de transición de concreto armado, con capacidad de 1000 m^3 , que se encuentra fracturado y con importantes fugas de agua. Es de suma importancia se cuantifique y se repare lo antes posible estas fracturas para evitar un daño mayor a futuro.

También se propone la reposición de 4 de 7 equipos de bombeo existentes. Este cambio se debe al aumento de las pérdidas por fricción en la línea de conducción, pues la presión manométrica indica menos de 94 m.c.a y la carga dinámica actual de los equipos de bombeo instalados es de 89.4 m.c.a. También se está proponiendo el cambio de 4 de 7 motores existentes, porque estos tienen casi 30 años de operar en forma continua, la mayoría se han embobinado hasta tres ocasiones y además son de fabricación estándar, por lo que su eficiencia ha de ser muy baja y por lo mismo tiene un alto consumo de energía, la capacidad de estos nuevos motores será igual a la de los existentes, o sea 300 HP.

Como siguiente punto. Se propone el cambio total del centro de control de motores (CCM) por otro nuevo y más actualizados, con 7 arrancadores a tensión reducida con capacidad de 300 HP, 460 voltios por equipo, incluyendo interruptor general de capacidad adecuada.

El problema principal que se tiene con el centro de control existente es su antigüedad (33 años), lo que hace que muchas de sus partes integrantes no se pueden conseguir porque ya están descontinuadas o de diferentes medidas, lo que dificulta su adaptación en los gabinetes que se tiene instalados. Además son equipos que por el tiempo que tienen operando ya adolecen de muchas fallas, lo que originan suspensiones frecuentes del servicio de agua potable a la ciudad.

También se propone el cambio total de la subestación eléctrica compacta tipo intemperie con capacidad de 1,000 KVA, que conecta con dos transformadores de 1,000 KVA cada uno, con una relación de transformación de 34000/460 voltios. El problema principal de esta subestación es su antigüedad, por lo que sus partes constitutivas son difíciles de conseguir, sus aisladores presentan arcos considerables, que pueden ocasionar accidentes.

Como último punto, se propone dar mantenimiento general a las cámaras de aire de esta planta incluyendo a sus compresores. Como es sabido las cámaras de aire son elementos indispensables para proteger a las líneas de conducción de un transitorio tan destructivo como es el golpe de ariete, por esta razón, se deben mantener en perfectas condiciones de funcionamiento, dándoles el mantenimiento correctivo que sea necesario, incluyendo el cambio de válvulas y conexiones que se encuentran deterioradas; así como la revisión y cambio del sistema de compresión que es el que provee el aire necesario para el buen funcionamiento de las mismas.

- **7.3.4 Planta N° 3 Nueva**

Como primer punto, se propone la revisión y reparación del Tanque de transición de concreto armado, con capacidad de 1000 m^3 , que se encuentra fracturado y con fugas de agua. Aunque la magnitud de las fracturas de este tanque no son tan graves como las que tiene el tanque de la Planta N° 2 Nueva. También es de suma importancia se cuantifique y se repare lo antes posible estas fracturas para evitar un daño mayor a futuro.

Como siguiente, se propone el cambio de los 7 equipos de bombeo turbina vertical tipo autocontenido, con un gasto de 166.67 LPS y una carga de 104 m.c.a. por equipos, operados con motores de 350 HP del mismo tipo y el mismo gasto de 166.67 LPS y una carga dinámica total de 94 m.c.a (6 en operación y 1 en reserva), con motores de 300 HP, 460 voltios, de alta eficiencia.

Este ajuste en la carga dinámica de las bombas se debe a que por un lado las últimas mediciones manométricas han marcado menos de 94 m.c.a operando menos de 6 equipos, y por otro, para justificar que la potencia nominal de los motores debe ser de 300 HP en lugar de 350 que es la potencia de los motores existentes, con lo que se tendrá un ahorro de 50 HP por equipo y se evitara el bajo factor de potencia que existe en la actualidad.

En el siguiente punto, se está proponiendo el cambio del centro de control de motores (CCM) existente, por otro centro de control con 7 arrancadores a tensión reducida con capacidad de 300 HP, 460 voltios por equipo, incluyendo interruptor general de capacidad adecuada. En este caso la justificación es similar a la que se indicó con el CCM de la Planta de Rebombeo N° 2 Nueva, ya que ambas plantas tienen la misma antigüedad y por lo tanto adolecen de la misma problemática.

En este caso, saldrá más económico un centro de control con arrancadores de 300 HP. También se tendrá la ventaja de poder intercambiar partes con el CCM de la Planta de Rebombeo N° 2 Nueva. Lo mismo pasara en el caso de los motores, que serían de la misma capacidad en ambas plantas.

Como punto siguiente, se propone el cambio de la subestación compacta tipo intemperie, con capacidad de 1,000 KVA, que conectara con dos transformadores de 1,000 KVA, cada uno con relación de transformación de 34,000 / 460 voltios. La justificación para este cambio viene siendo la misma que la que se dio para el caso de la subestación eléctrica de la Planta de Rebombeo N° 2 Nueva.

Como último punto, se propone dar mantenimiento general a las cámaras de aire de esta planta incluyendo a sus compresores. En este punto se presenta el mismo caso que en la Planta de Rebombéo N° 2 Nueva, pues las cámaras de aire son similares en ambas plantas y por lo tanto es necesario que se les dé el mismo mantenimiento que se propuso en la rehabilitación de dicha planta.

- **7.3.5 Planta 2 Antigua**

En la actualidad en esta planta únicamente se tiene un equipo de bombeo operando para la línea de 20" de diámetro, ya que como antes se indicó para esta línea nada más pueden operar dos equipos de bombeo por haberse utilizado una de las salidas del tanque para alimentar el múltiple de succión de la línea de 24" de diámetro por lo que está haciendo falta reponer un equipo.

Con lo que respecta para la línea de 24" de diámetro que según se dijo deben de haber 2 equipos en operación y 2 en reserva, únicamente se tienen en operación dos equipos de bombeo, por lo que está haciendo falta la reposición de dos equipos más para que se pueda restituir el gasto de 300 LPS que debe conducir esta línea.

En lo que respecta a las subestaciones eléctricas instaladas en esta planta, únicamente se tiene en operación un transformador en cada una de ellas por lo que está haciendo falta que se repongan dos transformadores de 300 KVA, con relación de transformación de 13200 / 440 / 254 voltios, 60 ciclos; un transformador para cada subestación.

Como último punto, se propone dar mantenimiento general a las cámaras de aire de esta planta incluyendo a sus compresores. Para proteger a las líneas de conducción de un transitorio tan destructivo como es el golpe de ariete.

- **7.3.6 Planta 3 Antigua**

En esta planta, únicamente se tiene instalados en operación dos equipos de bombeo asiendo falta un equipo que en este caso sería el de reserva para no tener problemas de fallas de los 2 equipos en operación o de algún mantenimiento que se tenga que dar a alguno de estos equipos. Esto sería hablando de la línea de 20” de diámetro que parte de esta planta.

Para la línea de 24” de diámetro, que también parte de esta planta se tienen instalados en operación 2 equipos de bombeo faltando dos equipos de reserva, los cuales se encuentran muy dañados por lo que deben sustituirse para tener la seguridad que se requiere de continuidad del gasto para esta línea de conducción.

Para el caso de las subestaciones eléctricas, que como en el caso de la planta anterior también se tienen dos, una para cada línea, se tiene la falta de un transformador de 300 KVA en cada subestación, por lo que hace falta reponer estos transformadores para que los equipos de bombeo que se deban sustituir puedan contar con la energía eléctrica necesaria para poder operar.

Como último punto, se propone dar mantenimiento general a las cámaras de aire de esta planta incluyendo a sus compresores. Para proteger a las líneas de conducción de un transitorio tan destructivo como es el golpe de ariete.

7.3 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Sotelo Ávila, Gilberto. Hidráulica General: fundamentos. México: Limusa, 1977.

Mataix Claudio; Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas; Ed. Harper, México, 1979.

Gilberto Sotelo; Capitulo VIII Diseño Hidráulico de Obras; México, 1994 [PDF Portable Document Format]. Disponible en:

http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/C8.pdf

Programa para la Selección de Bombas (n.d) Fecha de Consulta: 10 de Mayo del 2015. Disponible en:

<http://www.grundfos.es/>

Selección de Bombas (n.d) Fecha de Consulta: 10 de Mayo del 2015. Disponible en:

<http://www.wilo.es/>

Cotización para equipos de Bombeo (n.d) Fecha de Consulta: 14 de mayo del 2015. Disponible en:

<http://www.ruhrpumpen.com/>

Manuales de diseño hidráulico (n.d) Fecha de Consulta: 20 de Mayo del 2015. Disponible en:

www.conagua.gob.mx

7.4 ANEXOS

ANEXO 1 Curva de Rendimiento para Bomba Tipo Turbina Vertical

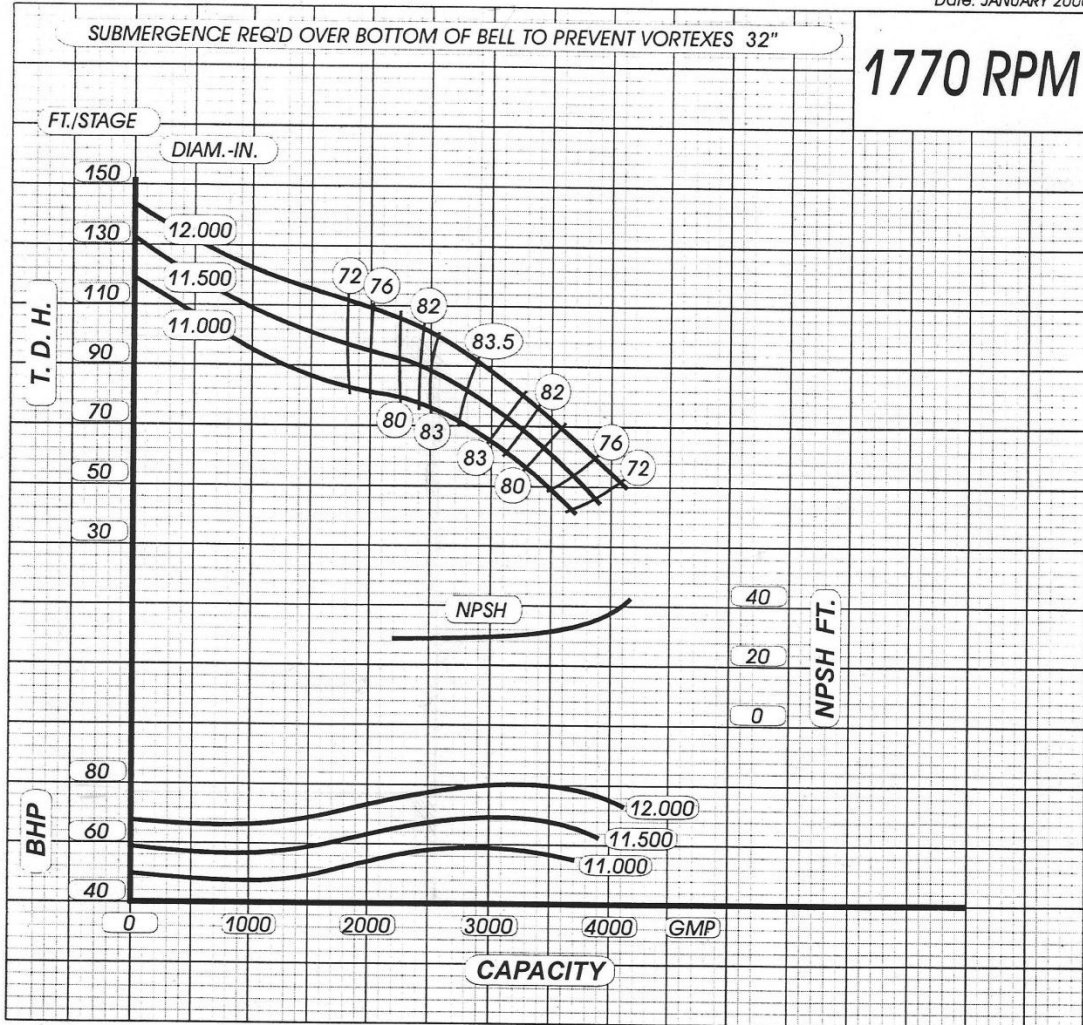


VERTICAL TURBINE PUMP MODEL: 16D-280

60 HERTZ

Curve No.: VTP298

Date: JANUARY 2000



Performance based on multistage tests pumping clear cold water sp. gr. 1.0

| No. of stages. | Mult HD & eff. By | No. of stages. | Mult HD & eff. By |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1 | 0.97 | ---- | ---- |
| 2 | 0.99 | ---- | ---- |
| ---- | ---- | ---- | ---- |

| TECHNICAL DATA | | KG. | LBS. |
|---------------------------------|--|------|------|
| Bowl wt. addl stage (lbs.) | | 104 | 230 |
| Rotor wt. per stage (lbs.) | | 26.3 | 58 |
| Bowl wt. first stage (lbs.) | | 272 | 600 |
| Thrust factor | | | 22 |
| Max bowl horsepower | | | 570 |
| Impeller eye area (sq. inch.) | | | 42 |

This document and all related printed or electronic documents are confidential and proprietary and shall not be used, disclosed to others or reproduced for any purpose without Corporation EG, and/or its subsidiaries written consent. PERFORMANCE AND SPECIFICATIONS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

ANEXO 2.- Curva de Rendimiento para Bomba Tipo Turbina Vertical

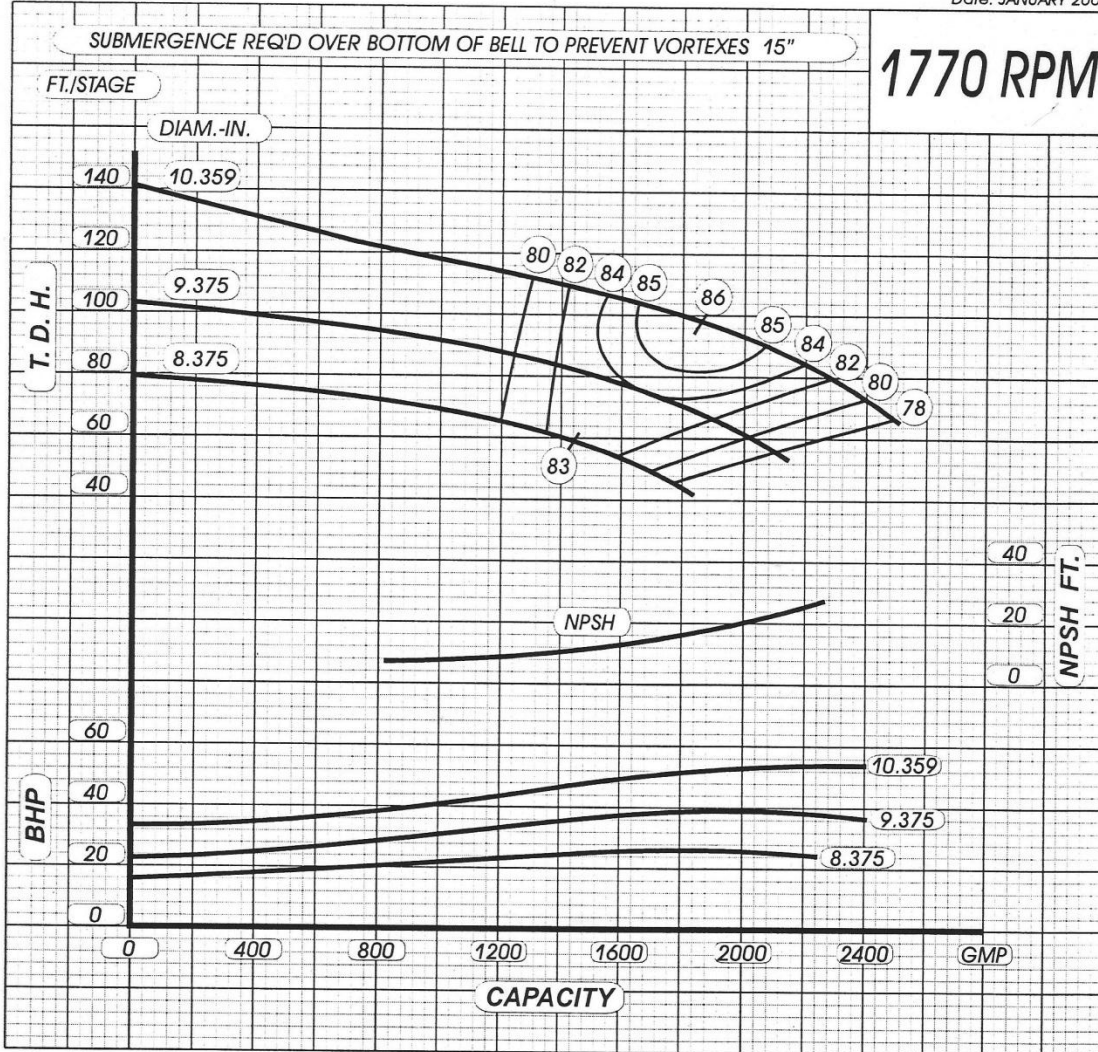


VERTICAL TURBINE PUMP
MODEL: 14B-160

60 HERTZ

Curve No.: VTP265

Date: JANUARY 2000



Efficiency shown is for 4 stages or more, with standard materials. For fewer stages change efficiency as shown.

| No. of stages. | Eff. change | No. of stages. | Eff. change |
|----------------|-------------|----------------|-------------|
| 1 | - 4.0 | 4 | _____ |
| 2 | - 2.0 | 5 | _____ |
| 3 | 0 | 6 | _____ |

| TECHNICAL DATA | | KG. | LBS. |
|---------------------------------|--|-----|------|
| Bowl wt. add'l stage (lbs.) | | 61 | 135 |
| Rotor wt. per stage (lbs.) | | 16 | 37 |
| Bowl wt. first stage (lbs.) | | 165 | 365 |
| Thrust factor | | | 12 |
| Max bowl horsepower | | | 570 |
| Impeller eye area (sq. inch.) | | | 24 |

This document and all related printed or electronic documents are confidential and proprietary and shall not be used, disclosed to others or reproduced for any purpose without Corporación EG, and/or its subsidiaries written consent. PERFORMANCE AND SPECIFICATIONS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

ANEXO 3.- Curva de Rendimiento para Bomba Tipo Flujo Mixto



VERTICAL MIXED FLOW PUMP

TYPE: VMF MODEL: 10 VMP

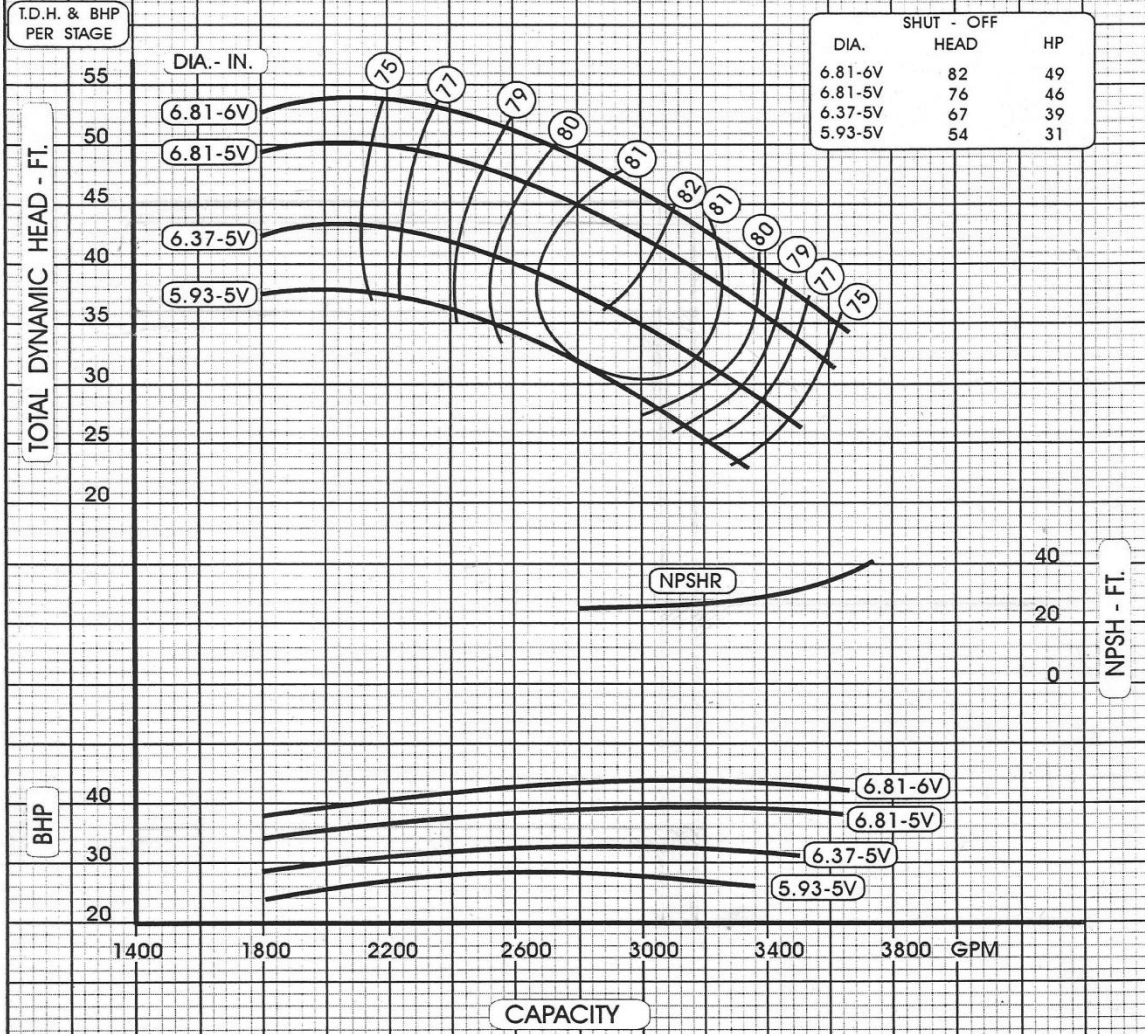
60 HERTZ
LC-24006/4
JANUARY 1998

SUBMERGENCE REQ'D OVER BOTTOM OF BELL TO PREVENT VORTEXES 23 INCHES

1760 RPM

PERFORMANCE BASED ON MULTISTAGE TESTS
PUMPING CLEAR COLD WATER SP. GR. 1.0
FOR 1 STAGE MULTIPLY HEAD & EFF. BY 1.0
FOR 2 STAGES MULTIPLY HEAD & EFF. BY 1.0

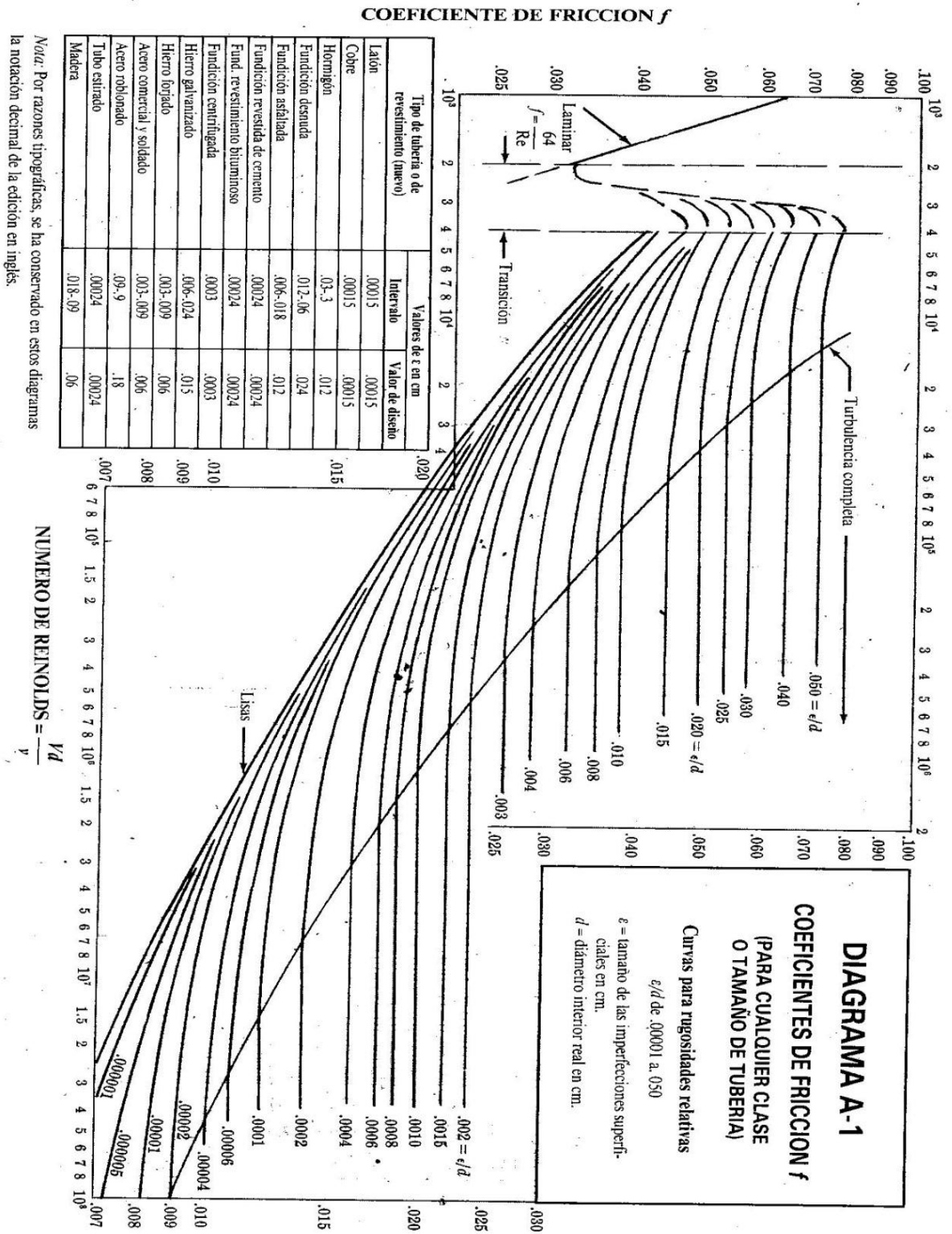
THRUST CONSTANT 21
WR² 0.96 LB. FT²/STAGE
PUMP SHAFT DIA. 1.50"



SUCTION Ø IN. MM. DISCHARGE Ø IN. MM. MAX. DIA. SOLIDS 1.62-5V 1.25-6V IN. 4 -5V 32-6V MM.

SERVICE CONDITIONS

ANEXO 4.- Diagrama de Moody



Nota: Por razones tipográficas, se ha conservado en estos diagramas la notación decimal de la edición en inglés.

ANEXO 5.- Pérdidas de carga Hidráulica

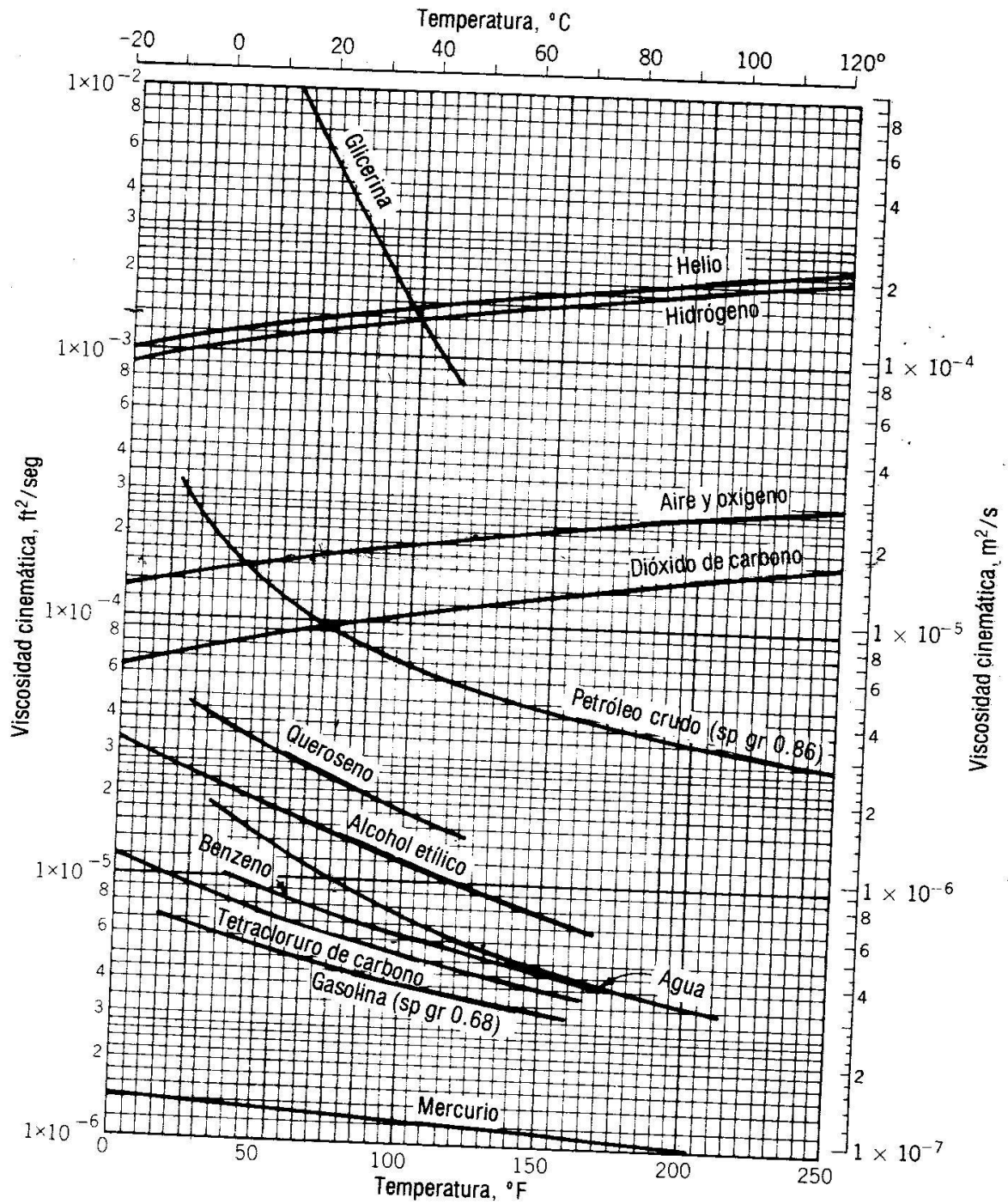
PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS

(Subíndice 1 = aguas arriba y subíndice 2 = aguas abajo)

| Accesorio | Pérdida de carga met |
|---|---|
| 1. De depósito a tubería (pérdida a la entrada) | |
| — conexión a ras de la pared | $0,50 \frac{V_2^2}{2g}$ |
| — tubería entrante | $1,00 \frac{V_2^2}{2g}$ |
| — conexión abocinada | $0,05 \frac{V_2^2}{2g}$ |
| 2. De tubería a depósito (pérdida a la salida) | $1,00 \frac{V_1^2}{2g}$ |
| 3. Ensanchamiento brusco | $\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$ |
| 4. Ensanchamiento gradual (véase Tabla 5) | $K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$ |
| 5. Venturímetros, boquillas y orificios | $\left(\frac{1}{c_v^2} - 1\right) \frac{V_2^2}{2g}$ |
| 6. Contracción brusca (véase Tabla 5) | $K_c \frac{V_2^2}{2g}$ |
| 7. Codos, accesorios, válvulas* | $K \frac{V^2}{2g}$ |
| Algunos valores corrientes de K son: | |
| 45°, codo | 0,35 a 0,45 |
| 90°, codo | 0,50 a 0,75 |
| Tes | 1,50 a 2,00 |
| Válvulas de compuerta (abierta) . . . | aprox. 0,25 |
| Válvulas de control (abierta) | aprox. 3,0 |

* Véanse manuales de hidráulica para más detalles.

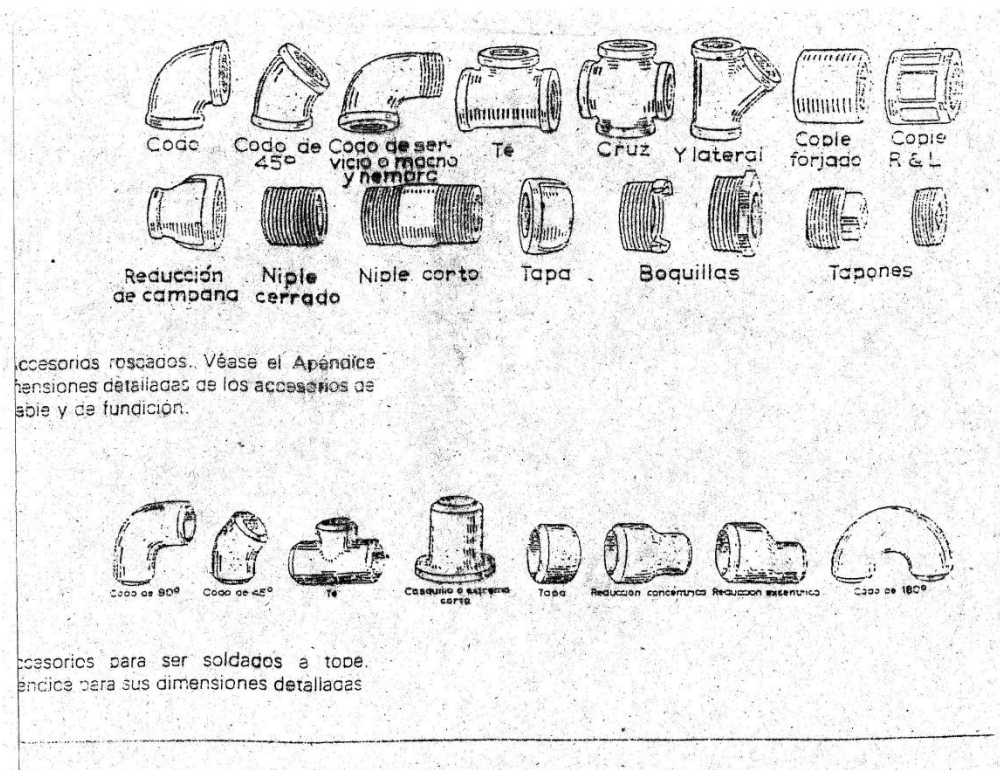
ANEXO 6.- Tabla de Viscosidades de diversos Líquidos según su Temperatura



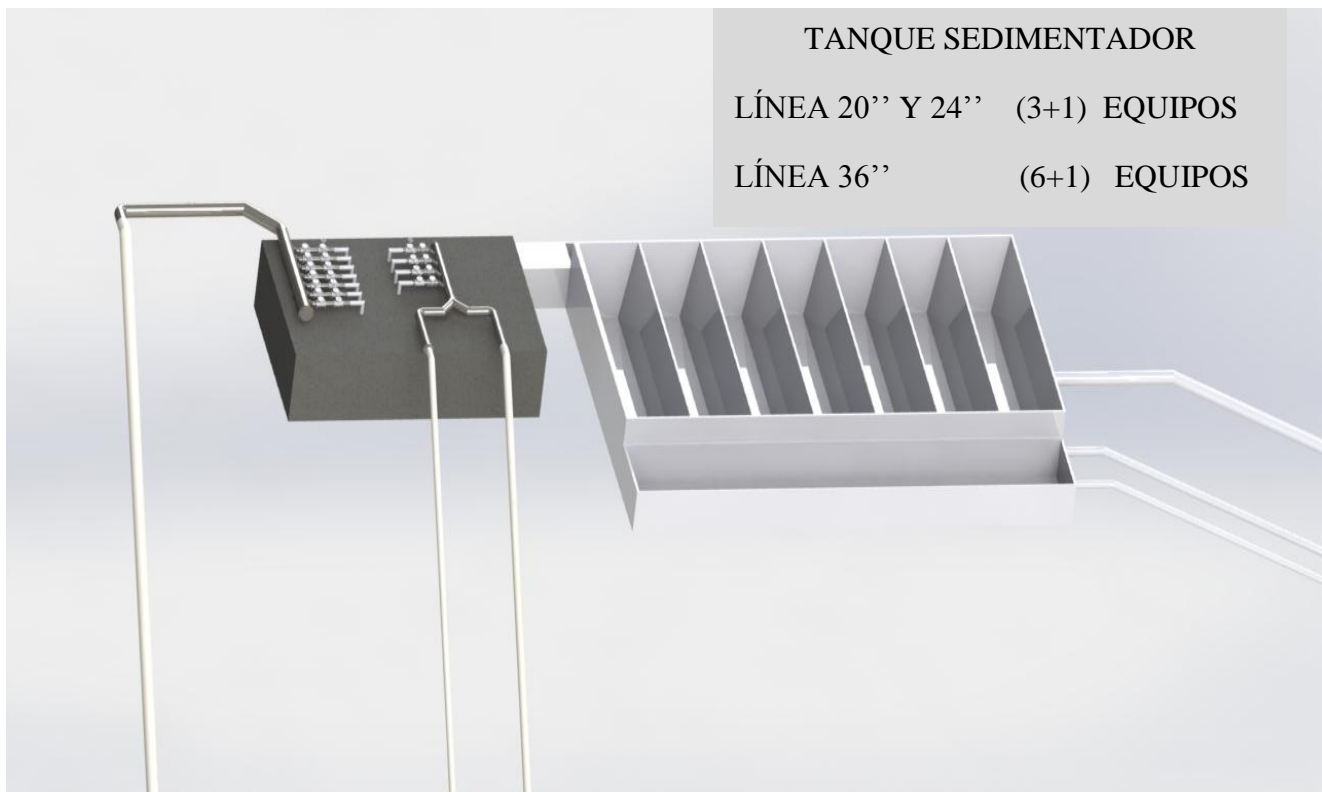
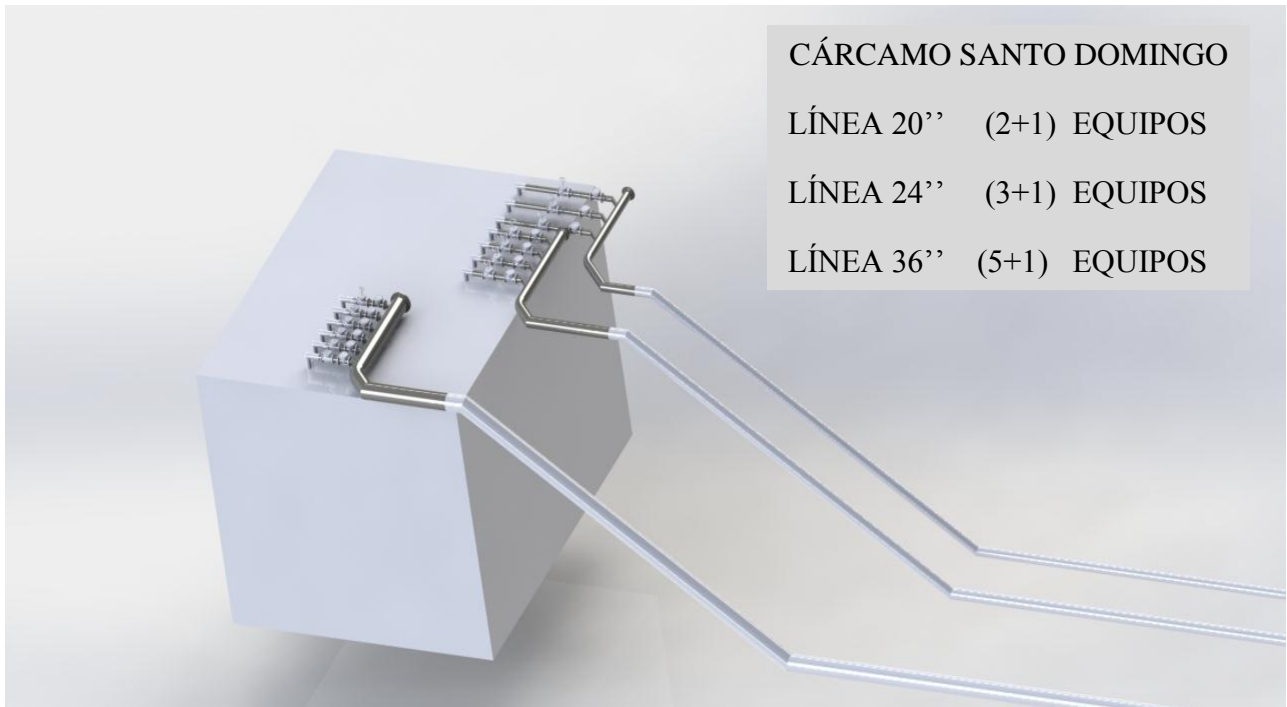
ANEXO 7.- Constantes "K" de Accesorios

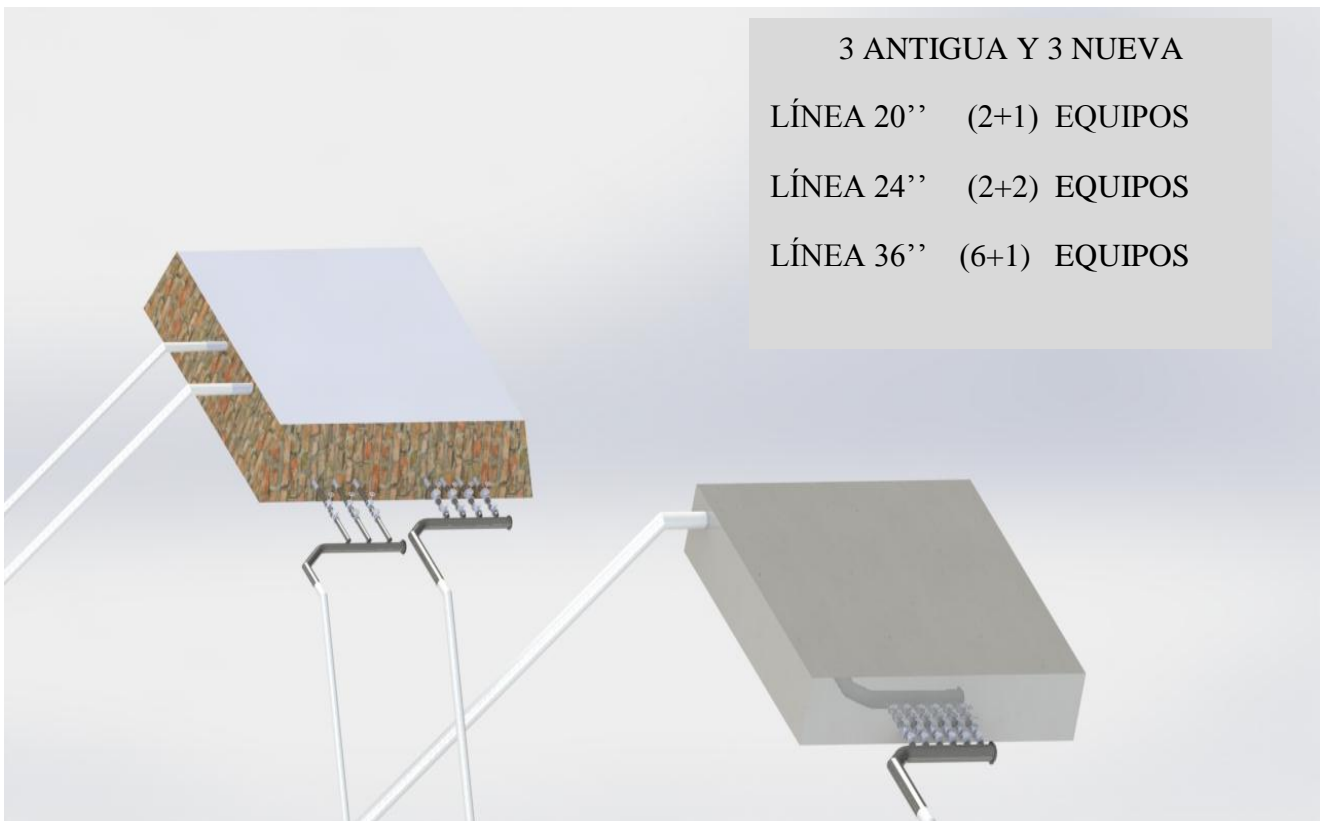
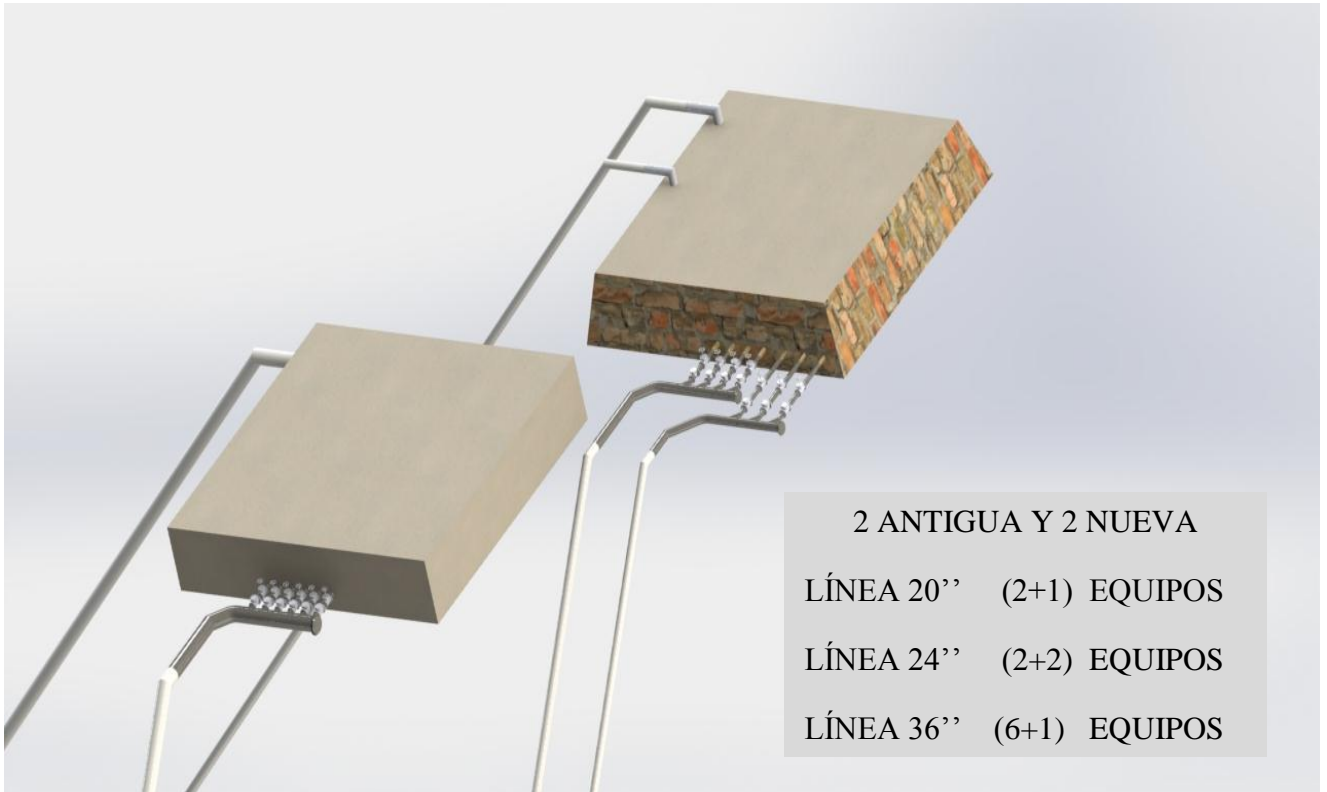
| Accesorios | K |
|---|------|
| Válvula de globo completamente abierta | 10.0 |
| Válvula de ángulo completamente abierta | 5.0 |
| Válvula de retención de columpio abierta | 2.5 |
| Válvula de compuerta abierta | 0.19 |
| Codo en U | 2.2 |
| Conexión en T estándar | 1.8 |
| Codo estándar | 0.9 |
| Codo de radio medio | 0.75 |
| Codo de radio largo | 0.60 |
| Codo de 45 grados | 0.45 |
| Válvula de control abierta | 3.0 |
| De depósito a tubería a ras | 0.50 |
| De tubería a depósito (pérdida a la salida) | 1.00 |

ANEXO 8.- Accesorios Roscados



ANEXO 8 DIBUJO EN SOLID WORKS DEL LAS PLANTAS





ANEXO 9 PLANO EN CONJUNTO SISTEMA SANTO DOMINGO

