

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

## **DEPARTAMENTO DE METAL-MECÁNICA** **INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

### **PROYECTO:**

“CÁLCULO DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS QUE GENERAN CAVITACIÓN EN UNA BOMBA SUMERGIBLE KSB DE 65 HP DE 1750 RPM TIPO KRT 200-330/504, LOCALIZADA EN EL CÁRCAMO DE ELEVACIÓN DE LA EMPRESA AGUAKAN S.A DE C.V.”

### **PRESENTA:**

JOSE LUIS PÉREZ HERNANDEZ

### **CARRERA:**

INGENIERÍA MECÁNICA:

### **ASESOR INTERNO:**

M.C. SAÚL DE JESÚS MOLINA DOMÍNGUEZ

### **ASESOR EXTERNO:**

ING. JUAN CONTRERAS

### **PERIODO:**

AGOSTO-DICIEMBRE 2017

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	4
CAPITULO 1	
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA EMPRESA .....	6
1.2 MISIÓN.....	8
1.3 VISIÓN .....	8
1.4 UBICACIÓN .....	9
1.5 GIRO .....	10
CAPITULO 2	
2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE DESARROLLO DEL PROYECTO. ....	13
2.1.1 PROCESO DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA NORPONIENTE.....	14
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	20
2.3 JUSTIFICACIÓN. ....	21
2.4 OBJETIVOS .....	22
2.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	22
2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
2.5 ALCANCES .....	23
2.6 LIMITACIONES. ....	23
CAPITULO 3	
3.1 DEFINICIÓN DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS.....	25
3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MAQUINAS HIDRÁULICAS .....	26
3.3 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS.....	27
3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS ROTODINÁMICAS.....	28
3.5 BOMBAS SUMERGIBLES .....	28

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

3.6 IMPULSORES.....	30
3.6.1 IMPULSORES PARA BOMBAS DE AGUAS RESIDUALES.....	31
3.7 FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA .....	32
3.7.1 ALTURA DE BOMBA .....	32
3.7.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA .....	34
3.7.3 CURVAS DE RENDIMIENTO .....	35
3.7.4 CURVAS DE POTENCIA.....	37
3.7.5 CURVA NPSH.....	37
3.8 ECUACIÓN DE ALTURA .....	38
3.8.1 CAUDAL CON PÉRDIDAS O AUMENTO DE ENERGÍA.....	39
3.9 ECUACIÓN BÁSICA DE BOMBAS .....	40
3.10 FLUJOS DE FLUIDOS EN TUBERÍA.....	42
3.10.1 FLUJO LAMINAR.....	42
3.10.2 FLUJO TURBULENTO .....	43
3.10.3 LÍMITES DEL NÚMERO DE REYNOLDS PARA TUBERÍAS .....	44
3.10.4 FORMULA DE DARCY-WEISBACH.....	44
3.10.5 COEFICIENTE DE FRICCIÓN.....	44
3.10.6 OTRAS PERDIDAS DE CARGA.....	46
3.11 CAVITACIÓN Y NPSH .....	46
3.11.1 DEFINICIÓN DE NPSH .....	48
3.11.2 NPSH DISPONIBLE.....	49
3.11.3 NPSH NECESARIO .....	49
CAPITULO 4	
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA SUMERGIBLE KSB.....	52
4.2 PARTES INTERNAS DE LAS BOMBAS SUMERGIBLES KSB.....	52
4.3 TIPOS DE RODETE DE LAS BOMBAS KSB.....	54
4.4 DENOMINACIÓN DE LA BOMBA KSB.....	55
4.5 PLACA DE CARACTERÍSTICAS .....	56
4.6 CALCULO DE VOLÚMENES .....	57
4.6.1 CÁRCAMO DE ELEVACIÓN .....	57

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

4.7 CÁLCULO DE PERDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS DE SUCCIÓN.....	58
4.8 CÁLCULO DE LA ALTURA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN DISPONIBLE ( <i>NPSH<sub>d</sub></i> ) .....	59
4.9 CÁLCULO DE LA ALTURA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN REQUERIDO ( <i>NPSH<sub>r</sub></i> ).....	63
4.10 RESULTADOS OBTENIDOS .....	65
CAPITULO 5	
5.1 CONCLUSIÓN .....	68
5.2 RECOMENDACIONES .....	69
5.2.1 FACTORES QUE MODIFICAN EL NPSH DISPONIBLE.....	69
5.2.2 FACTORES QUE MODIFICAN EL NPSH REQUERIDO .....	70
FUENTE DE INFORMACIÓN.....	71
ANEXOS .....	72
ANEXO 1.- PERDIDA DE CARGA EN ACCESORIOS .....	72
ANEXO 2.- VALORES DE K .....	73
ANEXO 3.- COEFICIENTE DE FRICCIÓN <i>f</i> .....	74
ANEXO 4.- COEFICIENTES DE FRICCIÓN <i>f</i> .....	75
ANEXO 5.- CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS KSB TIPO KRT K.....	76
ANEXO 6.- CURVA DE NPSH REQUERIDO DE LA BOMBA KSB TIPO KRT K..	77
ANEXO 7.- CÁRCAMO DE RECIRCULACIÓN .....	78
ANEXO 8.- CÁRCAMO DE RECIRCULACIÓN 2.....	78
ANEXO 9.- CÁRCAMO DE ELEVACIÓN VISTA LATERAL. ....	79
ANEXO 10.- IMPULSOR DE LA BOMBA KSB .....	79
ANEXO 11.- BOMBA SUMERGIBLE KSB TIPO KRT K 200-330 DE 1750 RPM..	80

## INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades de una población es la <sup>distribución</sup> de agua potable, es muy fundamental en nuestra vida cotidiana. Por otro lado, se encuentra las aguas residuales, ya que es uno de problemas que presenta una población, principalmente cuando la población es demasiado grande, por eso se procede a un proceso de tratamiento de aguas residuales.

Aguakan sa de cv, dependencia privada es la responsable de la extracción, potabilización, almacenamiento, distribución y tratamiento de aguas residuales, es una de las pocas empresas que cuenta con todo el proceso del agua.

El presente proyecto está basado en el área de tratamiento de aguas residuales, como es bien sabido que para transportar agua de un lugar a otro se necesita de equipos de bombeo, por eso nos basaremos en un equipo de bombeo en específico, tal es el caso una bomba sumergible KSB tipo KRT K 200-330/504 de 1750 rpm ubicada en la planta norponiente de la empresa Aguakan sa de cv.

Las motobombas centrifugas presentan un problema en común, el cual puede ocasionar problemas en el impulsor provocando la disminución del caudal, el cual es denominado cavitación, por ello hay que conocer a que se debe la cavitación, cuales son los factores que pueden ocasionar, En resumen, la cavitación es una condición anormal que puede producir pérdidas de producción, daños al equipo y lo peor de todo, lesiones al personal. Los operadores de la Planta deben estar capacitados para detectar rápidamente los signos de cavitación, identificar correctamente su tipo y la causa que la produce para así poder eliminarla o atenuarla. Una comprensión correcta de los conceptos envueltos es clave para el diagnóstico y corrección de cualquier problema de bombeo relacionado con cavitación.

Este trabajo presenta los factores en que ocurre la cavitación y sus consecuencias que pueden presentarse en caso que ocurra, de igual manera presentar recomendaciones que se deben considerar para proteger a la bomba.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES DE LA EMPRESA

## 1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA EMPRESA

Cancún nació en los años 1970 como un proyecto federal. Desde 1976, creció a una tasa media anual del 15% hasta llegar a 250,000 habitantes en 1993. En ese entonces, la infraestructura de agua y alcantarillado no alcanzaba a cubrir el crecimiento de la población. A unos kilómetros, el municipio de Isla Mujeres enfrentaba el mismo crecimiento y los mismos retos.

Por ello, en el 1993, el Gobierno del Estado de Quintana Roo junto con los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres instrumentó un esquema de participación empresarial para impulsar el desarrollo de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento y otorgó a Desarrollos Hidráulicos de Cancún la concesión integral; usando como marca operadora AGUAKAN.

### 1990

Grupo Mexicano de Desarrollo (GMD) y el Gobierno del Estado de Quintana Roo celebran un contrato de Asociación en Participación. Nace Desarrollos Hidráulicos de Cancún (DHC).

### 1992

Bajo contrato de obra, se construye un acueducto para llevar agua en bloque a Cancún e inicia la construcción de la Planta de Aguas Residuales Caribe 2000.

### 1993

El 19 de octubre, el Gobierno del Estado de Quintana Roo y los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres otorgan a DHC, la concesión integral por 30 años para prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento en las ciudades de este municipio.

### 1994

El 1º de enero inicia operaciones DHC. Se nombra a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) como autoridad normativa en materia de agua potable y

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

alcantarillado en el Estado y como representante técnico de los concedentes para todo lo relacionado con las responsabilidades de la concesionaria.

**2005**

En el mes de mayo, inicia operaciones la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Norponiente.

**2006**

DHC-AGUAKAN recibe la certificación ISO 9001 para las operaciones del laboratorio de verificación de medidores ubicado en las instalaciones del kilómetro 0+000 de la Zona Hotelera.

**2007**

El 23 de enero, la PROFEPA otorga a DHC-AGUAKAN el Certificado de Industria Limpia y obtiene un reconocimiento público al cumplimiento de la normatividad nacional e internacional, así como de sus buenas prácticas operativas y de ingeniería garantizando un nivel de desempeño y de protección ambiental.

**2008**

DHC-AGUAKAN recibe un reconocimiento por la mejora continua en el proceso de Seguridad Integral y por su compromiso con el medioambiente por parte de la Asociación Interdisciplinaria de Salud Ocupacional e Higiene de México (AISOHMEX).

**2009**

DHC-AGUAKAN obtiene el refrendo del Certificado de Industria Limpia otorgado por la PROFEPA en el 2007.

**2010**

Se amplía la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Norponiente para aumentar su capacidad de tratamiento de 100 a 200 litros por segundos.

**2011**

Se realiza la auditoría a las instalaciones de DHC-AGUAKAN para revalidar el Certificado de Calidad Ambiental (anteriormente Industria Limpia) ante la PROFEPA. Al obtener nuevamente la renovación de su certificación, DHC-AGUAKAN es



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

reconocida públicamente por su cumplimiento con la normatividad, así como por sus buenas prácticas operativas.

**2013**

La PROFEPA otorga por tercera vez el certificado de Calidad Ambiental a DHC-AGUAKAN. Construcción de la 2ª etapa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Norte.

## **1.2 MISIÓN**

Brindar a la comunidad de los municipios de Benito Juárez e Islas Mujeres los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento cumpliendo las necesidades de los clientes, contribuyendo al cuidado del medio ambiente, a través de una empresa comprometida con la mejora continua y sustentable de su capital humano y de los recursos que administra.

## **1.3 VISIÓN**

Ser la empresa líder a nivel nacional y con reconocimiento internacional en la prestación de servicios de agua, alcantarillado y saneamiento, en beneficio de la sociedad, sus colaboradores y accionistas.

## 1.4 UBICACIÓN

La empresa Aguakan sa de cv se encuentra en la ciudad de Cancún del estado de Quintana Roo, operando en tres municipios; islas mujeres, Benito Juárez y solidaridad.

Figura 1. Muestra la ubicación de operación en el mapa de la república mexicana.

### ZONAS DE OPERACIÓN



## 1.5 GIRO

Año con año, DHC-AGUAKAN opera los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

### ***Extracción***

Consiste en extraer el agua del subsuelo mediante pozos. DHC-AGUAKAN vigila este proceso realizando análisis de laboratorio en forma constante para asegurar la calidad del agua extraída.

### ***Potabilización***

Una vez extraída, el agua es transportada a los centros de cloración para desinfectarla. En esa etapa, DHC-AGUAKAN dosifica la cantidad de cloro necesaria para su perfecta desinfección eliminando las bacterias que pudiera contener y así garantizar la potabilidad del agua.

### ***Almacenamiento***

El agua es transportada a cárcamos, depósitos y tanques para su posterior distribución. DHC-AGUAKAN vigila permanentemente estas instalaciones para que el agua distribuida sea de buena calidad.

### ***Distribución***

Toda la península es relativamente plana, por lo tanto, para que el agua llegue a todos los hogares, comercios y hoteles, el proceso de distribución se realiza a través de estaciones de rebombeo, ubicadas estratégicamente en los municipios.

### ***Tratamiento de aguas residuales***

Una vez utilizada el agua, DHC-AGUAKAN la recolecta a través del sistema de alcantarillado y la lleva a las plantas de tratamiento donde es procesada y depurada para ser regresada al ambiente natural. El agua limpia se inyecta a más de 100m de profundidad en el manto salino.

Figura 2. proceso completo del agua.

**Extracción   Potabilización   Almacenamiento   Distribución   Tratamiento de aguas residuales**



# **CAPITULO II**

## **MARCO DE REFERENCIA**

## 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE DESARROLLO DEL PROYECTO.

Unas de las plantas de tratamiento de agua residual que cuenta la empresa Aguakan sa de cv es la “norponiente” cuenta con una capacidad de 200 L/s, lugar en donde se encuentra la bomba sumergible KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm ubicada en el cárcamo de elevación.

Figura 3. Cárcamo de elevación de agua residuales de la planta norponiente.





## 2.1.1 PROCESO DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA NORPONIENTE.

### **1- Influyente:**

lugar donde llega el agua residual de todos los cárcamos de la zona norponiente de Cancún.

Figura 4. Lugar donde pasa toda el agua negra de la zona norponiente de la ciudad de Cancún.



### **2- *Microtamis rotatorio:***

Separa toda la basura y solidos que trae el agua residual dejando pasar sin basura al desengrasador.

Figura 5. Maquina Huber de separador de sólidos.



### **3- desarenador-desengrasador:**

Separa las grasas y arenas que trae las aguas negras de los cárcamos.

Figura 6. Cono desengrasador, separa la grasa del agua residual.





#### **4- Biofiltro:**

En el biofiltro de aguas residuales, su función es como colador, ya que al momento de pasar agua quedan los restos de sólidos, además de mantener vivos los microbios para que el agua no presente olores desagradables.

Figura 7. Biofiltro donde pasa el agua residual.



#### **5- Clarificador secundario:**

En este proceso es cuando el agua residual se separa, dando lugar a lodos y agua, sedimentando el lodo.

Figura 8. Clarificador del agua residuales, dividiendo el lodo y agua.



### **6.A- Cloración:**

Se disuelve cloro para destruir los organismos patógenos (microbios) y teniendo un agua limpia.

Figura 9. Muestra el proceso de cloración del agua



### **7.A- Pozos de absorción**

Después de cloración, sale agua limpia, dando lugar a los pozos de absorción, para que el agua vuelva a la tierra de donde fue extraída.

### **6.B- Espesamiento:**

Es aquí donde la otra parte o sea el lodo, da lugar a espesamiento mandándolo al digestor de lodos.

Figura 10. Mesa espesadora de lodos



### **7.B- Digestor de lodos:**

En el digestor de lodos, el lodo está en circulación para que el lodo no tenga malos olores, pasando al prensado de lodos.

Figura 11. Digestor de lodos.



### **8.B- Prensado de lodos:**

Aquí el lodo es mezclado con polímero dando lugar a un lodo más sólido.

Figura 12. Máquina prensadora de lodos.





### **9.B- Plataforma de secado:**

Aquí el lodo es transportado a una plataforma donde es secado para convertirse en tierra y después servirse como relleno o fertilizante.

Figura 13. Plataforma de secado de lodos.



La planta tiene como objetivo tratar las aguas residuales de la zona norponiente de Cancún, para reincorporarla a su entorno natural. Su inicio de operación fue en junio del 2005 y el tipo de tratamiento es de biológico secundario.

## 2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Uno de los problemas hidrodinámicos que presenta las bombas rotodinámicas o bombas centrifugas es la cavitación que ocurre en el impulsor. La cavitación en las bombas centrifugas produce dos efectos perjudiciales: disminución del rendimiento y erosión.

Tal es el caso de la bomba sumergible KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm de la empresa Aguakan sa de cv ubicada en el cárcamo de elevación el cual bombea agua residual al clarificador secundario, se detectó que una de las bombas no abastecía el caudal requerido, perjudicando el rendimiento de la planta de tratamiento de agua residual “norponiente”.

Se identificó la bomba, fue extraída del cárcamo de elevación y posteriormente fue desarmada, extrajeron el impulsor de la bomba y se percataron que el impulsor presentaba roturas. Se diagnosticó que la bomba presentaba cavitación.

Esto con lleva a reemplazar la bomba por una nueva, considerando que estas son de elevados costos, cosa que no conviene a la empresa, una solución viable es cambiar el impulsor dañado, pero de igual manera es de muy alto costo. Entonces, ¿se puede evitar la cavitación en las bombas sumergibles KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm?

## 2.3 JUSTIFICACIÓN.

Uno de los problemas que presentan las bombas centrífugas en su impulsor o rodete es la presencia del fenómeno de cavitación que ocurre cerca del borde delantero del impulsor. Esto se produce por la formación y rotura de las burbujas de vapor en un líquido, afectando el rendimiento de las bombas centrífugas, este fenómeno ocurre en la bomba sumergible KSB tipo KRT K 200-330/504 ubicada en el cárcamo de elevación de la planta norponiente.

Por ello este proyecto va dirigido únicamente para este tipo de bomba sumergible de la empresa Aguakan sa de cv, con la finalidad de establecer criterios de control y/o soluciones que puedan impedir que ocurra la cavitación en la bomba sumergible.

Estos criterios de control y/o soluciones sobre la cavitación tendrán beneficios económicos y técnicos, ya que se pretende evitar gastos elevados, como reemplazar el impulsor o comprar un equipo nuevo, así como también los operadores tendrán conocimiento para poder evitar que la bomba cavite.

Además, estos criterios de control y/o soluciones se podrá implementar en todas las bombas sumergibles KRT tipo KRT K 200-330/504 de la empresa Aguakan sa de cv evitando tener problemas a futuro con sus equipos de bombeo, por otro lado, ayudará a consolidar futuros estudios sobre la cavitación de bombas sumergibles.

## **2.4 OBJETIVOS**

### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Calcular las variables que determinan la aparición del fenómeno de cavitación en una bomba sumergible KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm, localizada en el cárcamo de elevación de la planta de tratamiento de aguas residuales norponiente.

### **2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Identificar los factores que provocan la cavitación en las bombas centrífugas.

Determinar los criterios de control y/o soluciones que puedan prevenir y/o evitar la cavitación en la bomba sumergible KSB tipo KRT KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm.

Analizar los resultados encontrados sobre los cálculos de variables significativa que generan cavitación.

## 2.5 ALCANCES

Este proyecto está diseñado para resolver problemas a equipos que presentan el fenómeno de cavitación, brindándoles información a los encargados de plantas de tratamiento de aguas residuales, así como también a los operadores que se encargan del manejo y control de los equipos.

Los operadores de planta de tratamiento de aguas residuales deberán tener conocimiento sobre los efectos que presentan las bombas sumergibles antes de sufrir cavitación y cuáles son sus consecuencias que pueden ocasionar estas. Además de brindar una serie de criterios que permita el control y/o solución a las bombas sumergibles que operan en la planta de tratamiento, así evitando que la bomba sumergible sufra daños irreparables trayendo como consecuencias; reemplazar la bomba y rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## 2.6 LIMITACIONES.

En el desarrollo del proyecto se presentan algunas limitaciones:

Falta de instrumento de medición de presión (manómetro) a la salida de la bomba sumergible KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm, lo que imposibilita el cálculo de las variables que causan la cavitación.

Las bombas sumergibles KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm no disponen de un medidor de caudal, ya que se requiere para conocer el NPSH de la bomba sumergible.

Por otro lado, los criterios y/o solución que se propongan solo se aplicarán únicamente para las bombas KSB tipo KRT K 200-330/504 de 65 hp de 1750 rpm de la empresa Aguakan sa de cv



# **CAPITULO III**

## **MARCO TEORICO**

### 3.1 DEFINICIÓN DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS.

Una maquina es un transformador de energía.

Una maquina absorbe energía de una clase y restituye energía de otra clase (un motor eléctrico, por ejemplo, absorbe energía eléctrica y restituye energía mecánica) o de la misma clase, pero transformada (una grúa o un torno, por ejemplo, absorbe y restituye energía mecánica).

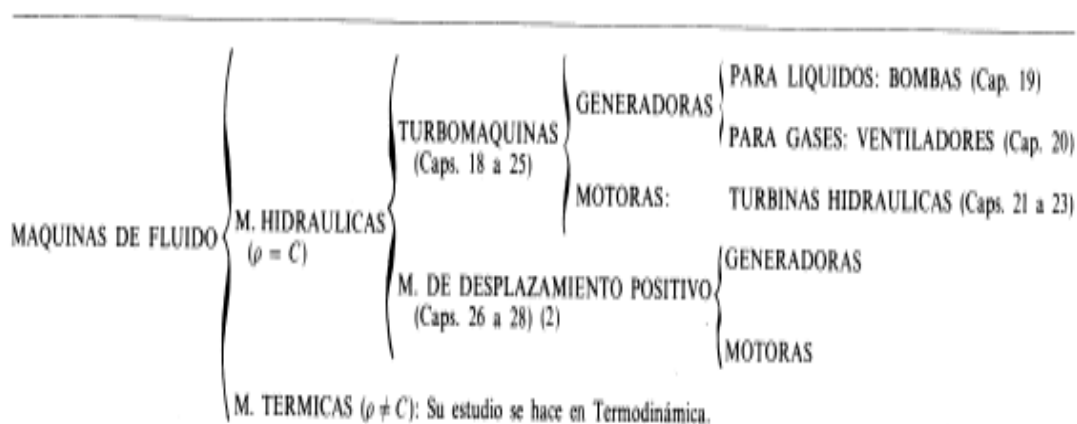
Las maquinas se clasifican en grupos: máquinas de fluidos, maquinas – herramientas, maquinas eléctricas, etc.

Las máquinas de fluidos se clasifican en máquinas hidráulicas y maquinas terminas.

*Maquinas hidráulica es aquella en que el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de densidad en su paso a través de la máquina, por el cual en el diseño y estudio de la misma se hace la hipótesis de que  $\rho = \text{cte}$ .*

*Maquina térmica es aquella en que el fluido en su paso a través de la maquina no varía sensiblemente de densidad y volumen específico, el cual en el diseño y estudio de la maquina ya no puede suponerse constante.*

Figura 14. Clasificación de las máquinas de fluidos.





### 3.3 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS

Bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica.

Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos alimenticios: cerveza, leche, etc.; estas últimas constituyen el grupo importante de las bombas sanitarias). También se emplean las bombas para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, malezas, fangos, desperdicios, etc.

Las bombas se clasifican en:

- 1) Bombas rotodinámicas. Fundamentalmente consiste en un rodete acoplado a un motor, el cual es su órgano transmisor de energía. Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler. Siempre son rotativas. La dinámica de la corriente juega un papel significativo en la transición de la energía (efecto centrífugo).
- 2) Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas. A este grupo no solo pertenecen las bombas alternativas (se basan en el principio de desplazamiento positivo), sino también las rotativas llamadas rotoestáticas, pero en ellas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía.

### 3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS ROTODINÁMICAS

De acuerdo a la dirección del fluido:

- Radial
- Axial
- Radio-axial (diagonal o mixta)

De acuerdo a la posición del eje:

- Horizontal
- Vertical
- Inclinado

De acuerdo a la presión:

- Baja presión
- Media presión
- Alta presión

De acuerdo al número de flujos en la bomba:

- De simple succión o de un flujo
- De doble succión o de dos flujos
- De acuerdo al número de impulsores
- De varios pasos

Figura 16. Bomba rotodinámica.



### 3.5 BOMBAS SUMERGIBLES

La bomba sumergible consta de una bomba y un motor eléctrico que forman una unidad cerrada, adecuada para instalación sumergida en una fosa húmeda que contiene el líquido de bombeo. La bomba sumergible puede conectarse a la tubería de impulsión con una conexión de descarga especial en el fondo de la fosa húmeda para facilitar su instalación y desmontaje, o puede instalarse conectada mediante una manguera flexible u otros dispositivos a las tuberías de impulsión. La unidad recibe corriente mediante uno o más cables flexibles, suministrados con la bomba en longitudes adecuadas para la instalación.

Las bombas sumergibles están disponibles para numerosas aplicaciones con requisitos diferentes y se han desarrollado distintos diseños para numerosas aplicaciones especiales.

Una bomba sumergible consta de un motor estanco y los componentes de bomba adecuados, que son el impulsor, la voluta de bomba y las piezas de conexión necesarias para diferentes alternativas de instalación, incluyendo una uñeta guía para instalación sumergida en una adecuada conexión de descarga, un soporte para bombas portátiles y las bridas de conexión necesarias, un soporte para bombas de instalación en seco y anillos de asiento para bombas instaladas en columna.

La bomba consta de impulsor y voluta, así como equipo auxiliar y accesorios.

Figura 17. Bomba sumergible vertical.



### 3.6 IMPULSORES

Las bombas sumergibles tienen varios diseños de impulsor, dependiendo del uso previsto. Los impulsores pueden clasificarse como:

- impulsores para bombas de aguas residuales
- impulsores para bombas trituradoras
- hélices para bombas axiales

Pueden también clasificarse según su construcción como impulsores cerrados, semiabiertos o abiertos. Están ilustrados en la figura 18. Los impulsores semiabiertos y abiertos dependen de la holgura entre impulsor y voluta (aprox. 0,5 mm). Su rendimiento es muy sensible al desgaste y disminuye rápidamente al aumentar la holgura. La figura 19 muestra el efecto del desgaste en impulsores cerrados y abiertos sobre el rendimiento de la bomba. Los impulsores abiertos y semiabiertos son también susceptibles a atascos de impurezas entre el impulsor y la placa de aspiración, reduciendo la velocidad de la bomba o parándola.

Figura 18. Diferentes diseños de impulsores

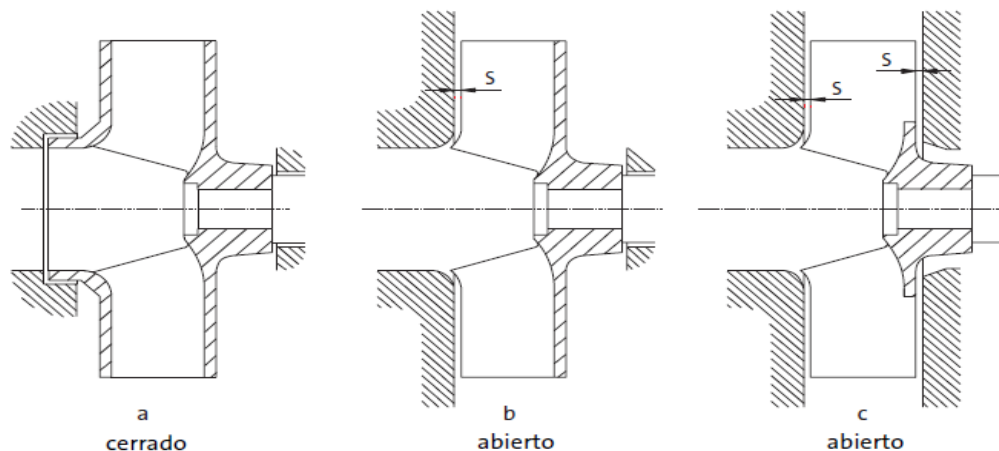
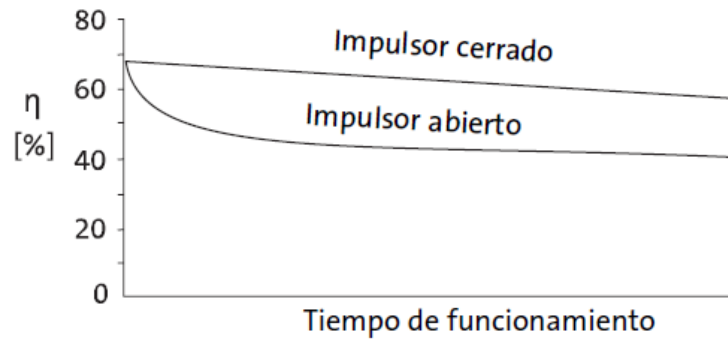


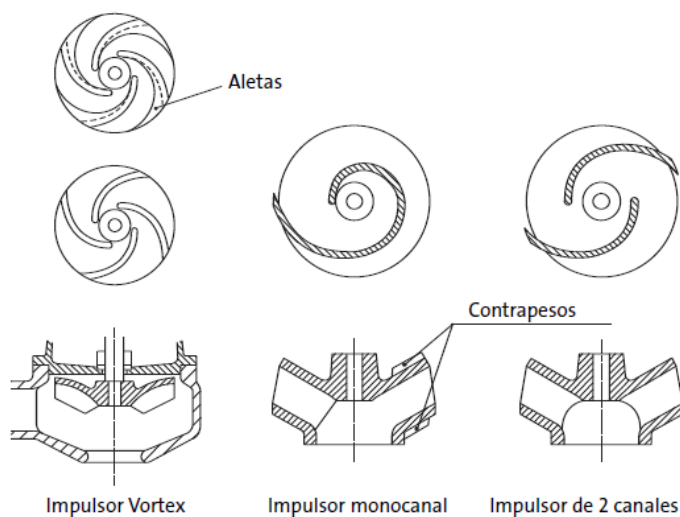
Figura 19. Resultado de prueba de una comparación del efecto del desgaste sobre el rendimiento de una bomba para distintos tipos de impulsor.



### 3.6.1 IMPULSORES PARA BOMBAS DE AGUAS RESIDUALES

Para evitar que se obstruya o atasque la bomba, se han desarrollado impulsores especiales para bombear aguas residuales. Constan de impulsores monocanal, de 2 canales y vortex. Los principios del diseño están ilustrados en la figura 20. Para bombas muy grandes de aguas residuales pueden también utilizarse impulsores con muchos álabes.

Figura 20. Tipos de impulsor para bombas de aguas residuales





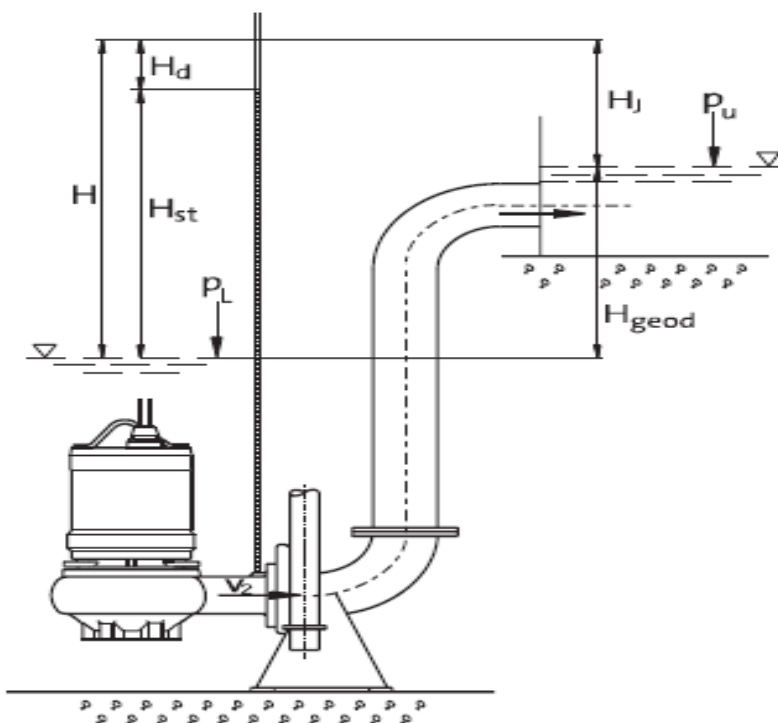
### 3.7 FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA

El funcionamiento de la bomba es el resultado de la interacción entre la bomba y la tubería de impulsión o de presión

#### 3.7.1 ALTURA DE BOMBA

El concepto de altura se refiere en lo siguiente a bombas sumergibles. Con fines prácticos se supone que la presión en la fosa de bomba, o fosa inferior, es igual a la presión predominante en el depósito receptor o superior. Si estos depósitos tuviesen presiones diferentes, habría que tener en cuenta la diferencia de presión. Tampoco hace falta tener en cuenta la diferencia de la presión atmosférica en todas las instalaciones reales, ya que la diferencia de la presión atmosférica entre un depósito receptor colocado por ejemplo 100 m por encima de la fosa de la bomba es sólo 0,001 bar o 0,01 m.c.a.

Figura 21. Componentes de altura en instalaciones de bombas sumergibles.



La figura 21 muestra cómo se define la altura en una instalación de bombas sumergibles. Se utilizan las siguientes unidades:

- $H =$  altura total de la bomba (m)
- $H_{st} =$  altura estática de la bomba (m)
- $H_d =$  altura dinámica de la bomba (m)
- $H_{geod} =$  altura geodésica (m)
- $H_j =$  pérdidas en las tuberías (m)
- $P_L =$  presión atmosférica en la fosa de bomba
- $P_U =$  presiones atmosféricas en el depósito superior
- $V_2 =$  velocidad del caudal en la salida  $\left(\frac{m}{s}\right)$
- $g =$  aceleración por gravedad  $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$

Si un tubo de observación está instalado en la brida de descarga de la bomba, el líquido bombeado subirá en la brida hasta una altura  $H_{st}$  desde el nivel de la fosa. Esta altura representa la altura estática de la bomba. Además, el líquido tiene una velocidad  $V_2$  en la descarga de la bomba, que puede convertirse en presión o altura dinámica  $H_d$  con la siguiente ecuación:

$$H_d = \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

La suma de la altura estática y la dinámica es la altura total de la bomba, por lo tanto

$$H = H_{st} + H_d \quad (2)$$

Según acuerdo internacional (Norma ISO 2548), se utiliza la altura total H conforme a la ecuación 2 para diseñar curvas características de bombas sumergibles.

Por lo tanto, la altura total H está disponible para bombear el líquido a través de la tubería de impulsión. La presión o altura necesaria para bombear un caudal específico a través de una tubería se compone de la altura geodésica y las pérdidas de carga. Por lo tanto, puede escribirse:

$$H = H_{geod} + H_j \quad (3)$$

La altura geodésica  $H_{geod}$  es la diferencia física real de altura entre los niveles de líquido de la fosa y del contenedor receptor. Las pérdidas de caudal en la tubería constan de pérdidas por fricción en la tubería, pérdidas locales desde varias conexiones en la tubería (codos, válvulas, etc.) y la pérdida de salida en el punto de descarga.

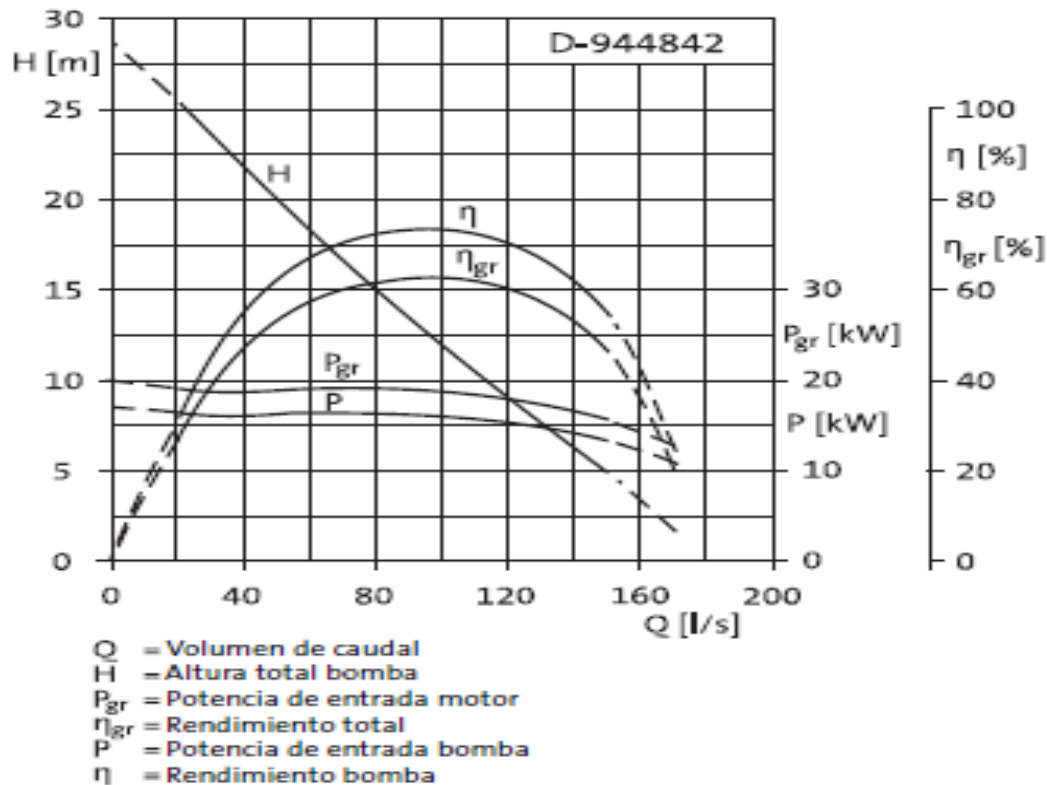
### 3.7.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA

Las características de las bombas centrífugas se presentan normalmente como una serie de curvas, donde los datos han sido establecidos mediante pruebas de las bombas o evaluados por el fabricante, por ejemplo, para un diámetro especial de impulsor. Para bombas sumergibles la siguiente información importante está normalmente representada como curvas contra el caudal Q:

- H curva de altura
- $\eta$  curva(s) de rendimiento
- p curvas de potencia

La figura 22 muestra una típica curva característica con información importante para el usuario.

Figura 22. Curva característica típica de una bomba sumergible. Las secciones discontinuas de las curvas indican las áreas donde la utilización prolongada de la bomba está prohibida. Los motivos de la limitación pueden ser cavitación, vibraciones o sobrecarga del motor.



La altura o curva  $H$  da la altura total de la bomba en función del caudal  $Q$ . La curva puede contener información adicional respecto a la utilización de la bomba, tal como limitaciones debidas a cavitación, vibraciones o sobrecarga del motor.

### 3.7.3 CURVAS DE RENDIMIENTO

El rendimiento  $\eta$  de la bomba es también una función del caudal  $Q$ . El rendimiento puede indicarse como un ratio o porcentaje. Para bombas sumergibles se definen tanto el rendimiento  $\eta$  de la bomba como el rendimiento total  $\eta_{gr}$ , donde  $\eta_{gr}$  incluye las pérdidas en el motor. Es importante diferenciar entre estas definiciones del

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

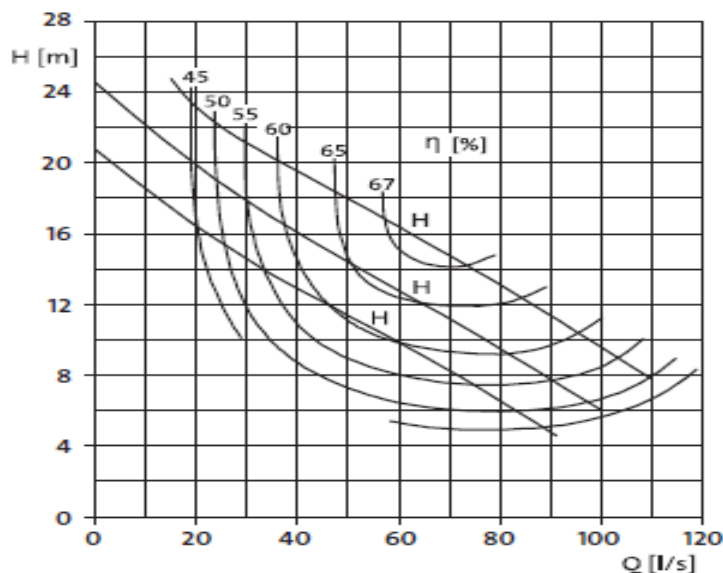
rendimiento, especialmente cuando se compara el funcionamiento de la bomba. Las pérdidas que influyen en el rendimiento de la bomba. Por lo tanto, puede escribirse:

$$\eta_{gr} = \eta_{mot} * \eta \tag{4}$$

Donde  $\eta_{mot}$  es el rendimiento del motor.

El rendimiento puede también estar marcado en la curva de altura, con números que indican varios valores de rendimiento. Si varias curvas de altura para varios diámetros de impulsor están trazadas en el mismo gráfico, estos puntos pueden conectarse para formar isogramas, o áreas de funcionamiento del mismo rendimiento. La curva característica de la bomba tendrá entonces el aspecto típico que muestra la figura 23.

Figura 23. Curvas características para varios diámetros de impulsor, donde el rendimiento está indicando directamente en las curvas de altura. Se facilita la selección de impulsor conectando los puntos del mismo rendimiento.



### 3.7.4 CURVAS DE POTENCIA

La potencia necesaria de la bomba es también una función del caudal  $Q$ . La figura 22 contiene la curva de potencia tanto de la bomba como del motor. La potencia del motor es la potencia eléctrica utilizada por el motor, medida en la caja de conexión de cable en el motor. Según normativas internacionales respecto a pruebas de bombas, la potencia de la bomba se denomina  $P$  y la potencia absorbida por el motor  $P_{gr}$ . La potencia necesaria puede también calcularse mediante la ecuación:

$$P = \frac{\rho Q g H}{\eta} \quad (5)$$

Donde

$P =$  potencia ( $W$ )

$\rho =$  densidad del líquido  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$Q =$  caudal en volumen  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$g =$  aceleración por gravedad  $\left(\frac{9.81m}{s^2}\right)$

$H =$  altura de bomba ( $m$ )

$\eta =$  rendimiento

### 3.7.5 CURVA NPSH

Los cálculos de NPSH sólo se realizan para bombas instaladas en seco, por lo que la curva normalmente no está incluida en las hojas de datos de bombas sumergibles. El fabricante la proporciona a petición, si se teme cavitación en una instalación en seco, o si el cliente la necesita por otro motivo. El resultado de pruebas realizadas con agua limpia son válidos para aguas residuales municipales normales y la mayoría de efluentes industriales, ya que el bajo contenido de sólidos en las aguas residuales (menos del 0,05 %) no influye significativamente en el funcionamiento de la bomba.

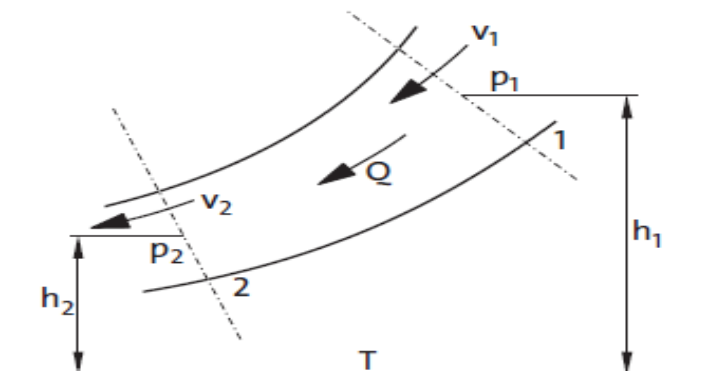
### 3.8 ECUACIÓN DE ALTURA

La figura 24 muestra parte de un caudal continuo de líquido en un conducto. Entre las dos secciones de observación 1 y 2 ninguna energía es transferida al/del líquido y se supone que el caudal no tiene fricción. Por lo tanto, la energía total del líquido de un plano de referencia horizontal T tiene que ser igual en las dos secciones. La energía total incluye componentes de energía potencial, energía de presión y energía cinética, y para una partícula de líquido con una masa  $m$ , la energía en las secciones de observación es como sigue:

Tabla 1. Ecuaciones de energía de un punto 1 al punto 2

<b>Sección</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<i>Energía potencial</i>	$mgh_1$	$mgh_2$
<i>Energía de presión</i>	$mg \frac{p_1}{\rho g}$	$mg \frac{p_2}{\rho g}$
<i>Energía cinética</i>	$\frac{1}{2}mv_1^2$	$\frac{1}{2}mv_2^2$

Figura 24. Sección que muestra un caudal de líquido a través de dos secciones de observación. T es un plano de referencia de las alturas potenciales  $h_1$  y  $h_2$ ,  $p_1$  y  $p_2$  son las presiones predominantes, y  $v_1$  y  $v_2$  son velocidades del líquido en las secciones 1 y 2.



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

donde  $\rho$  es la densidad del líquido y  $g$  es la aceleración por gravedad. Para un caudal sin pérdidas, la energía total en las secciones 1 y 2 será igual, por lo tanto

$$mgh + mg \frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2}mv_1^2 = mg \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (6)$$

Al dividir ambos lados de la ecuación con el término  $mg$  se obtiene

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (7)$$

Esta ecuación se llama ecuación de Bernoulli, en referencia al ingeniero que fue el primero en desarrollarla. Los términos de la ecuación son expresados como alturas, por lo que se denominan altura estática, altura de presión y altura cinética respectivamente.

### 3.8.1 CAUDAL CON PÉRDIDAS O AUMENTO DE ENERGÍA

Si hay pérdidas en el caudal entre las secciones 1 y 2 de la figura 1, la ecuación de altura 7 puede escribirse

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_r \quad (8)$$

donde  $H_r$  es la pérdida de carga.

Si se añade energía al caudal, colocando una bomba entre las secciones 1 y 2 de la figura 24, la ecuación 8 puede escribirse

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + H = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_r \quad (9)$$

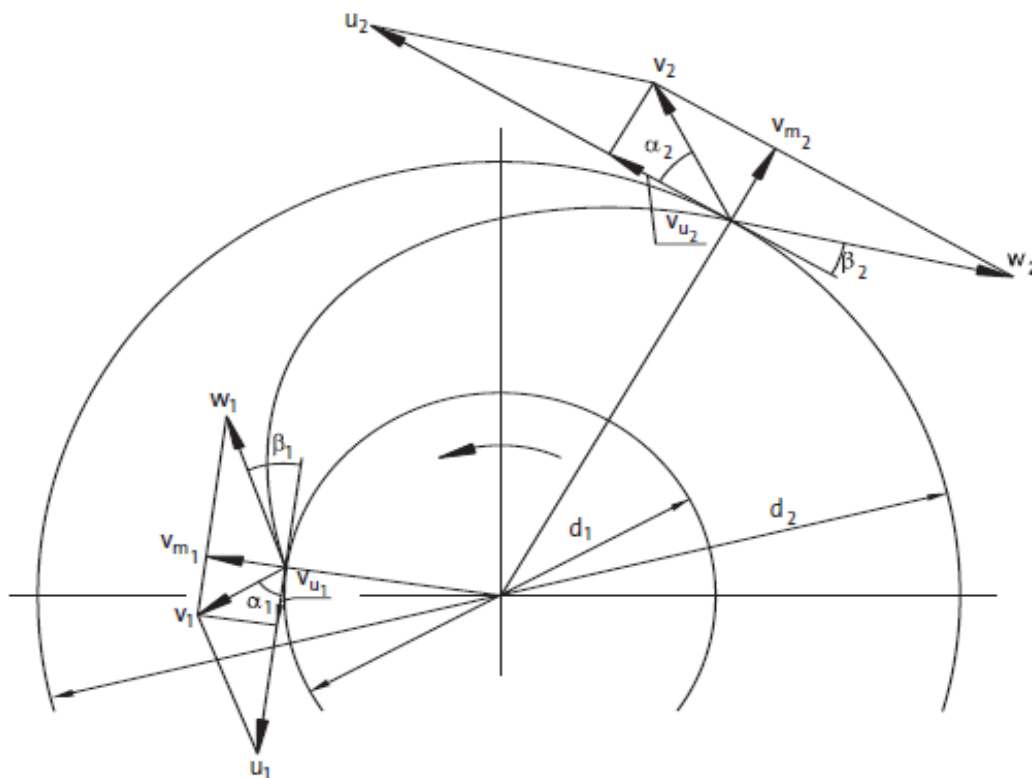
donde H es la altura total de bombeo.



### 3.9 ECUACIÓN BÁSICA DE BOMBAS

Se utiliza la ecuación básica de bombas para calcular y diseñar formas geométricas y dimensiones de bombas centrífugas, así como para calcular la curva Q/H de la bomba. La figura 25 muestra un álabe de impulsor y sus vectores de velocidad asociados.

Figura 25. Alabe de impulsor de bombas con los triángulos de velocidad en los bordes delanteros y posteriores. Velocidad absoluta del líquido  $v$ , velocidad relativa  $w$ , velocidad perimetral del alabe  $u$ , componente tangencial de la velocidad absoluta del líquido  $v_u$  y componente radial  $v_m$ .



Donde:

$v$  = velocidad absoluta del líquido

$w$  = velocidad relativa hacia el álabe

$u$  = velocidad perimetral

$V_u$  = componente tangencial de la velocidad absoluta

$V_m$  = componente radial de la velocidad absoluta

La velocidad relativa es paralela al álabe en cualquier punto dado.

También  $v_{u1} = v_1 * \cos\alpha_1$  y  $v_{u2} = v_2 * \cos\alpha_2$

Si suponemos que el caudal no tiene pérdidas y el número de álabes es infinito ( $\infty$ ), podemos desarrollar la conocida ecuación básica de la teoría de bombeo, utilizando las leyes de la mecánica. Esta relación se conoce como la ecuación de Euler y se expresa como:

$$H_t = \frac{1}{g}(u_2 v_{u2} - u_1 v_{u1}) \quad (10)$$

donde el índice  $t$  se refiere a un caudal sin pérdidas y  $\infty$  se refiere a la hipótesis de un número infinito de álabes que garantizan un sentido completo del líquido.

En una bomba real no puede garantizarse ninguna de estas hipótesis, ya que siempre hay pérdidas por fricción y el número infinito de álabes no llevará el caudal totalmente en el sentido del álabe.

El rendimiento hidráulico  $\eta_h$  tiene en cuenta la reducción de altura ocasionada por pérdidas en el caudal, y la reducción debida a la desviación del caudal desde el óptimo ángulo  $\beta_2$  se compensa mediante un coeficiente de álabe  $k$ . Con estas modificaciones, la ecuación de Euler de una bomba real queda con sigue:

$$H_t = \frac{\eta_h}{g}(k u_2 v_{u2} - u_1 v_{u1}) \quad (11)$$

Puede mostrarse que tanto  $X$  como  $k$  son menores que la unidad. Aquí no se comentarán más a fondo.

Las bombas centrífugas están normalmente diseñadas con  $\alpha_1 = 90^\circ$  por lo tanto  $v_{u1} = 0$

Por consiguiente, la ecuación básica de bombeo se simplifica a

$$H = k\eta_h \frac{u_2 v_{u2}}{g} \quad (12)$$

### 3.10 FLUJOS DE FLUIDOS EN TUBERÍA.

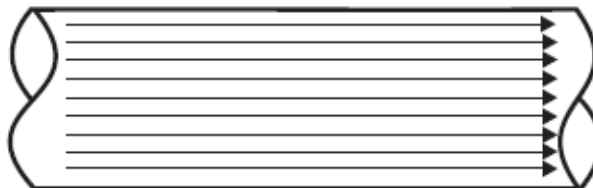
El flujo real es más complejo que el de un flujo ideal. Debido a la viscosidad de los fluidos reales, en su movimiento aparecen fuerzas cortantes entre partículas fluidas y las paredes del contorno y entre las dimensiones de capas de fluido.

Existen dos tipos de fluidos permanentes en el caso de fluidos reales. Que es necesario comprender y entender. Estos se llaman flujo laminar y flujo turbulento. Ambos tipos vienen gobernados por leyes distintas.

#### 3.10.1 FLUJO LAMINAR

En el flujo laminar las partículas fluidas se mueven según trayectorias paralelas, formando junto de ellas capas o laminas.

Figura 26. Representación del flujo laminar



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

El número de Reynolds, que es un grupo adimensional, viene dado por el cociente de las pérdidas de inercia por las fuerzas debidas a la viscosidad. Para tuberías circulares, en flujo a tubería llena,

$$\text{Numero de Reynolds } R_E = \frac{Vd\rho}{\mu} \quad \text{o} \quad \frac{Vd}{\nu} = \frac{V(2r_0)}{\nu} \quad (13)$$

Donde

$V$  = velocidad media en m/seg

$d$  = diametro de la tubería en m,  $r_0$  = radio de la tubería en m

$\nu$  = viscosidad cinemática del fluido en  $m^2/\text{seg}$

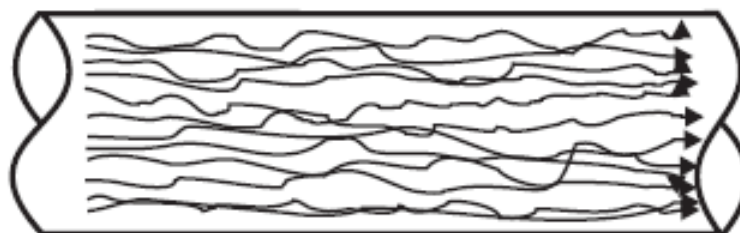
$\rho$  = densidad del fluido en  $UTM/m^3$  o  $kg \text{ seg}^2/m^4$

$\mu$  = viscosidad absoluta en  $kg \text{ seg}/m^2$

### 3.10.2 FLUJO TURBULENTO

En el flujo turbulento las partículas fluidas se mueven de forma desordenada en todas las direcciones. Es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente.

Figura 27. Representación del flujo turbulento.



### 3.10.3 LÍMITES DEL NÚMERO DE REYNOLDS PARA TUBERÍAS

Tabla 2. Comparaciones de numero adimensional de Reynolds.

$Re \leq 2000$	Flujo laminar
$2000 < Re \leq 4000$	Flujo transitorio
$Re > 4000$	Flujo turbulento

Notar que el número de Reynolds es un número adimensional, independiente del sistema de unidades adoptado. Notar que las unidades utilizadas deben ser coherentes entre sí. En general y en forma práctica, el flujo se presenta en régimen turbulento, con excepción a los flujos con velocidades muy bajas o fluidos de viscosidad alta.

### 3.10.4 FORMULA DE DARCY-WEISBACH

La fórmula de Darcy-Weisbach, es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías conductos. La ecuación es la siguiente:

$$\text{perdida de carga (m)} = \text{coeficiente de fricción } f * \frac{\text{longitud } L \text{ (m)}}{\text{diámetro } d \text{ (m)}} * \text{altura de velocidades } \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

$$H_r = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (14)$$

### 3.10.5 COEFICIENTE DE FRICCIÓN

El factor o coeficiente de fricción  $f$  puede deducirse matemáticamente en el caso de régimen laminar, más en el caso de flujo turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de  $f$  con el número de Reynolds. Todavía más, Nikuradse y otros investigadores han encontrado que sobre el valor de  $f$  también influye la rugosidad relativa de la tubería (igual a la relación de la altura de las imperfecciones superficiales  $\epsilon$  al diámetro interior de la tubería).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

(a) Para flujo laminar  $perdida\ de\ carga = 64 \frac{v}{Vd} \frac{LV^2}{d} = \frac{64}{R_E} \frac{LV^2}{d}$

Por lo tanto, para régimen laminar en todas las tuberías y para cualquier fluido, el valor de  $f$  viene dado por

$$f = 64/R_E \tag{15}$$

$R_E$  tiene un valor practico máximo de 2000 para que el fluido sea laminar.

(b) Para flujo turbulento, muchos ingenieros hidráulicos e investigadores se han esforzado en el cálculo de  $f$ , tanto a partir de sus propios resultados como de los resultados obtenidos por otros investigadores.

(1) Para turbulento en tuberías rugosas o lisas las leyes de resistencia universales pueden deducirse a partir de

$$f = \frac{8r_0}{\rho V^2} = 8V_0^2/V^2 \tag{16}$$

(2) Para tuberías lisas, Blasius ha sugerido, con el número de Reynolds comprendiendo entre 3000 y 100000

$$f = 0.316/R_E^{0.25} \tag{17}$$

Para valores de Reynolds hasta 3000000, aproximadamente, la ecuación de Von Karman, modificada por Prandil, es

$$1/\sqrt{f} = 2 \log(R_E \sqrt{f}) - 0.8 \tag{18}$$

(3) Para tuberías rugosas,

$$1/\sqrt{f} = 2 \log(r_0/\epsilon) + 1.74 \tag{19}$$

(4) Para todas las tuberías, el Hydraulic Institute de los Estados Unidos de Norteamérica y la mayoría de los ingenieros consideran la ecuación de Colebrook como la más aceptable para calcular  $f$ . La ecuación es

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{2.51}{R_E \sqrt{f}} \right] \tag{20}$$

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

Los valores sugeridos de las imperfecciones superficiales  $\epsilon$ , en el caso de las tuberías nuevas, se incluyen en el anexo de los diagramas A-1 y A-2.

### **3.10.6 OTRAS PERDIDAS DE CARGA.**

Otras pérdidas de carga, tales como las que tiene lugar en los accesorios de tuberías, se dan generalmente de la forma

$$\text{pérdida de carga (m)} = K(V^2/2g) \quad (21)$$

En las tablas 4 y 5 del anexo se dan series de valores de las pérdidas de carga en los accesorios más comúnmente utilizados.

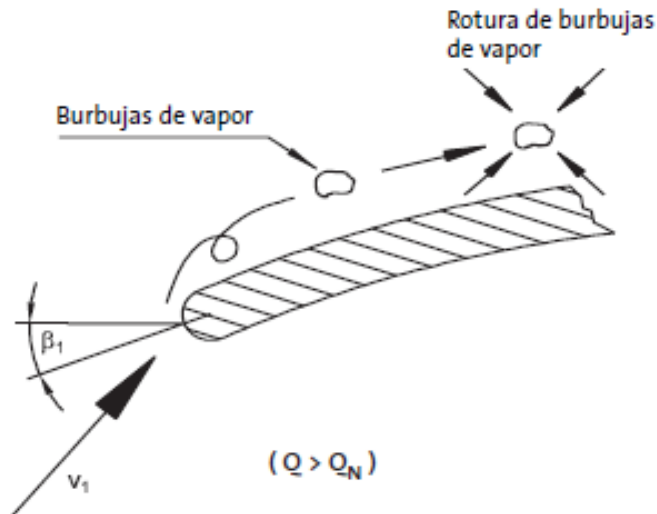
### **3.11 CAVITACIÓN Y NPSH**

La cavitación se produce por la formación y rotura de las burbujas de vapor en un líquido. Se forman cuando la presión estática local de un fluido baja hasta o por debajo de la tensión de vapor del líquido a temperatura ambiente. Al moverse la burbuja con el caudal a un área de más presión se romperá rápidamente, lo que origina una ola de choque local transitoria muy alta en el líquido. Si tiene lugar cerca de una superficie y ocurre varias veces, el choque de presión erosionará finalmente el material de la superficie.

El fenómeno de cavitación ocurre típicamente en las bombas centrífugas cerca del borde delantero del álabe del impulsor, ver la figura 28. La cavitación puede también reducir la curva Q/H y el rendimiento de la bomba. Una bomba que cavita hace un ruido típico, como si se bombeara arena a través de la misma. Ningún material de bomba soportará la cavitación completamente, por lo que hay que tener cuidado si las condiciones de funcionamiento de la bomba suponen riesgo de cavitación.



Figura 28. Líquido de bombeo que golpea el borde delantero del alabe en un ángulo distinto al ángulo del alabe.



Las marcas de desgaste producidas por la cavitación aparecen localmente y constan de picaduras profundas con bordes afilados. La profundidad de las picaduras puede ser de varios milímetros, ver la figura 29.

Las curvas publicadas de bombas sumergibles están normalmente dibujadas de forma que una bomba en una instalación sumergida normal no cavitará, siempre que el punto de trabajo esté en la sección permitida de la curva Q/H.

Figura 29. Impulsor con corrosión típica por cavitación.

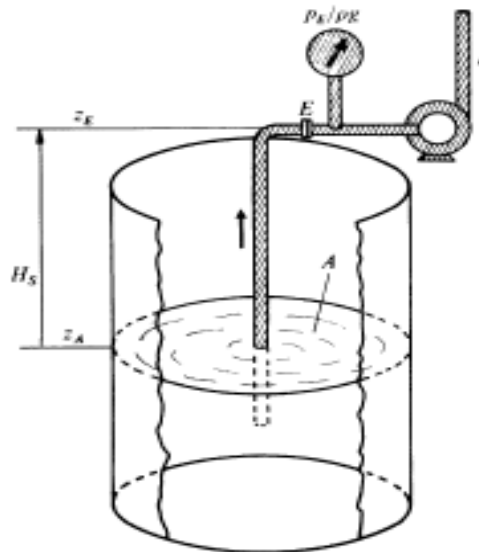


### 3.11.1 DEFINICIÓN DE NPSH

Uno de los conceptos más polémicos asociado con bombas es el NPSH (Net Positive Suction Head). La comprensión de este concepto es esencial para la correcta selección de una bomba. Con el fin de caracterizar las condiciones para una buena "aspiración", se introdujo en la terminología de instalaciones de bombeo el término NPSH. Este concepto representa la disponibilidad de energía con que el líquido entra en el flange de succión de la bomba. El término NPSH es un término que se encuentra en publicaciones de lengua inglesa. En publicaciones de varios idiomas, se mantiene la designación del NPSH, aunque algunos autores usan el término APLS" Altura Positiva Líquida de Succión" o" Altura de Succión Absoluta".

Para efectos de estudio y definición, el NPSH puede ser dividido en el NPSH requerido y el NPSH disponible.

Figura 30. Determinación de la altura de aspiración de una



### 3.11.2 NPSH DISPONIBLE

El NPSH disponible indica la presión disponible para la aspiración de la bomba durante las condiciones predominantes. Esto puede llamarse NPSH de la estación de bombeo. Aplicando la ecuación generalizada de Bernoulli entre A y E (figura 30). Despreciando la energía cinética del pozo se tiene:

$$\frac{P_A}{\rho g} + z_A - H_{rA-E} = \frac{P_E}{\rho g} + z_E + \frac{V_E^2}{2g} \quad (22)$$

Pero  $z_E - z_A = H_s$  ver figura; luego;

$$\frac{P_A}{\rho g} + H_s - H_{rA-E} = \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} \quad (23)$$

De las ecuaciones 22 y 23 resulta otra expresión para la altura de aspiración disponible o también denominada en los países de habla inglesa el NPSH disponible (NPSH – Net Positive Suction Head), expresión que se ha generalizado mucho en la técnica de otros países.

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_{atm} + P_A - P_S}{\rho g} - H_s - H_{rA-E} \quad (24)$$

### 3.11.3 NPSH NECESARIO

Se obtienen 2 expresiones del NPSH necesario mediante la siguiente ecuación:

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{P_A - P_S}{\rho g} - H_s - H_{rA-E} \right)_{minimo} \quad (25)$$

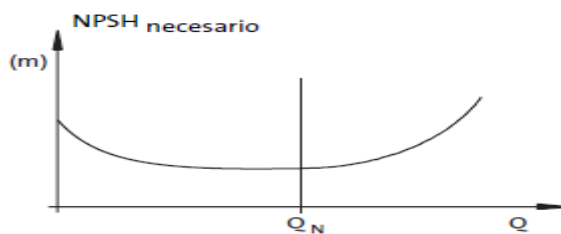
$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{P_E - P_S}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} \right) \quad (26)$$

Esto se llama también el valor NPSH de la bomba. Puede presentarse en función del caudal como muestra la figura 31. Es independiente de la temperatura y del tipo de

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

líquido bombeado. El fabricante debe indicar el NPSH como un valor numérico o una curva.

Figura 31. Variación típica de NPSH necesario con caudal de la bomba.



Toda vez que la energía disponible iguale o exceda los valores de NPSH requerido, no habrá vaporización del líquido, lo que evitará la cavitación y las respectivas consecuencias; de esta manera, la bomba debe seleccionarse observando la siguiente relación:

$$\text{NPSH disponible} \geq \text{NPSH requerido}$$

En la práctica se utiliza como margen mínimo entre el NPSHreq y el NPSHdisp, un rango de entre el 10 a 15%, siempre que este no sea menor a 0,5 m, valor mínimo recomendado.

# **CAPITULO IV**

# **METODOLOGÍA**

## 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA SUMERGIBLE KSB.

KSB ha desarrollado estas motobombas sumergibles como una solución segura, fiable y de eficiencia energética para todos los trabajos de bombeo en la técnica de aguas residuales, por eso es de vital importancia conocer como sus componentes y características de la bomba que se está estudiando.

Figura 32. Bomba sumergible de la marca KSB tipo KRT k 200-330/504UG-S



## 4.2 PARTES INTERNAS DE LAS BOMBAS SUMERGIBLES KSB.

La bomba está equipada con una entrada de corriente axial y con una salida de corriente radial. El sistema hidráulico está fijado al eje prolongado del motor. El eje está dotado de un cojinete común.

Figura 33. Partes de la bomba sumergibles

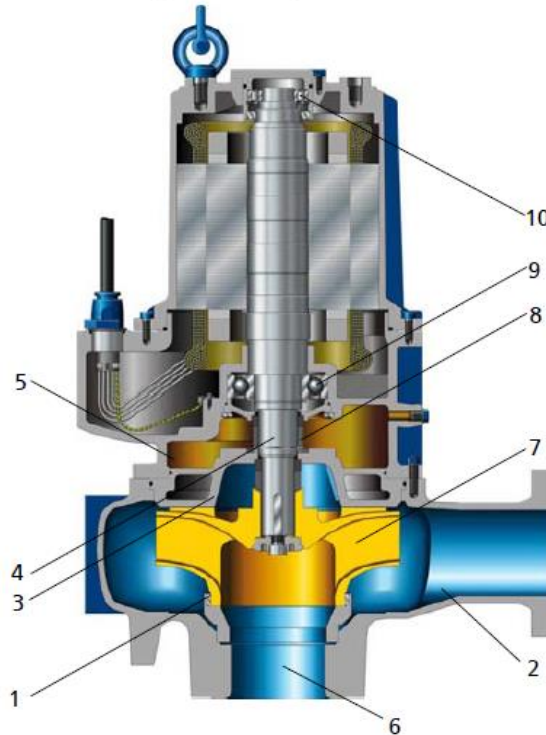


Tabla 3. Partes internas de la bomba KSB.

1	Anillo partido	2	Tubuladuras de impulsión
3	Cubierta de presión	4	Eje
5	Soporte de cojinetes	6	Tubuladuras de aspiración
7	Rodete	8	Cierre del eje
9	Cojinete, lado de la bomba	10	Cojinete, lado del motor

El líquido de bombeo penetra a través de la tubuladora de aspiración (6) de modo axial en la bomba, y el giro del rodete (7) lo conduce por aceleración hacia afuera. En el perfil de caudal de la carcasa de la bomba, la energía generada por la velocidad del líquido de bombeo se transforma en presión, el líquido de bombeo es conducido a la tubuladora de impulsión (2) y sale de la bomba a través de ella. El anillo partido (1) impide que el caudal de retorno del líquido de bombeo salga de la carcasa para ir a



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

parar a la tubuladora de aspiración. El sistema hidráulico está limitado en el lado de impulsión del rodete mediante una cubierta de presión (3) a través de la que pasa el eje (4). El paso del eje a través de la tapa esta estanqueizado al exterior con un cierre del eje (8). El eje se aloja en los rodamientos (9 y 10) incluidos en un soporte de cojinetes (5) conectado, a su vez, con la carcasa de la bomba o con la cubierta de presión.

La bomba queda hermetizada a través de dos cierres mecánicos colocados uno tras otro e independientes del sentido de giro. Un depósito de líquido lubricante entre las juntas sirve para la refrigeración y lubricación de los cierres mecánicos.

### 4.3 TIPOS DE RODETE DE LAS BOMBAS KSB

Existen diferentes tipos de rodete, eso depende del líquido bombeado. En la tabla se describe los tipos de rodete y sus aplicaciones.

Tabla 4. Tipos de forma de rodete para bomba KSB según el líquido bombeado.

	<p>Rodete con dispositivo de corte (forma del rodete S)</p>	<p>Uso para los siguientes líquidos de bombeo: aguas fecales, aguas residuales domésticas y aguas sucias con componentes con fibras largas</p>
	<p>Impulsor de caudal libre (forma del rodete F)</p>	<p>Uso para los siguientes líquidos de bombeo: líquidos de bombeo con partículas sólidas y mezclas acumulativas, así como burbujas de gas y de aire</p>
	<p>Rodete monocanal cerrado (forma del rodete E)</p>	<p>Uso para los siguientes líquidos de bombeo: líquidos de bombeo con partículas sólidas y mezclas acumulativas</p>
	<p>Rodete multicanal cerrado (forma del rodete K)</p>	<p>Uso para los siguientes líquidos de bombeo: líquidos de bombeo sucios, con partículas sólidas, pero que no contengan gases ni formen acumulaciones</p>

## 4.4 DENOMINACIÓN DE LA BOMBA KSB

Como se describe en el nombre del proyecto, la bomba en que basamos este proyecto es de la marca KSB, esta marca de motobombas se caracteriza en dar mucha información en el nombre de la bomba, tal es el caso de la bomba que estudiaremos.

Nombre de la bomba: ***KRT K 200-330/504UG-S***

Tabla 5. Explicación de la denominación de la bomba sumergible KSB

abreviatura	valor
KRT	Serie
K	Forma del rodete
200	Diámetro nominal de las Tubuladuras de impulsión (DN) [mm]
330	Max. Diámetro nominal del rodete [mm]
50	Tamaño del motor
4	Numero de polos
U	Versión de motor, U=versión estándar
G	Tipo de material/variante, G=bomba de fundición gris completa
S	Montaje, S=instalación estacionaria en zona húmeda sin sistema de refrigeración

## 4.5 PLACA DE CARACTERÍSTICAS

Figura 34. Placa de la bomba KSB



Tabla 6. Nombres de las características de la bomba KSB

1	Denominación	2	Numero de pedido KSB
3	Volumen de bombeo	4	Tipo de protección
5	Tensión asignada	6	Factor de potencia en el punto asignado
7	Corriente asignada	8	Profundidad de inmersión máxima
9	Año de construcción	10	Altura de bombeo
11	Tipo de motor	12	Revoluciones asignadas
13	Temperatura máxima del líquido de bombeo y ambiente	14	Corriente de encendido
15	Modo de funcionamiento	16	Frecuencia asignada

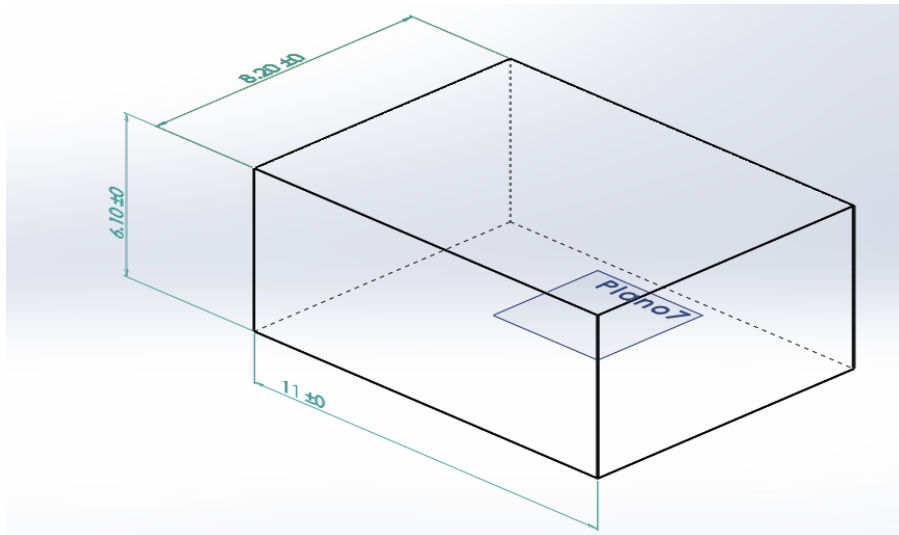
## 4.6 CALCULO DE VOLÚMENES

Para conocimiento previo se procede a calcular el volumen de cada sección en donde se encuentra la bomba sumergida. Cuenta con dos compartimientos, la sección del cárcamo de recirculación y el cárcamo de elevación, este último es donde se encuentra la bomba, para tener una idea de cómo esta compartido dichas secciones ver en el anexo

### 4.6.1 CÁRCAMO DE ELEVACIÓN

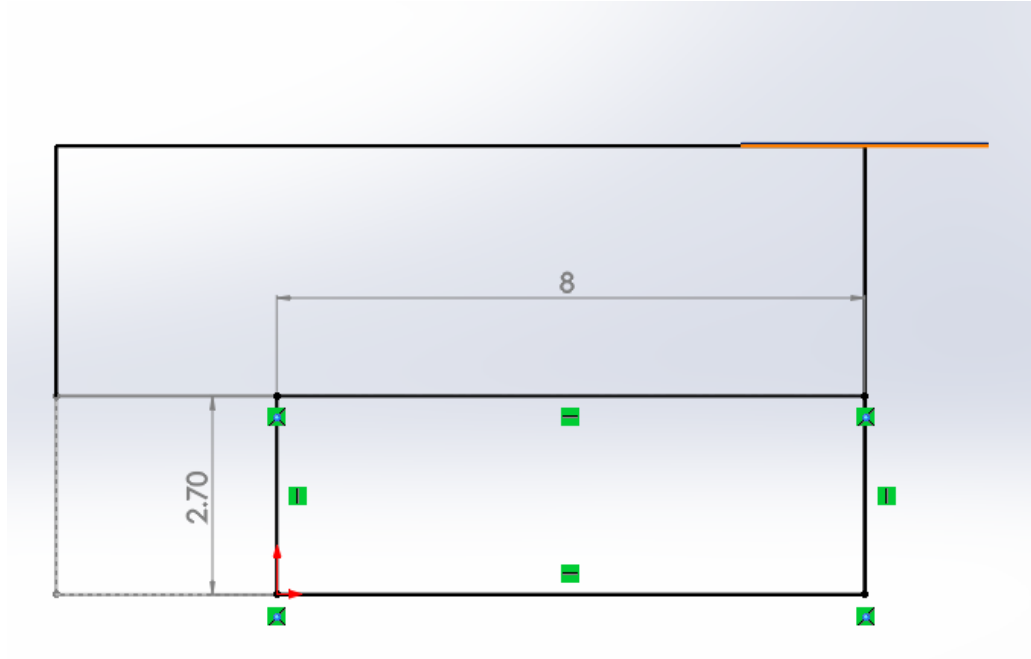
Considerando que los cárcamos donde se encuentran las bombas tiene una forma rectangular, tenemos que:

Figura 35. Dimensiones del cárcamo de elevación y de recirculación.



$$volumen_{max} = 11.20m \times 6.10m \times 8.2m = 560.224m^3$$

Figura 36. Muestra la vista lateral del cárcamo de elevación donde se encuentra la



Con base a la figura 36 se procede a calcular el volumen mínimo de líquido que tendrá el cárcamo de elevación.

$$volumen_{min} = 8m \times 2.7m \times 8.2m = 177.12m^3$$

#### 4.7 CÁLCULO DE PERDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS DE SUCCIÓN.

Debido a que la bomba que estamos estudiando se encuentra sumergida en el líquido de bombeo, esta no presentara perdidas primarias ni perdidas secundarias.

## 4.8 CÁLCULO DE LA ALTURA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN DISPONIBLE ( $NPSH_d$ )

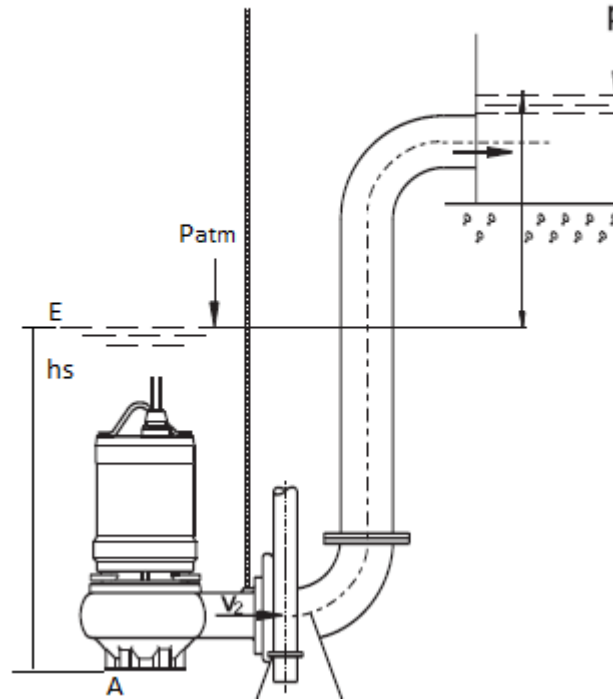
Para el cálculo de la altura neta positiva de succión (NPSH) se necesita los siguientes datos.

Tabla 7. Datos para el cálculo del NPSH

$P_{atm}$	$10.033 \frac{kg}{cm^2} = 101.303 \text{ kPa}$
$P_s$	$0.0327 \frac{kg}{cm^2} @25^\circ C = 3.2068 \text{ kPa}$  $0.0439 \frac{kg}{cm^2} @30^\circ C = 4.3051 \text{ kPa}$
$\rho$	$997.1 \frac{kg}{m^3} @25^\circ c$  $995.7 \frac{kg}{m^3} @30^\circ c$
gravedad	$9.806 \frac{m}{s^2}$
altura máxima (E)	6 metros
altura minina (E)	3 metros

Para el cálculo de la presión en el punto A se necesita dos presiones, uno cuando el nivel del cárcamo este lleno y otra cuando el nivel del cárcamo este a su mínimo nivel, para esto en la tabla determinación la altura máxima y minina, denominada punto E (ver figura 37)

Figura 37. Determinación de la altura de aspiración de una bomba.



Calculando  $P_A$  cuando la altura máxima sea de 6 metros y la densidad a 25°C

Teniendo  $P_A = \rho g h_{max}$

Por lo tanto

$$P_A = \left(997.1 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right) (6m) = 58,665 \frac{N}{m^2}$$

Para cuando la densidad sea de 30°C

$$P_A = \left(995.7 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right) (6m) = 58,583 \frac{N}{m^2}$$

También se calcula cuando el nivel del agua este mínimo y densidades a 25°C, 30°C.

$$P_A = \left(997.1 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right) (3m) = 29,332 \frac{N}{m^2}$$



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Calculando la  $P_A$  cuando el nivel sea de 3 metros

$$P_A = \left(995.7 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right) (3m) = 29,291 \frac{N}{m^2}$$

Tabla 8. Presiones en el punto A con diferentes alturas y densidades

$P_A$ @25°C y altura máxima	$58,665 \frac{N}{m^2}$
$P_A$ @25°C y altura minina	$29,332 \frac{N}{m^2}$
$P_A$ @30°C y altura máxima	$58,583 \frac{N}{m^2}$
$P_A$ @30°C y altura mínima	$29,291 \frac{N}{m^2}$

De la ecuación 24 tenemos que

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_{atm} + P_A - P_S}{\rho g} - H_s - H_{rA-E}$$

Donde  $H_{rA-E} = 0$  debido que no tenemos perdida y  $H_s$  es positivo ya que se encuentra por encima del punto del rodete de la bomba tenemos

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_{atm} + P_A - P_S}{\rho g} + H_s$$

Para cuando la densidad sea de 25°C

$$NPSH_{disponible} = \frac{101,303 \frac{N}{m^2} + 58,665 \frac{N}{m^2} - 3,206.8 \frac{N}{m^2}}{\left(997.1 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} + 6m$$

$$NPSH_{disponible} = \frac{156,761 \frac{N}{m^2}}{9777 \frac{N}{m^3}} + 6m = 16.03m + 6m = 22.03m$$

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Para cuando sea la altura mínima, tenemos

$$NPSH_{disponible} = \frac{101,303 \frac{N}{m^2} + 29,332 \frac{N}{m^2} - 3,206.8 \frac{N}{m^2}}{(997.1 \frac{kg}{m^3})(9.806 m/s^2)} + 3m$$

$$NPSH_{disponible} = \frac{127,428 \frac{N}{m^2}}{9777 \frac{N}{m^3}} + 3m = 13.03m + 3m = 16.03m$$

Para cuando la densidad sea de 30°C tenemos;

$$NPSH_{disponible} = \frac{101,303 \frac{N}{m^2} + 58,583 \frac{N}{m^2} - 4,305.1 \frac{N}{m^2}}{(995.7 \frac{kg}{m^3})(9.806 m/s^2)} + 6m$$

$$NPSH_{disponible} = \frac{155,581 \frac{N}{m^2}}{9,764 \frac{N}{m^3}} + 6m = 15.9m + 6m = 21.9m$$

De igual manera se procede a calcular el NPSH disponible para la altura mínima;

$$NPSH_{disponible} = \frac{101,303 \frac{N}{m^2} + 29,291 \frac{N}{m^2} - 4,305.1 \frac{N}{m^2}}{(995.7 \frac{kg}{m^3})(9.806 \frac{m}{s^2})} + 3m$$

$$NPSH_{disponible} = \frac{126,289 \frac{N}{m^2}}{(9,763.8 \frac{N}{m^3})} + 3m = 12.9m + 3m = 15.9m$$

## 4.9 CÁLCULO DE LA ALTURA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN REQUERIDO ( $NPSH_r$ )

El fabricante de la bomba sumergible KSB muestra una gráfica del NPSH requerido en función del caudal, por lo tanto verificando la gráfica del fabricante tendremos su  $NPSH_r$ , (ver figura 38)

Aquí procederemos a calcular el  $NPSH_r$ , con la ecuación 26 tenemos que;

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{P_A - P_S}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} \right)$$

donde  $V_A$  es la velocidad en la entrada del impulsor.

Primeramente, calculamos la velocidad en el flange del impulsor

Tenemos que;

$V_A = \frac{4Q}{\pi d^2}$  donde  $d$  es el diámetro de flange y es de 200mm y un caudal de 172.22 L/s

$$Q = 172.22 \frac{L}{s} \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) = 0.17222 \frac{m^3}{s}$$

Por lo que tenemos que;

$$V_A = \frac{4 \left( \frac{0.17222m^3}{s} \right)}{\pi(0.2m)^2} = 5.48 \frac{m}{s}$$

Calculando el NPSH requerido cuando la densidad sea de 25°C y altura máxima

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{58,665 \frac{N}{m^2} - 3,206.8 \frac{N}{m^2}}{\left( 997.1 \frac{kg}{m^3} \right) \left( 9.806 \frac{m}{s^2} \right)} + \frac{(5.48)^2_A}{2 \left( 9.806 \frac{m}{s^2} \right)} \right)$$

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{55,458.2 \frac{N}{m^2}}{\left( 9777.56 \frac{kg}{m^3} \right)} + \frac{30.0304 \frac{m^2}{s^2}}{\left( 19.612 \frac{m}{s^2} \right)} \right) = 5.67m + 1.5m = 7.17m$$

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Para una altura mínima tenemos que;

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{29,332 \frac{N}{m^2} - 3,206.8 \frac{N}{m^2}}{\left(997.1 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} + \frac{(5.48)_A^2}{2 \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} \right)$$

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{26,125.2 \frac{N}{m^2}}{\left(9777.56 \frac{kg}{m^3}\right)} + \frac{30.0304 \frac{m^2}{s^2}}{\left(19.612 \frac{m}{s^2}\right)} \right) = 2.67m + 1.5m = 4.17m$$

Ahora procederemos a calcular cuando la densidad sea de 30°C y altura máxima.

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{58,583 \frac{N}{m^2} - 4,305.1 \frac{N}{m^2}}{\left(995.7 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} + \frac{(5.48)_A^2}{2 \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} \right)$$

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{54,277.9 \frac{N}{m^2}}{\left(9,763.83 \frac{kg}{m^3}\right)} + \frac{(5.48)_A^2}{2 \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} \right) = 5.56m + 1.5m = 7.06m$$

Para cuando tenga una altura mínima tenemos que;

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{29,291 \frac{N}{m^2} - 4,305.1 \frac{N}{m^2}}{\left(995.7 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} + \frac{(5.48)_A^2}{2 \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} \right)$$

$$NPSH_{necesario} = \left( \frac{24,985.9 \frac{N}{m^2}}{\left(9,763.83 \frac{kg}{m^3}\right)} + \frac{(5.48)_A^2}{2 \left(9.806 \frac{m}{s^2}\right)} \right) = 2.56m + 1.5m = 4.06m$$

Como hemos calculado todas los NPSH tanto como disponible y requeridos, ya podemos plasmar un resultado concreto.

## 4.10 RESULTADOS OBTENIDOS

una vez obtenido los NPSH, se compara los resultados para analizar si la bomba sumergible que estamos estudiando sufre cavitación.

En la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos, tanto cuando el agua se encuentra a diferentes temperaturas, ya que, debido a eso las propiedades cambian constantemente, además de que el flujo de agua es variable, tendremos altura máximas y mínimas.

Tabla 9. Muestra los resultados de NPSH y si la bomba sufre cavitación.

Datos variables	$NPSH_D$	$NPSH_R$	CAVITACIÓN
$P_{A@25^{\circ}C}$ y altura máxima	22.03 m.c.a	7.17 m.c.a	NO
$P_{A@25^{\circ}C}$ y altura mínima	16.03 m.c.a	4.17 m.c.a	NO
$P_{A@30^{\circ}C}$ y altura máxima	21.9 m.c.a	7.06 m.c.a	NO
$P_{A@30^{\circ}C}$ y altura mínima	15.9 m.c.a	4.06 m.c.a	NO

Como se puede observar en la tabla 9, se puede ver que la cavitación no aparece en ninguna de las supuestas densidades, temperaturas y alturas. Si observamos la gráfica del fabricante tenemos que tiene un NPSH requerido mucho menor que el NPSH disponible.



Waste Water  
Submersible Motor Pump

Amarex KRT K 200-330,  $n = 1750$  rpm

Characteristic curves in acc. with ISO 9906-2A.  $n$  = speed

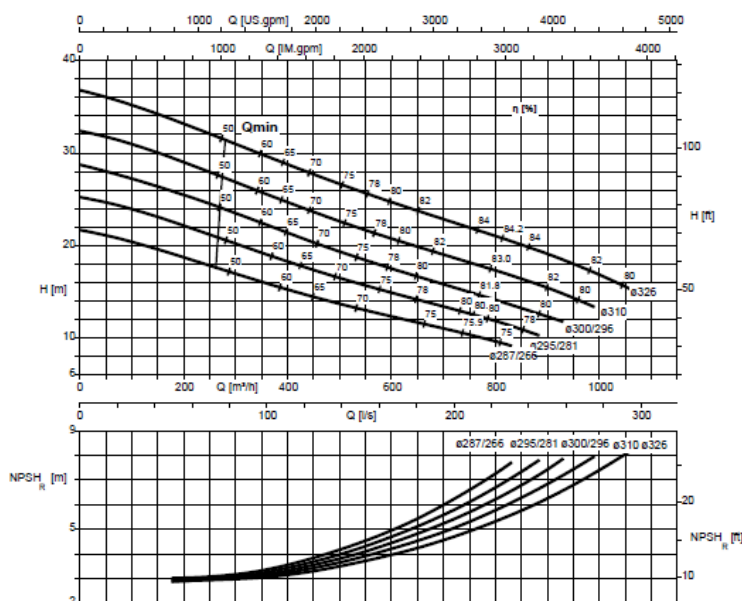


Figura 38. Grafica del NPSH requerido en función del caudal de la bomba sumergible KSB de 1750 rpm.

La bomba cuenta con un caudal de 2730.04 US.GPM o 619.992 metros cúbicos por hora, y teniendo un diámetro minino en el impulsor de 287mm (ver anexo) si tiene el  $NPSH_R$  de 5 metros. Por lo tanto el  $NPSH_D > NPSH_R$

# **CAPÍTULO V**

# **CONCLUSIONES**



## 5.1 CONCLUSIÓN

El fenómeno de cavitación representa, hablando en terminos generales una enfermedad letal al corazon de la bomba (impulsor), que puede destruirlo lentamente o rapidamente, en función de la gravedad de este y del tiempo de operación del equipo.

Referenciando el equipo de bombeo a la vida del ser humano, un mal cuidado y prevención de la salud puede generar la presencia de enfermedades del corazon. Para la bomba, en terminos generales, el unico medio de prevención de la cavitacion, consiste en la correcta seleccion del equipo perfecto para los requerimientos del sistema en que sera instalado, es decir, el equipo perfecto para determinadas características. Un equipo es seleccionado para cubrir los requerimientos de un sistema definido en base a los datos del caudal, carga, potencia, eficiencia, NPSH requerid, tipo de flujo, entre otras consederaciones.

Cuando una bomba presenta cavitación, sucede como en los corazones de los seres humanos, cuando este ya no sirve solo hay 2 opciones: 1) hacer un traspamte de corazón y, 2) sobrellevar la enfermedad y tratar de prolongar los ultimos dias. En los equipos de bombeo solo se puede: 1) hacer el reemplazo del equipo que satisfiga al sistema o, 2) seguir utilizando dicha bomba, procurando controlar la influencias de ciertas variables que propician dicho fenómeno o proceder a cambiar la metalurgia del impulsor para prolongar un poco mas el tiempo de uso, permitiendole tener mas resistencia a la erosión por cavitación.

Para la bomba sumergible KSB tipo KRT K 200-330 que estamos estudiando no presenta el fenómeno de cavitación, ya que matemáticamente comprobamos que el  $NPSH_d$  es mayor que el  $NPSH_r$  de la bomba, expresando los resultados en la tabla 9. Esto quiere decir que la bomba funciona perfectamente sin preocuparse de que sufra disminucion en el caudal o peor, reemplazar la bomba asi avitando gastos elevados para la empresa.

## 5.2 RECOMENDACIONES

### 5.2.1 FACTORES QUE MODIFICAN EL NPSH DISPONIBLE.

Como vimos previamente, mientras mayor es el valor del NPSH disponible en una instalación, menor es el peligro que la bomba entre en régimen de cavitación. Según lo anterior, para obtener valores elevados de NPSH disponible, debemos considerar los siguientes criterios:

- 1) reducir la altura geométrica de succión negativa o aumentar la altura geométrica de succión positiva.
- 2) minimizar las pérdidas de carga en la succión, pues éstas influyen en el cálculo del NPSH disponible. Se recomienda utilizar tuberías cortas; diámetros de tuberías que impliquen bajas velocidades del líquido en la succión; minimizar las pérdidas localizadas, como, por ejemplo, el filtro de succión, válvulas, curvas, etc., pero en este caso en que la bomba es sumergible, no aplica.
- 3) verificar el valor de la presión atmosférica local, pues variando la altitud, variará la presión atmosférica y, por consiguiente, el valor del NPSH disponible. Para bombas instaladas sobre el nivel del mar, debemos considerar una disminución de la presión atmosférica de aproximadamente 0,1 bar para cada 900m de altitud. La temperatura de bombeo tiene influencia sobre la viscosidad, presión de vapor, peso específico, etc., Por consiguiente, variando la temperatura de bombeo, habrá una variación del NPSH disponible. Eventualmente, una misma instalación puede trabajar con más de un tipo líquido. Es necesario verificar el caso crítico, NPSH disponible mínimo, analizando los valores de la presión de vapor, peso específico y viscosidad de los productos.
- 4) cambiar el caudal de operación, implica alterar la pérdida de carga en la succión, consecuentemente el valor del NPSH disponible. Variando la presión en el depósito de la succión, se altera el valor del NPSH disponible.

### 5.2.2 FACTORES QUE MODIFICAN EL NPSH REQUERIDO

Si, por un lado, se busca aumentar el valor de NPSH disponible en una instalación, por otro, se busca disminuir el valor de NPSH requerido. Naturalmente, éste es el objetivo de los fabricantes, pero es interesante para el usuario tener alguna noción del asunto.

El valor del NPSH requerido se disminuye a través de las siguientes maneras:

- 1) reduciendo la pérdida de carga en la entrada de la bomba, a través del diseño en forma hidrodinámica y cuidando el grado de acabado del maquinado.
- 2) reducción de las velocidades absolutas y relativas en la entrada del rodete, aumentando así el área de entrada del rodete, solución no tan simple de ser obtenida, pues existen otros cuidados que deben ser considerados. variando la rotación, pues el NPSH requerido varía con el cuadrado de la rotación.
- 3) uso de un inductor. El inductor no es más que un rodete normalmente axial o de flujo mixto ubicado al frente del rodete convencional de una bomba. El objetivo principal del inductor es funcionar como rodete auxiliar del principal, reduciendo el NPSH requerido por la bomba.

## FUENTE DE INFORMACIÓN

Claudio Mataix, Antonio Figueredo Hurtado (1986) Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas - 2da Edición.

Víctor L. Streeter & E. Benjamín Wylie (1987) Mecánica de los Fluidos - 8va Edición.

Ronald V. Giles, Cheng Liu, Jack B. Evett Lib Mecánica de los Fluidos e Hidráulica (Schaum) 3ra Edición.

Bombas GRUNDFOS España, S.A Manual de bombeo de aguas residuales.

KSB Chile S.A (mayo 2001) Manual de entrenamiento – 1ª edición.

KSB Aktiengesellschaft Frankenthal (2011) Manual de instrucciones de servicio/montaje Amarex KSB. Fecha de consulta: 10 de octubre de 2017.

[www.ksb.com](http://www.ksb.com)

KSB Aktiengesellschaft Frankenthal (2013) Characteristic curves booklet Amarex KRT. Fecha de consulta 13 de noviembre de 2017.

[www.ksb.com](http://www.ksb.com)

KSB Aktiengesellschaft Frankenthal (2013) Type series booklet Amarex KSB. Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017.

[www.ksb.com](http://www.ksb.com)

Franco Balcazar Cruz (2013) Análisis de las variables de la cavitacion en bombas centrífugas horizontales, tesis profesional en ingeniería mecánica, Instituto Politécnico Nacional, Mexico, DF. 101 p.

## ANEXOS

### ANEXO 1.- PERDIDA DE CARGA EN ACCESORIOS

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

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

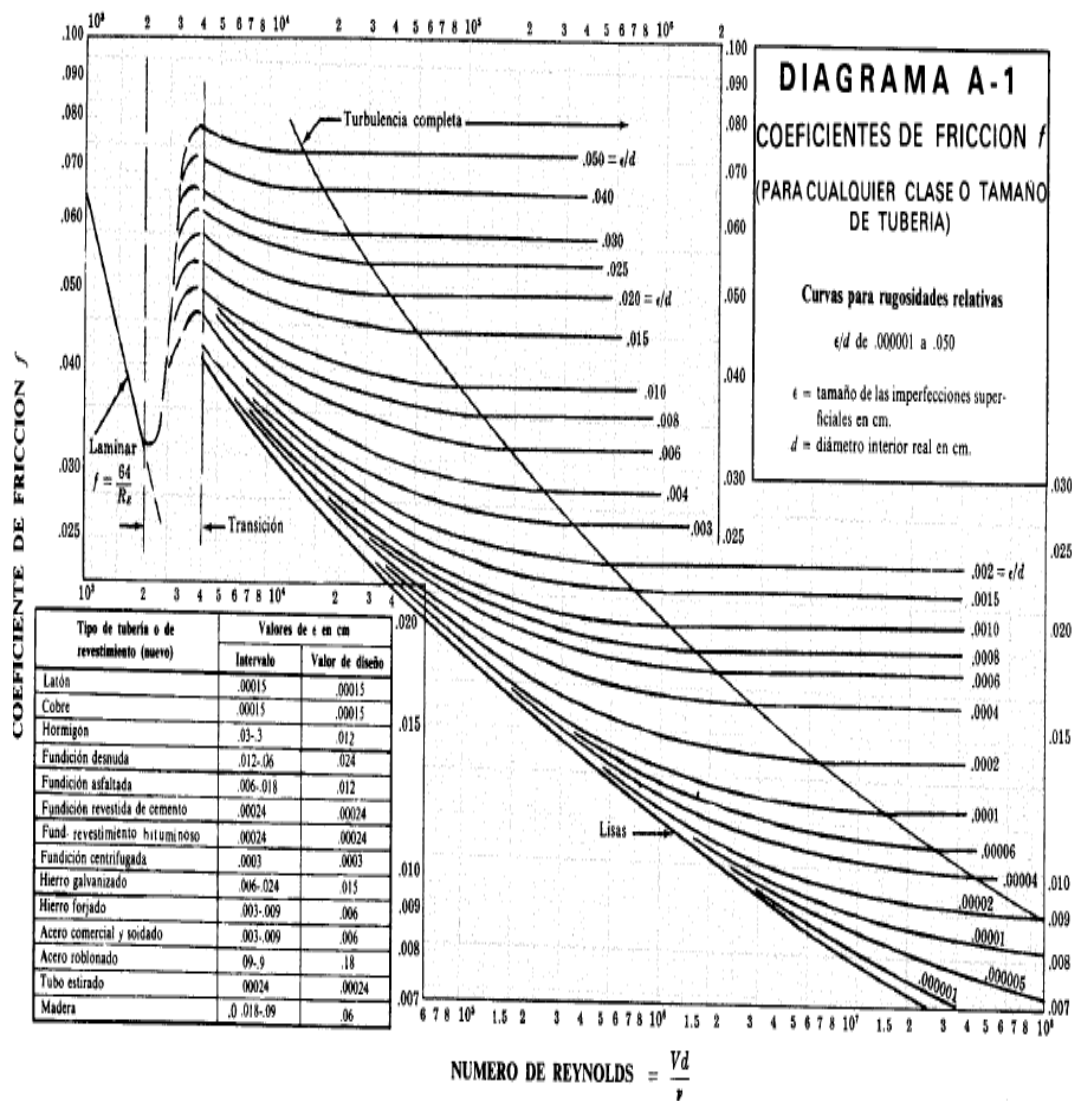
**ANEXO 2.- VALORES DE K**

**VALORES DE  $K^*$**

**Contracciones y ensanchamientos**

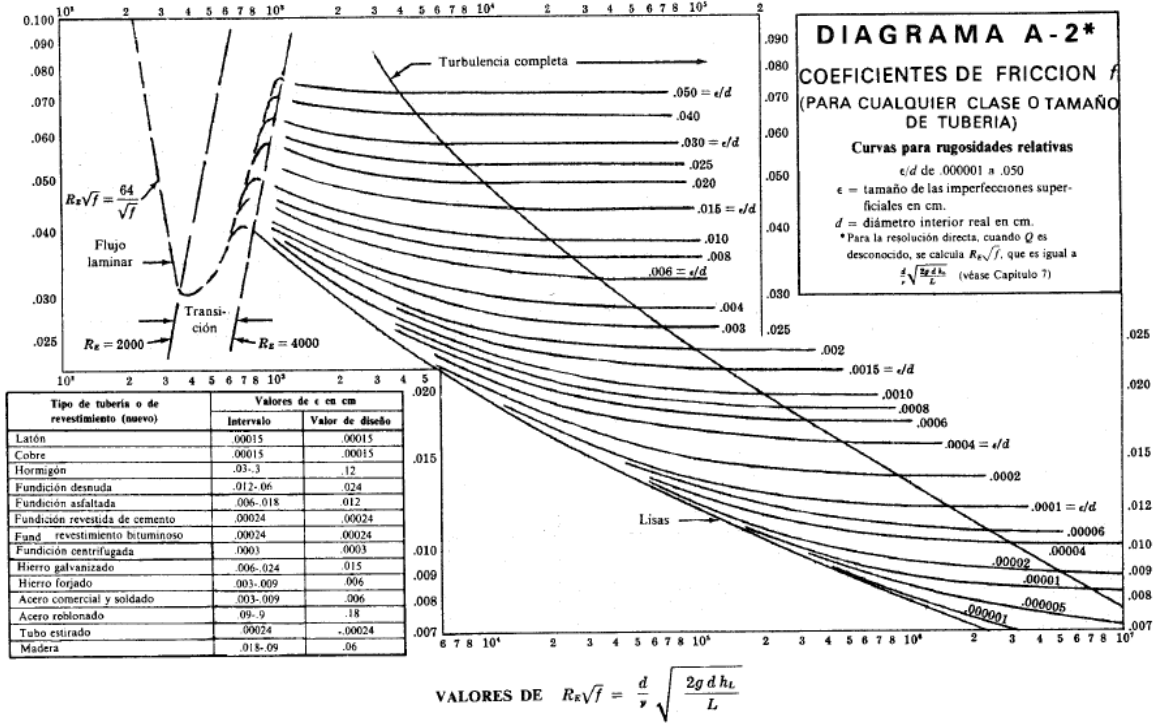
Contracción brusca		Ensanchamiento gradual para un ángulo total del cono						
$d_1/d_2$	$K_c$	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1,2	0,08	0,02	0,04	0,09	0,16	0,25	0,35	0,37
1,4	0,17	0,03	0,06	0,12	0,23	0,36	0,50	0,53
1,6	0,26	0,03	0,07	0,14	0,26	0,42	0,57	0,61
1,8	0,34	0,04	0,07	0,15	0,28	0,44	0,61	0,65
2,0	0,37	0,04	0,07	0,16	0,29	0,46	0,63	0,68
2,5	0,41	0,04	0,08	0,16	0,30	0,48	0,65	0,70
3,0	0,43	0,04	0,08	0,16	0,31	0,48	0,66	0,71
4,0	0,45	0,04	0,08	0,16	0,31	0,49	0,67	0,72
5,0	0,46	0,04	0,08	0,16	0,31	0,50	0,67	0,72

ANEXO 3.- COEFICIENTE DE FRICCIÓN  $f$





### ANEXO 4.- COEFICIENTES DE FRICCIÓN $f$



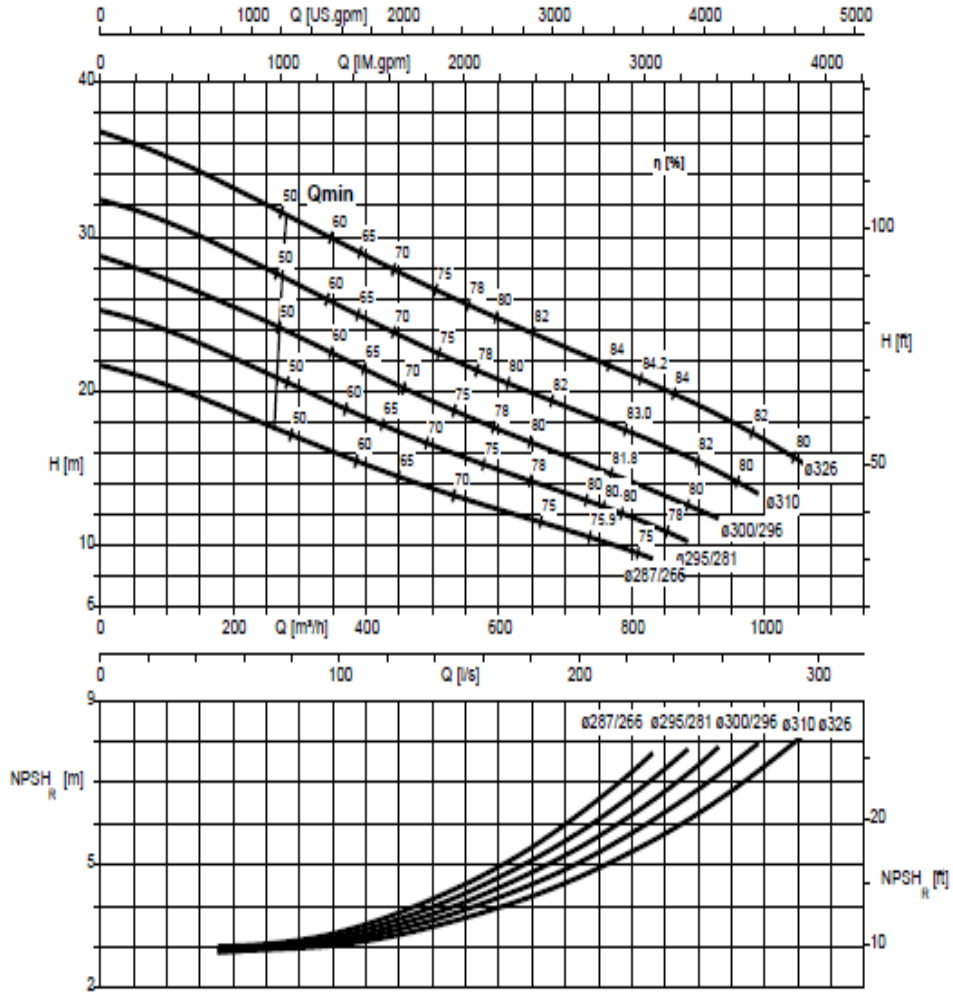
## ANEXO 5.- CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS KSB TIPO KRT K



Waste Water  
Submersible Motor Pump

Size	Material variant	Impeller				Wet installation (installation types S, P)		Mass moment of inertia $J^{40}$ [kgm <sup>2</sup> ]
		Impeller channels	Free pas- sage	Max. impeller diameter	Min. impeller diameter	Max. operat- ing pressure <sup>41)</sup>	Max. test pres- sure	
		Qty.	[mm]	[mm]	[mm]	[bar]	[bar]	
K 150-500	C1, C2	3	60	460	420	8,6	11,2	0,71
K 200-315	H, C1, C2	3	70	295	245	1,9	2,4	0,22
K 200-316	H, C1, C2	2	100	305	265	1,7	2,2	0,22
K 200-330	H, C1, C2	3	70	326	287	5,2	6,8	0,35
K 200-401	H, C1, C2	3	80	404	330	7,1	9,2	0,52
K 200-500	C1, C2	3	76	504	400	9,7	12,6	0,83
K 200-501	C1, C2	2	105	502	450	6,4	8,3	1,68
K 200-631	C1, C2	2	105	622	540	9,8	12,8	4,41
K 250-400	H, C1, C2	3	85	370	300	6,6	8,5	0,5
K 250-401	H, C1, C2	2	105	400	310	6	7,8	0,55
K 250-630	C1, C2	3	90	630	500	10,4	13,5	2,76
K 300-400	H, C1, C2	3	100	408	332	3,5	4,6	0,75
K 300-401	H, C1, C2	2	135	408	367	2,3	2,9	0,75
K 300-420	C1, C2	3	100	408	370	5,6	7,3	0,95
K 300-500	C1, C2	3	90	504	430	6,2	8	1,48
K 300-503	C1, C2	5	50	480	405	8,9	11,6	2,5
K 350-420	C1, C2	3	100	450	387	3,5	4,6	1,22
K 350-500	C1, C2	3	110	508	426	5,7	7,4	3,12
K 350-630	C1, C2	3	135	630	500	7,3	9,4	5,22
K 350-636	C1, C2	5	75	595	510	6,4	8,3	5,42
K 350-710	C1, C2	3	110	730	580	9,4	12,2	10,6
K 400-500	C1, C2	3	130	508	443	3,4	4,5	3,37
K 400-630	C1, C2	3	132	620	546	6,2	8	8,21
K 500-630	C1, C2	3	133	582	520	4,2	5,5	6,11
K 600-520	C1, C2	3	145	532	457	2,4	3,2	7,02
K 600-710	C1, C2	3	165	736	685	4,2	5,5	16,96
K 700-900	C1, C2	3	190	850	738	3,3	4,3	40
K 700-901	C1, C2	3	180	908	760	7,2	9,3	50

**ANEXO 6.- CURVA DE NPSH REQUERIDO DE LA BOMBA KSB TIPO KRT K**



## ANEXO7.- CÁRCAMO DE RECIRCULACIÓN



## ANEXO 8.- CÁRCAMO DE RECIRCULACIÓN 2





## ANEXO 9.- CÁRCAMO DE ELEVACIÓN VISTA LATERAL.



## ANEXO 10.- IMPULSOR DE LA BOMBA KSB



**ANEXO 11.- BOMBA SUMERGIBLE KSB TIPO KRT K 200-330 DE 1750 RPM**

