

# MANUAL DE HIDRÁULICA

2026



SÉPTIMO SEMESTRE 2026

## PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 1:</b> Propiedades de los fluidos
Martes	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 2:</b> Diseño hidráulico para línea de conducción con tubería
Miércoles	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 3:</b> Bombas y caídas de presión
Jueves	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 4:</b> Aplicación de software para hidráulica de canales

**NOTA: LAS HOJAS DE TRABAJO CONTARÁN COMO ASISTENCIA**

### **MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS**

Cada grupo de estudiantes de máximo 5 personas debe de traer el material que se le indica en la siguiente tabla.

No.	Reactivos y Material
1 Lunes	Bata Cuaderno, lapisceros, calculadora Alcohol etílico (de al menos 500 ml) Glicerina Jabón gel “Olimpo” (920 ml) Miel (1000 ml) Varias esferas de distinto material y diámetro. Papel mayordomo Aceite para motor de carro. Aceite de cocina. Balanza semi analítica. Agua destilada.
2 Martes	Lápiz Cuaderno Calculadora
3 Miércoles	Catedrático de laboratorio lo determinara junto a los estudiantes el primer día de laboratorio
4 Jueves	Lápiz Cuaderno Calculadora Computadora Dispositivo móvil

## **INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS**

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio. Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).

**La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.**

Consideré que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **25 de mayo de 2026 a las 8:00 al 29 de mayo de 2026 a la 18:00**.

## **INFORME DE PRÁCTICA**

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resumen de la práctica
- b) Resultados
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **RESUMEN DE LA PRÁCTICA:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- b. **RESULTADOS:** Es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- c. **CONCLUSIONES:** Constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

## **DETALLES FÍSICOS DEL INFORME**

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond **tamaño carta**.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano CON LETRA CLARA Y LEGIBLE, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

### **IMPORTANTE:**

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio **SIN EXCEPCIONES**. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

## PRÁCTICA No. 1

### PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

#### 1. Propósito de la práctica

- 1.1. Determinar la densidad de sustancias líquidas.
- 1.2. Determinar la viscosidad de un fluido.
- 1.3. Comprender los conceptos de tensión superficial, cohesión, adhesión y capilaridad y peso específico.

#### 2. Marco Teórico

##### Masa y Peso

La masa es una medida de la cantidad de materia en un objeto. El peso es la fuerza que ejerce la gravedad sobre el objeto. La unidad SI fundamental de la masa es el kilogramo (kg), pero en la química, es más conveniente usar unidad más pequeña, el gramo (g).

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ gramos} = 1 \times 10^3 \text{ gramos}$$

##### Volumen

El volumen es el espacio que ocupa un cuerpo. La unidad SI de longitud es el metro (m) y la unidad de volumen derivada del SI, es el metro cúbico ( $\text{m}^3$ ). Sin embargo, es común, que se trabajen volúmenes mucho menores, como son el centímetro cúbico ( $\text{cm}^3$ ), y el decímetro cúbico ( $\text{dm}^3$ ). Otra unidad común de volumen es el litro (l). Un litro se define como el volumen que ocupa un decímetro cúbico.

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

##### Densidad

Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido. Su unidad en el Sistema Internacional es kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), aunque frecuentemente también es expresada en  $\text{g/cm}^3$ .

$$\rho = \frac{m}{v}$$

##### Ejemplo 1

¿Cuál es la densidad de un material, si  $30 \text{ cm}^3$  tiene una masa de  $600 \text{ g}$ ?

##### Solución:

De los datos del problema sabemos que:

$$m = 600 \text{ g.}$$

$$V = 30 \text{ cm}^3$$

Reemplazando los datos en la fórmula

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{600 \text{ g}}{30 \text{ cm}^3} = 20 \text{ g/cm}^3$$

## Ejemplo 2

La densidad del agua es 1.0 g/cm<sup>3</sup>. ¿Qué volumen ocupara una masa de 3000 g?

### Solución:

Los datos del problema son:

$$\rho = 1 \text{ g / cm}^3$$

$$m = 3000 \text{ g}$$

Despejando el volumen de la fórmula de densidad y sustituyendo los datos en la fórmula

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{3000 \text{ g}}{1 \text{ g/cm}^3} = 3000 \text{ cm}^3$$

## Determinación de peso específico de los fluidos

La masa del fluido resultante se multiplica por el valor de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$$\gamma = \rho * g$$

## Viscosidad

Los gases y los líquidos tienen una propiedad conocida como la viscosidad, la cual se puede definir como la resistencia que poseen algunos líquidos durante su fluidez y deformación, resultante de los efectos combinados de la cohesión y la adherencia. La viscosidad se produce por el efecto de corte o deslizamiento resultante del movimiento de una capa de fluido con respecto a otro y es completamente distinta de la atracción molecular. Se puede considerar como causada por la fricción interna de las moléculas.

### Tipos de viscosidad:

a) **Viscosidad Dinámica:** Es la relación entre la viscosidad Cinemática con la densidad de masa. En el Sistema Internacional se mide en Pascales por segundo.

$$\mu = \frac{g*D^2}{18*V*Z} * (\rho_e - \rho_f) \quad \text{Fórmula de Stokes}$$

#### Donde:

v = Velocidad Límite (m/s)

$\nu$  = Viscosidad dinámica ((N/m<sup>2</sup>) \*seg) = Pa \* s

$\rho_e$  = Densidad de la esfera (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_f$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

D = Diámetro de la esfera (m)

g = Gravedad (9.8m/s<sup>2</sup>)

Z = Valor de corrección en función del diámetro de la esfera y el diámetro de la probeta.

**b) Viscosidad Cinemática:** La viscosidad cinemática es una medida de la resistencia interna de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales. El informe de viscosidad sólo es válido cuando también se informa la temperatura a la que se realizó la prueba.

En el Sistema Internacional se mide en metros cuadrados sobre segundo ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica (Pa-s)

$\rho$  = Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\nu$  = Viscosidad Cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

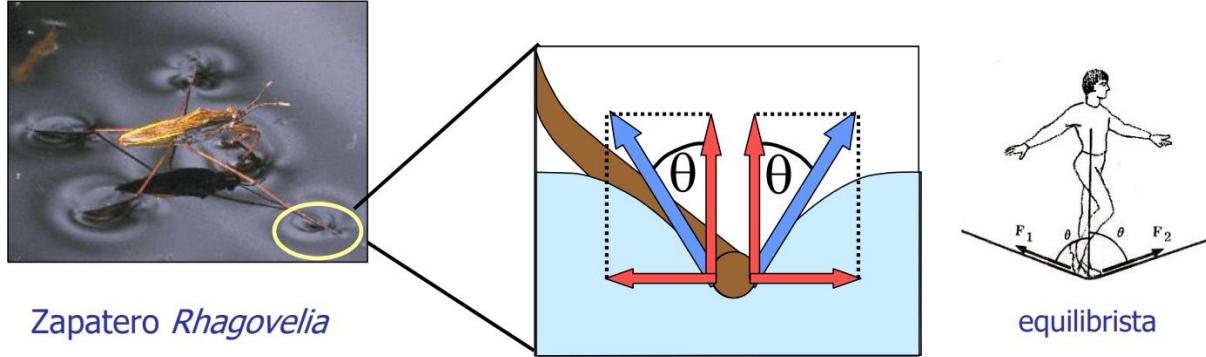
### Tensión Superficial

La tensión superficial mide las fuerzas internas que hay que vencer para poder expandir el área superficial de un líquido. La energía necesaria para crear una nueva área superficial, trasladando las moléculas de la masa líquida a la superficie de la misma, es lo que se llama tensión superficial. A mayor tensión superficial, mayor es la energía necesaria para transformar las moléculas interiores del líquido a moléculas superficiales. El agua tiene una alta tensión superficial, por los puentes de hidrógeno.

La tensión superficial explica la forma esférica de las gotas de los líquidos. Las gotas de lluvia, las gotas de aceite y las gotas de un metal fundido que caen son esféricas, porque sus superficies tienden a contraerse y a hacer que cada gota adopte la forma que tenga la mínima superficie. Esa forma es la esfera, la figura geométrica que tiene la superficie mínima para determinado volumen. Por esta razón las gotas de niebla y de rocío en las telarañas, o en las gotas de las hojas aterciopeladas de las plantas son casi esféricas. (Cuanto más grandes sean, la gravedad las aplana más).

### Ejemplos de tensión superficial:

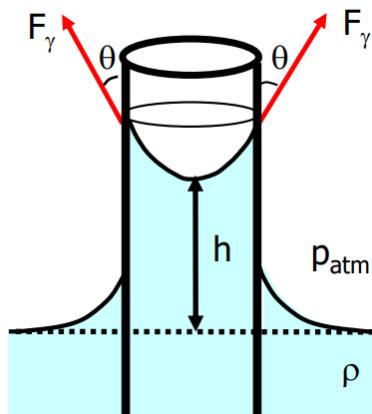
- Los insectos ligeros (como los zapateros o zancudos) pueden caminar encima del agua debido a la tensión superficial del agua en un estanque
- Igualmente, una aguja ligera también puede flotar en el agua
- El polvo que cae al agua no se hunde debido a la tensión superficial (a menos que se agite)
- Las pompas de jabón tienen una forma esférica gracias a la tensión superficial que la mantiene cohesionada
- Capa de nata flotando en la superficie de una taza de leche
- Burbujas de aire en una bebida gaseosa
- Las gotas de agua en una superficie no se expanden indefinidamente debido a la tensión superficial
- Los detergentes ayudan a disminuir la tensión superficial del agua y así hacer que esta acceda mejor a los tejidos de la ropa para limpiarla
- El agua caliente lava mejor pues su tensión superficial es menor que la del agua fría
- En la prueba de la ictericia se mide la tensión superficial de la orina



## Capilaridad

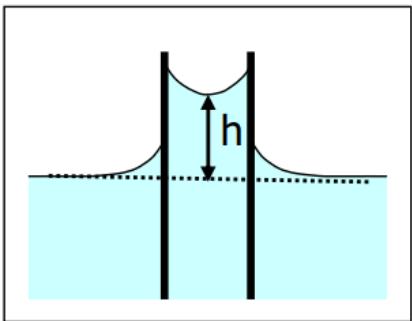
La capilaridad es una propiedad física del agua por la que ella puede avanzar a través de una cana minúscula (desde unos milímetros hasta micras de tamaño) siempre y cuando el agua se encuentre en contacto con ambas paredes de este canal y estas paredes se encuentren suficientemente juntas. Esta propiedad la conocemos todos pues es perfectamente visible cuando ponemos en contacto un terrón de azúcar con el café. El agua del café "invade" en pocos segundos los pequeños espacios de aire que quedan entre los minúsculos cristales de sacarosa del azucarillo. Pues bien, esta misma propiedad es la que distribuye el agua por el micro-espacio de aire que queda entre las partículas del suelo o sustrato. Allí queda el agua retenida hasta que finalmente es encontrada por las raíces de las plantas siendo absorbida por unos pelillos que tienen las mismas, que son los encargados de cumplir con esta misión de absorción. La capilaridad, es pues, el principio natural por el que el agua circula a través del suelo de nuestros campos y bosques y nutre a todas las plantas de la tierra.

Dependiendo del ángulo de contacto, puede ocurrir que el líquido ascienda ( $\theta < 90^\circ$ ) o descienda ( $\theta > 90^\circ$ ) por un tubo estrecho (capilar) una cierta altura  $h$ , lo que se denomina capilaridad o acción capilar.



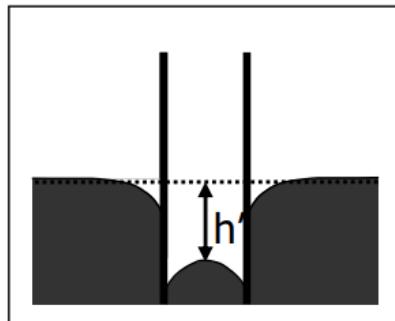
En efecto: en el equilibrio, el peso de la columna de líquido se compensará con la componente vertical de las fuerzas de cohesión  $F_\gamma \cos \theta$  (debida a la tensión superficial  $\gamma$ ). Las fuerzas de adhesión no intervienen (son perpendiculares a la superficie del tubo).

Líquido que moja ( $\theta < 90^\circ$ )



Asciende una altura h

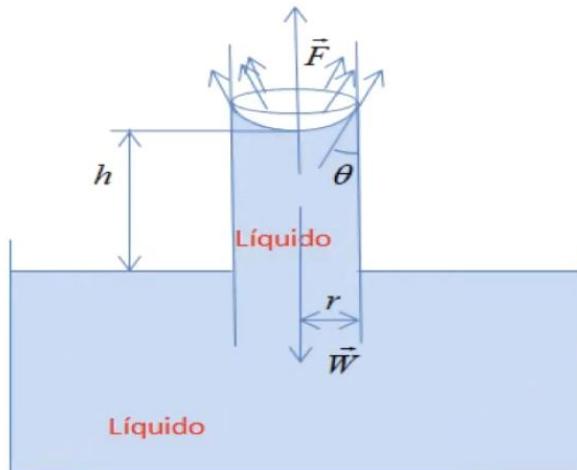
Líquido que no moja ( $\theta > 90^\circ$ )



Desciende una altura h'

### Ley de Jurin

Define la altura que se alcanzará cuando se equilibre el peso de la columna de líquido y la fuerza de ascensión por capilaridad.



La altura h en metros de una columna líquida está dada por la ecuación:

$$h = \frac{2 \gamma_{lv} \cos \theta}{r \rho g}$$

Donde:

$h$  = altura (m)

$\gamma_{lv}$  = Tensión Superficial (N/m)

$\theta$  = ángulo de contacto entre el líquido y la pared del tubo (en grados)

$\rho$  = densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$r$  = Radio del tubo (m)

$g$  = gravedad (9.81  $\frac{m}{s^2}$ )

## Ejemplo

Si se inserta un tubo de vidrio de 0.6 mm de diámetro en agua a 20°C que está en una copa. Determine el ascenso por capilaridad del agua en un tubo. (Considere  $\gamma = 0.073 \text{ N/m}$  y que el ángulo de contacto es de 0°)

Datos:

Radio: 0.3mm = 0.0003 m

Tensión superficial =  $\gamma = 0.073 \text{ N/m}$

$$\rho = \text{densidad del agua a } 20^\circ = 998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h = \frac{2 \gamma_{lv} \cos \theta}{r \rho g}$$

$$h = \frac{2 \left( 0.073 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) * \cos 0}{0.0003 \text{ m} * 998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h = 0.0496 \text{ m} = 4.96 \text{ cm}$$

## Cohesión

Atracción que tienen las moléculas por otras de su mismo tipo, y las moléculas de agua tienen fuerzas cohesivas fuertes gracias a su habilidad para formar puentes de hidrógeno.

## Adhesión

Es la atracción de moléculas de un tipo por moléculas de otro tipo, y para el agua puede ser bastante fuerte, especialmente cuando las otras moléculas tienen cargas positivas o negativas.

## Peso específico

El peso específico de un cuerpo sólido o líquido es el peso de la unidad de volumen; hay que tener cuidado con la definición tratándose por ejemplo de fluidos de gases, con temperatura o presión variable, tienen un volumen distinto, cosa que no ocurre con los sólidos y líquidos pues los consideramos prácticamente incompresibles y por eso al tratar con el peso específico de los gases debe mencionarse si es temperatura o presión constante.

En el sistema métrico, el peso unidad es el kilogramo, peso y la unidad de volumen es el metro cúbico.

El peso específico del agua en el sistema métrico es pues el peso de un metro cúbico de agua.

1 litro = 100 cm<sup>3</sup>

Unidades = kg/m<sup>3</sup>

H<sub>2</sub>O = 1000 kg/m<sup>3</sup>

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

### Desarrollo de la práctica de densidad

1. Medir la masa de la probeta vacía.
2. Verter agua en la probeta hasta los 10 ml, si es necesario utilice una piseta para establecer el menisco en la marca deseada. Importante, el menisco del agua debe quedar tangente a la marca del volumen que se desea. Tenga cuidado que sus ojos estén a la misma altura del nivel del líquido para disminuir los errores asociados al proceso de medición.
3. Una vez determinado el volumen, mida la masa de la probeta con el agua en la balanza, registrar la masa.
4. Sin vaciar la probeta, agregue agua hasta un volumen de 30 ml, registrar la masa.
5. Repetir la operación anterior para un volumen de 50 ml, anote el resultado.
6. Determinar la densidad.
7. Repetir los pasos del 1 al 6 con vinagre y luego con glicerina.

### Interpretación de resultados

- Calcule la densidad del agua.
- Calcule la densidad del alcohol.
- Calcule la densidad de la glicerina.

### Desarrollo de la práctica de peso específico

1. Pesar la probeta sola.
2. Medir el volumen del fluido con la probeta.
3. Masa del fluido más la probeta.
4. A la masa del fluido con el recipiente, se le resta la masa del recipiente, la cual nos dará la masa del fluido

Masa de la probeta de 100 ml = \_\_\_\_\_ gr

Masa de la probeta + peso del fluido 20 ml = \_\_\_\_\_ gr

Se restan ambos resultados

Masa del fluido: \_\_\_\_\_ gr

## Determinar el peso específico de los siguientes fluidos

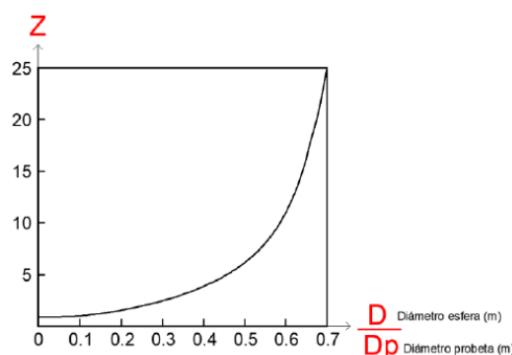
**Tabla 1. Propiedades de los fluidos.**

FLUIDO	M (kg)	V (m <sup>3</sup> )	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )
AGUA DESTILADA				
ACEITE PARA MOTOR				
GLICERINA				
ACEITE COMESTIBLE				

Gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>)

### Desarrollo de la práctica de viscosidad

1. Medir el diámetro de 3 canicas e identificarlas visualmente a cada una. Anotar los diámetros en el instrumento de la práctica (tabla de resultados).
2. Calcular el volumen de cada esfera y anotarlos.
3. Medir la masa de la esfera con ayuda de la balanza.
4. Calcular la densidad de cada esfera a partir de su masa y su volumen.
5. Tomar lectura de temperatura del fluido (Miel)
6. Determinar la densidad de la miel, con el mismo procedimiento anterior.
7. En los extremos de la probeta se debe realizar una marca que se vea claramente, la marca superior será el inicio de la velocidad límite y la marca inferior será el final del recorrido de la esfera.
8. Pulsar el botón que pone en marcha el cronómetro, cuando la esfera pase por la marca superior.
9. Observar el desplazamiento de la esfera por la columna de fluido.
10. Cuando la esfera pase por la marca inferior, pulsar el botón que detiene el cronómetro.
11. Calcular la viscosidad
12. Repetir los pasos del 1 al 11 con el jabón gel.
13. Calculamos la diferencia de tiempos y la velocidad para cada prueba con las canicas.
14. Con ayuda de la gráfica de corrección calculamos el valor de ajuste para la velocidad (z), esta parte irá incluida en resultados.



Gráfica del valor de Corrección z

15. Calculamos la viscosidad de los fluidos con la fórmula de Stokes.

**Nota:**

- Realizar estas mediciones en lo posible para distintos materiales y tamaños de esferas.

**Tabla 2. Propiedades de las esferas.**

Canica No.	Diámetro (en cm)	Radio (en cm)	Volumen $4/3\pi r^3$ (en cm <sup>3</sup> )	Masa (gramos, si es necesario realice conversión)	Densidad (Masa/Volumen) (gramos/cm <sup>3</sup> )

**Tabla 3. Propiedades de los fluidos a evaluar.**

Tipo de Fluido	Volumen en recipiente conocido (cm <sup>3</sup> )	Masa del volumen conocido (gramos), de ser necesario haga conversiones.	Densidad (Masa/Volumen) (gramos/cm <sup>3</sup> )
MIEL			
JABON GEL			

**Tabla 4. Propiedades de velocidad en la miel.**

No. de Canica	Tiempo de recorrido entre las marcas (seg)	Velocidad (Dist. entre marcas/Dif. entre tiempos).

**Tabla 5. Propiedades de velocidad en la miel.**

No. de Canica	Tiempo de recorrido entre las marcas (seg)	Velocidad (Dist. entre marcas/Dif. entre tiempos).

**Tabla 6. Corrección z**

Canica No.	Diámetro de la canica D (m)	Diámetro de la canica D (m)	Relación D/Dp	Valor de corrección Z a partir del análisis de la gráfica.

## Resultados

Con los datos obtenidos en los pasos anteriores:

- Calcule la viscosidad cinemática y dinámica de la miel.
- Calcule la viscosidad cinemática y dinámica del jabón gel.

Nota: Debido al uso de 3 canicas; realice un promedio para obtener un resultado de viscosidad cinemática y dinámica por cada fluido utilizado.

## Interpretación de resultados

¿Cuál es la diferencia entre viscosidad dinámica y viscosidad cinemática?

¿Cuál de todas las variables para halla la viscosidad absoluta es la que produce más error en el resultado y por qué? (mínimo 5 líneas).

## HOJA DE TRABAJO No. 1

Conteste los siguientes enunciados:

1. ¿Qué es la tensión superficial?
2. ¿Cuáles son las causas de la tensión superficial?
3. ¿Cómo influye la temperatura a la tensión superficial?
4. ¿Cómo se compara la tensión superficial del agua con los otros líquidos?
5. ¿Cuál es la medición de la tensión superficial del agua?
6. Un fluido tiene una viscosidad dinámica de 0.09 poises y una densidad de  $750 \text{ kg/m}^3$ . Determine su viscosidad cinemática en  $\text{m}^2/\text{s}$ .
7. Si la tensión superficial ( $\gamma$ ) de agua es de  $0.66 \times 10^{-2} \text{ N/m}$  y la densidad registrada es de  $980 \text{ kg/m}^3$  a  $66^\circ\text{C}$ , se introduce un tubo de 1.5 mm de diámetro, el ángulo de contacto que se forma ( $\theta$ ) es de  $0^\circ$ . ¿Cuál es la altura registrada en el tubo?
8. Calcular la masa y el peso de 14500 litros de gasolina. Si la densidad de la gasolina es de  $700 \text{ kg/m}^3$ .
9. Calcular el peso específico del oro cuya densidad es de  $19300 \text{ kg/m}^3$
10. ¿Qué volumen debe tener un tanque para que pueda almacenar 3040 kg de gasolina cuya densidad es de  $680 \text{ kg/m}^3$ ?
11. La densidad del ácido sulfúrico de una batería de automóviles es 1.41 g/mil. Calcule la masa de 242 mil del líquido.
12. Un cubo sólido mide 6.00 cm en cada lado y tiene una masa de 0.583 kg. ¿Cuál es su densidad en  $\text{g/cm}^3$ ?

## PRÁCTICA No. 2

### DISEÑO HIDRÁULICO PARA LÍNEA DE CONDUCCIÓN CON TUBERÍA PVC

#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Determinar los diámetros de la tubería.
- 1.2. Identificar las pérdidas de cargas por fricción en la tubería.
- 1.3. Determinar las longitudes de la tubería.
- 1.4. Determinar las presiones para la línea de conducción.

#### 2. Marco Teórico

##### Red de conducción

##### Captación

Las captaciones son obras que recolectan el agua proveniente de uno o varios manantiales de brotes definidos o difusos. Su función es asegurar bajo cualquier condición de flujo y durante todo el año la captación del caudal provisto.

##### Línea de conducción

Se refiere a la tubería destinada a conducir el agua de la fuente o pozo (captación) al tanque de almacenamiento, misma que está diseñada para trabajar a presión; la línea de conducción será diseñada por bombeo o impulsión.

La línea de conducción debe tomar en cuenta los siguientes preceptos básicos para el cálculo hidráulico:

1. Los diámetros mínimos serán de 38 mm. ( $1\frac{1}{2}$ "). Atendiendo a razones hidráulicas o económicas podrán aceptarse diámetros hasta de 19 mm. ( $\frac{3}{4}$ ").
2. La velocidad deberá encontrarse en el rango de 0.60 m/s y 3.00 m/s; preferiblemente no mayor de 1.5 mts/seg.
3. La tubería será colocada a una profundidad no menor a 0.60 mts y se colocarán anclajes a lo largo de toda la línea de conducción; si la tubería se instala bajo calles de tránsito pesado, la profundidad mínima será de 1.20 mts.
4. Dispositivos especiales:
  - Válvulas de aire en puntos altos, con un diámetro nominal de 12% del diámetro de la conducción; si este valor es menor que el mínimo comercial adquirible, se utilizará este último.
  - Válvulas de limpieza en puntos bajos. Para conducciones menores de 51 mm. (2"), el diámetro de la purga será igual al de la conducción. Para conducciones mayores de 51 mm. (2"), el diámetro de purga será de 51 mm. (2").

##### Tipos de tuberías

Generalmente en sistemas de abastecimiento de agua, se utiliza tubería de policloruro de vinilo (PVC) y de hierro galvanizado (HG). La tubería PVC es una tubería plástica, económica, fácil de transportar y de trabajar. La tubería HG es de acero, recubierta tanto en su interior como en su exterior por zinc, y es utilizada donde se requiera una presión mayor de 175 m.c.a., pasos de zanjón o aéreos.

## **Coeficiente de fricción.**

Cuando se emplea la fórmula de Hazen Williams para el diseño hidráulico con tubería PVC, el coeficiente de fricción C, es de 150, y para tuberías de HG, C = 100.

## **Presiones**

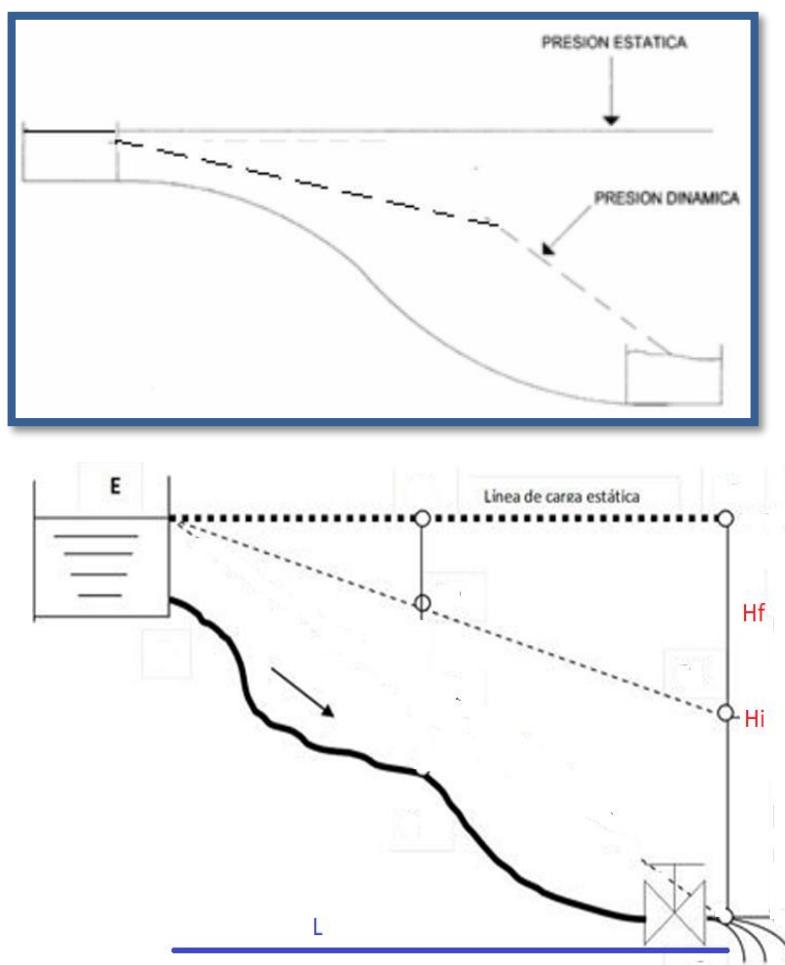
La presión estática se produce cuando todo el líquido en la tubería y en el recipiente que la alimenta está en reposo.

La presión dinámica se produce cuando hay flujo de agua, la presión estática modifica su valor disminuyendo por la resistencia o fricción de las paredes de la tubería.

La cota piezométrica es la máxima presión dinámica en cualquier punto de una línea de conducción o distribución, que alcanzaría una columna de agua si en dicho punto se colocaría un manómetro. Es equivalente a la cota de superficie del agua en el punto de salida, menos la pérdida de carga por fricción que ocurre en la distancia que los separa.

La presión hidrostática en la línea de conducción se recomienda mantenerla, en lo posible, debajo de 80 m.c.a. La máxima presión permisible es de 90 m.c.a

**Figura. Presión estática y dinámica**



- **Hf = Pérdida de carga**
- **Hi = cota piezométrica**
- **L = longitud**

### **Verificación de velocidades**

En todo diseño hidráulico, es necesario revisar la velocidad del líquido, para ver si ésta se encuentra entre los límites recomendados. Para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua con material en suspensión, sedimentable o erosivo, se consideran los límites de velocidad desde 0.60 m/s hasta 3 m/s máxima. Si se trata de agua sin material sedimentable o erosivo, no hay límite inferior y se dará lo que resulte del cálculo hidráulico. El límite superior se fijará solamente en precaución a la sobre presión, que se debe al golpe de ariete.

$$V = 1.974 * Q/D^2$$

Donde:

V = Velocidad (m/s)

Q = Caudal (l/s)

D = Diámetro del tubo (m)

### **Diámetro requerido**

El diámetro requerido de una tubería en una línea de conducción no es un valor fijo, sino que se determina mediante cálculos basados en varios factores clave. No existe un único "diámetro estándar" que funcione para todos los casos, ya que las necesidades varían drásticamente entre una conexión domiciliaria y una línea de conducción principal.

$$D_{req} = \frac{0.71 * Q^{0.38}}{hf\ disponible^{0.21}}$$

Donde:

Q = Caudal medio (l/s)

$$Hf\ disponible = \frac{\text{desnivel del terreno}}{\text{distancia horizontal}}$$

### **Ecuación de Continuidad**

Para determinar el diámetro interno de la tubería se recurre a la ecuación de la continuidad.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\nu}}$$

Para determinar las pérdidas de carga en la tubería, se recurre a la fórmula de Hazen & Williams, la que podemos desglosar de la siguiente manera:

$$k = \frac{10.67 * L}{C^{1.852} D_{req}^{4.87}}$$

$$Hf = k * Q^{1.852}$$

$$Hi = \text{Cota Inicio} - Hf$$

$$P = Hi - \text{Cota salida}$$

Donde:

$D_{req}$ = Diámetro Nominal (m)

$Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$  = velocidad ( $\text{m/s}$ ) Utilizamos el valor más recurrente en pruebas experimentales: 1 m/s

$K$ = Coeficiente de resistencia a la fricción del agua

$C$  = Coeficiente de fricción

$L$  = Longitud (m)

$Hf$ = Pérdida de carga (m)

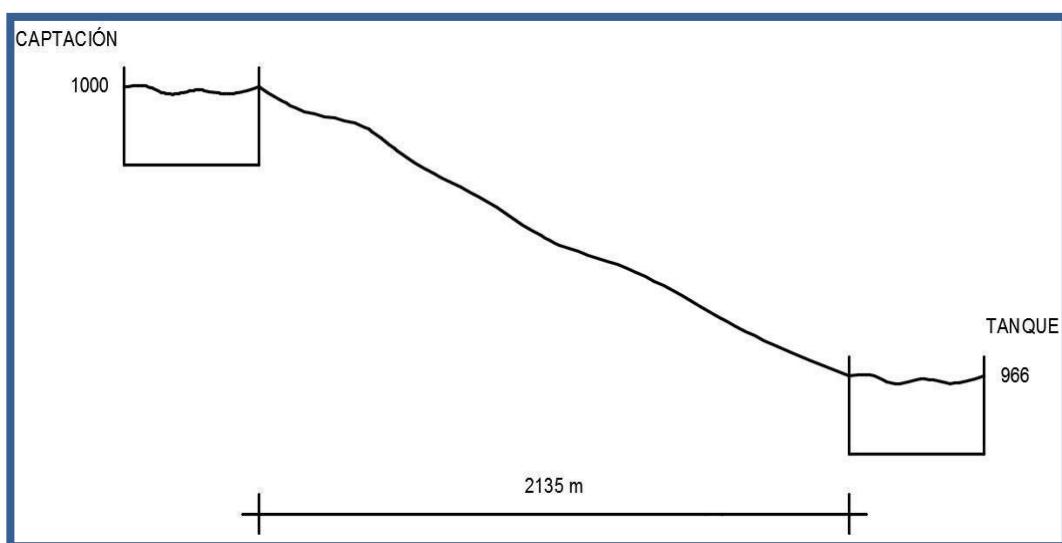
$Hi$ = Cota piezométrica (m)

$P$ = Presión (m.c.a.)

## Desarrollo de la práctica

### Ejemplo

El caudal para abastecer a una población es de 8 L/s el cual debe ser conducido desde la captación, cuya cota es de 1 000 m hacia un tanque de almacenamiento localizado a 2,135 metros y una cota de 966 m. Diseñar la línea de conducción con tubería PVC.



**Datos:**

$Q = 8 \text{ l/seg}$   
 Cota captación = 1000 m  
 Cota tanque = 966 m  
 Longitud de diseño = 2135 m  
 Coeficiente de fricción interna para tubo PVC= 150

**Procedimiento:****Cálculo de los diámetros máximo y mínimo de la tubería**

Diámetro máximo

$$D_{\max} = \sqrt{\frac{4 * 0.008 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0.6 \text{ m/s}}} = 0.1303 \text{ m} = 5.13 \text{ pulg} \approx 5 \text{ pulg.}$$

El diámetro máximo comercial es de 5 pulgadas

Diámetro mínimo

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4 * 0.008 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 3 \text{ m/s}}} = 0.0583 \text{ m} = 2.29 \text{ pulg} \approx 2 \frac{1}{2} \text{ pulg.}$$

El diámetro mínimo comercial es de 2 ½" pulgadas

**Cálculo del No de Cajas rompe presión requeridas**

$$No\ crp = \frac{cota_{captacion} - cota_{reservorio}}{50}$$

$$No\ crp = \frac{1000 - 966}{50} = 0.68$$

No es necesario colocar ninguna caja rompe presión a lo largo de la línea de conducción

**Desnivel del terreno = Hf disponible**

$$Dt = cota_{captacion} - cota_{reservorio}$$

$$Dt = 1000 \text{ m} - 966 \text{ m} = 34 \text{ m}$$

**Hf disponible unitario**

$$Hf = \frac{desnivel\ del\ terreno}{distancia\ horizontal}$$

$$Hf = \frac{34 \text{ m. c. a}}{2135 \text{ m}} = 0.016 \text{ m/m}$$

### Diámetro de tubería requerida

$$D_{req} = \frac{0.71 * Q^{0.38}}{hf \text{ disponible}^{0.21}}$$

$$D_{req} = \frac{0.71 * 8^{0.38}}{0.016^{0.21}} = 3.73 \text{ plg}$$

diámetro elegido = 4 plg

### Velocidad de flujo

$$V = 1.974 * Q/D^2$$

$$V = \frac{1.974 * 8 \text{ l/s}}{(4 \text{ plg})^2} = 0.987 \text{ l/s}$$

Chequeo: 0.60 m/s < 0.987 l/s < 3m/s

### Perdida de carga Hf en el tramo

$$Hf = k * Q^{1.852}$$

$$k = \frac{10.67 * L}{C^{1.852} D_{req}^{4.87}}$$

Datos:

C= 150

Dreq = 4" = 0.1016m

L = 2135 m

Q = 0.008 m3/s

$$k = \frac{10.67 * 2135 \text{ m}}{150^{1.852} (0.1016 \text{ m})^{4.87}} = 145\,837.4054$$

$$Hf = 145\,837.4054 * \left(0.008 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.852} = 19.07 \text{ m}$$

### Cota piezométrica

$$Hi = \text{Cota Inicio} - Hf$$

$$Hi = 1000 \text{ m} - 19.07 \text{ m} = 980.93 \text{ m}$$

### Presión

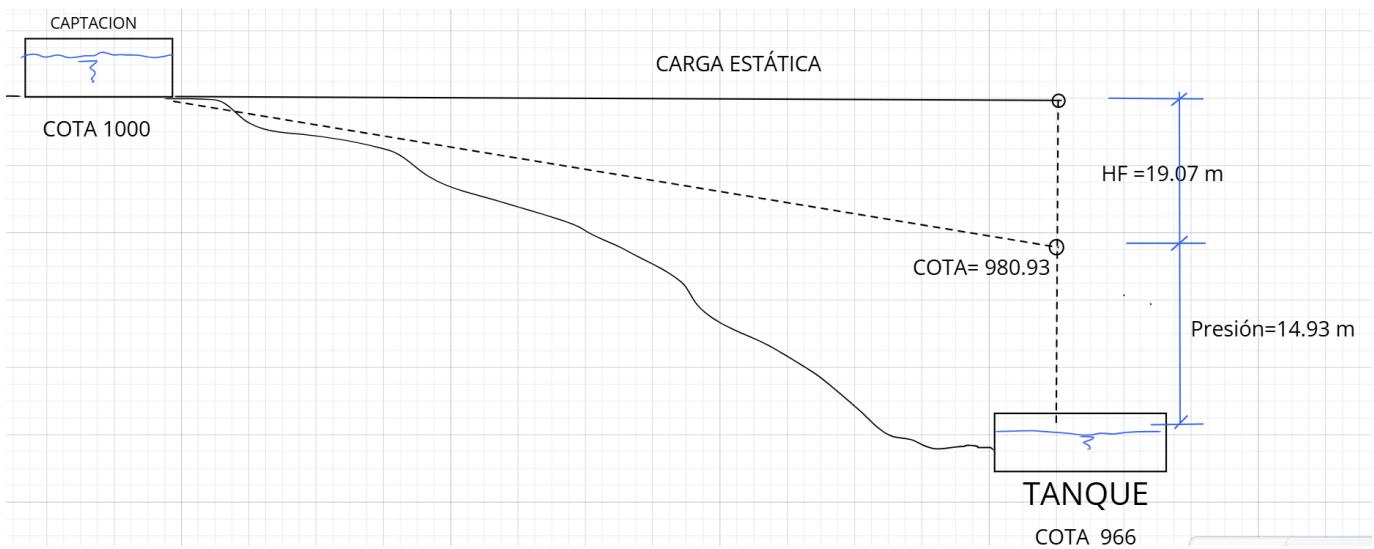
$$P = Hi - \text{Cota salida}$$

$$P = 980.93 \text{ m} - 966 \text{ m}$$

$$P = 14.93 \text{ m. c. a.}$$

$$P = 14.93 \text{ m. c. a.} * \frac{1.422 \text{ PSI}}{1 \text{ m. c. a.}} = 21.23 \text{ PSI}$$

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente ilustración:



## HOJA DE TRABAJO No. 2

Resolver los siguientes ejercicios:

### Ejercicio No.1

En el ensayo de una tubería de fundición nueva de 50 cm de diámetro, con un caudal permanente de 175 lt/s la piezométrica cayó 1.20 m en un tramo de 600m. ¿Cuál es el valor de C?

### Ejercicio No.2

Se quieren transportar 520 lt/s de agua a través de una fundición vieja ( $C = 100$ ), con una pérdida de carga de 25 m. Teóricamente cuál es la longitud para una tubería de diámetro de 8" y 12".

### Ejercicio No. 3

El caudal para abastecer a una población es de 10 L/s el cual debe ser conducido desde la captación, cuya cota es de 1 000 m hacia un tanque de almacenamiento localizado a 1 447 metros y una cota de 942 m. determinar:

- a) Diámetro de tubería nominal.
- b) Velocidad media del agua en tubería
- c) Pérdida de carga
- d) Cota piezométrica
- e) Presión de llegada (PSI)
- f) Elaborar un diagrama que muestre los resultados obtenidos

### Ejercicio No. 4

El caudal para abastecer a una población es de 15 L/s el cual debe ser conducido desde la captación, cuya cota es de 1100 m hacia un tanque de almacenamiento localizado a 1000 metros y una cota de 970 m. determinar:

- a) Diámetro de tubería nominal.
- b) Velocidad media del agua en tubería
- c) Pérdida de carga
- d) Cota piezométrica
- e) Presión de llegada (PSI)
- f) Elaborar un diagrama que muestre los resultados obtenidos

Nota. Considerar el uso de cámaras rompe presión

## PRÁCTICA No. 3

### BOMBAS Y CAÍDAS DE PRESIÓN

#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Determinar la potencia de una bomba para impulsar un caudal conocido de agua a una distancia y altura conocidas.
- 1.2 Determinar la presión que genera un fluido dentro la tubería utilizando el manómetro.
- 1.3 Determinar los factores que influyen en las pérdidas de presión dentro la tubería.
- 1.4 Dimensionar un sistema de bombeo, mediante el uso de graficas de rendimiento.

#### 2. Marco Teórico

##### Bombas hidráulicas

Una bomba es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel.

##### Clasificación de bombas

Existen diferentes tipos de bombas según los diferentes usos y campos de acción que se consideren.

- a) Según la dirección del flujo
  - Bomba de flujo radial
  - Bomba de flujo axial
  - Flujo mixto (radial-axial)
- b) Por la presión generada
  - Baja presión o de caudal
  - Mediana presión
  - Alta presión
- c) Por la posición del eje.
  - Vertical
  - Horizontal
  - Inclinado

Las bombas movidas por diferentes mecanismos pueden ser clasificadas como bombas de desplazamiento positivo y bombas de desplazamiento variable. Las bombas de desplazamiento positivo (bombas de pistón, bombas de diafragma, bombas de engranaje bombas de tornillo). Las bombas de desplazamiento variable incluyen a las bombas a las bombas centrífugas, de flujo mixto, turbinas, bombas de hélice y el ariete hidráulico. Cada bomba tiene sus ventajas de acuerdo a las condiciones de operación, tales como; altura de succión, altura total de bombeo (combinaciones de bomba y motor), por lo que necesitan ser diseñados de acuerdo a las condiciones de operación y requerimientos de agua. Un sistema de bombeo que funciona adecuadamente bajo un conjunto de condiciones, probablemente no funcione adecuadamente bajo otras condiciones. (Cabrera Cruz, 1995)

##### Presión (p)

Las fuerzas que ejerce un fluido sobre el medio que lo rodea vienen caracterizadas por una sola magnitud, la presión en el fluido, la cual se define como la cantidad de fuerza perpendicular aplicada sobre una superficie, esto es:

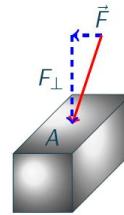
$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

P = Presión (Pascal)

F = Fuerza (Newton)= peso

A = Área (cm<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>, Pulg<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>)



Las unidades en el SI de la presión es el **Pascal**

$$1 Pa = 1 Pa = \frac{N}{m^2}$$

### Otras medidas de presión

1 Bar= 100000 Pascales

1 bar = 14.5038 lbf/pulg<sup>2</sup>

1 m.c.a. = 0.1 Kgf/cm<sup>2</sup>

1 lbf/pulg<sup>2</sup> = 0.704 m.c.a.

1 m.c.a. = 1.422 PSI

1 atm = 101300 Pa

1 atm = 760 mm Hg

1 PSI = 6894.76 Pa

### Instrumentos de medición de presión

El manómetro es un instrumento que sirve para determinar la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.

Consiste en un tubo en forma de U lleno parcialmente con un líquido, generalmente mercurio o agua. El tubo se monta en posición vertical con una regla graduada detrás de él.

Un extremo del tubo se conecta al vaso cuya presión se desea medir y el otro extremo se deja abierto a la atmósfera.

### Tipos de manómetros

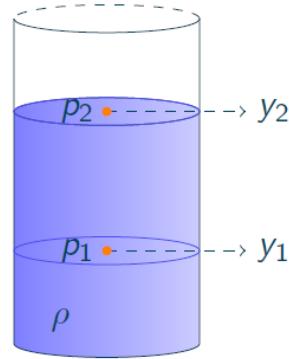
- **Piezómetro:** Consiste en la conexión de un tubo que puede ser transparente para observar la variación de la columna del fluido, en el punto donde se quiera medir la presión
- **Manómetros abiertos:** Sirve para medir presiones relativas positivas o negativas
- **Manómetros diferenciales:** Mide la diferencia de presiones entre 2 puntos, la sensibilidad de este es mayor cuando la diferencia entre pesos específicos ( $\gamma$ ) de los fluidos sea mayor.
- **Micro manómetros:** Se utiliza para medir presiones muy pequeñas en gases y en líquidos, requiere de depósitos relativamente grandes, lleva ganchos con puntas cónicas con una varilla graduada, con tornillo y comunicación entre ambos líquidos
- **Manómetros de resorte o de bourdon:** Consiste en un tubo de metal hueco como el elemento sensor de la presión. En su extremo interno cerrado y comunicado por medio de un dispositivo de cremalleras, la presión en el tubo da como resultado el movimiento del indicador de presión.



### Variación de la presión con la profundidad de un fluido

La presión ejercida por un fluido en reposo variará en función directa con la profundidad, dependiendo de las características del líquido, tal como el peso específico.

Considere un fluido de densidad  $\rho$ . Suponga que se quiere calcular la diferencia de presiones  $p_2 - p_1$  entre dos diferentes posiciones verticales ( $y_1, y_2$ ) del fluido, tal y como se muestra en la figura.



Mediante un análisis de fuerzas se puede mostrar que la diferencia de presiones entre dos puntos del fluido se determina de la siguiente manera:

$$P_2 - P_1 = -\rho g(y_2 - y_1)$$

La expresión anterior se puede utilizar para determinar la presión a una profundidad  $h$  de la superficie del fluido de la siguiente manera:

$$P = \rho * g * h$$

Donde:

$P$  = Presión ( $N/m^2$ )

$\rho$  = densidad ( $kg/m^3$ )

$g$  = gravedad ( $9.81 m/s^2$ )

$h$  = Altura ( $m$ )

## Perdidas de presión

Los sistemas de tuberías están diseñados para satisfacer un caudal específico y una presión de fluido particular en uniones críticas. Si la presión es demasiado grande o insuficiente, pueden surgir problemas operacionales que generarán gastos prevenibles.

La pérdida de presión es el resultado de las fuerzas de fricción ejercidas sobre un fluido dentro de un sistema de tuberías, resistiendo su flujo. A medida que aumenta la pérdida de presión, también incrementa la energía requerida por las bombas del sistema para compensarla, lo cual lleva a mayores costos de operación.

Para complicar aún más las cosas, algunos de los factores que influyen en la pérdida de presión pueden variar a lo largo de la vida de las tuberías. En algunos casos, el diseño del sistema debe planearse basándose en las influencias que puedan surgir de cinco a diez años después de la instalación.

### ¿Qué causa la pérdida de presión en la tubería?

Dependiendo del sistema, hay una serie de fuerzas en competencia que trabajan para disminuir o aumentar la presión del fluido de un extremo a otro:

#### Factores constantes

Son los que se mantienen durante toda la vida del sistema:

- **Gravedad:** los aumentos y disminuciones en la elevación causan pérdidas y ganancias de presión del sistema, respectivamente. Es importante comprender el efecto neto de los cambios de elevación en la presión del sistema.
- **Vías de tuberías y válvulas:** a lo largo de las tuberías, accesorios, curvas, válvulas y juntas de expansión, cualquier cambio en la dirección generará fricción y provocará la pérdida de presión.
- **Tamaño de la tubería:** el diámetro de la tubería tiene un efecto inverso sobre la presión. Un volumen de agua en un tubo de 8 pulgadas saldrá a una presión mucho menor que la misma cantidad de agua forzada a través de un tubo de 4 pulgadas.

#### Factores variables

Son los que fluctúan:

- **Fuerza de fricción del material:** Todo material utilizado en un sistema de tuberías tiene un coeficiente de fricción o una medida de rugosidad que ralentiza el fluido. Cuanto más suave sea la superficie, mayor será el coeficiente de fricción de Hazen Williams y más fácil podrá pasar el fluido sobre él.

Dependiendo del material, este coeficiente puede cambiar con el tiempo. Por ejemplo, el CPVC tiene un factor C de Hazen Williams de 150 durante toda la vida útil de la tubería, en comparación con un tubo de hierro fundido nuevo que tiene un factor C de 120 al instalar, pero que puede caer de 60 a 80 con el tiempo, por el desgaste y las picaduras.

- **Corrosión:** ocurre cuando los iones cargados en un líquido se comen los materiales metálicos que causan picaduras a lo largo de la superficie de la tubería o en las juntas. Este fenómeno reduce el flujo de fluido.
- **Escala:** ocurre cuando los iones atraídos por las superficies metálicas se acumulan a lo largo del sistema, típicamente alrededor de las costuras o bridas. A medida que se produce la incrustación, restringe el flujo del fluido y aumenta la presión dentro de la tubería.

## Cómo calcular la pérdida de presión en un sistema de tuberías

La ecuación de Hazen-Williams se utiliza frecuentemente para calcular la pérdida de presión dentro de un sistema de tuberías. Sin embargo, la ecuación de Darcy-Weisbach se prefiere para los sistemas de tuberías industriales.

### Pérdidas por accesorios

El flujo a través de una válvula o accesorio no está claramente definido debido a los cambios abruptos en la dirección o área de sección transversal; por lo tanto, la predicción de la caída de presión en tales accesorios no es sencilla. El mejor método para evaluar la resistencia del ajuste se basa en una determinación global de caídas de presión y k deducido (coeficientes de resistencia). Además, hay que recordar que el número de los accesorios utilizados en los procesos industriales es de suma importancia (Chuquín Vasco, Chuquín Vasco, & Chuquín Vasco, 2020)

Para cualquier sistema de tubería, además de las pérdidas por fricción calculada para la longitud de la tubería, existen pérdidas por accesorios o denominadas generalmente pérdidas menores. Las pérdidas menores pueden existir en:

- Entrada o salida de tubería.
- Curvas, codos, tees y otros accesorios.
- Expansión o contracción repentina.
- Válvulas, abiertas o parcialmente cerradas.

### Ejemplo

#### Cálculo de la potencia teórica de una bomba

Se bombea agua del reservorio R1 al reservorio R2, el caudal es de 30 l/s determine: a) La potencia teórica de la bomba.

b) La potencia real de la bomba a una eficiencia del 60%

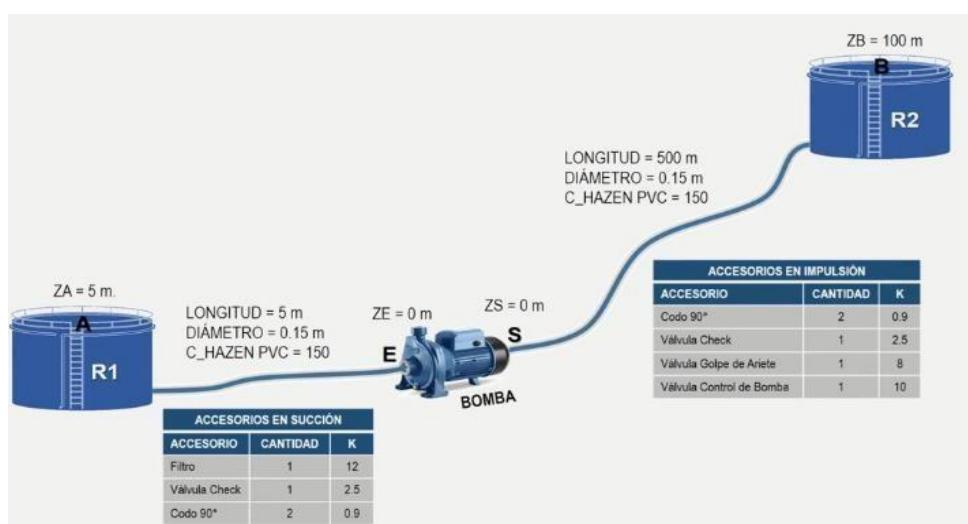
$$POTENCIA TEÓRICA = \gamma \cdot Q \cdot EA$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico del agua (9810 N/m<sup>3</sup>)

Q = Caudal m<sup>3</sup>/s

EA = Energía añadida m/s



Se pide:

- Potencia teórica (kW)
- Potencia real (Hp)
- Potencia teórica (kW)
- Potencia real (Hp)

#### Tramo de succión:

Datos generales:

- $Z_A = 5 \text{ m}$
- $Z_B = 0 \text{ m}$

Datos para HF: (perdidas de energía menores por fricción)

- Longitud ( $L$ ) = 5 m
- Caudal ( $Q$ ) = 0.03  $\text{m}^3/\text{s}$
- Diámetro ( $D$ ) = 0.20 m
- C hazen PVC = 150

Datos para HL: (Perdida de energía por válvulas y accesorios)

- 1 filtro;  $k$  unitario (12);  $k$  parcial (12).
- 1 válvula check;  $k$  unitario (2.50);  $k$  parcial (2.50).
- 1 codo  $90^\circ$   $k$  unitario (0.90);  $k$  parcial (1.80)
- **K total = 16.30**

#### Tramo de impulsión:

Datos generales:

- $Z_S = 0.0 \text{ m}$
- $Z_B = 100 \text{ m}$

Datos para HF: (Perdidas de energía menores por fricción)

- Longitud ( $L$ ) = 500 m
- Caudal ( $Q$ ) = 0.03  $\text{m}^3/\text{s}$
- Diámetro ( $D$ ) = 0.15 m
- C hazen = 150

Datos para HL: (Perdidas de energía por válvulas y accesorios)

- 2 codos  $90^\circ$ ;  $K$  unitario (0.90);  $K$  parcial (1.80).
- 1 válvula check;  $K$  unitario (2.50);  $K$  parcial (2.50).
- 1 válvula ariete;  $K$  unitario (8);  $K$  parcial (8).
- 1 válvula bomba;  $K$  unitario (10);  $K$  parcial (10).
- **K total = 22.30**

#### Cálculo de la energía añadida (EA):

- Encontrar el valor entre la diferencia de las cotas  $Z_E$  y  $Z_A$ .
- Encontrar la diferencia entre la cota  $Z_B$  y  $Z_S$ .
- Calcular HF de succión y de impulsión mediante la fórmula de Hazen

$$Hf = \left( \frac{3.5908QL^{0.54}}{C * D^{2.63}} \right)^{1.85}$$

- Calcular el HL de succión y de impulsión mediante la fórmula:

$$Hl = \frac{8KQ^2}{g\pi^2 * D^4}$$

**Donde:**

$HF$  = Pérdidas de energía menores por fricción (m)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$L$  = longitud (m)

$C$  = Coeficiente de fricción (Utilizado en la ecuación Hazen-Williams)

$D$  = Diámetro interno de tubería (m)

$HI$  = Pérdidas de Energía por válvulas y accesorios

$K$  = Suma coeficiente de pérdida para accesorios

$g$  = Gravedad

- Realizar la sumatoria de  $HF$  con  $HI$  para obtener la energía perdida (EP) de impulsión y de succión.
- Realizar el cálculo de energía añadida mediante la fórmula.

$$EA = ADT = (Z_E - Z_A) + (Z_B - Z_S) + (EP_{AE} + EP_{SB})$$

$$EP = HF + HL$$

Donde

$EA$  = energía añadida

$ADT$  = Altura dinámica Total

$Z_E - Z_A$  = Diferencia de cotas en el tramo de succión

$Z_B - Z_S$  = Diferencia de cotas en el tramo de impulsión

$EP_{AE}$  = Energía perdida en el tramo de succión

$EP_{SB}$  = Energía perdida en el tramo de impulsión

Realizar el cálculo de potencia mediante la siguiente fórmula, donde se debe tomar en cuenta el peso específico del líquido que será transportado, el caudal y la energía añadida.

$$POTENCIA TEÓRICA = \gamma \cdot Q \cdot EA$$

$$POTENCIA REAL = \frac{Potencia Teorica}{Eficiencia de la Bomba}$$

**Eficiencia de la bomba:** Esta se establece mediante la grafica de rendimiento de la bomba en específico

## PROCEDIMIENTO:

$$EA = ADT = (Z_E - Z_A) + (Z_B - Z_S) + (EP_{AE} + EP_{SB})$$

### Diferencia de cotas

$$Tramo de succión = (Z_E - Z_A) = 0-5 = \mathbf{-5m}$$

$$Tramo de impulsión = (Z_B - Z_S) = 100 - 0 = \mathbf{100m}$$

### $EP_{AE}$ (Energía perdida tramo de succión)

$$EP_{AE} = HF + HL$$

$$HF = \left( \frac{3.5908QL^{0.54}}{C*D^{2.63}} \right)^{1.85} = HF = \left( \frac{3.5908*0.03 m3/s*(5m)^{0.54}}{150*0.20^{2.63}} \right)^{1.85} = \mathbf{0.0192}$$

$$Hl = \frac{8KQ^2}{g\pi^2*D^4} = Hl = \frac{8*16.30*(0.03m3/s)^2}{9.81m/s^2*3.1416^2*0.20m^4} = \mathbf{0.7576}$$

$$EP_{AE} = HF + HL = EP_{AE} = 0.0192 + 0.7576 = \mathbf{0.7768}$$

### $EP_{SB}$ (Energía perdida tramo de impulsión)

$$EP_{SB} = HF + HL$$

$$HF = \left( \frac{3.5908QL^{0.54}}{C*D^{2.63}} \right)^{1.85} = HF = \left( \frac{3.5908*0.03 m3/s*(500m)^{0.54}}{150*0.15^{2.63}} \right)^{1.85} = \mathbf{7.7448}$$

$$Hl = \frac{8KQ^2}{g\pi^2*D^4} = Hl = \frac{8*22.30*(0.03m3/s)^2}{9.81m/s^2*3.1416^2*0.15m^4} = \mathbf{3.2757}$$

$$EP_{AE} = HF + HL = EP_{AE} = 0.0778 + 2.3943 = \mathbf{11.0205}$$

### Energía añadida/Altura dinámica total

$$EA = ADT = (Z_E - Z_A) + (Z_B - Z_S) + (EP_{AE} + EP_{SB})$$

$$EA = ADT = (-5) + (100) + (0.7768 + 11.0205) = \mathbf{106.7973}$$

## Potencia Teórica de la bomba

$$POTENCIA TEÓRICA = \gamma \cdot Q \cdot EA$$

$$POTENCIA TEÓRICA = 9810 N/m^3 * 0.03 m^3/s * 106.7973 m. = 31430.44 \text{ Watts}$$

$$= 31.43 \text{ KW} * 1.34$$

$$= 42.11 \text{ Hp}$$

## Potencia Real de la bomba

$$POTENCIA REAL = \frac{Potencia Teorica}{Eficiencia de la Bomba}$$

$$POTENCIA REAL = \frac{42.1168 \text{ HP}}{0.69} = 61.0388 \text{ HP}$$

## Desarrollo de la práctica:

### Materiales:

El listado y las especificaciones de materiales para esta práctica se estarán proporcionando por el docente encargado de la misma, el día de inicio de la práctica, de acuerdo con el modelo de la bomba disponible en cada sede; sin embargo, se proporciona una lista que se podrá utilizar como guía

4.5 metros de tubo PVC de  $\frac{3}{4}$  de diámetro

3 Tees PVC de  $\frac{3}{4}$  de pulgada

3 codos PVC de  $\frac{3}{4}$  pulgada

2 llave PVC de bola de  $\frac{3}{4}$  de pulgada

1 manómetros para agua

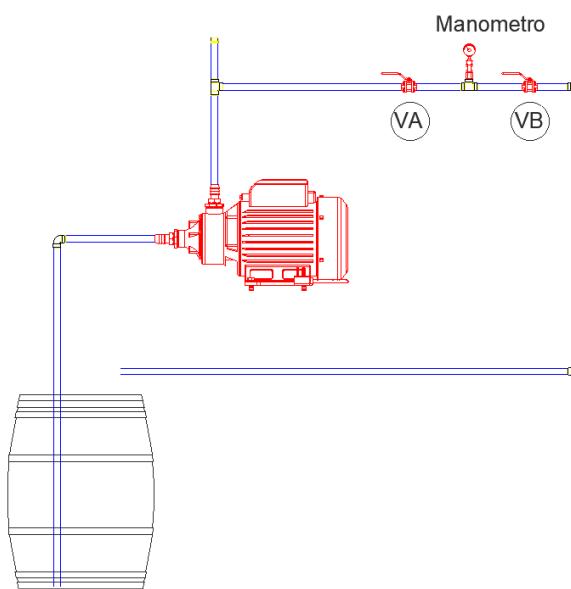
1 recipiente con una capacidad mínima de 5 galones

1 adaptador pvc  $\frac{3}{4}$  liso a rosca macho (**si es necesario cebar la bomba**)

1 tapón de rosca hembra  $\frac{3}{4}$  (**si es necesario cebar la bomba**)

## Procedimiento:

- Realizar un sistema cerrado de tubería de  $\frac{3}{4}$  y acoplarlo a la bomba hidráulica de acuerdo a las especificaciones del docente o según el diagrama siguiente.



- 2) Verificar que la válvula A y B (llaves de bola) este completamente abierta
- 3) Encender la bomba e inmediatamente cebarla (si es necesario)
- 4) Cuando se tenga un flujo constante de agua, determinar la presión manométrica con las siguientes posibilidades:
  - a. Presión manométrica generada con el 100% de abertura de la válvula A y B
  - b. Válvula A 75 % abierta y válvula B 100% abierta
  - c. Válvula A 50 % abierta y válvula B 100% abierta
  - d. Válvula A 25 % abierta y válvula B 100% abierta
  - e. Válvula A 100 % abierta y válvula B 75 % abierta
  - f. Válvula A 100 % abierta y válvula B 50 % abierta
  - g. Válvula A 100 % abierta y válvula B 25% abierta
  - h. Válvula A 50 % abierta y válvula B 50% abierta

## Resultados

Numero de prueba	Porcentaje de apertura válvula A	Porcentaje de apertura válvula B	Lectura Manómetro PSI	Lectura Manómetro Bar	Lectura Manómetro MCA	Observaciones
a						
b						
c						
d						
e						
f						
g						
h						

## Pasos para el dimensionamiento de un sistema de bombeo.

### Marco teórico

Seleccionar la bomba adecuada para una aplicación específica es un proceso crítico que influye directamente en la eficiencia, eficacia y la durabilidad del sistema de bombeo. Elegir correctamente no solo garantiza un rendimiento óptimo, sino que también puede minimizar el mantenimiento y extender la vida útil del equipo. A continuación, se describen los pasos claves y consideraciones para seleccionar la bomba adecuada:

1. **Determinar el caudal del sistema.** Para determinar la bomba adecuada para cualquier aplicación, ya sea residencial, comercial, industrial o uso en la agricultura, es determinar el caudal requerido, el caudal que generalmente se mide en litros por minuto (l/min), metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h) o galones por minuto (gpm), indica la cantidad de fluido que la bomba necesita mover en un periodo de tiempo dado.  
Es importante determinar para qué se va a utilizar la bomba esto puede incluir aplicaciones como suministro de agua, drenaje, riego, calefacción, refrigeración, o procesos industriales específicos.
2. **Cálculo de Altura Manométrica Total (TDH):** El TDH de una bomba se refiere a la "Altura Dinámica Total" o "Total Dynamic Head". Es una medida crucial en la selección y evaluación de bombas, ya que indica la altura total a la que la bomba es capaz de elevar el fluido bajo condiciones específicas, este parámetro combina la altura de elevación estática, la perdida de carga por fricción en la tubería y los

accesorios, y cualquier presión adicional o altura requerida por el sistema o proceso al que sirve la bomba. El TDH se mide generalmente en metros o pies y es fundamental para garantizar que la bomba seleccionada cumpla con los requisitos de rendimiento del sistema hidráulico.

3. **Cálculo de Altura Neta positiva de Aspiración (NPSH):** El NPSH (Net Positive Suction Head) es un concepto crucial en los sistemas de bombeo, que se refiere a la diferencia entre la presión absoluta en la entrada de la bomba y la presión de vapor del líquido que está siendo bombeada, expresada en altura del líquido. Se mide en metros o pies.

El NPSH se divide en dos categorías:

**NPSH Disponible (NPSHd)** Es la altura neta positiva en la aspiración disponible en la ubicación de la bomba. Se calcula basándose en las condiciones de operación del sistema y debe ser mayor que el NPSH requerido para prevenir la cavitación. La cavitación ocurre cuando la presión es cualquier punto del sistema cae por debajo de la presión de vapor del líquido, causando la formación de burbujas de vapor, las cuales pueden causar daño a la bomba cuando colapsa.

**NPSH Requerido (NPSHr):** Es la altura mínima de presión en la entrada de la bomba para evitar cavitación, especificada por el fabricante de la bomba, se determina a través de pruebas de rendimiento y varía según el caudal a través de la bomba

El cálculo de NPSHd toma en cuenta la presión atmosférica, la presión en la superficie del líquido, la altura de succión la perdida de carga en la línea de succión y la presión de vapor del líquido a la temperatura del bombeo. El objetivo es asegurar que la presión en cualquier punto de la línea de succión y en la entrada de la bomba sea siempre superior a la presión de vapor del fluido, para evitar la formación de vapor.

$$NPSHd = Ha \pm Hs - Hv - Hf$$

**Donde:**

$NPSHd$  = Altura neta positiva de aspiración disponible

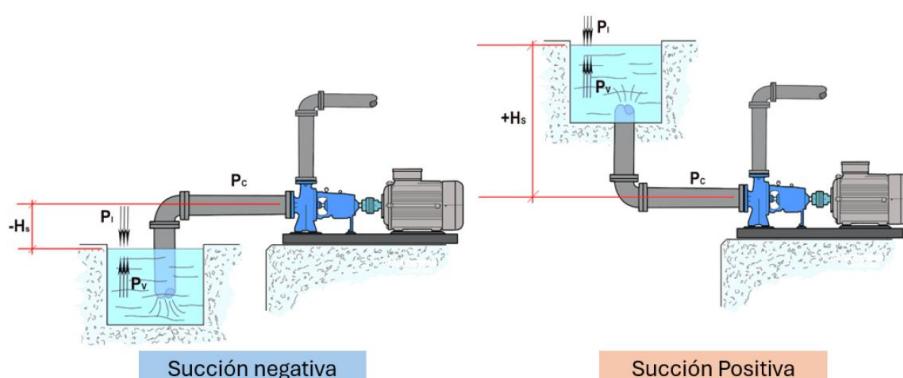
$Ha$  = Presión Atmosférica (determinada según la elevación al nivel del mar) ver tabla

$Hs$  = Altura de Succión (se resta si el nivel del agua está por debajo del ojo del impulsor, se suma si el nivel del agua esta por arriba del ojo del impulsor)

Tipo de succión según el punto de suministro

$Hv$  = Presión de vapor (depende de la temperatura del líquido) ver tabla

$Hf$  = perdidas de fricción en tubería de succión



**“Para mantener un sistema de bombeo eficiente y evitar la cavitación, el NPSHd siempre debe ser mayor al NPSHr”.** Esto asegura que la bomba opere dentro de sus especificaciones de diseño, protegiéndola contra el desgaste prematuro o daño debido a la cavitación

$$NPSHd > NPSHr + Coef$$

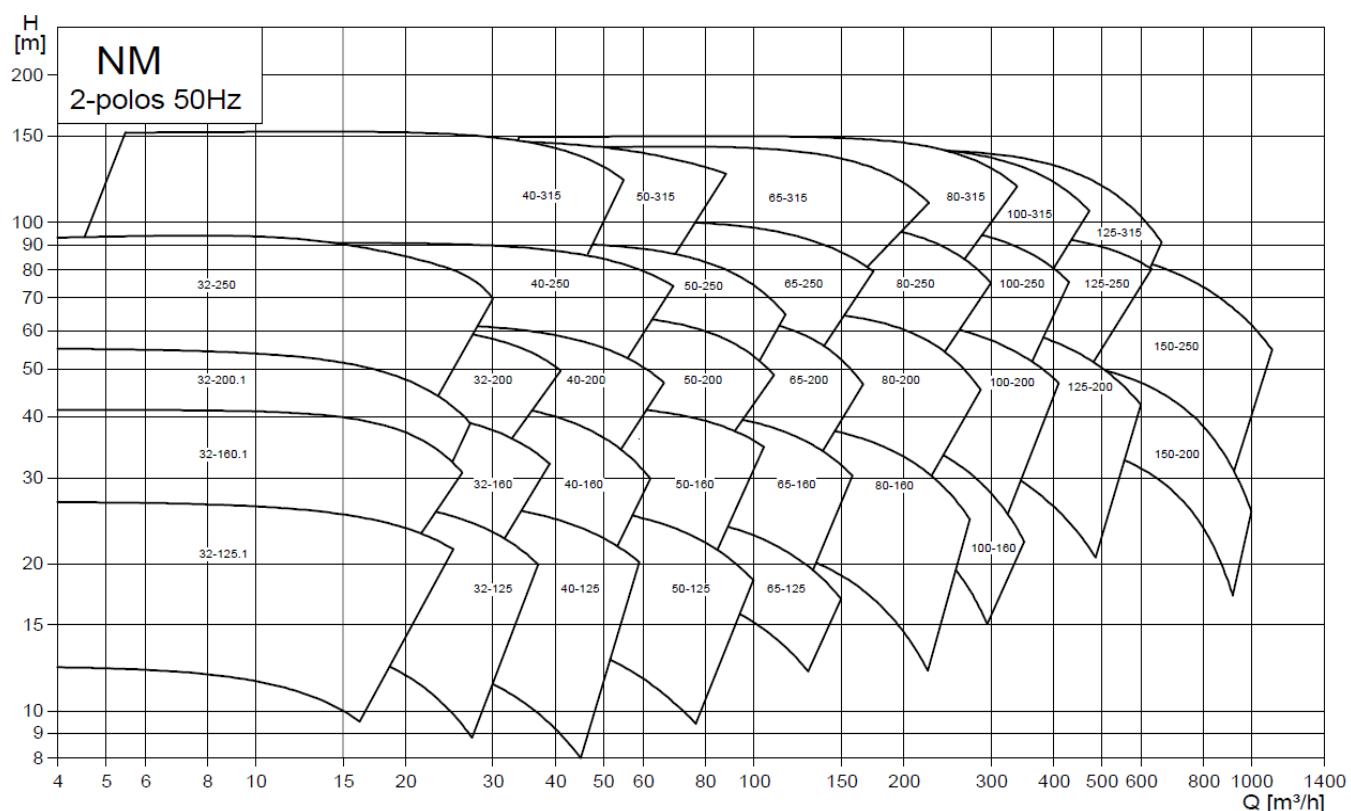
Habitualmente los técnicos recomiendan añadir un coeficiente de seguridad, para asegurar que una pequeña variación de las condiciones de aspiración no provoque el efecto de cavitación que se está tratando de evitar. Se suele recomendar 0.5 a 1 metro.

El NPSH<sub>r</sub> es la presión mínima que debe haber en la entrada de la bomba para proteger a la bomba de la cavitación. La forma de conocer el NPSH<sub>r</sub> de la bomba viene dado por la curva de la bomba, Cada modelo de cada fabricante tiene la suya propia, este valor es determinado experimentalmente

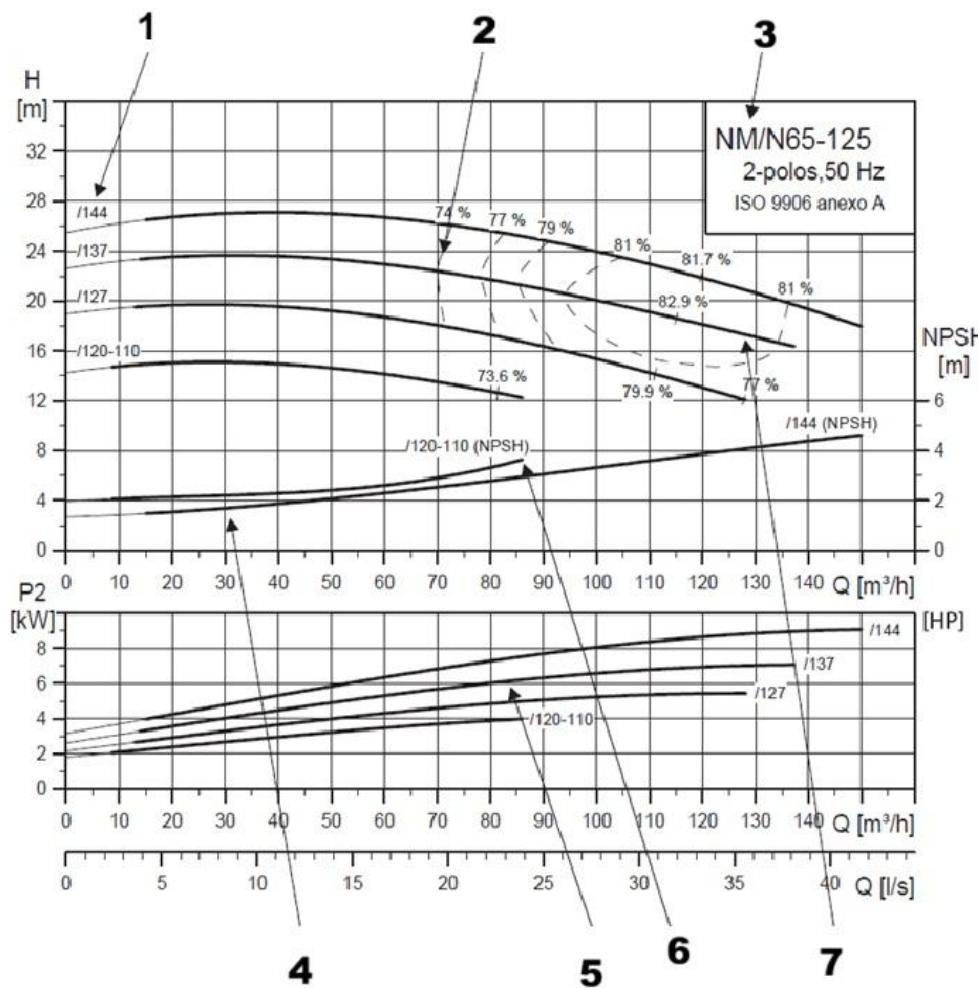
# Introducción a las curvas y datos técnicos

### Interpretación de las curvas características

- 1 Determinar el modelo de bomba:** En el eje de las "X" ubicamos el caudal necesario a impulsar en  $\text{M}^3/\text{h}$  y en el eje de las "Y" ubicamos la altura dinámica total en metros.



- 2 **Determinar Aspectos técnicos de dimensión del sistema de bombeo:** En la gráfica verificamos si la bomba seleccionada cumple con los requisitos de diseño hidráulico:



1. Diámetro del impulsor (mm)
  2. Curva de eficiencia
  3. Tipo de bomba, numero de polos y frecuencia
  4. Curva NPHS, tamaño máximo de impulsor
  5. Curva de potencia indicada la entrada de potencia de la bomba
  6. Curva NPHS, Tamaño Mínimo del impulsor
  7. Curva  $QH$  de la bomba individual. La curva en negrita indica el rango de rendimiento recomendado.
  - 8.
3. **Comparar la altura neta positiva de succión disponible y altura neta positiva de succión requerida**, para verificar que el diseño no permita la formación de vapor, para evitar la cavitación dentro del sistema.

$$NPSH_d > NPSH_r + Coef$$

## Ejemplo:

Dimensionar la bomba idónea que requiere el sistema de bombeo, de acuerdo con el ejemplo anterior y verificar si la misma cumple con los requerimientos técnicos, según el diseño hidráulico calculado.

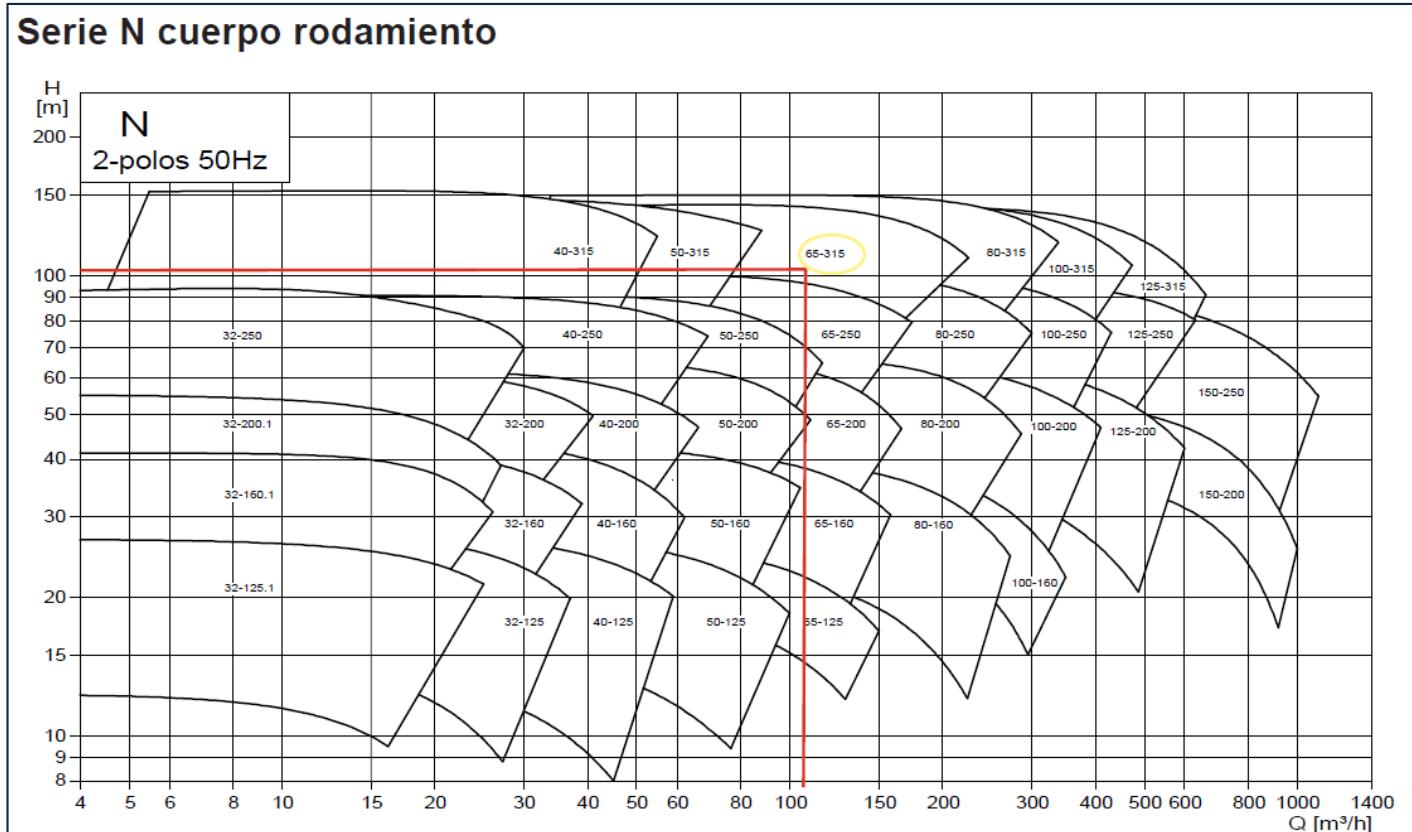
### Datos:

Caudal = 30lts/seg.

Potencia Real: 61 Hp ( 45.6 Kw)

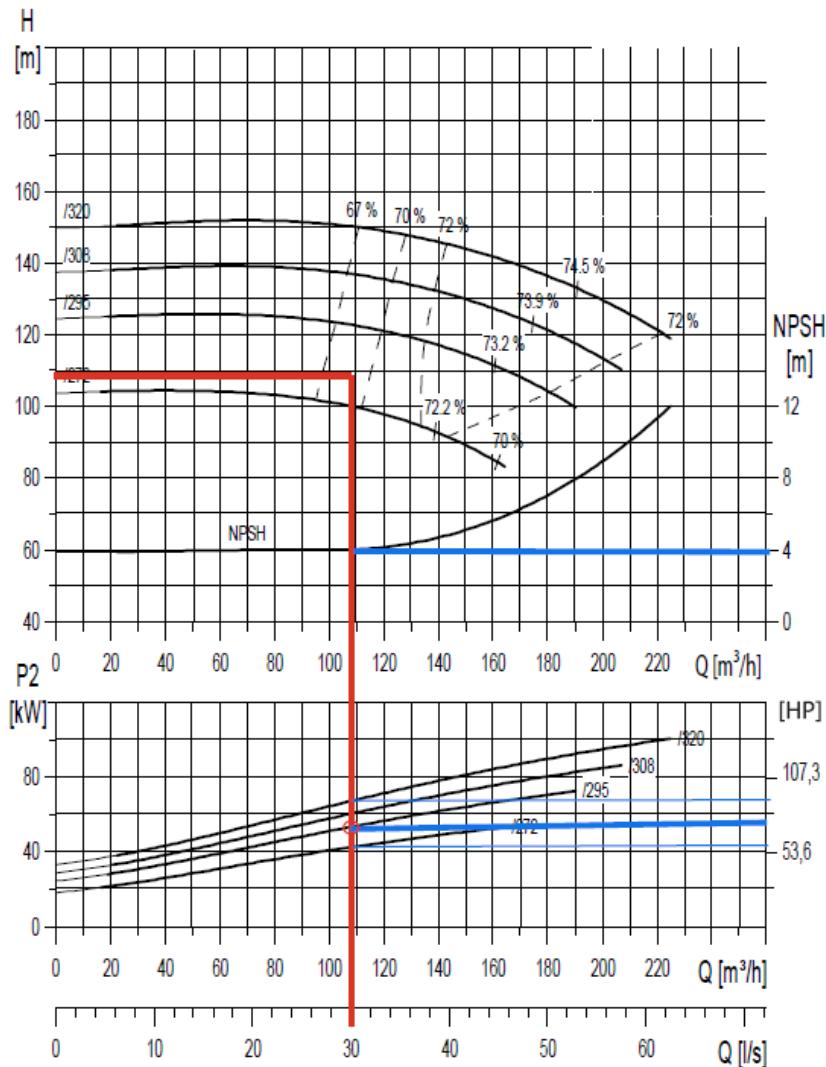
Altura dinámica Total: 106.79 m

### 1. Determinar el modelo de la bomba.



Según la gráfica determinamos que la bomba a utilizar seria: Bomba normalizada. Ejecución cuerpo de rodamiento modelo 65-315, serie N.

### 2. Verificamos si la bomba seleccionada cumple con los requisitos del diseño.



Según La grafica Podemos determinar:

- Altura Dinámica Total: ( $H$ ) = 106 m
- Caudal:  $108 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $30 \text{ l/s}$
- Diámetro del impulsor: 272 mm
- Eficiencia: 69%
- Tipo de Bomba: Serie N 65-315
- Velocidad Nominal: 2900rpm
- NPHS requerido: 4m.
- Potencia de entrada indicada de la bomba: con impulsor de 295 milímetros de diámetro: 67.02 Hp (50.15 KW)

3. Determinar Altura neta positiva (NPHS disponible) y comparar con NPHS requerido

$$NPSHd > NPSHr + Coef$$

$$NPSHd = Ha \pm Hs - Hv - Hf$$

**Determinamos la Presión atmosférica (Ha):** para el caso de este ejemplo vamos a utilizar una ASNM de 2500 m.

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica (Pa)	
m	ft	m	Pa
0	0	10.33	14.69
250	820	10.03	14.26
500	1640	9.73	13.83
750	2640	9.43	13.41
1000	3280	9.13	12.98
1250	4101	8.83	12.55
1500	4291	8.53	12.13
1750	5741	8.25	11.73
2000	6561	8.00	11.38
2250	73.81	7.75	11.02
2500	8202	7.57	10.68
2750	9022	7.28	10.35
3000	9842	7.05	10.02
3250	10662	6.83	9.71
3500	11483	6.62	9.42
3750	12303	6.41	9.12
4000	13123	6.20	8.82
4250	13943	5.98	8.52
4500	14764	5.78	8.22

De acuerdo con la tabla anterior se determina que la presión atmosférica en metros es de **7.57m**.

**Determinamos la altura de succión (HS):** de acuerdo con el diagrama del diseño hidráulico observamos que la succión del agua esta por arriba del ojo del impulsor por lo que tenemos una succión positiva y el dato se suma (**+5m**)

**Determinamos la presión de Vapor (HV):** Utilizando una temperatura de 25°C, ubicando en la siguiente tabla.

Temperatura C°	F°	Peso específico Kg/dm³	Presión de vapor (P.V.P)	
			M. Abs.	P.SI.Abs
0	32	0.9998	0.062	0.088
5	41	1.000	0.089	0.127
10	50	0.9996	0.125	0.1781
15	59	0.9990	0.174	0.247
20	68	0.9982	0.238	0.338
25	77	0.9970	0.323	0.459
30	86	0.9955	0.432	0.614
35	95	0.9939	0.573	0.815
40	104	0.9921	0.752	1.070
45	113	0.9900	0.977	1.389
50	122	0.9880	1.258	1.789
55	131	0.9857	1.605	2.283
60	140	0.9831	2.031	2.889
70	158	0.977	3.177	4.519
75	167	0.9748	3.931	5.591
80	179	0.9718	4.829	6.869
85	185	0.9687	5.894	8.383
90	194	0.9653	7.149	10.168
95	203	0.9619	8.619	12.259
100	212	0.9583	10.332	14.696

De acuerdo con la tabla anterior, con temperaturas del agua a 25°C, determinamos que la presión de vapor es de: **0.323 m. absolutos**.

**Determinamos las pérdidas de fricción en tuberías de succión ( $H_f$ ):** Para determinar las pérdidas de fricción en la tubería de succión simplemente utilizamos el dato calculado anteriormente en la sección de cálculo de potencia teórica del motor.

$$EP_{AE} = HF + HL = EP_{AE} = 0.0192 + 0.7576 = \mathbf{0.7768 \text{ m.}}$$

$$NPSHd = 7.57 + 5 - 0.323 - 0.7768$$

$$\mathbf{NPSHd = 11.47 \text{ m}}$$

$$NPSHd > NPSHr + Coef$$

$$11.47 \text{ m} > 4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}$$

$$\mathbf{11.47 \text{ m} > 4.5 \text{ m}}$$

Podemos observar que el NPSHd es mayor a NPSHr más su coeficiente de seguridad por lo que se considera que el diseño no permitirá la formación de vapor, evitando por completo la cavitación y manteniendo un sistema de bombeo eficiente.

Concluimos que esta es la bomba adecuada para el diseño hidráulico que se está planteando.

## HOJA DE TRABAJO No. 3

**Resolver los siguientes ejercicios:**

### Ejercicio No.1

De la siguiente figura y con los datos que se proporcionan a continuación determinar la potencia teórica y la potencia Real que necesita una bomba para elevar un caudal de agua de 190 lts/min, de un pozo artesanal con profundidad de 10 metros hacia un depósito de agua ubicado a una distancia de 100 metros y una cota de 1349 metros.

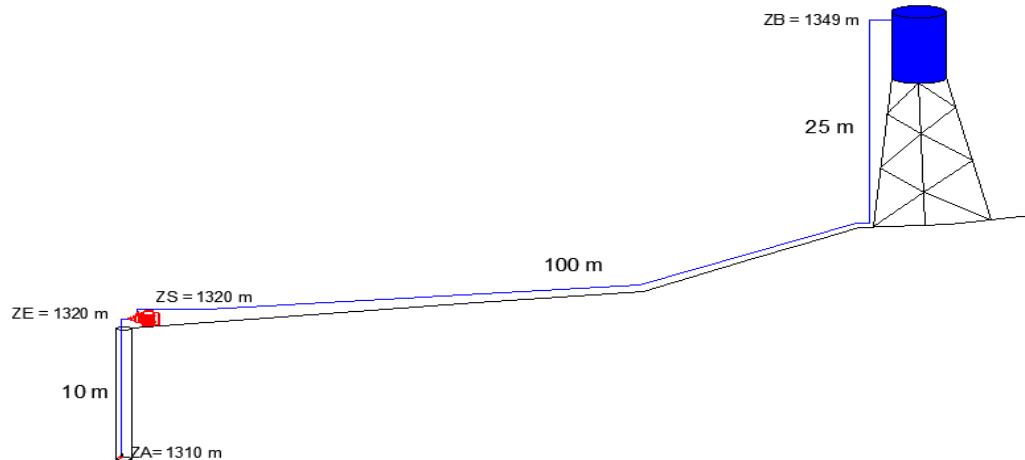
diámetro de tubería entrada 80 mm

diámetro de tubería salida 65 mm

eficiencia de la bomba (se determinará a través de las gráficas de rendimiento de la bomba)

Accesorios en el tramo de succión
1 filtro
1 válvula check
1 codo corto 90°

Accesorios en el tramo de impulsión
1 válvula golpe de ariete
3 codos corto 90°
1 codo corto 45°
1 válvula de control de bombeo



### Ejercicio No. 2

Con los datos del ejercicio No. 1, dimensionar el sistema de bombeo, considerando la temperatura del agua a 20°C y la ubicación de 1,000 MSNM. Determinar los siguientes aspectos técnicos de la bomba.

- Modelo de la bomba
- Eficiencia
- Diámetro del impulsor
- Altura neta positiva requerida
- Altura neta positiva disponible
- Potencia de entrada indicada de la bomba

### Ejercicio No.3

Determinar la potencia real de una bomba (caballos de fuerza) que según cálculos necesita una energía añadida de 23.171m, eficiencia es de 70% y el caudal a transportar es de 53 GPM.

**PRÁCTICA No. 4**  
**APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA HIDRÁULICA DE CANALES**

**1. Propósito de la práctica**

- 1.1. Determinar en que se fundamentan los programas, es decir, que fórmulas matemáticas utiliza para el cálculo de los resultados.
- 1.2. Determinar la utilización del programa para la resolución de problemas relacionados al tema de hidráulica de canales.

**2. Marco Teórico**

**Software Hcanales**

Hcanales es un software que permite diseñar canales. El programa fue desarrollado por el ingeniero peruano Máximo Villón Béjar, profesor e investigador de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).

El programa permite resolver los problemas más frecuentes que se presentan en el diseño de canales y estructuras hidráulicas, los cuales son:

- Calcular el Tirante Normal
- Calcular el Tirante Crítico
- Calcular el Resalto Hidráulico
- Calcular la Curva de Remanso
- Calcular el caudal que transporta un canal construido para las secciones transversales artificiales de uso común, como son:
  - Sección triangular
  - Sección rectangular
  - Sección trapezoidal
  - Sección parabólica
  - Sección circular
- Calcular el caudal que transporta un canal natural tanto para rugosidad constante como para rugosidad variable
- Calcular  $b$ ,  $S$  o  $n$  para canales trapezoidales, rectangulares y triangulares
- Cálculos de parámetros hidráulicos en canales circulares conocido la relación  $y/d$
- Calcular  $S$  o  $n$  en secciones circulares
- Cálculos en orificios, compuertas y vertederos
- Cálculo de transiciones de entrada y salida alabeadas
- Cálculo de vertederos laterales
- Cálculo de pérdidas en canales no revestidos y revestidos
- La solución a estos problemas requiere de cálculos mediante el uso de métodos numéricos, como:
  - Método de Newton-Raphson
  - Método de la secante
  - Método de la secante modificada
  - Integración gráfica
  - Interpolación de Lagrange
  - Algoritmo de Romberg
- Proporciona además al usuario:

- Ayuda sobre cada una de las opciones del Menú Principal, donde se da explicación de los conceptos y ecuaciones utilizadas.
- Ayuda sobre consideraciones prácticas para el diseño de canales.
- Importancia:

HCANALES representa una contribución de la Escuela de Ingeniería Agrícola al diseño de canales y estructuras hidráulicas, es importante porque:

- Proporciona una herramienta novedosa y fácil de utilizar para el ingeniero civil, ingeniero agrícola, ingeniero agrónomo y otros especialistas que trabajan en el campo del diseño de canales y estructuras hidráulicas.
- Permite simplificar los cálculos laboriosos.
- Permite simular el diseño de canales, variando cualquier parámetro hidráulico como:
- diferentes condiciones de rugosidad, pendiente, forma, y dimensiones del canal.
- Reduce enormemente el tiempo de cálculo.
- Permite obtener un diseño óptimo.

#### Desventajas

- Solamente utiliza dimensiones del Sistema Internacional (SI) por lo cual hay que hacer las conversiones necesarias.
- Este programa solamente realiza cálculos referentes a diseño de canales, no existe la opción de analizar otros sistemas hidráulicos.

### HCANALES INTERFASE

Se presenta la interfaz del programa utilizando básicamente una barra de herramientas.



En esta barra tenemos acceso a las diversas funciones del programa que básicamente se enfoca en cálculos de canales.

A continuación, una breve descripción de lo que contiene cada opción de la barra de herramientas.

## Iconos de acción



**Calcular:** Se utiliza para realizar los cálculos que se verán en la pantalla.



**Limpiar Pantalla:** Se utiliza para limpiar la pantalla eliminando los datos ingresados.



**Imprimir:** Se utiliza para imprimir los datos calculados.



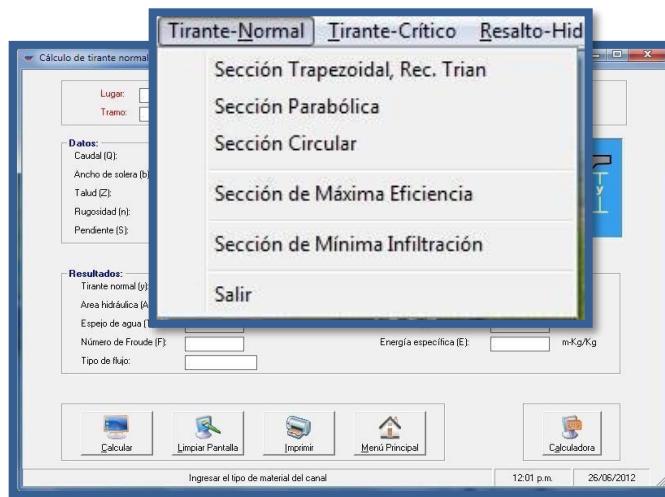
**Menú Principal:** Se utiliza para regresar a la pantalla principal



**Calculadora:** Despliega una calculadora científica para su uso.

## Opciones de barras de herramientas

**Tirante-Normal:** En esta parte se calcula el tirante de un canal para diversas secciones como: trapezoidal, parabólica, circular, máxima eficiencia y de mínima infiltración.



En esta pantalla se ingresan los datos requeridos por el programa, la gráfica mostrada cambia según las medidas ingresadas.

Datos a ingresar son: caudal (Q) en  $m^3/s$ , anchura de solera (b) en m, talud (Z), rugosidad (n), pendiente (S).

Los resultados obtenidos son: tirante normal (y) en m, área hidráulica(A) en  $m^2$ , espejo de agua (T) en m, número de Froude (F), tipo de flujo, perímetro (p) en m, radio hidráulico (R) en m, velocidad (v) en m/s y por último energía específica (E) en m-Kg/Kg.

**Tirante-Crítico:** En esta sección se calcula el tirante crítico para diversas secciones como: trapezoidal, Rec. Trian, parabólica, circular.

The screenshot displays a software application window titled "Cálculo del Tirante Crítico, sección Parabólica". The window has a tab bar at the top with three tabs: "Tirante-Crítico" (selected), "Resalto-Hidráulico", and "Remans". Below the tabs, there are three buttons: "Sección Trapezoidal, Rec. Trian", "Sección Parabólica" (selected), and "Sección Circular".

The main workspace contains several input fields and a diagram. On the left, under "Datos:", there are fields for "Lugar:" (place), "Proyecto:" (project), "Tramo:" (trapezoid width), "Revestimiento:" (revetment), "Caudal (Q):" (flow rate) with units  $m^3/s$ , and "Espejo de agua (T):" (water surface width) with units m. To the right of these is a diagram of a parabolic channel cross-section with labels for T (width), y (normal head), and R (hydraulic radius).

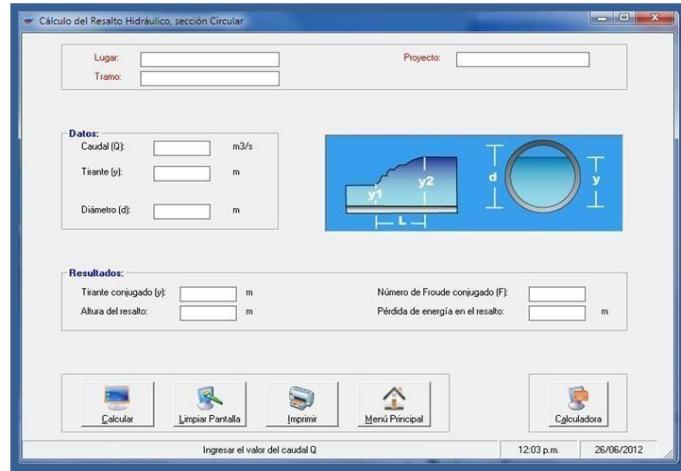
Below the diagram, under "Resultados:", are fields for "Tirante crítico (y):" (critical head), "Área hidráulica (A):" (hydraulic area), "Foco de la parábola (k):" (parabola focus), "Número de Froude (F):" (Froude number), "Perímetro (p):" (perimeter), "Radio hidráulico (R):" (hydraulic radius), "Velocidad (v):" (velocity), and "Energía específica (E):" (specific energy). All results have units indicated in parentheses.

At the bottom of the window are several buttons: "Calcular" (Calculate), "Limpiar Pantalla" (Clear Screen), "Imprimir" (Print), "Menú Principal" (Main Menu), and "Calculadora" (Calculator). There is also a status bar at the bottom with the text "Ingresar el nombre del Proyecto" (Enter project name), the time "12:02 p.m.", and the date "26/06/2012".

Datos a ingresar son: caudal (Q) en  $m^3/s$ , anchura de solera (b) en m, talud (Z), rugosidad (n), pendiente (S).

Los resultados obtenidos son: tirante normal (y) en m, área hidráulica(A) en  $m^2$ , espejo de agua (T) en m, número de Froude (F), tipo de flujo, perímetro (p) en m, radio hidráulico (R) en m, velocidad (v) en m/s y por último energía específica (E) en m-Kg/Kg.

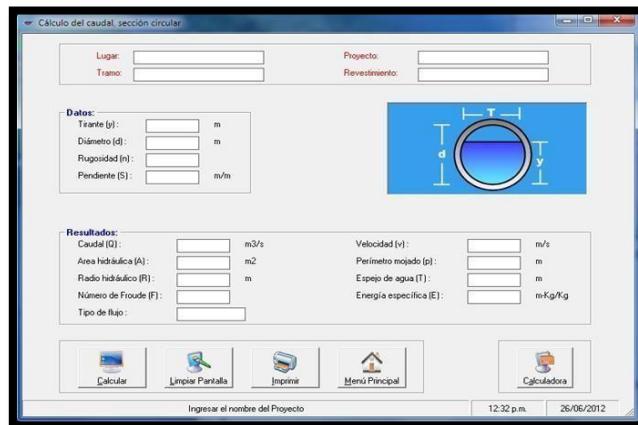
**Resalto hidráulico:** Con esta opción tenemos la capacidad de calcular el resalto hidráulico para secciones rectangulares, trapezoidales, parabólicas y circulares.



**Remanso:** Esta opción despliega un submenu con las siguientes opciones:



**Caudales:** Se utiliza para calcular caudales en los canales con medidas que el programa solicita.



## Instructivo de la práctica

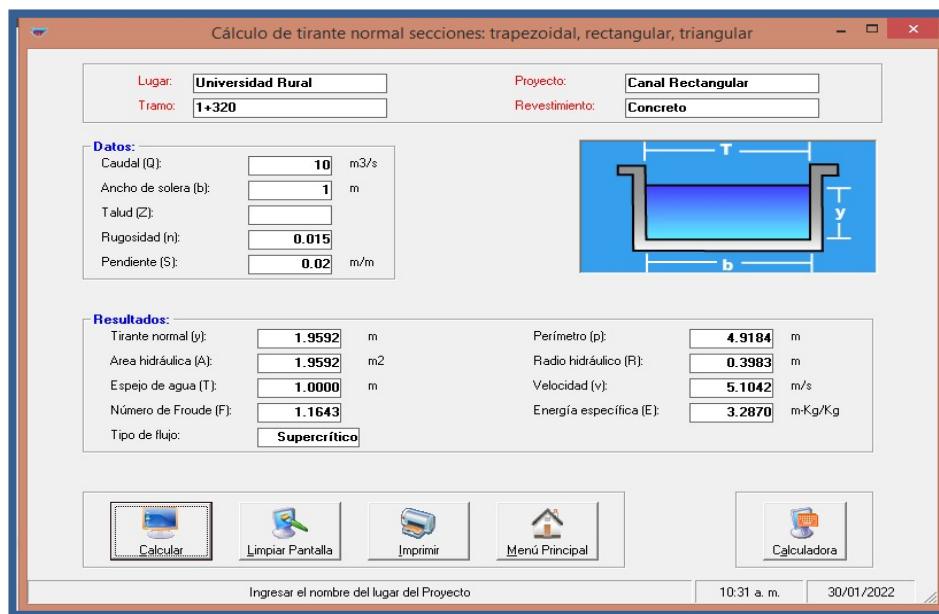
### Equipo

- Laptop
- Dispositivo móvil
- Cañonera

### Desarrollo de la práctica Ejemplo

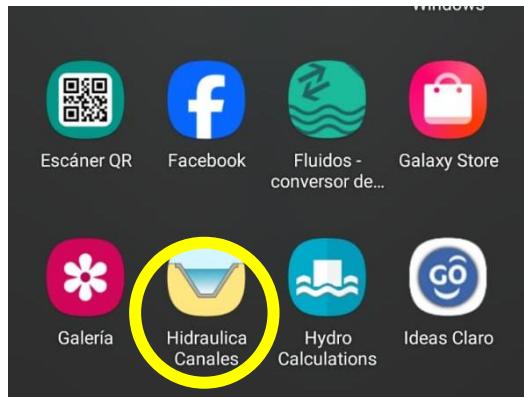
Por un canal rectangular de concreto sin acabado con rugosidad de 0.015, que mide 1 m de ancho, fluye agua, con un caudal de 10 m<sup>3</sup>/seg, la pendiente es de 2%, calcule las relaciones geométricas para dicho canal.

Como primer paso abrimos el software HCANALES y luego le damos click a la pestaña tirante normal y luego en sección rectangular, ahora insertamos los datos anteriormente descritos en el ejemplo y le damos en calcular:



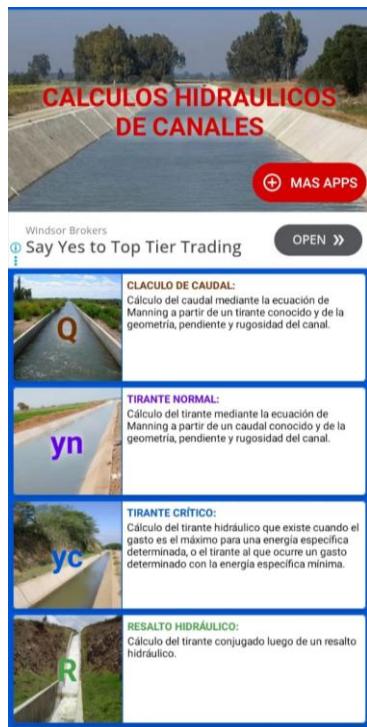
### Hidráulica canales (aplicación para el cálculo de canales en dispositivos móviles)

Aplicaciones móviles para dispositivos Android y iOS que realizan cálculos de hidráulica de canales. Estas aplicaciones permiten calcular parámetros como caudal, tirante, velocidad y área en canales con diferentes secciones (rectangulares, triangulares, trapezoidales, circulares, etc.) y utilizan fórmulas como la de Manning.



### Características principales de estas aplicaciones:

- **Cálculos hidráulicos:** Realizan cálculos sobre el flujo en canales, incluyendo el flujo normal y crítico, caudal, tirante normal y crítico, y el salto hidráulico.



- **Secciones de canal:** Soportan una variedad de formas de canal, como rectangulares, triangulares, trapezoidales y circulares.

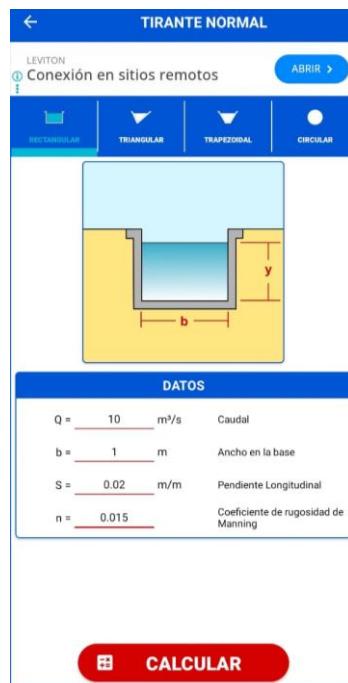
The screenshots show a top navigation bar with tabs: RECTANGULAR, TRIANGULAR, TRAPEZOIDAL, and CIRCULAR. Below each tab is a diagram of the corresponding channel cross-section with dimensions labeled: width ( $b$ ), depth ( $y$ ), and side slopes ( $t$ ). Each section has a 'CALCULAR' button at the bottom.

- RECTANGULAR:** Shows a rectangular channel with a trapezoidal water profile. Labels include  $b$ ,  $y$ ,  $t$ , and  $t_1$ .
- TRIANGULAR:** Shows a triangular channel with a trapezoidal water profile. Labels include  $b$ ,  $y$ ,  $t$ , and  $t_1$ .
- TRAPEZOIDAL:** Shows a trapezoidal channel with a trapezoidal water profile. Labels include  $b$ ,  $y$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ , and  $t$ .
- CIRCULAR:** Shows a circular channel with a semicircular water profile. Labels include  $R$ ,  $D = 2R$ , and  $y$ .

**DATOS (Data) section:**

- RECTANGULAR:**
  - $Q =$  Ingrese  $Q$  m<sup>3</sup>/s Caudal
  - $b =$  Ingrese  $b$  m Ancho en la base
  - $S =$  Ingrese  $S$  m/m Pendiente Longitudinal
  - $n =$  Ingrese  $n$  Coeficiente de rugosidad de Manning
- TRIANGULAR:**
  - $Q =$  Ingrese  $Q$  m<sup>3</sup>/s Caudal
  - $b =$  Ingrese  $b$  m Ancho en la base
  - $t =$  Ingrese  $t$  m/m Talud Lateral
  - $S =$  Ingrese  $S$  m/m Pendiente Longitudinal
  - $n =$  Ingrese  $n$  Coeficiente de rugosidad de Manning
- TRAPEZOIDAL:**
  - $Q =$  Ingrese  $Q$  m<sup>3</sup>/s Caudal
  - $t_1 =$  Ingrese  $t_1$  m/m Talud Lateral Izquierdo
  - $t_2 =$  Ingrese  $t_2$  m/m Talud Lateral Derecho
  - $S =$  Ingrese  $S$  m/m Pendiente Longitudinal
  - $n =$  Ingrese  $n$  Coeficiente de rugosidad de Manning
- CIRCULAR:**
  - $Q =$  Ingrese  $Q$  m<sup>3</sup>/s Caudal
  - $R =$  Ingrese  $R$  m/m Radio del canal
  - $S =$  Ingrese  $S$  m/m Pendiente Longitudinal
  - $n =$  Ingrese  $n$  Coeficiente de rugosidad de Manning

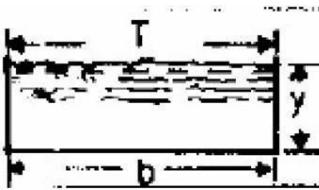
- Aplicación de fórmulas:** Se basan en fórmulas como la de Manning y Hazen-Williams.
- Entrada de datos:** Permiten introducir datos manualmente



- Guardado y reporte:** Los datos y resultados a menudo se pueden guardar, exportar a informes, e incluso visualizar con gráficos.

RECTANGULAR	TRIANGULAR	TRAPEZOIDAL	CIRCULAR
$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$			Caudal
$b = 1 \text{ m}$			Ancho en la base
$S = 0.02 \text{ m/m}$			Pendiente Longitudinal
$n = 0.015$			Coeficiente de rugosidad de Manning
<b>RESULTADOS</b>			
$y_n = 1.9592 \text{ m}$			Tirante Normal
$AH = 1.9592 \text{ m}^2$			Área Hidráulica
$PM = 4.9184 \text{ m}$			Perímetro Mojado
$RH = 0.3983 \text{ m}$			Radio Hidráulico
$b_{\text{sup}} = 1.0 \text{ m}$			Espejo de agua
$V = 5.1041 \text{ m/s}$			Velocidad
$Fr = 1.1643$			Número de Froude
$E = 3.287 \text{ m}$			Energía Específica
T. Flujo = Super crítico			Tipo de Flujo

Ahora vamos a comparar los resultados obtenidos de los programas con la forma manual, a continuación, se muestran las expresiones matemáticas para canales rectangulares:

Sección n	Área hidráulica <b>A</b>	Perímetro mojado <b>P</b>	Radio hidráulico <b>R</b>	Espejo de agua <b>T</b>
	$b * y$	$b + 2y$	$\frac{b * y}{b + 2y}$	$b$

Donde:

$y$  = Tirante normal (m)

$T$  = Espejo de Agua (m)

$b$  = Ancho de solera (m)

Debemos de calcular primero el tirante:

$$Q = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} A$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$n$  = Rugosidad

$Rh$  = Radio Hidráulico (m)

$S$  = Pendiente ( $\text{m/m}$ )

$A$  = Área hidráulica ( $\text{m}^2$ )

Colocando la ecuación del radio hidráulico en función de la base y el tirante:

$$Q = \frac{1}{n} \left( \frac{b * y}{b + 2y} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} (b * y)$$

Despejando:

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} = \frac{(b * y)^{2/3}}{(b + 2y)^{2/3}} * (b * y)$$

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} (b + 2y)^{2/3} = (b * y)^{5/3}$$

$$y = \frac{\left( \frac{Qn}{S^{1/2}} * (b + 2y)^{2/3} \right)^{3/5}}{b}$$

Sustituyendo valores obtenemos:

$$y = \frac{\left( \frac{10 * 0.015}{0.02^{1/2}} * (1 + 2 * 1)^{2/3} \right)^{3/5}}{1} = 1.6077$$

$$y = \frac{\left( \frac{10 * 0.015}{0.02^{1/2}} * (1 + 2 * 1.6077)^{2/3} \right)^{3/5}}{1} = 1.8420$$

$$y = \frac{\left(\frac{10*0.015}{0.02^{1/2}} * (1+2*1.9591)^{2/3}\right)^{3/5}}{1} = 1.9592$$

$$y = \frac{\left(\frac{10*0.015}{0.02^{1/2}} * (1+2*1.9592)^{2/3}\right)^{3/5}}{1} = 1.9592$$

Resolviendo para encontrar y:

$$y = 1.9592 \text{ m}$$

### Área hidráulica A:

$$A = b * y$$

$$A = 1 * 1.9592 = 1.9592 \text{ m}^2$$

### Perímetro mojado P:

$$P = b + 2y$$

$$P = 1 + 2 * 1.9592 = 4.9184 \text{ m}$$

### Radio hidráulico R:

$$Rh = \frac{(b * y)}{(b + 2y)}$$

$$Rh = \frac{1 * 1.9592}{1 + 2 * 1.9592} = 0.3983 \text{ m.}$$

### Velocidad: (V)

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.015} * 0.3983^{2/3} * S0.02^{1/2} = 5.1038 \text{ m/s}$$

### Energía Específica (E)

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

$$E = 1.9592 + \frac{5.1038^2 \text{ m/s}}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 3.2873 \text{ m-kg/kg}$$

### Número de Froude (F)

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

$$F = \frac{5.1038 \text{ m/s}}{\sqrt{\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 1.9592 \text{ m}}} = 1.1644$$

### Comparación de resultados:

Método	Tirante y	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua
HCANALE S	1.9592	1.9592	4.9184	0.3983	1
hidráulica Canales	1.9592	1.9592	4.9184	0.3983	1
Manual	1.9592	1.9592	4.9184	0.3983	1

## HOJA DE TRABAJO No. 4

Resolver los siguientes ejercicios:

### **Ejercicio No.1**

Un canal de riego de sección trapezoidal, construido en tierra ( $n=0.025$ ), se usa una base de 1.20 m. El módulo de riego (caudal necesario por hectárea a regar) es de 2 lts/seg. Encuentre las relaciones geométricas hidráulica con el software Hcanales para una pendiente del canal de 3.7m/1000m, 4m/1000m y 0.10%. (Talud Z=1).

### **Ejercicio No. 2**

Se desea encontrar el caudal de una sección trapezoidal optima también el número de Froude su tipo de flujo y su energía específica en un canal con un material  $n = 0.016$ , con una pendiente longitudinal 9/1000, taludes de 3.5 a 1, ancho de solera 0.19 m y tirante de 0.68 m.

### **Ejercicio No.3**

Un canal de riego de sección triangular, construido en tierra ( $n=0.018$ ). El módulo de riego (caudal necesario por hectárea a regar) es de 5 lts/seg. Encuentre las relaciones geométricas hidráulicas con el software Hcanales para una pendiente del canal de 4.4m/1000m, 5.2m/1000m y 0.07%. (Talud Z=1).

### **Ejercicio No.4**

Se desea diseñar un canal parabólico para conducir un caudal de

2.5m<sup>3</sup>/s la misma que se construirá en tierra ( $n=0.025$ ) trazando una pendiente del 0.5% y que tenga un espejo de agua 3m, indicar el tirante normal que debe tener, su velocidad, número de Froude y su energía específica para las condiciones señaladas.

### **Ejercicio No.5**

En un canal trapezoidal de ancho de solera de 80 cm y talud de 3.5, circula un caudal de 2500 L/s (tirante de  $y = 1.0633m$ ). Considerando un coeficiente de rugosidad de  $n= 0.025$ , Determine la pendiente del canal.

## BIBLIOGRAFÍA

- CROWE, Robertson y Elger. Mecánica de Fluidos
- GILES, Ronald. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica
- LOPEZ, Henio; Manual de Hidráulica.
- MARINI S., EVANGELISTA I., OLIVA A., hidrostática e hidrodinámica, Universidad Nacional del Rosario.
- JIMENEZ, C., Mecánica de fluidos, hidrostática, Instituto tecnológico de Costa Rica.
- CABRERA CRUZ V., hidráulica Aplicada, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.
- Domínguez, R., Calculo y Selección de Bombas,
- VOGT, (2025) Catalogo de Selección Serie Normalizada, Santiago de Chile
- Chuquín Vasco, N. S., Chuquín Vasco, J. P., & Chuquín Vasco, D. A. (2020). Hidráulica en tuberías y accesorios. Ecuador: Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador.

## Anexos

### Medidas de conversión

#### Masa

Unidad de medida	Abreviatura	
Kilogramo	Kg.	1,000 g
Hectogramo	hg	100 g
Decagramo	dag	10 g
Gramo	g	1 g
Decigramo	dc	0.1 g
Centígramo	cg	0.01 g
Milígramo	mg	0.001 g

#### Volumen

Kilómetros cúbicos	$\text{Km}^3$	$1.0 \times 10^9 \text{m}^3$
Hectómetros cúbicos	$\text{hm}^3$	$1.0 \times 10^6 \text{m}^3$
decámetros cúbicos	$\text{dam}^3$	$1.0 \times 10^3 \text{m}^3$
Metros cúbicos	$\text{m}^3$	$1 \text{ m}^3$
Decímetros cúbicos	$\text{dm}^3$	$1.0 \times 10^{-3} \text{m}^3$
Centímetros cúbicos	$\text{cm}^3$	$1.0 \times 10^{-6} \text{m}^3$
Milímetros cúbicos	$\text{mm}^3$	$1.0 \times 10^{-9} \text{m}^3$

#### Peso (Fuerza)

Newton	N	$1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$
Kilogramo de fuerza	Kgf	1 Kilopodio (Kp) $9.80665 \text{ N}$
dina	dyn	$1 \text{ g}\cdot\text{cm/s}^2$ $1 \times 10^{-5} \text{ N}$
Poundal		$1 \text{ lbm}\cdot\text{ft/s}^2$
Libra de fuerza	lbf	$4.44822 \text{ N}$
Unidad técnica de masa	UTM	$9.80665 \text{ kgf}$

#### presión

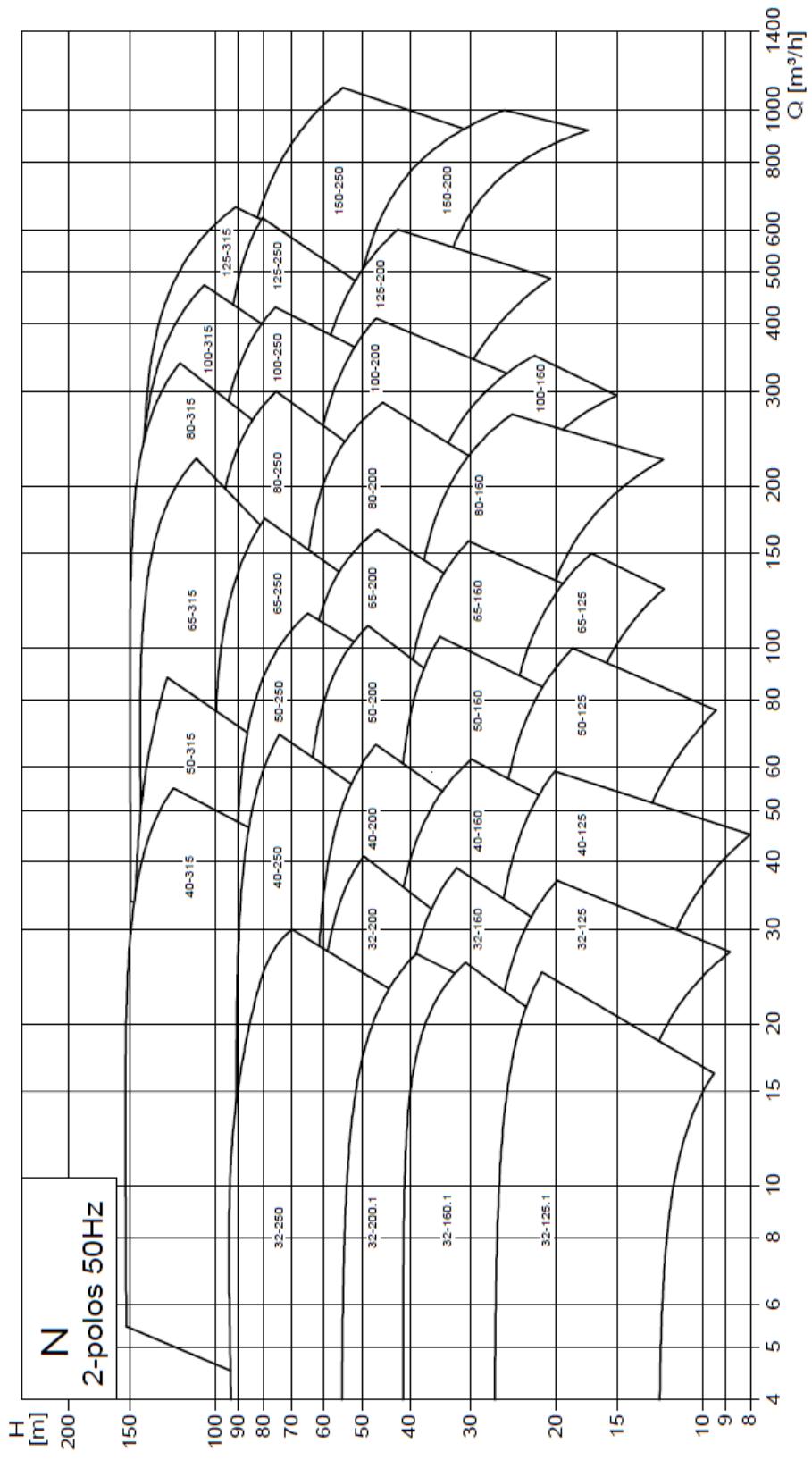
Atmosfera	atm	$1 \text{Kgf/cm}^2$ 10 m.c.a. 760 mm de Hg $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
Pascal	Pa	$1 \text{ N/m}^2$
Bar	bar	$1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 0.987 atm 9.88 m.c.a.
Libras de fuerza sobre pulgada cuadrada	PSI	$6894.75 \text{ Pa}$ $0.0689476 \text{ bar}$ 0.704 m.c.a.
Metro columna de agua	m.c.a.	$0.1 \text{ kgf/cm}^2$ $9006.65 \text{ Pa}$ 1.422 PSI

## Pérdidas localizadas en accesorios

Accesorio	Coeficiente K
Rejilla de entrada	0.80
válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Filtro	12
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° y 30°	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
válvula de compuerta abierta	5.00
válvula de ángulo abierta	5.00
válvula de globo abierta	10.00
válvula alfarera	2.00
válvula de retención	2.5
válvula check	2.5
válvula de golpe de ariete	8
válvula control de bomba	10
válvula de mariposa abierta	0.24
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Bifurcación	0.10
Pequeñas derivaciones	0.03

## Curvas de rendimiento bombas

### Serie N cuerpo rodamiento

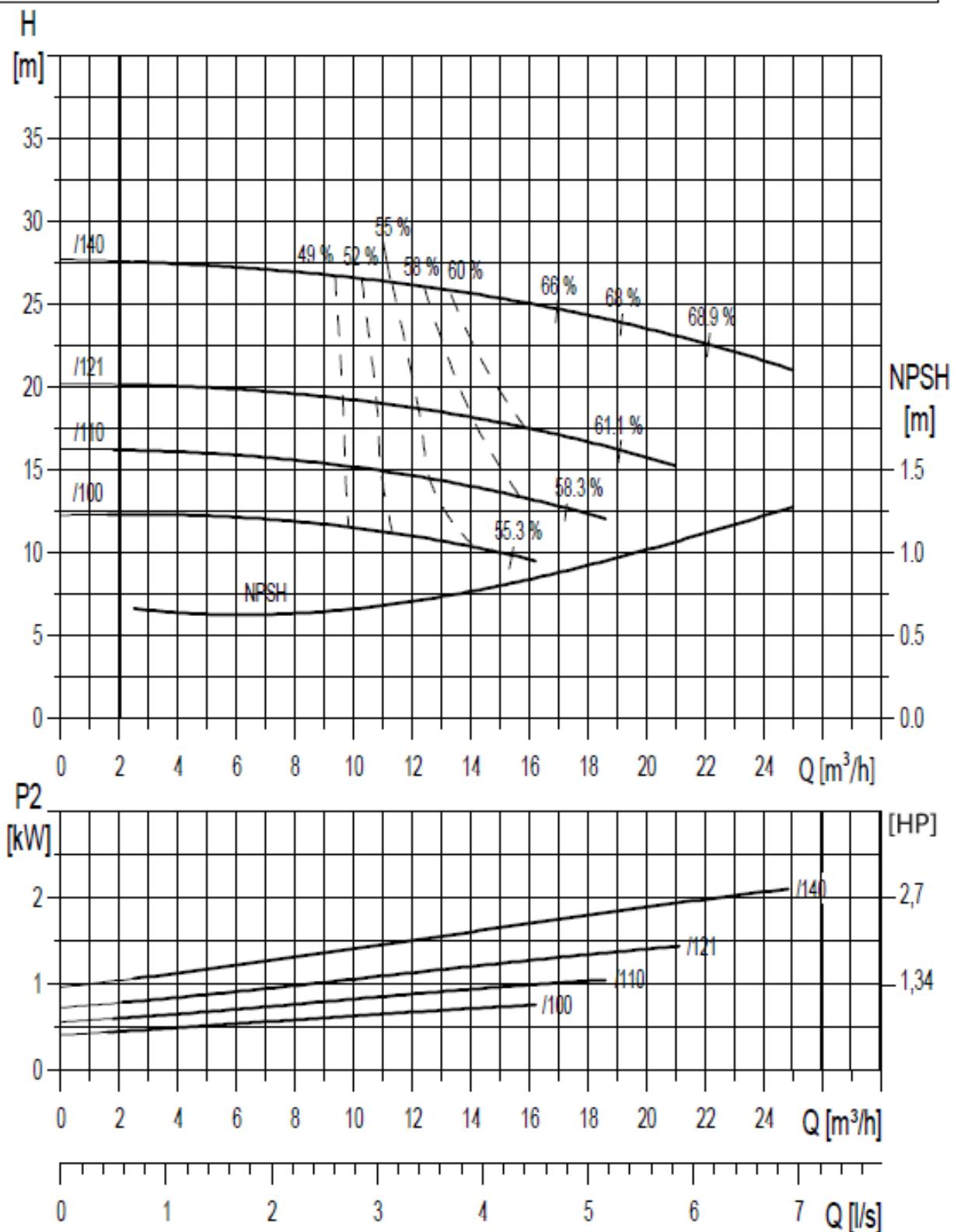


TM03 5261 3406

**Serie N**  
**Serie NM**

**32-125.1**

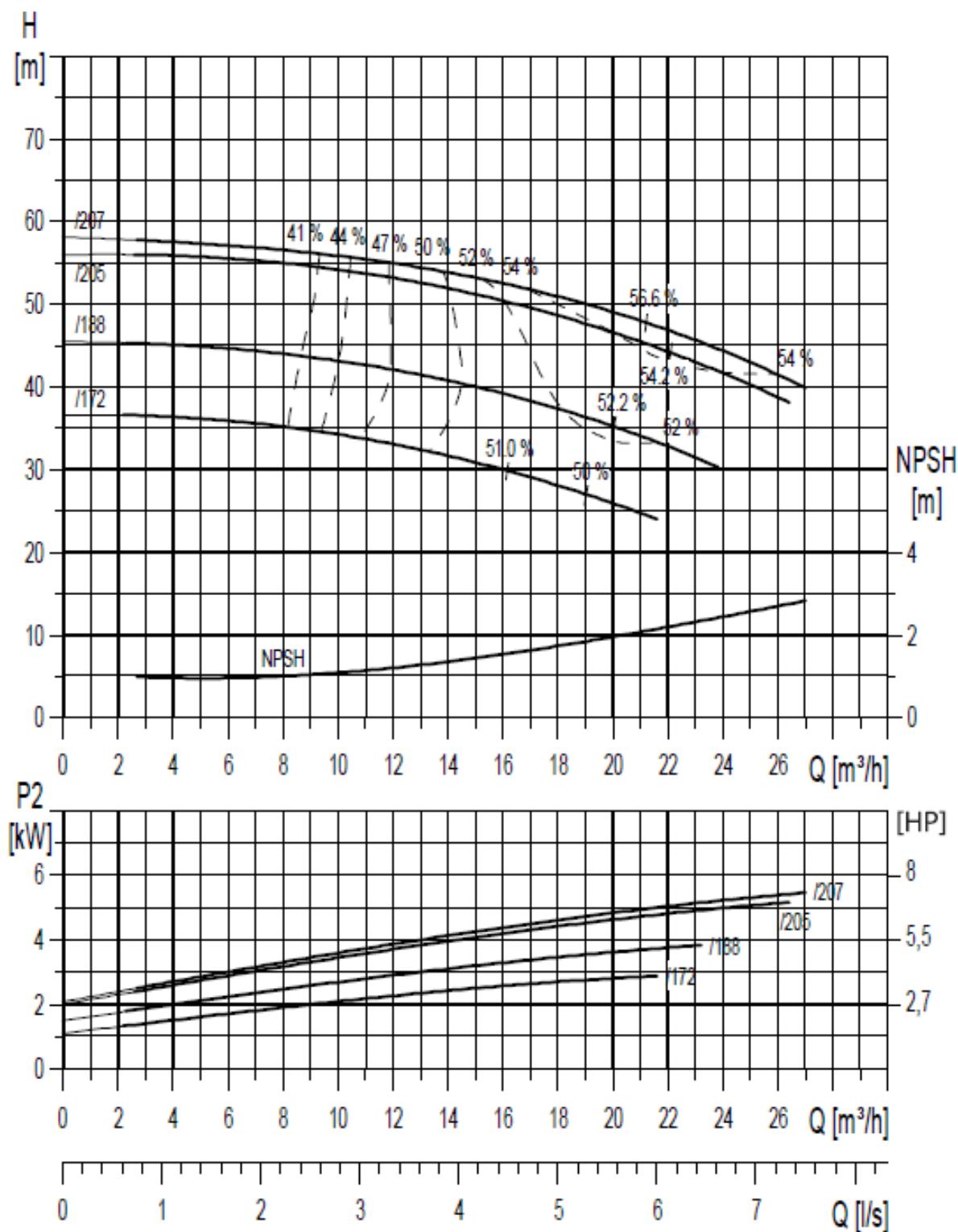
Velocidad Nominal / Nominal Speed  
**2900 1/min**



**Serie N**  
**Serie NM**

**32-200.1**

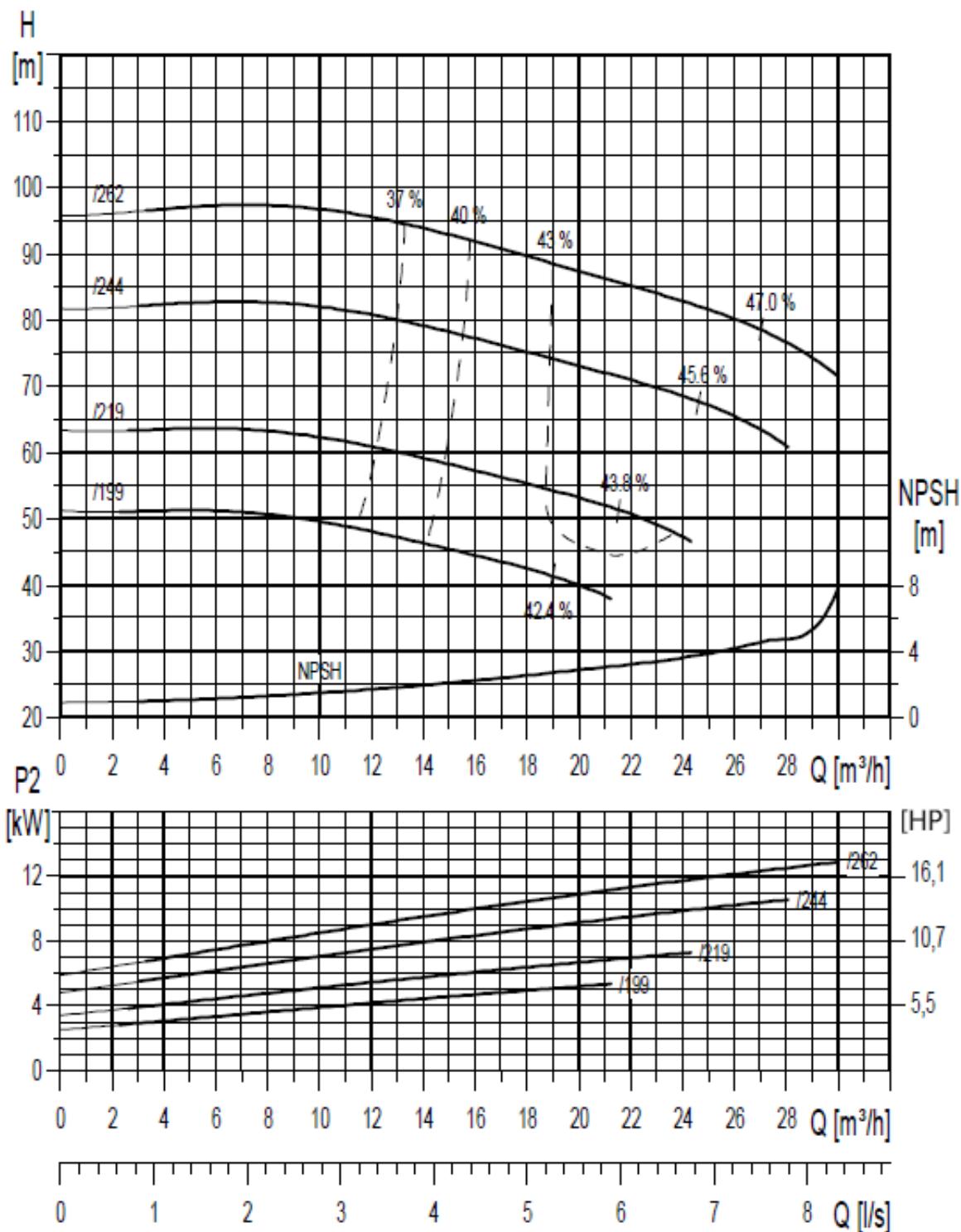
Velocidad Nominal / Nominal Speed  
**2900 1/min**



**Serie N  
Serie NM**

**32-250**

Velocidad Nominal / Nominal Speed  
**2900 1/min**



Serie N  
Serie NM

40-315

Velocidad Nominal / Nominal Speed  
2900 1/min

