

## **Empresas Energéticas**

### **- Sistema de bombeo industrial**

- IV. Herramienta computacional para la revisión del comportamiento energético actual en un sistema de bombeo industrial.**

### **IV. 5 Manual de usuario de la herramienta computacional para el cálculo de pérdidas de presión en un sistema de bombeo.**

## **CONTENIDO**

### **I. DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA HERRAMIENTA.**

#### **I.1 DATOS DE ENTRADA.**

- 1. Datos del sistema de bombeo hidráulico.**
- 2. Propiedades del fluido que se maneja.**
- 3. Datos de las características de la tubería.**
- 4. Datos de la configuración o arreglo de accesorios.**

### **II. SECUENCIA DE LAS ETAPAS DEL CALCULO DE LA HERRAMIENTA EN EXCEL**

#### **II.1 Consideraciones en el cálculo de las pérdidas de energía**

### **III. DATOS DE SALIDA (RESULTADOS) DE LA HERRAMIENTA.**

#### **III.1 DATOS DE SALIDA (RESULTADOS) DE LA HERRAMIENTA.**

## I. DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA HERRAMIENTA.

El uso de la herramienta computacional para realizar el balance hidráulico de un sistema de bombeo será descrito a continuación.

La información que se ingresa es la siguiente:

### I.1 DATOS DE ENTRADA.

#### 1. Datos del sistema de bombeo hidráulico:

<b>Punto inicial<sup>1</sup></b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Presión inicial	$P_1$	150	Psig
Flujo normal	$Q_{nor}$	100	GPM
Flujo máximo	$Q_{max}$	120	GPM
Posición (altura) del punto inicial respecto al nivel de piso	$Z_1$	15	ft
<b>Calculados</b>			
Velocidad normal	$V_{nor}$	0.249	ft/s
Velocidad máxima	$V_{max}$	0.299	ft/s

<b>Punto final</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Posición (altura) del punto final respecto al nivel de piso	$Z_2$	20	ft

#### 2. Propiedades del fluido que se maneja.

<b>Propiedades físicas del fluido que se maneja</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Densidad	$\rho$	62.37	[lbm/ft <sup>3</sup> ]
Viscosidad	$\mu$	0.001	[lbm/fts]
Gravedad específica	(g/gc)	32.17	[lbf/lbm]

---

<sup>1</sup> El punto inicial puede ser el de la descarga de la bomba u otro punto donde pueda tomarse la lectura de presión en sitio.

### 3. Datos de las características de la tubería:

<b>Material de Tubería: Hierro fundido</b>			
	<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Tramo	-	-	"n"
N° de cédula	-	-	60
Diámetro externo	Dext	in	14
Diámetro interno	Dint	in	12.812
Diámetro interno	Dint	ft	1.0677
Sección	S	Ft <sup>2</sup>	0.89
Longitud de tramo recto	Lrecto	ft	150

### 4. Datos de la configuración o arreglo de accesorios.

En relación con los accesorios se requiere conocer: tipo de accesorio, diámetro de la tubería y número total de accesorios de cada tramo que se desea analizar, para poder determinar los valores de (L/D) (cociente que relaciona la longitud equivalente del accesorio con el diámetro de este) de cada uno. Esto tiene la finalidad de calcular la longitud equivalente correspondiente a accesorios y, a su vez, transformar a longitud recta equivalente.

Una vez calculados los valores (L/D) del total de accesorios, se multiplica por cada diámetro interno de la tubería correspondiente, dando como resultado: la longitud equivalente de accesorios, como se muestra en la siguiente ecuación;

$$Leq_{\text{accesorios}} = \left(\frac{L}{D}\right) * D_{\text{interno}}$$

Resultando como Longitud total la suma de tramos rectos y la suma de longitud de accesorios;

$$L_{\text{total}} = L_{\text{tramo recto}} + Leq_{\text{accesorios}}$$

Cálculo de  $f'$ :

$$f' = 0.11 \left( \frac{\xi}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$$

Cálculo de  $\Sigma Fd \rightarrow 1$

$$\Sigma Fd \rightarrow 1 = f' \frac{V^2 L}{2gcD}$$

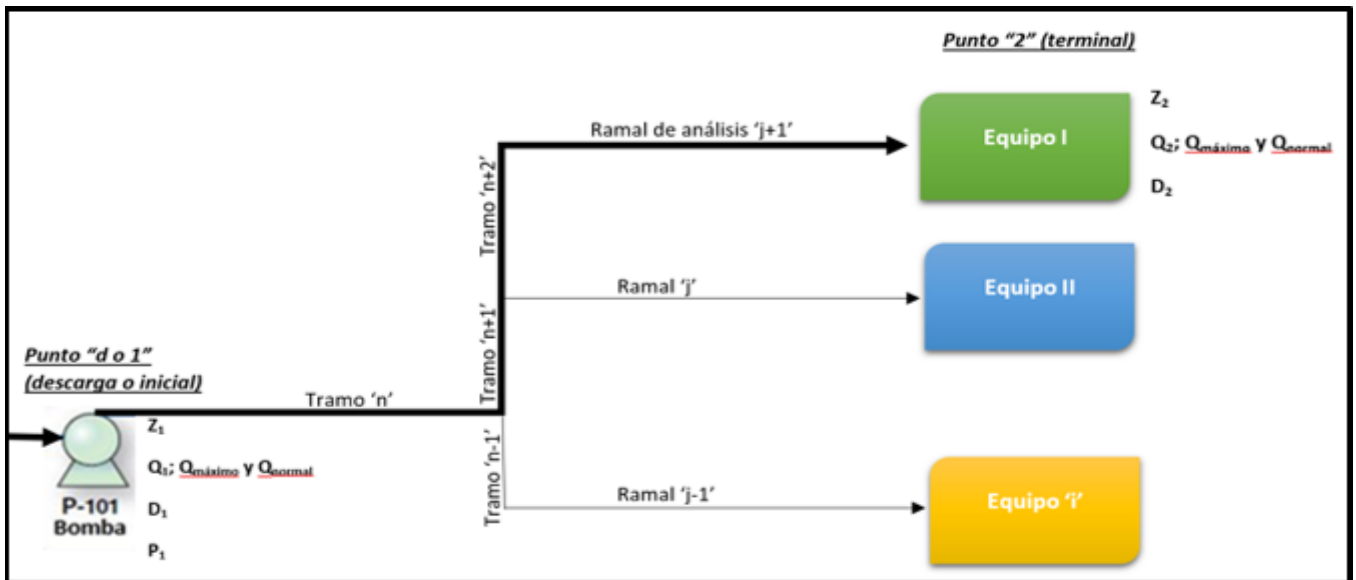
Por último, se calcula la presión final con la siguiente ecuación:

$$P_2 = \left[ \frac{(Z_1 - Z_2)g}{gc} + \frac{(V^2_1 - V^2_2)}{2\alpha gc} - \Sigma F_{1 \rightarrow 2} \right] \rho + P_1$$

## II. SECUENCIA DE LAS ETAPAS DEL CÁLCULO DE LA HERRAMIENTA EN EXCEL.

El siguiente algoritmo se utilizará para calcular la presión del punto final a la cual debe llegar un fluido, tomando en cuenta la descarga de la bomba como punto de partida.

El siguiente diagrama muestra, de manera general, un sistema de bombeo; como se observa, este puede estar conformado por diversos ramales, sin embargo, este análisis solo se realizará tomando en cuenta una sola línea de proceso (remarcada en color negro). El cálculo puede tomar en cuenta diversos accesorios (ver hoja, válvulas y accesorios), estos se deberán especificar cuando se requieran.



- a) En el primer apartado se ingresan datos acerca del sistema, se recalca que los datos que aparecen en verde se ingresan manualmente y los datos en azul son una lista desplegable de los posibles datos a utilizar.

Los primeros datos que se ingresan son las **especificaciones de la tubería:**

Una vez ingresando los datos necesarios, se dará *click* en el botón "diámetro" el cual arrojará el cálculo del diámetro interno y la sección de la tubería.

Este apartado se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Especificaciones de tubería

Tramo:	"n"		
<b>Hierro Fundido</b>			Diametro
Datos	Símbolo [=] Unidades	Valor	
N° Cédula;	NA	Sesenta	
Diámetro externo	Dext [=] in	14	
Diámetro interno	Din [=] in	12.812	
Diámetro interno	Din [=] ft	1.0677	
Sección	S [=] ft^2	0.8952849	
Long tramo recto	Lrecto [=] ft	150	

	Valor calculado
	Valor a ingresar
	Valor desplegable

En seguida tendremos que ingresar los **datos** específicos **del sistema** y las **propiedades del fluido**, como lo muestra la Figura 2, sin olvidar el patrón de color en los datos que se ingresan y los que se calculan.

Figura 2. Datos del Sistema

Datos	Símbolo	Unidades	Valor
Presión	<b>P1</b>	psig	150
Presión	<b>P1</b>	lb/ft^2	21600
Posición	<b>Z1</b>	ft	10
Posición	<b>Z2</b>	ft	30
Flujo máximo	<b>Qmax</b>	GPM	120
Flujo normal	<b>Qnor</b>	GPM	100
Flujo máximo	<b>Qmax</b>	ft^3/s	0.267361
Flujo normal	<b>Qnor</b>	ft^3/s	0.222801
Velocidad máxima	<b>Vmax</b>	ft/s	0.299
Velocidad normal	<b>Vnor</b>	ft/s	0.249
<b>Propiedades físicas del fluido</b>			
Variable	Símbolo	Unidades	Valor
Densidad	<b>ρ</b>	lbm/ft^3	62.371
Viscosidad	<b>μ</b>	cP	1.75
Viscosidad	<b>μ</b>	lbm/fts	0.001176

Después que se ingresan los datos, se comienza el cálculo de las diferentes aportaciones a la ecuación de Bernoulli, energía cinética y energía potencial, como lo vemos en la Figura 3.

Figura 3. Cálculo de Energía Potencial y Cinética

1) Energía potencial		
Ecuación	Resultado	Unidades
$\frac{(Z_d - Z_1)g}{gc} =$	-20	[ftlbf/lbm]
Cálculo del número de Reynolds para identificar el comportamiento del fluido.		
- Re =	14092.4859	
2) Energía cinética		
Ecuación	Resultado	Unidades
$\frac{(V^2_d - V^2_1)}{2agc} =$	0	[ftlbf/lbm]

b) En el siguiente apartado se calcularán las pérdidas de energía debidas a las fricciones por cada tramo de tubería, en el cual se tendrán que ingresar y seleccionar los datos requeridos. La herramienta cuenta con una base de datos para ciertos accesorios; esta fue obtenida del manual “Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”, por la División de Ingeniería de CRANE, en la cual debe seleccionar el tipo y número de accesorios con las que cuenta el tramo de tubería elegido.

Al momento de oprimir los botones “valor de (L/D)”, calculará en automático la longitud equivalente correspondiente al accesorio seleccionado.

En caso de que el usuario no identifique el(los) accesorio(s) de interés en la tabla “válvulas y accesorios”, podrá ingresar en el apartado contiguo “otros”; el accesorio con sus datos respectivos y en automático se calculará el valor de longitud equivalente del mismo, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Cálculo de longitud de accesorios

Cálculo de longitud de accesorios							
Válvulas y Accesorios						Cálculo de L-eqTA	
Tipo	Descripción		Abertura	Arrojar valor de L/D	L/D	N° piezas	L-eq (ft)
Globo	Tallo	- Sin obstrucción en el plano, bisel o el enchufe tipo silla	Total	Valor L/D	340	2	726.013333
	Forma "Y"	- Con vástago de 60 grados de funcionamiento de la tubería	Total	Valor L/D	175	0	0
Gate	Cuña, disco, doble disco o enchufe de disco		1/2	Valor L/D	160	2	341.653333
Check	Movimiento sin obstáculos 0.5+		Total	Valor L/D	50	1	53.3833333
Butterfly (8 inch and larger)			Total	N/A	40	0	0
Cocks	Directo-a trav	Zona del puerto de enchufe rectangular equivalente al 100% del área del tubo	Total			0	0
	Tres vías	Zona del puerto de enchufe rectangular equivalente al 80% del área del tubo (abertura total)	Flujo en ramal	Valor L/D	140	0	0
Accesorios	Codo estándar a 90°		N/A	Valor L/D	30	2	64.06
	T estándar	Con avance de flujo recto	N/A	Valor L/D	20	0	0
	Modelo cerrado con curva de retorno			N/A		50	0
Otros							
Acero comercial o hie	Descripción		L/D	N° piezas	L-eq (ft)		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		

En los arreglos de tuberías, con frecuencia encontramos curvas a diferentes ángulos, lo cual también genera una pérdida de energía que se calcula como una pérdida por fricciones, y cada curva cuenta como un accesorio más. Enseguida, se tiene una sección en la cual se puede calcular la longitud equivalente en curvas de 90° y de diferente ángulo, como se muestra en la Figura 5. Una vez que se ingresan los datos requeridos (recordar el código de colores), se debe ejecutar los botones “calcular” y “agregar”. Para realizar el cálculo final de la energía perdida debido a las fricciones, se tendrá que ejecutar el botón “rugosidad”. Por último, tendremos en el paso 4) el cálculo de la presión en el punto final del tramo seleccionado, como se muestra en la Figura 6.

Figura 5. Curvas de diferentes ángulos

NOTA: SI NO EXISTEN CURVAS DE 90°, SE DEBE DEJAR EN 0 Leq Y NO PRESIONAR BOTON Calcular...  
SI NO EXISTEN CURVAS ANGULARES SE ,DEBE DEJAR EN 0 Leq Y NO PRESIONAR BOTON Calcular

Curvas de 90° en tramo					
Número de Curvas	Radio	Diámetro	r/D	Leq	Calcular
3	0.53383333	1.1667	0.457571	94.30479107	

Θ de curva	Leq
20	4.069
35	9.1735
35	9.1735

Agregar

Figura 6. Cálculo de la presión en el punto final

Tramo	Material	Diámetro interno [ft]	Longitud Accesorios [ft]	Longitud Tramo Recto [ft]	Longitud Total [ft]	Rugosidad relativa (ξ/D)	Cálculo de f'	Cálculo de ΣF por tramo	Rugosidad relativa
"n"	Hierro Fundido	1.0677	1301.8308	150	1451.830791	0.163212482	0.07042784	0.092183976	

Ocupando para el Cálculo de f'

$$f' = 0.11 \left( \frac{\xi}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$$

Para el Cálculo de ΣF1→2

$$\Sigma F_{1 \rightarrow 2} = \Sigma F_n + \Sigma F_{n+1} + \Sigma F_{n+2} + \Sigma F_{j+1}$$

Cálculo de ΣF1→2

$$\Sigma f_d [ft \cdot lb_f / lb_m] = 0.092183976$$

4) Presión final	
<b>P2[psig]=</b>	141.297433

## II.1 Consideraciones en el cálculo de las pérdidas de energía:

1. La complejidad del cálculo hidráulico en los sistemas de bombeo, que incluye redes de tuberías, se presenta cuando hay cambios en el diámetro de la tubería, ya que las pérdidas de energía del fluido debido a la configuración y accesorios dependen del tipo y diámetro de la tubería. Para el cálculo de estas pérdidas se tiene que considerar el tipo de accesorio y diámetro donde está localizado.
2. Las propiedades físicas, como densidad y viscosidad; dependerán de la naturaleza y la temperatura del fluido. Por tanto, deberá considerarse la temperatura del fluido en el sistema para introducir estos datos.





### III.1 DATOS DE SALIDA (RESULTADOS) DE LA HERRAMIENTA.

Los resultados que arroja la herramienta son mostrados en la Tabla resumen A; en esta se listan las variables más significativas del comportamiento hidráulico de un sistema de bombeo con la finalidad de poder realizar su análisis e identificar problemáticas que estén provocando ineficiencia en el sistema.

**Tabla resumen A.**

Resultados del cálculo de pérdida de presión y presiones terminales calculadas para el sistema de bombeo bajo estudio.

<b>DEPENDENCIA:</b>
<b>CENTRO DE TRABAJO:</b>
<b>INSTALACIÓN DE PROCESO:</b>
<b>SERVICIO:</b>
Proceso <input type="checkbox"/> Agua de enfriamiento <input type="checkbox"/> Agua alimentación a calderas <input type="checkbox"/> Retorno condensado: <input type="checkbox"/> Alta Presión <input type="checkbox"/> Media Presión <input type="checkbox"/> Baja Presión <input type="checkbox"/>

**Cálculo de la presión final en un sistema de Bombeo**

Identificación de equipo	Línea ID	Flujo máximo	Flujo normal	Presión inicial (psig)	Velocidad del fluido en el punto inicial	Velocidad del fluido en el punto final	Caída de presión por longitud de tubería (psi/ 100 ft)	Diámetro interno en el punto inicial (plg.)	Diámetro interno en el punto final (plg.)	Número de Reynolds en el punto inicial	Número de Reynolds en el punto final	Viscosidad (cP)	Densidad (lb/ ft3)	Pérdidas totales	Presión terminal calculada (psig)
<b>BOMBAS:</b>															
BA-2001															
BA-04															