

## EVALUACIÓN CONCEPTUAL BASADA EN CRITERIO DE NPSH PARA INSTALACIÓN DE KIT DE BOMBEO EN CAMIÓN BOMBERO ALTERNATIVO

### *Conceptual evaluation determined by NPSH criterion for pump kit installing for alternative firefighting truck*

Dr.C. Ing. Ramón Pérez Gálvez (\*)  
[ramon.perez@seisa.cu](mailto:ramon.perez@seisa.cu)  
ORCID: 0000-0003-0879-3263  
Sucursal SEISA Cienfuegos, Cuba

Ing. Yoslendry Izquierdo Rivera  
[yoslendry.izquierdo@seisa.cu](mailto:yoslendry.izquierdo@seisa.cu)  
ORCID: 0000-0002-5010-7020  
Sucursal SEISA Cienfuegos, Cuba

Lic. Lázaro Cedeño Núñez  
Cuerpo de Bomberos de Cienfuegos,  
Cuba

(\*) Autor para correspondencia.

### SUMARIO

Evaluación conceptual basada en criterio de NPSH para instalación de kit de bombeo en camión bombero alternativo .....	35
Resumen .....	35
Introducción .....	36
Desarrollo .....	37
Conclusiones .....	39
Referencias bibliográficas .....	39

### RESUMEN

La técnica móvil es parte importante del proceso de extinción de incendios pues permite trasladar los recursos, los materiales y los medios necesarios para el control del fuego. Usualmente los medios móviles son equipos especializados preparados desde la fábrica para cumplir tareas especializadas. Su adquisición es usualmente cara. En este trabajo se evaluó la adecuación de un conjunto de bomba y motor diésel extraído de una estación fija para instalarlo en un camión y convertirlo en técnica móvil de lucha contra incendios. Debido a que los parámetros de carga y caudal de bombeo eran suficientes, se llevó a cabo su análisis bajo el criterio de NPSH (*net positive suction head*), que es un requisito para que no ocurra cavitación en la bomba y como consecuencia su destrucción. Como resultado se obtuvo que la técnica de análisis es correcta. Aunque en el caso de estudio arrojó que, bajo determinadas condiciones, no es recomendable el uso del grupo de bombeo analizado para su empleo como técnica móvil contra incendios.

### ABSTRACT

*The mobile technique is an important part of the firefighting process as it allows the transfer of resources, materials and means necessary for the fire control. Usually the vehicles are specialized equipment prepared from the factory to fulfill specialized tasks. Its acquisition is usually expensive. In this work the installation of a pumping group belonging of pumping station, was evaluated on a truck to convert it into a mobile fire-fighting equipment. Due to the head and flow pump requirements were sufficient, their analysis was carried out under the NPSH criterion, which is a requirement so that cavitation does not occur in the pump and its destruction. As result, it was obtained that the analysis technique is correct. However, in the case study it was found that the use of the analyzed pumping group is not recommended for its use under certain conditions as a mobile fire-fighting technique.*

### Palabras clave

bombas  
camiones  
cavitación  
contraincendios  
evaluación

### Keywords

cavitation  
evaluation  
firefighting  
pumps  
trucks

Fecha recibido:  
28 / 02 / 2023

Fecha publicación:  
20 / 05 / 2023

## INTRODUCCIÓN

Desde hace casi un año, han aumentado, respecto a épocas pasadas, los eventos asociados con grandes incendios en Cuba. Se han manifestado en varios sectores; los más importantes son los ocurridos en la infraestructura industrial y los forestales.

Los incendios forestales en Cuba han afectado las líneas de transmisión del Sistema Electroenergético Nacional en la región central de Cuba y las montañas de Mayarí en el oriente cubano. No obstante, ningún factor por sí solo produce incendios forestales; más bien, ocurren cuando se traspasan los umbrales de incendios.

Entre los principales iniciadores se encuentran: el comportamiento humano, la concentración crítica de biomasa combustible y el efecto prolongado de la sequía. Los eventos meteorológicos anómalos pueden reducir estos umbrales y, por lo tanto, aumentar la probabilidad y la propagación de incendios forestales. El cambio climático aumenta la frecuencia con la que se traspasan algunos de estos umbrales, prolongando la duración de la temporada de incendios y aumentando la frecuencia de los años secos. (Pausas y Keeley, 2021.)

También en este periodo se manifestó un incendio de grandes dimensiones en la base de almacenaje de combustible de super-tanqueros en Matanzas, el origen del evento es atribuible a una descarga eléctrica que impactó directamente en un tanque de crudo y sus efectos fueron catastróficos. El mayor problema no es el incendio en el tanque donde impactó el rayo, sino el efecto dominó en el patio de tanques debido a la radiación térmica, la dirección de los vientos y la exposición a largo plazo que debilitó la estructura de los tanques y provocó fallas como han demostrado Malik y otros (2023), para otros casos.

Para cualquiera de esos tipos de incendios, el empleo de la técnica móvil contra incendios reviste alta importancia, incluso disponiendo de un sistema fijo de extinción de incendios se necesita apoyo de camiones de bomberos, barcos e incluso medios aéreos.

La técnica móvil contra incendios basada en transporte automotor regularmente está dotada

con equipos de bombeo. Esta tecnología aparece en los anales de la revolución industrial, luego de que se difundiera la bomba como medio útil de extinción como expone Zwierlein (2021). La actividad de extinción de incendios tiene una alta cobertura normativa, con un sustento técnico importante. Por tal razón, no es usual preocuparse por los parámetros de bombeo, pues al estar sustentados por la norma, permiten cubrir las posibilidades previstas para el cumplimiento de la tarea. La técnica móvil ordinaria puede aprovechar los volúmenes de líquido de los cuerpos de agua presentes en el entorno, sean naturales o artificiales, pues técnicamente sus parámetros de bombeo están diseñados con ese fin (Ustinov y otros, 2021), entre ellos su NPSH que evalúa su predisposición a la cavitación.

Pero, ¿qué hacer cuando se desencadenan eventos gigantescos? Cuando ocurre un incendio de enormes proporciones hace falta más caudal de bombeo para aumentar el volumen de enfriamiento, incluso un caudal superior al que posee la técnica convencional y, ¿todas las bombas de gran caudal que podrían ser adaptadas a la técnica automotor servirían para trasegar líquido desde un reservorio abierto a la presión atmosférica? o ¿sería posible construir un equipo móvil de extinción con determinado conjunto de bombeo que cumpla estos requerimientos?, es por eso que en el siguiente trabajo se evalúa conceptualmente la instalación de un grupo de bombeo en la técnica móvil contra incendios con enfoque al NPSH.

Para varios investigadores de máquinas de flujo, entre ellos Patil (2021), los álabes del impulsor son generalmente las piezas que más se erosionan durante el funcionamiento. Desarrollan poros y asperezas, degradando la superficie del metal. Esta erosión disminuye la eficiencia energética y aumenta los costos de mantenimiento. Además, afecta la estabilidad mecánica de la bomba (Yun y otros, 2020).

Existen varios criterios o indicadores para determinar las causas de la cavitación (Gopalakrishnan, 1985), no obstante, la comparación del NPSH disponible del sistema con el NPSH requerido por la bomba es suficiente para anticiparse a la cavitación de la bomba en su circuito hidráulico de trabajo.

## DESARROLLO

A continuación, se presenta la evaluación conceptual de la instalación de un conjunto de bombeo en la técnica móvil contra incendios con enfoque al NPSH.

### ESQUEMA DE ANÁLISIS

Se concibe la instalación de un grupo de bombeo (bomba + motor diésel) sobre un medio de transporte, vehículo pesado, que succionará de un reservorio abierto.

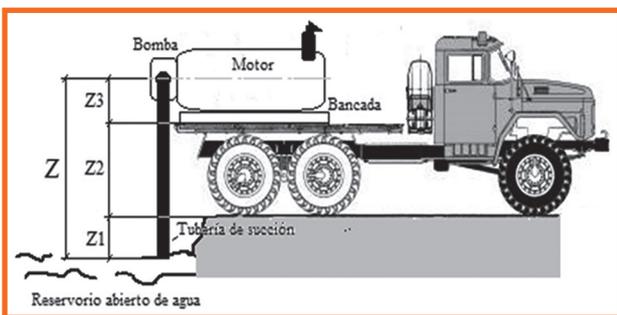


Figura 1. Esquema de análisis de grupo de bombeo sobre técnica móvil (dibujo sin escala) (elaboración propia).

### CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS

1. El caudal y la carga de la bomba son las necesarias para el servicio.
2. Se tomará agua de un reservorio y es abierto a la atmósfera.
3. La temperatura del agua es  $T < 30$  °C.
4. La metalurgia de la bomba es apropiada para trasegar el agua.
5. El escenario de evaluación ocurre a una elevación menor que 1000 metros sobre el nivel del mar.
6. No es objetivo del trabajo el diseño del sistema de cebado.
7. Se considera que el grupo de bombeo está en buen estado técnico.
8. El alcance del trabajo no abarca los detalles del montaje del grupo de bombeo a la técnica móvil.

## VARIABLES Y CONSTANTES DE INGENIERÍA EMPLEADOS EN EL ANÁLISIS

Tabla 1  
Acrónimos, términos y unidades de medida

Acrónimo	Significado	Unidad
$NPSH_D$	Altura neta positiva de aspiración disponible	m
$NPSH_R$	Altura neta positiva de aspiración requerida	m
$NPSH_3$	Altura neta positiva de aspiración que provoca un 3% de caída de carga	m
$P_L$	Presión sobre el líquido	N/m <sup>2</sup>
$P_V$	Presión de vapor del líquido a temperatura de trabajo	N/m <sup>2</sup>
$Q$	Caudal en la succión	m <sup>3</sup> /s
$A$	Área de los accesorios de la succión	m <sup>2</sup>
$L$	Longitud de la tubería	m
$D$	Diámetro de la tubería	m
$v$	Velocidad del líquido	m/s
$\rho$	Densidad del líquido	kg/m <sup>3</sup>
$g$	Aceleración de la gravedad	kg/m·s <sup>2</sup>
$\xi$	Coefficiente de singularidad friccional de accesorio	-
$f$	Coefficiente friccional de tubería	-
$Z$	Altura de aspiración	m
$h$	Pérdidas en la aspiración	m
$h_{1n}$	Pérdidas atribuidas al accesorio "n"	m
$h_f$	Pérdidas atribuidas a tramos rectos de tubería	m
$z_1$	Altura del terreno respecto al reservorio de agua	m
$z_2$	Altura del terreno a la bancada del grupo de bombeo	m
$z_3$	Altura del terreno a la bancada del grupo de bombeo	m

**METODOLOGÍA DE ANÁLISIS**

Para evitar la cavitación en la bomba se debe cumplir:

$$NPSH_D \geq NPSH_R \tag{1}$$

$$NPSH_R = NPSH_3 + 0.5 \tag{2}$$

Donde:

$$NPSH_D = 10^5 \cdot \frac{(P_L - P_V)}{\rho \cdot g} - Z - h \tag{3}$$

Sustituyendo los valores y propiedades de la sustancia de trabajo y entorno:

$$NPSH_D = 10^5 \cdot \frac{(1-0,03)}{1000 \cdot 9,8} - Z - h \tag{4}$$

Luego:

$$NPSH_D = 9,89 - Z - h \tag{5}$$

Sustituyendo (2) en (1) e igualando con (5):

$$9,89 - Z - h \geq NPSH_3 + 0,5 \tag{6}$$

Luego de la curva de trabajo de la bomba se busca el  $NPSH_3$ :

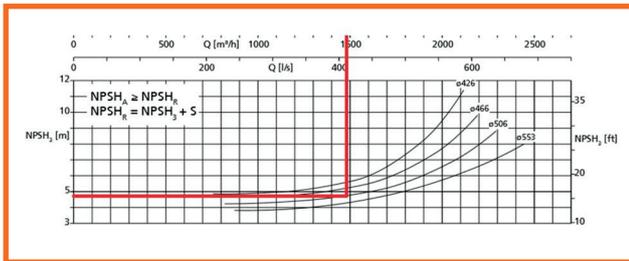


Figura 2.  $NPSH_3$ , para  $Q=1480m^3/h$  ( $0,41 m^3/s=411L/s$ ). (Elaboración propia).

$$9,89 - Z - h \geq 4,8 + 0,5 \tag{7}$$

Para las pérdidas en la succión,  $h$  se considera como esquema básico: una "T" donde su flujo básico ocasiona un ángulo de  $90^\circ$  que acopla la bomba a una tubería recta con una válvula de retención y una rejilla (en el lado recto de la "T" iría al arreglo para cebado) figura 3.

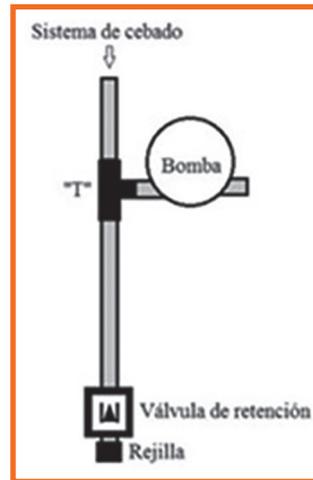


Figura 3. Esquema básico de circuito de succión. (Elaboración propia).

Luego:

$$h = h_1 + h_f \tag{8}$$

$$h_1 = h_1 + h_2 + h_3 \tag{9}$$

$$h_{1n} = \epsilon_n \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{10}$$

Como:

$$v = \frac{Q}{A} \tag{11}$$

Y los coeficientes de singularidad friccional  $\xi$  para la "T", la válvula de retención y la rejilla son, 1,5; 2,5 y 0,8, respectivamente.

Se sustituye en (11) y (10), luego (9):  $h_1 = 2,15m$

Por otra parte,

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{12}$$

Pero,  $L = Z$ , y

$$Z = z_1 + z_2 + z_3 \tag{13}$$

Para tres tipos de vehículos evaluados: ZIL 130, ZIL 131 y HoWo;  $z_2 \approx 1,5 m$  (pues  $z_{2 \text{ ZIL } 130} = 1,45 m$ ,  $z_{2 \text{ ZIL } 131} = 1,43 m$  y  $z_{2 \text{ HoWo}} = 1,47 m$ ) y  $z_3 \approx 1 m$ , ya que debe considerarse la bancada de la bomba a la plancha del camión:

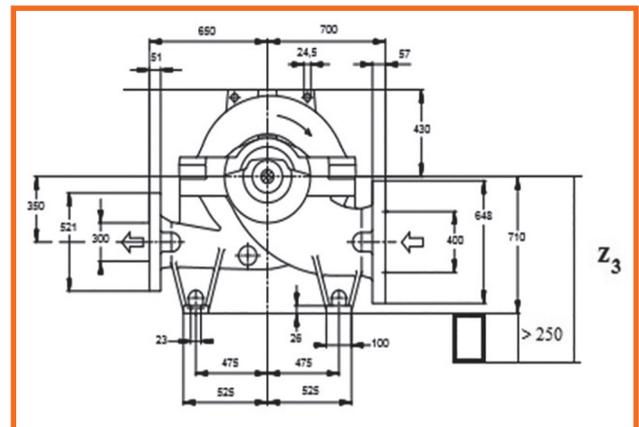


Figura 4. Dimensiones de la bomba analizada (KSB, 2016).

Entonces:

$$9,89 - 1,06 \cdot z_1 - 4,65 \geq 5,3 \quad (14)$$

Pues en (12), el coeficiente friccional de tubería utilizado en el cálculo es  $f = 0,09$  (tubería de acero).

Despejando y efectuando en (14):

$$z_1 = - 0,05 \text{ m}$$

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la bomba analizada, el resultado obtenido para  $z_1$  significa que la técnica móvil debe situarse 5 cm debajo del nivel del reservorio para evitar la cavitación. Este es un valor impracticable, y aunque fuese posible crear este escenario no deja reservas para evitar el fenómeno. De la ecuación (7) se deduce que para aumentar el NPSH disponible del sistema debe acortarse la altura de aspiración  $Z$  y disminuir las pérdidas en la succión  $h$ . La altura de aspiración puede reducirse empleando un vehículo con neumáticos de menor radio, lo cual se desvía de la técnica móvil convencional que responde a ciertos requerimientos de carga útil y capacidad de paso. La reducción de las pérdidas en la succión es directamente proporcional a la disminución de la velocidad del líquido  $v$  lo cual se obtiene por deducción de la ecuación (11): aumentando el diámetro y por tanto el área de los dispositivos en la succión. Pero, si bien utilizar un diámetro más grande en succión crearía ventajas respecto a la cavitación (Kallon y otros, 2019), esto tampoco es práctico porque el ligero aumento que provoca en el NPSH disponible no crea una reserva de este valor que impida la cavitación, además complica el diseño mecánico y la funcionalidad operacional del conjunto.

## CONCLUSIONES

1. Se desarrolla una metodología para la evaluación conceptual de un grupo de bombeo basado en el criterio de NPSH.
2. Para que no ocurra cavitación durante la operación del grupo de bombeo, la altura permisible de la superficie donde se apoya el camión hasta el cuerpo de agua donde se succiona, debe estar unos 0,05 m por debajo

del reservorio de líquido. Este valor no ofrece reservas de NPSH, ni es operacional, aun sin considerar las dificultades que crea en el diseño de sistema de succión y cebado, y las exigencias para el mantenimiento.

3. Por tanto, de este análisis se infiere que no es recomendable el uso del grupo de bombeo que se presenta sobre la técnica móvil analizada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pausas, J. G. & Keeley, J. E. (2021). Wildfires and global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(7), 387-395.
- Malik, A. A., Nasif, M. S., Arshad, U., Mokhtar, A. A., Tohir, M. Z. M., & Al-Waked, R. (2023). Predictive Modelling of Wind-Influenced Dynamic Fire Spread Probability in Tank Farm Due to Domino Effect by Integrating Numerical Simulation with ANN. *Fire*, 6(3), 85.
- Zwierlein, Cornel. The Danger between Nature and Culture: The Quotidian Threat of Urban Fires in the Premodern Era. En *Prometheus Tamed*. Brill, 2021. pp. 58-240.
- Ustinov, A. S., Rogozin, S. S., Pitukhin, E. A. & Astafyeva, M. P. (2021, December). Parameters and operation modes optimization of specialized truck for extinguishing forest fires. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 937, No. 2, pp. 022-028). IOP Publishing.
- Patil, H. (2021). Detection, causes and ways of prevention of cavitation in pumps. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 6(3), 2455-2143.
- Yun, L., Rongsheng, Z., & Dezhong, W. (2020). A cavitation performance prediction method for pumps PART1-Proposal and feasibility. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(11), 2471-2478.
- Gopalakrishnan, S. (1985). Modern cavitation criteria for centrifugal pumps. In *Proceedings of the 2nd International Pump Symposium*. Turbomachinery Laboratories, Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University.
- KSB. (2016). *Omega / Omega V. Characteristic Curves Booklet*. KSB Aktiengesellschaft. Frankenthal.
- Kallon, D. V., Matlakala, M. E., Nkoana, K. F., Mafu, B. D., & Mkhwanazi, S. B. (2019, October). Effect of Suction Diameter Variations on Performance of Centrifugal Pump. In *2019 Open Innovations (OI)* (pp. 170-173). IEEE.