



**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES**  
**TEMÁTICA: ANÁLISIS Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS**

**Título**  
**DISEÑO HIDRÁULICO DE ESTACIONES DE BOMBEO PARA  
LOS TRASVASES, PUNTAL ESTRATÉGICO PARA EL  
DESARROLLO CUBANO.**

*Title*  
***DESIGN HYDRAULIC OF STATIONS OF PUMPING FOR THE  
WATER-TRANSFER, STRATEGIC PROP FOR THE CUBAN  
DEVELOPMENT.***

**Nombre y Apellidos:** Alain Paneque Martínez. Universidad de Oriente, Cuba,  
alain5@uo.edu.cu

**Resumen:**

Para garantizar una distribución lógica del agua, contrarrestar la sequía en zonas de pocas precipitaciones, abastecer a la población y desarrollar sistemas de riego en áreas de producción de alimentos, hace varios años se ejecutan trasvases en distintas regiones del país. Estas obras hidráulicas son inversiones costosas en las que se avanza de acuerdo con los recursos disponibles en la nación; no obstante, es una construcción priorizada por sus grandes beneficios. Entre los objetos de obras que se diseñan y construyen en los trasvases están las estaciones de bombeo de agua, estructuras hidráulicas que tienen como objetivo conducir un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor por mediación de bombas hidráulicas. Muchas veces su diseño no es óptimo ya que se violan parámetros en los estudios de factibilidad de la obra y en la etapa de proyecto. La presente investigación constituye un aporte al desarrollo de técnicas y metodologías utilizadas en el proceso de lograr un diseño óptimo de estaciones de bombeo agua de gran envergadura para ser usadas en los trasvases de agua en el país. Como resultado se propone una metodología de diseño actualizada orientada a lograr la adecuada correspondencia entre las capacidades y eficiencias hidráulica y energética de estaciones de bombeo que formarán parte de las obras en los trasvases de agua. La literatura técnica sobre estas temáticas es escasa y dispersa, por lo que se espera que este material constituya una herramienta de trabajo que responda a las expectativas.



**Abstract:**

*To guarantee a logical distribution of the water, to counteract the drought in areas of few precipitations, to supply the population and to develop systems of waterings in areas of production of allowances, wáter-transfer has been executed in different domestic regions for several years. These hydraulic works are expensive investments in those that you advances of agreement with the available resources in the nation; nevertheless, it is a construction prioritized by their big benefits. Among the objects of works that are designed and they build in the trasvases the stations of pumping of water are, hydraulic structures that have as objective to drive a fluid from a level energy initial to a bigger energy level for mediation of hydraulic pumps. Many times their design is not good since parameters are violated in the studies of feasibility of the work and in the project stage. The present investigation constitutes a contribution to the development of technical and methodologies used in the process of achieving a good design of stations of pumping dilute of great span to be used in the trasvases of water in the country. As a result intends an upgraded design methodology guided to achieve the appropriate correspondence among the capacities and efficiencies hydraulics and energetics of stations of pumping that will be part of the works in the wáter-transfer. The technical literature on these thematic ones is scarce and dispersed, for what is expected that this material constitutes a working tool that responds to the expectations.*

**Palabras Clave:** Diseño; Bombeo; Agua; Traslase; Estación; Metodología.

**Keywords:** Design; Pump; Water; Transfer; Station; Methodology.



## **1. Introducción**

El gobierno cubano impulsó desde 1959 un ambicioso programa de ingeniería para el embalse artificial de agua, con el objetivo de garantizar el suministro para una población que casi se duplicó hasta los 11,2 millones de habitantes, e impulsar planes de desarrollo industrial y riego agrícola. Los datos señalan que de poco más de una decena de pequeños embalses hace seis décadas, existen ahora en las quince provincias y en el municipio especial Isla de la Juventud, la segunda mayor isla del archipiélago, más de 240 con una capacidad de almacenamiento de más de nueve mil millones de metros cúbicos.

De acuerdo con el Anuario Estadístico de 2020, más de 95 por ciento de la población cubana tiene acceso al agua potable. Pese a la crisis económica que atraviesa el país desde hace tres décadas y los impactos del embargo de Estados Unidos desde 1962, durante los últimos años se aprecian inversiones millonarias para mitigar el déficit de recurso y mejorar su calidad.

Entre las obras de ingeniería sobresalen los llamados trasvases, con más de una decena a lo largo del país, considerados estratégicos y pilares en la construcción de resiliencia ante los efectos del cambio climático. Tales sistemas de represas, estaciones de bombeo, canales, conductoras, túneles y puentes que pueden alcanzar cientos de kilómetros interconectados, trasvasan agua desde zonas donde abunda hacia zonas de cultivos, industrias y asentamientos humanos, permiten asimismo controlar inundaciones, aminorar los impactos de los periodos secos y emplazar hidroeléctricas para la generación de electricidad.



Fig. # 1. Trasvase Este-Oeste.

Del monto de las inversiones en el sector hidráulico, que en los últimos años ha superado los cuatrocientos millones de pesos anuales como promedio, más de la mitad corresponde



al aporte del presupuesto del Estado cubano para la construcción y montaje de los diferentes objetos de obras que conforman los trasvases, alrededor de un 2.2 % de esa inversión está destinada al emplazamiento y explotación de toda la infraestructura relacionada con las estaciones de bombeo por su importancia en la conducción del preciado líquido.



Fig. # 2 Obras asociadas a los trasvases en Cuba.

La idea principal de nuestro eterno comandante en jefe Fidel Castro Ruz en lo que se conoce como la “Voluntad Hidráulica en Cuba” se cumplió, todas las obras de los trasvases que además de están incluidas en los programas del Plan Hidráulico Nacional, no son obras para las sequías, sino para equilibrar el uso del agua, llevándola desde donde está en exceso hacia donde es deficitaria, y hacia donde se requiere para los cultivos y la población.

Actualmente, en el país se han definido tres grandes trasvases Centro-Este, Este-Oeste y Norte-Sur, los cuales se encuentran en desarrollo constructivo, pero ya benefician con riego a más de 52 mil 600 hectáreas agrícolas, (ESI-DIP TRASVASES 2020).

Cuba cuenta además con 10 sistemas de trasvases, ellos son:

- ❖ Traslase Matanza- Mayabeque, Traslase Pedroso- Mampostón, Traslase Jucarito-Rincón, Traslase Cauto-Güirabo, Traslase Nipe-Gibara, Traslase Colorado-Naranja, Traslase Mogote, Traslase Gota Blanca-Túnel Sierra Maestra y Traslase Sabanalamar-Pozo Azul. (INRH 2021)

Se trata de infraestructuras que abarcan varios conjuntos hidráulicos, unos 292 kilómetros de canales, estaciones de bombeo, conductoras y túneles, que permiten trasvasar 262 millones de metros cúbicos de agua anualmente.



Fig. # 3 Mapa del Traslado Este-Oeste, que va desde Moa (Holguín) hasta Las Tunas.

Entre los objetos de obras que se diseñan y construyen que forman parte de la infraestructura hidráulica de los trasvases, se encuentran las estaciones de bombeo, estructuras hidráulicas que tienen la función de conducir grandes volúmenes de agua desde un punto de menor cota topográfica hasta uno más distante, más elevado o la combinación de ambos. (Paneque, eat 2008)



Fig. # 4 Estación de Bombeo de gran envergadura.

Estas estaciones de bombeo que se emplazan en los trasvases, están conformadas por unidades de bombeo centrífugas de gran envergadura, acopladas a motores eléctricos



asincrónicos trifásicos de altas solicitaciones eléctricas, a pesar de ser eficientes son grandes consumidores de energía eléctrica pero vitales en cuanto al beneficio directo que producen. Si estas unidades son diseñadas y operadas con altos valores de eficiencia, los costos de explotación disminuyen considerablemente y la relación costo/beneficio es factible en la toma de decisiones.

Muchas veces a la hora del diseño hidráulico de estas estaciones de bombeo, se violan parámetros en los estudios de factibilidad de la obra y en la etapa de proyecto “soluciones principales”, sumado a esto, la literatura técnica sobre estas temáticas es escasa y dispersa y muchas veces el tiempo para su ejecución también es limitado, por ello el objetivo principal de esta investigación está centrado en brindar una metodología de diseño óptima y actualizada de estaciones de bombeo agua de gran envergadura con fines socioeconómicos y con los últimos estándares internacionales, que permita lograr la adecuada correspondencia entre las capacidades y eficiencias hidráulica y energética para formar parte de las obras dentro de los trasvases de agua



Fig. # 5 Instalación de una Estación de Bombeo de gran envergadura.

La presente investigación constituye un aporte al desarrollo de técnicas y metodologías utilizadas en el proceso de lograr un diseño óptimo para ser usadas en los trasvases de agua en el país. Este material puede constituir una herramienta de trabajo que responda a las expectativas y sea aceptada por su viabilidad y trascendencia, además de su empleo con fines docentes por su alta actualidad y forma de redacción.



## **2. DESARROLLO**

### **METODOLOGÍA GENERAL PARA EL DISEÑO OPTIMO DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO.**

El procedimiento general consta de dos etapas:

- Elaboración de los Estudios de Factibilidad de la Estación de Bombeo
- Elaboración de la etapa de proyecto "Soluciones Principales o Anteproyecto" del Sistema de Bombeo

#### Estudios de Factibilidad la Estación de Bombeo. -

En esta etapa se procede a la conformación de la información y de la base de datos requeridos para el proceso de proyecto de la estación de bombeo en función de:

1. La etapa del proceso de proyecto y la categoría de la obra en cuanto a:
  - Uso a que está destinado.
  - Capacidad de bombeo.
  - Tiempo de vida útil y de consecuencias por averías o accidentes.
  - Importancia de operación.
2. El tipo y características de fuente de abasto de agua:
  - reservas y caudal instantáneo de extracción autorizado.
  - calidad del agua (parámetros físicos, químicos y biológicos) y sus variaciones estacionales.
  - variaciones estacionales de los caudales de extracción y de los niveles de la fuente.
3. En el caso de otros tipos de fluidos a bombear:
  - naturaleza del fluido
  - caudales instantáneos (máximo y mínimo), volúmenes a bombear, y sus variaciones horarias.
  - parámetros físicos (temperatura; presión de vapor; peso específico; viscosidad; sólidos en suspensión.).
  - parámetros químicos (ph; agresividad; gases y sales disueltas; etc.).
4. Los tipos de usuarios y demandas actuales y futuras. Caudales instantáneos (máximo y mínimo) a bombear y sus variaciones horarias.
  - La disponibilidad de bases topográficas a escalas apropiadas.



**Título Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**TÍTULO**

- Uso y tenencia de suelos del área de localización de las obras hidrotécnicas que conforman el sistema de bombeo.
- La complejidad de las condiciones topográficas e ingeniero–geológicas del área de localización de las obras hidrotécnicas.
- 5. Las tipologías apropiadas de la obra de captación en correspondencia con:
  - el tipo y características de la fuente de abasto.
  - las características topográficas e ingeniero-geológicas de la zona de localización.
  - el tipo de bomba apropiado.
  - la capacidad máxima de diseño.
- 6. Las disponibilidades de viales, de líneas de suministro de energía eléctrica y de las comunicaciones.
- 7. Las normas y regulaciones jurídicas, medio ambientales, y constructivas; Las regulaciones en cuanto a disponibilidad y empleo de recursos humanos, materiales y financieros.
- 8. La presencia de peligros potenciales naturales o antrópicos en el territorio de influencia de la estación de bombeo.
- 9. Planes territoriales de desarrollo y regulaciones de la defensa.
- 10. Áreas y recursos naturales y patrimoniales protegidos.

**Etapa de Proyecto “Soluciones Principales”.-**

En esta etapa de proyecto se determinan por orden los aspectos siguientes:

- 1) La tipología de la obra de captación y de la estación de bombeo apropiada.
- 2) La tipología de la bomba apropiada. (vertical; horizontal; sumergible).
- 3) El caudal de bombeo máximo instantáneo probable (caudal de diseño) y el régimen de bombeo (continuo, intermitente, horario de bombeo, etc.) requeridos.
- 4) El balance de las capacidades de diseño requeridas de los principales objetos de obra que conforman el sistema de bombeo
- 5) La micro localización de la obra de captación y de la estación de bombeo para establecer:
  - Cota de explanación de la Estación de Bombeo.
  - Cota máxima y mínima de los niveles de la fuente.
  - Altura de succión máxima o sumergencia mínima.



**Título Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**TÍTULO**

- 6) El trazado en planta y perfil de las conductoras de succión e impulsión para establecer:
  - Longitud de la conductora de succión, y de las singularidades y accesorios a instalar en la misma.
  - Longitud de la conductora de impulsión y accesorios a instalar en la misma.
- 7) La tipología y micro localización de la obra de descarga. Cota promedio del nivel de descarga.
- 8) Los valores máximo y mínimo de la diferencia de nivel geométrico entre el punto de descarga y la superficie del fluido en la obra de captación.
- 9) Los valores máximo y mínimo de la diferencia de carga de presión entre del punto de descarga y la obra de captación.
- 10) Las velocidades máximas permisibles de circulación del fluido por las conductoras de succión e impulsión.
- 11) El diámetro económico de la conductora de impulsión. El diámetro de la tubería de succión cuando se emplean bombas horizontales en seco.
- 12) La carga de bombeo de diseño para el caudal de diseño.
- 13) Los parámetros técnicos y energéticos por tipología de bomba para la selección las alternativas de bombeo más ventajosas.
- 14) Los costos de explotación anual de las alternativas de bombeo seleccionadas para establecer la más ventajosa.
- 15) La selección de la marca y modelo de las unidades de bombeo a instalar (conjunto motor-bomba) disponibles en el mercado.
- 16) Los parámetros reales de operación de la unidad de bombeo seleccionada disponible en el mercado:
  - a. Caudal mínimo y máximo.
  - b. Carga mínima y máxima.
  - c. Eficiencia mínima y máxima.
  - d. Potencia mínima y máxima.
  - e. NPSH requerida mínima y máxima.
  - f. Demanda Energética Total (Kw-h) mínima y máxima.
  - g. Tiempo de trabajo anual mínimo y máximo, horas.
  - h. Volumen máximo y mínimo de fluido bombeado por año, m<sup>3</sup>/año.



- 17) El dimensionamiento de la obra de captación.
- 18) El dimensionamiento de la estación de bombeo.
- 19) El dimensionamiento de la obra de descarga.
- 20) Los parámetros del golpe de ariete y de los medios para su control.
- 21) Los volúmenes y el presupuesto de los costos de ejecución del proyecto del sistema de bombeo.

Es común la proyección de una estación de bombeo que tienen como finalidad el abasto de agua potable o el bombeo de aguas residuales de una comunidad o entidad social o económica. En estos casos, el sistema de bombeo generalmente está compuesto por:

Depósito de almacenamiento (cisterna de agua potable o pozo colector de aguas residuales).

Estación de Bombeo con unidades de bombeo horizontales o verticales, de una o varias etapas, interconectadas en serie o más comúnmente en paralelo.

1. Sistemas de conducción de succión en las estaciones de bombeo con bombas instaladas en seco.
2. Sistemas de conducción de impulsión
3. Depósitos de descarga de almacenamiento, regulación, control, o tratamiento en dependencia del objetivo del sistema de bombeo, las características del sistema de distribución del acueducto o del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

**Contenido de la Etapa de proyección "Soluciones Principales de la Estación de Bombeo".**

- 1) Determinación de las demandas de abasto y sus variaciones en el tiempo.
- 2) Selección del tipo de estación de bombeo (tipo de montaje de las bombas).
- 3) Dimensionamiento y cotas de los depósitos.
- 4) Cálculo del gasto de bombeo promedio, máximo y mínimo
- 5) Trazado en planta y perfil de las tuberías de succión e impulsión y determinación y ubicación de los accesorios a instalar.
- 6) Sistema de Conducción a Presión. -
- 7) Equipamiento de bombeo. -
- 8) Determinación de parámetros y datos para la automatización.
- 9) Elementos auxiliares (ventilación, medios de izaje, instalaciones de drenaje y de limpieza, etc).



### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **1-Determinación de las demandas de abasto y sus variaciones en el tiempo. -**

Se requiere calcular el volumen de fluido diario promedio requerido o generado por la comunidad o entidad y los volúmenes parciales para cada período en correspondencia con la modulación de la demanda, así como la determinación de los volúmenes máximos y mínimos.

#### **2-Selección del tipo de estación de bombeo.**

Por lo general en las estaciones de bombeo se instalan más de una bomba en paralelo. Cada bomba instalada en "seco" tiene tubería de succión e impulsión independientes. Las tuberías de impulsión descargan en un colector común que transporta la totalidad del caudal.

A.- Cámara húmeda. Las bombas sumergibles Pueden instalarse en posición horizontal o vertical. La descarga en el registro puede realizarse a una tubería de impulsión o a un canal. La bomba no requiere tubería de succión. La pantalla deflectora evita daños por golpes a la bomba y a los cables de alimentación de energía eléctrica, también evita zonas muertas cuando se bombean residuales. Sumergencia mínima para evitar cavitación.

B.- Cámara seca. Puede colocarse la bomba en posición horizontal o vertical. Se requiere de un tramo de tubería de succión con una válvula que permita cerrar en caso de reparaciones.

C.- Bomba horizontal con carga de succión negativa (- Hz).

D.- Estación de Bombeo para pozo profundo con bomba sumergible de 6 etapas

#### **3-Dimensionamiento y cotas de los depósitos. -**

**La capacidad de consumo de agua potable** debe garantizar una reserva mínima de 1 ~ 2 días. La reserva de consumo real es el cociente de dividir la capacidad de consumo total de almacenaje entre la demanda diaria promedio.

**La reserva de agua contra incendios** está normada en correspondencia con las características y tipología constructivas del conjunto de objetos de obra que conforman la inversión, así como con la distancia a la unidad de protección contra incendios más próxima.



**La capacidad útil** es la que puede extraerse del depósito e incluye a la capacidad de reserva contra incendios (de estar ésta última prevista en el depósito).

**La capacidad total** incluye a la útil, y además, el volumen que no es posible extraer para consumo ni como reserva contra incendios debido a requerimientos o limitaciones tecnológicas.

Para la determinación del volumen de bombeo diario se requiere valorar las capacidades de almacenaje de consumo, la reserva de consumo y la demanda diaria promedio.

El volumen total del depósito será:

$$V_{\text{total depósito}} = V_i + V_{\text{Consumo}}, (m^3) \text{ donde:}$$

$V_i$  .- volumen de agua contra incendio.

El volumen total de consumo (ó recepción) del depósito ( $V_{\text{Consumo}}$ ). -

$$V_{\text{Consumo}} = V_e + V_r, (m^3)$$

$V_e$  .- volumen efectivo de trabajo normal de las bombas

$V_r$ .- volumen de reserva de consumo (ó recepción)

El volumen efectivo ( $V_e$ ) se calcula considerando lo siguiente:

El volumen efectivo debe ser el mínimo posible, y es función de:

- ✓ El número de bombas de trabajo.
- ✓ De la potencia de los motores de éstas.
- ✓ De los gastos de demanda.

Por lo general cuando se diseñan los depósitos o se selecciona el volumen efectivo mínimo requerido y su límite inferior, están determinado estos valores, por el número de arranques/horas permisibles, lo cual está en correspondencia a su vez con la potencia de los motores, pues el calor que experimenta el motor en el arranque debe disiparse antes del próximo. Durante el proceso de arranque los motores eléctricos consumen hasta 6 veces el valor de corriente nominal, lo cual repercute negativamente en el aislamiento del bobinado.

| Potencia $P_L$ del motor (kw) | Número de arranques/hora (Z) |
|-------------------------------|------------------------------|
| < 11                          | 12 ~ 20                      |
| 11 ~ 37                       | 10 ~ 17                      |
| 37 ~ 110                      | 8 ~ 14                       |
| 110 ~ 160                     | 7 ~ 12                       |



|       |        |
|-------|--------|
| > 160 | 5 ~ 10 |
|-------|--------|

Tabla#1. Potencia y Numeros de arranques por horas de motores eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

Nota: El número de arranques por hora se selecciona de la tabla en función de la potencia que consume el motor.

$$P_L = P_H / \eta_{\text{Unidad de Bombeo}}, (\text{Kw}) \text{ donde}$$

$\eta_{\text{Unidad de Bombeo}}$ .- Eficiencia máxima de diseño de la unidad de bombeo (motor-bomba)  $\approx 0.6$

$$P_H = \gamma H_{\text{máxima estimada}} Q_{\text{máximo bombeo}} / (1000 * \eta_{\text{Unidad de Bombeo}}), (\text{Kw}), \text{ donde}$$

$$H_{\text{Tbombeo máxima estimada}} = H_{\text{Esistema máxima estimada}} + h_{\text{T sistema máximo estimado}}, (\text{mcl}) \text{ donde}$$

$H_{\text{Tbombeo máxima estimada}}$ .- Carga de bombeo máxima estimada, es la carga que deben entregar las unidades de bombeo para bombear el gasto máximo de bombeo " $Q_{\text{máximo bombeo}}$ ". (mcl).

#### 4-Determinación de los tiempos parciales y totales de bombeo por día.

Determinado el volumen de bombeo promedio diario, se procede a determinar los tiempos parciales de bombeo en función del balance de capacidades de almacenaje de consumo y la demanda diaria promedio y el comportamiento de la modulación de ésta última. Debe tenerse en cuenta los horarios picos de consumo de energía eléctrica para, de ser posible, no tenerlos en cuenta en el fondo de tiempo diario disponible.

#### 5-Determinación de los volúmenes de bombeo parciales.

La suma de los volúmenes de bombeo parciales es igual al volumen de bombeo promedio diario, y dependen del balance de las capacidades de almacenaje de consumo y de la demanda diaria y de la modulación de ésta última.

#### 6-Selección del gasto de bombeo promedio ( $Q_{\text{Bpromedio}}$ ).

El gasto de bombeo promedio ( $Q_{\text{Bpromedio}}$ ) se determina en función del volumen de bombeo diario y el tiempo total diario de bombeo.

Por lo general se diseñan las estaciones de bombeo para el trabajo simultáneo de más de una bomba en paralelo. Los esquemas de funcionamiento juegan un papel importante en el cálculo del volumen efectivo del depósito o pozo. Se distinguen dos esquemas de funcionamiento:

- Las bombas arrancan una tras otra a niveles crecientes y paran sucesivamente en orden inverso. Con este esquema de funcionamiento se logran caudales más estables.



- Las bombas arrancan una tras otra a niveles crecientes, pero todas paran a la vez en el nivel de parada de la primera bomba. Es el esquema más utilizado ya que requiere un volumen efectivo mucho menor que con el primer esquema de funcionamiento.

### 7-Sistema de Conducción a Presión.-

Análisis de alternativas para diferentes materiales y diámetros de tuberías.

Para el cálculo del diámetro comercial se asume inicialmente una velocidad del flujo entre:

$1.2 \leq v \leq 1.5$  m/s si la longitud del sistema de conducción  $L \leq 3$  Km.

$0.9 \leq v \leq 1.2$  m/s si la longitud del sistema de conducción  $L > 3$  Km.

El diámetro calculado "Dc" se determina por la expresión:  $D_c = [4 Q_{b_a} / \pi v]^{1/2}$  (m)

- a) Determinación de las pérdidas dinámicas "h<sub>T por kilómetro</sub>" por kilómetro de conductora para diferentes materiales de fabricación: cuando el fluido es agua, por William-Hazen

$$h_{T \text{ por kilómetro}} = 10.6688 L / C^{1.852} D_n^{4.87} Q_{B_o}^{1.852} \quad (\text{m}) \text{ donde}$$

- b) Cálculo preliminar de la potencia consumida por el conjunto motor – bomba

$$P_L = \gamma_e Q_B h_{T \text{ por kilómetro}} / \eta_T \quad (\text{watt})$$

$\eta_T$ .- La eficiencia del conjunto motor – bomba para cálculos preliminares se toma igual a 0.6

$\gamma_e$ .- Peso específico del fluido, N/m<sup>3</sup>

### 8- Equipamiento de bombeo.-

✓ Análisis de alternativas del tipo y número de bombas.

#### a) Cálculo de las Cargas de Bombeo de Diseño.-

Para ello se requieren determinar las cargas totales máximas y mínimas del sistema de bombeo para los diámetros comerciales y materiales de fabricación seleccionados.

$$H_{T \text{ bombeo máxima}} = H_{E \text{ sistema máxima}} + h_{T \text{ sistema}} \quad (\text{m})$$

$$H_{T \text{ bombeo mínima}} = H_{E \text{ sistema mínima}} + h_{T \text{ sistema}} \quad \text{donde}$$

El trazado a escala en planta y perfil de la estación de bombeo.

Tramo de tubería de succión: diámetro; longitud de tubería recta; accesorios; singularidades.

Si el fluido a bombear es agua, se puede aplicar la ecuación de William – Hazen para la determinación de las pérdidas por fricción o dinámicas:

$$h_{T \text{ subsistema succión}} = 10.6688 L_{\text{succión}} / C_{\text{succión}}^{1.852} D_{n \text{ succión}}^{4.87} Q_{\text{Bombeo}}^{1.852} \quad (\text{m}) \text{ donde}$$

### 9-Cálculo de la Carga de Succión Neta Positiva (NPSH) instalada.



A la carga de succión neta positiva del tramo de succión se le denomina NPSH disponible en el sistema y se determina por la expresión:

$$NPSH_{\text{succión}} = H_p \pm H_z - H_v - H_{d_{\text{succión}}}, \quad (\text{m}) \text{ donde}$$

**10-Cálculo de las Eficiencias de las Variantes. -**

La eficiencia o rendimiento hidráulico

$$\eta_h = H / H_t = 1 - [ a / (\log D_1 - 0.172 )^2 ] \text{ donde}$$

La eficiencia o rendimiento volumétrico.

$$\eta_v = Q / Q + Q_f = 1 / 1 + 0.68 ( 3.65 Nq )^{-2/3}$$

La eficiencia o rendimiento mecánico.

$$\eta_m = \gamma_e H_t Q_i / P_a = 1 / 1 + 820 ( 3.65 Nq )^{-2}$$

La eficiencia o rendimiento total.

$$\eta_B = \eta_h \eta_v \eta_m - 0.02$$

**11-Cálculo de la Potencia solicitadas por las Bombas.**

$$P_a = P_H / \eta_B = \delta_e H Q / 1000 \eta_B \quad (\text{Kw}) \text{ donde}$$

$$P_m = K * P_a \quad (\text{Kw}), \text{ donde } K.- \text{ Coeficiente de reserva de potencia.}$$

Coeficientes de reserva recomendados:

|       |          |             |            |             |         |
|-------|----------|-------------|------------|-------------|---------|
| $P_a$ | < 1.5 Kw | 1.5 -- 4 Kw | 4 – 7.5 Kw | 7.5 – 40 Kw | > 40 Kw |
| K     | 1.5      | 1.25        | 1.2        | 1.15        | 1.1     |

Tabla# 2. Coeficientes de reserva recomendados. Fuente: Libro Motores eléctricos asincrónicos.

El principal resultado de esta investigación está centrado en la metodología descrita anteriormente, esta metodología se ha aplicado a varios casos de estudio y se ha comprobado su efectividad, también en el ámbito docente ha sido de gran ayuda para elevar el nivel científico-técnico de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Hidráulica en el oriente cubano.

Como se explicó con anterioridad la escasa y difusa bibliografía sobre el diseño hidráulico óptimo de estaciones de bombeo de gran envergadura que pueden utilizarse en los sistemas de trasvase de agua, hace de esta metodología una fuerte y actualizada herramienta para lograr mejores diseños y sobre todos más eficientes.

Este material puede constituir una herramienta de trabajo que responda a las expectativas y sea aceptada por su viabilidad y trascendencia, además de su empleo con fines docentes por su alta actualidad y forma de redacción.



#### **4. Conclusiones**

El trabajo da respuesta al objetivo formulado que permitió orientar debidamente la investigación y arribar a las siguientes conclusiones:

1. El estudio bibliográfico sobre estaciones de bombeo de agua de gran envergadura, recopiló la información necesaria que permitió analizar las características de dichos sistemas, donde se destaca que la selección de la unidad de bombeo no puede realizarse siempre sobre la base de criterios económicos. De modo que se debe analizar además de los aspectos económicos, aspectos técnicos, políticos, sociales, climatológicos y geográficos antes de realizar la selección de estos factores.
2. Durante la investigación se corroboró que no existían antes de este trabajo metodologías que integraran capacidades y eficiencias hidráulicas y energéticas, ni dieran orientación sobre el equipamiento idóneo a seleccionar para este tipo de sistemas.
3. Se formuló la propuesta de metodología de diseño de estaciones de bombeo para su correcto dimensionamiento e integración y correspondencia de las capacidades y eficiencias hidráulicas y energéticas.
4. La metodología de diseño propuesta es sencilla y eficaz para el desarrollo de proyectos seguros, confiables y sostenibles en aras de implementar estos sistemas en los trasvases en explotación y que se ejecutan en nuestro país.



## **5. Referencias bibliográficas**

1. ABS Bombas, S.A. (2019). Manual para el Proyectista. Guía de Aplicación. (CD-ROOM) Madrid, España.
2. Aliod, Ricardo. García Ignacio. (2000). "Redes Hidráulicas en Condiciones Estacionarias". Editorial Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, España.
3. Barreda Trujillo, Ángel. (2015). Metodología General en la Etapa de Soluciones Principales para la Proyección de un Sistema de Bombeo. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.
4. Barreda Trujillo, Ángel. (2017). Elementos para el peritaje técnico de sistemas de bombeo de alta complejidad. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba
5. Hernández R., Armando. Talavera García, José. Fornaguera Vázquez, Marlene. (2001). "Redes Hidráulicas y Sanitarias". Editorial Instituto Superior Politécnico J. Antonio Echeverría. La Habana, Cuba.
6. Klimov, Boris. (2008). La Proyección de Estaciones de Bombeo. Ministerio de la Construcción. La Habana, Cuba
7. Norma Cubana NC 176. Sistema de Abasto de Agua en Edificios Sociales. Requisitos de Proyecto. 2002. La Habana, Cuba.
8. Norma Cubana NC 212. Protección contra Incendios. Suministro de Agua contra incendios. Requisitos Generales. 2002. La Habana, Cuba.
9. Norma Cubana NC 53-130. Estaciones de bombeo para riego y drenaje: Especificaciones de proyectos. 1984. La Habana, Cuba.
10. Pérez Franco, Diosdado. (1986). Equipos de Bombeo. 3ra. Edición. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana, Cuba. 212 p.
11. Pérez Franco, Diosdado. (1999). Máquinas Hidráulicas Rotodinámicas. Centro de Investigaciones Hidráulicas. ISPJAE. Ciudad de La Habana, Cuba. 273 p.
12. Saldarriaga V., Juan G. (1998). "Hidráulica de Tuberías". Editorial McGRAW-Hill INTERAMERICANA, S.A. Bogotá, Colombia.
13. Tixe, Salvador. (2014). "Guía de Diseño para Líneas de Conducción e Impulsión de Sistemas de Abastecimiento de Agua Rural". Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú.