

PRÁCTICA 1

REGULACIÓN DE BOMBAS

PRÁCTICAS DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA

2015-2016

PRÁCTICA 2: REGULACIÓN DE BOMBAS

ÍNDICE

1.	OBJETIVOS.....	2
2.	MATERIALES Y METODOS.....	2
1.1.	Banco de ensayo	2
1.2.	Medición de parámetros eléctricos.....	8
3.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	9
1.3.	Ensayo de la curva motriz de la bomba de velocidad variable.....	9
1.4.	Ensayo del grupo de bombeo con demanda variable.....	10
4.	TAREAS.....	11
5.	TOMA DE DATOS	13

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Placa de características bombas banco de ensayo	2
Figura 2.	Curvas características fabricante bombas banco de ensayo (Ebara 2DCX/E 200/30 BN4).....	3
Figura 3.	Vista general banco.....	5
Figura 4.	Esquema hidráulico banco de ensayos.....	6
Figura 5.	Banco de ensayo de asociación de bombas (Lab. Ingeniería Hidráulica).	6
Figura 6.	Medida de caudal con caudalímetro electromagnético.	7
Figura 7.	Características técnicas de las bombas.....	7
Figura 8.	Cuadro de mando que activa el modo de funcionamiento.	7
Figura 9.	Pantalla y mandos del analizador de redes.	8
Figura 10.	Pantalla de visualización del $\cos \varphi$	9
Figura 11.	Curva motriz de una bomba.	9
Figura 12.	Manómetro junto a transductor para el control de la presión en la instalación. 10	
Figura 13.	Indicador del variador de frecuencia que controla el grupo de bombeo.....	11

1. OBJETIVOS.

El objetivo de la práctica es mostrar los principales elementos que componen un grupo de bombeo con una bomba de velocidad fija y otra de velocidad variable. Además, el alumno aprenderá de qué forma se puede regular las condiciones de trabajo del grupo utilizando un variador de frecuencia que se ajustará a los demandas de caudal y presión establecidas de forma automática.

También se plantea como objetivo secundario que se tome contacto con la toma de datos e instrumentación necesaria para la evaluación eléctrico-energética de instalaciones de bombeo.

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1. Banco de ensayo

El equipo para la realización de la práctica consta de los siguientes elementos:

1. Válvulas de pie DN 40 mm PVC
2. Vacuometro 0 a 100 Kpa.
3. Bombas centrífugas iguales, con las siguientes características:
 - o Modelo: Ebara 2DCX/E 200/30 BN4
 - o Potencia bomba (Pb/P2): 2,2 KW (3 CV)
 - o Velocidad de giro (N): 2.880 r.p.m.
 - o Tensión de alimentación (U): Trifásica 230 – 400 V
 - o Motor eléctrico: EI2 de 3,48 kW
 - o Intensidad de alimentación (I): 10,6 – 6,1 A
 - o Rango de caudales (Q): 60 – 210 l/min
 - o Rango de alturas (H): 39,5 – 52 mca



Figura 1. Placa de características bombas banco de ensayo

○ Curvas características:

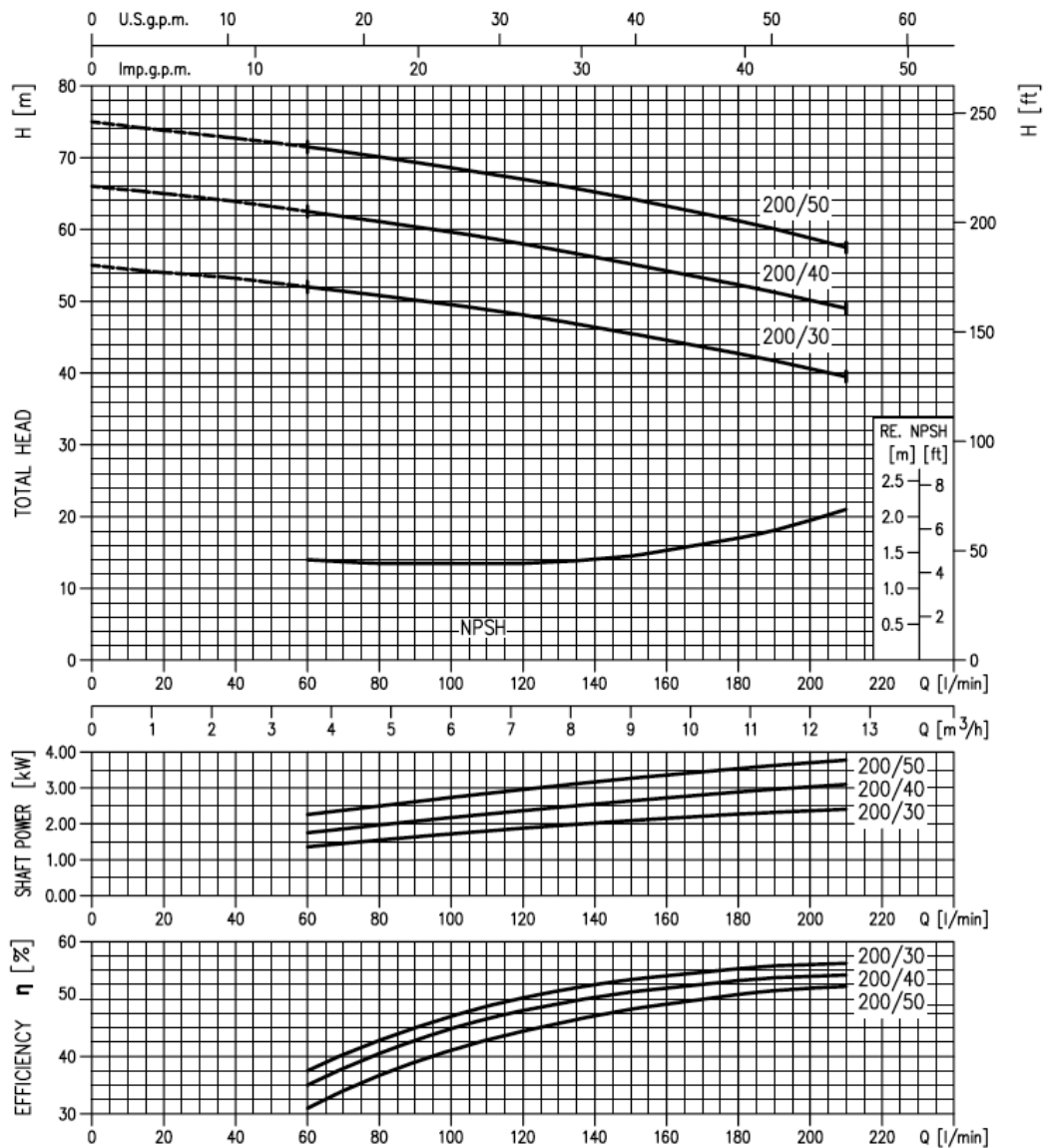


Figura 2. Curvas características fabricante bombas banco de ensayo (Ebara 2DCX/E 200/30 BN4)

4. Válvulas de retención DN 32 mm PVC.
5. Válvulas de bola de DN 32 - 40 mm PVC.
6. Manómetro tipo Bourdon 0 – 6 kg/cm²
7. Manómetro tipo Bourdon 0 – 16 kg/cm²
8. Transductor de presión 4 – 20 mA, 0 – 16 bar.
9. Válvula de compuerta de DN 50 mm.
10. Válvulas de bola DN 50 mm PVC.
11. Rotámetro de rango de medida 300 a 3.000 l/h.

12. Rotámetro de rango de medida 600 a 6.000 l/h.
13. Rotámetro de rango de medida 1.500 a 15.000 l/h.
14. Válvulas de retención DN 50 mm PVC.
15. Ventosa trifuncional.
16. Caudalímetro electromagnético de DN 63.
17. Electroválvula de membrana DN 2".
18. Depósito superior.
19. Depósito inferior.
20. Analizador de redes eléctricas.
21. Variador de frecuencia.
22. Selector manual de variación de velocidad de giro.
23. Accionamiento electroválvulas
24. Válvula bola tres vías PVC DN 63.
25. Nivel de llenado depósito superior.
26. Mandos de selección para la medición de la presión.



Figura 3. Vista general banco

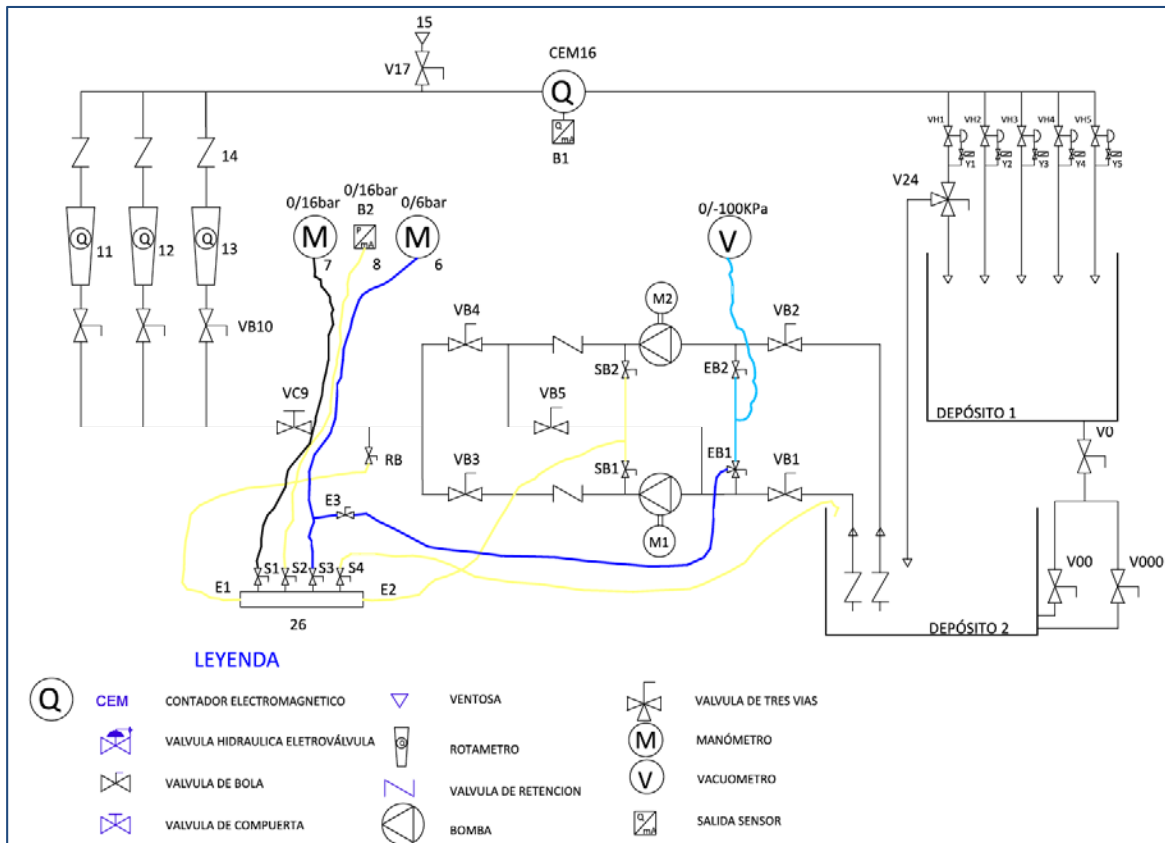


Figura 4. Esquema hidráulico banco de ensayos

En las siguientes figuras se muestran detalles del banco de ensayo que permite asociar las bombas en serie o en paralelo, controlando las variables de presión a la salida y a la entrada de las bombas mediante manómetros y transductores, y la variable caudal mediante un caudalímetro electromagnético.



Figura 5. Banco de ensayo de asociación de bombas (Lab. Ingeniería Hidráulica).



Figura 6. Medida de caudal con caudalímetro electromagnético.



Figura 7. Características técnicas de las bombas.

Ambas bombas pueden funcionar en modo manual o en modo automático (Figura 8). En el caso de un funcionamiento automático, el variador de frecuencia controlará la velocidad de giro de la BVV y el arranque de la BVF.



Figura 8. Cuadro de mando que activa el modo de funcionamiento.

2.2. Medición de parámetros eléctricos

La medición de los parámetros eléctricos, tensión (U), intensidad eléctrica (I) y $\text{Cos } \varphi$, nos permitirán obtener el rendimiento de la bomba, se realizarán a través del analizador de redes eléctricas (20). Debido a que la alimentación de las bombas es en corriente alterna trifásica los parámetros a medir serán un promedio de las tres fases. La visualización de los diferentes parámetros se realiza de la siguiente forma.

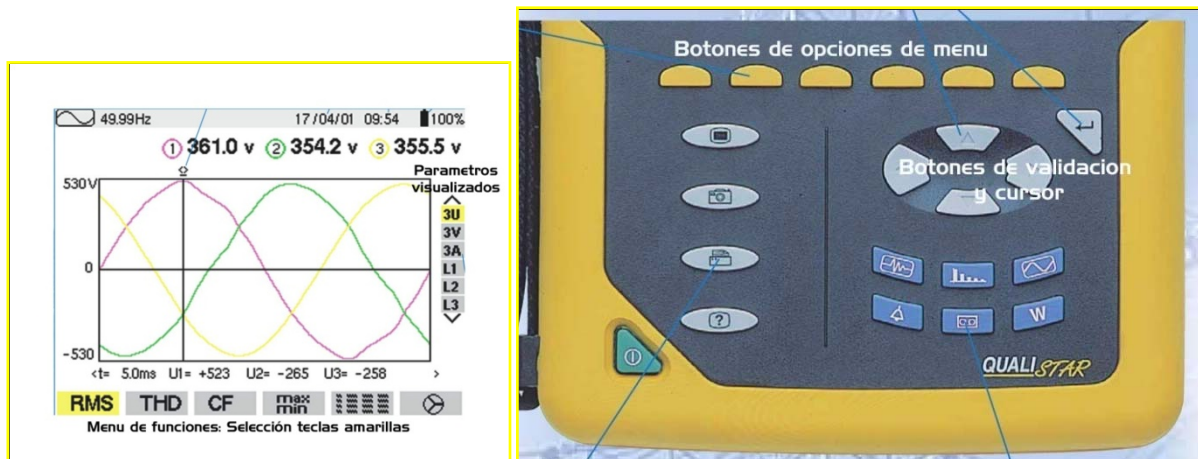



Figura 9. Pantalla y mandos del analizador de redes.




Seleccionamos el modo formas de onda para visualizar y anotar los valores de Tensión (U) e intensidad (A), encontramos dos formas de visualizar estos valores:

1. Seleccionamos el menú RMS con el botón amarillo correspondiente
 - a. Con los botones de cursor nos desplazamos por 3U o 3A para visualizar los valores de cada fase en la parte superior de la pantalla.
2. Seleccionamos el menú  con el botón amarillo correspondiente.
 - a. Con los botones de cursor nos desplazamos por 3U o 3A para visualizar los valores de cada fase.



Seleccionamos el modo potencias/energías para visualizar y anotar los valores de $\text{Cos } \varphi$.

Seleccionamos el menú  con el botón amarillo correspondiente. El valor de $\text{Cos } \varphi$ aparece con las siglas DPF, con las teclas de cursor podemos seleccionar Σ que nos dará una media de los valores de las fases.

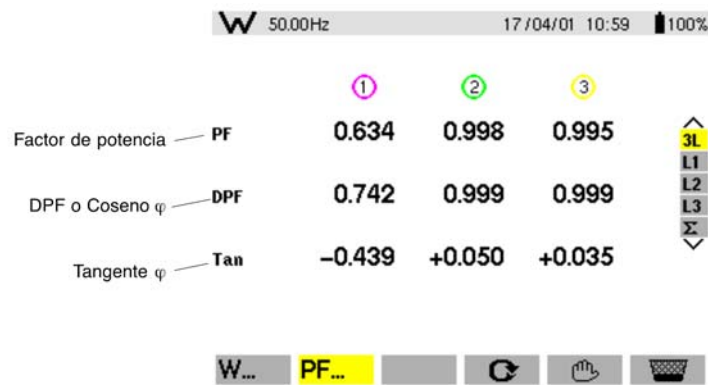


Figura 10. Pantalla de visualización del Cos φ .

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

3.1. Ensayo de la curva motriz de la bomba de velocidad variable.

El alumno realizará un primer ensayo en modo manual, para trazar la curva motriz de la bomba de velocidad variable trabajando al $\alpha = 100\%$ de su velocidad. Para ello, regulará con una válvula 5 puntos diferentes de caudal y tomará los valores de presión a la entrada y salida para obtener la altura de bombeo. Con ambas variables H-Q, ajustará a una curva polinómica de segundo grado:

$$H_B^{(m)} = \alpha^2 \cdot C - D \times Q^2 \quad (\text{ajuste mediante una recta con } H - Q^2)$$

$$H_B^{(m)} = \alpha^2 \cdot C + \alpha \cdot DQ - EQ^2$$

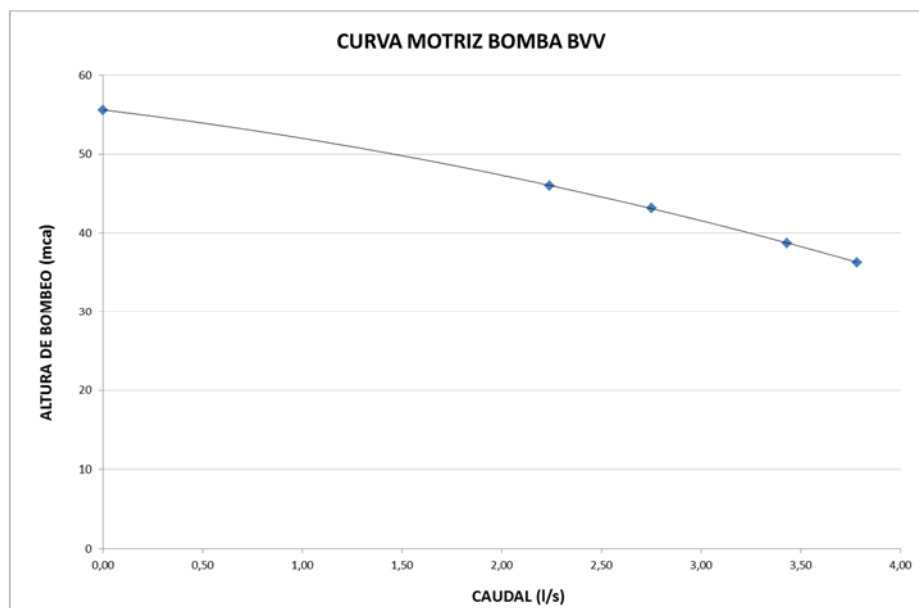


Figura 11. Curva motriz de una bomba.

Esta bomba de velocidad variable (BVV) trabajando al 100% es idéntica a la bomba de velocidad fija (BVF) que trabaja a la velocidad nominal (2880 rpm).

Adicionalmente para cada medida se obtendrá los parámetros eléctricos que permitan el cálculo de la potencia consumida y el rendimiento global de la instalación.

La potencia desarrollada por un motor eléctrico alimentado por corriente alterna trifásica, viene dada por:

$$P_{motor} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi$$

Donde:

- P_{motor} : Potencia del motor en W.
- U : Tensión de funcionamiento (V).
- I : Intensidad de funcionamiento (A).
- $\cos \phi$: coseno de ϕ .

La potencia útil de la bomba:

$$P_u = \gamma \cdot H \cdot Q$$

Donde:

- P_u : Potencia útil de la bomba en W.
- γ : Peso específico del agua 9,81N/l.
- H : Altura manométrica impulsada (mca)
- Q : Caudal trasegado en l/s.

Siendo el rendimiento global de la instalación: $\eta_{mo} = \frac{P_u}{P_{motor}}$

3.2. Ensayo del grupo de bombeo con demanda variable.

En el segundo ensayo, se mostrará el funcionamiento del grupo de bombeo en modo automático ante una demanda variable de caudal y estableciendo una presión de consigna en el variador de frecuencia para que se mantenga en la instalación una presión de aproximadamente 4,6 bar.

Esta presión se fija en el variador como un porcentaje del fondo de escala del transductor donde se mide la presión que se requiere mantener (salida de la instalación, Figura 12). De esta forma, como el rango del transductor es de 0 a 16 bar, este porcentaje será de $4,6/16 = 0.287$ (29%).



Figura 12. Manómetro junto a transductor para el control de la presión en la instalación.

En el variador REF (%) indica ese porcentaje de la presión de consigna establecida y FB(%) la presión real (también sobre el fondo de escala). Por otro lado, S (%) es α , relación entre la velocidad de giro variable y la velocidad nominal de la BVV (Figura 13).



Figura 13. Indicador del variador de frecuencia que controla el grupo de bombeo.

Durante el ensayo, los alumnos irán aumentando la demanda de caudal en 5 puntos de demanda diferentes abriendo las válvulas que simulan la puesta en marcha de otros equipos de la instalación. En los primeros puntos, con un caudal menor, la BVV funcionará sola y será capaz de aportar el caudal a la presión de consigna, únicamente variando la velocidad de giro del motor en la BVV.

En el momento en el que la BVV trabaje a velocidad máxima durante un tiempo (valor que se puede variar, actualmente está establecido en 8 s) y aumente la demanda de caudal siendo incapaz la BVV de subir la presión a la consigna, arrancará la BVF logrando con una asociación en paralelo de BVV+BVF, el caudal y la presión requeridos, regulando con la BVV.

Cuando funcionan ambas bombas en paralelo y la demanda disminuye, la BVV reduce su velocidad para adaptarse a las condiciones de consigna. Si llega a reducir su velocidad hasta un valor establecido (actualmente establecido en $\alpha=90\%$) sin conseguir la presión de consigna (es decir, la presión real es mayor que la de consigna), la BVF se parará y la BVV irá aumentando su velocidad hasta alcanzar la consigna trabajando sola.

Igual que en el ensayo anterior se obtendrá para cada punto de regulación las potencias y el rendimiento global.

4. TAREAS

Para el cálculo analítico de las curvas, las leyes de semejanza de bombas que se resumen en las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{n}{n_0} = \frac{Q}{Q_0} = \sqrt{\frac{H}{H_0}}$$

Donde:

- n_0 : velocidad de giro inicial o nominal (apartado 5.1).
- n : velocidad de giro final (con variador de frecuencia).

- Q_0 : Caudal trasegado inicial en l/s.
- Q : Caudal trasegado final en l/s.
- H_0 : Altura manométrica impulsada inicial (mca)
- H : Altura manométrica impulsada final (mca)

Las curvas de ajuste para la nueva velocidad de giro n vendrá dadas por:

$$H = \alpha^2 \cdot C - D \cdot Q^2$$

$$\eta = E \cdot \frac{Q}{\alpha} + F \cdot \left(\frac{Q}{\alpha}\right)^2$$

Estas curvas no son suministradas por el fabricante, y deberán ser calculadas analíticamente a partir de las curvas nominales de la bomba, para establecer en proyecto como funcionará la bomba seleccionada con motor accionado por un variador de frecuencia.

Se piden las siguientes tareas:

1. Trazar en una la curva motriz de la bomba de velocidad variable ($\alpha=100\%$) y ajustarla polinómicas de esta forma:

$$H_B^{(m)} = C - D \times Q^2$$

$$H_B^{(m)} = C + DQ - EQ^2$$

2. Trazar las curvas de potencias y rendimientos para la BVV trabajando al 100%.
3. Obtener los caudales a los que trabaja cada bomba cuando está asociada en paralelo (BVF y BVV).
4. Obtener analíticamente α (%) y las velocidades de giro (rpm) de la BVV en los casos en que funcione sola y cuando funcione en asociación junto con la BVF para cada una de las demandas ensayadas. Compararlas con los valores tomados del variador.

5. TOMA DE DATOS

Medición	P entrada bomba H_e (kPa)	P salida bomba H_s (bar)	Altura manométrica H_m (m.c.a.)	Caudalímetro CEM (l/s)
1				
2				
3				
4				
5				

Medición	I (A)	U (V)	Cos φ	P_{motor} (W)	N_u (W)	η_b (%)
1						
2						
3						
4						
5						

ENSAYO DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA CON BVV

Fondo de escala transductor bar
 Consigna de presión en el variador %
 Presión de consigna en el variador bar
 Velocidad nominal motor rpm

Punto de regulación	Bombas funcionando	Id. Válvulas abiertas	Q demandado (l/s)	P entrada (kPa)	P salida (bar)	BVV variador α (%)	Hb (mca)	Q _{BVF} (l/s)	Q _{BVV} (l/s)	BVV α (%) analítico	n' (rpm)
1											
2											
3											
4											