

Auditoría Técnica Del Diseño Y Cálculo Para La Selección Del Sistema De Bombeo Óptimo De Una Planta Para Procesar Alimentos

G. Córdova¹, F. Andrade²

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
gcordova@inducor-ec.com

Resumen

El presente proyecto que contiene la información necesaria para ilustrar la manera de realizar una auditoría técnica respecto de saber si un sistema de bombeo en una instalación industrial está correctamente seleccionado e identificar si los componentes de todo el sistema hidráulico están correctamente dimensionados para la demanda actual en diferentes áreas en las distintas horas del día. Una vez identificado el perfil hidráulico durante un día típico, se ilustra la manera de obtener los datos de demanda o caudal actual tanto en régimen continuo como intermitente así como también se verifica la forma de obtener la presión demandada en todo el sistema hidráulico o TDH, (total dynamic head) se selecciona el sistema de bombeo más apropiado, se indican los componentes que forman parte del mismo y se justifica la razón por la cual se hizo dicha selección, se revisa su funcionamiento y se hace un comparativo con el sistema de bombeo actual. Se indica además cuadros de diámetros técnicamente seleccionados en cada uno de los tramos y se hace finalmente un análisis de costos de todo el proyecto..

Palabras Claves: Bombeo, Sistemas de Bombeo, Bombas, Diseño sistemas de Bombeo

Abstract

The present project contain the necessary information for show the way for to do a technical inspection about to know if a industrial installation of a pumping system have a good selection of its components. Also show about if all the additional hydraulic components have a good selection for the actual hydraulic requirements for any time and any area. First it's necessary to get the hydraulic rate for a typical day, also we are showing the way to get the rates capacity information for continues and intermittent state, also we are showing the way to get the TDH (total dynamic head). After we are going select the right pumping system and all it's hydraulic components and the technical reasons for this selection. It's necessary to compare between the new and old pumping system. We are verifying the correct selection for the pipe's diameters and finally we are showing a cost analysis.

Keywords: Pumping, Pumps Systems, Pumps, Pumps systems design

1. Introducción

El Agua es un elemento fundamental para todo tipo de actividad, ya sea a nivel doméstico, comercial o industrial, ninguna actividad desarrollada por el hombre sería posible si no se cuenta con este recurso cada vez más escaso. Hay industrias, especialmente las que están en el sector de elaboración de alimentos que consumen cantidades significativas de agua durante su jornada de trabajo. Este "Informe de Trabajo Profesional" tiene por finalidad mostrar la metodología empleada para calcular todos los elementos de un circuito hidráulico de tal forma que las diferentes áreas de una planta para procesar alimentos tengan una provisión de agua confiable a la presión y caudal mínimo que demanda cada punto. Para ellos se cuenta con datos tomados en

sitio de una planta del sector alimenticio del medio desde sus medidores de flujo y se cuenta con el plano de distribución actual del tendido de tuberías, accesorios y válvulas. La Ingeniería Mecánica de Fluidos en la actualidad hace uso de la tecnología electrónica como variadores de frecuencia o velocidad, PLC's (controladores lógicos programables) como elementos colaterales de apoyo para hacer cada vez más eficiente y efectivo el aprovechamiento del agua sobre todo en el sector industrial y agrícola que son dos sectores donde se consumen grandes cantidades de agua a nivel mundial. Cuando en una planta industrial que tiene equipos que funcionan con agua como: calderos, circuitos CIP, lavadoras, etc, no tienen la provisión de agua suficiente o no cumple con los requisitos de presión mínimos necesarios, se tiene como contraparte

falencias en productividad de la planta industrial así como también problemas asociados con la calidad de los productos finales que pueden no cumplir con todas las normativas que sobre todo en empresas de exportación les puede significar problemas de rechazo e ingentes pérdidas financieras.

2. Materiales y Métodos.

2.1. Materiales

Para la toma de datos que nos permitieron realizar el “Informe Técnico Profesional” se hicieron uso básicamente de: medidores de caudal, manómetros, cintas de medición, termómetro infrarrojo.

2.2. Metodología

A partir de los datos de caudal recogidos de los medidores en las distintas áreas de una planta para procesar alimentos del medio, se procedió a analizar los datos tomados en un día completo de producción con un espaciamiento de 1 hora. Estos datos se tomaron durante 30 días seguidos en un mes típico de producción donde la demanda es alta. Los datos se procedieron a analizar estadísticamente y desechar los datos aberrantes mediante el método de “cuartiles”, de esta manera se llegó a obtener los caudales mínimos demandados en las distintas áreas.

Para la obtención de la presión mínima requerida del sistema hidráulico, de modo similar y basado en el plano del recorrido de tuberías dentro de la planta, se llegó a establecer el “ramal más crítico o desfavorable”, es decir el ramal que partiendo desde el lugar asignado para los equipos de bombeo y más cercano a la cisterna de agua, requiera el agua mayor presión para llegar desde el punto inicial hasta el punto final. La presión en cada ramal se la obtienen sumando las contribuciones de la presión estática, la presión de pérdidas hidráulicas en las tuberías y la presión requerida en los puntos demandados en las diferentes áreas. Se usó para este caso la metodología de “Bachus” que basa gran parte de su teoría hidráulica aplicada en las fórmulas desarrolladas por “Hanzen y Williams” de los textos clásicos de Ingeniería Hidráulica.

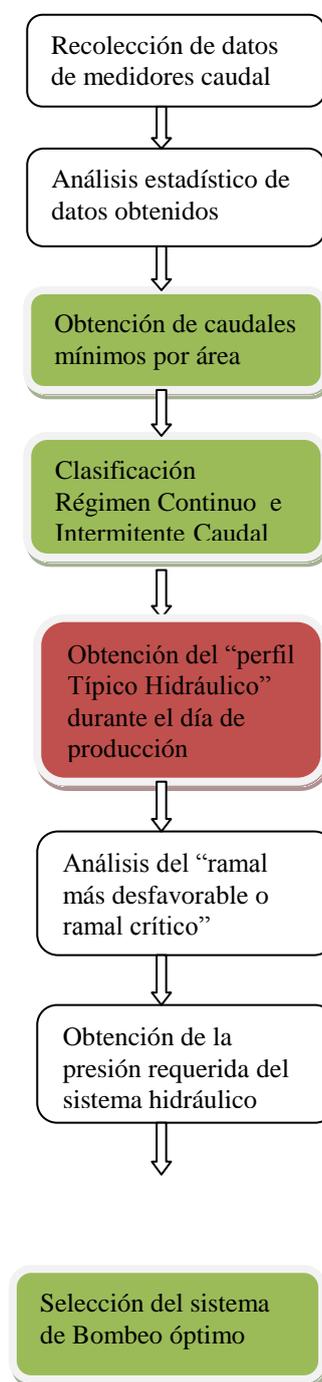
Con el caudal obtenido por áreas del circuito hidráulico se analizó el régimen de provisión continuo y régimen de provisión intermitente a fin de determinar en base a los porcentajes que cada régimen contribuye al caudal total del sistema, cuál sería el sistema de bombeo óptimo para esta aplicación particular.

Una vez que se conoció el sistema óptimo de bombeo tanto desde el punto de vista energético como de confiabilidad en la provisión de los caudales mínimos requeridos por área, se procedió a seleccionar las bombas centrífugas individuales que cumplan con la mejor eficiencia posible con la demanda del sistema de bombeo a utilizarse

También por medio del método de “máxima velocidad” se hace un estudio de verificación de los diámetros de tuberías en los distintos ramales del circuito hidráulico, se procede a realizar un cuadro donde se muestran las sugerencias técnicas (si las hubieran) en cada tramo con los diámetros recomendados.

Una vez definidos tanto los equipos de bombeo adecuados como los diámetros correctos de tuberías, accesorios en cada ramal, se hizo también un análisis de los costos de todo el circuito hidráulico óptimo para la aplicación.

En resumen la metodología utilizada para la realización del Informe de Trabajo Profesional se detalla a continuación:



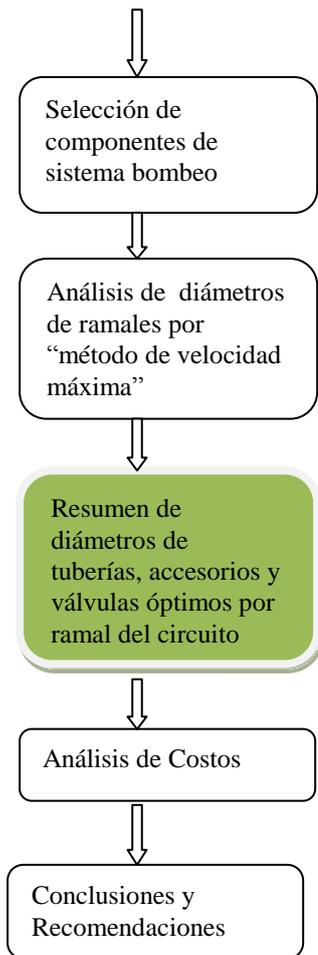


Figura 1. Metodología General para obtención del sistema de bombeo óptimo y análisis del circuito hidráulico de una planta para procesar alimentos.

3. Análisis de Resultados obtenidos.

3.1. Régimen continuo e intermitente de Caudal requerido.

En la figura 2 se puede observar los caudales obtenidos por área, algunos de ellos son de régimen continuo, es decir que se deben proveer todo el día durante el funcionamiento de la planta industrial. Otros son de régimen intermitente, es decir que se deben proveer solo por algunos intervalos de tiempo.

En la figura 3 se puede observar la distribución del caudal total continuo de la planta industrial y del caudal total intermitente de la misma. Con esta información podremos evaluar qué tipo de sistema de bombeo es el mejor desde el punto de vista energético como desde el punto de vista de confiabilidad

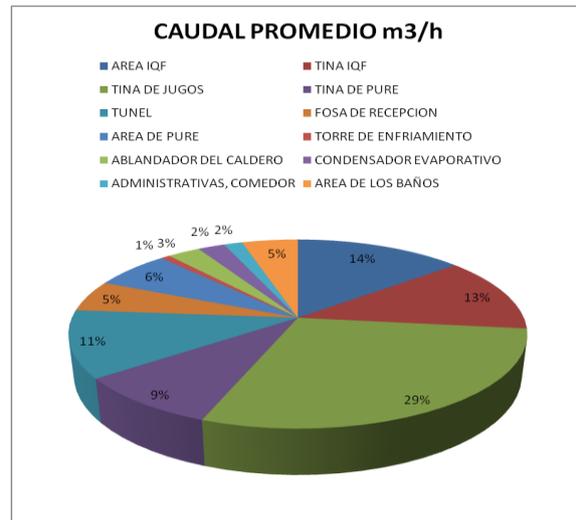


Figura 2. Caudales requeridos por áreas en planta industrial

Entonces el porcentaje y valores absolutos de caudal continuo e intermitente en la planta industrial para procesar alimentos se muestran en la Figura 3

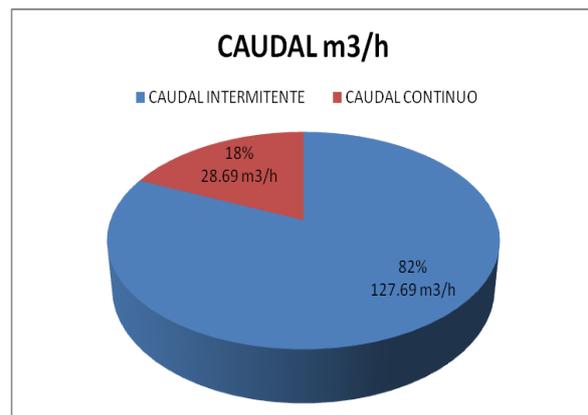


Figura 3. Porcentajes de caudal Continuo e Intermitente requeridos.

Con lo cual verificamos que:

Caudal Total = 156,38 m3/hr.
Caudal Intermitente= 28,69 m3/hr.
Caudal Continuo= 127,69 m3/hr.

A fin de determinar con mayor detalle cuál es el comportamiento de la demanda de caudal durante el día de producción en la planta para procesar alimentos, se realizó una gráfica que muestra esta demanda en las distintas horas del día tal como se muestra en la Figura 4.

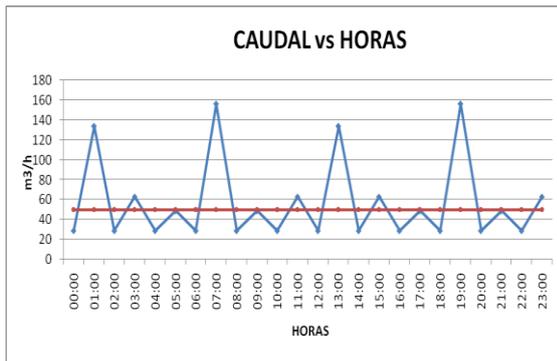


Figura 4. Perfil hidráulico típico del sistema durante el día de producción.

En la Figura 4 podemos inferir que requerimos un sistema de bombeo tal que durante un porcentaje de aproximadamente 78% del día una de las bombas nos brinde la capacidad promedio continua de caudal, similar a la dibujada en la línea horizontal color rojo en la misma figura 4, así mismo se puede inferir que requerimos otra bomba para satisfacer la demanda de los picos más bajos y otra bomba para satisfacer la demanda de los picos más altos. El sistema de bombeo que cumple con estas características de suministro de agua es el llamado “Sistema de Presión Constante” como el que se muestra en la Figura 5

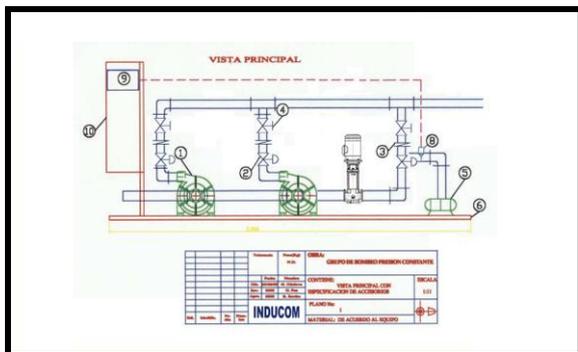


Figura 5. Sistema de Presión Constante Típico

Este sistema de Bombeo consta de 3 bombas que trabajan en paralelo. La bomba # 1, también llamada bomba líder o principal, es la bomba que básicamente proporcionará el caudal continuo promedio desde la línea roja de la Figura 4 hacia abajo, es decir todos los caudales que estén bajo dicha línea serán cubiertos por la bomba #1. Si la demanda aumenta, la presión en la línea principal del sistema de bombeo bajará, esta baja en la presión será detectado por un sensor de presión que envía una señal eléctrica a un Sistema de control programable o PLC, el mismo que envía una señal a la bomba de apoyo #2 que cubrirá el “primer pico” de demanda de caudal. Con la misma lógica se encenderá la bomba de apoyo #2 cuando así lo requiera el sistema hidráulico en el “segundo pico” de demanda de caudal. De la misma forma que cada bombas se acciona, es con

la misma lógica con la que luego cada una sale de funcionamiento cuando la demanda del sistema así lo indica. En la Figura 6 se puede verificar esta lógica de accionamiento y fuera de accionamiento de las bombas centrífugas del sistema hidráulico de presión constante

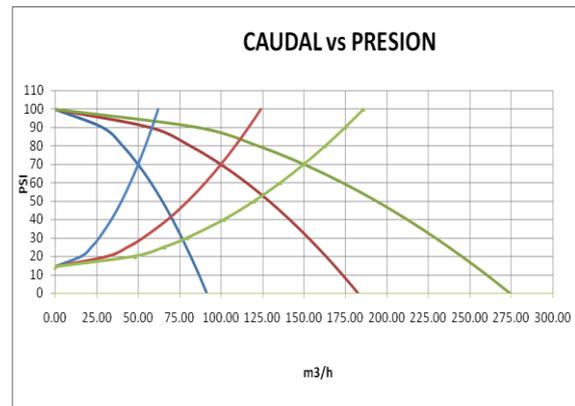


Figura 6. Funcionamiento secuencial de bombas en un Sistema de Presión Constante

En la Figura 6, donde la curva de la bomba se cruza con la curva del sistema hidráulico es el punto donde trabaja cada una de las bombas centrífugas que entra en funcionamiento de manera secuencial

3.2. Determinación de la presión del sistema hidráulico

Una vez que se identifica el ramal más desfavorable o también llamado “ramal o recorrido crítico”, el cual básicamente es el ramal hidráulico que requiere la mayor presión, se procede a tomar esta presión como la presión del sistema hidráulico, esto en vista de que todos los demás ramales será satisfecha la presión requerida en cada uno de lo puntos de demanda. Cabe recalcar que en los puntos donde esta presión sea exageradamente alta, siempre se tendrá la facilidad de instalar válvulas reductoras de presión. La presión en cada ramal se obtiene a través de la Fórmula de “Bachus” indicada a continuación:

$$TDH = H_s + H_p + H_f$$

Donde:

- Hs: es la presión estática del sistema hidráulico
- Hp: es la presión requerida en el punto final del recorrido del tramo
- Hf: es la presión debida a las pérdidas por fricción en tuberías, accesorios y válvulas del sistema hidráulico.

La presión obtenida en el ramal más crítico fue de 2610,47 psi con la tubería que se tenía instalada en el momento del estudio en la planta para procesar

alimentos. Dado que esta presión es extremadamente alta para un sistema de provisión de agua potable para una planta industrial, se procedió bajo la metodología de “velocidad máxima” a estudiar los ramales hidráulicos que estaban incrementando la presión por efectos de fricción en tuberías, válvulas y accesorios (H_f).

De esta forma ya con este ajuste se obtuvieron los resultados en la presión requerida indicado abajo:

CAUDAL TOTAL REQUERIDO = $Q_T =$ 156.38 m ³ /h
PRESION TOTAL REQUERIDA = TDH = 70 PSI

3.3. Resumen de las bombas seleccionadas

Con los datos indicados arriba entonces se procedió a seleccionar las 3 bombas centrífugas requeridas para el sistema de presión constante indicado. Los resultados de esta selección los mostramos en la Tabla 1.

Tabla 1. Bombas seleccionadas para el sistema de presión constante

Bomba	Caudal	Presión	Potencia
Líder	50 m ³ /h	70 PSI	15 HP
Apoyo 1	65 m ³ /h	70 PSI	20 HP
Apoyo 2	65 m ³ /h	70 PSI	20 HP
CAUDAL MAX	180 m ³ /h	POTENCIA MAX	55 HP

Los sistemas de presión constante tienen amplia aplicación en la actualidad en muchas aplicaciones que tienen un perfil hidráulico donde un gran porcentaje del caudal total, es continuo de tal forma que con una bomba del 15% o 20% de la potencia total del sistema, se puede proveer de agua potable el 80% del tiempo. Esto sugiere ingentes ahorro de energía respecto de los sistemas tradicionales dado que se evita tener que arrancar grandes masas en bombas que se seleccionan directamente del caudal total sin tener en consideración el perfil hidráulico donde se observa con claridad un caudal continuo e intermitente que se les puede dar un tratamiento más estratégico desde el punto de vista de ahorro de energía, productividad y confiabilidad porque son sistemas en los cuales no se depende de una sola bomba centrífuga sino que eventualmente por emergencias se pueden arrancar cada una por separado

mientras se revisan problemas en alguna de ellas. Un sistema de presión constante típico ensamblado se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Sistema de presión constante típico ensamblado

Tal como nos damos cuenta, en la descarga de cada bomba además se implementan válvulas reguladoras de presión previo al “manifold” de descarga. Estas válvulas aseguran que cualquier desviación de presión en cada bomba de la presión programada en el PLC, será regulada por las mismas. De la figura 5 podemos revisar en detalle los componentes de un Sistema de Presión Constante:

1. Bomba De Apoyo # 1
2. Válvula Mariposa
3. Válvula Check
4. Válvula De Compuerta
5. Válvula Eliminadora De Aire
6. Estructura Soportante.
8. Transductor De Presión
9. Tablero De Control
10. Cajetín
11. Bomba Líder
12. Bomba De Apoyo # 2

3.4. Análisis de diámetros óptimos

Bajo el criterio de “velocidad máxima”, esto es que para diámetros menores a 3”, la velocidad en el interior

de un circuito hidráulico no debe pasar de 2 m/s y para diámetros mayores a 3" la velocidad en el interior de un circuito hidráulico no debe pasar de 2.5 m/s, se obtuvieron los diámetros óptimos en cada uno de los ramales del circuito hidráulico. Cabe recalcar que con este criterio se trata de evitar que las pérdidas por calor de fricción (H_f) no pasen de valores técnicamente permitidos (20% del valor de la presión total requerido por un equipo de bombeo) y también con este criterio de velocidad máxima se trata de impedir que los perjudiciales efectos del golpe de ariete aparezcan.

4. Conclusiones.

Hemos podido identificar que en sistemas hidráulicos que tienen componentes de demanda continua e intermitente donde el 80% del tiempo la demanda es continua y el 20% del tiempo la demanda es intermitente, lo ideal es utilizar sistemas de presión constante de 2 o 3 bombas trabajando en paralelo y cada una entrando a funcionar acorde la demanda comandadas por un PLC que recibe la señal de un sensor de presión que usualmente se instala en el "manifold" de descarga del fluido. Cuando se tienen perfiles en donde no hay demanda continua y casi un 100% de la demanda es intermitente, lo ideal es pensar en utilizar un sistema de bombeo con tanques pre cargados hidroneumáticos, en este caso los tanques hidroneumáticos hacen de "acumuladores de energía" que regulan el exagerado encendido y apagado del los motores de las bombas que pueda ocasionarles daños.

Además hemos determinado que con la finalidad de evitar en los circuitos hidráulicos pérdidas de energía por efectos de la fricción generada entre el fluido y los elementos del circuito hidráulico así como también para evitar una emitente posibilidad de "golpe de ariete" en los elementos del circuito hidráulico, nos debemos regir al criterio de "velocidad máxima" que no es más que mantener la velocidad bajo 2m/s cuando el diámetro de un ramal hidráulico es menor a 3" y mantener la velocidad bajo 2.5 m/s cuando el diámetro de un ramal hidráulico es mayor a 3". Cabe recalcar que el "golpe de ariete" es un efecto hidráulico perjudicial para todo circuito hidráulico que se produce por la amplificación

de la velocidad dentro de los elementos y componentes bajo ciertas condiciones específicas.

Finalmente el usuario tendrá que tener una capacidad instalada de 55 HP distribuida en 3 bombas de encendido secuencial para abastecer una capacidad de la planta para procesar alimentos de 156,38 m³/h de los cuales el 18% tiene un régimen continuo de carga y el 82% tiene un régimen intermitente, con la particularidad de que ese 18% de régimen continuo significa el 80% del funcionamiento en horas día del sistema de bombeo completo, de allí que lo ideal sea un sistema como el escogido.

5. Agradecimientos

Al Ing. Francisco Andrade, profesor titular de la ESPOL en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, por la revisión y guía del presente "Informe de Trabajo Profesional".

6. Referencias

- [1] Pérez Carmona Rafael, Aguas, "Desagües y gas para Edificaciones", Ecoe Ediciones, Bogotá, D.C, Marzo 2005, pag. 7-10.
- [2] Bachus Larry, "Bomba Centrífugas", USA.
- [3] Gallegos T. Ramiro, "Manuel de Diseño del Sistema Hidrosanitario para edificaciones aplicado al Hospital docente universitario (Tesis, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela superior Politécnica del Litoral, 2005).
- [4] Yamada América, "Manual de Ingeniería", USA, 2004.
- [5] Berkeley Pumps, "Principios de Bombas Centrífugas", USA, 1995.
- [6] Ebara Pumps, "Catálogo General de Productos", Italia, 2010.
- [7] FIMCP, "Guía para Elaboración de Tesis de Grado" (Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL), Enero 2003.

Giuliano Córdova Maldonado
Autor “Informe Trabajo Profesional”

Ing. Francisco Andrade Sánchez
Director “Informe Trabajo Profesional”