

VIII

MAQUINARIA Y DESAGÜE.

---

---

## MAQUINARIA Y DESAGÜE.

---

En la parte superficial de los contrafuertes las rocas están fragmentadas por innumerables grietas muy próximas unas de otras; estado que ha contribuido á facilitar la obra destructora de los agentes de la dinámica externa, y cuyos efectos han producido el terreno de acarreo que cubre las mesetas y flancos de éstos contrafuertes.

Ahora bien, este terreno de acarreo es sumamente permeable, y los macizos rocallosos por las grietas que los dividen, ya de pequeñas dimensiones, ya de la importancia de las dioclasas, son accesibles al agua.

Lo primero que el minero debe hacer es evitar que el agua entre en sus labrados, construyendo al efecto presas en los lugares convenientes, pero no siempre es esto posible, viéndose entonces en la necesidad de sacar el agua por medio de bombas ó malacates según la importancia de la avenida.

El sistema empleado en Pachuca para efectuar el desagüe es el de bombas en repetición y el de malacates.

Los *plungers* de las bombas son movidos por el intermediario de cadenas por motores verticales de simple efecto con cataratas.

La aceleración del desagüe y el buen rendimiento del bomberío exigen que la velocidad del agua en los tubos de escape no sea pequeña; pero como deben disminuirse en cuanto sea posible las resistencias para el efecto útil del motor, la velocidad no debe ser demasiado grande.

La resistencia que el agua experimenta al moverse en los tubos está dada aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$h = 0,00143 (v + 0,17 \sqrt{v})^2 \frac{L}{D};$$

en la que  $h$  es la altura de la columna de agua cuyo peso expresa la resistencia debida al frotamiento,  $v$  la actividad del émbolo,  $L$  la longitud y  $D$  el diámetro del tubo.

La función es de tal naturaleza que no admite máximo ni mínimo; se anu-

la con  $v$  y se hace infinita con  $V$ ; y á valores crecientes de la velocidad corresponden siempre valores crecientes de  $h$ .

Como se ve, la resistencia es proporcional al cuadrado de la velocidad y por lo mismo en razón inversa de la cuarta potencia del diámetro: los tubos de gran diámetro son pues más convenientes.

Sólo la experiencia ha podido fijar el valor máximo de  $V$ ; no debe exceder de 0<sup>m</sup>40 por segundo. (Haton de la Goupilliére, curso de explotación).

Veamos cuales son las velocidades del agua en los bomberíos establecidos.

*San Juan.*—Carrera del émbolo 3<sup>m</sup>05, número de golpes por minuto en marcha normal 5; luego velocidad lineal por segundo

$$v = \frac{3,05 \times 5}{60} = 0,25.$$

Para 10 golpes la velocidad sería 0.50, fuera ya de la velocidad límite; no debe pues la máquina marchar con más de diez golpes.

*Zotol.*—Carrera del plunger 2<sup>m</sup>.745, número de golpes por minuto en marcha normal 5; la velocidad por segundo será pues 0.23. Siendo tan poca su diferencia con la de San Juan, las mismas conclusiones le son aplicables.

Con carrera idéntica á la de Zotol é igual número de golpes tenemos el Bordo, S. Guillermo y Santa Gertrudis. Ninguna de las máquinas establecidas en Pachuca será prudente que ande con más de diez golpes.

#### *Máquina de desagüe de San Juan.*

Motor vertical, simple efecto, catarata de agua, tracción directa, expansión y condensación.

#### *Datos.*

Diámetro interior del cilindro.....	2 <sup>m</sup> 159.
Carrera del émbolo.....	3 <sup>m</sup> 050.
Expansión.....	$\frac{1}{3}$
Presión.....	50 libras.
Condensador.....	9 „
Golpes por minuto.....	5

El trabajo teórico, en caballos por segundo, está dado por la siguiente fórmula:

$$T = n \cdot 2,222 \cdot p \cdot v \left( 1 + L \cdot g \cdot m - \frac{p' \cdot m}{p} \right)$$

en la que  $n$  es el número de golpes por minuto,  $p$  la presión en kilos por centímetro cuadrado,  $v$  el volumen del vapor á plena presión,  $m$  el coeficiente de expansión y  $p'$  la presión en el condensador.

Según los anteriores datos,  $n=5$ ;

$$p = \frac{50}{14.7} \times 1,033 = 3,513; v = 0,785 d^2. h \text{ (carrera á plena presión)} = \\ = 3^{\text{m. cb.}} 721; m = 3; L g m = 1,099 \text{ y } \frac{p' m}{p} = 0.54$$

Efectuados los cálculos tendremos  $T=227$ .

El coeficiente admitido para esta clase de máquinas, en buenas condiciones de funcionamiento, es 0.75; el efecto útil del motor será pues 171 caballos.

Como promedio de varias experiencias, la bomba da 400 litros por golpe de émbolo;<sup>1</sup> el gasto por minuto será de 2,000 ó sea 34 por segundo.

Cuando se tomaron los datos anteriores, el agua era elevada á la altura de 271<sup>m.</sup>51; el trabajo necesario para ello era en caballos igual á  $\frac{271,51 \times 34}{75} = 123$ ; por consiguiente las resistencias pasivas del bomberío consumen 48 caballos, ó sea 28 por ciento del trabajo útil del motor.

Para calcular la temperatura y densidad del vapor, haremos uso de las siguientes fórmulas:

$$p = 1,033 (0,2847 + 0,007153 t)^5 \text{ y}$$

$$d = \frac{0,78402 \times p}{1 + 0,00368 t}$$

Efectuados los cálculos tendremos  $t=139^{\circ}5$  y  $d=1^{\text{k.}}816$ .

El peso del vapor que entra al condensador por segundo, es:

$$\frac{3,721 \times 5}{60} \times 1,816 = 0^{\text{k.}}563.$$

La cantidad de agua necesaria para verificar la condensación está dada por la fórmula siguiente:

$$q' = q \frac{(550 + t - t')}{t' - t' },$$

representando  $q$  el peso de vapor por segundo,  $t''$  la temperatura del condensador y  $t'$  la del agua que va á condensar el vapor. Para alimentar el condensador se hace uso del agua elevada por la bomba, agua cuya temperatura es de 20° por término medio, y si admitimos para  $t''$  40°, tendremos  $q'=18$  litros ó sea 285 por caballo-hora.

*Carbón teórico por caballo-hora.*—El número de calorías contenido en el peso  $q$  de vapor es  $q (550 + t) = 388$ . En la práctica se admite que un kilo de carbón produce al quemarse 3,525 calorías; por consiguiente el carbón necesario en kilos para 388 calorías será  $\frac{388}{3525} = 0^{\text{k.}}11$ , ó sea por caballo-hora

$$\frac{0,11 \times 3600}{227} = 1^{\text{k.}}7.$$

1 Experiencias hechas por los ingenieros del Instituto Geológico.

El número de kilos de vapor que produce un kilo de carbón será

$$\frac{3525}{550 + t - t''} = 5^k.6.$$

Veamos si la condensación resulta económica.

Según los cálculos anteriores,  $1^k.7$  de carbón puede mantener durante una hora la fuerza de un caballo, desarrollando por lo mismo 270,000 kilográmetros;  $1^k.7$  de carbón es pues capaz de elevar un peso ( $p$ ) de agua á la altura  $\frac{270,000}{p}$ . Hemos encontrado que 18 kilos de agua condensan  $0^k.563$  de vapor; por consiguiente, para condensar un kilo de vapor se necesitarían 32 de agua. Pero  $1^k.00$  de carbón produce  $5^k.6$  de vapor, luego  $1^k.7$  producirán  $9^k.52$  de vapor, y para condensar esa cantidad se necesitarán 305 kilos de agua; luego  $p=305$ ; y la altura que podremos llamar económica será pues igual á  $\frac{270,000}{305} = 885$  metros. Como el agua sólo se eleva á la altura de 271 metros, la condensación se opera en condiciones económicas.

Debo advertir que Haton de la Goupillière en su tratado de explotación tomo 2 pág. 280, da como altura máxima económica 200 ó 100 metros, y se expresa así: "Este límite es como se ve, inferior á la profundidad de la mayor parte de las minas de alguna importancia."

Creo que el autor sufrió una distracción, pues pone por dividendo 27,000, y sin embargo lo hace igual á  $75 \times 60 \times 60$ , cuyo producto es 270,000.

*Bomberío.*—Está arreglado como sigue:  $25^m.14$  de bomba aspirante,  $75^m.42$  de la tercera playa á la segunda,  $83^m.8$  de la segunda á la primera y  $87^m.15$  de la primera al exterior.

Los tubos son de fundición, teniendo por diámetro interior  $0^m.432$ .

*Calderas.*—Las calderas que generan el vapor son de sistema Cornish, de hogar interior. Sus dimensiones son: longitud  $9^m.15$ , diámetro exterior  $2^m.008$ , diámetro del hervidor  $1^m.372$ .

Bastan dos para el funcionamiento del motor.

Se alimentan con leña, consumiendo 12 lib. por caballo-hora.

*Motor de desagüe del Zotol.*—Motor semejante al de San Juan, difiriendo tan sólo por ser de balanzón.

<i>Datos.</i> —Diámetro del cilindro.....	$1^m.905$
Carrera émbolo.....	$3^m.05$
Expansión.....	$\frac{1}{3}$
Presión.....	50 lib.
Condensador.....	9 lib.
Golpes por minuto.....	5

Intencionalmente he tomado para el Zotol, y lo mismo haré con las demás máquinas, la misma presión, expansión y número de golpes que corresponden á San Juan, con el objeto de evitar inútiles repeticiones, pues son del

mismo tipo; pudiendo así compararlas todas con la máquina establecida en la mina de San Juan.

Con los datos anteriores el trabajo teórico será 177 caballos, ó 133 de efecto útil.

El volumen del vapor á plena presión es 2<sup>m. cb.</sup>897.

Peso de vapor que entra por segundo al condensador 0<sup>k.</sup>438.

Agua necesaria para operar la condensación 14 litros ó sea 285 por caballo-hora.

Carbón teórico por caballo-hora 1<sup>k.</sup>8.

El plunger de la bomba tiene por diámetro 0<sup>m.</sup>381 y por carrera 2<sup>m.</sup>745.

El gasto de la bomba medido directamente el mes de Agosto<sup>1</sup> fué de 293.4 litros por golpe de émbolo; el agua era elevada entonces á la altura de 234 metros, y la máquina marchaba con nueve golpes por minuto.

Motores idénticos al del Zotol son los del Bordo, San Guillermo y Sta. Gertrudis.

*Datos del Bordo.*—

Diámetro del cilindro.....	1 <sup>m.</sup> 27
Carrera émbolo.....	3 <sup>m.</sup> 05
Expansión .....	$\frac{1}{3}$
Presión.....	50 lib.
Condensador.....	9 lib.
Golpes por minuto.....	5
Caballos teóricos por segundo..	79;

efecto útil 60.

Volumen de vapor á plena presión 1<sup>m. cb.</sup>288.

Peso de vapor que va por segundo al condensador 0<sup>k.</sup>194.

Agua necesaria para la condensación 6.2 litros, ó por caballo-hora 283.

Carbón teórico por caballo-hora 1<sup>k.</sup>8.

No sé si se habrán hecho experiencias con el objeto de determinar el efecto útil de la bomba; en la mina se nos dijo que esta sacaba 792 litros por minuto, siendo la altura de elevación 416 metros.

*Máquinas de San Guillermo y Santa Gertrudis.*

Diámetro cilindro.....	0 <sup>m.</sup> 762
Carrera émbolo.....	3 <sup>m.</sup> 050
Expansión.....	$\frac{1}{3}$
Presión .....	50 libras.
Condensador.....	9 "
Golpes por minuto.....	5
Trabajo teórico por segundo.....	29.
Volumen de vapor á plena presión.....	0 <sup>m.</sup> 464
Peso de vapor que entra por segundo al condensador....	0 <sup>k.</sup> 071

1 Experiencias hechas por los ingenieros del Instituto Geológico.

Agua necesaria para la condensación 2,3 litros ó sea 286 por caballo-hora.

Carbón teórico por caballo-hora..... 1<sup>k</sup>7

No sé la cantidad de agua que sacan, ni su altura de elevación. El gasto teórico de la bomba no lo expreso por no haber podido averiguar con exactitud el diámetro del plunger.

Máquinas verticales de balanzón existen además en los tiros de San Pedro y Purísima, pero hace mucho tiempo que no andan.

El desagüe con malacate se verifica en las minas de Camelia y Guadalupe Hidalgo. La capacidad de los toneles de la primera es 1 metro cúbico y la de los de la segunda, 2 metros cúbicos. <sup>1</sup>

Réstame hablar de la mina de San Rafael.

En Junio del año pasado se inauguró un bomberío distinto de los hasta entonces usados.

Los generadores de vapor se instalaron fuera de la mina y los motores en el interior.

Las bombas son de doble plunger, están colocadas en posición horizontal y sólidamente unidas á un motor horizontal. El tubo de aspiración es común á dos bombas y lo mismo el de escape; sus válvulas están colocadas en la parte superior del cuerpo de bomba, son fácilmente accesibles, dispuestas en serie y débil la altura á que se elevan. Esta disposición es ventajosa: su posición permite su fácil vigilancia, el fraccionamiento de la sección disminuye el peso del sistema móvil, y su poca elevación (carrera) disminuyendo la velocidad del agua al salir por los orificios, permite que la bomba marche con mayor velocidad. El cuerpo de bomba está dividido en dos compartimientos, correspondiendo cada uno á un plunger; uno obra en el movimiento de avance del émbolo y el otro en el retrógrado.

El plunger tiene de diámetro 0<sup>m</sup>165 y de carrera 0.457; el volumen teórico de agua por golpe es pues 9,7 litros.

El motor que pone estas hombas en acción, es como dije, horizontal, con condensador y de dos cilindros dispuestos en tandem; el más chico, de 0<sup>m</sup>305 de diámetro trabaja á plena presión y el más grande, de 0<sup>m</sup>508, por expansión.

Estando instalados fuera de la mina los generadores de vapor, éste no llega al cilindro sino después de haber recorrido un tubo de 0<sup>m</sup>1016 de diámetro y 178 metros de longitud. (Tomo por ejemplo el primer tramo, las bombas estando instaladas en el cañón de Guadalupe, 178 metros abajo del brocal del tiro). El tubo está cubierto con asbesto de 0<sup>m</sup>0254 de espesor; en estas condiciones la condensación del vapor produce cuando menos un gramo de agua por segundo y por metro cuadrado de superficie; quiere decir, que el vapor llegará muy húmedo al cilindro; pero para el buen rendimiento de las

<sup>1</sup> Los datos de la maquinaria, fué imposible conseguirlos, por ignorarlos los encargados.

máquinas es indispensable que el vapor llegue seco, pues sólo así se disminuyen las condensaciones y por lo mismo las pérdidas.

Según las experiencias hechas por el profesor Ordway, la pérdida que corresponde al conducto de vapor, es, suponiendo su temperatura de  $155^{\circ}$ , de 1,329 calorías por hora y por metro cuadrado. La velocidad del vapor en el tubo será

$$\sqrt{2 g H \frac{D}{d}}$$

siendo H la altura de la columna de mercurio á  $0^{\circ}$  que mide la presión, D la densidad del mercurio y  $d$  la del vapor.

Según fórmulas ya dadas anteriormente, á  $155^{\circ}$  de temperatura corresponden  $5^k37$  de presión por centímetro cuadrado ó sea en columna de mercurio á  $0^{\circ}$ ,  $3^m95$  y por densidad del vapor  $2^k68$ ;

$$\sqrt{2 g H \frac{D}{d}}$$

es igual á 600 metros por segundo próximamente. El vapor recorrerá pues el tubo en 0,3 de segundo.

La superficie interior del tubo es de 54 metros cuadrados; y como la pérdida por metro cuadrado, y por segundo es 0,4 de caloría, la pérdida total será de 7 calorías.

El peso de vapor por golpe de émbolo es  $0,785 (0,305)^2 0,457 \times 2,7 = 0,09$  kilos, que contiene en calorías  $0,09 (550 + 155) = 63,5$ ; mas como se pierden 7, el vapor llegará á obrar sobre el émbolo sólo con 56,5 calorías.

Para determinar la temperatura que corresponde á estas calorías haré observar que siendo la temperatura desconocida, la densidad del vapor lo será también; y por lo mismo la ecuación que liga la temperatura del vapor y sus calorías, se presenta como indeterminada.

En efecto, esta ecuación es:

$$56,5 = 0,033d (550 + t);$$

pero

$$d = \frac{0,78402 p}{1 + 0,00368 t}, \text{ y}$$

$$p = 1,033 (0,2847 + 0,007153 t)^5;$$

luego, tendremos combinando estas ecuaciones:

$$56,5 = \frac{0,033 \times 0,78402}{1 + 0,00368 t} \times 1,033 (0,2847 + 0,007153 t)^5 (550 + t)$$

La solución de esta ecuación da  $t = 150^{\circ}$ , temperatura que corresponde á la presión de 4,75 kilos por centímetro cuadrado; y como  $155^{\circ}$  corresponde á 5,47, la pérdida es de 0,72 ó sea 14 por ciento de la presión inicial.

Esta pérdida corresponde al vapor sólo en el primer tramo; en los siguientes, más profundos, debe ser mucho mayor.

He hecho este cálculo con el objeto de hacer resaltar uno de los principales defectos inherentes á tales instalaciones.

En San Rafael se instaló el bomberío en tres tramos; actualmente las bombas de los dos inferiores se encuentran bajo el agua, y para elevar ésta del cañón 280 al de Guadalupe se instalaron dos bombas colgantes construídas bajo el mismo tipo de las de la instalación permanente.

La compañía de Maravillas acaba de instalar una nueva bomba en el tiro del Cármen.

Los datos suministrados por el Señor Ingeniero José C. Haro son los siguientes:

Diámetro del cilindro, 60 pulgadas inglesas; carrera del émbolo 10 pies; carrera de la cadena 9 pies. El bomberío se compone de dos fletes de bombas ó sean dos playas de 15 pulgadas de diámetro y una columna aspirante y elevadora, cuyo émbolo tiene 16 pulgadas de diámetro. La cadena está equilibrada por dos contra-balanzones; uno en la boca del tiro y el otro en el tercer cañón.

La capacidad de las bombas es de 312 litros, y como en las condiciones actuales no pierde sino el 3 ó 4 por ciento, hay una extracción efectiva de 300 litros por golpe. En los primeros días trabajó la máquina andando con 5½ golpes por minuto; en la actualidad (Abril 21 de 1897) está dando 6½ golpes con los cuales se mantiene el agua al nivel del chupador.

Ultimamente se ha hecho una instalación eléctrica, creando una caída en la barranca de Regla. Se aprovecha la potencia eléctrica en Pachuca para mover las haciendas de beneficio de Guadalupe y La Unión y las bombas de la mina de San Rafael.

Los datos que de esta instalación hemos conseguido son las siguientes, proporcionados por el Sr. Don José de Landero y Cos, Director de la Compañía de Real del Monte y Pachuca.

En el arroyo de Regla, abajo de la hacienda de este nombre, se encuentra una presa de la que parte un largo canal de 2,600 metros, mamposteados en toda su extensión y con un revestimiento de recinto en el fondo. Atraviesa 10 túneles que tienen diversas longitudes siendo 200 metros la del más grande y entre todos forman una longitud de 600 metros. La sección del canal es de 1<sup>m</sup>25 × 1<sup>m</sup>25 y está labrado en la margen derecha del arroyo sobre la roca que se encuentra abajo de las columnas de basalto. Aunque la capacidad se ha determinado para 1,400 litros de agua por minuto, sólo se ha contado para la instalación de los receptores hidráulicos, con la fuerza que pueden producir 700 litros por minuto, cantidad que corre por el arroyo en el estiage.

En el extremo del canal hay otra presa, con el objeto de poder obtener el llenamiento completo de los tubos que parten de este punto y llegan hasta los receptores. El diámetro de los tubos es de 0<sup>m</sup>76, la longitud de la cañería de 1,850 metros y la diferencia de nivel de los puntos extremos de 247 metros.

Los receptores hidráulicos son ruedas Pelton de diferentes diámetros y que marchan con velocidades diversas según el objeto á que están destinadas.

Cinco ruedas de 1<sup>m</sup>016 de diámetro y que marchan con 600 revoluciones por minuto, mueven otros tantos generadores montados directamente sobre el mismo árbol de las ruedas. Cuatro están en marcha simultáneamente y el otro es de refacción.

Los generadores son de corrientes alternativas trifacadas, trabajan en serie y son excitados por un pequeño dinamo movido por una rueda de 0<sup>m</sup>61 de diámetro y que da 1,300 revoluciones por minuto. Hay otro dinamo excitador y su rueda correspondiente de reserva.

Dos ruedas de 0<sup>m</sup>43 y que dan 2,400 revoluciones por minuto, mueven dos reguladores destinados á uniformar la marcha de las ruedas que mueven dos dinamos. Sólo marcha un regulador, teniendo el otro de reserva.

Cada dinamo (alternador) produce una fuerza eléctrica de 350 kilowatts, bajo una tensión de 700 volts, la que se eleva á 10,000 volts por medio de seis transformadores en serie, por los que se hace circular una fuerte corriente de aire producida por un ventilador, con el objeto de evitar el calentamiento. Hay un transformador y un ventilador de reserva.

La transmisión de la corriente eléctrica se hace por tres alambres de cobre descubiertos, de sección circular que tiene 0<sup>mc</sup>000054 de superficie. Están soportados por postes de tubo de fierro de 0<sup>m</sup>089 de diámetro, colocados á 37½ metros uno de otro y cuyo número, hasta San Rafael, es de 701; teniendo la línea más de 26.000 metros de longitud hasta el mismo punto.

La pérdida de potencial de la línea se estima en 10 por ciento, teniendo por consiguiente una tensión de 9,000 volts la corriente que llega á San Rafael y Pachuca.

En las estaciones secundarias se encuentran transformadores para reducir el voltaje al necesario para el trabajo de las receptoras. En San Rafael se hace descender de 9,000 á 1,000 para las bombas fijas y después á 110 para las de juego.

La fuerza disponible en la estación principal es de 1,200 caballos que se han distribuído de la manera siguiente:

Mina Dificultad (Real del Monte).....	450 caballos.
Mina San Rafael (Pachuca).....	300 „
Hacienda La Unión (Pachuca).....	300 „
Hacienda Guadalupe (Pachuca).....	150 „
TOTAL.....	1200 caballos.