

Ensayos hidrodinámicos sobre modelos en la Escuela de Caminos

En el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos se han realizado últimamente varios interesantes ensayos sobre modelos reducidos.

Dos de estos ensayos versaron sobre aliviaderos de superficie, de tipo semejante, de los llamados de labio, realizándose uno por encargo de la Sociedad Saltos del Alberche, para su pantano del Charco del Cura, y el otro para la Confederación del Duero y embalse de la Cuerda del Pozo.

El proyecto de un aliviadero de dicho tipo es complicado, por la perturbación que representa el caudal vertiente que, de modo continuo, se incorpora al que marcha por el canal colector, no siendo aplicables las fórmulas que de ordinario se utilizan en hidráulica.

El esquema de la figura 1.^a da la idea del fenómeno que, podría admitirse, es equivalente al choque de

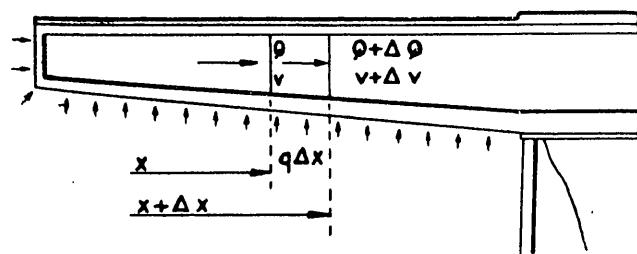


Fig. 1.^a

dos cuerpos inelásticos, animado uno de velocidad v y el otro en reposo, pues la energía cinética correspondiente a la velocidad de caída tiene dirección normal a la de circulación en el canal y se anula en rozamientos.

Las partículas incorporadas sólo podrán tomar su velocidad a expensas de la propia de las que avanzan por el canal y, en definitiva, se produce un efecto de frenado que, para ser compensado, requiere un desnivel superficial. La determinación de este desnivel unitario será, en último término, el objeto de nuestro cálculo, que puede desarrollarse en la siguiente forma:

La energía ¹ del caudal Q será $\frac{Qv^2}{2g}$, y siendo ΔQ la masa incorporada y nula, como hemos dicho, la proyección de su velocidad en la dirección del eje del canal, la energía que se disipa en el choque es

$$E = E_1 \frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{Qv^2}{2g} \frac{\Delta Q}{Q + \Delta Q} \gamma$$

y en el límite

$$E = \frac{v^2 \Delta Q}{2g} \gamma$$

¹ Se trata, en realidad, de energía por unidad de tiempo ML^2T^{-3} .

La energía potencial de un volumen $Q \times 1 \text{ m}^3$ en la sección de abscisa x es

$$E_x = \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right) Q \gamma$$

considerándola según la dirección del movimiento, o sea la del eje del canal.

La energía del canal incorporado, ΔQ , es

$$E_{\Delta x} = \left(z' + \frac{p'}{\gamma} + \frac{v'}{2g} \right) \Delta Q \cdot \gamma$$

Considerada en la misma dirección que la anterior y al nivel $z' = z$, quedará

$$E_{\Delta x} = \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) \Delta Q \cdot \gamma$$

por ser nula la proyección de la velocidad sobre el eje del canal.

Para la sección $x + \Delta x$ se tiene:

$$E_{x+\Delta x} = \left[z + \Delta z + \frac{p}{\gamma} + \frac{(v + \Delta v)^2}{2g} \right] (Q + \Delta Q) \gamma$$

En el sistema que se considera tiene que realizarse

$$E_{x+\Delta x} + E' = E_x + E_{\Delta x}$$

Sustituyendo y después de suprimir los términos de grado superior se llega a

$$\frac{v \Delta v}{g} Q + Q \Delta z + \frac{v^2}{g} \Delta Q = 0$$

y teniendo en cuenta que $Q = qx$, en el límite

$$\frac{vx}{g} dv + x dz + \frac{v^2}{g} dx = 0$$

de donde

$$dz = -\frac{1}{g} \left(\frac{v^2}{x} dx + v dv \right)$$

que, juntamente con la ley de variación que se impone a la velocidad $v = \varphi(x)$, define la superficie del agua en el canal.

Si se fija

$$v = a = \text{cte.}$$

$$dz = -\frac{a^2}{g} \int \frac{dx}{x}$$

y

$$z = -\frac{a^2}{g} \log(x) + \text{cte.}$$

Esta ley es asintótica al eje oz ; es decir, que no puede crearse en el origen una velocidad finita.

Para conseguirlo es preciso recurrir a algún artificio, de los que el más sencillo es establecer una porción l

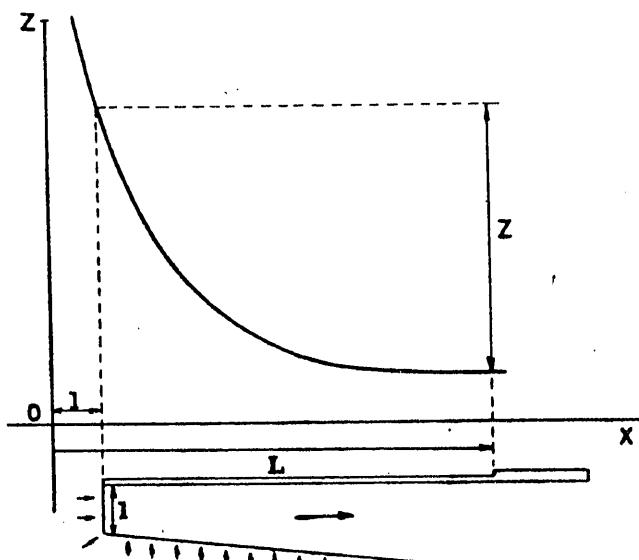


Fig. 2.a

del muro vertiente normal al eje del canal (fig. 2.a). Entonces las alturas vienen dadas por

$$z = -\frac{a^2}{g} \log \left(\frac{x}{l} \right)$$

Una razón de economía hace conveniente la re-

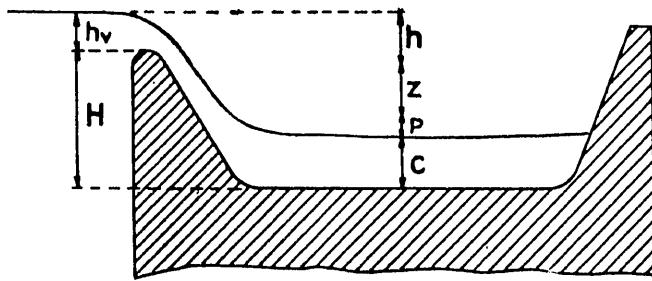


Fig. 3.a

ducción de la altura del muro vertiente, que viene dada (fig. 3.a) por

$$H = h + z + \phi + c - h_v$$

siendo

- h , la altura necesaria para crear la velocidad en el origen;
- z , la altura necesaria para compensar los choques y mantener la velocidad, como antes se ha dicho;
- ϕ , la pérdida total por rozamientos;
- c , el calado;
- h_v , la altura de lámina vertiente.

Prescindiendo de los términos ϕ , muy pequeño, y h_v , constante, la altura queda reducida a

$$H' = h + z + c = \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{g} \log \left(\frac{L}{l} \right) + \frac{Q}{Av}$$

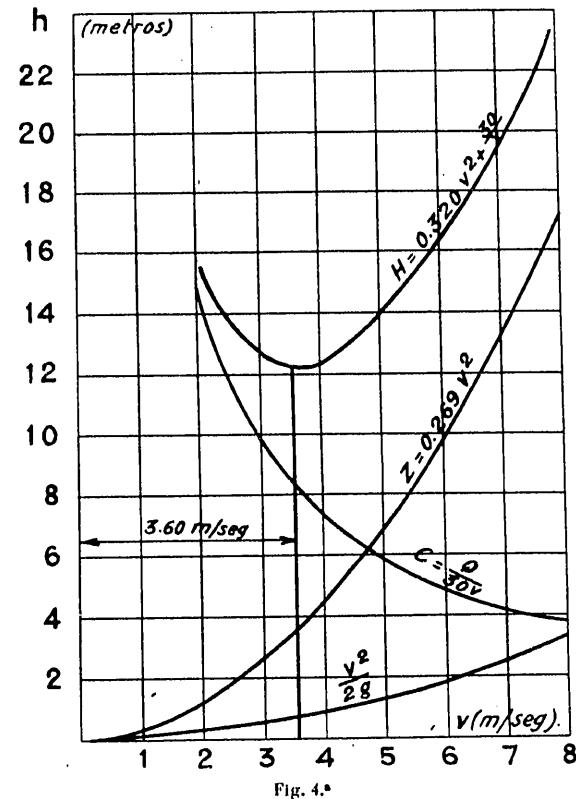
siendo A el ancho medio de la sección.

El mínimo corresponderá a

$$\frac{dH'}{dv} = \frac{v}{g} + \frac{2v}{g} \log \left(\frac{L}{l} \right) - \frac{Q}{Av^2} = 0$$

En la figura 4.a se han representado las curvas de variación de los términos h , z , c , y de su suma H' para un caso particular, y puede observarse que el mínimo está muy acentuado, alcanzándose alturas enormes de muro para velocidades que pudieran parecer económicas si se prescindiera de la influencia del choque.

Como se ha visto, la acción de frenado varía con la segunda potencia de v y es tanto menor cuanto más grande el caudal que circule por la sección; es



dicho, cuanto mayor sea x , que entra en denominador. Será, pues, conveniente aumentar de modo progresivo la velocidad a lo largo del canal, según una ley que para mayor sencillez puede ser lineal

$$v = a + bx;$$

quedá entonces

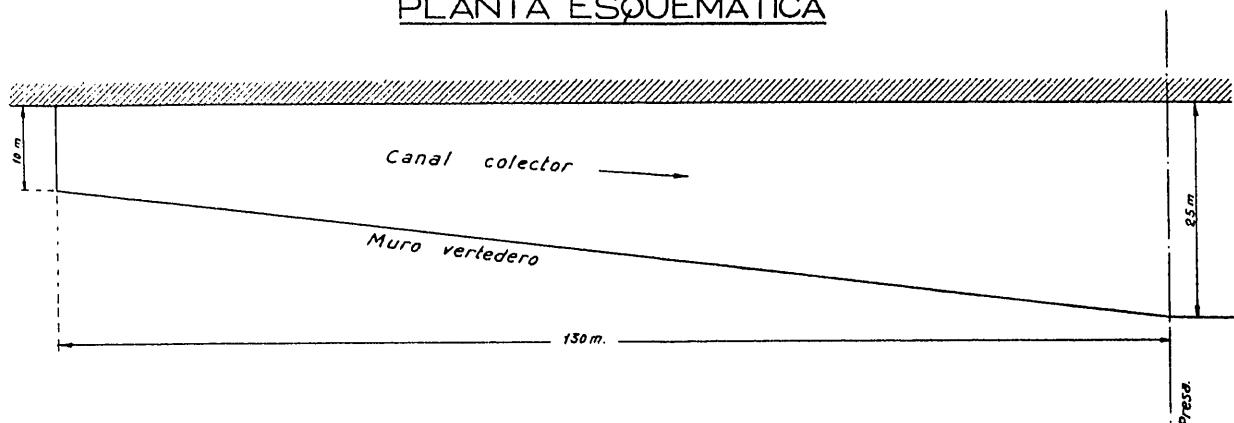
$$dz = -\frac{1}{g} \left[\frac{a^2}{x} + 2b^2x + 3ab \right] dx$$

y

$$z = -\frac{1}{g} \left[a^2 \log x + b^2 x^2 + 3abx \right] + \text{cte.}$$

La elección de los valores de a y b , que dan la mayor economía, puede hacerse por tanteo. Se acompañan los correspondientes al aliviadero del embalse del Charco del Cura, calculado con arreglo al proceso arriba expuesto. Las experiencias comprobaron de modo satisfactorio la teoría, poniéndose de manifiesto claramente la existencia del frenado previsto. Si se interrumpía la caída de agua sobre una porción del muro, el líquido aumentaba súbitamente su velocidad pasando al régimen torrencial, hasta el punto en que se reanudaba la incorporación del caudal, y al tener lugar de nuevo el frenado, se reducía la velocidad, volviendo al régimen tranquilo. Otro interesante fenómeno estudiado es el movimiento en planos transversales. Considerado en con-

PLANTA ESQUEMÁTICA



PERFIL LONGITUDINAL

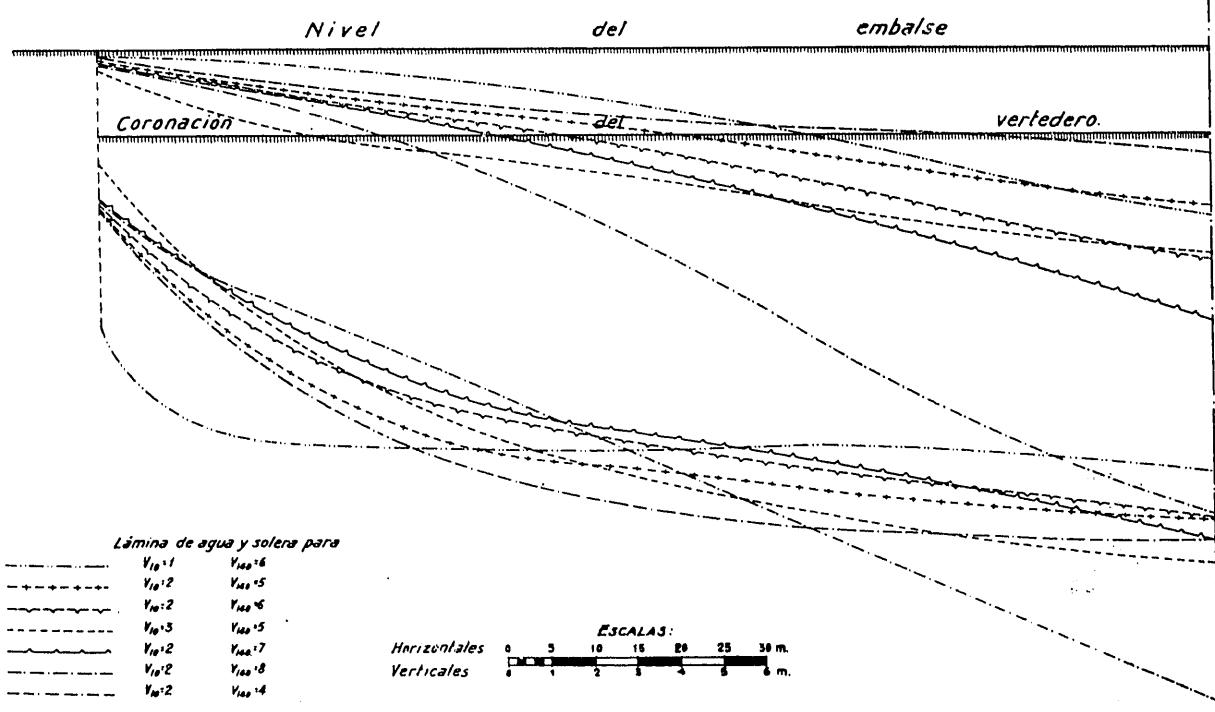


Fig. 5.^a Aliviadero del Charco del Cura. Pendiente superficial de la lámina de agua y de la solera del canal colector para diferentes distribuciones de la velocidad media

junto, su trayectoria es aproximadamente helicoidal. Su dirección corresponde al giro de un cilindro que fuera atacado por la lámina vertiente como por una correa (figuras 6.^a y 7.^a).



Fig. 6.^a Ensayo sobre el aliviadero del Charco del Cura. 800 m³/seg. (Caudal inferior al crítico)



Fig. 7.^a Ensayo sobre el mismo aliviadero. 800 m³/seg.

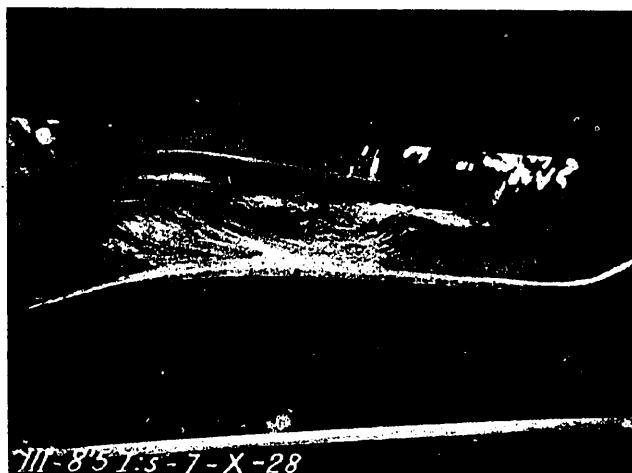


Fig. 8. Ensayo correspondiente a $850 \text{ m}^3/\text{seg}$. (Caudal crítico)

Sin embargo, al alcanzarse un cierto caudal se observa una profunda perturbación del movimiento:

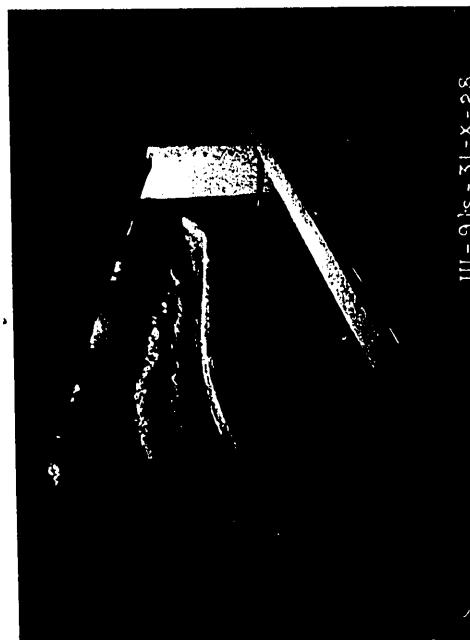


Fig. 9. Ensayo con $900 \text{ m}^3/\text{seg}$. (Caudal superior al crítico)

recorriendo la superficie del líquido olas muy marcadas (fig. 8.a), aparece una estacionaria en la



Fig. 10. Otro aspecto del mismo ensayo de la figura 9.

proximidad del muro vertiente y, de repente, se invierte la dirección del movimiento de hélice (figuras 9.a y 10). El fenómeno tiene por causa, al parecer, el haberse anegado la porción superior del aliviadero y establecido en ella el régimen propio de tales desagües. La inercia de la masa que en esta dirección se mueve vence a la del líquido situado más abajo y la obliga a girar en el mismo sentido. El fenómeno, naturalmente, se verifica en sentido



Fig. 11. Aliviadero del Charco del Cura en servicio

contrario cuando se procede por reducciones de caudal, pero el punto de cambio de régimen aparece ligeramente desplazado, por efecto de la inercia.

En el estudio del aliviadero del pantano de la Cuerda del Pozo, de la Confederación del Duero, se dió un fenómeno que tiene algo de paradójico. El primer modelo ensayado se había construido con arreglo a un proyecto primitivo en que se prescindió de la influencia del frenado por la incorporación

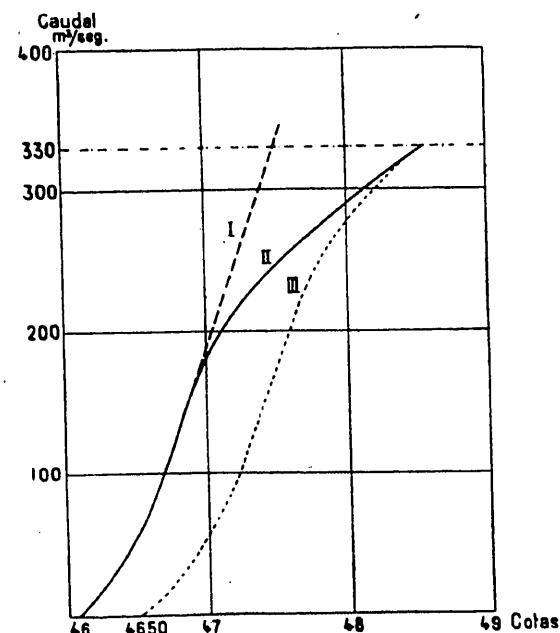


Fig. 12. Aliviadero de la Cuerda del Pozo. Características del desagüe

del caudal vertiente. Resultó que, debiendo desaguarse hasta $330 \text{ m}^3/\text{seg}$ con lámina vertiente de 1,50 metros (curva I de la figura 12 equivalente a la ley $Q = \frac{2}{3} \mu h \sqrt{h}$), por efecto de la incapacidad del canal colector, venía a anegarse el vertedero hacia los $180 \text{ m}^3/\text{seg}$, creciendo sólo el desagüe según la ley II y alcanzándose los $330 \text{ m}^3/\text{seg}$ para

una sobre elevación de nivel de 2,60 metros, es decir, más de un metro sobre lo previsto.

Pero si, respetando las otras condiciones, se elevaba 50 centímetros el muro vertedero, al aumentar la sección del canal se retrasaba el punto en que el aliviadero se anegaba, y la curva de desagüe era la designada con el número III, que daba el mismo caudal de 330 m³/seg para igual cota máxima de

remanso, permitiendo aumentar la capacidad normal del embalse en el volumen correspondiente a los 50 centímetros de la elevación.

Diversas razones de otra índole obligaron a respetar la cota primitivamente fijada, impidiendo adoptar esta solución, que, sin embargo, es buena muestra de la importancia y utilidad de las experiencias en la gran mayoría de los casos.

Enrique BECERRIL
Ingeniero de Caminos

Ferrocarril de Ferrol-Gijón

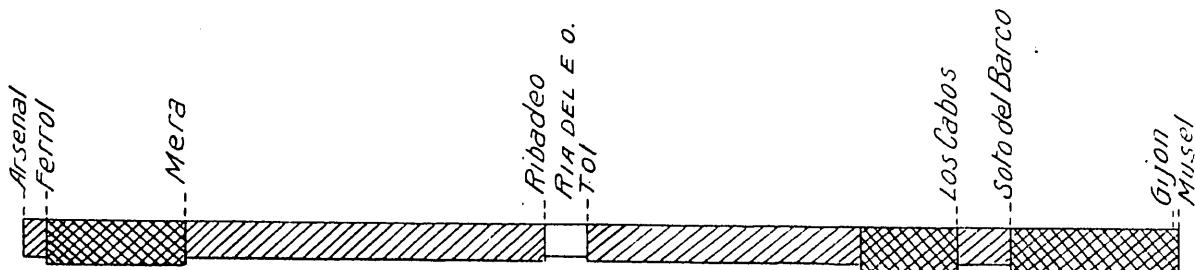
Las informaciones amablemente solicitadas por la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, respecto a las obras de ferrocarriles en construcción por el Estado, motivan las referencias que vamos a dar.

Son bien conocidos los antecedentes de la expresa línea, estratégica y secundaria, que completa la general de la Costa Cantábrica, y sólo haremos de referirnos a su estado actual.

Los dos gráficos que acompañamos definen por completo el grado de adelanto y la importancia económica de lo hecho y de lo que queda hasta terminar las explanaciones.

se ve claramente en el gráfico núm. 2 que está invertida, en números redondos, la mitad; hay comprometidas más de las dos terceras partes y, por tanto, queda por subastar algo menos del tercio del coste total, exactamente el 0,314 por 100. En definitiva, de un modo aproximado puede decirse quedan por ejecutar 73 millones, de los cuales hay comprometidos, por subastas hechas, 24.

Prescindiendo del carácter estratégico de la línea que por sí solo justifica la conveniencia de terminarla cuanto antes, considerándola sólo objetivamente como empresa, cuya necesidad ha sido reiterada-



Escala 1:100000 = 2 Km.

Sin subastar = 11'250 Km. = 0'035% del total

Subastados = 189'76 id = 0'61% id id.

Recibidos = 110'20 id = 0'355% id id.

} 299'95 Km. = 0'965% del total

Gráfico de situación de las obras de explanación, fábrica y edificios de la línea Ferrol a Gijón. Longitud total: 311,2 km

En el primero se indican las situaciones de las obras terminadas, de las que están en ejecución y del único trozo que queda por subastar, que se refiere al paso de la ría del Eo, por lo que resulta que de toda la línea — 211 kilómetros, incluidos los ramales a los puertos de Ferrol y del Musel — sólo quedan por subastar 11 kilómetros.

El coste aproximado de la línea sin material móvil puede descomponerse en las tres partidas siguientes:

Explanación.....	108 millones
Estaciones.....	16 —
Vía y señales.....	32 —

lo que da un total de 156 millones. De esta cantidad

mente declarada por el Estado, se confirma aquélla, por la importancia de las obras hechas, mitad del total, por faltar menos del tercio de ese total por comprometer en nuevas subastas, y por evitar los gastos de conservación de lo que se va terminando y queda sin prestar utilidad.

Es indudable que el rendimiento de una obra está en razón inversa de su coste, y, por tanto, del tiempo que tarde en terminarse, por lo que cuanto menos obra falte para concluirla, más debe extremarse el afán de llegar a su terminación. Tal es la consecuencia que del examen del estado económico y grado de adelanto de la línea Ferrol-Gijón deducimos; pero no hemos de terminarlo sin añadir que están construyéndose en la Fábrica Nacional de Trubia diez loco-