

tramo cualquiera cargado aisladamente en otras fórmulas en las que el numerador depende de δ en una forma mucho más sencilla que antes, y que se presta mejor á la discusión amplia y detallada del problema, pues poniendo en vez de β_{n-2} su valor $C_{n-3} + 2 A_{n-3} \delta$, tendremos

$$M_k = \frac{(C_{n-5} - C_{n-2k+1})(4\delta^2 - 3)}{24 D} p l^2 + \frac{C_{n-3} + 2 A_{n-3} \delta}{4 D} p l^2$$

Pasemos ahora á determinar el momento N_{k+1} del segundo apoyo del tramo k .

Tendremos

$$N_{k+1} - M_{k+1} = \frac{A_{n-2k-1}(4\delta^2 - 3)}{4 D} p l^2$$

y cambiando k por $k+1$ en el valor de M_k , y substituyendo, resulta

$$\begin{aligned} N_{k+1} &= \frac{(C_{n-5} - C_{n-2k-1} + 6 A_{n-2k-1})(4\delta^2 - 3)}{24 D} p l^2 + \frac{\beta_{n-2}}{4 D} p l^2 = \\ &= \frac{(C_{n-5} + C_{n-2k})(4\delta^2 - 3)}{24 D} p l^2 + \frac{C_{n-3} + 2 A_{n-3} \delta}{4 D} p l^2 \quad (56) \end{aligned}$$

Y haciendo la trasformacion análoga que en M_k tendremos tambien

$$N_{k+1} = \frac{(C_{n-1} + C_{n-2k})(4\delta^2 - 3)}{24 D} p l^2 + \frac{2(1-\delta)\beta_{n-1}}{4 D} p l^2 \quad (57)$$

(Se continuará.)

P. DE ALZOLA.

FERRO-CARRILES. SISTEMA LARMANJAT.

Lámina 85.

En uno de los números anteriores dábamos cuenta de algunas aplicaciones prácticas del sistema Larmanjat, prometiendo ocuparnos de él con alguna extension, á fin de dar una idea á los lectores de la REVISTA de las ventajas que presenta y de los inconvenientes que ofrece. Un examen detenido del principio que ha servido de base á este sistema, de los medios empleados para realizarlo y de los resultados obtenidos pondrá de manifiesto, de una parte, lo que hay de útil en la invencion de Larmanjat; de otra, lo que aún queda por hacer para la solucion del problema importantísimo de la locomocion al vapor en condiciones económicas.

En toda via de comunicacion la economía en los

gastos de transporte está basada en este sencillísimo principio: aprovechar útilmente el máximo de esfuerzo del motor; principio que en rigor equivale á este otro: disminuir las resistencias pasivas que se oponen á aquel aprovechamiento. Aplicar en cada caso esta verdad, que el sentido comun reconoce como tal, es resolver el problema de la locomocion.

Ahora bien; en el movimiento de un tren por un camino cualquiera, la aplicacion de este principio debe hacerse atendiendo á dos términos distintos: los vehículos y el motor.—Examinar las resistencias que los primeros oponen al movimiento para disminuirlas; examinar las que el segundo opone para el aprovechamiento en la traccion del máximo de su esfuerzo: hé aquí las dos cuestiones que contiene implícitamente el problema cuya solucion se intenta.

En el movimiento de los vehículos las resistencias provienen de dos causas: la gravedad y los rozamientos. El examen de la primera conduce á es-

tos dos resultados: disminuir las pendientes en el trazado para que no sea necesario emplear una fuerza inútil en el movimiento vertical de los vehículos, y hacer éstos lo más ligeros posibles para que los pesos sean menores, y menor la fuerza empleada. Tan naturales, tan fáciles aparecen estos principios que constantemente son atendidos en lo que permiten, de una parte los gastos de construcción de la vía, de otra las condiciones de resistencia del vehículo necesarias para su objeto.

Los rozamientos provienen de la disposición misma del vehículo, en los movimientos de sus distintas piezas, y del que se desarrolla entre él y la vía. Los primeros se disminuyen lo más posible por una buena construcción, y su influencia es poco notable en el resultado general de la tracción. Los segundos producen el mayor de los obstáculos para el movimiento, y es indispensable atender á su mayor disminución. Cuanto más lisa sea la superficie de la vía, cuanto mayor regularidad presente, y cuanto menor sea la probabilidad de que esta superficie presente depresiones ó irregularidades cualesquiera, tanto menor será el rozamiento y más útilmente aprovechada será la fuerza empleada en el movimiento. Se comprende, pues, que *haciendo descansar los vehículos sobre carriles, se obtendrá mejor resultado que apoyando sus ruedas sobre un camino ordinario.*

Examinando ahora las causas que se oponen, en el movimiento de la locomotora, al aprovechamiento del máximo del trabajo desarrollado, llegaremos á resultados bien distintos de aquellos á que la observación ménos ilustrada nos ha conducido al tratar de los vehículos.

Á las condiciones ántes examinadas y que para la locomotora tienen análoga importancia y conducen á idéntico resultado, hay otra que examinar al presente y es: ¿cómo se aprovecha para la tracción el trabajo desarrollado? Y por tanto, ¿qué condición exige su mejor aprovechamiento en la locomotora?

Es de todos sabido que estas máquinas deben su fuerza de tracción á la adherencia de sus ruedas sobre los carriles; si esta adherencia se suprimiese por completo, todo el trabajo de la máquina se emplearía en hacer girar con gran velocidad las ruedas, sin que el tren se pusiera en marcha, por no haber fuerza alguna que originase la componente de la tracción; al contrario, cuando este rozamiento aumenta, una parte del trabajo se emplea en vencerle, y de la mayor ó menor intensidad que aquél

tenga, depende la mayor ó menor fuerza utilizable para la tracción. Aumentar la adherencia de la locomotora con los carriles es, pues, el problema que ha tratado de resolverse siempre que de aprovechar fuerza para la tracción ha sido cuestión. Ahora bien: esta adherencia depende de dos elementos, como es sabido que sucede á todo rozamiento: de la presión y de la naturaleza de las superficies en contacto; y mientras se ha fijado mucho la atención de los innovadores en el primero, apenas se han hecho algunos ensayos para alterar el segundo. De aquí el que se haya aumentado el peso de las locomotoras, que carga sobre las ruedas motrices cuando se ha tratado de construir las de gran potencia, á pesar de los grandes inconvenientes que para el material fijo, como para el móvil, tiene esta solución. Fijarse en el otro elemento que influye en la adherencia es el mérito principal del sistema Larmanjat; esto es, estudiar la influencia de las superficies en contacto, y ver de que su adherencia sea la mayor posible. Según esto, *convendrá que las ruedas motrices, en vez de apoyarse sobre carriles lisos y de superficie unida, descansen sobre el terreno, cuyas asperezas aumentan la adherencia, como es sabido, en una proporción décupla.*

Para salvar con un tren de mercancías, por pequeño que sea, pendientes de alguna importancia se necesitan máquinas de mucha potencia, y, por tanto, de mucho peso; y para que éstas puedan transitar se hace necesario á la vez que haya carriles de gran resistencia y peso, muy buen balasto, obras muy sólidas y capaces de sostener enormes pesos, todo aquello, en fin, que contribuye á aumentar el costo de primera construcción de una manera enorme y hacer imposible el establecimiento de vías férreas económicas. Para esta condición de la economía, del poco costo preciso se hace acudir á resolver el problema atendiendo á las dos observaciones que hemos hecho resaltar en lo que antecede; esto es: conviene que las ruedas de los vehículos se apoyen en carriles, y las ruedas motrices de la locomotora sobre el terreno, dispuesto, por lo demás, de una manera conveniente para que sus grandes desigualdades no presenten nuevas resistencias que vencer por alteraciones bruscas del movimiento.

Tales son las consideraciones que sirven de base al sistema Larmanjat, y que el ingeniero de este nombre ha tenido presentes al resolver el problema de la locomoción al vapor económica. Hé aquí ahora la descripción del mencionado sistema, que toma-

mos en parte del informe redactado por el Inspector general de Puentes y Calzadas Mr. Belgrand, y en parte de la breve Memoria escrita por el mismo autor del proyecto. Las láminas que se acompañan contribuirán á hacerla más inteligible.

Las ruedas motrices de la locomotora se apoyan sobre un firme ordinario ó un larguero de madera, sin aumentar la resistencia al movimiento, puesto que las otras ruedas de la locomotora y las de los vehículos se apoyan sobre un carril de hierro. Con una máquina de 5 toneladas puede así obtenerse una adherencia igual ó mayor á la de locomotoras ordinarias que pesen 40. Se puede con ella subir rampas de 3 y aún 5 por 100, arrastrando un peso de 15 toneladas. Hay que estudiar tres cosas: la vía, la locomotora y los carruajes.

La vía férrea se compone de un solo carril muy ligero, puesto que sólo pesa 12,70 kilogramos por metro lineal.

Las varias especies de vía que el autor propone, y los gastos de establecimiento por kilómetro para cada una, son las siguientes:

1.º Vía enteramente afirmada, comprendiendo la piedra necesaria para la conservación del firme, el cilindrado y el riego: 7.000 francos.

2.º Vía colocada en el borde de la cuneta de la carretera y con un larguero por aquel lado: 8.500 francos.

3.º Vía colocada sobre el terreno con dos largueros: 14.000 francos.

La locomotora es de cuatro ruedas: dos de ellas están colocadas, la una delante, la otra atrás, y se apoyan sobre el carril, y son las ruedas que sirven sólo para dirigir el movimiento; las otras dos se hallan á ambos lados de la locomotora, descansan sobre el terreno y son las ruedas motrices. Por un mecanismo sencillo é ingenioso, aunque, á la verdad, no muy perfecto, se puede hacer que el peso del aparato descansa, según se desee, sobre las ruedas del centro ó sobre las laterales. Así para marchar en una rasante horizontal, donde basta el mínimo de adherencia, bastará hacer que el peso de la locomotora cargue sobre el carril, y de esta manera se disminuye su propia resistencia al movimiento: cuando haya que subir fuertes pendientes bastará hacer que el peso se transmita íntegro á las ruedas motrices que descansan sobre el firme. Este cambio del punto de apoyo se obtiene por medio de tornillo, inclinando más ó menos la máquina, para un que su peso cargue sobre el terreno ó sobre el carril.

Otra circunstancia interesante del sistema que

nos ocupa es la disposición adoptada para poder disminuir el rozamiento en las curvas, y permitir el paso por las que tienen un radio hasta de 5 metros. Para ello, las ruedas motrices no están unidas invariablemente al eje, sino que están provistas de fuertes resortes en espiral, unidos por un extremo al eje y por otro á la rueda, como puede verse en la figura; de tal manera que la máquina no se pone en movimiento hasta después de un cierto número de vueltas del motor que, actuando sobre el resorte, lo hace arrollarse hasta que la tensión adquirida es suficiente para poner el tren en movimiento. De esta manera, cuando hay que pasar por una curva de pequeño radio, uno de los resortes se dilatará todo lo que es preciso para ganar la diferencia de camino, que la rueda exterior tiene que recorrer más que la interior, y se evita de este modo el deslizamiento de aquella rueda, que tendría lugar si ambas estuviesen invariablemente unidas al eje.

El autor ha establecido dos tipos de locomotoras, una de peso de unas 6 toneladas y otra de 10: la primera puede aplicarse á trenes mistos, marcha á la velocidad de 16 ó 18 kilómetros por hora, y puede arrastrar un tren de 35 toneladas en pendientes de 2 por 100, y con menores velocidades mover igual peso en pendientes que lleguen al 5 por 100; la segunda en iguales condiciones puede llevar un tren de 50 toneladas y recorrer 10 kilómetros por hora; en rasantes horizontales puede arrastrar hasta 180 toneladas. El consumo de carbón de estas máquinas varía de 8 á 15 kilogramos por kilómetro. El precio de ellas es respectivamente de 20.000 y de 26.000 francos.

La locomotora, cuyo dibujo se acompaña, tiene las siguientes dimensiones y pesos:

Diámetro de los cilindros.	0 ^m ,180
Carrera de los émbolos.	0 ^m ,140
Relación de los engranajes.	$\frac{1}{6}$
Distancia de los centros.	0 ^m ,333
Paso del engranaje.	0 ^m ,027
Diámetro de las ruedas motrices. . . .	1 ^m ,100
Ancho de su llanta.	0 ^m ,220
Diámetro de las ruedas de garganta. .	0 ^m ,540
Altura del eje de tracción sobre el carril.	0 ^m ,840
Altura del eje de la caldera sobre el carril.	1 ^m ,200
Ancho máximo de la máquina.	1 ^m ,800
Distancia interior de las ruedas. . . .	1 ^m ,210
Ancho exterior de la vía.	1 ^m ,630
Volumen de agua transportado en las cajas.	1.100 litros.

Potencia del inyector Giffard.	25 caballos.
Peso de la máquina vacía.	4.000 kilogramos.
Peso de la máquina en presión.	5.000 id.
Timbre de la caldera.	9 atmósferas.
Diámetro interior del cuerpo cilíndrico.	0 ^m ,564
Longitud exterior de la caja de fuego.	0 ^m ,740
Ancho exterior de la misma.	0 ^m ,610
Longitud de la parrilla.	0 ^m ,570
Ancho de la misma.	0 ^m ,460
Altura del hogar sobre la parrilla.	1 ^m ,165
Longitud de los tubos entre las placas tubulares.	1 ^m ,700
Diámetro exterior de los tubos.	0 ^m ,050
Número de los tubos.	45
Superficie de calefacción.	del hogar. 2 ^m ² ,57
	de los tubos.. . . . 10 ^m ² ,65
	TOTAL. 13 ^m ² ,22
Superficie de la parrilla.	0 ^m ² ,265
Diámetro de la chimenea.	0 ^m ,220
Altura sobre el carril.	1 ^m ,800

Los vehículos, en este sistema, tienen también cuatro ruedas, dos sobre el carril y dos sobre el firme; pero la disposición del resorte es tal, que todo el peso carga sobre el carril, siendo, por tanto, la fuerza de tracción sensiblemente la misma que en un ferro-carril ordinario. Las ruedas de los extremos del wagon tienen una garganta para abrazar el carril; su objeto es dirigir el wagon sobre el carril y sostener la mayor parte del peso; las otras dos están montadas como las de los carruajes ordinarios, y colocadas en la parte central transversal del wagon, y tienen por objeto mantener el equilibrio, haciendo cargar el peso principal sobre el carril. La ventaja incontestable, á juicio del autor, obtenida haciendo marchar el wagon sobre el carril central es la que hace relación al paso en las curvas, cuyo radio puede descender, como dijimos, hasta 5 metros, sin exigir un aumento considerable en la tracción.

No entraremos en detalles relativos á la descripción de estos vehículos, ni damos lámina de ellos, por creerlo innecesario para la inteligencia del asunto, bastando lo dicho para dar una idea de ellos á nuestros lectores.

El autor señala los siguientes precios al material.

Carruajes de viajeros, 1. ^a y 2. ^a clase,	
20 asientos.	5.500 frs.
Id. id. 3. ^a clase, 20 id.	4.600 id.
Furgones de equipajes para 5.000 kilogramos.	3.200 id.
Wagones, camiones ó plataformas para 5.000 kilogramos.	2.500 id.

Descritas ya las distintas partes que componen la locomotora y los vehículos del sistema Larmanjat, necesitamos hacer algunas observaciones relativas á los inconvenientes que pueda presentar, dando también á conocer los resultados de las experiencias con él practicadas, y de los medios que puedan emplearse para perfeccionarlo y hacer un sistema más completo, que permita la locomoción al vapor en caminos ordinarios con poco costo de instalación.

Las observaciones que debemos hacer se refieren principalmente al mecanismo para variar los puntos de apoyo de la locomotora, al resorte de las ruedas motrices, á los efectos del movimiento en el firme, y á la poca estabilidad en el movimiento de los vehículos. Respecto al cambio de puntos de apoyo de la locomotora, se comprende fácilmente que el mecanismo empleado puede sí hacer que el peso principal cargue indistintamente sobre el carril ó sobre el terreno; pero no puede evitar por completo el movimiento de balance que ha de haber forzosamente cuando, marchando en rasante horizontal, la locomotora se apoye principalmente sobre el carril, y sus ruedas laterales tengan que seguir las desigualdades del terreno, que necesariamente deben presentarse después de cierto tiempo de entregado el camino á la circulación.

En cuanto al resorte que une las ruedas motrices al eje, puede observarse cuánta es la dificultad de construir resortes de esta potencia que satisfagan á las condiciones que se exigen para la solución del problema á que responden; y además es fácil darse cuenta de que si, pasada una curva, no se presenta inmediatamente otra de curvatura inversa, el resorte seguirá tenso en el mismo sentido, y que su tensión aumentará si las curvas siguientes son en la misma dirección; resultando de esto que, ó llegará á su máximo de tensión, y entonces la rueda deslizará, haciéndose inútil el mecanismo, ó el resorte, tendiendo á volver á su primitiva forma, hará deslizar la rueda aún en alineaciones rectas.

Otro inconveniente del sistema consiste en que, siendo dirigidos los trenes en su marcha por el carril central, las ruedas motrices de las locomotoras que circulen por el mismo camino descansarán constantemente en la misma faja longitudinal del firme, y desgastarán éste de una manera muy rápida, formándose rodadas al poco tiempo y dificultándose así notablemente el tránsito de los trenes en buenas condiciones, puesto que se notarán fuertes sacudidas en el material y se resentirán del movimiento trasversal tanto las ruedas de garganta co-

mo el carril mismo, y los mecanismos todos de la máquina y wagones.

El movimiento de los vehículos tiene también que ser violento en la mayoría de los casos por razones análogas á las expuestas al tratar del caso en que la locomotora se apoya principalmente sobre el carril central.

Las experiencias practicadas con el sistema Larmanjat han tenido lugar en Francia y en Portugal.

Cerca de París, entre Raincy y Montfermeil, en una longitud de 5 kilómetros, ha hecho construir el autor un camino de hierro en que hay rampas de más de 7 por 100 y curvas de 5 metros de radio. La locomotora empleada es del peso de 3 toneladas y arrastra dos wagones. Del informe emitido por el Ingeniero Jefe del departamento, M. Duvergier, sólo se desprende que *no se ha decidido á resolver sobre el valor económico del sistema*; pero no tenemos documentos relativos á los resultados de las experiencias, ni podemos, por tanto, formar juicio exacto de la importancia y utilidad del sistema en las condiciones en que allí está establecida la línea.

Las experiencias practicadas en Portugal parece que no han dado el éxito más satisfactorio. La vía se estableció en una calzada pública que pasa por el Sonnar y en una extensión de 6 kilómetros. Á la salida de la estación, establecida en un contiguo palacio, hay una fuerte pendiente de 7 por 100, al mismo tiempo que una violenta curva. La máquina salió remolcando dos wagones, con veinte personas cada uno y que representaban un peso de 6 toneladas; pero al llegar á la rampa en curva empezó á patinar y no pudo arrastrar los coches, siendo necesario desenganchar uno para poder seguir la marcha, después de algunas averías. La velocidad media en el trayecto de inauguración con un solo coche fué de 12 kilómetros por hora; el consumo de combustible no muy económico, y el trabajo de la máquina anormal. La explotación de este negocio, que debía haber continuado después de la inauguración, se interrumpió, y no sabemos si posteriormente habrá continuado.

De cuanto llevamos expuesto se deduce que el sistema Larmanjat está llamado en un porvenir no muy lejano, á resolver el problema de la locomoción económica por medio del vapor, puesto que entraña dos principios esencialísimos á la economía de la tracción y que no deberán desatenderse en lo sucesivo: aumento de la adherencia, tomándola de la calzada, y disminución de las resistencias, aprovechando el carril central; pero, hoy por hoy, no es-

tán prácticamente resueltos los detalles del problema mecánico y debe estudiarse su perfeccionamiento, teniendo presentes cuáles son los obstáculos que el examen del sistema nos ha hecho encontrar. Grandes mejoras podrán introducirse, y esperamos se introduzcan en lo sucesivo, ya estableciendo dos carriles y facilitando el movimiento, aunque con aumento de costo, ya aplicando la disposición adoptada por Thompson en su locomotora de caminos ordinarios para las llantas de las ruedas (1), ya por otros medios que disminuyan eficazmente los inconvenientes indicados.

Su autor ha dado un gran paso para la solución del problema, que debe preocupar á todos los ingenieros. Todos están interesados en su perfeccionamiento, y es de esperar que en un corto plazo una solución satisfactoria venga á coronar con el éxito los esfuerzos de los investigadores.

LUIS DE RUTE.

CAMINOS DE HIERRO DE ITALIA.

El Ministro de Obras públicas de Italia acaba de publicar una interesante é instructiva *Relacion de los caminos de hierro* de aquel reino, correspondiente al año de 1868, y habiéndome dispensado la honra de remitirme un ejemplar de dicha *Relacion* mi distinguido amigo el Ingeniero Sr. Corbellini, oficial de la Dirección general de los caminos de hierro, he creído oportuno extractar de aquélla algunos ligeros datos, útiles, al ménos, para el conocimiento estadístico de los ferro-carriles.

Una sola concesión definitiva se hizo en 1868, la del camino de hierro, servido por caballos, de Turin al sitio real de Rivoli, de 12 kilómetros de longitud, establecido sobre la carretera que une estos dos puntos.

En el mismo año se hizo la concesión provisional de cinco líneas, cuya longitud total es de 282 kilómetros, calculándose en 50 millones de liras el capital necesario para su ejecución.

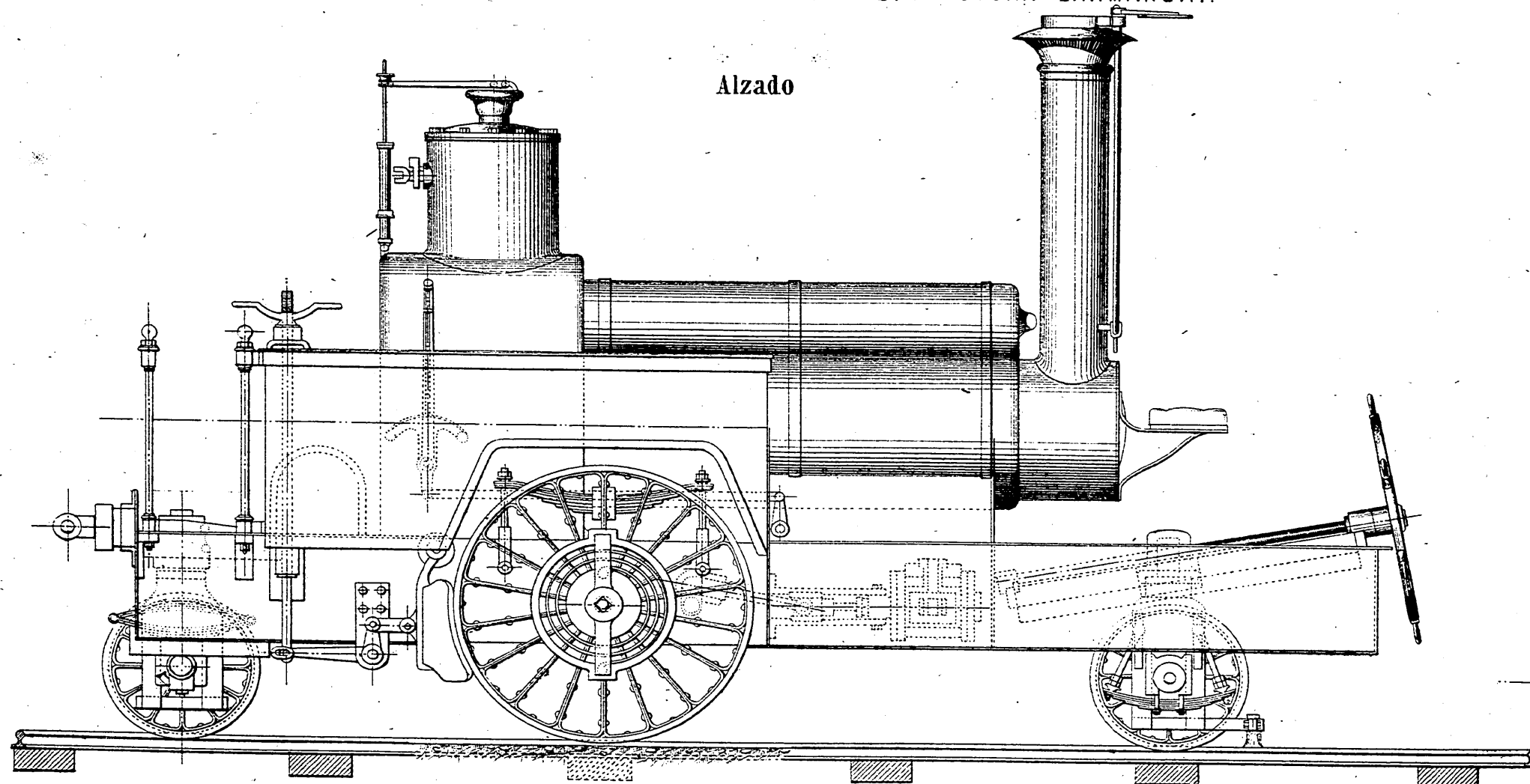
Durante el mismo año se entregaron á la explotación 414 kilómetros, en varias secciones, de todas las redes.

En fin de 1868 existían en todo el reino de Italia, incluyendo 333 kilómetros en explotación, correspondientes á los Estados Pontificios:

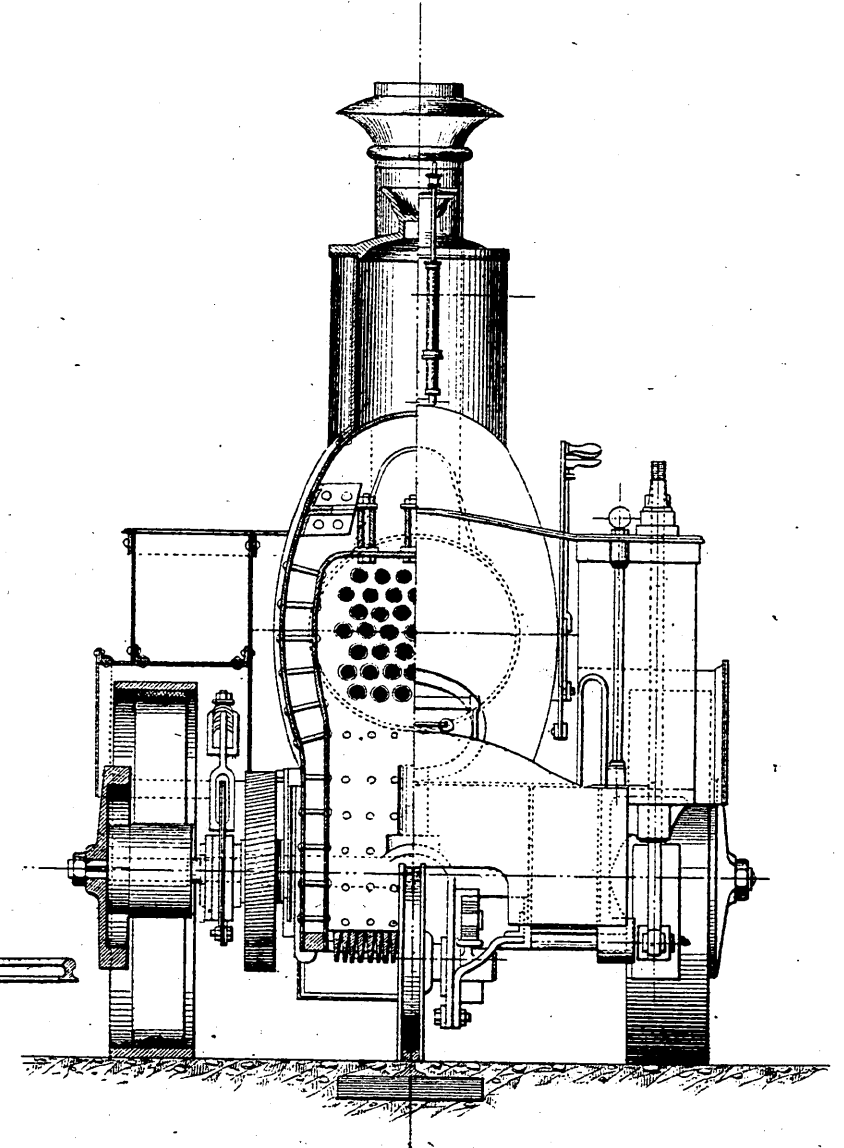
(1) Véase el número del 1.º de Octubre de 1868 del periódico *The Artisan*.

LOCOMOTORA LARMANJAT.

Alzado



Vista posterior



Plano

