

PATRONES FOTOMÉTRICOS DE LLAMA ⁽¹⁾

POR

E. B. ROSA y E. C. CRITTENDEN

(Bulletin of The Bureau of Standards, vol. X, núm. 4.)

- I. *Introducción.*—1. Patrones fotométricos actuales.—2. Necesidad de un patrón más perfecto.
- II. *Influencia de las condiciones atmosféricas.*—1. Variaciones en la atmósfera.—2. Influencia de la presión barométrica.—3. Influencia del vapor de agua.—4. Coeficiente del vapor de agua.—5. Fórmulas completas para las lámparas Hefner y Harcourt.

I.—Introducción.

1. PATRONES FOTOMÉTRICOS ACTUALES.

Desde hace mucho tiempo, se ha reconocido la necesidad de disponer de un patrón de confianza para las medidas fotométricas, habiéndose desplegado mucho ingenio y desarrollado una gran cantidad de trabajo para satisfacer dicha necesidad. Ninguno de los patrones propuestos reúne condiciones que le hagan superior á los demás para poder ser aceptado por todos. En Francia, en Alemania y en Inglaterra se han adoptado formas diferentes de lámparas de llama para patrones primarios fotométricos, sin que ninguna de ellas satisfaga por completo.

La lámpara Carcel, ideada hacia el año 1800, se adoptó por patrón fotométrico en Francia á consecuencia de los trabajos de Fresnel, aunque las instrucciones para su empleo no se publicaron hasta 1862, y han sido modificadas hace pocos años (2). El prestigio adquirido por esta lámpara se debe á que Violle dió la definición práctica de su unidad en función del Carcel y á que, á falta de una reproducción del patrón de platino Violle, la unidad francesa (bujía decimal) adoptada por el Congreso internacional de Electricidad de 1889, fué la lámpara Carcel, cuya potencia luminosa se fijó en 9,62 bujías decimales.

La lámpara Hefner fué propuesta por von Hefner-Alteneck en 1884 y muy pronto sustituyó á las bujías hasta entonces empleadas en Alemania. En 1893 el Physikalisch-Technische Reichsanstalt comenzó á certificar lámparas de este tipo, y fué en 1895 cuando la unidad alemana actual, denominada en un principio el Hefnerlicht y posteriormente el Hefnerkerze, se definió por la intensidad de una lámpara Hefner en condiciones atmosféricas determinadas.

La lámpara de pentano Harcourt de 10 bujías, última de una serie estudiada por Vernon Harcourt y otros, se adoptó en 1898 para todos los ensayos que se hicieran bajo la dirección del Metropolitan Gas Referees, de Londres. En vista de que no había seguridad de que esta lámpara se pudiera reproducir con exactitud, el Engineering Standards Committee definió su unidad de potencia luminosa por la décima parte de la de una lámpara que se conserva en el National Physical Laboratory y cuyo funcionamiento ha de realizarse en condiciones previamente establecidas.

(1) Esta Memoria es una revisión de la publicada en los anales de la Illuminating Engineering Society, (Vol. V, páginas 753-778, 1910) con el título *Memoria sobre los progresos en los patrones de llama*. Estudios posteriores no han modificado sus conclusiones en lo que tienen de esencial, y el presente trabajo difiere de aquél en la forma, pero no en el fondo del asunto sobre que uno y otro se ocupan. El número de experimentos es mucho mayor, y se han hecho con unas 80 lámparas de pentano, pero por lo que se refiere al fin de esta Memoria, su conformidad con la primera es completa, tanto que, con muy pocas excepciones, se han conservado las tablas numéricas originales.

(2) J. Gas Lighting, 99, pág. 234, 1907.

Los defectos de estos patrones los pone en evidencia el hecho de que muchos años después de adoptados en sus respectivos países, todavía no se habían determinado con seguridad las relaciones numéricas entre ellos. Las comparaciones directas que se hicieron entre patrones de llama dieron resultados más ó menos discordantes, no obteniéndolos con discrepancias aceptables hasta que se comparó cada patrón con grupos de lámparas eléctricas candentes preparadas con todo cuidado y que pasaban de unos laboratorios á otros. Los resultados obtenidos fueron que, dentro de los límites de error de los experimentos, las unidades francesa é inglesa eran iguales y que el Hefnerkerze valía los 0,9 de éstas; la sencillez de estas relaciones hizo posible el acuerdo, que consistió en reducir á dos los patrones fotométricos, uno el Hefnerkerze y otro la bujía internacional de Inglaterra, Francia y América (1).

La unidad fotométrica del Bureau of Standards ha estado siempre representada por grupos de lámparas candentes, porque se ha creído que una vez conseguido el acuerdo sobre su magnitud, podría reproducirse con una seguridad muchísimo mayor que la que se obtendría por su comparación con los patrones actuales. Es decir, las lámparas candentes se han empleado como patrones primarios, y las antiguas de llama que tenían este carácter han sido relegadas á una situación secundaria. Por virtud de lo dicho, á una lámpara de pentano no se le asignan diez bujías, sino las que resulten de su comparación directa con una lámpara candente patrón.

2. NECESIDAD DE UN PATRÓN MÁS PERFECTO.

Aunque las lámparas candentes son muy aceptables como patrones secundarios y como primarios de carácter empírico para conservar constante la unidad de luz durante muchos años, hay, sin embargo, la posibilidad de que más tarde ó más temprano se produzca una desviación apreciable en el valor de aquella unidad, inconveniente que se evitará si se dispone de un patrón fotométrico reproducible con toda exactitud en condiciones precisas y determinadas, con el cual se comparen directamente los patrones eléctricos. Por lo tanto, aunque la unidad actual haya sido adoptada de una manera definitiva y permanente, es indispensable, para conservarla, un patrón reproducible.

Se han propuesto varios procedimientos para construir estos patrones en forma más racional que los actuales de llama, pero ninguno de ellos se ha desarrollado en extensión suficiente para llegar á constituir un guardián permanente de la unidad y ninguno da esperanzas de que en un porvenir más ó menos próximo sustituirá á las lámparas de llama. Se ha creído útil, por el momento, hacer un estudio de los mejores tipos de lámparas de llama para conocer el grado de aproximación con que es posible reproducir en los laboratorios los valores adoptados con carácter internacional y ver si es posible aumentar su valor como patrones primarios, introduciendo algunas modificaciones en su construcción ó en su funcionamiento.

Otra razón para tratar de perfeccionar los patrones de llama es el gran uso que se hace de ellos en la fotometría de las lámparas de gas, caso en el que son preferibles á los patrones eléctricos. A instancias de los representantes de la industria del gas del alumbrado, hace ya algunos años que el Bureau of Standards emprendió el estudio de algunos de los patrones de llama más importantes con la esperanza de perfeccionar los procedimientos fotométricos de carácter práctico que exige el ensayo de las lám-

(1) Circular núm. 15 del Bureau of Standards sobre la Unidad internacional de luz.

paras de gas en las ciudades de América. Se puede adelantar la conclusión de que para tal objeto la lámpara de pentano es superior á las demás; los resultados de la experimentación del Bureau of Standards se han coleccionado y publicado (1) para facilitar su conocimiento á las personas interesadas en estas cuestiones.

En esta Memoria únicamente se darán á conocer algunos de los experimentos hechos con las lámparas más empleadas, es decir, con los tres patrones de llama antes mencionados y con una lámpara de pentano distinta de la de Harcourt, muy empleada en los Estados Unidos.

En un patrón de llama no es el aparato quien constituye el patrón, sino que dicho aparato con el combustible y el aire forman la llama, que es el patrón fotométrico. Por reproducción del patrón puede entenderse ó la posibilidad de obtener lámparas y combustibles tan semejantes entre sí que tengan sensiblemente la misma potencia luminosa ó la exactitud con que puede construirse una lámpara para reproducir su intensidad cuantas veces sea necesario. En los patrones secundarios esta segunda consideración es de importancia capital, no siéndolo tanto en los primarios; es conveniente pero no necesaria, teniendo en cuenta que las desviaciones respecto del valor normal no son sistemáticas: lo esencial en los últimos, es reproducir la lámpara y el combustible.

El excelente funcionamiento de las lámparas candentes eléctricas hace posible la comparación de las cualidades de varias de ellas con mucha exactitud, puesto que no solamente se pueden comparar todos los días entre sí con la seguridad de que la base de comparación permanece constante, sino que también se puede llegar á saber si las lámparas de cada tipo dan la misma intensidad en otros laboratorios y deducir, en definitiva, si sería posible la reproducción independiente de la unidad.

II.—Influencia de las condiciones atmosféricas.

1. VARIACIONES EN LA ATMÓSFERA.

Además de la lámpara y del combustible hay que estudiar un tercer factor, que es el aire, el cual influye mucho en la intensidad de la llama. Con la corriente de aire llegan á la llama oxígeno, nitrógeno, óxido de carbono y vapor de agua: los tres últimos, además de no ser necesarios para la combustión, enfrían la llama y reducen su intensidad. Si la composición del aire que llega á la llama varía, la combustión se altera, lo mismo que el grado del enfriamiento producido por los gases inertes. Por fortuna, las dosis de oxígeno, nitrógeno y óxido de carbono en el aire varían relativamente poco y son sensiblemente las mismas en todas partes, razón por la cual no es difícil obtener condiciones normales por lo que se refiere á este particular, siempre que el local en que esté instalado el fotómetro disponga de un sistema de ventilación muy perfecto.

En los experimentos á que se hace referencia en el presente trabajo no se ha tenido en cuenta la influencia de una deficiencia de oxígeno ni la de un exceso de óxido de carbono, porque se ha procurado que la renovación del aire sea tal, que dé seguridades de que su composición es la normal.

Tanto la presión atmosférica como la cantidad de vapor de agua que contiene el aire son muy variables, no siendo fácil seguir sus variaciones para corregirlas y operar siempre en condiciones normales. Por lo tanto, para determinar el valor de un patrón de llama es preciso aplicar ciertas correcciones para tener

en cuenta las diferencias entre las condiciones atmosféricas normales y las actuales en que se opera.

Los factores de corrección necesarios, es decir, las variaciones de la potencia luminosa en relación con la presión barométrica y con la humedad atmosférica se habían determinado hace tiempo para las lámparas Hefner y Harcourt, pero con resultados que carecen de la conformidad que es de desear. La discrepancia entre las obtenidas en el Phsyskalischs-Technische-Reichsanstalt y en el National Physical Laboratory de Londres, es bastante grande para producir diferencias del 1,5 por 100 en los valores medios corregidos de lámparas taradas en Wáshington durante el verano. Dichos factores de corrección se han determinado nuevamente en la forma que se expone en el presente trabajo. Por lo que se refiere á la influencia del vapor de agua se han obtenido resultados tan concordantes y dignos de confianza que se han adoptado sin reserva en esta Memoria y se emplean en la determinación de la potencia luminosa normal de las lámparas que se ensayan en el Bureau of Standards.

2. INFLUENCIA DE LA PRESIÓN BAROMÉTRICA.

Los límites de presión entre que se ha experimentado no son suficientes para que el valor del factor de corrección correspondiente tenga el carácter de definitivo: los resultados obtenidos se considerarán como una comprobación aproximada de valores anteriormente determinados. En la tabla 1.^a se consignan los propuestos por varios experimentadores.

Tabla 1.^a

Disminución proporcional de la potencia luminosa por 1 cm. de descenso de la presión barométrica.

EXPERIMENTADOR	Lámpara Hefner.	Lámpara Harcourt.
Liebenthal (1).....	0,11	0,6
Paterson (2).....	0,2	0,8
Butterfield, Haldane & Trotter (3).....	0,4	0,8
Bureau of Standards.....	0,14	0,6 — 0,8

Los primeros experimentos del Bureau of Standards, cuyos resultados se publicaron en 1910, dieron el valor 0,6 por 100 para factor de corrección de la lámpara de pentano, pero por ser muy pequeñas las variaciones de presión consideradas se adoptó el valor 0,8 por 100, que parece más aceptable, para corregir las observaciones con lámparas candentes. Experimentos posteriores, con variaciones de presión mayores, han seguido dando resultados discordantes, habiéndose observado en las más recientes que los valores obtenidos para dicho factor de corrección tienden á 0,6 por 100 con la presión atmosférica normal. El examen de la tabla anterior hace ver que las variaciones de presión tienen más influencia sobre la lámpara de pentano que sobre la Hefner y se ha comprobado que es aún mucho mayor sobre otras llamas. Como hay casos en los que tal influencia y los cambios relativos en los diferentes tipos de llama tienen mucha importan-

(1) Zs. f. Instrument., 15, pág. 163, 1895; J. f. Gas u Wasser., 49, página 561, 1906.

(2) Electrician (Londres), 53, pág. 751, 1904; J. Institution of Elect. Eng., 38, pág. 271, 1906-7; J. Gas Light., 99, pág. 232, 1907; N. P. L., Collected Researches 3, pág. 49, 1908.

(3) J. Gas Light., 115, pág. 290, 1911; Amer. Gas Light. J., 95, página 145, 1911.

(1) La lámpara de pentano. *Bulletin*, 10-1913 del Bureau of Standards.

cia, el Bureau of Standards ha emprendido, recientemente, el estudio de este asunto, con el fin de determinar la influencia de las variaciones de presión, entre límites muy amplios, sobre los patrones fotométricos de llama. Por lo que se refiere a Washington, las dudas sobre el valor del factor de corrección no tienen gran importancia, porque los errores correspondientes son de la misma magnitud que los de las medidas.

3. INFLUENCIA DEL VAPOR DE AGUA.

Las diferencias entre los valores propuestos para el factor de corrección relativo a la influencia del vapor de agua son muy grandes, y constituye, por lo tanto, un motivo de satisfacción el hecho de que sean concordantes los resultados de los experimentos hechos en el Bureau of Standards durante un período de cuatro años.

El primer estudio completo acerca de la influencia de la humedad atmosférica sobre las llamas fué hecho por Liebhenthal en el Physikalisch-Technische-Reichsanstalt, quien empleó un método que ha sido adoptado posteriormente por otros experimentadores. Evalúa la humedad (h) en litros de vapor de agua por metro cúbico de aire seco, y llega a la conclusión de que las variaciones de intensidad de las llamas son proporcionales a la humedad. Es decir, que si I_n es la potencia luminosa normal de una llama con n litros de vapor de agua por metro cúbico de aire, la potencia luminosa I correspondiente a una cantidad cualquiera de vapor de agua estará expresada por la fórmula siguiente:

$$I = I_n [1 + a (n - h)]$$

El procedimiento para determinar la humedad consiste en evaluar con un higrómetro la presión del vapor de agua que hay en la atmósfera en el momento de hacer el experimento; la relación entre esta presión y la barométrica menos ella es igual a la que hay entre la cantidad de vapor de agua y la de aire con que está mezclado, relación que multiplicada por 1.000 da el número de litros de vapor de agua contenidos en 1.000 de aire seco, ó sea en un metro cúbico.

Hay algunos casos en que el número de litros de vapor de agua se refiere al aire húmedo. La diferencia entre los dos métodos de evaluación es despreciable cuando la humedad no es muy grande. En el presente trabajo se ha adoptado siempre el primer método.

Es evidente que para adoptar una lámpara de llama como patrón primario, hay que fijar la humedad del aire en que aquélla ha de funcionar. La humedad normal elegida para la lámpara Hefner es 8,8, que es con la que experimentó Liebhenthal la lámpara adoptada para unidad por el Reichsanstalt. La humedad para la lámpara de pentano fué, en un principio, 10 litros por metro cúbico de aire, que fué la observada, por término medio, durante tres años por la Meteorological Office de Londres, y por el National Physical Laboratory en su Observatorio de Rew, donde se descubrió, algún tiempo después, que en el cálculo de los resultados de los experimentos hechos con la lámpara se había cometido un error, y que las condiciones normales no correspondían a una humedad de 10 litros por metro cúbico. En el National Physical Laboratory se medía la humedad, al principio, con dos termómetros, uno seco y otro húmedo, sin ventilación artificial, mientras que en otros centros se medía con psicrómetro de Assmann, ventilado con una corriente rápida de aire, por cuya razón el descenso del termómetro húmedo es mayor. Si el higrómetro carece de ventilación, pueden obtenerse resultados bastante aceptables con el empleo de tablas ó fórmulas previamente preparadas, aunque

con el error inherente a las corrientes de aire que puedan establecerse sin obedecer a regla alguna. Parece, sin embargo, que la fórmula empleada por el National Physical Laboratory era la correspondiente al higrómetro con ventilación, razón por la cual, los valores obtenidos para la humedad eran demasiado grandes.

Descubierto el error que se acaba de indicar, podrán seguirse dos caminos para corregirle. Uno de ellos consistía en conservar el núm. 10 para representar la humedad normal; pero como la así llamada era inferior a 10 litros por metro cúbico de aire, el elevarla a este número equivaldría a reducir la intensidad normal de la lámpara. Conservar el núm. 10 haría necesario disminuir un poco la unidad de potencia luminosa ó asignar a la intensidad normal de la lámpara patrón de pentano un valor algo inferior a 10 bujías. El otro camino para corregir aquel error sería dejar invariables las magnitudes actuales (humedad, unidad de potencia luminosa y potencia luminosa de la lámpara patrón) y sustituir en la fórmula el núm. 10 por el que representa la humedad supuesta de 10 litros por metro cúbico de aire, procedimiento que parece el más razonable y que no alteraría las relaciones sencillas entre las unidades de Francia, Inglaterra y Alemania adoptadas por los respectivos laboratorios nacionales (1). El segundo procedimiento fué el que se adoptó, y el Dr. Glazebrook anunció en una Memoria que leyó en la Asociación Británica (2) que la humedad de 10 litros determinada anteriormente con aparatos sin ventilación debía ser 8 litros, de manera que la fórmula de corrección sería:

$$\text{Potencia luminosa} = 10 + 0,066 (8 - h)$$

en la cual h representa el número de litros de vapor de agua por metro cúbico de aire seco. La Gas Referees, de Londres, aceptó esta fórmula que constituye desde entonces el valor oficial de la lámpara de pentano.

Es cierto, tanto para la lámpara Hefner como para la de pentano, que su valor medio anual se ha determinado por comparación con lámparas candentes y que la unidad real y efectiva de potencia luminosa se conserva y está representada por patrones eléctricos. Posteriormente se determinaron las condiciones en que las lámparas de llama dan los valores patrones, definiendo con mayor precisión la unidad en función de ellas.

(1) Se ha afirmado repetidas veces (véase, por ejemplo, H. Krüss, *J. f. Gasbeleuchtung*, 52, pág. 705, 1909; *J. Gas Lightung*, 107, pág. 439, 1909; *Amer. Gas Light J.*, 91, pág. 676, 1909, y la Memoria del Comité Alemán en la Comisión internacional Electrotécnica, *Electrotech Zeitschrift*, 30, página 593, 1909) que se modificó la bujía inglesa para mantener estas relaciones, cuando la verdad es que lo que se trató de conservar invariable fué la unidad del National Physical Laboratory, adoptada por el Engineering Standards Committee para unidad nacional. Aun en la misma Inglaterra se cree que se alteraron las condiciones normales (véase *Electrician* 63, pág. 233, 1909), opinión de que se hicieron eco algunas publicaciones americanas. Desgraciadamente, en las numerosas comparaciones directas que se hicieron durante 1906 y 1907 entre patrones de llamas se emplearon métodos distintos para medir la humedad, hecho que produjo mucha confusión y que dió lugar a que los resultados obtenidos no representaran las relaciones reales entre las unidades fotométricas comparadas. Así, por ejemplo, las evaluaciones hechas en Europa con la lámpara de pentano suponían una humedad de 10 litros de vapor de agua por metro cúbico de aire, con la cual la potencia luminosa de aquélla era menor de lo que debía ser. A su vez, el valor asignado en Inglaterra a la lámpara Hefner se obtuvo con la humedad efectiva de 7, aproximadamente, en lugar de 8,8, razón por la cual Paterson encontró que el Hefner valía 0,914 unidades del National Physical Laboratory. Posteriormente, al aplicar factores de corrección bien establecidos para reducir cada patrón a las condiciones normales del laboratorio en el que constituye la unidad primaria, se consiguió que la comparación directa diera resultados tan concordantes como los obtenidos con el intercambio de patrones eléctricos. (Véase el trabajo de Paterson titulado *The Proposed International Unit of Candlepower*, *Phil. Mag.* (6), 18, pág. 263, 1931; *Proc. Phip. Soc. of London*, 21, pág. 867, 1910; *N. P. L. Coll. Researches*, 6, pág. 117, 1910; *J. Gas Lighting*, 107, pág. 383, 1909.)

(2) B. A. Report, 1908, pág. 263, y *Electrician*, 61, páginas 922-23, 1908.

4. COEFICIENTE DEL VAPOR DE AGUA.

La elección de la humedad normal es cosa más ó menos arbitraria, pero el valor del factor ó coeficiente que sirve para deducir la variación de la potencia luminosa correspondiente á un incremento de una unidad en la cantidad de vapor de agua, hay que deducirle de la experimentación. La tabla 2.^a contiene los valores dados á conocer para dicho coeficiente.

Tabla 2.^a

Coeficientes del vapor de agua.

Los números consignados son el tanto por ciento de disminución de la potencia luminosa producido por un aumento de un litro de vapor de agua por metro cúbico de aire.

AUTOR	Lámpara Hefner.	Lámpara Harcourt.
Liebenthal (1).....	0,55	0,55
Paterson (2).....	0,66	0,66
J. S. Dow (3).....	»	0,71
Butterfield, Haldane & Trotter (4).....	0,625	0,625
Bureau of Standards.....	0,56	0,57

El valor tan grande obtenido por Mr. Dow no es digno de mucha confianza, tanto porque la humedad se midió con trigómetros sin ventilación, como porque el valor publicado se ha deducido, al parecer, de 50 evaluaciones de potencia luminosa, después de haber ó prescindido de seis de ellas por diferir más del 2 por 100 del valor que se consideraba probable.

Como puede observarse en la Tabla, todos los resultados de-

(1) Véase la nota (1) de la columna segunda de la pág. 572.

(2) idem (2) idem id. id.

(3) *Electrical Review* (Londres), 59, pág. 406, 1906.

(4) Véase la nota (3) de la columna segunda de la pág. 572.

muestran que la humedad influye de la misma manera en las dos lámparas, aunque no en la misma magnitud, hecho que no debe atribuirse al funcionamiento de las lámparas, sino más bien á que no se hayan empleado procedimientos idénticos para medir la humedad ó á alguna causa de carácter sistemático relacionada con ésta como la temperatura ó composición del aire, que pueden variar mucho de unos á otros laboratorios.

La variación accidental de los resultados obtenidos no es muy grande, aun cuando el número de lámparas ensayadas sea pequeño. La tabla 3.^a, en la que figuran los coeficientes para cada lámpara en particular, calculados en el Bureau of Standards para seis Hefner, demuestra que el error probable de la media es pequeño comparado con las diferencias que se observan en la tabla 2.^a

Tabla 3.^a

Coeficiente de vapor de agua para la lámpara Hefner.

El coeficiente es el tanto por ciento de disminución de potencia luminosa producido por un aumento de un litro de vapor de agua por metro cúbico de aire.

Número de la lámpara.	Número de mediciones.	Coeficiente de corrección.
786	19	0,525
887	20	0,564
1.343	21	0,578
804	15	0,575
879	13	0,562
1.342	13	0,532
TOTAL.....	101	
Valor medio		0,557

Ω

(Se continuará.)

Revista de las principales publicaciones técnicas.

Los ferrocarriles de vapor y los eléctricos en relación con las exigencias de la guerra.

Resumimos en la presente nota un interesante artículo publicado por el Sr. Baurat Soberski en los *Grasers Annalen* acerca de los ferrocarriles de vapor y los eléctricos en relación con las exigencias de la guerra.

El autor, después de haber hablado de los dos sistemas de tracción independientemente de las consideraciones de carácter militar, hace observar que respectó á las exigencias de la guerra es necesario que el servicio del tráfico se pueda realizar en cada zona con independencia de la otra y además se necesita que sobre la línea de tracción eléctrica puedan transitar también trenes con locomotoras de vapor. Ocurre á menudo, por esta razón, que á lo largo de las líneas eléctricas se encuentran intercalados depósitos especiales de carbón, depósitos de agua y otras disposiciones para conseguir este objeto.

Respecto á los accidentes que en tiempo de guerra pueden acaecer en las líneas de comunicación, el autor observa que las averías en las locomotoras de vapor producirán ciertamente una interrupción del servicio de duración bastante inferior á la que se

produciría por daños en las estaciones generatrices de energía ó en los conductores de la tracción eléctrica, teniéndose, en este caso, que paralizar el movimiento por un cierto espacio de tiempo y en una sección entera, para evitar lo cual deben tenerse instalaciones de reserva y uniones especiales entre las diversas secciones.

Las comunicaciones ferroviarias, en el caso de un ejército en retirada, es lo primero que debe destruirse, en tanto que el material móvil se procura retirar en cuanto es posible para evitar que caiga en poder del enemigo. Para el ejército invasor, en cambio, el principal interés consiste en restablecer las comunicaciones sirviéndose del material del adversario y también, cuando es posible, del propio. He aquí por qué si el sistema de tracción usado por el invasor fuese eléctrico y no fuese éste el que se encontrase en el territorio enemigo, aquél no podría adaptar los propios medios, lo que también sucedería aún en el caso que la tracción empleada por el enemigo fuese eléctrica, pero las características diferentes á las de la tracción usada por el invasor.

Concluye, por lo tanto, el autor que, en lo que se refiere á las exigencias militares, la locomotora de vapor presenta relevan-