

TRATADO DE FERROCARRILES

POR JOSÉ KOLBERG,

Profesor de Mecánica práctica y construcción de vías de comunicación
en la Escuela Politécnica de Quito. (1875)

(Continuación).

1200	7,81	18,74	20,33	6,57	18,67	19,00	4,69	18,33	17,00
1500	8,75	21,00	19,33	7,50	21,33	18,00	5,63	22,00	16,0
2000	9,69	23,26	18,33	8,44	24,00	17,00	6,57	25,67	15,00

	700			800			900		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
700	0	0	19,14						
800	1,01	5,09	18,07	0	0	17,00			
900	1,79	9,05	17,23	0,78	5,00	16,16	0	0	15,33
1000	2,41	12,21	16,57	1,41	9,00	15,50	0,63	4,33	14,67
1200	3,35	16,96	15,57	2,34	15,00	14,50	1,56	12,22	13,67
1500	4,29	21,71	14,57	3,28	21,00	13,50	2,50	19,56	12,67
2000	5,23	26,46	13,57	22	27,00	12,50	3,44	26,89	11,67

	1000			1200			500		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
1000	0	0	14,00						
1200	0,94	8,83	13,00	0	0	12,00			
1500	1,88	17,67	12,00	0,94	12,50	11,00	0	0	10,00
2000	2,81	26,50	11,00	1,88	25,00	10,00	0,94	18,00	9,00

Ejemplo. Una curva de 350^m se debe unir con otra de 900^m.
Resolución: Si la tangente es corta, deberá ser mayor que 9,83 metros y menor que 17,46 metros; si es larga, deberá ser igual por lo ménos á 25,81 metros.

Algunas veces, la unión puede efectuarse tanto por una parte parabólica conforme á este párrafo, como por dos parábolas según el § 41. Así, por ejemplo, dados los radios 600^m y 1500^m y T=20^m, se hallará este último valor entre los límites T₁ y T que señala la tabla, y además es mayor que T₃=16^m. En tal caso será mejor la construcción de una doble parábola.

Se observa también que no pueden unirse, según el último método, dos curvas de igual radio, porque la tangente es cero, y esta misma especie de transición es tanto ménos aplicable, cuanto menor es la diferencia de los radios.

La misma tabla anterior se aplicará principalmente en el trazado del ferrocarril; porque dados dos radios se podrá elegir la distancia que deben tener las curvas; ó también dado un radio y el trecho rectilíneo (la tangente), se elegirá el radio de la segunda curva.

El ángulo δ comprendido entre los dos radios de curvatura M'B' y M''B'', que corresponden á las extremidades de la transición parabólica, es igual al ángulo formado por las dos tangentes en B' y B'', las cuales comprenden con OG'' los ángulos

$$\beta'' = \frac{C}{2R''} \quad \text{y} \quad \beta' = \frac{C}{2R'}$$

$$\delta = \beta'' - \beta' = \frac{C}{2R''} - \frac{C}{2R'} \quad [51]$$

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Para efectuar esta especie de transición parabólica en el terreno, se determinará en primer lugar la tangente común de las dos curvas circulares dadas, hallándose de esta manera T y los dos puntos tangenciales de aquellas curvas. Hecho esto, se trazarán en las intermediaciones, de estos puntos los dos arcos que corresponden á los radios $\rho' = R' + q'$ y $\rho'' = R'' + q''$, lo que se consigue, tirando dos líneas curvas, paralelas á las dadas y que disten de ellas respectivamente q' y q'' , siendo

$$\left. \begin{aligned} q' &= \frac{r^2}{24R'}; & q'' &= \frac{r''^2}{24R''} \\ r &= \frac{C}{R'}; & r'' &= \frac{C}{R''} \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

calculándose C mediante (III),

Luego se buscará experimentalmente la tangente común de los últimos arcos; su longitud será sensiblemente igual á la

de la tangente de las dos curvas dadas, pero respecto á su posición se hallará algo dislocada hácia el lado de la curva que tiene el radio mayor. Esta última tangente común determina la posición de OG'' , y además de los puntos K' y K'' . El origen de la parábola se conoce por las relaciones

$$OK' = \frac{1}{2}l' = \frac{C}{2R'}; \quad OK'' = \frac{1}{2}l'' = \frac{C}{2R''} \quad (\text{II})$$

en donde C se calcula según la ecuación (47)

$$C = \frac{2R'R''}{R' - R''} T \quad (\text{III})$$

Pero, la determinación del origen O no es necesaria, puesto que en la prolongación de la tangente $K'K''$, se pueden hallar directamente los puntos G' y G'' , por las ecuaciones

$$K'G' = \frac{1}{2}l' = \frac{C}{2R'}; \quad K''G'' = \frac{1}{2}l'' = \frac{C}{2R''} \quad (\text{IV})$$

Las flechas $t' = G'B'$ y $t'' = G''B''$ son iguales á $4q'$ y $4q''$, cuyos valores son conocidos. Puede suceder fácilmente que, por los errores inseparables de las operaciones en el terreno, se hallen las perpendiculares $B'G'$ y $B''G''$ algún tanto diferentes de los valores calculados, en cuyo caso se podrá corregir la posición de $G'G''$, tomando los puntos B' y B'' como datos. Finalmente, para hallar valores intermedios de la ordenada, se podrá dividir $G'G'' = l' - l''$ en n partes iguales, de manera que sea

$$x = l'' - \frac{m}{n} [l' - l'']$$

y según la ecuación (VII) del § 40

$$y = \left[1 - \frac{m}{n} \left(1 - \frac{l'}{l''} \right) \right]^3 \cdot t'' = \left[1 - \frac{m}{n} \left(1 - \frac{R''}{R'} \right) \right]^3 \cdot t'' \quad (\text{V})$$

en donde se pondrá $n=4$ y $m=1, 2, 3$ ó también $n=6$, y $m=1, 2, 3, \dots, 5$.

Ejemplo. Una curva de 400^m de radio tiene que unirse con otra de 1000^m , siendo la tangente común $T=12^m$

Resolución: se tiene

$$C = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 400}{1000 - 400} 12 = 16000$$

$$l' = \frac{16000}{1000} = 16^m; \quad l'' = \frac{1600}{400} = 40^m$$

$$K'G' = \frac{1}{2}l' = 8^m; \quad K''G'' = \frac{1}{2}l'' = 20^m; \quad G'G'' = l'' - l' = 24^m$$

$$q' = \frac{16^2}{24 \cdot 1000} = 0,01066^m; \quad q'' = \frac{40^2}{24 \cdot 400} = \frac{1}{3} = 0,1666^m$$

$$t' = 4q' = 0,04266^m; \quad t'' = 4q'' = \frac{4}{3} = 0,6666^m$$

Los 5 valores intermedios de la ordenada son;

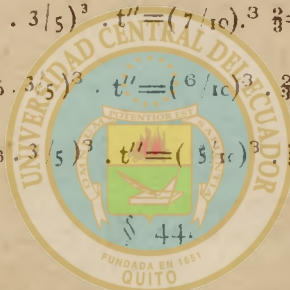
$$t_1 = (1 - \frac{1}{5} \cdot \frac{2}{5})^3 \cdot t'' = (\frac{9}{10})^3 \cdot \frac{4}{3} = 0,486 \text{ metros}$$

$$t_2 = (1 - \frac{2}{6} \cdot \frac{3}{5})^3 \cdot t'' = (\frac{8}{10})^3 \cdot \frac{4}{3} = 0,341 \quad ,,$$

$$t_3 = (1 - \frac{3}{6} \cdot \frac{3}{5})^3 \cdot t'' = (\frac{7}{10})^3 \cdot \frac{4}{3} = 0,229 \quad ,,$$

$$t_4 = (1 - \frac{4}{6} \cdot \frac{3}{5})^3 \cdot t'' = (\frac{6}{10})^3 \cdot \frac{4}{3} = 0,144 \quad ,,$$

$$t_5 = (1 - \frac{5}{6} \cdot \frac{3}{5})^3 \cdot t'' = (\frac{5}{10})^3 \cdot \frac{4}{3} = 0,083 \quad ,,$$



Interpolación de una tercera curva entre dos dadas.

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Puede suceder que la tangente común PQ de dos curvas dadas (fig. 20) sea demasiado pequeña para construir una doble parábola de transición, según el § 41, y que, por otra parte, sea demasiado larga para aplicar una sola, conforme al § 43. En este caso, la transición se efectuará por *interpolación* de un tercer arco circular, que por su parte se une por parábolas simples con las curvas dadas.

Sea s el arco circular que se debe interpolar, s' y s'' las transiciones parabólicas, a' y a'' los arcos circulares que por ellas han de reemplazarse. La mudanza que sufren los radios de curvatura en su dirección, debe quedar la misma, cuando se efectúa la interpolación, consiguientemente será $\epsilon' + \epsilon''$ igual á la suma de los ángulos que comprenden R' y MN' , MN' y MN'' , MN'' y R'' . Pero tenemos

$$\epsilon' = \frac{a'}{R'}; \quad \epsilon'' = \frac{a''}{R''}$$

ángulo entre R' y $MN' = \frac{C}{2R'^2} - \frac{C}{2R^2}$

" " $MN' y MN'' = \frac{s}{R}$

" " $MN'' y R'' = \frac{C}{2R''^2} - \frac{C}{2R^2}$

en lo cual se supone que la constante C debe ser la misma para una y otra transición parabólica, y que R sea mayor que R' y R'' . A favor de la igualdad mencionada resulta

$$\frac{a'}{R'} + \frac{a''}{R''} = \frac{C}{2R'^2} - \frac{C}{2R^2} + \frac{s}{R} + \frac{C}{2R''^2} - \frac{C}{2R^2}$$

A los arcos a' y a'' se puede dar una longitud cualquiera: sea

$$a' = \frac{1}{2}l' = \frac{C}{2R'}; \quad a'' = \frac{1}{2}l'' = \frac{C}{2R''} \quad [52]$$

por lo cual la ecuación anterior suministra la longitud del arco circular que se busca



en donde l sería la longitud de una parábola, que une un trecho rectilíneo con una curva del radio R .

Respecto á las longitudes se verifica la ecuación aproximada

$$a' + t + a'' = s' + s + s''$$

que por los valores anteriores se convierte en

$$l = \frac{1}{2}l' + \frac{1}{2}l'' - t$$

$$\frac{C}{R} = \frac{C}{2R'} + \frac{C}{2R''} - t$$

de donde se deduce que el radio desconocido es

$$R = \frac{1}{\frac{R' + R''}{2R'R''} - \frac{t}{C}} \quad [53]$$

La cantidad constante C se puede elegir como se quiera, con tal que R permanezca positivo, luego puede hacerse también igual al valor que se suele prescribir para cada ferrocarril; por esta sustitución se hallará un valor de R. Pero, no saliendo así comunmente un número redondo, como se emplea para los radios de las curvas, se tomará el que se aproxima más al valor hallado de R, corrigiendo en seguida la constante C mediante la ecuación

$$C = \frac{1}{\frac{R' + R''}{2R'R''} - \frac{1}{R}} \quad [54]$$

Hallando así C y R, para la construcción [fig. 29] se tendrá

$$\left. \begin{aligned} l' &= \frac{C}{R'}; \quad l_1 = l_2 = \frac{C}{R} = s; \quad l'' = \frac{C}{R''} \\ q' &= \frac{l'^2}{24R'}; \quad q_1 = q_2 = \frac{l^2}{24R} = q; \quad q'' = \frac{l''^2}{24R''} \end{aligned} \right\} [55]$$

Por lo demás, el cálculo y la construcción se efectúan conforme á las reglas del último párrafo. Los trechos de la dislocación lateral $q = PK'$ y $q'' = QK''$ se colocarán á continuación de los dos radios $M'P$ y $M''Q$, y tirando en seguida por K' y K'' dos rectas G_1G' y G_1G'' paralelas á la tangente común PQ, estas serán los dos ejes de abscisas para las dos transiciones parabólicas. Además, se conocen

$$\left. \begin{aligned} \text{el trecho } K'G' &= \frac{1}{2}l' = \frac{C}{2R'} \\ K''G'' &= \frac{1}{2}l'' = \frac{C}{2R''} \end{aligned} \right\} [56]$$

$$\left. \begin{aligned} G'G_1 &= l' - l = \frac{C}{R'} - \frac{C}{R} \\ G''G_2 &= l'' - l = \frac{C}{R''} - \frac{C}{R} \end{aligned} \right\} [57]$$

$$\left. \begin{aligned} B'G' &= 4q' = \frac{l'^2}{6R'} \\ B''G'' &= 4q'' = \frac{l''^2}{6R''} \end{aligned} \right\} [58]$$

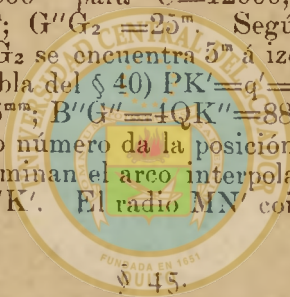
$$\left. \begin{aligned} \text{" " } N'G_1 &= 4q_1 = \frac{l^2}{6R} \\ \text{" " } N''G_2 &= 4q_2 = \frac{l^2}{6R} \end{aligned} \right\} \quad [51]$$

Las dos últimas relaciones determinan la posición de los puntos iniciales de la curva circular interpolada, siendo posible construir ésta conocido como es su radio.

Finalmente entre G' y G_1 , y asimismo entre G'' y G_2 se podrán intercalar las ordenadas convenientes de las parábolas, según el método explicado en el párrafo anterior, valiéndose de la ecuación (V).

Ejemplo. Sea $R'=400^m$, $R''=300^m$ y la tangente común $=20^m$.

Resulta: $R=800^m$ para $C=12000$; $K'G'=15^m$; $K''G''=20^m$; $G'G_1=15^m$; $G''G_2=25^m$. Según esto, el punto G_1 coincide con K' , y G_2 se encuentra 5^m á izquierda de K'' . Además es (según la tabla del § 40) $PK'=q'=94^{mm}$; $QK''=222^{mm}$; $B'G'=4PK'=376^{mm}$; $B''G''=4QK''=888^{mm}$; $N'G_1=N''G_2=48^m$. El último número da la posición exacta de los puntos N' y N'' que terminan el arco interpolado $N'N''$, cuya longitud es $l=15^m=G'K'$. El radio MN' coincide con $M'P$.



ÁREA HISTÓRICA
 DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL
Observaciones generales respecto de la elevación
y el ensanche en las curvas.

A. Elevación. Esta puede efectuarse de dos modos:

- 1) haciendo mas altos los rieles exteriores y dejando en plano horizontal los interiores.
- 2) elevando los carriles exteriores una mitad de lo que es necesario y bajando los interiores la otra mitad.

El primer método tiene la desventaja de que cuando entran los carruajes en la curva los centros de gravedad de los vehículos deben subir algun tanto y deben bajar otro tanto cuando salen: el segundo método permite que permanezcan estos centros de gravedad en el plano horizontal. Según esto, aunque es más perfecto el último método, se emplea, no obstante, por lo regular el primero por ser más fácil su ejecución. En ferrocarriles de dos vías suelen colocarse los dos rieles del medio en igual nivel, en las travesías con otros caminos y que están en el mismo plano.

En las curvas de transición, si parten desde un trecho rectilíneo, la elevación crece constantemente desde cero hasta su valor completo h . Si h' es la elevación para cualquier punto que tiene la distancia x desde el inicial de la parábola se hallará h' por la proporción $h' : h = x : l$, en donde l es la longitud de la transición, resultando

$$h' = \frac{h}{l} x \quad [60]$$

Pero si la parábola enlaza dos curvas poco distantes, de suerte que la elevación crece de h_1 á h_2 , entonces será

$$h' = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\lambda} \cdot x \quad [61]$$

en donde λ es la longitud del trecho parabólico del camino.

El último riel horizontal forma con el primer oblicuo un ángulo en el plano vertical, y conviene mucho moderar el efecto que pudiese causar este cambio de pendiente, en especial si se elige un valor algo grande de este, por ejemplo $\text{tang} \vartheta = 0,004$. Por cuya razón se levantará el último extremo del carril que precede inmediatamente á la transición, dándole una elevación igual á la mitad de la que conviene al segundo extremo del primer carril colocado en el trecho parabólico. Así, en vez de un ángulo vertical resultarían dos, cuya magnitud es solamente la mitad. El mismo efecto podría obtenerse, dando al primer carril de la transición solamente la mitad de la elevación debida.

B. *Ensanche*. En las curvas se construye con toda la exactitud posible la hilera exterior, valiéndose de las reglas expuestas en los últimos párrafos; hecho esto, se colocan los carriles interiores en la distancia que corresponde al ensanche debido. La parte circular de la curva debe tener este ensanche por completo y en toda su longitud. Como la elevación, así también el ensanchamiento es inversamente proporcional al radio de curvatura, porque según (35) se tiene $hR = C \text{ tang}^2 \vartheta$, y conforme á (10) y (13) es $\epsilon R = ud$ ó $\epsilon R = \frac{1}{2} (\frac{1}{2}d + u)^2$, en donde u y d se consideran como constantes. Resulta además que $\frac{h}{\epsilon}$ es cantidad constante, y que

$$\frac{h}{\epsilon} = \frac{h'}{\epsilon'} \quad \text{ó bien} \quad \epsilon : \epsilon' = h : h' \quad [62]$$

es decir, que *el ensanche debe crecer como la elevación*. Ahora, si ϵ , ϵ' , ϵ_1 y ϵ_2 son las magnitudes de aquel, cuando h , h' , h_1 y

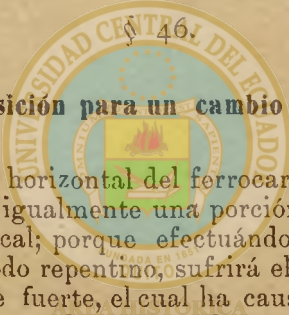
h_2 son las de esta, se aplicarán las ecuaciones (60) y (61) también para el aumento de la anchura de vía, escribiendo tan solo ε en vez de h , por lo cual se tiene

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{l} x \quad [63]$$

$$\varepsilon' = \varepsilon_1 + \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{l} x \quad [64]$$

En la práctica se hace comunmente menor la longitud de la transición, que corresponde al ensanchamiento, haciéndola =1000 ε ó á otro valor semejante, método menos exacto y de ninguna ventaja en la ejecución.

—



Curva de transición para un cambio de la pendiente.

Si á un trecho horizontal del ferrocarril sigue una rampa, deberá interpolarse igualmente una porción que sea curva en el sentido de la vertical; porque efectuándose la mudanza de la pendiente de un modo repentino, sufrirá el eje anterior de los carruajes un choque fuerte, el cual ha causado su rompimiento más de una vez, así que las curvas de transición para un cambio de pendiente son aún de mayor importancia que las anteriores.

Esta segunda especie de transición puede verificarse de varios modos, por ejemplo, dándole la forma circular. Pero debiendo ser grande el radio del círculo, esta forma se aproximará á la parabólica (véase § 39 ecuación (b) y lo que se sigue inmediatamente), la que así mismo tiene la gran ventaja de dar resultados exactos, mientras que el círculo no los suministra sino aproximados.

Si XX' [fig. 21] es la dirección horizontal, CD la rampa en que se debe transitar y OS el arco circular de transición teniendo un radio = ρ , se deduce con facilidad que debe ser

$$y = \rho - \sqrt{\rho^2 - x^2} \quad [65]$$

resultado que sería exacto. Cuando en vez de x se pone el arco OP . sería con aproximación $x^2 = y \cdot 2\rho$

$$y = \frac{x^2}{2\rho} \quad [66]$$

ecuación que en rigor expresa una parábola.

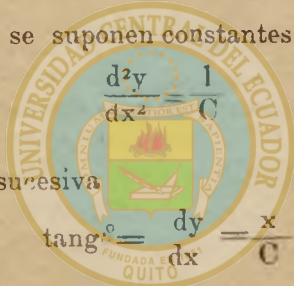
Esta misma parábola puede hallarse estableciendo la *condición, de que el aumento de la pendiente debe ser constante para iguales incrementos de la abscisa.* Pero, la pendiente variable es

$$\text{tang } \theta = \frac{dy}{dx}$$

y como el aumento de esta cantidad tiene que ser constante, se concluye que lo debe ser d^2y , pudiendo escribirse

$$d^2y = \frac{dx^2}{C}$$

en donde dx^2 y C se suponen constantes. Resulta



$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{C} \quad (a)$$

y por integración sucesiva

$$\text{tang } \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{x}{C} \quad (b)$$

$$y = \frac{x^2}{2C} \quad [67]$$

ecuación de una parábola de segundo grado, idéntica á la aproximada del círculo que está señalada en (66), resultando que la constante C es igual al radio de la curva en el origen O .

En efecto, si ρ nos designa, ahora, el radio de la curvatura de la parábola, tendremos con exactitud

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dx}{dy} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}} = \frac{\left(1 + \frac{x^2}{C^2} \right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{1}{C}}$$

ó bien

$$\rho = C \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{C^2} \right)^3} \quad [68]$$

Haciendo $x=0$, se deduce que, para el origen, el radio de

la curvatura es $\rho=C$. En este mismo punto se verifica el cambio mas rápido de la pendiente, pues ρ va aumentando con x . A fin de elegir un número conveniente de C , es preciso observar que una encorvación de los rieles en el sentido vertical es siempre cosa muy difícil, de manera que en vez de la parábola exacta, solo se acostumbra construir un polígono, cuyos lados son los rieles y á la vez inscritos en la parábola, formando cuerdas de esta. Los lados comprenden ángulos entre sí, que se aproximan tanto más á dos rectos, cuanto mayor es x ó la distancia al origen de la parábola, resultando que el menor ángulo, ó el máximo cambio de pendiente se encuentra en este mismo origen. Sea OP la longitud del primer carril (fig. 22), y tendremos en el origen la pendiente

$$\text{tang } \alpha = \frac{y}{x} = \frac{x}{2C}$$

Ahora, en las instrucciones de los ferrocarriles de Orleans, se adopta una pendiente $\text{tang } \theta = 0,00375$ en la hilera exterior de las curvas, cuando se transita de un trecho rectilíneo al circular, permitiendo que el centro de gravedad de la locomotora se desvíe repentinamente de la dirección horizontal, con una subida $= \frac{1}{2} \cdot 0,00375$. Así se sigue, que el valor de C no debe exceder al que resulta de la ecuación

$$\frac{x}{2C} = \frac{1}{2} \cdot 0,00375 \quad \text{ó bien } C = \frac{x}{0,00375}$$

ÁREA HISTÓRICA

EL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

La longitud de los rieles varia entre los términos de 5^m á $7,5^m$, de donde resulta que C puede tener valores que están comprendidos entre los números 1333 y 2000. En la práctica suelen asignarse á C los valores

$$C = 3000^m - 10000^m$$

que son mucho mas seguros. En los ferrocarriles de Orleans se emplea $C = 0000^m$. Un radio de curvatura demasiado grande tiene el inconveniente de que, á veces, se multiplican las obras de tierra.

La subtangente tiene la expresión

$$\text{subtg} = \frac{y}{\frac{dy}{dx}} = \frac{x^2}{2C} : \frac{x}{C} = \frac{x}{2}$$

es decir que en la fig. 23 es $CG = OC$, cuya propiedad sirve pa-

ra determinar la posición del origen de la parábola, dado el punto C en donde empieza la pendiente. Porque si $p = \text{tang. DCX}$ es la magnitud de esta, $l = \text{OG}$ la longitud, $t = \text{GB}$ la altura de la transición, se tendrá según (b) y (37)

$$p = \frac{l}{C}; \quad t = \frac{l^2}{2C}; \quad \text{luego } \frac{t}{p} = \frac{l}{2} = \text{CG}$$

$$l = pC; \quad t = \frac{p^2}{2} C = p \cdot \frac{l}{2} \quad [39]$$

y consiguientemente

$$\text{OC} = \text{CG} = \frac{p}{2} \cdot C \quad [70]$$

Además es $x = pC; \quad y = \frac{p^2}{2} C = p \cdot \frac{x}{2}$ [71]

si á p damos el sentido de una variable.

Ejemplo. Sea una pendiente $p = \frac{1}{80}$, será para una constante $C = 10000^m$:

la longitud de la transición $l = 125^m$
 la altura " " $t = 0,781^m$
 distancia del origen " $\text{OC} = 62,5^m$

El relleno que tiene que efectuarse en el punto C, tendrá una altura casi igual á $\frac{1}{2} t$, es decir $= 0,390^m$. Si á C solo se asignase el valor 5000^m , todas estas medidas se reducirían á la mitad.

Téngase presente que, también, se debe atender á la transición parabólica para un cambio de la pendiente, en los trabajos preparativos especiales, en las obras de desmontes y terraplén, y á veces en las obras de arte.

Varias aplicaciones.

I. *Tabla de las ordenadas.* Las ordenadas de la transición parabólica para un cambio de pendiente se calculan sin dificultad, valiéndose de su ecuación.

$$y = \frac{x^2}{2C}$$

en donde x es la distancia que una ordenada cualquiera tiene desde el origen. Cuando se hace $C=10000$, resulta esta tabla:

x	y	p	x	y	p	x	y	p
5 ^m	0,001 ^m	0,0005	105 ^m	0,551 ^m	0,0105	210 ^m	2,205 ^m	0,021
10	0,005	0,0010	110	0,605	0,0110	220	2,420	0,022
15	0,011	0,0015	115	0,661	0,0115	230	2,645	0,023
20	0,020	0,0020	120	0,720	0,0120	240	2,880	0,024
25	0,031	0,0025	125	0,781	0,0125	250	3,125	0,025
30	0,045	0,0030	130	0,845	0,0130	260	3,380	0,026
35	0,061	0,0035	135	0,911	0,0135	270	3,645	0,027
40	0,080	0,0040	140	0,980	0,0140	280	3,920	0,028
45	0,101	0,0045	145	1,051	0,0145	290	4,205	0,029
50	0,125	0,0050	150	1,125	0,0150	300	4,500	0,030
55	0,151	0,0055	155	1,201	0,0155	310	4,805	0,031
60	0,180	0,0060	160	1,280	0,0160	320	5,120	0,032
65	0,211	0,0065	165	1,361	0,0165	330	5,445	0,033
70	0,245	0,0070	170	1,445	0,0170	340	5,780	0,034
75	0,281	0,0075	175	1,531	0,0175	350	6,125	0,035
80	0,320	0,0080	180	1,620	0,0180	360	6,480	0,036
85	0,361	0,0085	185	1,711	0,0185	370	6,845	0,037
90	0,405	0,0090	190	1,805	0,0190	380	7,220	0,038
95	0,451	0,0095	195	1,901	0,0195	390	7,605	0,039
100	0,500	0,0100	200	2,000	0,0200	400	8,000	0,040

Esta tabla se empleará en el cálculo de las dimensiones que debe tener el terraplén ó la caja.

Ejemplo. A un trecho horizontal del camino sigue una rampa de $\frac{1}{10}$.—*Resolución.* Es $p=0,01$, á lo que corresponde $x=100^m$ é $y=0,5^m$, dándose por el primer número *la longitud* y por el segundo *la altura* de la parábola. El origen de esta se hallará 50^m distante del pié de la rampa. Las demás ordenadas y abscisas que se necesitan, están contenidas en las dos primeras columnas.

Si en vez de $C=10000^m$ se pone otro n veces menor, se dividirán por n también los valores de x é y contenidos en la tabla, permaneciendo los mismos los de la pendiente p . Así, por ejemplo, si $C=5000$, será $n=2$, y para una rampa de 0,01, tendremos $x=\frac{1}{2}.100=50^m$ é $y=\frac{1}{2}.0,5=0,25^m$ por la longitud y altura de la parábola.

II. *Transición de una pendiente á otra mayor.*

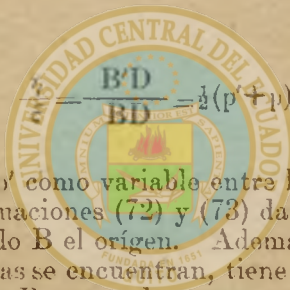
Dadas las pendientes consecutivas p y p' (Fig. 24), se halla mediante (69) la longitud de la transición parabólica

$$\xi = GG' = l' - l = p'C - pC = (p' - p)C \quad [72]$$

y la altura que B' tiene con respecto á B

$$\eta = DB' = t' - t = \frac{1}{2}(p'^2 - p^2) \cdot C = \frac{1}{2}(p' + p) \cdot \xi \quad [73]$$

resultando que



$$\frac{B'D}{BD} = \frac{1}{2}(p' + p) \quad [74]$$

Si suponemos p' como variable entre los límites p y $p' = \text{tang } G'C'B'$, las ecuaciones (72) y (73) darán las coordenadas de la parábola, siendo B el origen. Además, el punto C'' en donde las dos rampas se encuentran, tiene sensiblemente igual distancia desde B' y B , y puede ponerse $C''B = \frac{1}{2}GG' = \frac{1}{2}\xi = \frac{1}{2}(p' - p)C$, así que conocemos todo lo que necesita el cálculo y la construcción.

Este mismo cálculo puede verificarse, también, por medio de la última tabla.

Ejemplo. Una pendiente de $\frac{1}{100}$ sigue á otra de $\frac{1}{50}$. Tenemos $p'=0,01$ y $p=0,05$, luego aplicando la tabla, resulta:
 longitud de la transición = $100 - 50 = 50^m$
 altura „ „ = $0,5 - 0,125 = 0,375^m$

Las ordenadas son η todos los números contenidos en la segunda columna, principiando por 0,151 y terminando con 0,500 con tal que siempre se reste 0,125. De la misma manera se obtienen las abscisas restando 50^m de los números que siguen, por lo cual se consigue la serie natural 5, 10, 15, 20.

III. *Transición para el descenso.* Cuando en la fig. 23 se toman las ordenadas negativas, esto es dirigidas hácia abajo, dando, también, á la pendiente CD una inclinación en el mismo sentido, tendremos la fig. 25, que representa una curva de transición para el descenso, la cual, según esto, resulta idéntica

á la anterior, pudiéndose también construir mediante la última tabla. La constante C puede ser mucho menor, por ejemplo = 1000^m, en cuyo caso deberán dividirse por 10 todos los números de las columnas x é y.

IV. *Valores de las ordenadas que corresponden á las juntas de los carriles.* Estos valores son muy útiles para cuando se colocan los rieles. Sea L la longitud de estos y n su número, en cuanto se necesita para obtener una cierta abscisa x; entónces se obtiene de (b) y (67) del párrafo anterior

$$\frac{n \cdot L}{C} = p; \quad y = \frac{n^2 L^2}{2C} \text{ de donde}$$

$$n = p \cdot \frac{C}{L}; \quad y = n^2 \cdot \frac{L^2}{2C} \quad [75]$$

La primera ecuación presenta el número de los carriles, que se necesita para establecer la transición correspondiente á una cierta pendiente p; y la segunda da las ordenadas de las juntas, haciendo n=1, 2, 3, 4,

Ejemplo. Sea C=10000^m y L=6,4^m, tendremos para una pendiente $p = \frac{1}{80} = 0,0125$:

$$n = 0,0125 \cdot 166 = 21 \text{ carriles}$$

$$y = 0,0018 \cdot n^2; \text{ luego } y = 0,0018; 0,0072; 0,0162 \text{ \&}$$

haciendo $n^2 = 1, 4, 9, 16, \dots$ Para cualquiera longitud de carril dada, podrá construirse con facilidad una tabla, siendo así que los valores de y constituyen una serie cuyas segundas diferencias son constantes.

Cuando una pendiente p se transforma en otra p', obtendremos las fórmulas

$$n = (p' - p) \frac{C}{L}; \quad y = nL \frac{n' + n}{2} \quad [76]$$

entre las cuales, la última se saca de (73), valiéndose de la relación $\xi = nL$.

Ejemplo. Para $p = \frac{1}{80}$, $p' = \frac{1}{50}$, C=10000^m y L=6^m se obtiene $n = 25$ carriles, $y = 0,075n$ en donde $n = 1, 2, 3, 4, 25$.

CAPÍTULO II.

DE LAS BARRAS-CARRILES Y VARIOS METODOS

DE ASEGURARLAS.

ARTÍCULO I.

Fabricación de las barras-carriles.

§ 48.

Minerales de hierro.

Atendido el uso inmenso que se hace del hierro no solamente para los caminos de esta clase, sino también para cualquiera especie de máquinas, puentes, armas, herramientas &, es este metal el primero y más precioso de cuantos cría la naturaleza, y los países más ricos y poderosos son aquellos en que se conoce el arte de prepararlo.

El hierro se halla en cuatro estados: *nativo, oxidado, en combinación salina* y finalmente *unido con los metaloides* azufre, fósforo &.

Pero los únicos metales de hierro explotables son *los óxidos y el carbonato del protoóxido*. Los sulfuros de hierro, aunque muy abundantes en la naturaleza, no sirven para la extracción del hierro metálico, porque su tratamiento sería demasiado dispendioso y daría metal de mala calidad. Los principales minerales de hierro que se tratan en los hornos metalúrgicos, son los siguientes :

1º *El óxido de hierro magnético*, que forma masas irregulares ó montones considerables en los terrenos antiguos. Este mineral es por lo regular muy rico, y el hierro que da, es de excelente calidad. Gran parte de los buenos hierros de Suecia se extraen de este mineral.

2º *El sesquióxido de hierro anhidro*, que se encuentra en algunos terrenos de transición y en los secundarios, formando montones considerables, que parecen á veces verdaderas capas. El óxido se presenta en ellas en masas amorfas y se le da el nombre de *hematites roja*. Este mineral surte un gran número de fundiciones del norte de Alemania.—A la misma clase pertenece el *hierro oligisto*, que se presenta generalmente en filones, pero es raro que exista entonces en cantidad suficiente

para sostener las fundiciones. Suele formar también montones considerables en los terrenos antiguos.

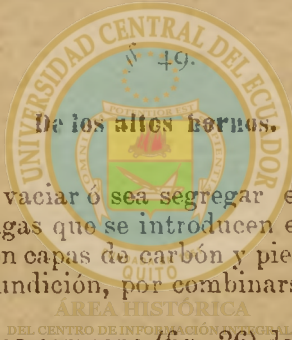
3º *El sesquióxido de hierro hidratado*, que se halla en terrenos de transición, bajo la forma de masas pardas concrecionadas; constituye la *hematites parda* y otras modificaciones que tienen un color casi negro ó amarillo. Se encuentra también en pequeños granos concrecionados, y se llama entonces *mineral de hierro en granos*. El tamaño de los granos es el de un guisante poco más ó menos. Este es el mineral que principalmente funden en el centro de Francia, y forma montones en la separación de ciertas capas del terreno jurásico, pero con más frecuencia en los terrenos terciarios medios que cubren las esplanadas ó mesetas de caliza jurásica y de creta.—Otra especie son *los minerales pantanosos ó limotites*, que se hallan en algunas llanuras bajas é inmediatamente debajo de la tierra vegetal. Producen fundiciones fosforosas, cuyo empleo es muy limitado.

4º *El hierro espático ó carbonato de protóxido de hierro cristalizado*, mezclado á veces con proporciones bastante considerables de carbonato de manganeso, forma filones en terrenos antiguos y de transición. Descomponiéndose al aire se transforma en sesquióxido de hierro hidratado, un mineral pardo.—Hállase también, con frecuencia, entre las capas arcillosas del terreno de ulla en forma de masas arrionadas achatadas, que están compuestas de carbonato de protóxido de hierro y de arcilla. Estas masas son á veces muy ricas en hierro, y constituyen entonces un mineral tanto más precioso, cuanto que se encuentra en medio del combustible, y no ocasiona gastos particulares de extracción y transporte. Es muy abundante en Inglaterra.

Los minerales de hierro que se explotan son siempre muy ricos, y en el caso contrario, no se consideran como de bastante valor para poderlos enriquecer con preparaciones mecánicas muy costosas, contentándose únicamente con despojarlos de las partes térreas ó arcillosas. Efectúase esta operación de ordinario, separando simplemente con la mano el mineral de la ganga, y machacándolo en seguida. A veces se le deja expuesto al aire por espacio de muchos meses, á fin de que la materia arcillosa adquiera mayor friabilidad y se desprenda fácilmente. El lavado de los minerales de hierro, que tiene por objeto despojarlos de sus partes terrosas, se ejecuta en medio de corrientes de agua. A veces no se hace más que remover el mineral con palas en medio de un arroyo ó canal, para que el agua separe y arrastre las partes arcillosas. Pero ordinariamente, se le agita por medio de una pequeña rueda hidráulica puesta en movimiento por la misma corriente de agua. Se echa el mineral con la pala en una caja larga ó canal, por donde corre el agua, y en ella se despoja de una parte de su arcilla. En

seguida se le introduce en una caja semicilíndrica llena de agua, donde es removido por brazos ó paletas de hierro, fijos al árbol de la rueda hidráulica. El agua turbia sale por un ancho vertedero, y el mineral se extrae por un orificio inferior.

Los minerales compuestos de partes pedregosas, ó *minas en roca*, requieren una *torrefacción* preliminar, que tiene por objeto facilitar la fusión. El mineral pierde su agua, parte de azufre y el ácido carbónico, si es carbonatado; su masa se disgrega y adquiere más porosidad. Esta operación se verifica en montones libres, ó entre paredes, ó en hornos; y después se machaca el mineral por medio de martillos, bocartes, ó entre cilindros de hierro colado puestos en movimiento jiratorio, sacando fuera los pedazos ménos asados para tostarlos otra vez. En todo caso se continúa machacándolo sólo hasta un estado aun desmenuzable, puesto que los minerales en forma de polvo impiden el tiro en los altos hornos, y concrecionándose por el calor forman grandes masas continuas, que resisten á la acción química de los gases de los mismos hornos.



De los altos hornos.

Para reducir, vaciar ó sea segregar el hierro del mineral, se le dispone en tongas que se introducen en un horno muy elevado, alternando con capas de carbón y piedra caliza (ó arcilla), lo que favorece la fundición, por combinarse con la ganga mezclada con el hierro.

Un alto horno se compone (fig. 26) de dos conos truncados C, B, reunidos por sus bases. El superior C, llamado *cuba*, tiene un primer revestimiento *ñ* de ladrillos refractarios, rodeado de una capa de escoria machacada, que le aísla de otro revestimiento *ll'*, aplicado directamente contra la fábrica de sillería ó de ladrillo ordinario, que constituye el *macizo* del alto horno. El orificio superior *G* de la cuba, llamado *boca* ó *tragante* del horno, se halla rodeado de una chimenea *F* con una ó varias puertas por donde se cargan el mineral y combustible. El cono inferior *B* forma los *etalajes* del horno, y se construye ordinariamente con piedras cuarzosas, muy poco fusibles y elegidas con sumo cuidado, ó también se emplean ladrillos refractarios de excelentísima calidad. La unión de los etalajes con la cuba forma una superficie cilíndrica *A*, á fin de evitar el ángulo entrante.

Debajo de los etalajes hay un espacio prismático y á veces cilíndrico *E*, llamado *obra* ó *laboratorio*, construido con piedras refractarias, y en cuya parte más baja se halla el *crisol* *D*. Las paredes de la obra continúan hasta el fondo del crisol, solo

la *anterior t*, á la cual se ha dado el nombre de *timpa*, se detiene á la altura de algunos decímetros de éste, siguiendo más abajo una piedra prismática *d*, llamada *dama*, separada algún tanto de la parte anterior de la timpa, de manera que entre ésta y la dama queda una abertura.

El fondo del crisol lo forma una piedra cuarzosa, debajo de la cual se practican aberturas *H*; el aire entra por estas y circula libremente debajo del horno; y á fin de que no pueda acumularse agua en este sitio, lo cual podría ocasionar accidentes graves, se establece el macizo del alto horno sobre galerías abovedadas *H'*. En la pared posterior y en las laterales se han practicado aberturas *o*, por las cuales se introducen las toberas que dirigen el aire al interior del alto horno. Estas aberturas se hallan al mismo nivel, pero algo más elevado que el borde inferior de la timpa. Para la entrada de los operarios hasta el laboratorio del horno y poder registrar las toberas y acercarse al crisol, se han construido cuatro nichos abovedados, que comunican entre sí por medio de galerías laterales *R*. La disposición de las toberas y de los tubos que conducen al horno el aire de la máquina de viento, se ve representada en la fig. 27, que es una sección horizontal del horno, hecha en la altura de las toberas. Cada tubo portaviento tiene su regulador con un registro ó válvula, mediante el cual se gradúa según conviene el volumen de aire que se inyecta en el alto horno.

Ordinariamente se construye éste, cuando lo permite el terreno, cerca de un escarpado, revestido de fábrica. Sobre los flancos del escarpado, ó en su misma cúspide, y al nivel del tragante del horno se forma una meseta, con su puente de comunicación *aa'* entre ella y la plataforma *pp'*. Un plano inclinado conduce á la meseta, y por él se suben con máquina las cargas de mineral y combustible, que puestas en carretones á propósito, se dirigen por un pequeño ferrocarril hasta la plataforma del tragante.

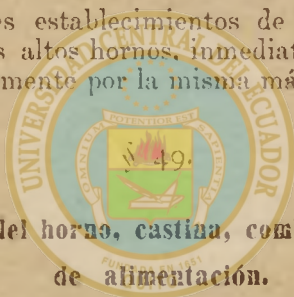
Cuando se construye el macizo de un alto horno, se procura dejar en su interior conductos ó pequeños canales que comuniquen con el aire exterior, á fin de facilitar la desecación completa que debe verificarse antes de principiar á encender el alto horno.

La ventilación puede efectuarse de varios modos, pero la más poderosa se obtiene por máquinas de vapor que ponen en movimiento un gran émbolo contenido en el interior de un ancho cilindro hueco, lleno de aire, y construido completamente como los cilindros de vapor ó bombas de doble acción, así que el aire comprimido en él se vacía en los tubos de conducción y toberas. Sin embargo, como la salida del aire por las toberas disminuye siempre que el émbolo se halla en *los puntos muertos* de su movimiento alternativo, y por otra parte, importa mucho que esta salida sea la más regular posible, se procura disponer

entre el cilindro de viento y las toberas un gran depósito de aire, á fin de impedir que estas variaciones sean sensibles en las toberas.

Estas son tubos de paredes dobles *abcd*, cónicos y de hierro colado ó de cobre [fig. 28]. Como su extremidad podría fundirse por la muy elevada temperatura que se produce en la obra, se hace pasar por entre las dos paredes de estos tubos una corriente continua de agua fría, que entra por el pequeño tubo *t* y sale por el *t'*. La abertura de las toberas llega hasta la pared interior de la obra. Los cañones ó *bocines* *B* se introducen en sus respectivas toberas y comunican con los tubos de fundición de la máquina de viento, por medio de mangas de cuero flexibles *A* para manejarlas fácilmente. Las tres toberas se encuentran en un mismo plano horizontal, pero los ejes de las dos que se hallan dispuestas sobre las caras laterales de la obra, no están la una en la prolongación de la otra, sino algo separadas á fin de que no se choquen las corrientes encontradas de aire.

En los grandes establecimientos de fundición de hierro, suele haber muchos altos hornos, inmediatos unos á otros, alimentados ordinariamente por la misma máquina de viento.



Dsecación del horno, castina, combustible y aire de alimentación.

ÁREA HISTÓRICA

I. *Dsecación del horno.* En un alto horno recién construido, ó reparado por lo ménos, se principia por desecar bien todo el macizo, pero muy lentamente; porque una desecación rápida ocasionaría hundimientos en la fábrica, y perjudicaría sobre manera á la duración de todo el aparato. El crisol queda abierto por su parte anterior y la dama no se halla colocada todavía. Se dispone en el crisol, y en el espacio abovedado que le antecede, haces de leña, á los que se pega fuego. Se alimenta el fuego de este modo por espacio de muchos días, hasta que toda la fábrica interior quede bastante seca, para que no pueda temerse que se formen grietas por la aplicación de un calor más fuerte. Se coloca entónces la dama, y se echa combustible por el tragante del horno hasta la altura de los etalajes. Cuando está más adelantada la desecación, se acaba de llenar la cuba con el combustible que debe servir para fundir el mineral, esto es, con carbón de leña ó cok, y se da un poco de viento. Se va aumentando éste poco á poco, y cuando el combustible ha bajado la altura conveniente en la cuba, se echa una pequeña carga de mineral, que se extiende uniformemente sobre el car-

bón. Se añade al cabo de algún tiempo nueva capa de combustible, y por encima otra de mineral. Al principio se echan cargas pequeñas de mineral, y luego sucesivamente mayores; pero siempre son menester muchos días, para que se les pueda dar el peso normal que han de conservar durante todo el tiempo que se halle en actividad el horno.

II. *Castina*. Rara vez ocurre que el mineral pueda ser fundido sin incorporarle materias estrñas. Lo más general es que la ganga del hierro sea cuarzosa ó arcillosa, cuyas sustancias en la alta temperatura del horno se combinarían con una gran porción del óxido del hierro que se encuentra en el mineral, formando una escoria fusible, que impediría ó estorbaría la reducción del óxido restante; además, se perdería la cantidad considerable de hierro que pasa de este modo con las escorias. Para obviar estos inconvenientes se le agrega al mineral una cierta cantidad de cal ó piedra caliza, cuando la ganga consta de arcilla, que comunmente contiene también materias cuarzosas. Pero, cuando la ganga consta tan sólo de cuarzo, se le mezclan arcillas y piedras de cal. De esta manera siempre se funden á la vez, óxido de hierro, arcilla, cuarzo y cal. Los minerales arcillosos son mucho más comunes que los de la ganga cuarzosa, bastando mezclar estos con aquellos, de modo que después sólo hay que añadir al mineral la cantidad conveniente de cal, llamada *castina*. La cal entra en combinación química con el silicato de alúmina para formar un silicato doble de alúmina y cal, que es muy fusible y no se opone á la reducción completa del hierro.

De igual modo se mezclan minerales de ganga arcillosa con los calizos, cuando en estos predomina la cal.

Obtiénese la combinación más favorable á la fusión, empleando la arcilla natural, cuya composición varía poco, y agregándole los $\frac{2}{3}$ de su peso de carbonato de cal.

III. *Combustible*. El carbón de madera es el mejor de todos cuantos combustibles pueden emplearse para la fundición; pues, conteniendo poca ceniza y ninguna materia que pueda causar en el hierro cambio de naturaleza, éste se conserva desde su reducción con toda su pureza, flexibilidad, ductilidad y fuerza que le hace tan apreciable. El hierro sueco, que es el de mejor calidad, se vacía y funde con el carbón de pino. Si en la América del Sur se estableciesen minas de hierro, estas podrían sin duda producir un metal de rara calidad y á un precio bastante módico, atendida la copia inmensa de maderas, cuya transformación en carbón de leña, no ocasionaría más gastos que los de cortarlas y prepararlas. La falta de caminos impide el aprovecharse de estas inmensas riquezas naturales. El carbón de piedra contiene mayor ó menor cantidad de azufre, cuya sustancia es en extremo perjudicial al hierro; pues combinado íntimamente con el metal, se forma un sulfureto

de hierro, sustancia inútil, que mezclada con el hierro metálico le hace sumamente quebradizo. Pero, como varios países carecen de leña para hacer carbón con que fundir, como sucede en Inglaterra, se prepara el de piedra por medio del fuego, á fin de que desaparezca el azufre que contiene, y así pueda usarse ventajosamente en la fundición. El carbón de piedra así preparado se llama *cok*. Para hacerle, se quema al aire libre hasta enrojecerle, colocándole en grandes montones, que después de cierto tiempo se cubren con tierra para evitar el contacto del aire cuando este ya no se necesita; hecho esto se riega la carga hasta que el *cok* esté frío. También se hacen hornos con el destino particular de preparar el *cok*, tapándose herméticamente la puerta y chimenea cuando el carbón está rojo.

Aunque el *cok* sea carbón purificado, no obstante, deja con frecuencia porciones considerables de cenizas y escorias que se mezclan con la fundición, y contiene además piritas ó sea azufre en combinación con varias bases, á veces en cantidad notable, que producen sulfuro de hierro, que disolviéndose en la fundición altera su calidad. La experiencia ha hecho ver que para evitar este inconveniente, es preciso aumentar en proporción notable la cantidad de castina, la cual impide entonces que la mayor parte del azufre de las piritas se introduzca en la fundición, pues se forma sulfuro de calcio que queda en la escoria. Pero, como la escoria en los hornos, calentados con *cok*, es mucho menos fusible que la de los hornos con carbón de leña, claro es que se tiene que elevar mucho más la temperatura.

La aplicación, pues, del *cok* exige mayor cantidad de combustible y viento, y deja, no obstante, el hierro de inferior calidad.

Los hornos para carbón de leña tienen próximamente 10 metros de altura desde el fondo del crisol hasta el tragante, y en lo general no llevan más que dos toberas. Los hornos para *cok* tienen la altura de 15 á 18 metros, y reciben el viento por tres toberas, y la máquina que lo da, es mucho más poderosa, pues tiene que lanzar mayor cantidad de aire y bajo una presión tres ó cuatro veces más intensa. El volumen de aire que reciben los altos hornos de grandes dimensiones, calentados con carbón de leña, llega á ser por lo ménos de 40 metros cúbicos por minuto; en los hornos de *cok* nunca entran menos que 60, y con frecuencia hasta 80 á 100 metros cúbicos de aire por minuto.

IV. *Calefacción del aire.* De grande importancia es el hecho de disminuirse notablemente la cantidad del aire y carbón necesario, así como el aumentarse mucho, atendida la proporción de éste, el hierro producido, cuando el aire, al entrar en el horno, está calentado lo suficiente (de 130° á 600°C). Las materias que se funden difícilmente y no adquieren la fluidez

necesaria, cuando el horno es alimentado por aire frío, se liquidan de un modo completo, si lo es por aire caliente. Las especies de carbón, difícilmente combustibles, arden con más facilidad. Es posible, pues, por medio del aire caliente fundir materias más refractarias, y emplear combustibles densos que arderían difícilmente en un horno alimentado por aire frío.

La calefacción del aire se obtiene por el calor que pueden desprender los gases combustibles que salen por el tragante, calor que por mucho tiempo se ha dejado perder en estas fábricas. Estos gases constan en gran parte de óxido de carbono, hidrógeno é hidrógeno carbonado, los cuales se encienden y queman con facilidad, cuando en ellos se introduce la cantidad suficiente de oxígeno suministrado por la atmósfera. Para el efecto se ha construido, inmediatamente encima ó al lado del tragante, un horno con su chimenea de tiro, en el cual se han dispuesto largos tubos de hierro colado, que se replegan sobre sí mismos, y por los que se hace circular una corriente de aire que sale de la máquina de viento y termina en las toberas. La llama del tragante se esparce por este horno calentando los tubos. Los mismos gases se emplean también para calentar las calderas de las máquinas de vapor, que hacen andar las de viento. Además, se han establecido conductos de hierro colado y mampostería, á poca distancia debajo del tragante, para dar salida á los gases combustibles ántes de inflamarse, y para dirigirlos á hornos de reverbero, en los cuales, quemando estos gases con la cantidad de aire conveniente, han obtenido una temperatura bastante elevada para ejecutar una multitud de operaciones metalúrgicas, por ejemplo, la torrefacción preliminar del mineral, la fundición de hierro colado ó acero y señaladamente la transformación de hierro colado en hierro dulce.

Los gases del tragante contienen de $1\frac{1}{2}$ á 21 partes de vapor de agua en 100 partes del volúmen total; y después de haberles quitado el agua, el análisis químico demuestra que 100 partes del volúmen del resto están compuestas de 50 á 75 partes de azoe, de 6 á 22 de ácido carbónico, de 15 á 48 de óxido de carbono, de 0,4 á 8 de hidrógeno y de 0 á 4 de hidrógeno carbonado, y forman los gases combustibles de 16 á 49 partes del volumen total.

§ 50.

Reducción del hierro en los altos hornos.

Ya hemos dicho que para cargar el alto horno se introducen por el tragante G capas alternadas de combustible y de mineral mezclado con la castina. Estas capas van bajando con

bastante regularidad. La temperatura es pococo elevada en la parte superior de la cuba, más considerable en los etalajes B, y llega á su máximo en la obra E, un poco más arriba de las toberas. El aire que éstas arrojan, encuentra en la obra al combustible fuertemente encendido, y produce una combustión muy viva: el carbón arde, pasando al estado de ácido carbónico y desprende todo el calor que puede dar su combustión por el oxígeno. El gas que llega hácia el medio de los etalajes se compone de azoe y ácido carbónico, y comunica una parte de su calor al combustible y al mineral que llenan la cuba, dándoles la temperatura del calor rojo. En este estado, el carbón hecho áscua se combina con el ácido carbónico, produciendo óxido de carbono, el cual descompone con facilidad el óxido de hierro contenido en el mineral, resultando de ello una mezcla de ganga y de hierro metálico muy dividido, y por otro lado se regenera una parte del ácido carbónico. La castina misma desprende también su ácido carbónico, convirtiéndose en cal viva, de suerte que el gas que se desprende por el tragante del horno se halla formado de azoe y de una mezola de ácido carbónico y óxido de carbono, á los cuales se agregan hidrógeno é hidrógeno carbonado, que se han separado del combustible, y además hidrógeno y óxido de carbono, á espensas del vapor de agua contenido en el aire que sale por las toberas; esta agua es descompuesta en los etalajes por el carbón hecho áscua. Cuando el ácido carbónico se convierte en óxido de carbono, su volumen se hace el doble, cuya combustión inversa, muy léjos de dar un desprendimiento de calor, produce una absorción notable. Se ve, pues, que la temperatura, que es la del rojo blanco en los etalajes, viene á ser solamente la del calor, rojo en la parte inferior de la cuba. Finalmente, el gas sale muy frío por el tragante, puesto que en la parte superior de la cuba se desprende gran cantidad de vapores del agua que mojaba el combustible y mineral. No obstante, el mismo gas es muy inflamable, y en tal caso, arde en la chimenea con llama larga y transparente que dura hasta el fin de la operación, y puede utilizarse según anteriormente queda explicado.

Según esto, el espacio interior del alto horno puede dividirse en varias zonas ó partes, en que se verifican distintas operaciones químicas, conforme representa la fig. 29.

1) *En la zona superior* de la cuba, ó en la zona de desecación, el combustible y mineral se calientan algo y se desecan, y bajando más, llegan á un punto en que la temperatura es bastante elevada para que el hidrato de sesquióxido de hierro pierda su agua.

(Continuará).