Notas sobre el empleo de tubos atornillados para
machones de puentes

Al momento de proceder a la construccion de los machones de los puentes grandes de la línea del ferrocarril de Parral a Cauquenes, que deben hacerse con tubos atornillados de diámetro pequeño, serán talvez interesantes algunos puntos teóricos sobre la estabilidad de los tubos, la resistencia que presentan en su conjunto, formando machones, i las diversas resistencias que habrá que vencer para colocarlos.

Estos apuntes, basados sobre los datos especiales del peso que deben soportar los pilotes en vista de la superstructura metálica de dichos puentes, i sobre la naturaleza del terreno en que se van a clavar, cosa ya conocida, podrán luego completarse, i hasta comprobarse en la práctica, lo que permitirá talvez, junto con todos los detalles de colocacion, establecer algunas reglas simples sobre esta clase de pilotaje.

En el exámen de los esfuerzos a que están sometidos los tubos, i de las reacciones desarrolladas por estos mismos tubos, hai que considerar dos situaciones especiales.

1.° El tubo cuando se atornilla, i estudio de las fuerzas que es menester desarrollar para conseguir dicho resultado, dada la hondura i la clase del terreno.

2.° La fuerza pasiva, la reaccion del tubo colocada, respecto a las reacciones del terreno, i por consiguiente el peso útil que puede soportar, correspondiente a ciertos coeficientes de trabajo del terreno.

Aunque, a primera vista, paresca esta fuerza pasiva, esta reaccion del tubo, una vez colocado, funcion directa de la fuerza desarrollada para atornillarlo, no lo es así en la práctica, por las razones siguientes.

Al clavarse, el terreno, (siempre entiendo el terreno al momento de concluir la operacion, i por consiguiente él en que debe quedar definitivamente el tornillo) debe abrirse, quebrarse alrededor de la rosca i de la punta de fierro. Una vez colocado, el terreno debe trabajar solo con un coeficiente reducido que asegure la estabilidad del puente.

Al clavarse el tubo de vuelta, despues no lo puede hacer, por estar remachado con el cabezal de fierro. El modo de resistencia del terreno es diferente en los dos casos, puesto que en el primero, hai resbalamiento sobre el terreno que hace oficio de tuerca, i en el segundo hai hundimiento. Por eso, es mas natural estudiar primero la fuerza de resistencia, la reaccion útil del pilote colocado, puesto que de esta resistencia que debe oponer, se deducen mas o ménos las condiciones en que debe atornillarse i la fuerza necesaria para ello.

Ademas, hai que quedar completamente seguro que el esfuerzo desarrollado por los hombres al cabrestante, es suficiente para enterrar el tornillo, en una capa de terreno i en condiciones tales que, despues, el terreno trabaje con un coeficiente que no presente peligro.

Podria suceder que, al atornillar el tubo, éste aparezca firme, i que despues se hundiera, por ser menor la accion de la fuerza desarrollada por los hombres que la del peso que debe soportar el pilote, defecto que seria difícil subsanar.

En todo lo que sigue, me refiero a los tubos fabricados para la línea de Parral a Cauquenes, i al terreno que se encuentra en esta línea. Pero se pueden fácilmente aplicar los cálculos elementales a cualquier tubo i a cualquier clase de terreno.

RESISTENCIA DEL TUBO AL HUNDIMIENTO, UNA VEZ ATORNILLADO

El tubo, una vez atornillado, no puede mas, asi como lo dije, dar la vuelta por estar remachado al cabezal de fierro. Entónces, si se hunde, será quebrando verticalmente el terreno, por la doble accion de la punta en forma de cono, que hace cuña en el terreno, i de la rosca que ofrece una resistencia vertical al hundimiento.

El terreno en que estarán atornillados los tubos (este terreno es casi igual para todos los puentes) se compone (fig. 1) de una capa de terreno pantanoso, de 1 a 3 metros de hondura. Despues viene una capa de arcilla negra, mas o ménos arenosa, que no puede servir de apoyo a la rosca del tornillo, de 1 a 2 metros de hondura, i en fin una capa, que segun los sondajes ejecutados i las escavaciones para los estribos debe seguir mui abajo, de tosca medianamente dura, color amarillo sucio, mezclada de capas arenosas, i hasta de arena negra pura. Esta capa, en todos los puentes principia a una hondura que varía de 4^m50 a 5^m50, i es la que debe recibir el tornillo del tubo.

Los cimientos de los estribos van, alguna vez, hasta la hondura de 6^m30, contaré entónces con una hondura comun de 6^m50 para la posicion media del tornillo.

Este terreno, segun su naturaleza, no puede trabajar con seguridad en construcciones anchas, a mas de ks. 2,500 por cm.^{2} aun este coeficiente puede parecer exajerado.

En los estribos, el coeficiente de trabajo varía de ks. 1,500 a ks. 1,800. En los machones con tubos atornillados, creo que en ningun caso se puede pasar el coeficiente de ks. 2,000 por cm.² por la razon que el pasaje de los trenes motiva vibraciones i movimientos que, a lo largo, destruyen terreno, produciendo el aflojamiento del tornillo. I como el terreno de tosca no es elástico, el tornillo llega a moverse en su caja, lo que compromete la seguridad. Otra razon es que las aguas, siguiendo la superficie del tubo, lo que les es facilitados por los incesantes e inevitables movimientos laterales, se abrirán luego camino hasta la rosca, haciendo asi el terreno mas blando. Estimo entónces que, como seguridad, no se puede pasar el coeficiente de trabajo de ks. 2,000 por cm.² lo que es confirmado por las esperiencias directas que hice respecto a la resistencia límite del terreno, que se rompe entre 8 i 9 kilos, mas o ménos, por centímetros cuadrado, a la compresion.

El frotamiento del tubo contra el terreno en contacto, una vez atornillado, en todo el largo enterrado, debe entrar en cuenta con un coeficiente reducido, puesto que los movimientos incesantes e inevitables del tubo en la parte superior, en un terreno barroso i arcilloso, harán que luego, principalmente en verano, no habrá contacto perfecto entre el tubo i el terreno.

Ademas, en algunas partes, el terreno es arcilloso en alto grado, aun arcilla pura, i mui húmeda, lo que reduce el frotamiento.

En los cálculos tuve que tomar en cuenta estas consideraciones, i estudié solo el frotamiento del tubo en la parte inferior, en la segunda mitad enterrada del tubo.

1.° Accion del cono interior en el terreno.—Las disminuciones de este como son: (fig. 2) alto 0^m45. Radio superior 0^m15. Lado 0^m474. Angulo $\frac{\alpha}{2} = 18°25'$ $\alpha = 36°50'$.

$$\text{Sin } \frac{\alpha}{2} = 0.316. \quad \cos. \frac{\alpha}{2} = 0.9487.$$

$$\text{Sin } \alpha = 0.60 \quad \cos. \alpha = 0.80.$$

La resistencia que encuentra el cono a enterrarse es dada por la fórmula

$$x = \frac{\Sigma Q \left\{ \text{sen } \alpha (1 - \mu^2) + 2 \mu \cos. \alpha \right\}}{\cos. \frac{\alpha}{2} - \mu \text{ Sin } \frac{\alpha}{2}} \qquad \text{(a)}$$

siendo μ el coeficiente de frotamiento del fierro con la tierra, sin movimiento, igual a 0.42 *(P. Dulos, mecanique de l'ecole des Arts et metiers)* i ΣQ la reaccion del terreno.

Por lo que es de ΣQ tenemos, siendo S la superficie de cono

$$\Sigma Q = \frac{S}{2} \times 2^k000 = \frac{1}{2}\, 3.14 \times 15 \times 47{,}4 \times 2000 = 2232,^k54$$

En efecto, cada elemento de fuerza Δ P corresponde a dos elementos de resistencia Δ Q aplicados en dos elementos de superficie Δ S colocadas a las dos estremidades de un mismo plan diametral, así que se debe considerar la presion contra el terreno solo en la mitad del cono.

Con el valor de ΣQ sacamos

$$x = 2232^k540 \; \frac{0.60 \; 1 - 0.42^2 + 2 \times 0.42 \times 0.80}{0.9487 - 0.42 \times 0.316} = 3179^k100$$

Sea 3180 kl.

2.° *Accion de la rosca del tornillo.*—La rosca del tornillo tiene un desarrollo medio de 3^m00 i un ancho variable entre 0^m05, 0.10 i 0.18. El cálculo de la superficie da mui apropiadamente

$$S = 3280 \text{ cm.}^2$$

i β, el ángulo medio de la inclinacion de la hélice, será

$$tg.\ \beta = \frac{0.60}{3.00} = 0.20$$

Siendo 0^m60 la distancia vertical entre el principio i el fin de la rosca. Sacamos:

$$\beta = 11^\circ 20' \qquad \cos.\ \beta = 0.98$$

El esfuerzo costante vertical de la rosca, suponiendo siempre que el terreno trabaje a 2 ks. por cm.^{2}, será

$$\gamma = 3280^{c2} \times 0.98 \times 2^k000 = 6428^k8$$

Sea 6430 kl.

I el esfuerzo total de la punta con tornillo será

$$R = x + \gamma = 3180^k + 6430^k = 9610^{kl}$$

3.° Frotamiento del tubo en su largo total i en su mitad inferior.—Se puede fácilmente establecer una fórmula, siempre que se dé frotamiento en una porcion cualquiera del largo del tubo.

Si llamamos 2φ el ángulo del chaflan natural de las tierras, el prisma de mayor presion hará un ángulo φ con la vertical. A la hondura h contada desde arriba (fig. 3 i 4), el elemento cilíndrico del alto dh, soporta un peso dp, i con solo diferencias del segundo órden, siendo

$$e = dh \sin \varphi$$

el espesor del tronco de cono hueco, tendremos llamando D la densidad del terreno

$$dp = \pi\ D\ h\ tg.^2\varphi\ (2\gamma + h\ tg.\gamma)\ dh$$

de donde

$$p = \pi D\, tg.^2\varphi \int_0^h h\,(2\gamma + h\, tg.\varphi)\, dh$$

$$= \pi\gamma\ D\, tg.^2\varphi\, h^2 + \tfrac{1}{3}\pi D\, tg.^3\varphi\, h^2$$

i

$$p = \tfrac{1}{3}\pi D\, h^2\, tg.^2\varphi\,(3\gamma + h\, tg.\varphi) \qquad (1.)$$

En el caso particular de ahora, basta tomar de

$$h_0 = \frac{h}{2} \text{ a } \frac{h}{h} = h = 6.^m50$$

para tener el valor total de la presion, lo que da, todos cálculos hechos

$$P = \tfrac{1}{24}\,\pi D\, h^2\, tg.^2\varphi\,(6\varphi + h\, tg.\gamma) \qquad (2.)$$

Aquí tenemos

$$D = 1800 \text{ ks.}$$

$$h = 6^m50$$

$$2\varphi = 25^{\circ} \quad \varphi = 12^{\circ}30'$$

$$tg.\varphi = 0.2217$$

$$\gamma = 0.15 \text{ radio del tubo}$$

de donde

$$P = \tfrac{1}{24}\, 3.1416 \times 1800 \times 6.5^2 \times 0.2217^2$$

$$(6 \times 0.15 + 6.50 \times 0.2217) = 1131 \text{ ks.}$$

Como el coeficiente de frotamiento, para el freno con tierra de esta clase es mas o ménos 0.42, la reaccion vertical provocada por el frotamiento, será

$$1131^k \times 0.42 = 475 \text{ ks.}$$

de modo que la resistencia total al hundimiento será

$$R_1 = x + \gamma + 475 \text{ ks.} = 9610 \text{ ks.} + 475 \text{ ks.} = 10085 \text{ ks.}$$

Como un machon se compone de 6 tubos unidos por un cabezal que puede considerarse como indeformable, la fuerza total de un machon es

$$10085 \times 6 = 60510 \text{ kilg.}$$

2.° PESO DE LA SUPERSTRUCTURA METÁLICA I PESO ACCIDENTAL

El peso total soportado por un machon, comprendido tambien el peso del machon se subdivide así, segun el proyecto.

Peso de los tubos i del cabezal..................	7394 ks.5
Peso de los tornillos..........................	1290 ks.
Peso del concreto al interior de los tubos.........	7560 ks.
Peso del machon................	16244ks.5
Peso de las vigas de superstructura, indicado por el proyecto..............................	
Fierro elaborado.............................	7100 ks.
Fierro fundido................................	268 ks.
Peso de la vía 260 ks. × 12^m^...................	3120 ks.
Total del peso constante..........	26732 ks.5
Peso accidental...............................	
La carga la mas desfavorable, con máquinas, pesando sin tender 45 toneladas, corresponde a una carga uniformemente repartida de 4^T50 por metro lineal de puente (Hausser et Cung. Statique graphique). Sea para un tramo 4500 ks. × 12 = ..	54000 ks.
Total del peso constante i accidental.	80732 ks.5
Sea, número redondo.....	81000 ks.

Aquí no tomé en consideracion el esfuerzo del viento, aunque siempre atravesado. (Los puentes están ubicados de este a oeste). Esto daria una componente vertical que considero despreciable.

De lo que precede, se ve que, para la clase de terreno que se va encontrar a la hondura de 6^m50, i en que se hicieron las fundaciones de los estribos (tosca medianamente dura, mezclada con arena negra), aparece débil el pilote, con la condicion de un trabajo del terreno de 2 ks. por cm.^{2}.

El trabajo, en este caso, asciende a 2^k600. Cierto es tambien que el peso de 54,000 ks. como peso accidental es bastante subido, puesto que las máquinas del servicio ordinario serán mas livianas, de modo que 2^k600 por cm.^{2} llega a ser un trabajo accidental que se admite, superior al corriente. Sin embargo, de todos modos hai que preveer para terrenos de esta clase, rosca del tornillo mas ancha, hasta 0^m25 i aun 0^m30, siendo con una rosca mas ancha la seguridad mucho mas grande, i poco superior el trabajo para atornillar el tubo.

Las roscas actuales, que tienen 0^m18 en la parte mas ancha, i 0.15 de ancho medio convienen a terrenos de tosca bien firme que pueda trabajar hasta 3 i 4 ks. por cm.^{2} sin peligro, i que se quebren a una presion de 12 a 16 ks. por cm.^{2} como se encontrarían a una hondura mucho mas grande i se encontraron en diversas partes de la línea, en los fosos, a poca hondura.

Seguro es tambien que podrian ir a una hondura superior a 6^m50 a buscar una tosca mas dura. Pero ya tómese en cuenta que con 6^m50 el tornillo está enterrado 2^m mas o ménos en la tosca medianamente dura, i que dicha capa siempre mui honda, que atornillar mas abajo es un aumento de trabajo bastante grande, i tambien aumenta el peso del tubo. Así es que mejor es contar con una tosca como la actual, i hacer mas ancha la rosca del tornillo.

3.° FUERZA NECESARIA PARA ATORNILLAR LOS TUBOS

¿Cuál será ahora la fuerza que será menester desarrollar para atornillar los tubos hasta la hondura de 6^m50. en el terreno previsto i en las condiciones de estabilidad definitiva ya estudiadas?

Cierto es que se debe considerar la operacion solo en el último período, al mometo de concluir, cuando ya está el tornillo cerca de su posicion definitiva, así que las resistencias, los frotamientos, tienen lugar con una hondura de 6^m50. en el terreno ya considerado.

Aquí, como lo dije anteriormente, no se debe adoptar para el terreno el coeficiente de 2 ks. por $cm.^2$, sino el de 8,000 ks. que corresponde a la ruptura del terreno, puesto que debe abrirse, quebrarse, bajo la doble accion de la punta en cono i del tornillo.

La relacion entre la fuerza esterior P (la de los hombres al cabrestante) i las resistencias interiores ΣQ del tornillo, será dada por la fórmula simple.

$$PR = r\Sigma Q \text{ tg. } (\alpha + \rho) \qquad (3)$$

por lo cual se supone implícitamente que el terreno dando pasaje al tornillo, hace oficio de tuerca. La fuerza ΣQ debe consultar la resistencia del terreno al abrir esta tuerca.

En la fórmula anterior, representan:

P la fuerza esterior desarrollada por los hombres.

R el radio de accion de esta fuerza.

r el radio medio del tornillo.

ΣQ la suma de las resistencias por vencer.

α el ángulo de la hélice de la rosca.

ρ el ángulo de frotamiento.

Se supone el tornillo de rosca cuadrada.

Las reacciones ΣQ se componen:

1.º De la fuerza necesaria para que entre el cono inferior en el terreno, con esfuerzo de 8 ks. por cm^2.

2.º La fuerza necesaria para que el tornillo entre en el terreno. Por la misma forma del tornillo se puede considerar como correspondiente a un rectángulo de $0^m35 \times 0^m04$ que entraria en el terreno, siempre con una fuerza de 8 ks. por cm^2.

3.º En fin, el frotamiento del terreno en todo el largo enterrado del tubo.

Este frotamiento debe considerarse en todo el largo enterrado, puesto que, al momento de la colocacion, el terreno recien abierto hace presion en todas partes.

1.º Fuerza necesaria para que el cono inferior entre en el terreno.—La fórmula (a) ya empleada, dará

$$Q = \frac{3.14 \times 0.15 \times 0.474}{2} \times 80000 \text{ kg.} = 8930 \text{ ks. } 160$$

sea 8930 kg.

$$x = 8930 \text{ kg.} \frac{0.60\,(1 - 0.42^2) + 2 \times 0.42 \times 0.80}{0.9487 - 0.42 \times 0.316} = 12716 \text{ kg. } 400$$

sea 12720 kg.

Di a μ, cooficiente de frotamiento, el mismo valor 0.42 aunque, durante el movimiento este coeficiente baje a 0.35 i 0.30; pero hai que contar que a cada media vuelta por lo mas, se pasarán los hombres, lo que obliga a considerar el aparato al reposo.

2.º Fuerza necesaria para que el tornillo entre en el terreno.—La seccion mayor de la rosca del tornillo es 0.35×0.04, de modo que la fuerza necesaria para que quebre el terreno, será

$$\mu = 35 \times 8 \text{ k.} = 1120 \text{ ks.}$$

3.º Frotamiento del terreno en todo el largo enterrado del tubo.—Aquí aplicaré la fórmula (1) ya establecida

$$z = P = \tfrac{1}{3}\pi D \text{ tg.}^2\varphi\; h^2\,(3r + h \text{ tg. } \varphi)$$

i dando a D, φ i h los mismos valores viene

$$z = \tfrac{1}{3} 3.1416 \times 1800 \times 6.5^2 \times 0.2217^2 (3 \times 0.15 + 6.50 \times 0.2217) = 7377 \text{ ks.}$$

Suponiendo que esté siempre igual á 0.42 el coeficiente de frotamiento, tenemos

$$t = 7377 \text{ ks.} \times 0.42 = 3098 \text{ ks. sea } 3100 \text{ ks.}$$

De modo que la reaccion total ΣQ será

$$\Sigma Q = x + \gamma + t = 12720 \text{ ks.} + 1120 \text{ ks.} + 3100 \text{ ks.} = \underline{\underline{16940}} \text{ ks.}$$

Considero inútil rebajar aquí el peso del tubo vacio i del cabrestante con accesorios, puesto que, en mas de los esfuerzos considerados, tendremos tambien los frotamientos del tubo en sus correderas, i las fuerzas suplementarias provocadas para restablacer el aplomo del tubo, lo que sucederá muchas veces.

El radio medio de la rosca del tornillo es variable, puesto que el tornillo es cónico. Pero, considerando su construccion (fig. 5) se puede adoptar para radio medio el radio a la tercera parte de la altura, contada de arriba para abajo, i el radio medio es así 0^m30.

La fórmula (3) da entónces

$$\begin{aligned} &\Sigma Q = 16940 \text{ ks.} \\ &r = 0.30 \\ &\alpha = 11^o 20 \\ &\rho = 22^o 47 \text{ (Dulos, mecanique)} \\ &\alpha + \rho = 34^o 7' \quad \text{tg. } (\alpha + \rho) = 0.6775 \end{aligned}$$

i

$$PR = 16940 \times 0.30 \times 0.6775 = 3443 \text{ ks. sea } 3450 \text{ kg.}$$

4.º DEL CABRESTANTE

Siendo la espresion

$$PR = 3450 \text{ ks.}$$

que representa el momento de la fuerza esterior, reducida al eje del tubo, compuesta de dos factores variables P i R, hai muchas combinaciones que darán el mismo resultado.

Pero, en la práctica, no se puede aumentar R fuera de ciertos límites, puesto que con el largo de la palanca aumenta tambien su grueso, i por consiguiente el peso, lo que hace difíciles las maniobras.

Ademas, los hombres para la colocacion de los tubos están encima de un andamio un poco mas bajo que la altura definitiva del tubo enterrado. Aumentar las palancas del cabrestante conduce a aumentar la superficie de dicha plataforma, de donde el aumento en el precio, i principalmente aumento en el peso del andamio, lo que hace mas penoso el trabajo de desarmar, trasportar i armar de nuevo a cada machon.

El cabrestante que acompaña los tubos tiene 0^m90 de diámetro esterior, i 6^m60 de punta a punta de dos palancas diametrales, lo que da un radio total de 3.30 i un radio útil, es decir donde se colocan los hombres, de $3^m30 - 0^m45 = 2^m85$. Este radio, veremos mas adelante que es insuficiente. Se compone de 8 palancas, de madera de $0^m10 + 0^m10$ de grueso, de encina.

En un espacio libre de 2^m85, caben 5 hombres, cada uno ocupando 0^m50. No hai interes en colocar mas, puesto que el que estaria mas al centro no haria nada útil, estando demasiado cerca del tubo, i estorbaria a los otros que, teniendo ménos de 0^m50 de espacio libre, no podrian empujar con toda fuerza.

El radio medio útil, mas favorable es (fig. 6) igual a 2^m05.

La fuerza que desarrolla un hombre, empujando a un cabrestante, teniendo en cuenta la vuelta de un círculo pequeño, no puede pasar de 20 ks. Talvez podria alcanzar á 25 ks. poniendo en el piso listones donde agarre el pié del trabajador. Pero como los hombres no se mueven nunca con uniformidad, i no dan todos toda su fuerza es mejor contar solo con 20 ks., lo que da para las ocho palancas

$$PR = 5 \times 8 \times 20 \times 2,^{m}05 = 1640 \text{ ks.}$$

lo que es insuficiente.

Aun con 6 hombres (i ya lo dije, estarian en malas condiciones), el resultado teórico seria 1968 ks.

Mejor es no aumentar el número de 5 hombres por palanca, lo que hace ya una cuadrilla de 40 peones, es decir 40 pesos diarios, i aumentar el largo de las palancas.

El radio medio de accion será entónces

$$R = \frac{3450}{P} = \frac{3450}{5 \times 8 \times 20} = 4^{m}31$$

lo que supone una palanca de

$$4.31 + 1.25 = 5.56$$

de largo teórico, i un palo de $5^{m}35$ de largo, contando la parte embutida en el cabrestante (fig. 7).

Pero en este caso, el grueso del palo es insuficiente, puesto que tenemos (fig. 8).

$$M = Pl = R\frac{I}{V} \qquad \text{con } \frac{I}{V} = 0.000166$$

$$M = Pl = 5 \times 20 \times 375 = 375 \text{ ks.}$$

$$R = \frac{M}{\frac{I}{V}} = \frac{375}{0.000166} = 226 \text{ ks. mas o ménos}$$

por cm.^{2}, lo que es mucho.

Pero, para no aumentar el grueso del palo, lo que aumenta al cabrestante su peso, i por consiguiente la dificultad de moverlo, es mejor forrar el palo de encina, horizontalmente (fig. 9) con dos planchas de fierro plano de $3'' \times 3'''$ i de 2^m50 de largo. A los lados es preferible tambien colocar dos planchas de fierro de $0^m40 \times 4'' \times 2'''$ para evitar la accion constante del ángulo del cabrestante, en el sentido de la fuerza. Así no se aplastará la madera.

4.º MODO DE UNION DEL CABRESTANTE CON LOS TUBOS-TORNILLOS

El cabrestante se amarra al tubo por medio de cuñas entradas a combo, entre el cabrestante i el tubo.

Las cuñas, como las vamos a ver, deben estar en número de 6, i tienen las dimensiones $0.20 \times 0.06 \times 0,08$ arriba i 0.06 abajo.

El ángulo de la cuña será

$$\text{tg.}\ \alpha = \frac{0.02}{0.20} = 0.10 \qquad \alpha = 5^\circ 50' \qquad \frac{\alpha}{2} = 2^\circ 55'$$

de donde

$$\cos\frac{\alpha}{2} = 0.998 \qquad \text{Sin}\frac{\alpha}{2} = 0.05$$

Aplicará aquí una fórmula mas simple entre P i Q

$$P = 2\,Q\left(\text{Sin}\,\frac{\alpha}{2} + \mu\cos\frac{\alpha}{2}\right)$$

siendo μ coeficiente de frotamiento de madera con fierro igual a 0.62.

Hai que determinar Q para que las cuñas no resbalen contra el tubo

La madera de encina (si se hace con espino seco será mejor) puede trabajar, perpendicularmente a la hebra, a 80 ks. por cm.^{2}, en trabajo corriente, así que para una cuña, suponiendo los contactos perfectos, tendremos:

$$Q = 20 \times 6 \times 80 = 9600 \text{ ks.}$$

i para las 6

$$9600 \times 6 = 57600 \text{ ks.}$$

lo que resiste a una fuerza tanjencial límite igual a

$$57600 \times 0.62 = 35712 \text{ kilgs.}$$

La fuerza necesaria para atornillar los tubos, reducida al radio del tubo es

$$x = \frac{PR}{r} = \frac{3450}{0.15} = 23000 \text{ ks.}$$

de modo que con seis cuñas la union está establecida de un modo bastante seguro.

Aunque a primera vista parezca demasiado grande el esfuerzo de 35712 ks. de las 6 cuñas, no hai que reducir el número de éstas, porque hai que contar con las imperfecciones de los contactos de la cuña con el tubo de un lado, i el cabrestante del otro. Ademas, hai que considerar la accion rotativa del cople que forma la fuerza de los hombres con la resistencia del tubo, que tiende a quebrar las aristas verticales de las cuñas.

Ahora la fórmula

$$P = 2\ Q\ (\text{Sin } \tfrac{\alpha}{2} + \mu \cos. \tfrac{\alpha}{2})$$

dará la fuerza P que se debe hacer en la cabeza de la cuña para que trabaje en las condiciones que acabamos de establecer. Tenemos:

$$P = 2 \times 9600\ (0.05 + 0.62 + 0{,}998) = 12825 \text{ ks.}$$

i por cm.²

$$\frac{12825 \text{ ks.}}{6 \times 8} = \underline{\underline{288 \text{ ks.}}}$$

en el sentido de la hebra.

Aunque subido, hasta cierto punto se puede admitir, porque aquí el trabajo se hace a golpes. Bastará envolver la cuña, arriba i a los lados, con una plancha de fierro de 2‴ (fig. 10) para evitar que los golpes, que nunca son bien perpendiculares, hagan pedazo la cabeza de dichas cuñas.

El cabrestante, en todo lo anterior, se ha supuesto redondo interiormente, i con la inclinacion de la cuña, es decir, en forma de cono hueco (fig. 11) con directriz circular.

Se puede, a mi parecer, evitar toda posibilidad de resbalamiento de las cuñas, i evitar la quebradura de éstas por los golpes, dando a la parte anterior del cabrestante la forma, en plano, indicada por la figura 12.

Así, el cabrestante haria presion automática, i no seria necesario clavar la cuña hasta el límite de resistencia de la madera.

Para desatornillar el tubo, se ha previsto dos o mas pasadores de fierro que permiten a la cuña hacer su accion por atras, i esta accion será jeneralmente suficiente, puesto que al desatornillarse, el tubo ofrece ménos resistencia. En todo caso, algunos golpes en la cabeza de la cuña, restablecerian la solidaridad del cabrestante con el tubo.

Para sacar el cabrestante, bastaria un sacudimiento violento por atras, sacando entónces los pasadores. Así aflojan las cuñas. Si acaso no aflojan, algunos golpes con poca fuerza, en la parte inferior, las haria salir.

Verticalmente, la parte interior del cabrestante, debe tener siempre la inclinacion consultada para la cuña.

Esta disposicion no es mas difícil de adoptar que la cónica, puesto que los cabrestantes se hacen o pueden hacerse de fundicion, lo que simplifica el trabajo.

6.° UNION DEL TUBO CON EL TORNILLO

El modo de juncion del tubo con el tornillo debe ser tal que se pueda separar uno de otro, para facilitar los trasportes i las manutenciones. Así no se puede adoptar remaches ni pernos a cabeza perdida.

La juncion se hará con pernos-pasadores, en número de 2 a 3, segun los esfuerzos que deben desarrollarse, i $1''\frac{1}{2}$ de grueso.

Hemos visto que la fuerza tanjencial a la superficie del tubo es igual a 23000 ks. Pero, a la parte inferior, deduciendo lo correspondiente al frotamiento del terreno, sobra

$$F = \frac{(12720 \text{ ks.} + 1120 \text{ ks.})\ 0.30 \times 0.6775}{0.15} = 18753 \text{ ks.}$$

Siendo S la seccion del fierro en $^m/_{m^2}$, i en n el número de pernos, hai 2 n secciones que trabajan al esfuerzo cortante, de donde

$$f = \frac{28753}{2ns}$$

En el caso actual, hai dos pernos de $1''$ de diámetro.

Colocando 2 pernos de $1''\frac{1}{2}$ de diámetro la seccion de cada uno es

$$s = 1157^{m}/_{m^2},53$$

de donde

$$f = \frac{18753 \text{ ks.}}{2 \times 2 \times 1157.53} = \text{ks. } 4.050$$

coeficiente mui aceptable.

7.º TORSION DE LOS TUBOS

La relacion entre la fuerza esterior P i el coeficiente de resistencia a la torsion T_0, es dada por la fórmula

$$P = \frac{T_0 \pi \ (D^4 - D_{\prime}^4)}{16 \ Dl}$$

siendo D i $D_{\prime}$ los diámetros esterior e interior de los tubos, i l el brazo de aplicacion de la fuerza.

Sacamos

$$T_0 = \frac{16 \ P \ l \ D}{\pi \ (D^4 - D_{\prime}^4)}$$

aquí tenemos:

$$P = 800 \text{ ks. } l = 4.31 \quad D = 0.30 \quad D_{\prime} = 0.228$$

de donde

$$T_0 = \frac{16 \times 800 \times 4.31 \times 0.30}{3.14 \ (0.30^4 - 0.28^4)} = 2689.133$$

como este coeficiente puede subir hasta 4.002,000 (Dulos) se ve que la resistencia del tubo a la torsion es suficiente en la parte superior.

La torsion total del tubo será, en la parte inferior, i al último momento

$$d = \frac{M L}{G I} r = t \gamma = r$$

En el caso que nos ocupa, tenemos:

$$M = Pl = 3450 \text{ ks. } L = 9.00$$

$$G = 6.000.000{,}000 \text{ (Dulos) o } G = 7.504.628.602 \text{ (Beran)}$$

$$L = \frac{\pi}{2}(r^4 - r14) = \frac{3.14}{2}(0.15^4 - 0.14^4)$$

Aplicando los dos valores de G, tenemos:

$$t_1 = \frac{3450 \times 9.00}{6.000.000{,}000 \times \frac{3.14}{2}(0.15^4 - 0.14^4)} = 0.021$$

$$t_2 = \frac{3450 \times 9.00}{7.504.628{,}602 \times \frac{3.14}{2}(0.15^4 - 0.14^4)} = 0.017$$

Tomando el término medio

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{0.021 + 0.017}{2} = 0.019$$

i en fin

$$d = 0.019 \times 0.15 = 0.0028$$

valor mui aceptable.

8.º ESPRESION DE LA FUERZA NECESARIA PARA ATORNILLAR LOS TUBOS, EN FUNCION DE LA HONDURA I TRABAJO TOTAL

Terminaré por una fórmula teórica, acompañada de un diagrama que será como el resúmen de estas notas. Esta fórmula está destinada a dar, a una hondura cualquiera, la fuerza necesaria que se debe aplicar para atornillar el tubo.

Seguro es que para cada clase de terreno diferente, habrá que modificar la fórmula, incorporando las modificaciones correspondientes en los coeficientes de frotamiento i de resistencia del terreno.

Para simplificar, supondré que estos coeficientes quedan constante, así como la densidad del terreno. Solo supondré que la resistencia del terreno varia constantemente de la superficie del terreno hasta la hondura de 6^m50.

Hemos visto ya que tenemos:

$$PR = r_{\prime} Q \text{ tg. } (\alpha + \rho) = AQ$$

puesto que $r_{\prime}$ i tg. $(\alpha + \rho_{\prime})$ son cantidades constantes. Pero Q es una funcion mui compleja de h.

Supongamos que la resistencia opuesta por el terreno a la accion de la cuña que termina el tubo sea funcion lineal de la hondura i de la forma

$$x = a\,h + t.$$

Cierto es que la relacion es mas compleja. Pero cualquiera que sea, no será nunca mui diferente de una funcion lineal. Podemos entónces adoptar la fórmula anterior.

Como para $h = 0$, tenemos $x =$ ks. 0.500 por cm.^{2} (tierra pantanosa mojada, casi barro líquido) i para $h = 6.50$ tenemos $x =$ ks. 8,000, viene

$$t = 0.500 \quad a = \frac{\text{ks. } 8.000 - 0.500}{6.50} = 1.154$$

de donde

$$x = 1.154\,h + 0.500.$$

La fórmula (a) ya establecida al principio designando por M la cantidad constante.

$$M = \frac{\operatorname{Sin}\alpha\,(1 - \mu^2) + 2\mu \cos \alpha}{\cos\frac{\alpha}{2} - \mu \sin \frac{\alpha}{2}}$$

será de la forma

$$X = Mx = \frac{SM}{2}(1.154h + 0.500)$$

La resistencia opuesta por el terreno a la entrada de la rosca del tornillo será de mismo modo.

$$I = 35 \times 4\,(1.154\,h + 0.500.)$$

En fin, la resistencia debida al frotamiento a la hondura h, será

$$Z = \frac{1}{3}\pi D\mu tg.^2\varphi\ h^2\ (3r + h\ tg.\varphi) = Th^2\ (3r + h\ tg.\varphi)$$

así que en un momento cualquiera, a la hondura h, tendremos:

$$Q = X + I + 2 = \frac{SM}{2}(1.154\ h + 0.500) + N(1.154\ h + 0.500)$$
$$+ Th^2\ (3r + h\ tg.\varphi)$$
$$= \left(\frac{SM}{2} + N\right)(1.154\ h + 0.500) + Th^2\ (3r + h\ tg.\varphi$$
$$= U\ (1.154\ h + 0.500) + Th^2\ (3r + h\ tg.\varphi)$$

i en fin

$$PR = AQ \qquad P = \frac{A}{R}\ Q$$

$$P = \frac{A}{R}V\ (1.154\ h + 0.500) + \frac{A}{R}Th^2\ (3r + h\ tg.\varphi) \quad (4)$$

ecuacion de una curva parabólica del 3^er^ grado,

En el caso actual, con r, radio del tornillo igual a 0.30 tenemos:

$$A = 0.2032 \qquad R = 4.31 \qquad V = 1735.15 \qquad T = 38.85$$

$$tg.\varphi = 0.2217. \qquad r = 0.15$$

$$\frac{AV}{R} = 81.825 \qquad \frac{AT}{R} = 1.83$$

de donde

$$P = 81.825\ (1.154\ h + 0.500) + 1.83\ h^2\ (3r + h\ tg.\varphi)$$

$$P = 0.307\ h^3 + 0.825\ h^2 + 94.426\ h + 40.912 \qquad (5)$$

como siempre, en el cálculo directo anterior de P, hice redondas todas las cantidades, miéntras que aquí las tomé por su valor exacto; hai una diferencia pequeña entre los resultados, para

$h=6.50$, de la ecuacion (5) i del cálculo directo. Aquí tendremos $P=772^k847$ para $h=6.50$. Ya hemos adoptado $P=800$ k. Conviene pues, mejor para que cuadre la ecuacion (5) con los resultados ya admitidos, hacer igual a 68.065 el término constante, i tomar la nueva ecuacion.

$$P = 0.307\ h^3 + 0.825\ h^2 + 94.426\ h + 68.065 \qquad (6)$$

Sin embargo, en un cálculo directo se podrá perfectamente aplicar la fórmula (5).

La curva representativa de (6) la tracé a la escala de 0^m05 por metro para h, i de 0^m015 por 50 ks. para P.

Trazé tambien con líneas de puntos el trabajo correspondiente al cierto número de hombres que en las diversas fases conviene poner al cabrestante, siempre suponiendo el brazo de palanca igual a 4^m31.

La misma ecuacion (6) puede servir para calcular la cantidad total de trabajo, en kilómetros, necesaria para cualquier hondura.

A cada vuelta de fuerza motriz, es decir para un camino reconocido igual a

$$2\pi R = 2 \times 3.14 \times 4^m31$$

el tubo se entraría de 0^m20, paso de la hélice; para enterrarse enteramente, hasta 6^m50 necesitará

$$\frac{6.50}{0.20} = 32{,}5 \text{ vueltas}$$

es decir un camino de

$$2 \times 3.14 \times 4.31 \times 32.5 = 879^m67$$

La curva trazada anteriormente envuelve entre el eje oh i la curva una superficie que multiplicada por la constante

$$\frac{1}{\cos.\alpha}=\frac{879.67}{6.50}$$

Siendo α el ángulo de proyeccion (fig. 13) da para cada valor de h la suma de trabajo necesario para atornillar el tubo hasta esta hondura.

Hai que notar que siempre será igual este valor de T, aunque cambien la fuerza motriz i los brazos de palanca.

Como valor de T, tenemos

$$T=\int_0^h f(h)\,dh=\tfrac{1}{4}0.307\,h^4+\tfrac{1}{3}0.825\,h^3+\tfrac{1}{2}94.426\,h^2+68.065\,h.$$

Sin constante, puesto que para h=o T es nulo

Usando la curva trazada el valor de T será:

$$T=(0.07675\,h^4+0.275\,h^3+47.213\,h^2+68.065h)\frac{879.67}{6.50} \qquad (7)$$

Si se hace el cálculo para h=6.50, encontramos

$$T=358583\text{ kg.}=$$

Suponiendo constante la fuerza de 800 ks. al cabrestante, el trabajo seria igual a 703736 kg., es decir casi el doble; lo que muestra, antes de trazar la curva (6) que difiere poco de una línea recta.

Parral, Agosto 9 de 1894.

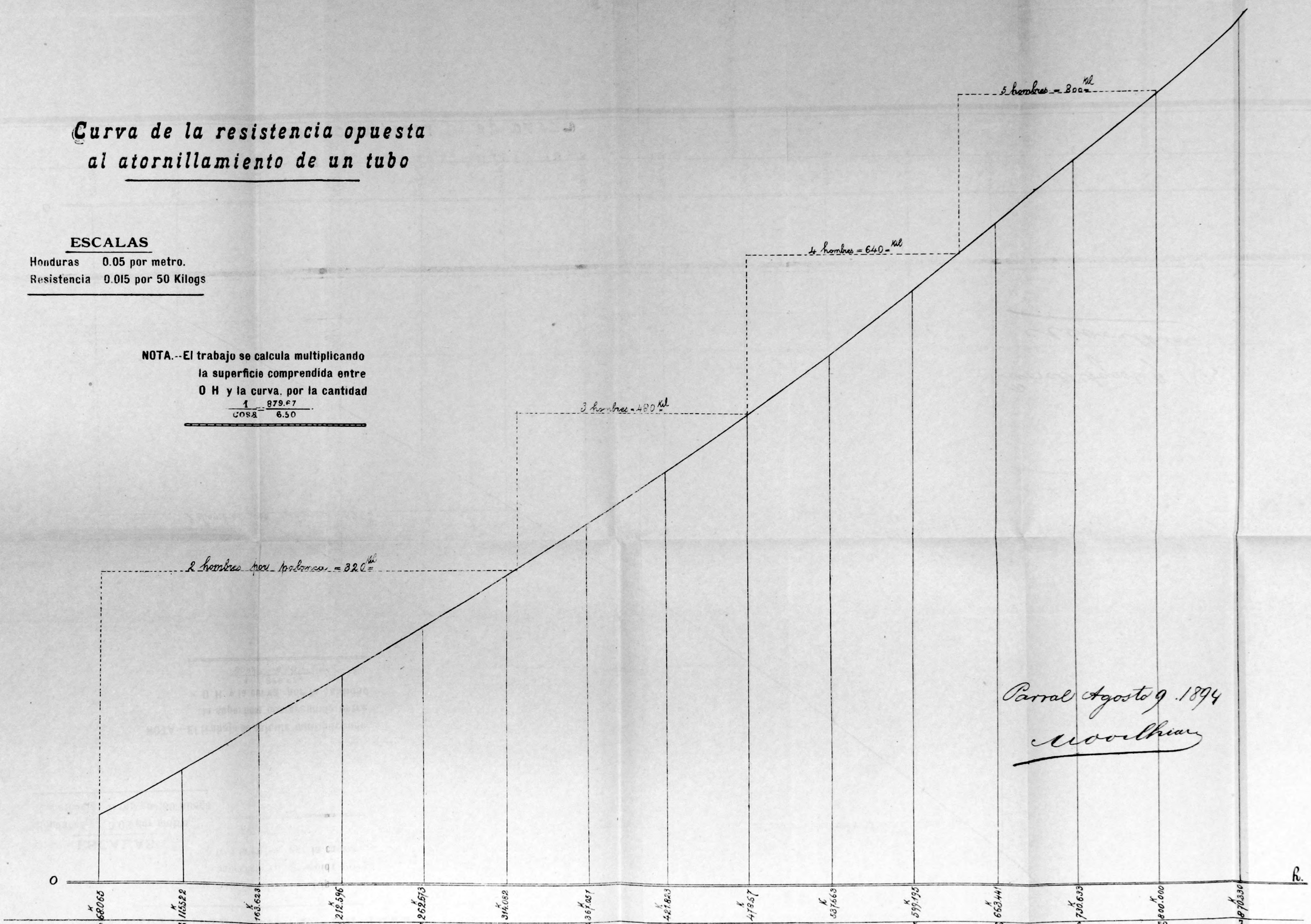
M. DORLHIAC.

Curva de la resistencia opuesta al atornillamiento de un tubo

ESCALAS

Honduras 0.05 por metro.
Resistencia 0.015 por 50 Kilogs

NOTA.--El trabajo se calcula multiplicando la superficie comprendida entre O H y la curva, por la cantidad $\frac{1}{\cos\alpha} = \frac{879.67}{6.50}$



Parral Agosto 9. 1894

Moulhian

LÁMINA. A.

Fig. 3.

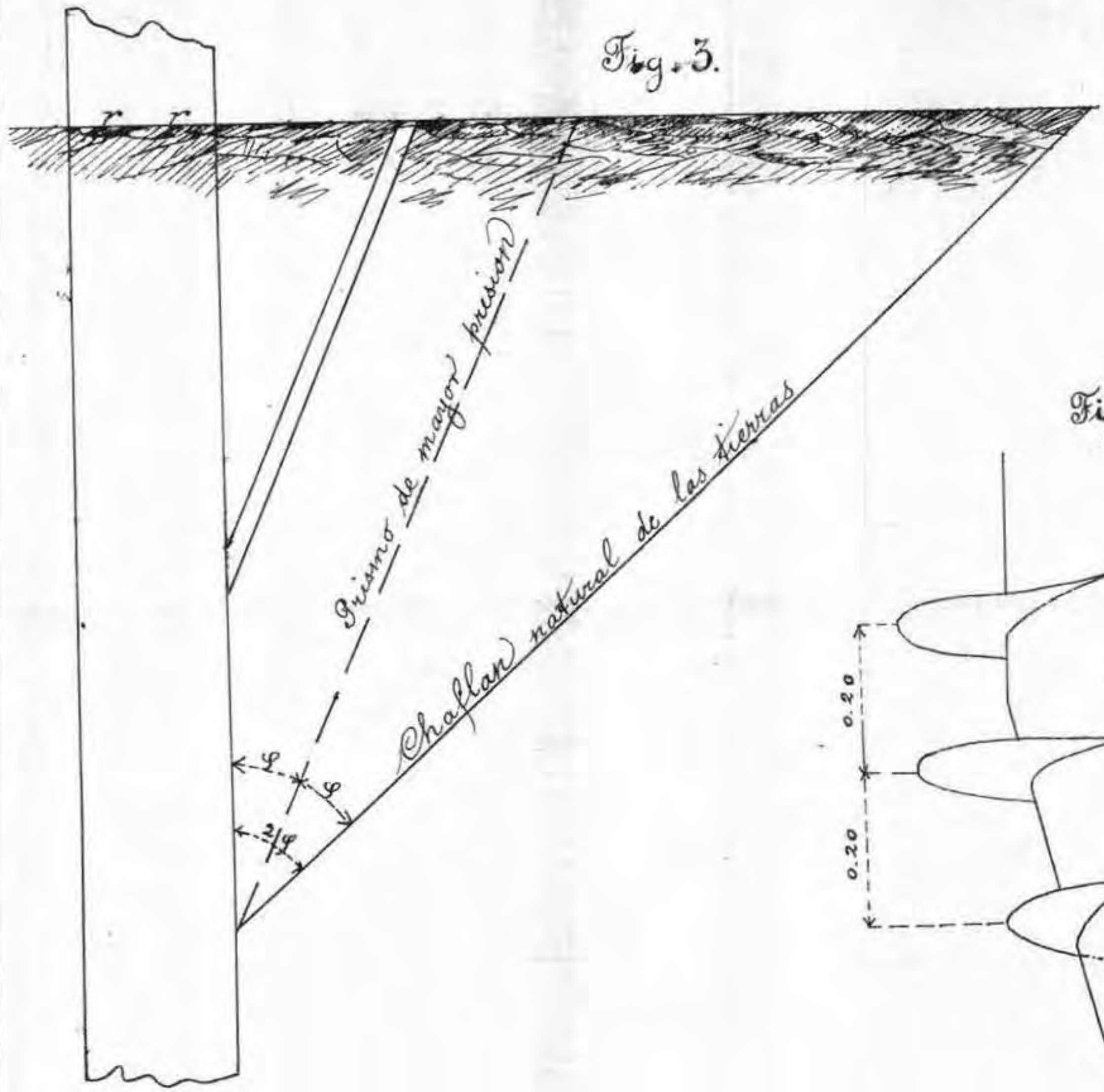


Fig. 4.

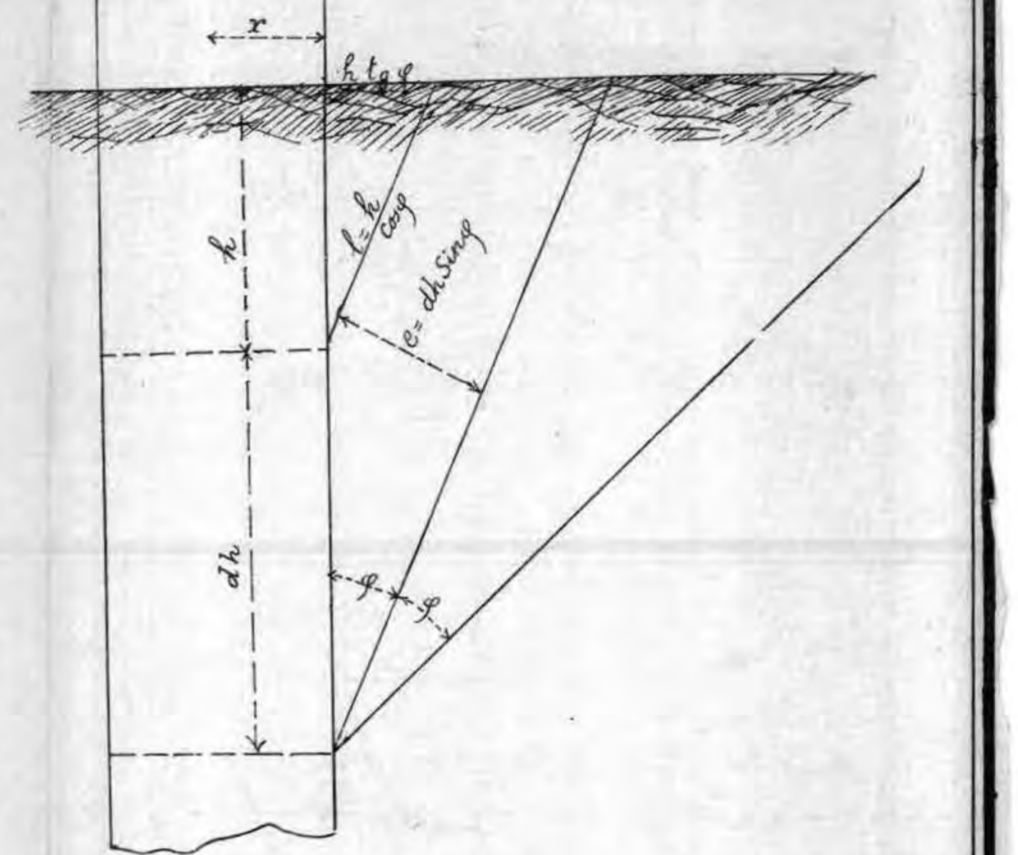
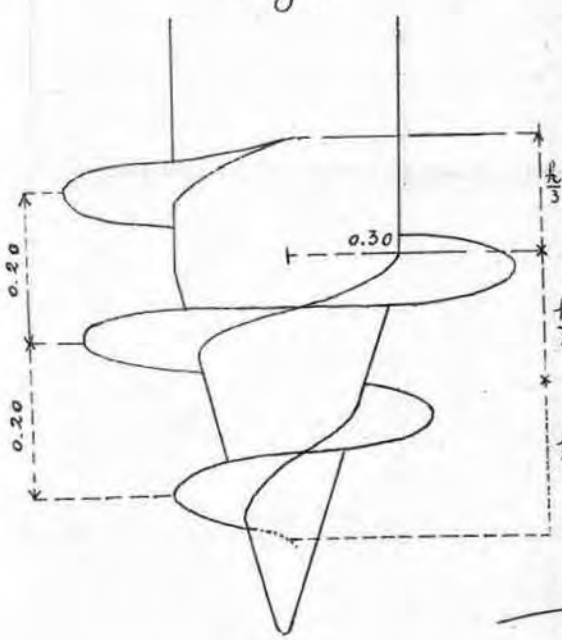


Fig. 5.



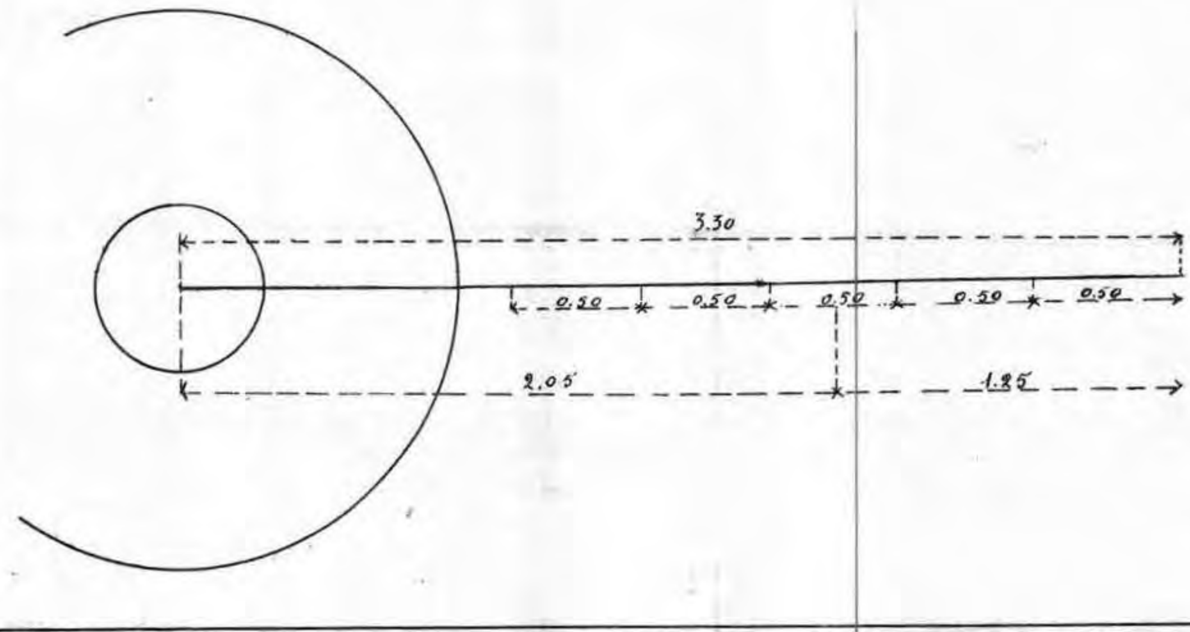


Fig 7

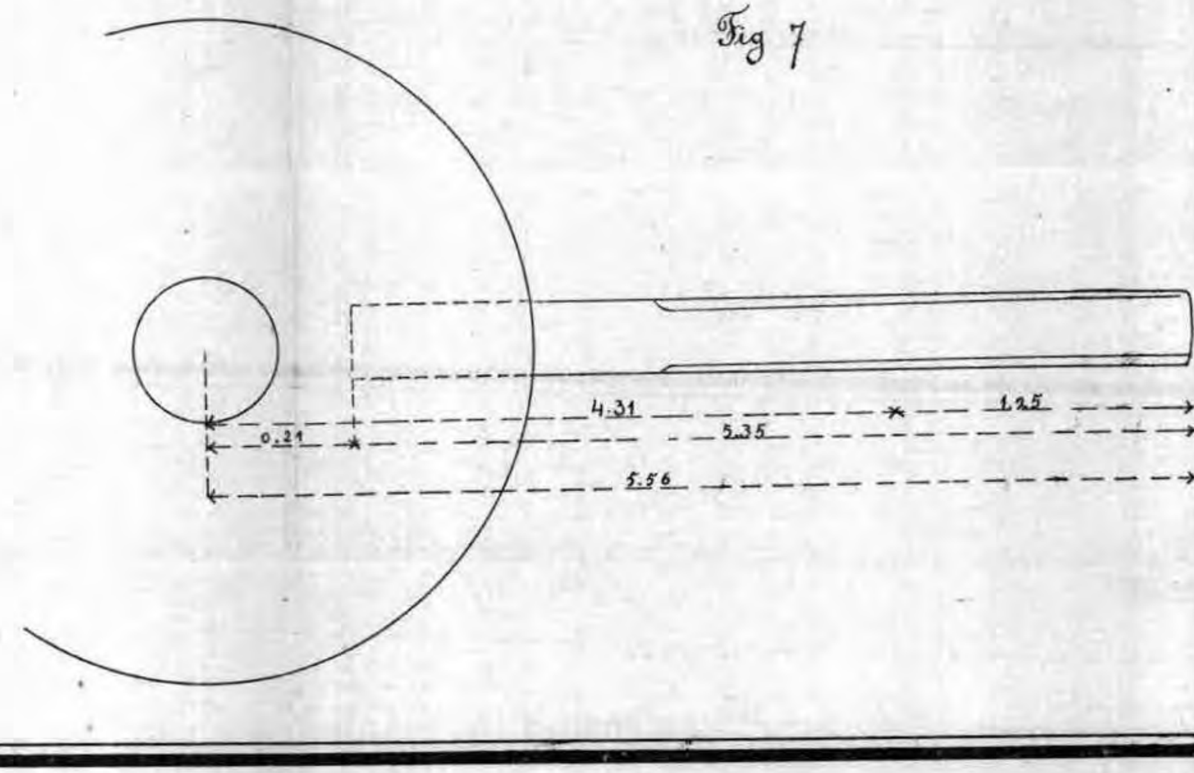


LÁMINA . B .

Fig. 8.

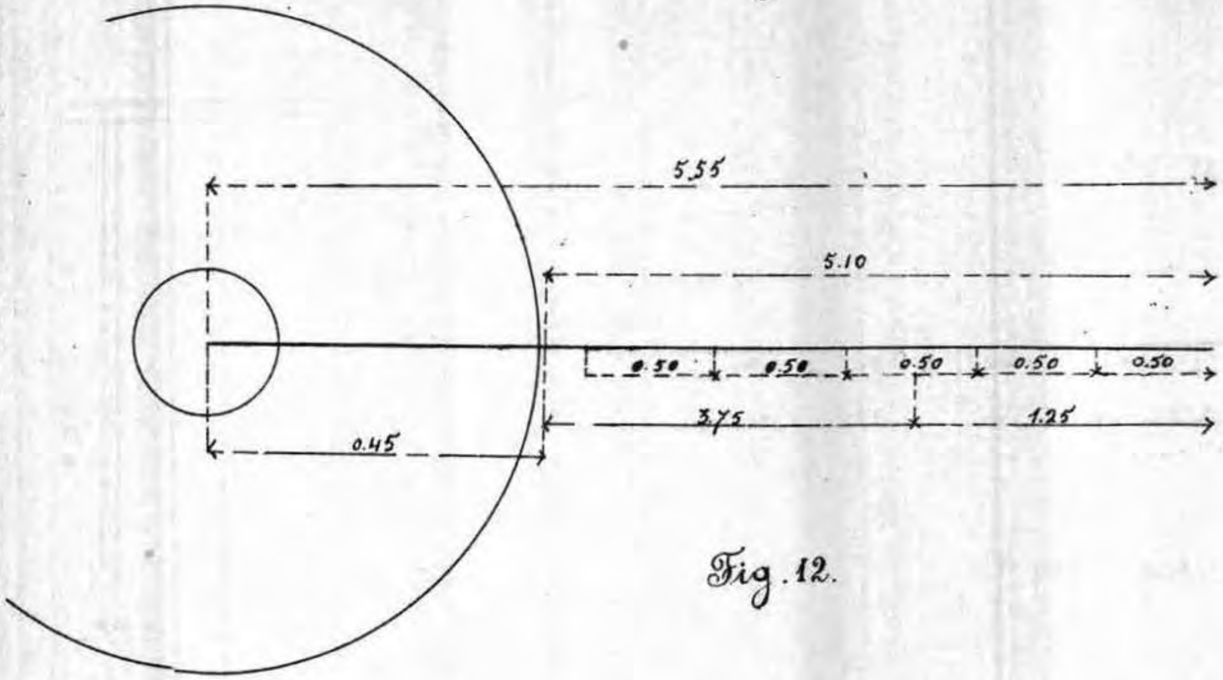


Fig. 10.

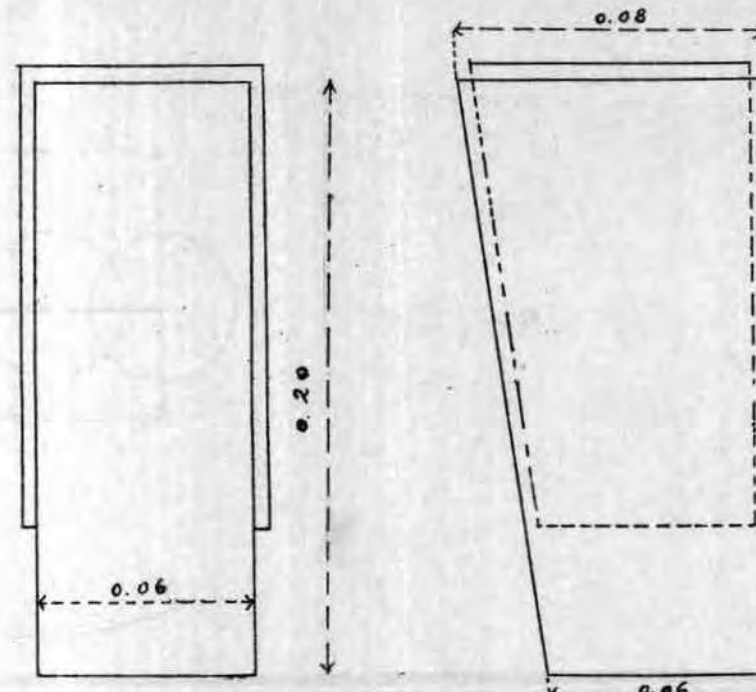


Fig. 12.

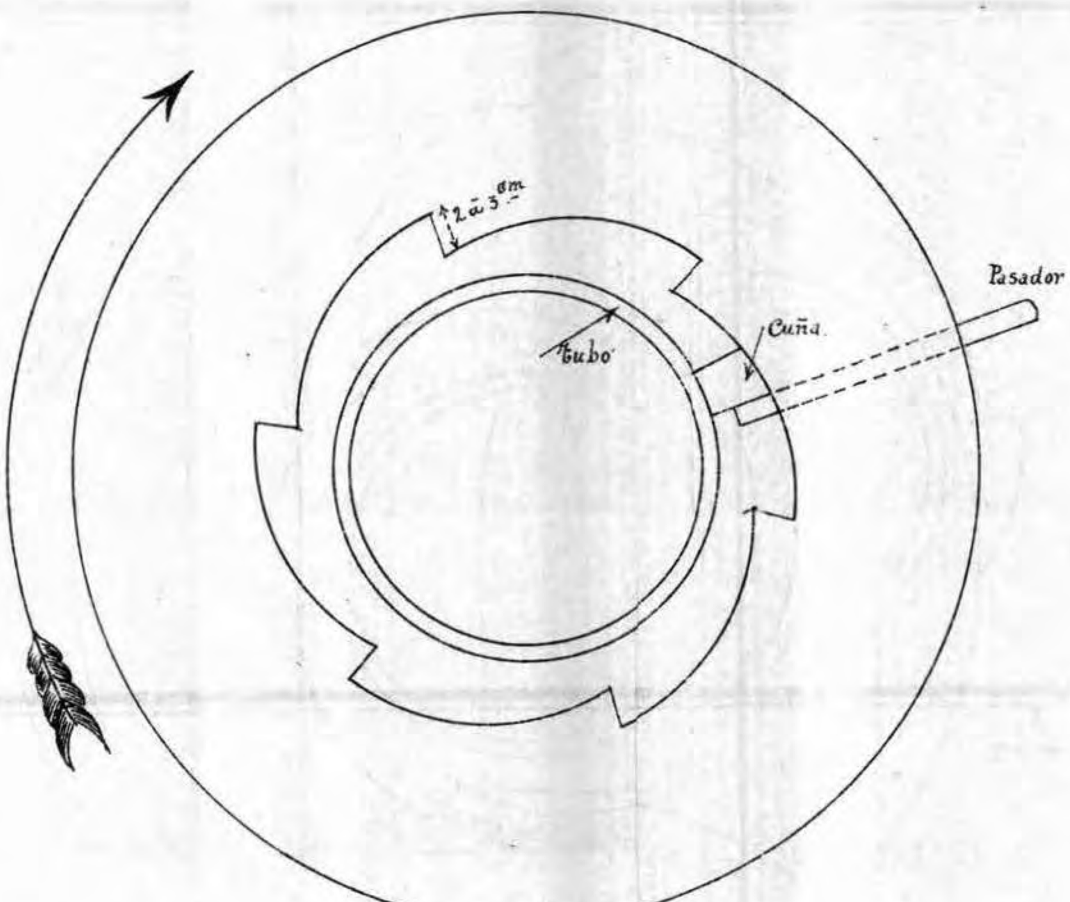


Fig. 13.