REVISTA

DE LA

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Año VI *Guayaquil, Abril 30 de 1935.* *Núm. 1*

Trabajo del alumno del 4º año de Ingeniería,
Sr. José Manuel Albán A.,
premiado en el concurso convocado por el Consejo Universitario, entre los alumnos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Estudio de una estructura o armadura de cubierta del tipo norteamericano.

SUMARIO: Síntesis histórica de la Estática. Consideraciones descriptivas generales de los elementos de una armadura de cubierta. Determinación de los esfuerzos desarrollados en las piezas de una armadura de cubierta del tipo norteamericano con seis tornapuntas y tirante horizontal, por el método gráfico de Cremona, comprobado por el método analítico de Ritter o de los momentos.—Cálculo de las secciones de cada una de las piezas.

La Estática, llamada antiguamente Mecánica de las Construcciones no es sino una científica combinación de las normas dadas por la Resistencia de Materiales y la Mecánica mediante la cual llegamos al conocimiento de las fuerzas exteriores e interiores de una estructura y por éste, a determinar las secplano de la armadura y cuyo objeto es sostener a éstas verticales, para lo cual se apoyan en los pares de ellas; 3º los *cabrios*, que se apoyan sobre las correas en sentido perpendicular a ellas y colocados entre los espacios comprendidos entre dos armaduras; y 4º los *listones*, que se colocan perpendiculares a los cabrios y son destinados a sostener el material de cubierta. Es indudable que depende de la naturaleza de este material para utilizar todas o algunas de las piezas indicadas anteriormente; por ejemplo, al tratarse de lámina de zinc ondulado, de uso corriente entre nosotros, tan solo son necesarias las correas espaciadas a longitudes adaptadas al largo de la plancha de zinc que se vaya a usar. Aunque en este trabajo se contempla esta última circunstancia, en la figura 1—B y 1—C están indicadas todas las piezas descritas como componentes del entramado de la cubierta.

Procederemos ahora, al cálculo en sí mismo, no sin antes dejar constancia de que este trabajo no es una novedad científica; sino que constituye una aplicación de las normas dadas por la Estática Gráfica y la Resistencia de Materiales, con cuyo auxilio está comprobado ya que las ejecuciones empíricas en el ramo de la Construcción y de manera especial, en el de la Carpintería de armar, se sujetan tan solo a apreciaciones que, si bien es cierto están dadas por la experiencia y no dejan que desear en cuanto a sus condiciones de estabilidad y resistencia, sí están reñidas con el aspecto estético y, lo que es más importante aún, con el económico; pues, se emplean en ellas un exceso de material, ya sea en piezas innecesarias o en secciones mayores que las científicamente requeridas y que constituyen, en último término, un aumento bastante considerable tanto en el costo del material como en la obra de mano.

Se trata de aplicar el método de Cremona para la determinación de los esfuerzos desarrollados en las piezas de una armadura del tipo norteamericano con seis jabalcones y tirante horizontal, indicada en la pág. 736 del Tratado de Edificación de Barberot, para luego comprobar estos resultados por el método de Ritter y calcular después las secciones de cada una de las piezas.

Los datos al caso que nos ocupa son los siguientes:

Se trata de una cubierta que debe ser de láminas de zinc ondulado para un gimnasio cuyas dimensiones son, 25 metros de largo por 16 de ancho. Por tanto la luz de las armaduras

FIG 1-A
SECCION TRANSVERSAL

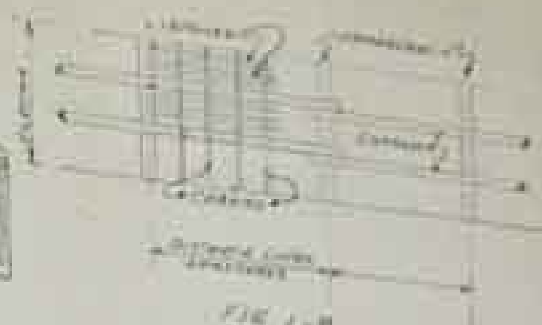
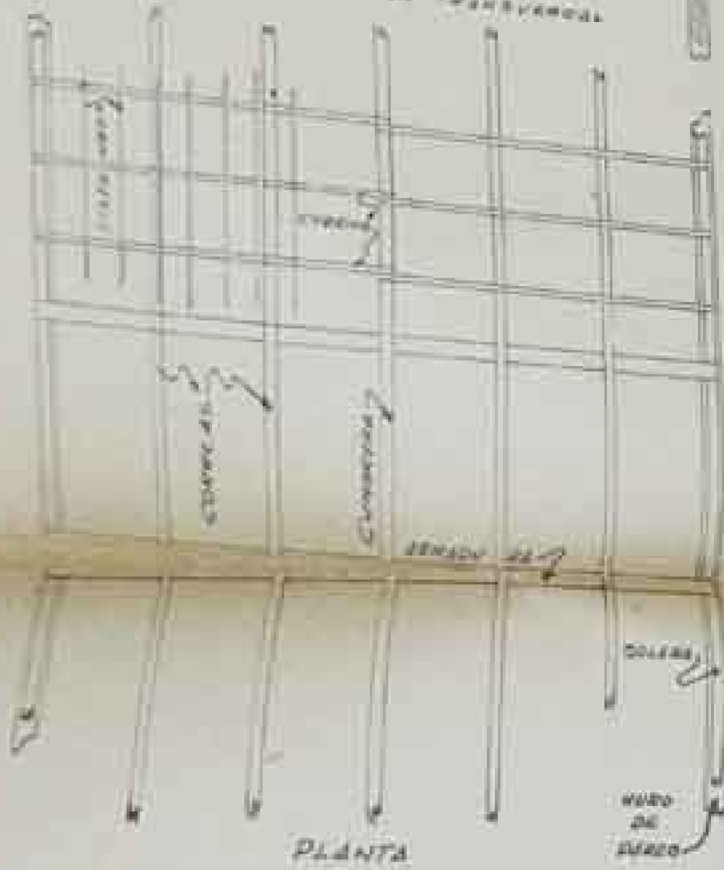


FIG 1-B
VISTA LONGITUDINAL



PLANTA

FIG - 1 - C

FIG 3

es el ancho del gimnasio o sea 16 metros. Para los efectos del reparto simétrico de las áreas de carga en cada armadura las vamos a espaciar a éstas cada 5 metros, esto es, que en total son 6 armaduras las que han de emplearse conforme se indica en la figura 2 de la página anterior.

Primeramente vamos a determinar las características métricas de las piezas de la armadura, de acuerdo con el ángulo de inclinación de los pares, con respecto a la horizontal, que le corresponden según el material de cubierta que se va a emplear.

En el gráfico que dá Barberot, en la pág. 269 de su Tratado de Edificación, encontramos que, para el zinc, el ángulo de inclinación de los pares con respecto a la horizontal es de 11°30' y para una media luz de 1 metro dá una flecha de M.0,20 y una longitud del par de 1,01 M. Luego en nuestro caso, tomando este ángulo de inclinación, en la media luz de 8 metros tendremos:

flecha = 8 x 0,2 = 1.60 mts.
longitud del par = 8 x 1,01 = 8.08 „

Estos datos pueden comprobarse trigonométricamente, teniendo en cuenta la fig. 3 de la página anterior, la cual nos representa nuestra media armadura constituída, en sus contornos, por un triángulo rectángulo ABC en el que tenemos conocidos: AC = 8 mts. y el ángulo $\alpha = 11°30'$. Tendremos que encontrar la flecha BC y la longitud del par AC, de la siguiente manera:

flecha BC = 8 x tg.11°30' = 8 x 0.20345 = 1.627 mts.

Conocido BC obtendremos la longitud del par del siguiente modo:

par AB = $\sqrt{8^2 + 1,6^2} = \sqrt{66,56}$ = 8,158 mts.

Como estas cifras están tan próximas a las dadas por el cuadro que hemos mencionado, vamos a adoptarlas en la armadura que estamos calculando.

A fin de que la distribución de las cargas y sobrecargas sobre los pares y la trasmisión de ellas a las demás piezas, sean simétricas, y, teniendo presente que el material de cubierta que se va a emplear es plancha de zinc undulado calibre Nº 18, aconsejado por Barberot, material éste que tiene, según el catálogo de la United States Steel Products Cº. 7' (2,13 Mts.) de largo, por 32'' (0,82 M) de ancho, los pares se dividirán en 8 partes iguales, debiendo situarse por tanto, a cada 2,04 Mts. de distancia, una correa. De este modo se apoyarán en los dos pares de cada armadura 7 correas en las cuales se han de fijar las extremidades de las planchas de zinc de cuya longitud quedará un sobrante de $2{,}13-2{,}04=0{,}09$ mts. para su debida fijación y enlace entre unas y otras.

Para proceder a la determinación de los esfuerzos desarrollados en cada una de las piezas de la armadura y luego al cálculo de sus secciones en función de los citados esfuerzos, es preciso comenzar por determinar las cargas y sobrecargas que va a soportar la armadura, cuyo análisis y cálculo lo damos a continuación:

Cargas permanentes:

Peso del zinc [s/Hütte-Tomo III, pág. 410.)	8 Kgs. p/m.2	de cubierta
,, de las correas [Id. y Colombo, p.262].	16 ,, ,,	,, ,,
Total.	24 Kgs. p/m.2	,, ,,

Peso de la armadura:

Este lo calcularemos por la fórmula de Merriman: $P=\frac{a \times 1}{2}(1+\frac{1}{10})$

en la cual: P = peso de la armadura en libras

a = distancia entre armaduras, en pies.

1 = luz en pies.

$$P=\frac{32.8 \times 52.5}{2}\left(1+\frac{52.5}{10}\right)=5381 \text{ lbs.}= 2445 \text{ Kgs.}$$

Cargas variables:

La presión del viento se puede calcular como sigue:

Según Colombo, en su Manual del Ingeniero pág. 211 y Hütte en el Tomo III, pág. 56 de su Manual del Ingeniero, un viento cuya velocidad sea de 30 a 40 mts. por segundo ejerce una presión de 100 a 200 Kgs. por metro cuadrado actuando sobre una superficie normal a su dirección; pero como se supone que corre horizontalmente, la componente normal a la cubierta o sea el empuje efectivo del viento sobre ella, será:

Adoptando una velocidad de 35 mts. por segundo, la presión será 150 Kgs/ m^2. Ahora bien, según el Reglamento prusiano de Obras Públicas conteniendo el "Manual del Constructor" de Zoroa y Sastre (pág. 378) la componente normal al plano de la cubierta está dado por la fórmula:

$$p_{,}=p.\text{sen}.\ \alpha$$

en la cual: p, = presión del viento actuando normal al plano de la cubierta

p = ,, ,, ,, ,, ,, a su dirección

α = ángulo de inclinación de la cubierta con la horizontal

(siendo la presión p, en Kg./M^2 de cubierta)

Aplicando esta fórmula:

$p_v = 150 \cdot \text{sen } 11°30' = 150 \times 0{,}19937 = 150 \times 0{,}2 = 30$ Kp/m2

Determinación de las cargas en los nudos intermedios:

Area de carga para cada nudo: $5 \times 2{,}04 = 10{,}2$ m^2

peso de la cubierta: $10{,}2 \times 24$ . . . . . 244.8 Kgs.

" " " armadura: $\frac{2.445}{8}$ = ... 306.-

Carga total en cada nudo intermedio . . . . 550,8 Kgs.

Es de observar que el peso total de la armadura, se ha dividido para 8 porque son 7 nudos intermedios más los nudos de los apoyos que reciben cada uno la mitad de la carga de los intermedios integrando los dos la carga completa, para un nudo, que viene a ser el octavo de los que se han tomado en cuenta.

Determinación de las cargas en los nudos de los extremos o apoyos:

Por el hecho de tener los nudos extremos un área de carga igual a la mitad de la de los nudos intermedios y, así mismo, por corresponderles a cada uno la mitad de la proyección horizontal del peso de la armadura de la que le corresponde a los otros, las cargas que actúan en cada uno de los apoyos será:

Area de carga para cada nudo: $5 \times 1{,}02 = 5{,}1$ m2

Peso de la cubierta. $5{,}1 \times 24$. . . . . 122,4 Kgs.

Peso de la armadura $\frac{306.}{2}$ . . . . 153 "

Total. . . . 275,4 Kgs.

o sea la mitad de la carga que soporta cada nudo intermedio:

$$\frac{550{,}8}{2} = 275{,}4 \text{ Kgs.}$$

Determinación del empuje del viento en cada nudo:

Area sobre la que actúa el viento: $5 \times 2{,}4 = 10{;}2$ m^2

Empuje en cada nudo: $10{,}2 \times 30 = 306$ Kgs. en los nudos intermedios.

y, $\frac{306}{2} = 153$ " " " " extremos

El empuje del viento en cada vertiente de la armadura será:

$8{,}16 \times 5 \times 30 = 1.224$ Kgs.

que dividido para 4 nudos (3 nudos intermedios y 1 repartido en 2 mitades en los extremos) dan los 306 Kgs. obtenidos antes.

Una vez analisadas y calculadas debidamente todas las cargas capaces de actuar sobre la cubierta, así como el peso de la-armadura, vamos a entrar de lleno a la determinación de los esfuerzos desarrollados en cada una de las piezas de la armadura en estudio. Esto lo vamos a llevar a efecto valiéndonos del método gráfico de Cremona o de las figuras recíprocas, que se funda en la combinación de las fuerzas exteriores, incluyendo las reacciones, con los esfuerzos de las barras, en un diagrama formado por triángulos y que se refiere a toda la estructura, combinación gráfica mediante la cual se determina todos los esfuerzos de las diferentes piezas de una armadura y que, por estas razones, el más usado.

Para el proceso gráfico que vamos a realizar emplearemos la notación de Bow por ser la más sencilla. Ella consiste (fig. 2) en llamar a los esfuerzos, tanto los exteriores como los desarrollados en las barras, por medio de 2 letras minúsculas localizadas a ambos lados de la barra o fuerza que se considere, de tal manera que al construir el polígono dinámico o de las fuerzas, se designa la magnitud del mismo esfuerzo por medio de las mismas letras pero mayúsculas, colocadas en las 2 extremidades del vector representativo de dichos esfuerzos. Así por ejemplo, en la figura 2, la fuerza *a b* es la que está entre tales letras y la misma designación pero con letras mayúsculas colocadas en los extremos del vector correspondiente, se emplea para llamarla en el polígono de las fuerzas.

Para tener el convencimiento de la corrección del proceso gráfico es preciso que el diagrama quede cerrado para lo cual deben tenerse presente las siguientes prescripciones dadas por el Dr. Ing. Rudolf Saliger, profesor de la Escuela Técnica Superior de Viena:

"1.—Las fuerzas exteriores (cargas y reacciones de apoyo) han de colocarse en el diagrama, en forma correlativa, es decir, en el mismo orden en que se encuentran en la estructura, al recorrerla en un cierto sentido cíclico (que por lo general es el del movimiento de las agujas de un reloj). Esta restricción produce, evidentemente, el cierre del polígono vectorial sobre sí mismo.

2.—Ha de iniciarse la operación en un nudo simple, y se prosigue en otro contiguo en el que sólo sean desconocidos dos esfuerzos, rodeando siempre la estructura en el sentido admitido.

3.—Los esfuerzos han de constar en el diagrama en el orden consecutivo en que se encuentran las respectivas barras al enumerarlas en el sentido cíclico general admitido alrededor del nudo que se considere.

ESCALAS:

DE LONGITUDES: 1cm = 1 MT

DE FUERZAS 2cm = 1000 K o 1cm = 500 K.

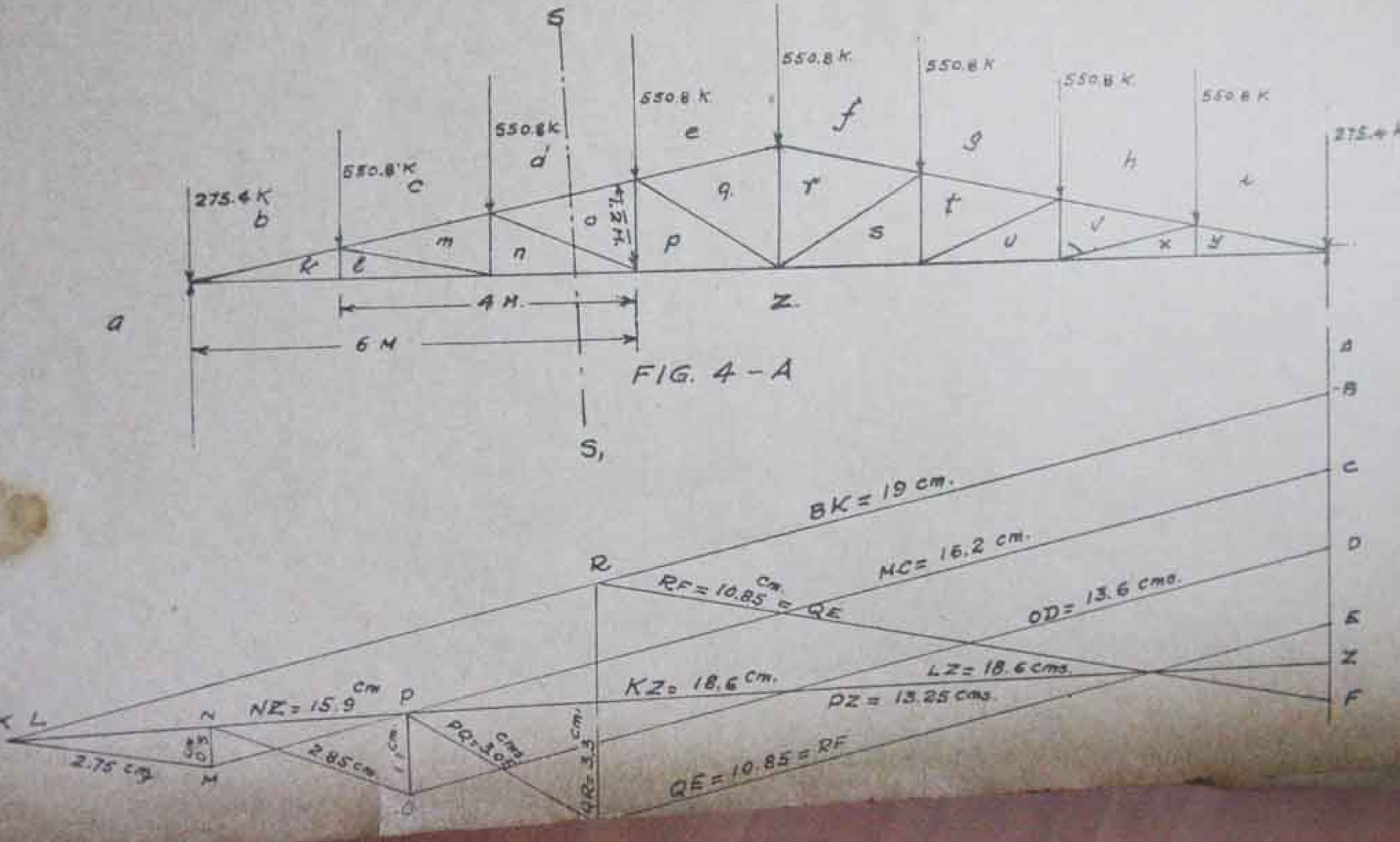


FIG. 4-A

4.—Las fuerzas que actúan en un mismo nudo (cargas aplicadas y esfuerzos en las barras), deberán formar un polígono vectorial cerrado en el diagrama; las direcciones vienen dadas al recorrer el vectorial en el orden de consecutividad citado en la regla 3.

5.—Los esfuerzos correspondientes a barras que en la estructura forman triángulo, concurren en un mismo punto del diagrama".

Ahora bien, al hacer el estudio de los esfuerzos que actúan en la armadura que estamos estudiando hemos concluído que ellos son de 2 clases: unos permanentes, como son el peso propio de la armadura y el peso del material de cubierta con su entramado, y, otros nó permanentes, como es el empuje del viento.

Entonces, primeramente vamos a determinar gráficamente los esfuerzos desarrollados en las barras en virtud de las cargas permanentes, y luego determinaremos los esfuerzos producidos por la acción del viento, para entonces efectuar las sumas de ellos para las barras respectivas y poder calcular así sus secciones.

Determinación de los esfuerzos producidos por las cargas permanentes:

Habíamos ya determinado que la carga permanente sobre cualquier nudo intermedio, era de 550.8 Kgs. Pues bien, como la armadura es simétrica basta calcular la mitad de ella, ya que los esfuerzos en las barras de la otra mitad son iguales respectivamente, como iguales son las reacciones en los apoyos. Como las fuerzas son iguales y paralelas entre sí, trazaremos sobre una sola línea vertical y a una escála conveniente, que en nuestro caso es: 1 cm. =500 Kgs., todas las fuerzas que actúan en la media armadura: esta línea ABCDEZ (fig. 4-B) será el dinámico o polígono de las fuerzas y representa el valor de una de las reacciones de los apoyos.

Siguiendo las reglas dadas anteriormente comenzaremos la construcción del polígono de Cremona (fig. 4-B) por el nudo simple del apoyo izquierdo en el cual tenemos conocidas la reacción cuyo valor es $\frac{550,8 \times 8}{2} = 2.203,2$ Kgs. y la fuerza $a\ b$ cuyo valor es 275,4 Kgs.

Estas dos fuerzas son paralelas y de sentido contrario y tienen la misma línea de acción, por tanto solo quedará actuando el resultado de la diferencia: 2.203,2—275,4=1.927,8 Kgs. representada en el dinámico por el vector ZB. Por el extremo B de éste, tracemos una paralela a la barra *b k* la cual estará limitada por la intersección de otra línea que a partir de Z la trazaremos paralela a la barra *k z*. Las longitudes de los vectores BK y KZ, interpretadas en la escala adoptada nos dá el esfuerzo 9.500 Kgs. y 9.300 Kgs., respectivamente y en lo relativo a la clase de esfuerzos, observamos que si la dirección de la reacción tomada inicialmente es de *Z* a *B*, es evidente que, para que haya equilibrio en las barras es preciso que los vectores del dinámico sigan el orden cíclico, esto es, que BK actuará de *B* a *K* y por tanto será esfuerzo de compresión en el nudo del apoyo izquierdo; en tanto que, KZ actuará de *K* a Z siendo por consiguiente esfuerzo de tensión en el mismo nudo.

Pasando al nudo *zklz* en donde tenemos conocido *z k* y desconocidos *k l* y *l z*. Partimos de *K* a *Z* luego pasamos a la barra *K l* en la cual no se desarrolla ningún esfuerzo como demuestra el polígono de Cremona y por último a la barra *l z* cuya magnitud y sentido (tensión en el nudo considerado) está dado por el vector LZ=KZ=9.300 Kgs.

Luego pasamos al nudo *kbcml* en el cual tenemos conocidos los esfuerzos LK, KB y BC. Para determinar los valores de *c m* y *m l*, se trazan, siguiendo el órden cíclico, a continuación de LK, KB, BC, por el extremo C, una paralela a la barra *c m* que es CM y por la extremidad L, una paralela a *l m* que es LM, estas líneas limitadas por sus intersecciones en M, dan la magnitud de los esfuerzos desarrollados en las respectivas barras, los mismos que interpretados en la escala adoptada dan los valores 8.100 y 1.375 Kgs. respectivamente. Sus sentidos son: compresión y tensión, en su órden, con respecto al nudo que estamos considerando.

Este proceso continúa en la misma forma hasta llegar a determinar todos los esfuerzos de la media armadura los cuales serán correspondientemente iguales a los de la otra mitad por la simetría que existe, ya sea en la repartición de las cargas como en el tipo de la armadura mismo.

Indicaremos, sinembargo, que siguiendo las reglas dadas anteriormente, una comprobación de que los esfuerzos están bien determinados se realiza al término del polígono, el cual debe quedar siempre cerrado. En nuestro caso, tal cosa ha sucedido, pues, observando la fig. 4—B vemos que el penúltimo polígono que ha quedado cerrado es el correspondiente el nudo *odeqp*., cuyos lados han quedado determinados por los vectores OD, DE EQ, QP, y PO. Luego pasando al nudo de la cumbrera *qefr*, tenemos en él conocidos *qe* y *ef*; pues bien, siguiendo el orden cíclico se ha trazado en el polígono Cremona las respectivas paralelas: por el extremo Q una paralela a la barra *q r* que es QR y por el extremo F de la fuerza EF cuya mitad pertenece a la otra mitad de la armadura, se ha trazado una paralela a *f r*, la cual ha interceptado a QR en un punto sobre el vector BK, quedando por tanto; cerrado también este último polígono.

De este modo e interpretando cada una de las longitudes por medio de la escala adoptada, se han obtenido los valores de los esfuerzos consignado en el cuadro I que está al pie de la fig. 4-B en la pág. 7.

Ahora bien, no es demás comprobar por el método de Ritter (analítico o de los momentos) los esfuerzos de una o más barras cualesquiera. Por ejemplo: Consideremos la sección S-S, que cortan las barras *d o*, *o n*, *n z*, y calculemos el esfuerzo de *do* tomando para ello los momentos con respecto al, nudo en el que concurren las otras dos barras cortadas por la sección o sea con respecto al nudo *znopz;* entonces tendremos:

Mom. de la Reacción Izquierda—Mom de las fuerzas exteriores *ab*, *bc*, *cd* debe ser igual al Mom. de la fuerza *d o*

Expresando esto numéricamente, tenemos:

$$2.203{,}2 \times 6 - 275{,}4 \times 6 - 550{,}8 \times 4 - 550{,}8 \times 2 = 1{,}2 \times DO$$

De donde *DO*=6.885 Kgs.

En la ecuación de los momentos se observa que siendo las fuerzas paralelas y en sentido contrario, sus respectivos momentos son también de sentido contrario. El valor encontrado para DO es tan aproximado al de 6.800 Kgs. que se ha encontrado gráficamente, que en la práctica es suficiente este último para los efectos del cálculo. Creemos innecesario continuar la comprobación de la exactitud de los resultados hallados por el método de Cremona, puesto que ya se ha hecho con la barra *DO*.

Cabe observar aquí que el diagrama Cremona da un esfuerzo nulo para la barra *k l*; pero es indudable que si en verdad dicha barra no desarrolla ningún esfuerzo, no es menos cierto que su función se concreta a evitar la flexión del tirante *z k*, función bastante importante en la estabilidad del sistema.

Determinación de los esfuerzos producidos por el empuje del viento.

Una vez calculados los esfuerzos desarrollados en cada una de las barras de la armadura, por efecto de las cargas permanentes, entraremos a calcular los esfuerzos debidos a las cargas nó permanentes que, en el presente caso, solo se reduce a la acción del viento.

Al analizar las cargas sobre la armadura habíamos determinado que el empuje producido por la componente normal del viento sobre cualquier nudo intermedio de la armadura era de 306 Kgs. y para los nudos de los apoyos $\dfrac{306}{2} = 153$ Kgs.

Iguales consideraciones de las hechas para las cargas permanentes, cabe hacerlas aquí, con respecto a la simetría del empuje del viento y la de armadura misma, la cual nos autoriza a calcular los esfuerzos correspondientes solo a media armadura.

Para iniciar este proceso gráfico es preciso determinar primero las reacciones en los apoyos. Para esto se traza la mitad del polígono de las fuerzas, ya nó sobre una línea vertical sino, sobre una línea paralela a la dirección del viento o mejor dicho, a la componente normal de éste sobre la cubierta. En efecto consideremos que sobre la vertiente de la izquierda (fig. 5—A) está actuando el viento; en una línea paralela a la normal al plano inclinado de la cubierta se traza el polígono dinámico o de las fuerzas *ABCDEF*. Para determinar las reacciones, se traza un polígono funicular de polo arbitrario P, cuya línea de cierre A A transportada sobre el polo P nos determina en el dinámico el punto Z que lo divide en 2 vectores representativos de los valores de las respectivas reacciones de los apoyos; así obtenemos el vector AZ=900 Kgs. como valor de la reacción en apoyo izquierdo y el vector ZF=324 Kgs. como valor de la reacción en el apoyo derecho (fig. 5—B).

Los valores hallados gráficamente pueden comprobarse analíticamente por medio de las proporciones establecidas en la demostración del teorema de fuerzas paralelas desarrollado en la pág. 116 del Tratado de Mecánica Industrial de Ph. Moulan; si estableciendo analogía con nuestro caso consideramos las dos reacciones de los apoyos, como fuerzas componentes de la resultante, que en nuestro caso es la equilibrante o sea el empuje total del viento sobre toda la vertiente. La línea de acción de esta última pasa por el punto W de intersección de los lados extremos del funicular trazado, e intercepta la línea de unión de los puntos de aplicación de las componentes (o reacciones) en el punto W, cuyas respectivas distancias a los apoyos se las puede determinar por la escala del dibujo. Aplicando la parte pertinente del mencionado teorema de composición de fuerzas que dice: "la resultante de dos fuerzas paralelas y del mismo sentido divide la recta de unión de los puntos de aplicación de las componentes en dos partes inversamente proporcionales a sus intensidades", tenemos, la proporcionalidad siguiente según la notación usada en el dinámico:

$$\frac{A\ F}{a\ z} = \frac{16}{11{,}7} \quad \text{o} \quad \frac{1.224}{a\ z} = \frac{16}{11{,}7}.$$

$$\text{De donde: } a\ z = \frac{1.224 \times 11{,}7}{16} = 895 \text{ kgs.}$$

resultado bastante aproximado a 900 kgs. que se ha encontrado por el gráfico.

Una vez determinados los valores de las reacciones en los apoyos, procederemos a la construcción del polígono Cremona (fig. 5—B), cuyo proceso es exactamente análogo al que hicimos cuando se trataba de la carga permanente y solo hacemos notar que, por ser los esfuerzos más pequeños que los anteriores, hemos aumentado la escala o sea que en este caso 1 cm. vale o representa 200 Kgs., con el fin de hacer más exacta la apreciación de los vectores.

Comenzando por el nudo del apoyo izquierdo, determinamos los esfuerzos de las barras *bk* y *kz*, trazando paralelas a dichas barras por los puntos *B* y *Z* del dinámico. Luego se pasan, consecutivamente, paralelas concurrentes en cada uno de los nudos de la armadura teniendo siempre presente que, en la consideración de éstos, debe seguirse el mismo sentido, que en nuestro caso hemos adoptado el del movimiento de los punteros de un reloj, y además, que para la determinación de la clase de esfuerzos y su magnitud ha de imperar el orden cíclico en el trazado de los polígonos parciales.

Para comprobar que el diagrama de Cremona está exactamente dibujado hay que observar y comprobar que las intersecciones de los vectores CM, ZK,0P y PQ estén localizadas en un punto común P y que además los puntos K,M,O,Q se encuentren situados en una misma línea recta y equidistantes unos de otros como puede verse en la fig. 5—B.

Por medio del diagrama Cremona hemos determinado los esfuerzos producidos en las barras por la acción del viento y tales resultados se hallan consignados en el cuadro II, al pie de la fig. 5—B, en el cual observamos lo mismo que en el anterior, que la barra k l no desarrolla ningún esfuerzo.

Ahora réstanos, pues, determinar los esfuerzos totales a los que están sometidas las piezas de la armadura en estudio para lo cual no habrá sino que adicionar unos a otros los respectivos esfuerzos obtenidos anteriormente tal como se indica en el Cuadro III. Con estos esfuerzos entraremos al cálculo de las secciones para las diferentes piezas de la armadura, aplicando para ello los principios de la Resistencia de Materiales.

Cálculo de las secciones de cada una de las piezas:

Debemos tener presente que los materiales de que va a ser construída la armadura es la madera y el hierro, combinados convenientemente según las funciones que vayan a desempeñar cada una de las piezas.

Cálculo de los pares: En el cuadro III vemos que los esfuerzos encontrados para las barras b k, c m, o d, e q, que constituyen un par, son respectivamente, 13.150, 11.040, 9.020, y 6.945 Kgs. a la comprensión, resultado que son aceptables puesto que mientras más se aproxima a la cumbrera las fuerzas disminuyen; por tanto, debemos escoger el mayor de tales esfuerzos para con él, calcular una sección que la hemos de adoptar uniforme para todo el par aunque excesiva en la parte superior, ya que, haciendo el cálculo separadamente para cada esfuerzo, la sección iría disminuyendo progresivamente conforme se acerca a la parte superior, resultado éste, que traería dificultades en la construcción y especialmente en cuanto se refiere a los ensamblajes, en el caso de ser estas piezas de madera como la vamos a hacer.

El mayor esfuerzo es, pues, de 13.150 Kgs. a la compresión. La longitud del par entre dos nudos consecutivos o sea la longitud de la barra b k es de 2,04 Mts.

Adoptemos como menor dimensión transversal de la sección del par 20 cms. y establezcamos la razón entre su longitud y dicha menor dimensión:

$$\frac{204}{20} = 10{,}2$$

ESCALAS.
DE LONGITUDES · 1 cm = 1 MT.
FUERZAS · 1 cm. = 200 Kgs

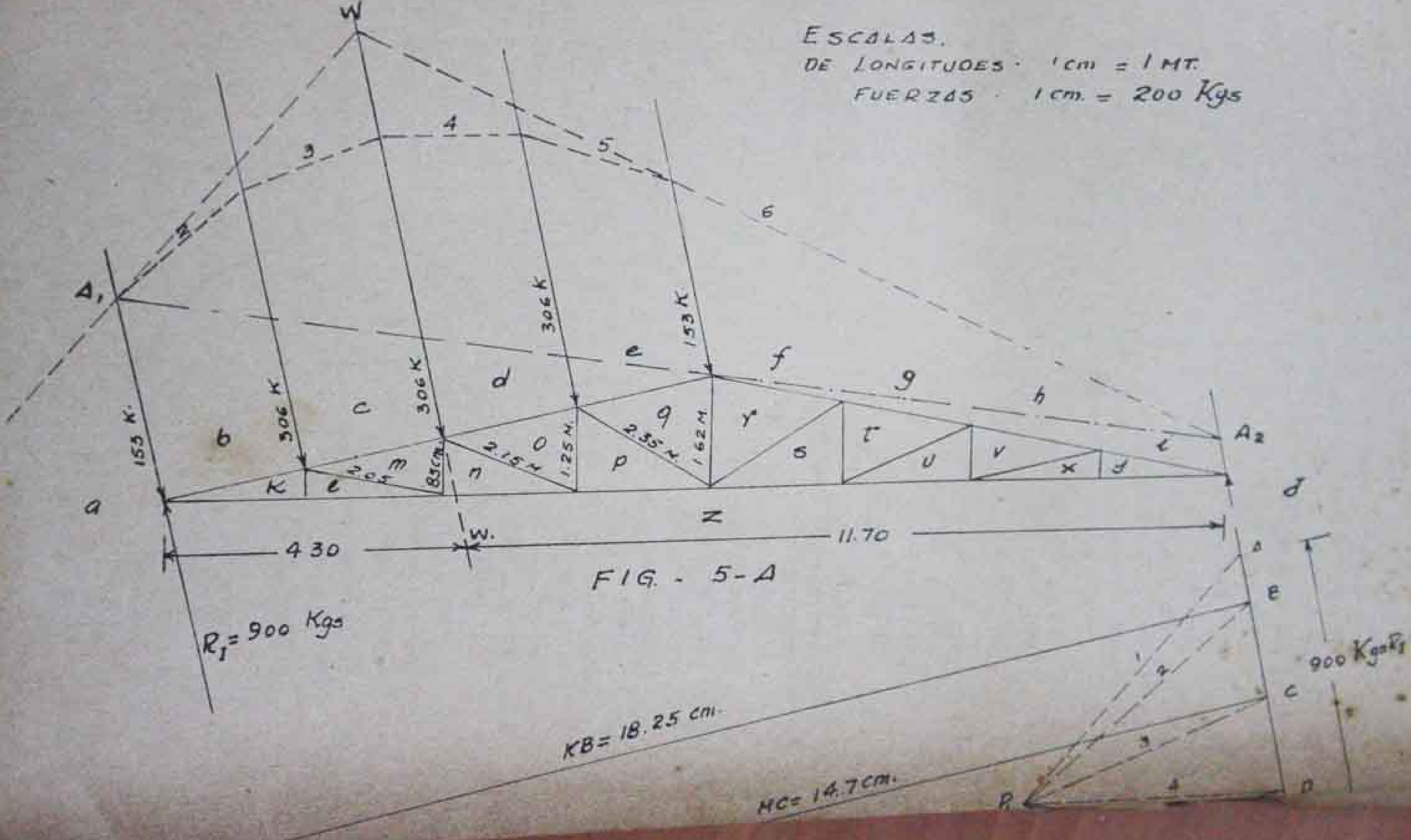


FIG. - 5-A

Como esta razón es mayor que 5 o sea, que la altura es mayor que 5 veces la menor dimensión transversal adoptada, será preciso calcular la sección como una pieza que está sujeta a flexión lateral por medio de la fórmula de Rankine la cual dá la sección en función de un coeficiente especial deducido precisamente teniendo en cuenta las posibilidades del pandeo en virtud de la razón que antes hemos hallado.

En efecto, podemos considerar nuestro caso como el II de los considerados en la pág. 221 del "Manual del Ingeniero" de Colombo, es decir, una pieza cuyos extremos están articulados. El coeficiente de trabajo que debe emplearse según el citado autor es:

$$K_{,}=\frac{K}{n}$$

en donde: K,: es el coeficiente de seguridad que debe emplearse para evitar el pandeo, en la fórmula de compresión simple.

K: Coeficiente normal del material

n: factor calculado por Rankine en función de la razón entre la longitud de la pieza y su menor dimensión transversal y que está dado en forma tabular en la pág. 720 del Tratado de Barberot o en la 222 del Manual Colombo, resolviendo regirnos por el primero de éstos.

Entonces, si en el caso presente la razón $\frac{l}{a}=\frac{204}{20}=10{,}2$

el factor de seguridad n, dado por la tabla es 1,96

y por tanto, el coeficiente que deberá emplearse en el cálculo de la pieza por compresión, será:

$$K_{,}=\frac{60}{1{,}96}= 30 \text{ Kgs. p/cm}^2$$

habiéndose adoptado como coeficiente de trabajo a la compresión, de la madera, K=60 Kgs. p./cm² (según la tabla, XXIX, pág. 216 de Colombo).

Con el coeficiente encontrado y valiéndonos de la fórmula corriente para la comprensión simple: P=S K

en la que: P=carga soportada por la pieza

S=sección conveniente de la pieza

K=coeficiente de trabajo del material (que en este caso es el valor de K,).

podemos determinar la sección S en dicha fórmula. Así:

$$S = \frac{P}{K1} = \frac{13.150}{30} = 438 \quad Cm^2$$

Si aceptamos nuestra primera suposición de que el lado menor de la sección sea b=20 cms. podremos encontrar el otro lado:

$$h = \frac{438}{20} = 21 . 9 \text{ cms. o sean } 22 \text{ cms.}$$

Por tanto los pares tendrán una sección uniforme de 22 x 20 cms.

Cálculo de los tirantes: Observando el cuadro III, vemos que esfuerzos obtenidos para las barras *kz, lz, nz, pz* que constituyen el medio tirante, son: 13.040, 13.040, 10.510, y 8825 Kgs. a la tensión. Puede calcularse secciones separadas para cada una de estas barras; pero en la práctica es mejor calcular dicha sección para el esfuerzo máximo desarrollado y adoptarla como sección uniforme en toda la longitud del tirante.

Esfuerzo máximo obtenido: 13.040 Kgs. actuando sobre la barra *k s.*

Si adoptamos como coeficiente de trabajo a la tracción, de la madera, K=60 Kgs. p|cm^2, calcularemos la sección por la sencilla fórmula de tensión: P= S . K , en la cual:

1=carga soportable por la pieza
S=sección de la misma
K=coeficiente de trabajo del material

Despejando en esta fórmula el valor de la sección, tenemos:

$$S = \frac{P}{K} = \frac{13.040}{60} = 217 \text{ Cms}^2$$

Podemos adoptar una sección cuadrada de lado *B*, entonces:

$$b^2 = 217 \text{ cms}^2 \; ; \; b = \sqrt{217} = 14{,}7 \text{ cms. o } \textit{sea 15 cms.}$$

Las dimensiones de la sección en toda la longitud del tirante de la armadura será, pues, *15 x 15 cms.*

Cálculo de los jabalcones: Como los tres jabalcones de que consta la media armadura tienen escasa diferencia en cuanto a su longitud y a sus esfuerzos bien podría hacerse un solo cálculo adoptando el mayor esfuerzo y la mayor carga; pero como son piezas aisladas, al contrario de lo que sucede con los pares que son una sola pieza, vamos a hacer los cálculos separadamente.

jabalcón *l m* y su simétrico *v x*:

Esfuerzo de compresión P 2.165 Kgs.—Coef. de trabajo de la madera K=60 Kg p/cm^2.—Longitud=2,05 Mts.

Adoptemos como menor dimensión transversal de la sección, a=15 cms.

Siendo la longitud l, la razón:

$\frac{l}{a}=\frac{205}{15}=14$, dá según la tabla de Barberot, un coeficiente de seguridad igual a $\frac{K}{n}=\frac{60}{2,88}=20$ kg p/cm2

Aplicando este coeficiente a la fórmula de la compresión simple dada ya anteriormente, tenemos:

$$S=\frac{P}{K}=\frac{2.165}{20}=108 \text{ cm2}$$

Adoptando una sección cuadrada de lado a, tenemos:

$$a=\sqrt{108}=10,4 \text{ cms.}$$

Luego la sección tendrá por dimensiones: *10 x 10 cms.*

Jabalcón *o n* y su simétrico *u t* :

Esfuerzo de compresión p=2.255 Kgs.; Coef. de trabajo de la madera:

K=60 Kgs. p/cm^2 Longitud: l=2,15 mts.

Tomando como menor dimensión transversal de la sección a=15 cms.

$$\frac{l}{a}=\frac{215}{15}=14,3$$

Según la tabla dada por Barberot para $\frac{l}{a}=14,3$, el factor de seguridad n=2,88 y por tanto el coeficiente de seguridad, que debe emplearse será: $\frac{60}{2.88}=20$ y la sección será.

$$S=\frac{P}{K}=\frac{2255}{20}=113 \text{ cm}^2$$

adoptando una sección cuadrada, el lado a será: $a=\sqrt{113}=11$ y la sección tendrá por dimensiones *11 x 11 cms.*

Jabalcón *p q* y su simétrico *r s:*

Esfuerzo de compresión P=2.435; Coef. de trabajo de la madera K=60 K p/cm²

Longitud l=2.35 mts.

Adoptando como menor dimensión transversal a=15 cms.

$$\frac{l}{a}=\frac{235}{15}=16$$

La tabla dá para $\frac{l}{a}=16$, el factor n=4

Luego el coeficiente de seguridad será: $K=\frac{60}{4}=15$

Y la sección será:

$$S=\frac{P}{K}=\frac{2.435}{15}=162 \text{ cms}^2$$

Si la sección la deseamos cuadrada: $a=\sqrt{162}=13$ cms.

Las dimensiones de la sección será pues: *13 x 13 cms.*

Cálculo de las péndolas: Las barras *k l* y su simétrica *x y* hemos dicho ya, y el gráfico nos lo prueba, no desarrollan ningún esfuerzo y su acción se limita a evitar la flexión del tirante.

Barras *m n* y su simétrica *u v*:

Esta barra la vamos a considerar de hierro.

Esfuerzo de tensión P=410 Kgs.; Coef. de trabajo del hierro a la tensión K=600 Kgs. p/cm². – Longitud l=0,85 mts.

La fórmula de la tensión es como la de la compresión: P=s . k

P=peso o carga
S=sección
K=coef. de trabajo.

Aplicándola para hallar la sección de la barra, tenemos:

$$S=\frac{P}{K}=\frac{410}{600}=07 \text{ cm}^2$$

Si adoptamos la sección circular para esta barra, tenemos:

$$0,7=\frac{\pi d^2}{4} \text{ de donde: } d^2=\frac{0.7 \times 4}{3,14}=0,89 \text{ cms.}=89 \text{ m. m.}$$

luego el diámetro $d=\sqrt{89}=9,4$ m m.

Ahora bien, cabe observar que, como en los extremos de esta barra se ha de hacer las roscas para los pernos que han de sujetarla tanto en los pares como en el tirante, se puede aumentar su diámetro de 9,4 mm. a 12, 7 mm. o sea 1|2'' para adaptarlo así a las especificaciones comerciales más usuales. Además, diremos también que el peso de la barra es despreciable comparado con la fuerza externa y no vale la pena tomarlo en cuenta para el cálculo; pues, el Catálogo de la United States Steel Products Cº da un peso para barra de 1/2'' de 0,904 Kgs. por metro.

Barras *o p* y su simétrica *t s:*

Esfuerzo de tensión p: 870 Kgs.; Coef. de trabajo del hierro a la tensión K: 600 Kg p/cm². Longitud l=1, 25 mts.

Aplicando la fórmula para la Sección:

$$S=\frac{P}{K}=\frac{870}{600}=1,45 \text{ cm}^2$$

Como la sección ha de ser redonda, tenemos:

$$145 \text{ mm}^2=\frac{\pi d^2}{4}; \text{ de donde } d^2=\frac{4 \times 145}{3,14}=184 \text{ mm}^2$$

$$\text{luego } d=\sqrt{184}=13,6 \text{ mm}$$

Por las mismas razones anteriores, se hará aumentar el diámetro de 13,6 mm. a 15, 8 mm. o sea 5/8'' para adaptarlo a las medidas que se encuentran en el mercado. En este caso también es despreciable el peso propio de la barra el mismo que según el Catálogo que hemos mencionado es de 1,55 Kgs. por metro lineal, que en nuestro caso daría:

1,55 x 1,25=1,93 Kgs. el peso de la barra.

Puede pues adoptarse la barra de 5/8''.

Cálculo del pendolón: Por último vamos a proceder al cálculo del pendolón *q r* :

Esfuerzo de tensión P=2.130 Kgs.—Coef. de trabajo K=600 Kg p/cm².

Longitud=1,62 mts.

Aplicando la fórmula de la tensión para hallar la sección correspondiente tenemos:

$$S=\frac{P}{K}=\frac{2130}{600}=3,55 \text{ cm}^2=365 \text{ m. m}^2.$$

Como la sección es circular, tenemos que el diámetro *d* será:

$$S=355\ mm^2=\frac{\pi d^2}{4}\ ;\ d^2=\frac{4 \times 355}{3,14}=452\ mm^2.$$

de donde $d=\sqrt{452}=21,2$ mm.

Por iguales razones que las expuestas anteriormente se adoptará un diámetro en lugar de 21,2 mm., otro de 25 mm. que equivale a 1''. En este caso es también despreciable el peso propio de la barra que es de 3,97 Kg. por metro lineal o sea que el pendolón, pesará:

$$3,97 \times 1,62=6,43\ Kgs.$$

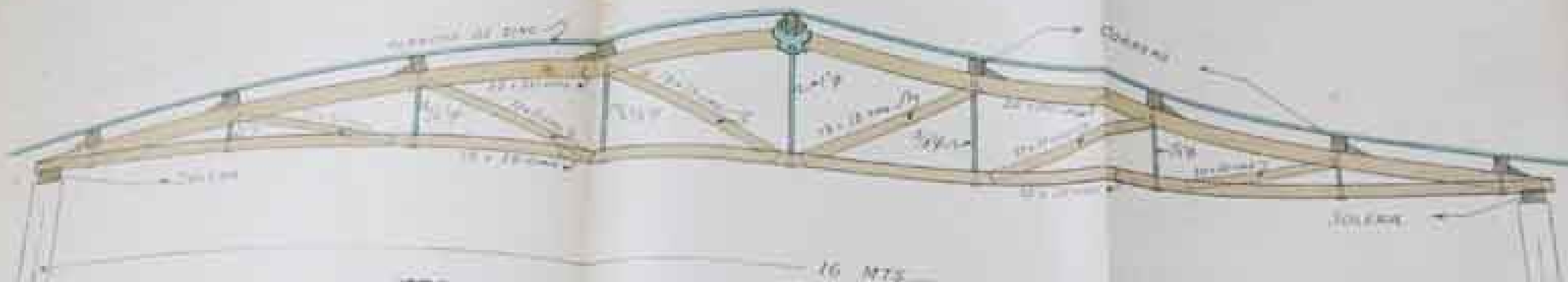
cantidad que es despreciable con respecto a los 2.130 Kgs. que soporta la barra y que por su pequeñez relativa no altera en el resultado obtenido.

Después del minucioso cálculo que hemos hecho, determinando primero las cargas permanentes y variables que actúan sobre la cubierta, hallando luego, por métodos gráficos, comprobados analíticamente, los esfuerzos desarrollados en cada una de las piezas componentes de la armadura que hemos estudiado, y, calculando por último, las secciones convenientes para cada una de ellas, hemos llegado a un resultado prácticamente aceptable si comparamos las dimensiones obtenidas con las dadas en las tablas que, referente a estas clases de construcciones, se encuentran en los manuales, obras de consulta y de textos.

Desde luego este cálculo ha sido hecho con el eficaz auxilio de Manuales como los de Hütte, Colombo y Zoroa-Sastre, y también de Tratados como los de Moulan, Barberot, Esselborn y Saliger, Catálogos de fabricantes como los de la United States Steel Products C° y los de Pont-A-Mouson, bibliografía ésta que ha estado al alcance nuestro, por el momento.

ENGINEER.

Guayaquil, Noviembre 4 de 1.934.



ARMADURA TIPO NORTEAMERICANO

Con las dimensiones obtenidas por el cálculo.

Escala 1 : 50