



ARISTO 6714

Calculadora de Triple Tambor



Introducción

En el Encuentro Internacional de coleccionistas de reglas de cálculo de 2018 presenté un estudio sobre reglas de cálculo de escalas largas. Allí, en la categoría de “otros” incluí la imagen de un “tambor Aristo” del cual solo tenía una imagen y una mínima descripción que extraje del folleto de 24 páginas “100 Años de las Reglas de Cálculo Aristo” [1]:

“1939... ARISTO tiene que dedicarse a... instrumentos para el ejercicio bélico... y calculadoras para cálculos trigonométricos con escalas de 10 m de largo sobre tres tambores rotatorios”.

Tan poca información solo me abrió la mente a las múltiples alternativas y al deseo de conocer más detalles. Para mi sorpresa al final de la presentación, nuestro compañero Klaus Kühn vino y me dijo: “Tengo uno de estos aparatos. Cuando puedas, pásate por mi casa y te lo enseño”.

He tenido que esperar cuatro años para cumplir mi deseo, pero lo que describo a continuación es lo que he aprendido de esa fructífera visita.

Para empezar, una mirada a la bibliografía

Además del acceso al ejemplar, Klaus también me facilitó copias de cuatro artículos de la época donde se describe este modelo. En el más antiguo [2], de 1949, aparece 1946 como fecha de comercialización, pero la calculadora podría haber sido diseñada ya en 1939 (del folleto de Aristo) para utilizarla con fines militares.

Los artículos describen esta calculadora con tres tambores de un diámetro de 25,5 cm y un ancho de 13 cm. Las escalas tienen 10 m de largo, y están compuestas por cien segmentos paralelos de 10 cm, habiendo unos 8 mm de distancia entre segmentos. Hay un solo cursor, pero con tres ventanas de plástico. El instrumento tiene una estructura de metal de fundición que se asienta sobre una base de madera de 61 por 38 cm. Incluso diría que tenía una tapa extraíble, pues en algunas de las fotos creo que se aprecian medias bisagras en el borde lateral de dicha base.

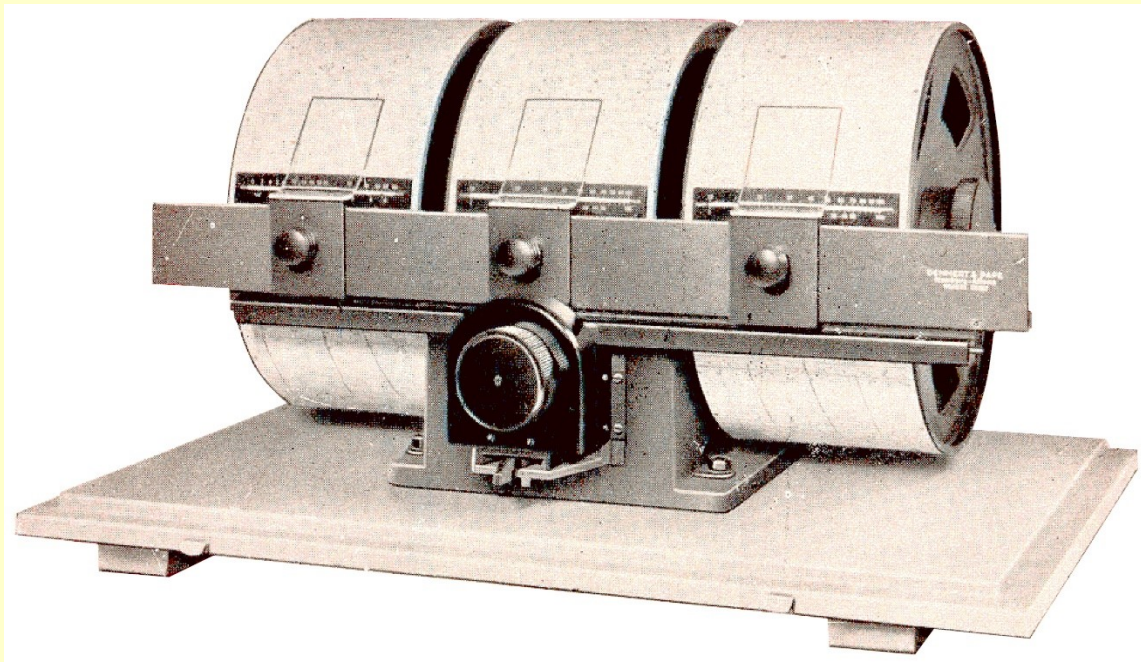
De los tres tambores, el central es fijo y los dos laterales son desmontables. También se menciona que existen cuatro tambores distintos, dos con escalas numéricas (uno de ellos el tambor fijo), uno para senos y otro para tangentes. De esta manera, son posibles diferentes combinaciones de escalas en la calculadora.

Finalmente, en cada escala hay una línea diagonal que cruza todos los segmentos, para facilitar una primera localización aproximada de un número. Por otro lado, en estos artículos siempre se hace referencia al dispositivo como de Dennert & Pape, no como de Aristo.

Aparte de esto, en [2] hay una indicación de que el diseño puede tener un antecedente en una calculadora de Fuss (y éste podría ser otro dispositivo interesante de encontrar y estudiar).

El Catálogo de 1948

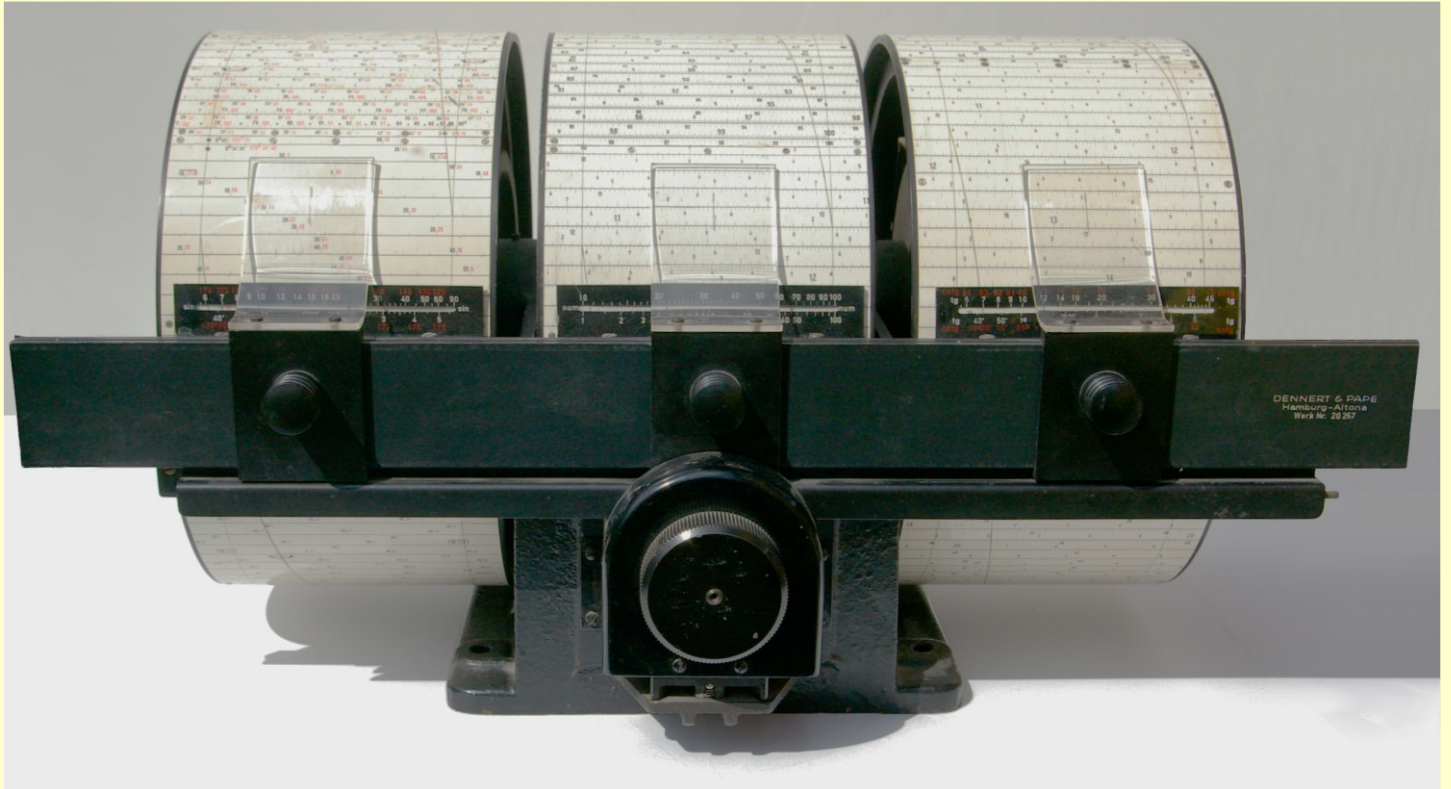
Karl Kleine se enteró de la existencia este artículo mientras se estaba editando para la revista de la Oughtred Society y localizó y compartió conmigo la copia de un catálogo de Aristo de 1948, (celebrando los 75 años de la empresa). Este catálogo proporciona nueva información como el número de modelo 6714 y su descripción como “modelo para la oficina”. También muestra la opción de seleccionar las escalas trigonométricas para ángulos sexagesimales (360°) o para gradianes (400°), y le asigna un increíble peso de 38,5 kg. Por mi experiencia con el ejemplar de Klaus, yo más bien diría que hay un error en el 3, y serían 18,5 kg.



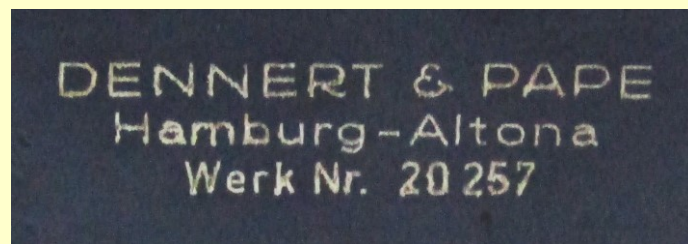
Curiosamente, esta calculadora es el único instrumento del catálogo que aparece como “Dennert & Pape”, siendo todo el resto modelos “Aristo”. Karl también indicó que en la lista de precios respectiva este dispositivo aparecía como “bajo pedido”, lo que apuntaría a haber varias versiones a elegir, quizá con la posibilidad de decidir cuáles y cuántos tambores comprar. No he encontrado esta calculadora en el catálogo ni la lista de precios de 1950, ni en los siguientes que se pueden encontrar en los CD del libro de Aristo [6]. Esto sugiere que la disponibilidad comercial de este dispositivo fue breve, de 1946 a 1949.

Vista general del producto

Esta es la imagen que presenta el ejemplar en estudio:



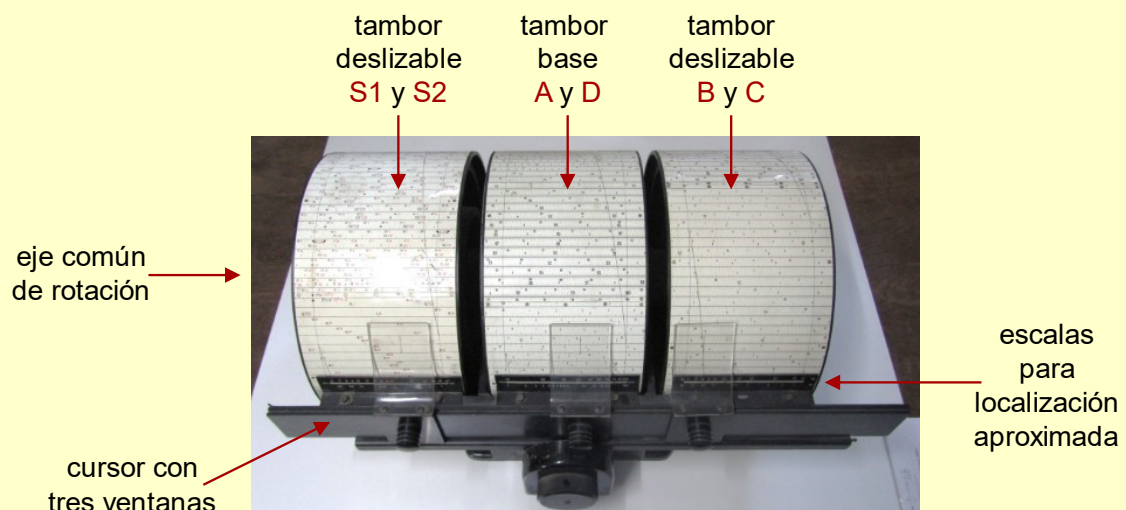
Y vemos que está identificado como Dennert & Pape (no Aristo). El número 20257 debe ser el número de serie.



Este ejemplar no tiene la base de madera bajo el cuerpo de metal fundido. Los tambores están hechos de gruesas ruedas de metal mecanizado con una lámina de plástico con las escalas atornillada en su perímetro.

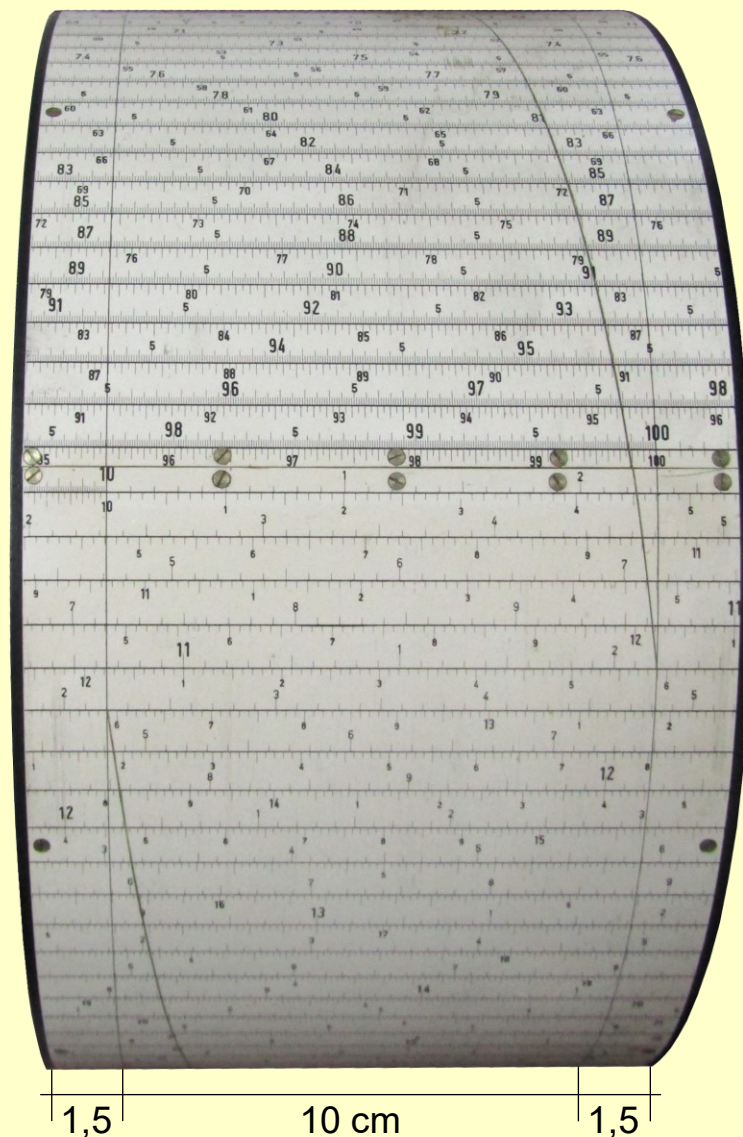
Las partes principales

Creo que la imagen es auto explicativa. Los detalles de cada parte se describen en los siguientes capítulos.



El tambor B y C (igual al tambor A y D)

Fue más fácil tomar fotos del tambor B y C desmontado que del tambor A y D, y ambos son iguales:

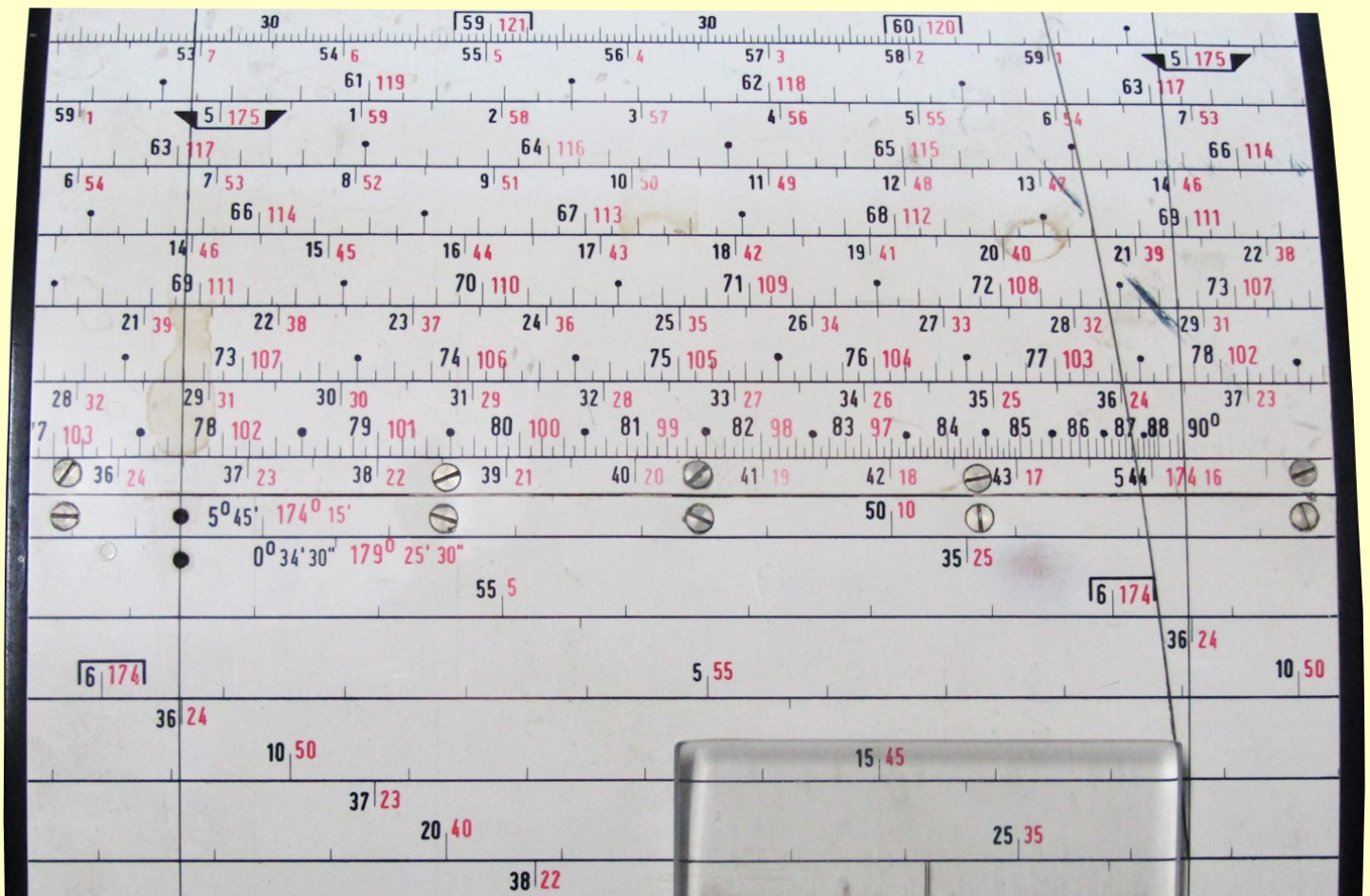


En la imagen podemos ver parte de los 100 segmentos de 10 cm (con una línea vertical al principio y al final), con 1,5 cm de marcas de escala extendida en cada extremo. Además, se ve fácilmente la línea diagonal, que comienza en el sexto segmento y termina en el quinto segmento.

Con un poco más de cuidado, identificamos la escala C (una década logarítmica), como las marcas sobre la línea de base de cada segmento, y la escala B (dos décadas logarítmicas), debajo de dicha línea de base. En la escala C hay marcas para leer cuatro dígitos de cualquier número. En la escala B hay marcas para leer cuatro dígitos al principio, pero tres dígitos y el "5" del cuarto dígito al final.

El tambor de Senos (S1 y S2)

Con la misma estructura que los tambores numéricos (longitud, segmentos...), el tambor de senos también tiene dos escalas. La primera corresponde a la escala S en una regla de cálculo de sobremesa, y va desde $5^{\circ} 45'$ hasta 90° . Las marcas están sobre la línea de base de cada segmento. La segunda corresponde a la escala ST, pero aquí solo para senos. El rango es de $0^{\circ} 34' 30''$ a $5^{\circ} 44'$, y las marcas están debajo de la línea de base de cada segmento.



Para hacer las cosas “más fáciles”, cada escala también incluye en color rojo los ángulos del segundo cuadrante. Para la primera escala (superior), el rango va de $174^{\circ} 15'$ a 90° , y para la segunda escala (inferior) el rango es de $179^{\circ} 25' 30''$ a $174^{\circ} 16'$.

En cuanto a las distancias entre marcas, al principio de la escala superior (S), hay una marca por cada minuto, pero al final de la escala estas solo marcan cada grado. En la escala inferior hay una marca cada 30 segundos.

Como ayuda para encontrar los números de grados, estos se enmarcan por encima en la escala superior:

6 174

Y éstos se enmarcan por debajo en la escala inferior (con un triángulo negro a cada lado):

5 175

Como en los tambores numéricos, existe la línea diagonal para ayudar en la selección del segmento para un ángulo dado. Aparte de esto, al comienzo del primer segmento hay dos puntos negros, quizás para ayudar a identificar dicho segmento (para un reinicio rápido del tambor, por ejemplo).

El tambor de Tangentes (T1 y T2)

El ejemplar en estudio no tenía el tambor de tangentes. Sin embargo, se pueden suponer algunos detalles a partir de las escalas de senos y de la bibliografía. El diseño será muy similar al del tambor de senos, con dos escalas, la superior con el rango de una escala T en una regla de cálculo de sobremesa y la escala inferior con el mismo rango de una escala ST.

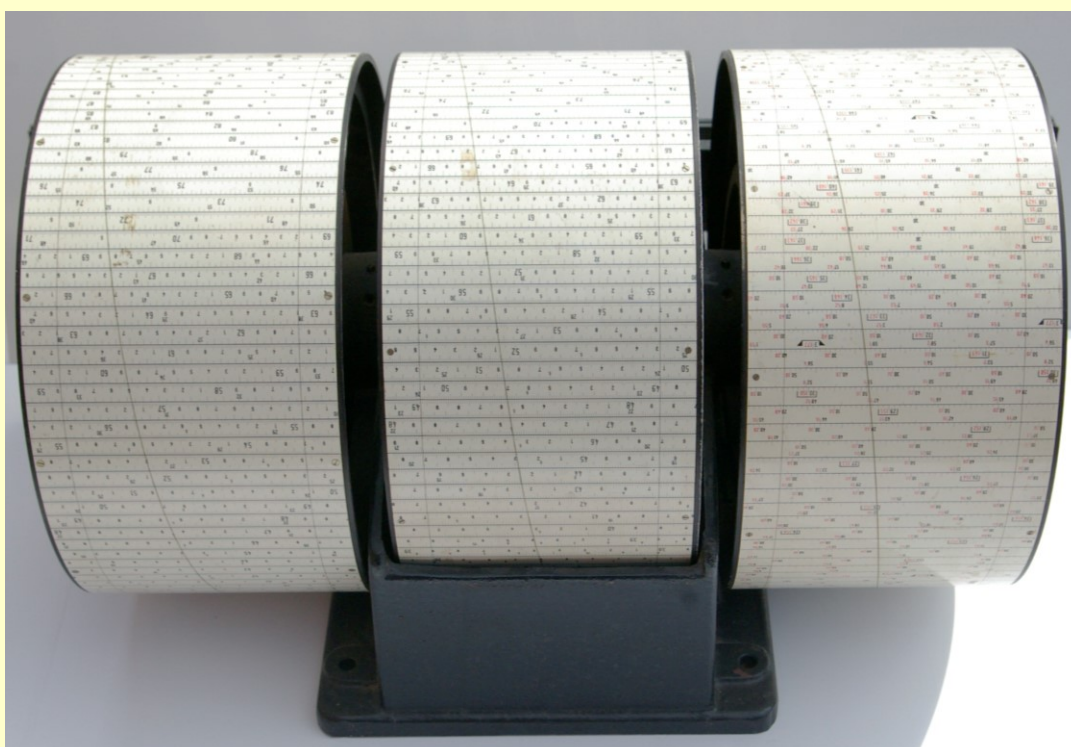
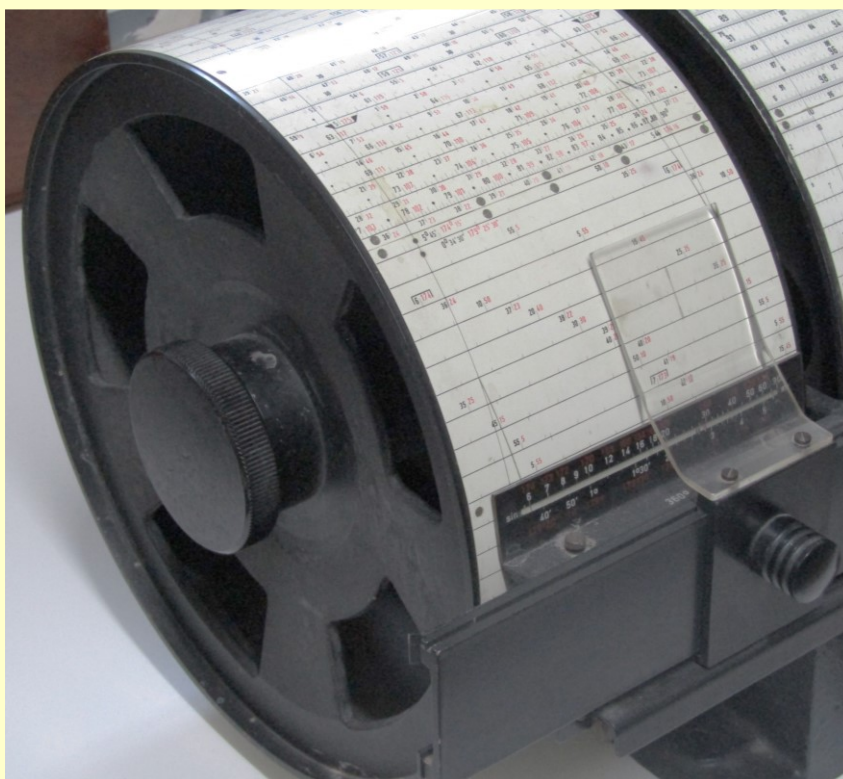
Además, en color rojo las escalas proporcionarán los ángulos para cotangentes. En resumen, la escala superior irá de $5^{\circ} 43'$ a 45° y de $84^{\circ} 17'$ a 45° , y la escala inferior irá desde $0^{\circ} 34' 30''$ hasta $5^{\circ} 42' 30''$ y desde $89^{\circ} 25' 30''$ hasta $84^{\circ} 17' 30''$. Se desconocen las distancias entre marcas, aunque también cabría esperar una similitud con las escalas de senos. Mi hipótesis sería que la escala T empezaría con una marca por minuto, como la S,

para acabar, quizá, con una marca cada 5 minutos. Y la escala inferior sería igual a la escala inferior de senos, con una marca cada 30 segundos.

Por otro lado, es segura la existencia de marcos resaltando los números de grados, al igual que en las escalas de senos, y ciertamente habrá una línea diagonal que cubra todos los segmentos de la escala.

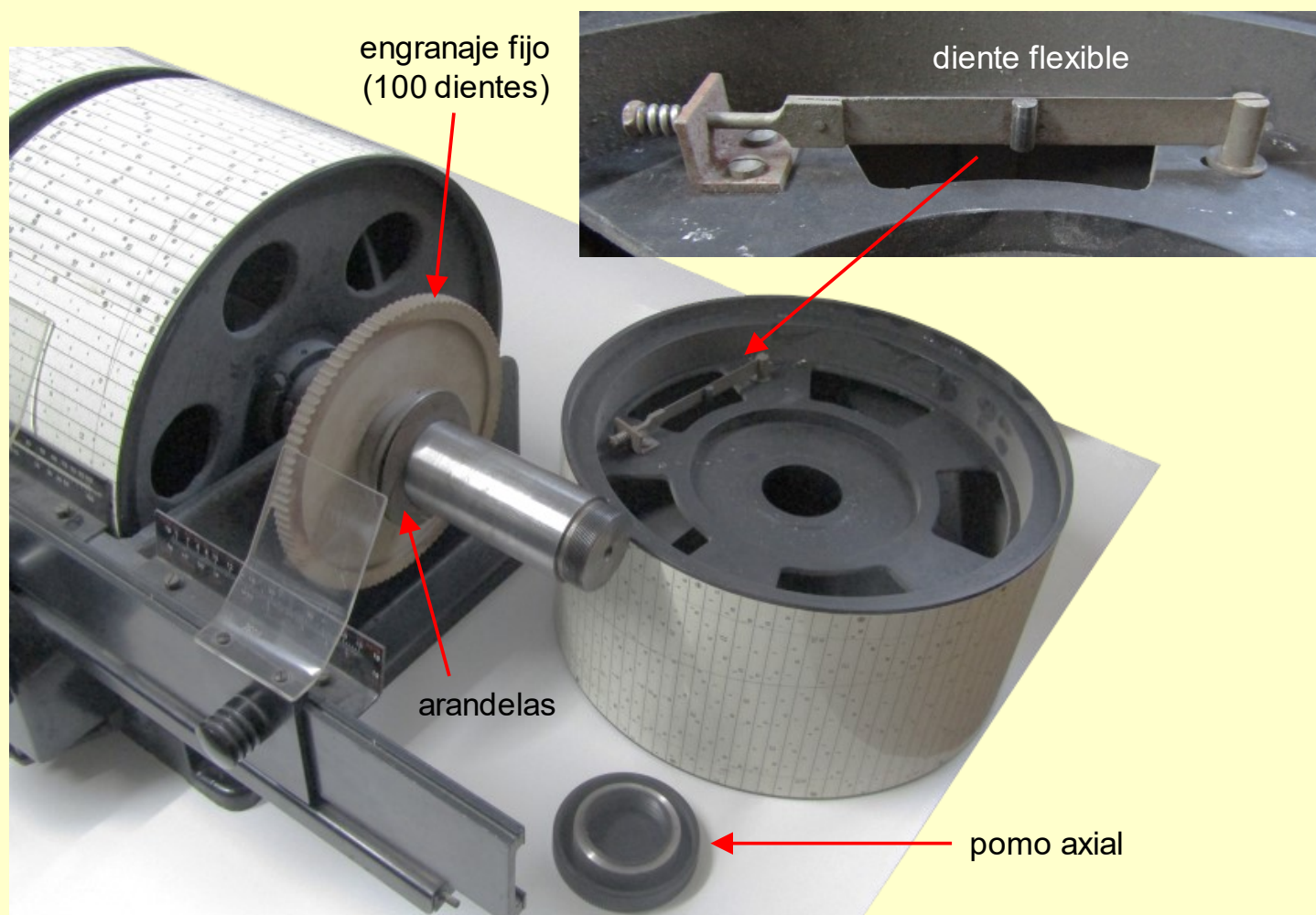
La rotación común de los tambores

Los tres tambores comparten un eje común, y cada uno de los pomos en los extremos del eje permite girarlo, moviendo los tres tambores al mismo tiempo. De hecho, los tambores parecen llantas de ruedas de automóvil fijadas por una tuerca ciega en el buje (el pomo):



La rotación relativa de los tambores laterales

Asimismo, desenroscando dichos pomos se liberan los respectivos tambores laterales, permitiendo cambiarlos por otros. Cuando desmontamos uno de los tambores laterales, podemos observar los medios mecánicos para permitir el deslizamiento independiente:



Al retirar el tambor vemos un par de arandelas que eliminan la holgura lateral (movimiento) una vez que el pomo axial está atornillado en su lugar. Junto a éstas hay un engranaje solidario con el eje y con 100 dientes. Un diente flexible, atornillado en la cara interior del tambor, se acopla al engranaje y proporciona tanto la alineación de segmentos con los del tambor central, como los cien pasos para deslizarlo saltando un segmento cada vez.

La disposición de los engranajes es simétrica para el otro tambor lateral, y esto significa que el tambor que encaja en el lado derecho estaría invertido en el lado izquierdo (no he visto agujeros en la cara exterior de la "llanta" para cambiar el diente de flexión al otro lado).

Creo que en tal montaje invertido las escalas se convertirían en BI y CI pero la numeración estaría boca abajo, así como la ubicación de las dos escalas (posiciones superior e inferior invertidas). Además, como veremos después, la línea diagonal sería inútil. Por lo tanto, si el tambor con tangentes estuviera diseñado para montarse en el lado derecho, entonces solo serían posibles dos configuraciones de tambor:

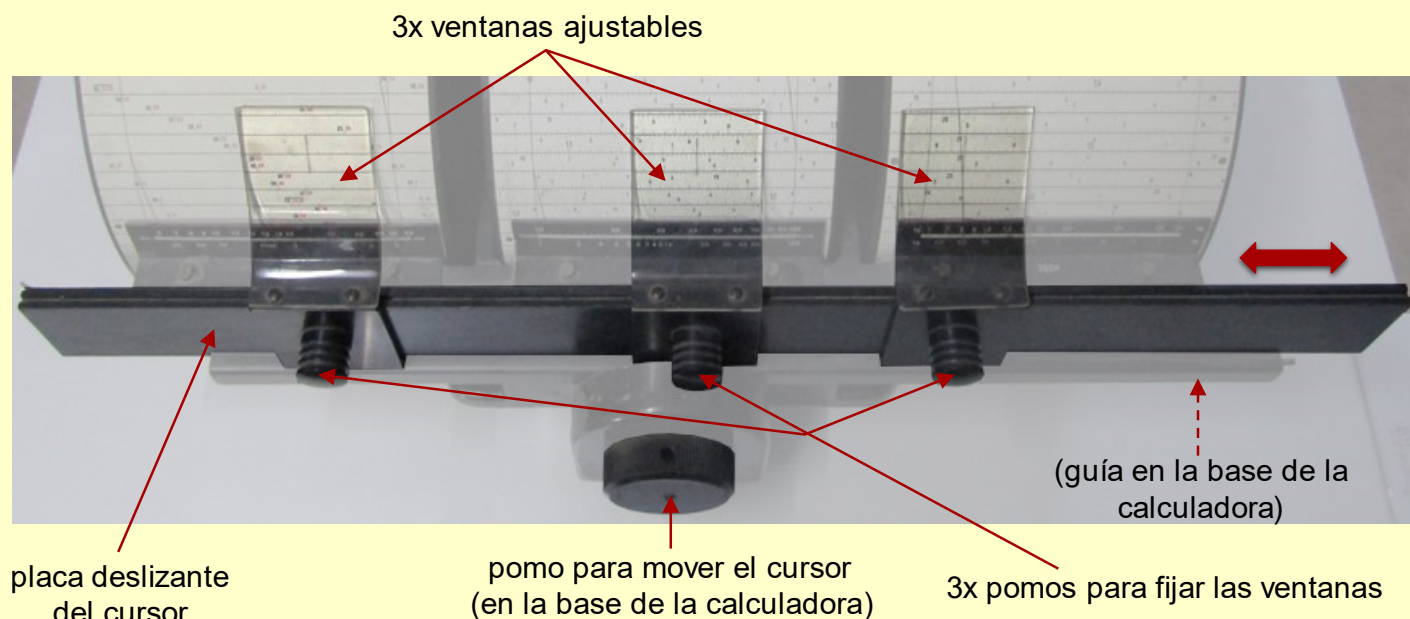
Senos – Números – Números

Senos – Números – Tangentes

Sin embargo, en [1] se menciona que existe la alternativa de una tercera combinación, cambiando un tambor de izquierda a derecha. Esto (si no es un error) solo podría ser posible cambiando el diente flexible de una cara de la "llanta" a la otra. Supongo que podría existir la opción de solicitar una configuración específica de tambores al comprar la calculadora. De esta manera, se podría pagar por un cuarto tambor o incluso más para tener total flexibilidad, o incluso un tambor con dos dientes flexibles para permitir el montaje bilateral.

El cursor de tres ventanas

En esta calculadora, la base del cursor es una placa horizontal deslizante de unos 54,5 cm de largo y 5 cm de ancho delante de los tres tambores. Esta placa puede moverse lateralmente sobre una guía en la base que es más larga hacia la derecha. El ancho total de los tres tambores montados es de 43,5 cm, o unos 47 cm si se consideran los pomos axiales laterales.

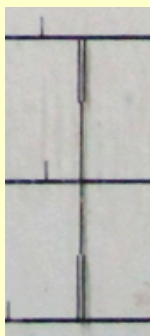


Sobre dicha placa deslizan también lateralmente tres ventanas con las líneas de índice (una por tambor). El cursor completo se mueve lateralmente con un pomo central ($\varnothing 5,5$ cm), fijo en la base de la calculadora.

Las ventanas (sin marco) del cursor

Las tres ventanas son iguales. Hechas de plexiglás, [4], cada ventana tiene 5 cm de ancho y unos 8 cm de alto. Están atornilladas a sendas placas pequeñas que deslizan sobre la placa principal del cursor, (a lo largo de ranuras de guía centradas en los bordes superior e inferior de la placa principal). Cada pequeña placa se puede fijar enroscando el pomo de fijación de la ventana ($\varnothing 2$ cm), de forma que se mantengan las distancias entre las ventanas al desplazar todo el cursor.

La línea de índice combina una línea central con dos pares de líneas un par por encima y el otro por debajo. Esto permite enfocar fácilmente el segmento sobre el que operar.

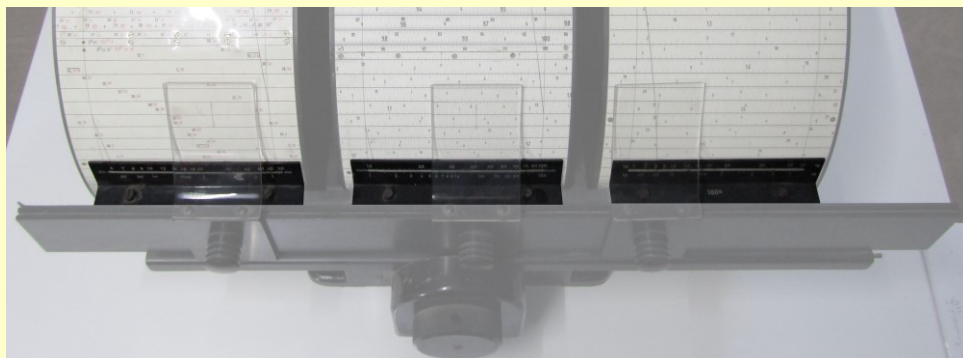


La longitud total es la de la distancia de tres líneas base de segmento, de manera que se centre perfectamente en el segmento de cálculo. El motivo de la posición vertical de la línea de índice en la ventana, además de para facilitar la lectura, se explica más adelante.



Las escalas para localización aproximada

Para poner la línea de índice del cursor sobre un número en un tambor, hace falta primero situar el segmento correspondiente de la escala debajo de dicha línea de índice. La calculadora dispone de un sistema para facilitar este ajuste inicial, que llamo localización aproximada. Para empezar, justo sobre la placa principal del cursor hay tres placas horizontales fijadas a la base de la calculadora (una en frente de cada tambor).



Cada placa tiene una ranura horizontal ancha que permite ver el tambor de detrás. Por encima y por debajo de esta ventana ranurada hay un par de escalas que abarcan la longitud total de las escalas en el tambor. Siguiendo la dualidad de marcas en la escala del tambor, la escala por encima de la ranura se corresponde con la escala superior del tambor y la escala por debajo de la ranura con la escala inferior del tambor.



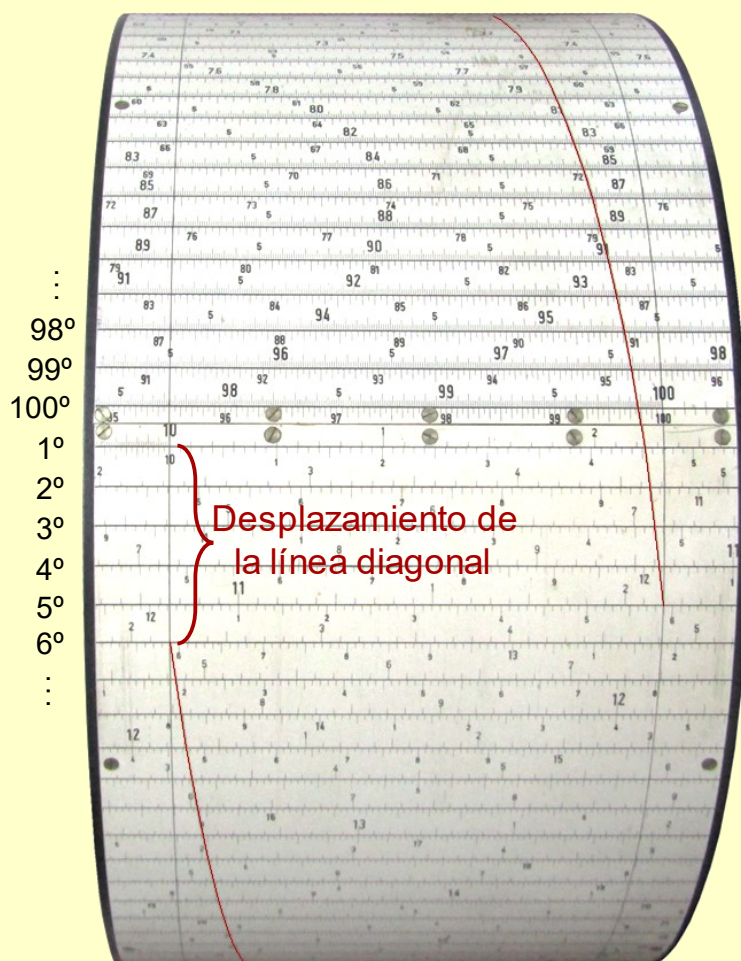
Por ejemplo, para el tambor A y D (o el B y C), la placa incluye una escala de 10 cm y de una década sobre la ventana ranurada y una escala de 10 cm y de dos décadas debajo de la ventana ranurada.

El objetivo de la ventana ranurada es permitir ver un trozo de la línea diagonal del tambor y compararla con las marcas en las escalas de la placa. Puede entenderse fácilmente que rotando el tambor veremos “desplazarse” el trozo de la línea diagonal de un extremo al otro de la ventana ranurada. Por tanto, al girar el tambor, el trozo

de la línea diagonal, que se ve, se puede alinear con cualquier marca en las escalas de la placa (como si de un dial de radio se tratara).

Entonces, para encontrar el segmento del tambor donde se encuentra un número, primero ajustaremos la línea diagonal (en la ventana ranurada) al número en la escala respectiva de la placa. Eso colocará el segmento buscado del tambor debajo de la línea de índice del cursor, lo que permitirá a continuación deslizar la ventana y situar dicha línea sobre el número deseado.

Para hacer posible esta localización aproximada, el sistema debe hacer que la distancia entre la ventana ranurada de la placa y el centro de la línea de índice sea la misma que la distancia entre el inicio del primer segmento de la escala del tambor y el inicio de la línea diagonal en dicho tambor. En el diseño de la calculadora, esta distancia se ha definido en cinco veces la distancia entre dos segmentos. Así, la línea diagonal está desplazada y empieza en el sexto segmento y termina en el quinto.

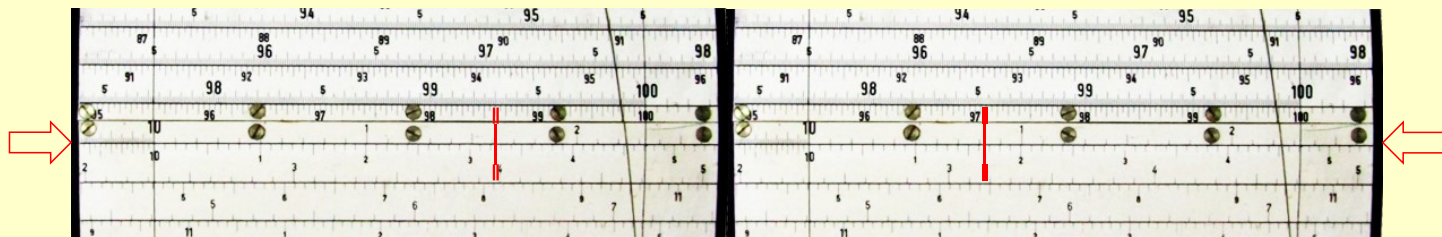


He llamado a este sistema “de localización aproximada” pues es fácil entender que el posicionado del “trozo” de la línea diagonal es bastante aproximado. Para empezar el error de paralaje es considerable (y el trozo de línea no es vertical). Luego está la aproximación visual necesaria por ejemplo para situar un número de cuatro dígitos entre el 40 y el 50 con solo una marca central. Por último, un milímetro en las escalas de la placa se corresponde a todo un segmento, (10 cm), en la escala del tambor. En definitiva, tras una primera “localización aproximada” el segmento bajo el cursor puede no ser el buscado, aunque entiendo que no estará más allá de uno o dos segmentos, lo que, en cualquier caso, sí que facilita mucho la tarea de localización exacta del segmento de interés.

Una duda surge tras el conocimiento de este sistema, pues si podemos cambiar de tambor para hacer otros cálculos con el aparato, parece necesario que también cambiemos la placa para localización aproximada. Veamos unos ejemplos de cálculo y encontraremos una respuesta.

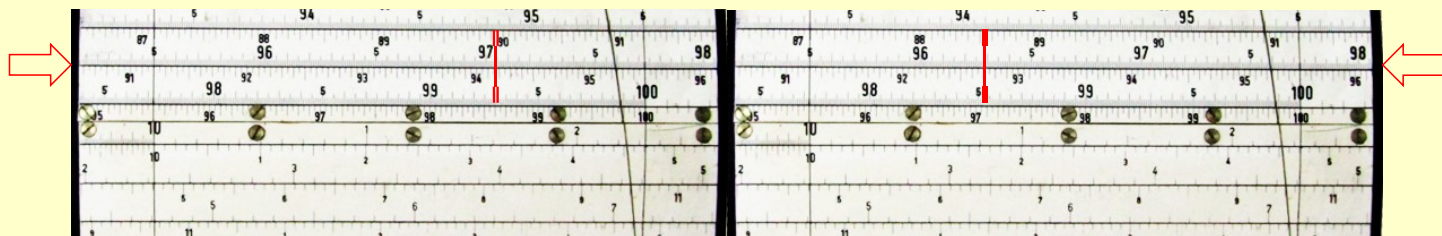
Ejemplo de cálculo: $9625 \times 1035 = 9962$

Para completar este estudio, hagamos un par de cálculos, para tener una idea del proceso de uso (y su facilidad). Muestro solo un trozo de ambos tambores para ver bien los números. El tambor de la izquierda es el central o fijo (escala D) y el de la derecha es el deslizizable (escala C). Añado una flecha roja horizontal a cada lado para ayudar a identificar la horizontal correspondiente a la línea de índice del cursor, ya que es fija y es a donde hay que llevar los segmentos de cada tambor. Consideremos el estado inicial siguiente:

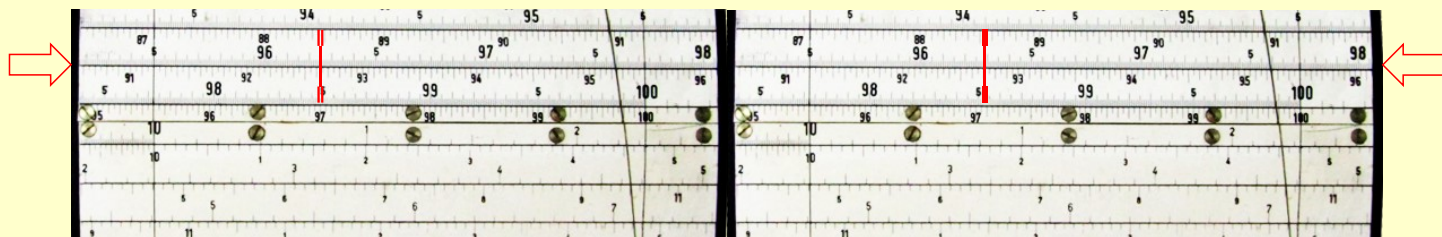


Entonces, para situar 9625 en D (izquierda):

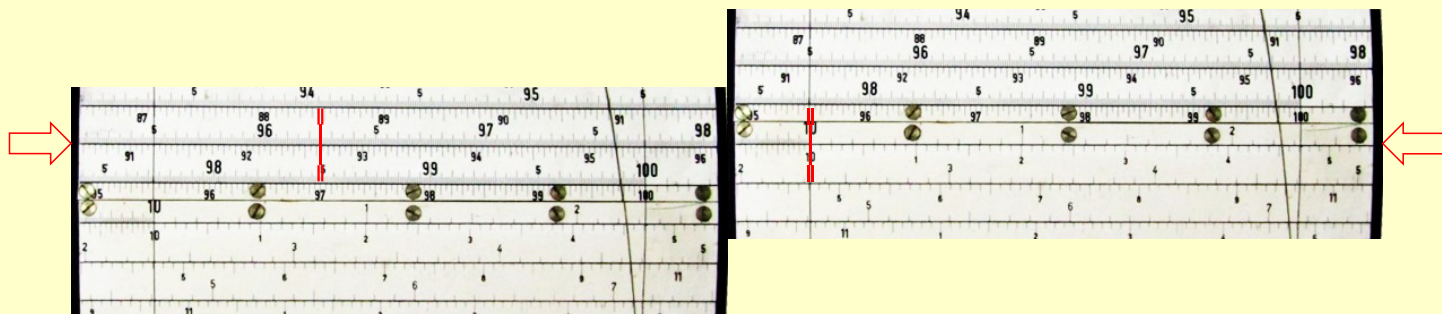
1. Giramos los dos tambores hasta que la línea diagonal de la escala D en la ventana ranurada (de la placa, no mostrada) apunte alrededor de 96. Encontramos el segmento con el 9625.



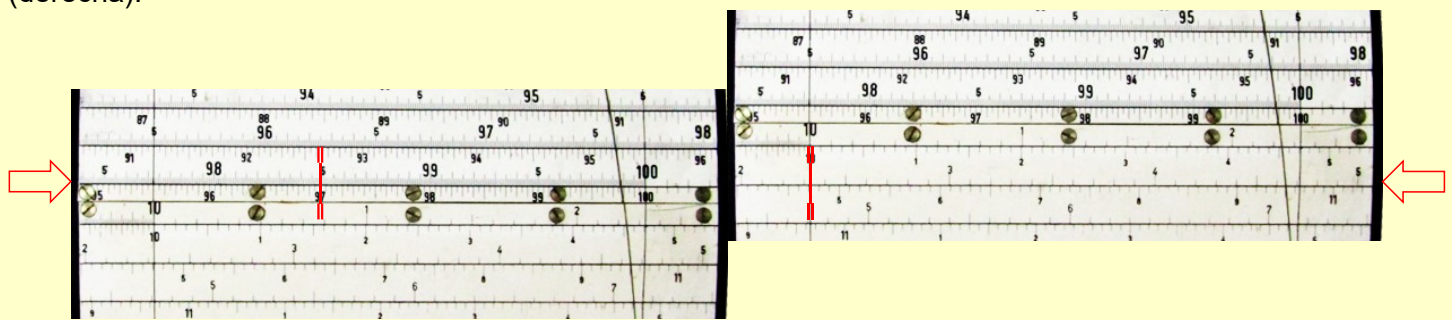
2. Llevamos el cursor sobre 9625 (movimiento lateral de la ventana y fijación posterior).



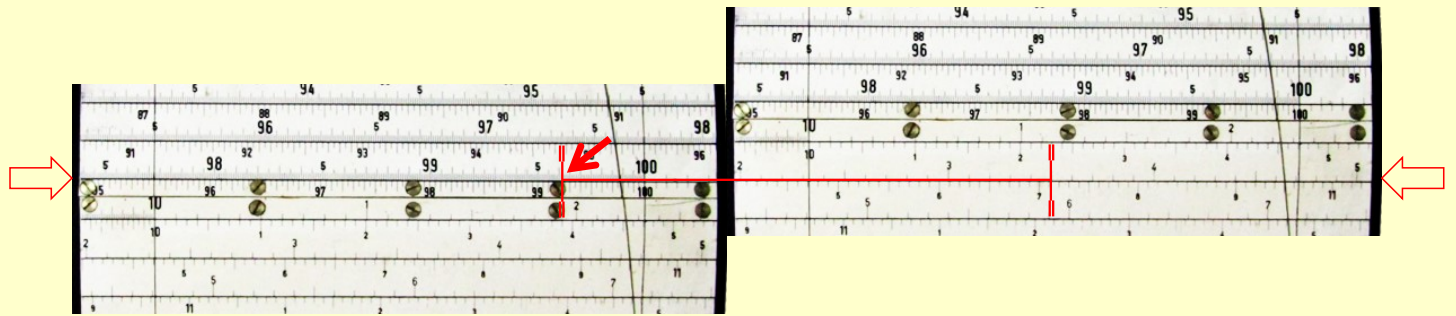
3. Ahora tenemos que encontrar el segmento inicial (con el 1000) de la escala C (derecha), para a continuación deslizar lateralmente su cursor i fijarlo sobre 1000.



4. Seguidamente rotamos los dos tambores juntos para encontrar el segmento de 1035 en la escala C (derecha).



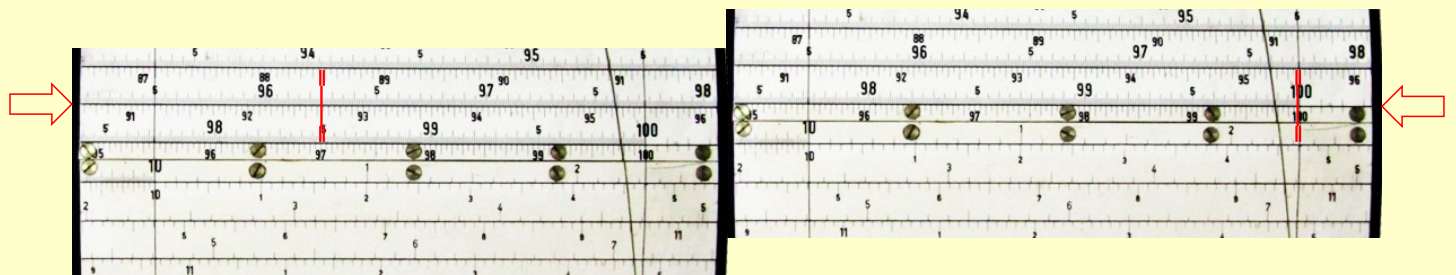
5. Finalmente, movemos todo el cursor (con el pomo principal) de modo que la línea de índice de la ventana de C quede sobre 1035, y leemos el resultado, 9962, bajo la línea del cursor en D (izquierda).



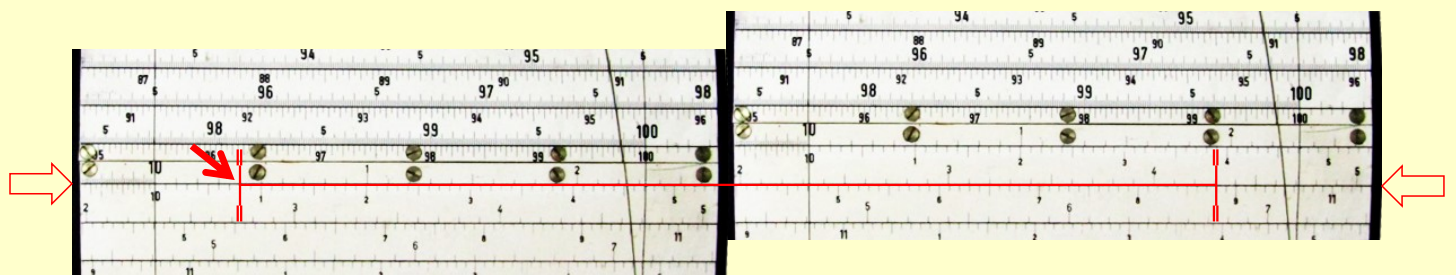
Como resumen de este ejemplo, hemos seguido un proceso equivalente al que estamos acostumbrados, pero cada alineación de la línea de índice del cursor con un número supone dos pasos, primero encontrar el segmento con el número y luego alinear la línea de índice sobre el número.

Ejemplo de cálculo: $9625 \times 1043 = 1004$

En este ejemplo, el proceso anterior proporcionaría un desbordamiento (el cursor de D “se sale” del ancho del tambor) en el paso 5. Eso nos obliga a volver al paso 3 y, en lugar de 1000, situaremos la línea del cursor sobre 10000, en el extremo derecho del último segmento de la escala.

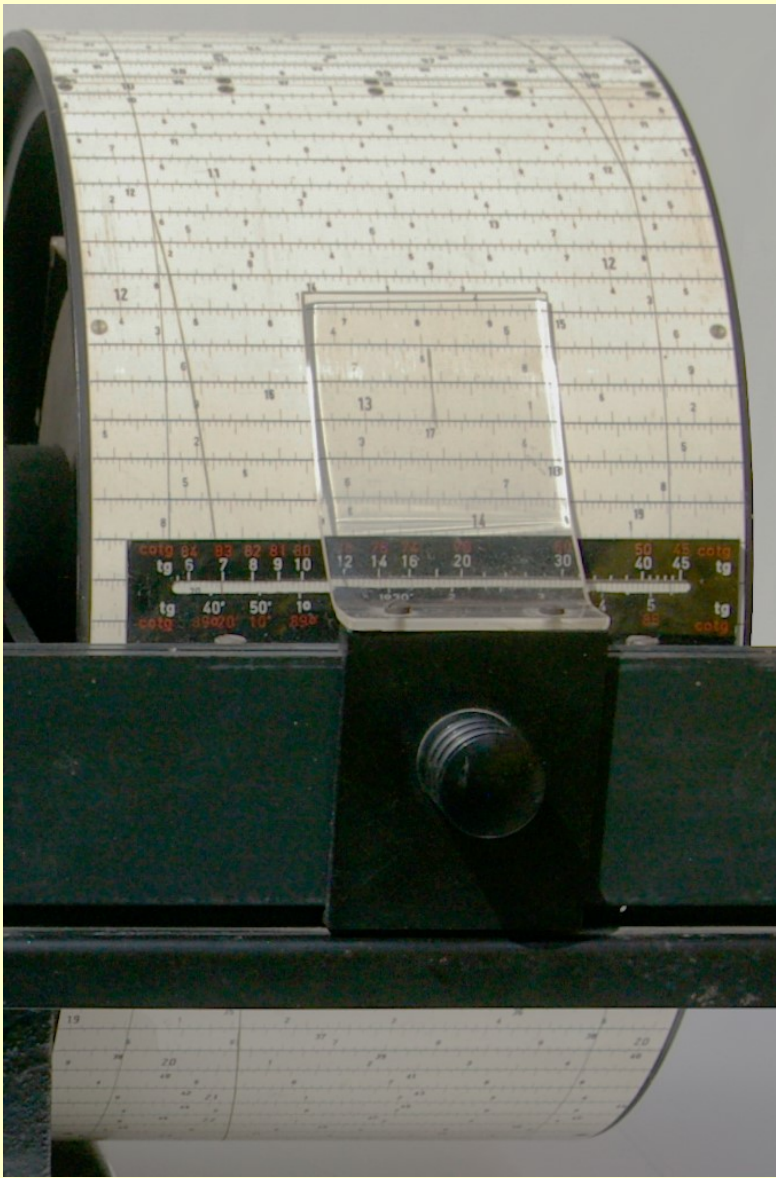


Entonces continuaremos con los pasos 4 y 5 (cursor a 1043 en C) hasta leer el resultado, 1004, en D (izquierda).



Más sobre el cambio de tambores

Retomemos ahora la duda sobre la necesidad de cambiar la placa para localización aproximada al cambiar uno de los tambores laterales. Para ello, volvamos a mirar cómo está el tambor de la derecha en nuestro ejemplar:



Podemos ver que, aunque es un tambor con las escalas B y C, la placa de localización aproximada es la del tambor de tangentes, o sea, que es inservible para localizar ninguno de los segmentos de este tambor.

Por otro lado, cuando en los documentos adjuntos se menciona el cambio de tambor no se dice nada del cambio de la placa de localización aproximada, así que podemos entender que debe haber una manera de seguir operando.

El truco está en darnos cuenta de que el tambor es igual al central, y también que en el proceso de cálculo mostrado, solo ha hecho falta una localización aproximada inicial sobre la escala D. La solución es intercambiar C por D en el proceso de cálculo.

Empezamos con los dos tambores con sus segmentos alineados, así que podemos usar la placa de localización aproximada de D para localizar el segmento con 9625 en D, moviendo ambos tambores a la vez, lo que nos dará también el mismo segmento en C.

Alineamos entonces la línea del cursor sobre 9625 de C (tambor de la derecha). Buscamos entonces el primer segmento en el tambor central D, manteniendo fijo el tambor de la derecha C, y situamos la línea del cursor de D sobre 1000.

Para terminar, encontramos el segmento con 1035 en la escala D (tambor central) para luego desplazar todo el cursor (pomo principal) de

modo que situemos la línea del cursor de D sobre dicho 1035, leyendo el resultado en C, el tambor de la derecha.

En una regla de cálculo lineal este proceso equivaldría a mantener la reglilla fija y deslizar el cuerpo. Es algo que nos resulta extraño, pero que en esta calculadora es totalmente factible. Imagino que para mover un tambor respecto al otro hay que poner una mano sobre cada tambor y empujar con una mano el tambor que se desea mover, mientras la otra aguanta el otro fijo. Entonces, da igual qué mano desplaza y qué mano mantiene fijo.

Esto permite intercambiar los tambores laterales trigonométricos por los respectivos numéricos (con escalas B y C) que serán iguales al central. Pero lo que ya no es sencillo es cambiar, por ejemplo, un tambor de senos por uno de tangentes (o viceversa), pues eso obligaría al cambio de la placa de localización aproximada, o a operar sin su ayuda (localizando los segmentos visualmente).

Comentario final... desde la bibliografía

De los cinco artículos referentes a este aparato que tuve la oportunidad de leer, [3] incluye una evaluación del Instituto para la Tecnología Topográfica sobre la precisión al calcular con él, y creo que vale la pena poner aquí un extracto con sus conclusiones:

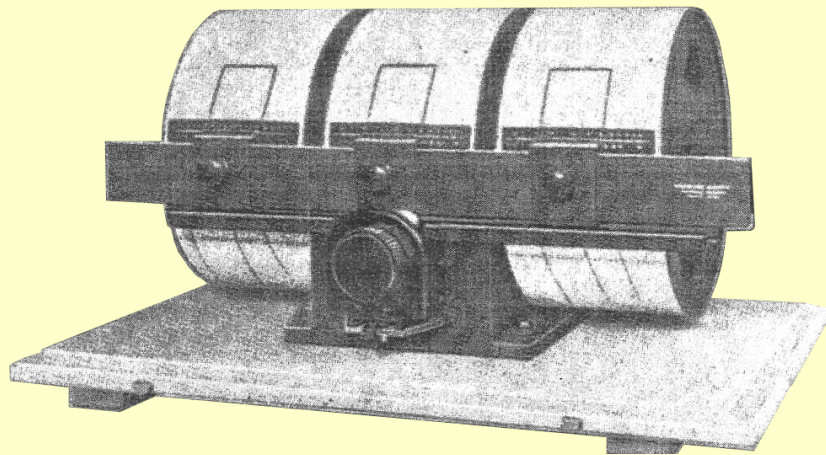
La precisión de la calculadora de triple tambor para cálculos simples es casi la misma que la del uso de logaritmos de cinco dígitos; pero no alcanza esta precisión para operaciones combinadas.

Sin embargo, para los cálculos trigonométricos, como que con una calculadora mecánica los valores deben tomarse de una tabla e interpolarse, hay una ventaja significativa al usar la calculadora de triple tambor, donde el valor del ángulo se selecciona directamente y el valor del resultado se lee directamente.

Sin embargo, los costes de producción del aparato son demasiado altos en relación con una calculadora mecánica.

Se recomienda su compra solo cuando los asistentes [de la oficina] tengan que realizar cálculos trigonométricos similares y repetitivos.

Creo que agregaría el gran peso de la calculadora y la dificultad para llevarla, por ejemplo, del estante de almacenamiento a una mesa de trabajo. Para ello, una primera opción podría ser usar los pomos axiales como agarraderas para levantarla, pero viendo que la base de madera tiene como patas por debajo, entiendo que esto permitiría coger el aparato por su base. Aunque no se muestra, ya he mencionado que podría haber una tapa, para cubrir y cerrar la calculadora, permitiendo su transporte. La tapa podría tener asas adicionales para transportarla en desplazamientos más largos. Entonces, para el día a día en la oficina se usaría una funda de plástico como en las calculadoras mecánicas.



En cuanto a mi viaje...

No me gustaría terminar este estudio sin expresar mi agradecimiento a Klaus Kühn, propietario de la calculadora. Me planté en su puerta con toda mi familia y él y su esposa nos recibieron muy amablemente. También nos mostró algunos de los otros aparatos de su colección e hizo que mi familia escuchara y mirara con casi tanto interés como yo.

Nos dio un breve repaso de sus exposiciones y pudimos ver algunos de sus ejemplares más especiales. ¡Incluso mi hijo menor pudo jugar “libremente” con una calculadora mecánica!

Cuando nos fuimos mi familia salió con la sensación ¡de haber disfrutado mirando viejas calculadoras!



Bibliografía

- [1] Aristo-Werke, Dennert & Pape KG: "*100 Years Aristo slide rules*", 1972, página 14.
- [2] Dr.Ing.W.Meyer: "*Mathematische Instrumente*", 1949, 3ª edición, publicada por Geest & Portig K.G., páginas 307 y 308.
- [3] Dr.K.Rohnstock: "*Über den Dennert & Pape-Drehrechner*", 1950, revista Vermessungstechnische Rundschau, páginas 213 a 216.
- [4] Dr.Fr.A.Willers: "*Mathematische Maschinen und Instrumente*", 1951, publicado por Academy Publishers en Berlin, páginas 3 y 4.
- [5] R.Heer: "*References*", 2004, Dennert & Pape, página 31
- [6] K.Kühn, K.Kleine: "*Dennert & Pape - Aristo – 1872 – 1978, Rechenschieber und mathematisch-geodätische Instrumente*", 2004, 440 páginas más 2 CDs, ISBN: 3-88603-863-7

*** Fin del Documento ***