Tema 3. Las máquinas de cálculo mecánicas

El desarrollo del cálculo automático comienza realmente con el invento y desarrollo de dispositivos mecánicos para realizar automáticamente las cuatro funciones aritméticas. Con el diseño de un sistema en el que levas mecánicas, engranajes y ruedas puede reemplazar las capacidades de la mente humana, los primeros pioneros en estos dispositivos establecieron el camino para la aritmetización completa del proceso de cálculo. No hace falta decir que los primeros esfuerzos fueron muy difíciles, no debido a que los inventores careciesen de inteligencia para construirlos, sino debido a que las capacidades técnicas de los talleres y materiales disponibles no eran bastante para trabajar en estas nuevas máquinas. Hubo también el problema de inventar nuevas técnicas en orden a obtener dispositivos mecánicos para producir algunos de los movimientos requeridos para realizar simples operaciones aritméticas.

Casi todas las máquinas mecánicas de cálculo deben disponer de seis elementos básicos en su diseño:

- Mecanismo de inicialización:

  El dispositivo por el cual se introducen los números en la máquina. En los primeros diseños era parte del mecanismo selector, pero en los más sofisticados era parte independiente.

- Mecanismo selector:

  El dispositivo que selecciona y proporciona el movimiento mecánico adecuado para causar las apropiadas cantidades en el mecanismo de registro.

- Mecanismo de registro:

  El dispositivo, usualmente un juego de ruedas o discos, que puede posicionarse para indicar el valor de un número almacenado en la máquina.

- Mecanismo de acarreo:

  El dispositivo que asegura que si se genera un acarreo en uno de los dígitos del registro, por el paso de 9 a 0, entonces se propaga el acarreo al siguiente dígito, o incluso si es necesario, a lo largo de todo el registro.

- Mecanismo de control:

  Dispositivo que asegura que todos los engranajes y ejes están posicionados correctamente al final de cada ciclo de suma para evitar un resultado falso de suma o atascar la máquina.

- Mecanismo de borrado:

  Dispositivo que permite rearmar el mecanismo de registro para almacenar en él el valor cero.

Las máquinas individuales pueden no contener cada uno de estos ítems en un dispositivo separado. Algunas máquinas requieren que el operador mueva cada dígito del registro manualmente para posicionarlo en cero.

Suele ser habitual pensar que fue Pascal el primero en inventar una máquina de sumar con mecanismo de acarreo. Investigaciones del profesor Bruno Von Freytag en los años 50 y 60 mostraron que este honor corresponde a Wilheln Schickard. Puede ser que otras investigaciones muestren algún dispositivo más antiguo, aunque al presente no está demostrado. Hay una leyenda popular que dice que el monje Gerbert (más tarde el Papa Silvestre II), nombrado al hablar del ábaco, diseñó un dispositivo de cálculo. Se cree que esto se refiere a su ábaco, más que a un dispositivo mecánico. Parece difícil de creer que una tecnología mucho menos madura pudiese fabricar algo tan sofisticado como las máquinas de Schickard o Pascal.

3.1.- Wilhelm Schickard (1592-1635)

Wilhelm Schickard fue profesor y ministro protestante en la ciudad alemana de Tübingen a principios del S.XVII. Ha sido comparado a Leonardo da Vinci en sus amplios campos de interés e ideas. Fue un excelente matemático que desarrolló métodos en uso aún en el s.XIX, pintor, mecánico constructor de sus propios instrumentos astronómicos y grabador dibujando los grabados que ilustran el trabajo de Kepler "Hamonices Mundi".

Se sabe que Schickard y Kepler eran no sólo conocidos, sino que colaboraban entre sí en algunas ocasiones. Fue en una de estas celebraciones cuando Schickard fabricó la primera máquina mecánica de sumar que funcionaba. Kepler y Schickard nacieron en la misma ciudad, ambos estaban interesados en las matemáticas y la astronomía, y asociados ambos a la Universidad de Tübingen. Parece natural que se viesen frecuentemente y se escribiesen contándose los problemas que intentaban resolver. Se sabe que Kepler y Schickard habían discutido los inventos de Neper en 1617. En la estancia de Kepler en Tübingen, Kepler mostró a Schickard los resultados obtenidos al usar las tablas de Neper y los logaritmos. Esto parece haber inspirado a Schickard al considerar una máquina cuyo diseño contemplase un juego de tablas de Neper y un mecanismo para añadir los productos obtenidos para autorizar el proceso de multiplicar.

El 20 de septiembre de 1623, Schickard escribió a Kepler lo siguiente:

> *"Lo que puedes hacer mediante la logística (* por cálculo*) lo he intentado hacer mediante la mecánica. He construido una máquina que consta de once ruedas dentadas completas y seis incompletas que pueden calcular. Te sorprenderías de alegría si estuvieses presente para ver como arrastra ella sola de una columna de decenas a la siguiente, o lo lleva sobre ella durante la substracción. "*

Kepler debió contestar pidiéndole una copia de la máquina para él mismo, ya que el 25 de febrero de 1624 Schickard le escribió dándole una detallada descripción de la máquina casi con algunos dibujos mostrando su construcción. También decía a Kepler que la segunda máquina fue destruida en el incendio del taller en que se fabricaba. Esta segunda máquina era para Kepler.

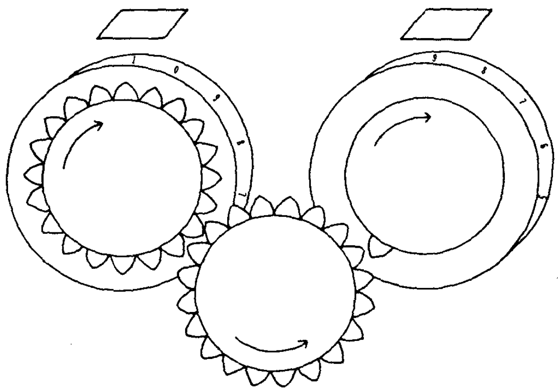

Figura 3.1El mecanismo de la máquina de calcular de Schickard

Estas cartas, encontradas entre los papeles de Kepler, dan la evidencia que Schickard construyó tal máquina. Sin embargo los planos de la máquina se perdieron y no existía idea de cómo era tal máquina y cómo se realizaba su aritmética. Estos planos fueron encontrados en una biblioteca próxima a Leningrado por unos estudiantes. La Figura 3.3 muestra los dibujos originales de Schickard de la máquina encontrados, a través de los cuales fue posible la reconstrucción de la máquina. Esta reconstrucción fue realizada por Bruno Von Freytag, quien como experto en técnicas de relojería del siglo XVII fue capaz de desentrañar los dibujos encontrados. La reconstrucción fue recogida en un sello que conmemoraba los 350 años de su invención recogido en la Figura 3.2.

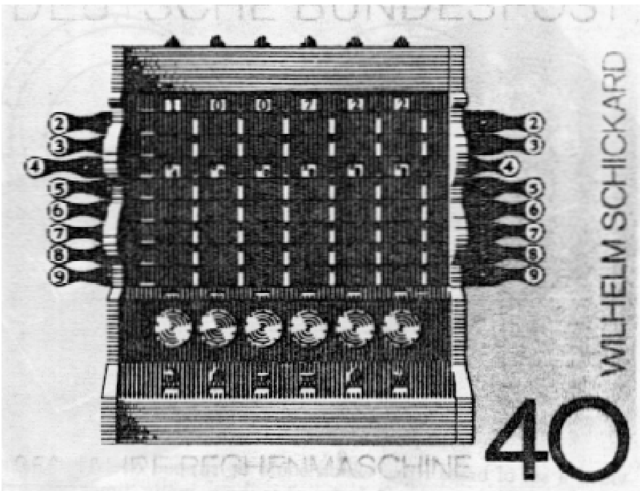

Figura 3.2 La máquina de calcular de Schickard reconstruida por Von Freytag

Se puede observar en la parte superior de la ilustración del sello que la máquina está preparada para multiplicar 100722 por 4. El resultado de la multiplicación podía sumarse usando la parte inferior de la máquina. La parte superior consistía en un juego de tablas de Neper escritos sobre unos cilindros de tal manera que se podía seleccionar una tabla en particular girando un dial (marcado en el dibujo de Schickard). Mediante el desplazamiento de unas reglas horizontales se mostraba la multiplicación por un sólo dígito del número seleccionado. Este resultado se podía sumar en la parte inferior girando los mandos (marcados d). La parte inferior de la máquina era simplemente un registro para anotar resultados intermedios sin necesitar papel y lápiz, mediante el giro de las ruedas pequeñas (e) el número aparecía en las ventanitas (f).

El mecanismo usado para efectuar el acarreo de un dígito al siguiente fue simple y fiable en su operación. Como se muestra en el dibujo, cada vez que una rueda del acumulador completaba una vuelta, un diente engancha a la rueda siguiente y ocasiona el avance de la rueda en una unidad. Este mecanismo tan sencillo presenta un número de problemas al que intenta construir una máquina de sumar basado en esta modelo. El principal problema está ocasionado por el hecho que un solo diente en la rueda intermedia rota 36 grados (la décima parte de una vuelta) y deja el diente, todo ello rotando 36º. La solución más elemental consiste en una rueda intermedia, de tal modo que una con dientes largos y otra con los dientes cortos, conjuntamente con un áncora y un muelle que permite a las ruedas detenerse sólo en posiciones fijas. No se sabe si Schickard usó este mecanismo, pero trabajó bien en las reproducciones construidas por Von Freytag.

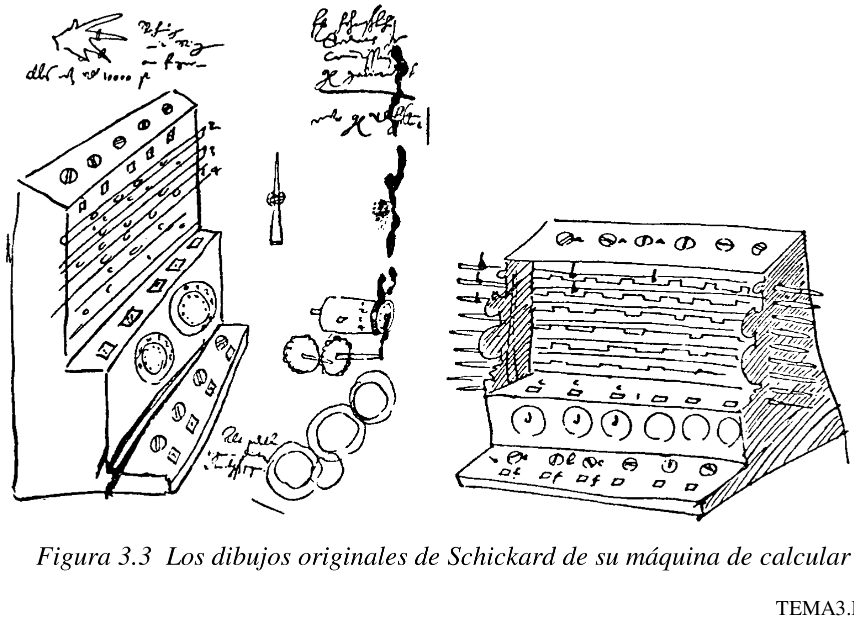

Figura 3.3 Los dibujos originales de Schickard de su máquina de calcular

El principal problema de este mecanismo es el hecho del esfuerzo realizado por el acarreo debe pasar de una rueda a otra a través de un solo diente. Si el usuario desea sumar 999999 + 1 ocasiona la propagación de un acarreo de derecha a izquierda a través de todo el acumulador. Esto debe requerir tal esfuerzo que puede ocasionar daño a los dientes del dígito de peso unidad. Parece ser que Schickard no tuvo este problema, ya que sólo construyó máquinas de 6 dígitos, incluso pensando sin duda que Kepler necesitaría más cifras en sus trabajos astronómicos. Si los números eran de más cifras, Schickard puso un juego de anillos que se pasaban a través de los dedos del operador para recordar cuantas veces había habido acarreo fuera del acumulador. Para facilitar este conteo, cada vez que ocurría este "desbordamiento" sonaba una campana que avisaba que se debía pasar otro anillo al dedo, como se muestra en la Figura 3.3.

3.2.- Blaise Pascal (1623-1662)

El siguiente paso en el diseño y construcción de una máquina de calcular está dado por el matemático y filósofo francés Blaise Pascal. El hecho de que no fuese el primero en construir tal dispositivo no reduce la magnitud del intento de Pascal, ya que su máquina fue totalmente diferente de la de Schickard, y es cierto que Pascal no conocía la máquina de Schickard y mucho menos de haberla visto en operación.

El padre de Blaise Pascal, Etienne Pascal era un matemático razonable para su época. Se encargó de la formación matemática de su hijo tras algunos intentos fallidos.

Mientras Blaise era joven, la familia se desplazó a París donde vivían de las inversiones de Etienne en bonos del estado. La guerra de los 30 años ocasionó una crisis y se vio obligado a aceptar un trabajo en la recogida de impuestos y tasas en la Normandía francesa. El ver como a diario su padre tenía que realizar sumas de largas columnas de números le llevaron a diseñar algo para evitar este tedio. Con 19 años intentó diseñar su primera máquina de calcular, encargando el trabajo a artesanos locales. El trabajo realizado no fue operativo, ya que eran personas acostumbradas a labores de máquinas de granja más que a delicados instrumentos. Debido a esto, el mismo Blaise se preparó como mecánico, aprendiendo las técnicas para fabricar piezas de metal. Probó con engranajes realizados de marfil, madera, cobre y otros materiales en su intento de encontrar algo que soportase el esfuerzo que ocasionaba.

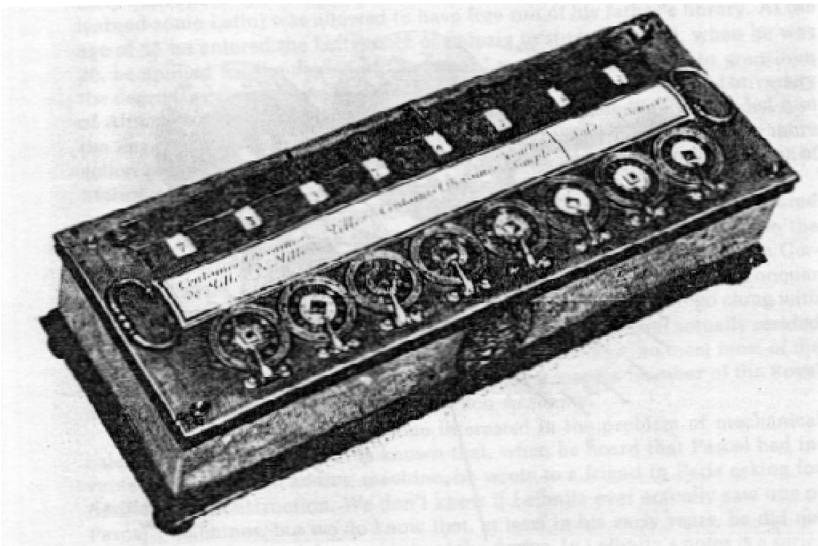

Figura 3.4 La máquina de calcular de Pascal

Aunque fabricó unas 50 máquinas a lo largo de su vida, todos ellos se basan en la idea incorporada en su primera máquina de 1642. Estaba contenida en una caja lo bastante pequeña para entrar en una mesa o escritorio. La parte superior de la caja, que se puede ver en la Figura 3.4, consistía en un número de ruedas dentadas sobre las cuales se disponían una serie de pequeñas ventanas para mostrar el resultado. Para sumar un número, por ejemplo 3, al acumulador, sólo se necesitaba insertar un pequeño estilete o punzón en la rueda dentada en la posición marcada como 3 y girar la rueda en sentido horario hasta un tope fijo, en modo similar al discado telefónico. Las ventanas a través de las que se leía el resultado de dos secciones separadas, con una regla de bronce cubriendo la sección no usada en el momento. La ventana superior era para la suma normal, mientras que la inferior, mostrando el complemento a nuevas del número mantenido en el acumulador, se usaba para la resta. Esto era necesario ya que debido a la construcción intermedia de la máquina, no era posible girar los diales hacia atrás para realizar la resta.

Pascal parece haber iniciado su diseño a partir del engranaje de un solo diente, similar al usado por Schickard, sin hacerlo para un mecanismo general de acarreo. El engranaje de un solo diente funciona bien si el acarreo debe propagarse unas pocas posiciones, la fuerza necesaria para mover el mecanismo podía ser tal que dañase los dientes de las ruedas. Pascal diseñó un mecanismo completamente nuevo basado en la caída de unos contrapesos en vez de la propagación en una cadena larga de engranajes, mostrado en los dibujos originales de Pascal en la Figura 3.5.

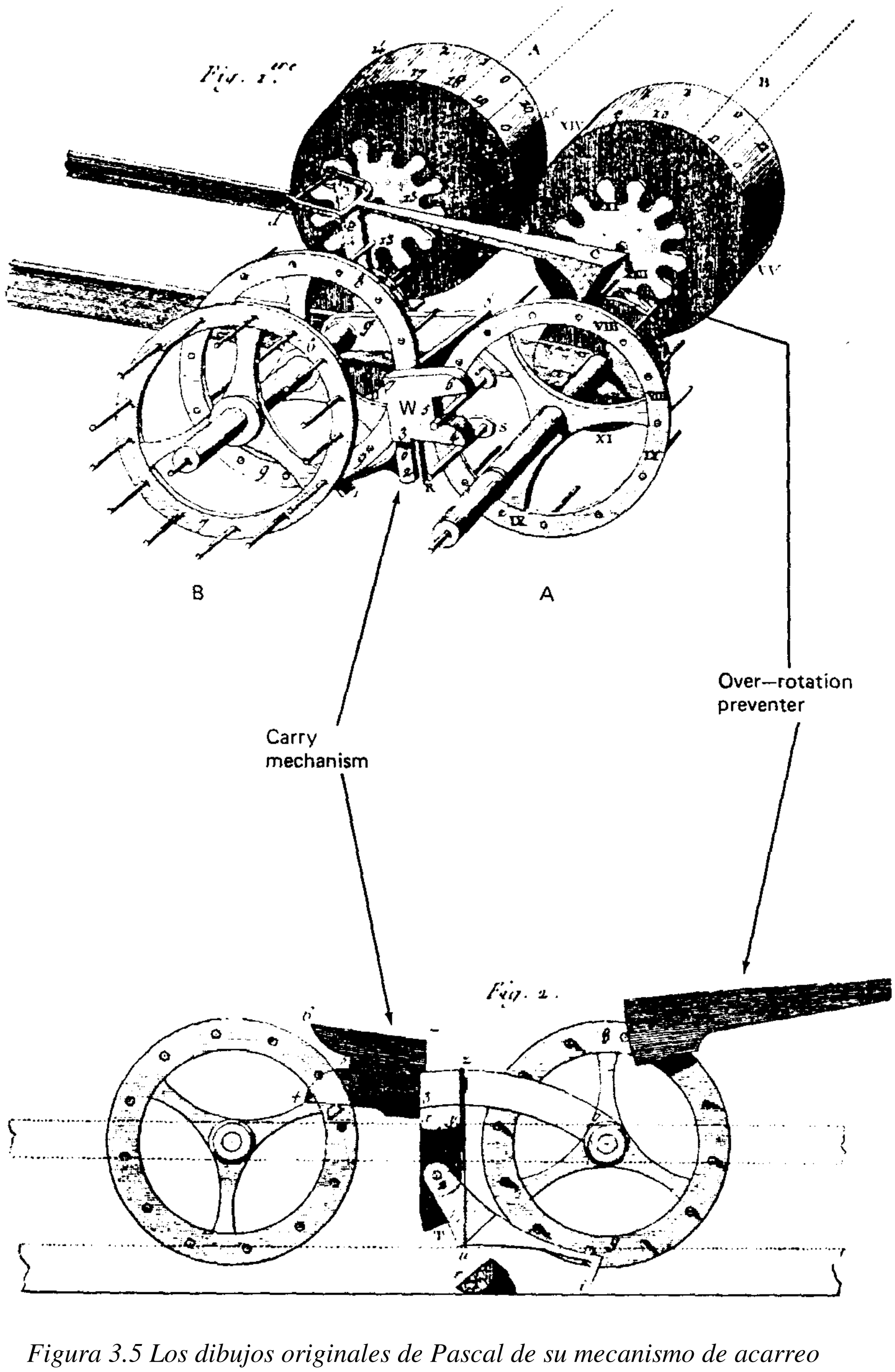

Figura 3.5 Los dibujos originales de Pascal de su mecanismo de acarreo

Como puede verse de los dibujos del trabajo interno de la máquina de Pascal, el mecanismo completo es complejo, pero lo esencial se puede ver de los dibujos del mecanismo del acarreo. Si la rueda marcada A estaba conectada a los dígitos de las unidades y el marcado B a las decenas, el acarreo se propaga de uno al otro mediante la pieza marcada W entre los dos ejes. W se levanta por los dos pines solidarios con la rueda A al girar. Cuando rota del 9 al 0 el pin rebasa el peso y permite que caiga y en el proceso el pequeño muelle mostrado en oscuro, engancha en los dos pines de la rueda B haciéndole avanzar una posición. Este mecanismo de acarreo ayudado por la gravedad estaba situado entre cada dos dígitos en el acumulador. Cuando se propase el acarreo a través de varios dígitos se podía oír el campanilleo a lo largo de la línea.

Este mecanismo de acarreo, que podía haber sido el orgullo de mecánicos 100 años tras Pascal, elimina la tensión entre los engranajes. Sin embargo ocasionaba que sólo se pudiesen girar las ruedas en una dirección, por lo que sólo se podía sumar y no restar. El problema de la substracción, como ya se ha mencionado, se resolvió mediante la suma de complemento a nueve del número, proceso que limitaba el uso de la máquina a gente con formación avanzada.

Pascal intentó producir la máquina en su propio beneficio. No fue una aventura gratificante, pero dio lugar a que le hayan llegado varias máquinas hasta nuestros días. Hay ligeras diferencias entre ellas, ya que el número de dígitos es distinto y existen modificaciones en el mecanismo interno. Ninguno de los modelos que sobreviven funciona muy bien, y se duda si funcionaron en su época. El mecanismo, aunque ingenioso, es delicado y lleva errores si no se le trata con delicadeza. Algunas máquinas generan acarreos extra si se les golpea ligeramente.

3.3.- Gotthried Wilhelm Leibnitz (1646-1716)

Leibnitz, nacido en 1646, tuvo una educación universitaria. Rechazó el permanecer en la Universidad y entró al servició del Elector de Mainz, uno de los cargos más prestigiosos en su época.

No se sabe exactamente cuando Leibnitz se interesó por el problema de cálculo mecánico. Si se sabe que cuando oyó hablar de la máquina de Pascal de sumar, escribió a un amigo en París para obtener detalles de su construcción. No conocemos si Leibnitz vio algunas de las máquinas de Pascal, pero sabemos que en sus primeros años no comprendía perfectamente el funcionamiento de la máquina. En las notas de Leibnitz se encuentran sugerencias y planos para instalar un añadido sobre la máquina de Pascal para permitirle realizar multiplicaciones. En la Figura 3.6 se muestra un diagrama simplificado de los diagramas de Leibnitz.

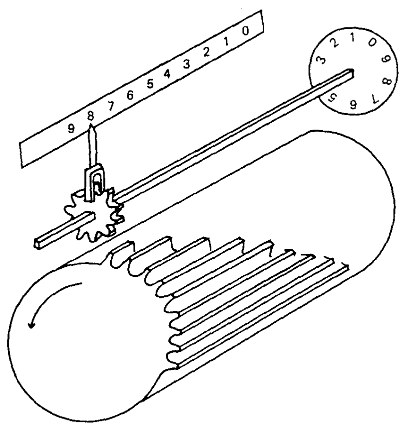

Figura 3.6 El mecanismo de calcular de W. Leibnitz

La máquina de Pascal tiene un cierto número de ruedas que se giran para añadir un número a otro almacenado en la máquina. Las ruedas superiores mostradas en el diagrama deben encajar sobre los de Pascal, y por medio de otra serie de ruedas (las representadas en la parte inferior) deben girarse para añadir los productos parciales al acumulador de la máquina de Pascal. La inicialización de los dos conjuntos de ruedas estaba diseñado para ser fácilmente modificable, se representa en la figura la inicialización para el producto 243 por 123. El "añadido" sobre la máquina de Pascal era movible, de modo que se podía usar para sumar los productos parciales a registro de Pascal.

Aunque era una idea interesante, el mecanismo no podía funcionar porque la máquina de Pascal sólo se podía mover una rueda cada vez. Probablemente Leibnitz se dio cuenta de esto, o la presión de otros trabajos la hicieron aplazar la idea de modo que no continuó su línea de pensamiento.

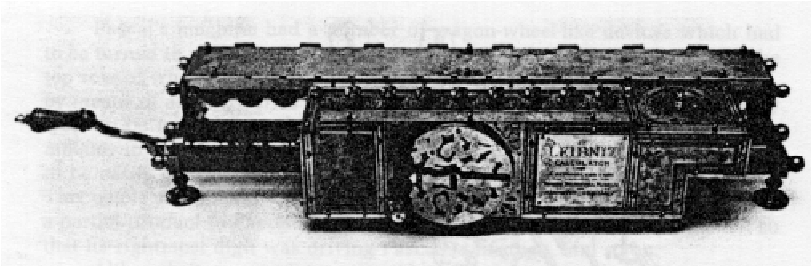

Figura 3.7 La máquina de calcular de Leibnitz

La máquina por la que Leibnitz es más famoso, su máquina de multiplicar, estuvo perdida unos 200 años. Existen numerosos registros que prueban que él construyó la máquina, pero no aparecía el modelo. parece ser que en 1670 la máquina pasó al Sr. Kastner de Göttingen para mantenimiento, y posteriormente fue almacenada en la Universidad de Göttingen en el ático de uno de sus edificios. En 1879 se realzaron trabajos de reparación de los tejados, y se encontró la máquina abandonada en una esquina.

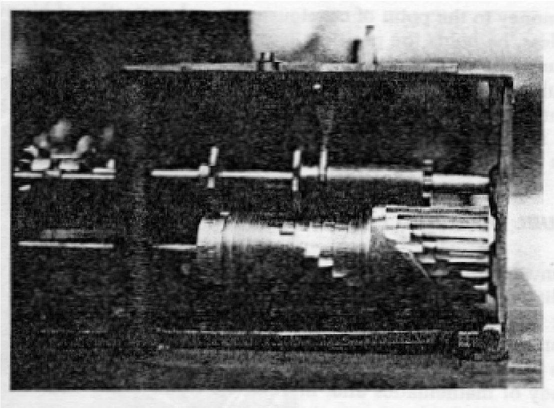

Figura 3.8 El engranaje en escalera de la máquina de calcular de Leibnitz

La máquina trabajaba en base a uno de los inventos de Leibnitz, el tambor engranaje en escalera, como ilustra la Figura 3.6. La rueda del resultado, situada en el extremo del eje cuadrado, se puede rotar a cualquiera de los 10 dígitos del 0 al 9. Para añadir una cantidad, por ejemplo 8, al resultado indicado por la rueda, sólo es necesario ocasionar el eje cuadrado una rotación de 8 pasos. Esto se realiza disponiendo que el engranaje pequeño en posición de engranar con 8 dientes del engranaje/tambor grande. Esto se realiza deslizando el engranaje pequeño hasta la posición 8. La máquina de Leibnitz tiene 8 mecanismos de este tipo, de modo que cuando se registra un número en la máquina ajustando unos pequeños punteros (que controlan la posición de los engranajes pequeños), mediante un giro de la manivela que ocasiona que los 8 engranajes en escalera roten, se sumen los dígitos de los punteros a los contadores. Para multiplicar el número 5, se gira la manivela 5 veces. La máquina se construyó en dos

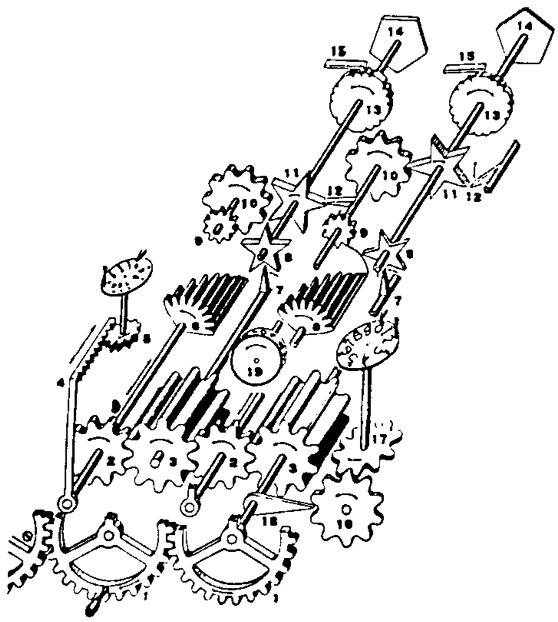

Figura 3.9 El mecanismo de multiplicar de Leibniz

capas, para resolver multiplicaciones de dígitos múltiples. Por ejemplo, para multiplicar por 35 se realizaban los siguientes pasos:

- Se ajustaban los punteros para situar los engranajes pequeños hasta obtener el número a multiplicar.
- Se giraba el engranaje 5 veces.
- Se desplazaba la parte superior de la máquina una posición decimal a la izquierda.
- Se giraba la manivela 3 veces.

Uno de los mayores problemas cuando se intenta diseñar este tipo de máquinas es como tratar con el acarreo de un dígito al siguiente al pasar el primero de 9 a 0. Leibnitz resolvió sólo parcialmente el problema. La Figura 3.9 muestra el diagrama del mecanismo que trabaja en su máquina correctamente. Este diagrama muestra dos dígitos de la máquina, y el tambor/engranaje en escalera identificado por el nº6. Los engranajes del frente (etiquetados como 1,2,3) son parte del mecanismo de accionamiento, y los podemos ignorar. El mecanismo más complicado consta de levas, ruedas en estrellas y discos pentagonales (11,12,10 y 14) y es parte del mecanismo de acarreo. Cuando se necesita un acarreo, la pequeña leva (7) podría interaccionar con la rueda en estrella (8) y girar parcialmente el eje de tal manera que un punto de la estrella (11) tome posición horizontal (la rueda en estrella puede tomar dos posiciones). La leva (12), que gire una vez en cada vuelta de la manivela de suma, debe estar en una posición que de a la rueda un pequeño avance, ocasionando saltar al siguiente dígito, esto es, sumar el acarreo al siguiente dígito.

Nótese que esto no completa todos los requisitos del mecanismo de acarreo, ya que este acarreo puede ocasionar otro acarreo en el dígito siguiente. No hay forma de que este mecanismo simple se use para arrastrar a lo largo de varios dígitos. Nótese que el disco pentagonal (14) puede adoptar dos posiciones diferentes; puede disponer una superficie plana en su parte superior o puede poner una punta hacia arriba. Este disco pentagonal está situado de tal modo que mientras que hay un acarreo pendiente la punta está hacia arriba, y cuando se ha sumado el acarreo al dígito siguiente, la punta está hacia abajo. Un operador que gira la manivela para sumar un número al registro puede notar si se ha acabado de realizar el acarreo viendo estos puntos en la máquina, y si es necesario puede empujar el disco pentagonal para mover su punta y ocasionar la suma del acarreo.

Se sabe que Leibnitz comenzó a pensar en los problemas del diseño de esta máquina en algún momento de 1671. En enero de 1672 estuvo en Londres y mostró un modelo a los miembros de la Royal Society, modelo de madera que no trabajó correctamente. Leibnitz prometió hacer algunos cambios y volver cuando la máquina funcionase correctamente. Rober Hooke (el de la ley de Hooke de la elasticidad) fue muy crítico y dijo que el podría realizar una mejor. Inspeccionó la máquina de madera con gran atención, y habló aparte con Leibnitz. Hooke nunca hizo ninguna máquina, pero interesó a la Royal Society en el tema, que a través de su secretario invitó a Leibnitz a regresar cuando la máquina trabajase correctamente. Se dispone de correspondencia de las mejores de las máquinas durante los dos siguientes años.

Los problemas de Leibnitz fueron similares a los de Pascal y otros: malos artesanos, y malos materiales para trabajar. La máquina funcinó correctamente ya que en sus estancias en París Leibnitz encontró a un relojero francés llamado Oliver, que era honrado y buen trabajador. Parece ser que Leibnitz planteó sus problemas a Oliver y el relojero realizó la construcción final, que estuvo en funcionamiento desde 1674.

Como se ha mencionado, la máquina consta de dos secciones, una superior que contiene el mecanismo inicialización, y el registro de resultados, mientras que la parte inferior contiene el mecanismo básico de Leibnitz. Cuando se han entrado los dígitos del multiplicando en los ajustes deslizantes, se gira la manivela una vez para sumar cada vez que se necesite el multiplicando al registro del resultado. El gran dial de la parte superior de la máquina tiene un pin en las posición indicada por el multiplicador (por ejemplo, el dígito 5) y después de 5 vueltas, este pin ocasiona la detención de la manivela con un tope evitando que se sume el multiplicando al resultado varias veces. Una vez se ha realizado la multiplicación de un dígito, se puede desplazar la parte de multiplicación de la máquina para procesar el siguiente dígito. Esta máquina es simplemente una versión mecánica del procedimiento de multiplicación mediante desplazamientos y sumas usados a muchas computadoras digitales.

El conocimiento de esta máquina de calcular se extendió rápidamente en los círculos científicos de París, donde Leibnitz vivió mientras realizaba misiones diplomáticas. Un nieto de Pascal contactó con Leibnitz y le pidió examinar la máquina. Mediante este contacto, Leibnitz tuvo acceso a los trabajos de Pascal no publicados para su estudio privado y ayudó para su posterior publicación.

Conviene destacar que este invento de Leibnitz, el tambor engranaje en escalera fue el único medio de encontrar una solución práctica a máquinas de cálculo hasta que en 1875 Baldwin (USA) y Odhner (Rusia) realizaron dos inventos que resultaron en un engranaje de diente variable. La primera máquina comercial del mercado basada en el mecanismo de Leibnitz fue fabricada por el francés Thomas de Colnar en 182, que incorporó un mecanismo de acarreo adecuado.

3.4. Samule Morland (1625-1695)

Samuel Morland era hijo de un clérigo inglés pobre. Debido a esto tuvo acceso a estudios, pero debió trabajar para ganarse la vida como secretario de un embajador. debido a esto viajó a Suecia donde la Reina Cristina era una gran protectora de la ciencia. En la corte sueca se recibian copia de los trabajos de numerosos científicos de la época. El embajador, su jefe, lo describía como:

> *"Un hombre muy cívico, excelente estudiante, modesto y respetuoso, perfecto en la lengua latina y un ingenioso mecánico"*

lo que muestra que, antes de su etapa de inventor era capaz de realizar finos trabajos mecánicos.

Posteriormente, Morland fue enviado a Italia, deteniendose en París para conocer la ciencia y la técnica de su época. Parece ser que se interesó en los dispositivos mecánicos y tuvo ocasión de conocer fisicamente lo que había aprendido de las máquinas de Pascal en la corte sueca.

Al regreso de Italia se detuvo un año en París y se casó con una francesa. Ganó reputación en Francia de técnico, llegando a ser asesor para el suministro de agua al palacio de Versalles. Esto le permitió conocer a otro relojero e inventor de la época, René Grillet. Se pudo retirar holgadamente y se dedicó a fabricar instrumentos diversos, desde máquinas de calcular a barómetros, bocinas y bombas de agua.

Inventó tres máquinas de calcular diferentes, una de las cuales ya se ha mencionado y las otras dos consistían en una máquina sencilla de sumar y un juego sencillo de tablas de Neper. Aunque estas dos máquinas fueron inventadas en mitad de la década de 1660, no fué hasta 1673 cuando las dió a conocer en una pequeña publicación, "*Descripción y uso de dos instrumentos aritméticos*", que describe ambas máquinas y el uso que de ellas se podía hacer.

La máquina de sumar consistía en un juego de ruedas que podían rotarse con ayuda de un pequeño punzón. Para sumar 4 a una suma existente en la máquina se introducía el punzón en el orificio del dial marcado como 4 y se rotaba en sentido horario hasta un tope. El resultado se veía en una ventana en la posición superior de cada dial. No incorporaba mecanismo de acarreo, sino que incorporaba unos diales auxiliares próximos a cada dial principal que avanzaban una posición mediante un diente de engranaje al producirse el paso de 9 a 0. Al acabar la suma, los diales auxiliares indicaban cuantos acarreos quedaban por realizar, y se realizaba el acarreo normalmente. Este sistema tan sencillo parece estar motivado por la delicadeza de los mecanismos existentes en la época, como el de Pascal, delicado a su operación, o el de Schickard que ocasiona tensiones internas que pueden dañar a la máquina. La máquina de Morland era simple de construcción y robusta, así como fiable si el usuario recordaba añadir los acarreos al final de la operación.

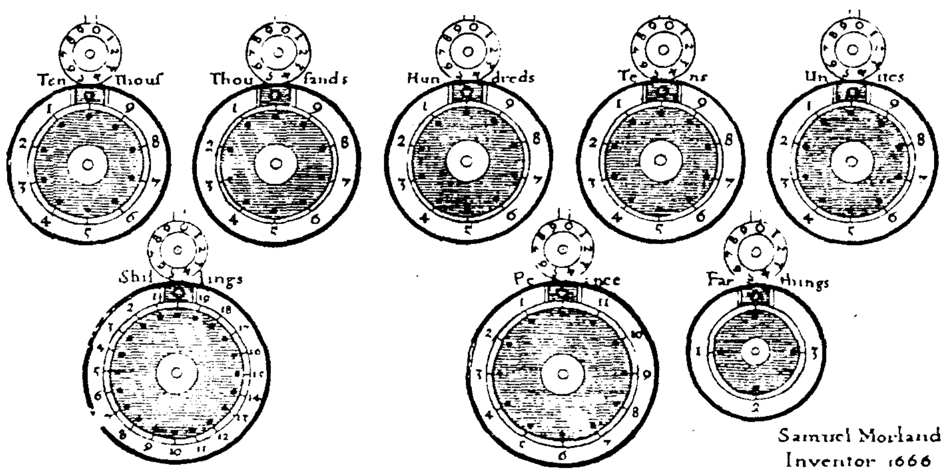

Figura 3.10 La máquina de sumar de Samuel Morland

Morland diseñó la máquina para sumar libras, chelines y peniques y cuartos, situando los diales no decimales en la parte inferior de tal manera que la parte superior se podía usar como sumador de 5 dígitos decimales. Era tan pequeña que se podía llevar en el bolsillo, sobreviviendo modelos de 100mm x 75mm x 8mm de espesor.

Se ofreció un anuncio en La Gaceta de Londres el 16 de abril de 1668, aunque no vendió un gran número de unidades.

Morland describe el documento e indica que se puede añadir un juego adicional de ruedas auxiliares para poder contar el nº de veces que las ruedas auxiliares (primarias) pasaban de 9 a 0, recordando que debían añadirse este acarreo a los dígitos de lugares a la izquierda. La Figura 3.10 muestra la máquina original de Morland y esta última propuesta. Morland conocía sin duda que un solo diente puede mover la siguiente rueda, o incluso dos, pero no era capaz de soportar el esfuerzo de un extremo del registro a otro.

La segunda máquina de calcular se diseñó como ayuda a la multiplicación y a la división usando las tablas de Neper. Consistía en una tapa plana de bronce con unas ventanas perforadas, una serie de discos circulares con números grabados en sus bordes, y varios ejes semicirculares para situar los discos. Estos discos eran una versión circular de las tablas de Neper separando las decenas de las unidades en la diagonal opuesta. Por ejemplo la ilustración de uno de estos discos de la Figura 3.11 muestra la tabla del 3, y muestra asimismo el producto 4x3=12 (destacado por las flechas). El dígito grande central indica el dígito de la tabla, y el dígito grande inferior indica la tabla grabada en el envés.

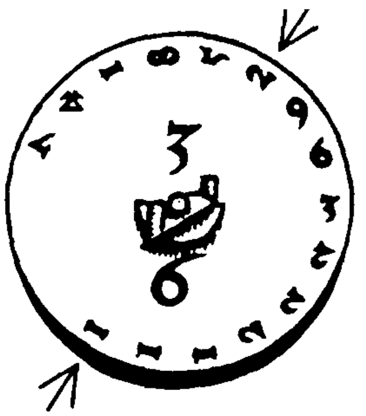

Figura 3.11 Las tablas de multiplicar de la máquina de Morland de multiplicar

Para hallar el producto de un número, por ejemplo 1234, por un dígito, se seleccionan los discos de esta cifra de los soportes superiores y se situan en los inferiores, seleccionando la posición del dígito por el cual se multiplica en la parte inferior del instrumento. En las ventanas se lee sumando cada par de dígitos el número resultado del producto (en la Figura 3.12, 4x123406936). La máquina incorporaba las tablas Q/QQ empleadas para hallar raices cuadradas y cúbicas.

La máquina de sumar y de multiplicar formaban un buen conjunto, ya que no solo se complementan en su uso, sino que para multiplicar con las tablas se requiere sumar.

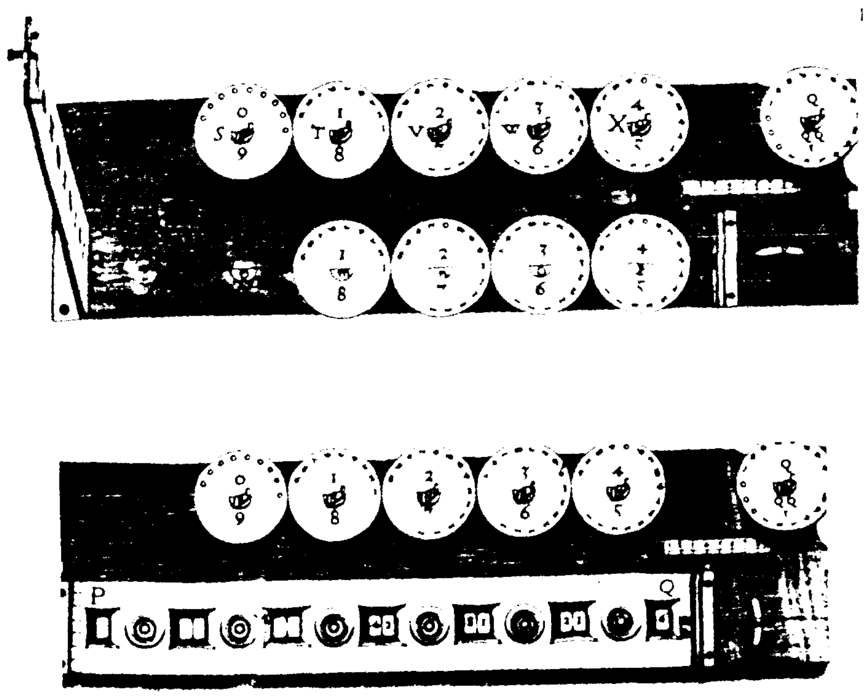

Figura 3.12 La máquina de multiplicar de Morland con la tapa retirada (arriba)y en su lugar de utilización (abajo)

3.5. René Grillet

Se sabe poco de René Grillet. Tan sólo que era relojero sin más detalles de su vida. Se dice que construyó su máquina y se fué de feria cobrando dinero para mostrar su operación. Hay quien dice que su máquina era la de Leibnitz, quien se la apropió durante su estancia en París.

la forma externa de la máquina de Grillet se ha conocido gracias a una brebe descripción de ella en el "*Diario de los Scavans*", publicación científica de la época. El texto del artículo dice poco sobre el uso de la máquina. Dice que la idea viene de las tablas de Neper y la máquina de Pascal. Grillet explica únicamente que su máquina combina las tablas de Neper (en un cilindro) con las ruedas de Pascal para realizar todas las operaciones aritméticas.

La figura 3.13 muestra la máquina de Grillet ilustrada en el libro de 1673. Posee 24 ruedas, mientras que en la parte inferior dispone de un juego de tablas de Neper grabadas en los cilindros, similares a los de Gaspard Schott. No se sabe más, ya que el secretismo del relojero y el hecho de que no haya sobrevivido su máquina nos impide conocer más detalles de su interior.

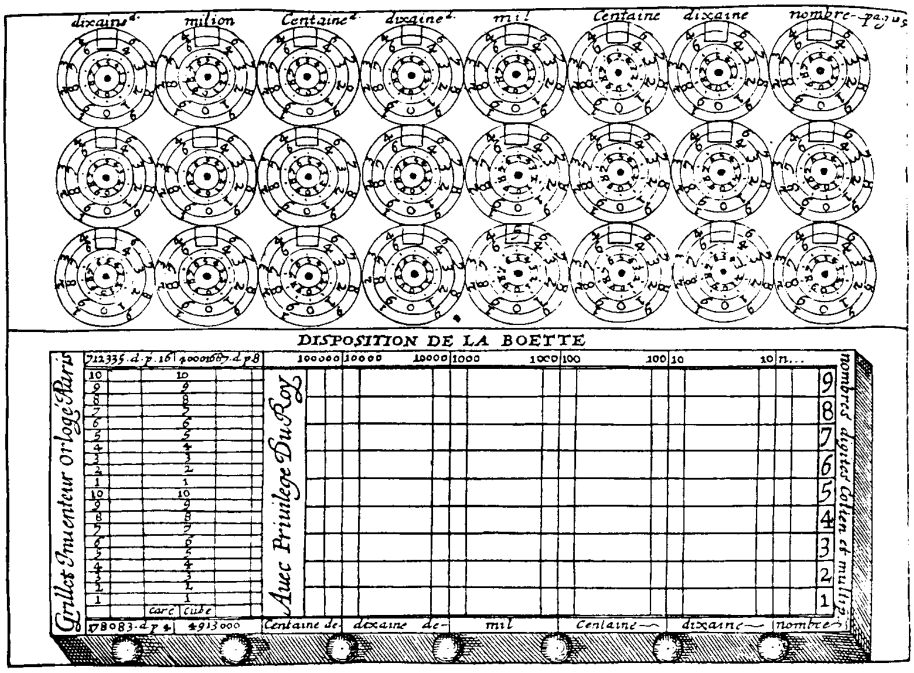

Figura 3.13 La máquina de René Grillet, ilustrada en su libro de 1673

3.6. Máquinas Comerciales

3.6.1.El aritmómetro de Thomas.

La primera máquina comercial de cálculo fue producida por Carles Xavier Thomas de Colner en Francia. A partir del mecanismo básico de Leibnitz mejorado con la tecnología y diseño, fabricó una máquina que llamó "aritmómetro", en los primeros años de la década de 1820. Incorporaba sobre el diseño de Leibnitz algunas mejoras que facilitaban su uso. Por ejemplo, Thomas invirtió el movimiento de operación (durante la multiplicación) con lo que el registro del resultado se movía a la izquierda sobre la parte superior de la rueda en escalera en vez de mover el engranaje en escalera bajo el registro del resultado. Esto, conjuntamente con la mejora de las técnicas de fabricación resultaron en una máquina operativa pese a su tamaño y peso.

Los aritmómetros de Thomas estuvieron en producción hasta el comienzo de la primera guerra mundial. Se fabricaron en diversos modelos normalizados de seis, siete y ocho dígitos en la entrada de datos y el doble en la salida. Incluso se fabricaron con 16 y 32 dígitos con propósitos especiales.

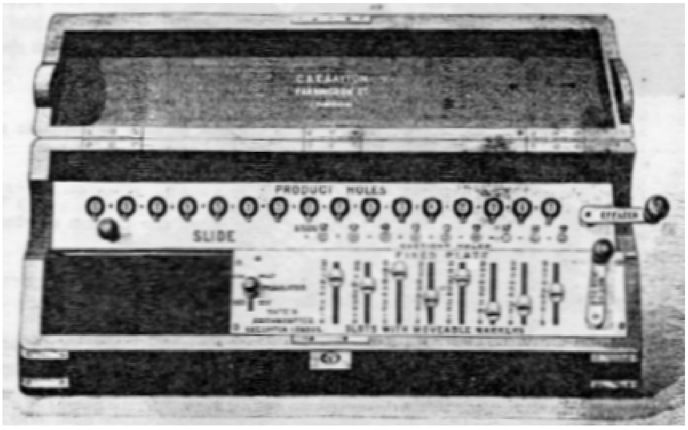

Figura 3.14 El aritmómetro de Thomas

3.6.2. Las máquinas de Baldwin Odhner.

El mayor avance en el diseño y la producción de calculadores de sobremesa llegó al perfeccionarse nuevos mecanismos que permitieron a los diseñadores el reemplazar las ruedas de Leibnitz por un mecanismo mas compacto y ligero. El propósito del engranaje con dientes en escalera es tener un medio para girar un número variable de posiciones (de 0 a 9) en función de la posición de otro mecanismo que mantiene el número por el cual se va a multiplicar. El tambor de Leibnitz proporciona un engranaje con número variable de dientes, número que se determina por la posición a lo largodel eje en el cual engrana la rueda dentada accionada por ese tambor. Antes de la existencia de un engranaje auténtico de número de dientes variables no se producía una reducciín significativa del tamaño y peso del calculador resultante.

El primer engranaje correctamente construido de número de dientes variable lo realizaron casi simultáneamente y de modo independiente Frank S. Baldwin en los Estados Unidos, y T.Odher, un sueco trabajando en Rusia. Ambos mecanismos eran muy similares, siendo caonocidas las máquinas fabricadas con ellos como máquinas de Baldwin en Estados Unidos, y Máquinas de Odhner en Europa.

La Figura 3.15. muestra el principio de estas ruedas, que consisten en unos pasadores que pueden desplazarse para actuar como dientes del engranaje mediante una leva concéntrica con el soporte de los pasadores. Al mover la leva ocasiona que los pasadores sobresaliesen sobre la rueda exterior.

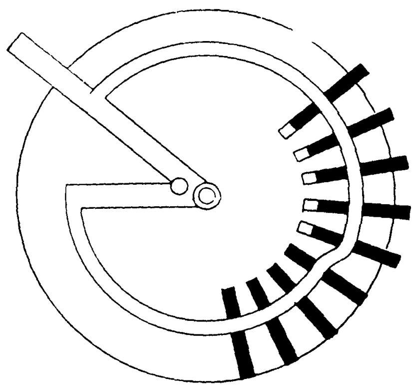

Figura 3.15 La rueda de dientes variables por mecanismo de leva

Una calculadora basada en estos discos tendrá como entrada la posición de las levas sobre el disco.

El beneficio real de estos engranajes no es sólamente la facilidad de uso y prestaciones, sino el hecho de estar construidos con discos planos y finos. Esto significa que se pueden montar apilados con gran facilidad en muy poco espacio. El tamaño de la máquina decreció enormemente , pasando de ocupar una mesa completa a ocupar el rincón de una mesa, siendo un instrumrnto práctico presente en casi todas las oficinas. El mayor productor de estas máquinas, Brunsgiva, fabricó su primer modelo en 1885, y en 1912 había fabricado más de 20,000 unidades de este tipo. Se estima que el número total de máquinas en uso pudo estar en 10 veces esta cifra.

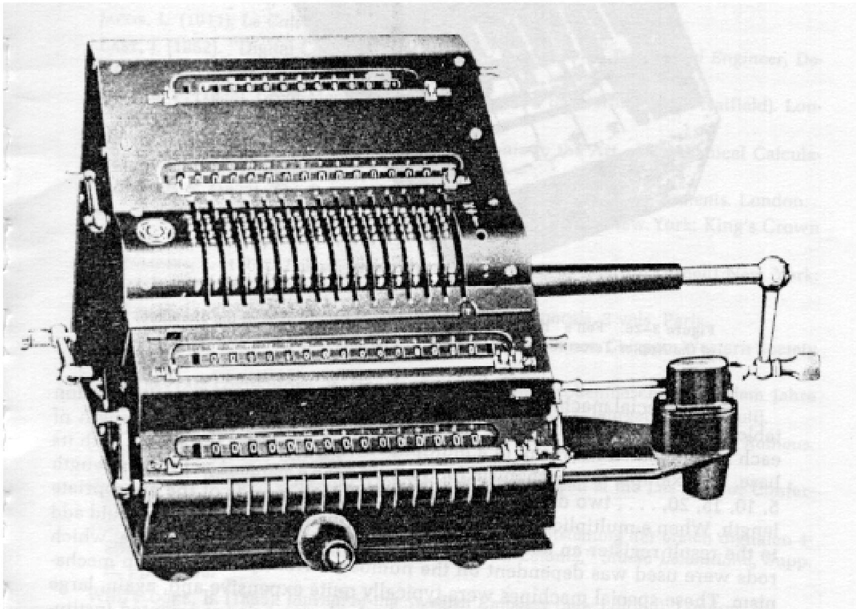

Figura 3.16 La calculadora Brunsgiva modelo Dupla

3.6.3. Las máquinas accionadas por teclas

Hubo que solventar otro problema antes de conseguir que la mayor parte de las oficinas adoptasen de modo generalizado la calculadora mecánica para su uso. En las aplicaciones que requieren suma o resta de grandes cantidades,el esfuerzo de situar las levas en el registro y girar las manivelas para sumar eran operaciones que consumian tienpo en las oficinas con un gran volumen de operaciones a realizar.

Se sabía hacía tiempo que la energía necesaria para situar un número en un mecanismo de inicio de una máquina de calcular era no sólo suficiente para la inicialización sino que también podía realizar la oeración deseada. Los intentos para combinar la operación de inicio y suma no resultaron por dos razones diferentes. La primera era el hecho de que una vez que el registro de resultado se había puesto en movimiento por un golpe de la tecla era dificil pararlo por que las ruedas giraban muy rápido y el resultado era incorrecto.

La segunda razón era el problema que aparecía el usar las personas estas máquinas al pulsar simultáneamente dos teclas en vez de de pulsarlas secuencialmente . Debido al accionamiento simultáneo era preciso diseñar un mecanismo para la propagación del acarreo en menos tiempo del que tomaba a las teclas el retornar a su posición de retorno. Este tiempo se restringía además por el hecho que un acarreo podía ocasionar otro. Cuando se ideó un mecanismo que permite sumar un acarreo en menos de 1/150 de segundo, las calculadoras accionadas por tecla fueron una realidad.

El hombre que hizo posible el "*comptómetro*" o máquina de calcular accionada por tecla fue Dorr E. Felt. Felt fabricó el comptómetro y mantuvo es su compañía un archivo bien documentado de dispositivos mecánicos de cálculo y además impartió clases sobre ellos. Acabó su primer modelo en 1885 que salió al mercado en 1886. Combinando la acción de introducir un número con la suma, se aceleró la operación en un orden de magnitud sobre los tiempos disponibles en otros calculadores mecánicos de la época. Los problemas de inercia que aparecían al acelerar el cálculose resolvieron con un proceso de ingenieria bastante avanzado.

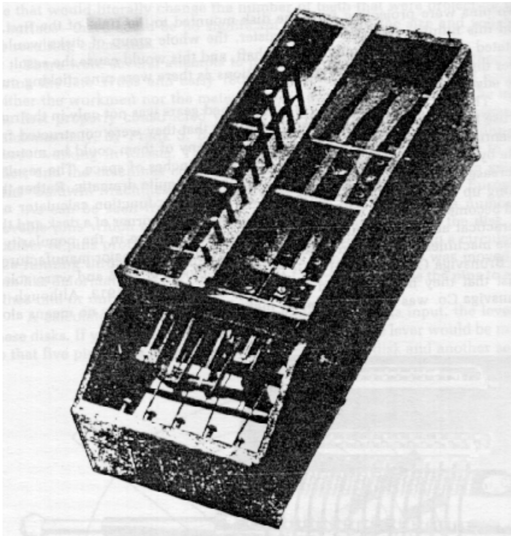

Figura 3.15 La "Caja de Macarrones", prototipo del comptómetro de Felt

A partir de este punto no hubo realmente nuevos diseños de calculadoras de sobremesa, sino sólo mejorasen la tecnología, que las hicieron más pequeñas y fiables, pero manteniendo el diseño básico en todos los modelos.

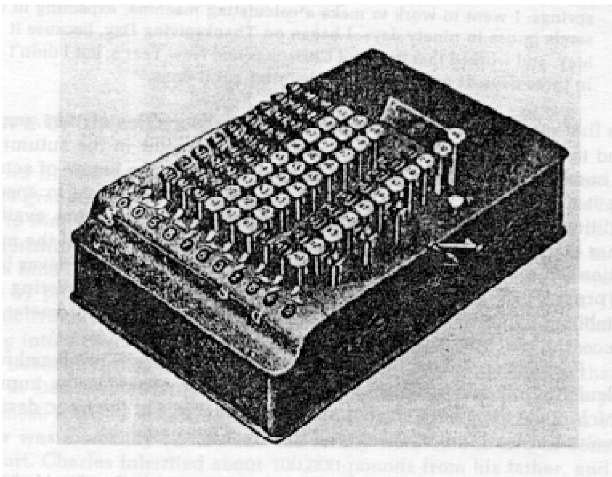

Figura 3.17 El comptómetro de Felt