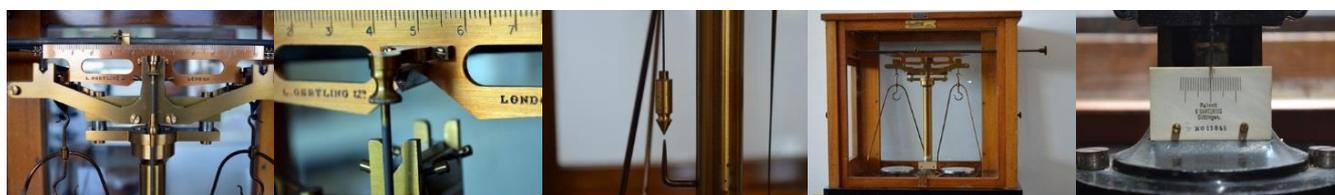


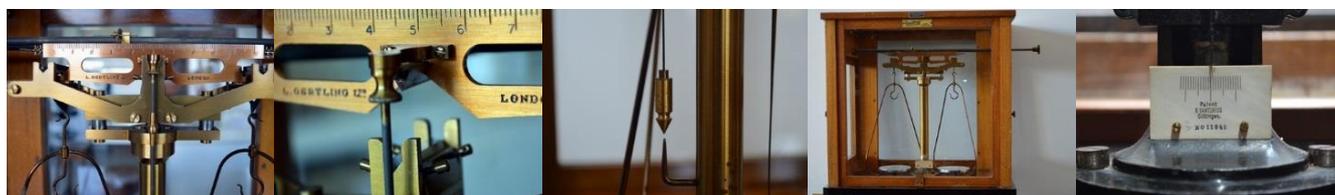
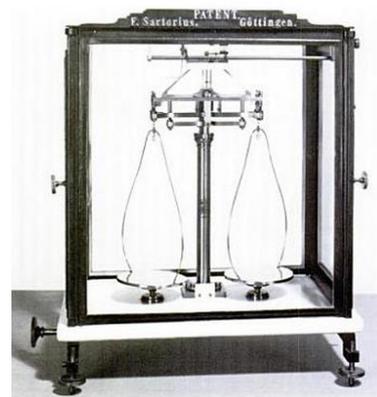
1. Sartorius Werke

- **Año:** 1930
- **Serie:** 68781
- **Categoría:** balanza analítica mecánica
- **Tipo:** gravitacional de contrapeso
- **Subtipo:** simétrica de dos brazos
- **Fabricante:** Sartorius, Gotinga, Alemania
- **Diseño:** brazo corto, caja de madera, luz eléctrica para visualización de la escala, base de madera vidriada, sistema de contrapesos, amortiguación y jinete
- **Medidas:** altura = 37 cm; ancho = 38 cm; profundidad = 29 cm
- **Precisión:** $\pm 0,1$ mg
- **Capacidad de carga:** 200 g
- **Descripción:** La balanza se compone de dos platos situados a ambos lados del brazo central, que remata en una estructura de latón superior, con accesorios de color negro y plata y amortiguadores cilíndricos. Posee puertas con desplazamiento horizontal en los laterales y otra con desplazamiento vertical de guillotina, las que permiten manipular cómodamente al momento de colocar en el plato izquierdo la muestra a pesar y en el derecho la pesa de referencia. En el lateral superior derecho posee una pequeña rueda graduada que pone en funcionamiento un elaborado sistema de contrapesos en plata y bronce, con los que se consigue realizar la medida con gran exactitud y precisión para la época. Para alcanzar una resolución de una décima de miligramo se utiliza el jinete, una pieza que se monta sobre el brazo utilizando el pasador transversal superior. El jinete gradúa el punto de equilibrio, el que se visualiza nítidamente a través de una escala amplificada e iluminada por luz eléctrica. Se trata de una pieza completamente original, como lo atestiguan las placas con el nombre del fabricante y el número de serie.



2. F. Sartorius Patent

- **Año:** 1876
- **Serie:** 11045
- **Categoría:** balanza analítica mecánica
- **Tipo:** gravitacional de contrapeso
- **Subtipo:** simétrica de dos brazos
- **Fabricante:** Sartorius, Gotinga, Alemania
- **Diseño:** brazo corto de aluminio (140 mm), placas de ágata, cuchillas de acero, caja de madera para aislamiento y jinete
- **Medidas:** 73.5 cm x 63.5 cm x 46 cm
- **Precisión:** 1 μg
- **Capacidad de carga:** 200 g
- **Descripción:** La balanza posee dos platillos unidos a un brazo triangular corto de aluminio, el cual era un metal nuevo para la época, liviano y resistente a la corrosión. Las cuchillas son de acero inoxidable y sus bordes descansan sobre placas de ágata. Posee una puerta con desplazamiento vertical de guillotina, la que permite manipular cómodamente al momento de colocar la muestra a pesar (platillo izquierdo) y la pesa de referencia (platillo derecho). El punto de equilibrio se observa sobre la escala a simple vista y se gradúa mediante un jinete, el que se monta sobre la superficie dentada del brazo utilizando el pasador transversal superior. Este equipo fue uno de los primeros en ser desarrollado por la empresa Sartorius, a mediados de la década de 1870, y permite una resolución de tan solo una parte en un millón.



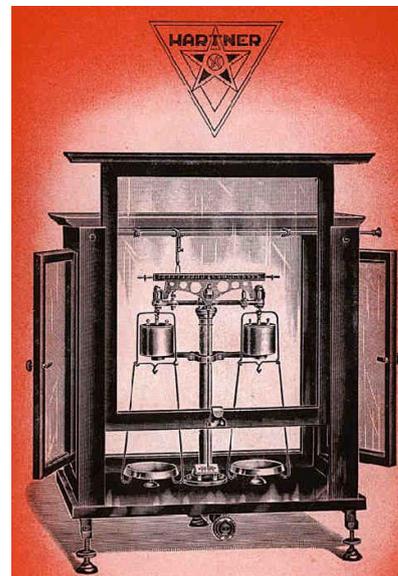
3. Sartorius Selecta

- **Año:** 1955
- **Modelo:** Standard
- **Serie:** 89160
- **Categoría:** balanza analítica electromecánica
- **Tipo:** gravitacional de contrapeso
- **Subtipo:** automatizada
- **Fabricante:** Sartorius, Gotinga, Alemania
- **Diseño:** caja de metal, brazo simétrico con autocompensación, proyección óptica de la escala, carga automática de masas, amortiguación neumática, bajo centro de gravedad, cuchillas de zafiro
- **Medidas:** altura = 50 cm; diámetro = 32 cm
- **Peso:** 11,3 kg
- **Precisión:** $\pm 0,05$ mg
- **Capacidad de carga:** 200 g
- **Tiempo medio de medida:** 10 a 15 segundos
- **Descripción:** Esta es una balanza de un solo plato con urna cilíndrica, cuyo diseño provee un centro de gravedad bajo. Posee dos puertas de vidrio curvado que permiten un acceso al interior desde ambos lados. Tiene un brazo simétrico y autocompensable, con un sistema de carga automática de los contrapesos a través de engranajes y palancas. Este sistema se encuentra oculto y se activa con unas perillas que se sitúan abajo a la izquierda, por lo que no se permite la manipulación de las pesas de referencia por parte del usuario. Este equipo tiene incorporado asimismo un sistema de amortiguación neumática para minimizar las oscilaciones, acortando el tiempo promedio de medida. Está equipada además con un sistema de proyección óptica de 6 V, para una lectura más cómoda y precisa de la posición de equilibrio. Los materiales elegidos son de muy buena calidad, permitiendo una alta durabilidad: cuchillas de zafiro y contrapesos y platillo de acero inoxidable.



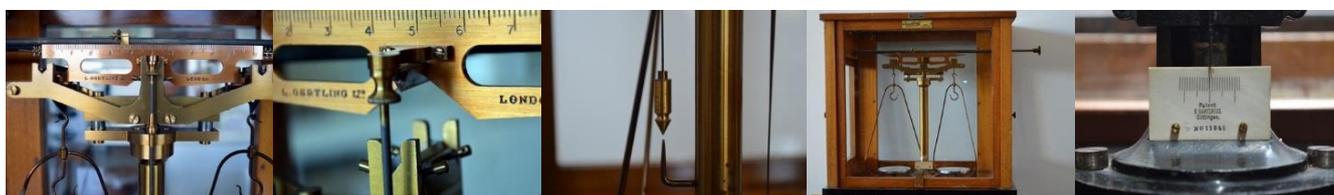
4. Hartner

- **Año:** 1951
- **Categoría:** balanza analítica mecánica
- **Tipo:** gravitacional de contrapeso
- **Subtipo:** simétrica de dos brazos
- **Fabricante:** Hartner, Alemania
- **Diseño:** caja de madera, brazo de aluminio, platillos de latón niquelado, amortiguación, luz eléctrica para visualización de la escala, sistema de contrapesos y jinete
- **Medidas:** altura = 51 cm; ancho = 43,5 cm; profundidad = 29 cm
- **Precisión:** $\pm 0,1$ mg
- **Capacidad de carga:** 200 g



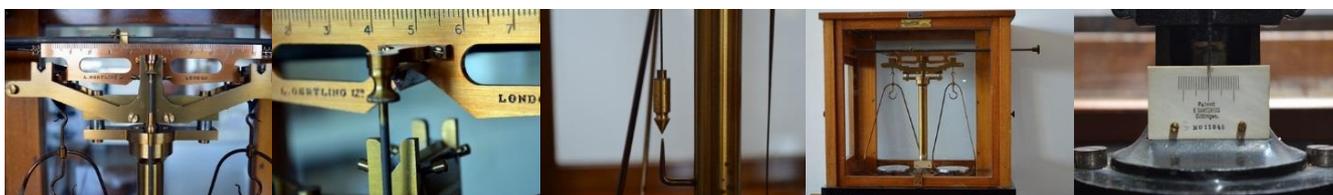
Modelo similar al exhibido

- **Descripción:** Esta balanza posee de dos platos de latón niquelado soportados sobre un brazo de aluminio. Sus puertas laterales y frontal permiten una cómoda manipulación al momento de colocar las pesas de referencia (platillo derecho) y la muestra a pesar (platillo izquierdo). Posee una perilla en el cuadrante superior derecho que activa el sistema de contrapesos, permitiendo una graduación fina de la masa a determinar. Este equipo es capaz de realizar medidas con una precisión de 0,1 mg, debido a que la posición de equilibrio es alcanzada mediante el movimiento del jinete, que se monta sobre el brazo dentado utilizando el pasador transversal superior.



5. Oertling

- Año: 1930 – 1958
- Modelo: 48
- Categoría: balanza analítica mecánica
- Tipo: gravitacional de contrapeso
- Subtipo: simétrica de dos brazos
- Fabricante: Oertling, Inglaterra
- Diseño: brazo corto de latón, caja de madera, base de madera vidriada y jinete
- Medidas: altura = 43 cm; ancho = 36,5 cm; profundidad = 25 cm
- Precisión: $\pm 0,1$ mg
- Capacidad de carga: 200 g
- Descripción: La balanza posee un brazo de latón unido a dos platillos que se conectan al mismo a través de dos cuchillas. Posee puertas con desplazamiento lateral y otra con desplazamiento vertical de guillotina, las que permiten operar cómodamente con las pesas de referencia (plato derecho) y la muestra (plato izquierdo). La medida de la masa se obtiene con una precisión de 0,1 mg. Para esto se gradúa finamente el punto de equilibrio mediante el desplazamiento una pieza llamada jinete sobre la superficie dentada del brazo, utilizando para esto el pasador transversal superior.



La revolución de la balanza

La balanza es, probablemente, uno de los instrumentos científicos con mayor carga simbólica. Su imagen aparece asociada a la justicia como emblema de igualdad e imparcialidad o a la economía como símbolo de los intercambios comerciales. También, en la cultura científica la balanza ha adquirido un fuerte carácter simbólico, al relacionarse con las condiciones de rigor, precisión y cuantificación necesarios en toda ciencia. Así, aparece en la memoria histórica de los químicos, para quienes la balanza se asocia al surgimiento de la química como ciencia. La balanza ha sido parte del trabajo denodado de varios científicos, como Antoine Laurent Lavoisier, los que permitieron grandes empresas como el derrocamiento del flogisto y el descubrimiento de la ley de la conservación de la masa. Esto ha llevado a algunos autores a categorizar a la balanza como uno de los factores trascendentales en la revolución de la química y la física de los siglos XVII, XVIII y XIX.

Al margen de esto, los químicos anteriores a Lavoisier no desconocían el arte de pesar. Las balanzas formaban parte del instrumental de los laboratorios del siglo XVII y las utilizaban comúnmente los boticarios y los ensayadores de metales. Además de su uso tradicional en el comercio, la balanza permitió identificar nuevos metales en las minas suecas (manganeso, níquel, tungsteno y titanio), los principios contenidos en los vegetales y compuestos tan importantes como el dióxido de carbono. En todos los casos, la precisión y la sensibilidad de las balanzas habían tenido una importancia central y se habían conseguido algunos avances técnicos en su fabricación.

Desde un punto de vista físico, la balanza de brazos iguales no es más que una palanca de primera clase, con el punto de apoyo situado entre los puntos de aplicación de las fuerzas (Figura 1). Su sensibilidad y su precisión dependen de muchos factores, pero los determinantes son la longitud y el peso total de los brazos y la exacta igualdad de éstos, la posición del punto de apoyo central respecto al centro de gravedad de todo el sistema, la posición en un mismo plano del punto de apoyo central y los puntos de suspensión de los extremos y el peso del cuerpo que deseamos medir. Así pues, mayor es la sensibilidad cuanto más largos sean los brazos de la balanza, más pequeño sea el peso de éstos y cuanto menor sea la distancia entre centro de gravedad y el punto de apoyo central. Esta es la razón por la que las balanzas utilizadas por los ensayadores de metales contaban con largos y finos brazos de metal.



Figura 1. Balanza de dos platillos

Las balanzas de los farmacéuticos y ensayadores de metales pronto mostraron sus limitaciones para los grados de precisión y sensibilidad necesarios en las operaciones de síntesis y análisis químicos realizados desde finales del siglo XVIII. La enorme longitud de los brazos producía grandes oscilaciones en el fiel, y hacía largo y complicado establecer el punto de equilibrio. Por otra parte, las deformaciones de los brazos producidas por el peso de la carga o por las variaciones de temperatura introducían errores que resultaban inaceptables para los grados de precisión exigidos en las operaciones químicas.

El primer científico que utilizó una balanza con fines analíticos fue **Joseph Black**, el que era profesor de química en Glasgow y Edinburgh. Sus experimentos permitieron caracterizar sales inorgánicas y descubrir el dióxido de carbono, en base a medidas de masas tan pequeñas como 0,065 g. A posteriori, el desarrollo de las de las políticas fiscales y las investigaciones químicas impulsaron aún más la necesidad de nuevas innovaciones técnicas, las que serían introducidas por los más prestigiosos

científicos y fabricantes de instrumentos franceses e ingleses del siglo XVIII. Junto a **Lavoisier** se pueden nombrar otros protagonistas de esta etapa, como **Antoine Fourcroy**, **Nicolas Fortín** y **Pierre Bernard Mégnié**. Son ellos quienes desarrollarían las balanzas más sofisticadas de la época, las que permitirían medir masas entre 4 g y 10 kg, con una precisión que, dependiendo del equipo, podía llegar a 0,1 mg.

A finales del siglo XVIII, el gobierno encargó a la Royal Society de Londres estudiar con detalle los medios posibles para mejorar la sensibilidad de las balanzas. El constructor de instrumentos **Jesse Ramsden** fue uno de los encargados de tal misión y el que introdujo algunas de las modificaciones más importantes. Ideó un sistema para obtener brazos más rígidos y ligeros al construirlos en forma de dos conos de latón huecos unidos por la base. Además los hizo apoyarse sobre una cuchilla que descansaba sobre una superficie plana de ágata. Estas modificaciones redujeron las variaciones en el punto de equilibrio de las balanzas tradicionales, pero no lograron reducir los largos tiempos de pesada provocados por las grandes oscilaciones que los brazos transmitían a la aguja. Fue el fabricante londinense **Thomas Charles Robinson** quien ideó hacia 1820 un nuevo tipo de balanzas con brazos más cortos, formados por una estructura triangular hueca que los hacía extremadamente ligeros y rígidos, al mismo tiempo que permitían acortar considerablemente el tiempo de pesada manteniendo altos niveles de sensibilidad y precisión.

A lo largo del siglo XIX, los constructores de balanzas europeos introdujeron numerosas innovaciones técnicas en sus modelos, impulsados por la creciente demanda de precisión, sensibilidad y rapidez en las pesadas impuestas en los trabajos químicos. Se generalizó el uso de urnas para proteger las balanzas de los efectos corrosivos de los gases emitidos en los laboratorios, se añadieron sistemas para ajustar la longitud de los brazos, se introdujeron materiales más resistentes al deterioro como platino, cristal, nácar o níquel, etc., y se generalizó el uso del *reiter*, *rider* o jinete, un ingenioso dispositivo que permitía aumentar la sensibilidad de las balanzas hasta las décimas de miligramo. El jinete fue introducido por primera vez por **Ludwing Oertling** (1818–1893), un fabricante alemán de balanzas que desarrollo su fábrica en Londres. Por este gran avance recibió la Medalla del Consejo en la Gran Exposición Mundial de 1851. Sus balanzas fueron seleccionadas por su desempeño para, en 1872 y 1892, comparar las pesas de referencia contra el estándar nacional.

Estas innovaciones técnicas permitieron además concebir balanzas de brazos mucho más cortos con grados de sensibilidad similares. Fue el ingeniero alemán **Paul Bunge** uno de los primeros en proponer este tipo de balanzas de brazos cortos, que el constructor alemán **Florenz Sartorius** (1846-1925) generalizaría en el último tercio del siglo XIX. Además de esta importante innovación en el diseño de las balanzas, Sartorius incorporó nuevos materiales en su construcción. El más importante fue el aluminio, que había comenzado a producirse industrialmente mediante el sistema de fabricación ideado por el químico Friedrich Wohler. Con este nuevo material, logró alcanzar grados de ligereza y rigidez mucho mayores que los permitidos por los metales tradicionales, ayudando a compensar de este modo la pérdida de sensibilidad producida por el acortamiento de los brazos. Las balanzas producidas por Sartorius desde 1870 en sus talleres de Gotinga se convirtieron en el referente principal de las balanzas analíticas hasta bien entrado el siglo XX (Figura 2).

Otro de los nombres ilustres en la historia del desarrollo de balanzas analíticas es **Gustav Hartner**, el cual dirigió desde 1893 una empresa que desarrolló equipos con muy buena sensibilidad. Sin embargo, a partir de 1911 y por cuestiones económicas, se focalizó en la producción de mechas y otros accesorios para taladros, discontinuando progresivamente el desarrollo de sus balanzas de precisión.





Figura 2. Balanza analítica Sartorius construida en 1900. A) Dispositivo mecánico del jinete en los brazos .B) Barra de arresto o apoyo que permite elevar las portes móviles de la balanza. C) Cuchillas de ágata que descansan sobre los cojinetes de ágata o corindón permitiendo lo oscilación del ástil y los estribos con el mínimo rozamiento. D1) Ástil. D2) Tornillos reguladores para el ajuste de la igualdad de los brazos. D3) Fiel que indica las desviaciones del ástil. E) Amortiguadores neumáticos que permiten atenuar lo oscilación de los platillos y estribos. F) Lente para visualizar la escala graduada.

Las innovaciones técnicas posteriores se han encaminado a disminuir el tiempo de la pesada. Uno de los factores clave para lograrlo ha sido la introducción de sistemas mecánicos que evitasen parcial o totalmente la adición manual de las pesas en la balanza. Uno de los primeros fue el del fabricante Cobos, mediante el cual un sencillo mando graduado permitía accionar el mecanismo que añadía sobre el brazo izquierdo de la balanza pesas de hasta 1 g (Figura 3). El modelo *Selecta* de la casa Sartorius fue una de las primeras balanzas completamente mecanizadas que permitía realizar la pesada sin necesidad de pesas externas. La balanza consta de un solo platillo sobre el que se deposita la muestra. Sobre el otro brazo pende un complejo sistema de barras y pesas colgantes que son añadidas mediante un mecanismo accionado manualmente desde el exterior. Una escala graduada sobre un visor permite establecer el punto de equilibrio.



Un paso decisivo en esta nueva generación de balanzas de precisión mecanizadas fue la puesta a punto del llamado sistema de *pesada por sustitución*, en el que el equilibrio se reestablece eliminando pesas en lugar de añadirlas. La gran ventaja de este tipo de balanzas es que el peso soportado por los brazos es constante e independiente de la masa del objeto que se esté pesando, lo que elimina las variaciones de sensibilidad en función de la carga total. Este tipo de balanzas fueron popularizadas por el constructor suizo **Erhard Mettler** (1917-2000) que comenzó a producir en serie los primeros modelos entre 1945 y 1946 en su compañía Mettler Instrumente AG, establecida en Küsnacht (Suiza).

Hasta hace poco la mayoría de las balanzas utilizadas comúnmente eran puramente gravitacionales, es decir, utilizaban pesas de referencia para equilibrar la fuerza peso de la muestra a masar. Hoy en día se utiliza el mismo principio, pero en las balanzas analíticas actuales la fuerza peso se contrarresta con un campo electromagnético generado por un electroimán. Tal dispositivo se denomina sensor de restauración de fuerza electromagnética.

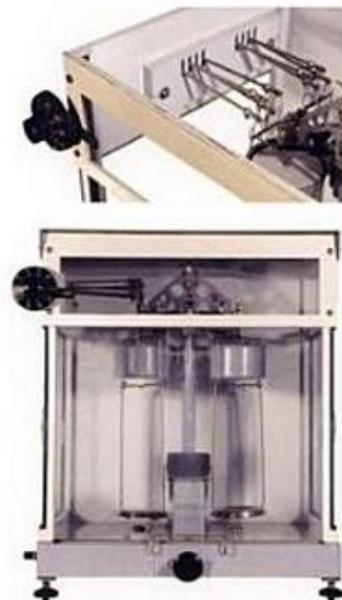


Figura 3. Balanza analítica Cobos y su sistema de adición mecánica de pesas.

