

Bomba Calorimétrica: reconstrucción de un equipo

Bomb calorimeter: equipment reconstruction

Susana Juanto¹, Jorge Stei¹, Fabiana Prodanoff^{1,2}, y Nahuel Moreno Yalet^{1,2}

¹Grupo IEC (Investigación en Enseñanza de las Ciencias), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, Buenos Aires, Argentina.

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: sujuanto@yahoo.com.ar

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Resumen

El presente trabajo trata sobre la reconstrucción de una bomba calorimétrica en la FRLPUTN y el trabajo con esta durante el 2018. El calorímetro se construyó utilizando la bomba calorimétrica de un calorímetro antiguo en desuso, con la intención de que la facultad en un futuro inmediato cuente con este dispositivo, y pueda ser utilizado tanto para fines educativos, como para trabajos para terceros. En este trabajo se relata cómo se armó el calorímetro, y el procedimiento que se utilizó para tomar las muestras. Se detallan los problemas que se encontraron en el camino y como fueron solucionados. Se muestran los resultados que se obtuvieron, las conclusiones del trabajo realizado y se habla de las mejoras pensadas a realizar a futuro.

Palabras clave: Bomba Calorimétrica; Calorímetro; Termodinámica; Rediseño.

Abstract

This paper relates a bomb calorimeter reconstruction, from an old equipment. The goal of this work was to provide the University with a teaching resource, as well as to offer measurements for academic purposes. It is described the equipment construction, difficulties found and solved, and measurement procedure. It is shown the results, conclusions and possible improvements.

Keywords: Bomb calorimeter; Calorimeter; Thermodynamics; Re-engineering.

I. INTRODUCCIÓN

En la facultad hay diversos objetos y tecnologías que en algún momento fueron de utilidad, pero que por algún motivo dejaron de funcionar o se volvieron obsoletas. Desde hace mucho tiempo, se encuentra un calorímetro marca BTL de 1970, de tipo isoperibólico. Este dispositivo se dejó de utilizar, dado que hoy en día, para dicha bomba no se consiguen repuestos del dispositivo de circulación de agua y tiene elementos de electrónica antiguos como válvulas, las cuales ya no son de utilidad ni pueden reemplazarse. Sin embargo, se le pudo extraer la bomba calorimétrica de acero inoxidable. Junto a tal bomba, se diseñó y armó un modelo similar al mostrado en la figura 1, un calorímetro sencillo, que funciona adecuadamente para fines didácticos y de investigación. A continuación, se dará una breve explicación sobre cómo funciona un calorímetro, para luego poder adentrarnos en su armado y uso en la Facultad Regional de La Plata.

II. CALORÍMETRO

El calorímetro es un instrumento para conocer las cantidades de calor suministradas o recibidas por los cuerpos. Es decir, sirve para determinar el calor específico de un cuerpo, así como para medir las cantidades de calor que liberan o absorben los cuerpos, a través de una medida de temperatura, conociendo las masas de los cuerpos involucrados. El tipo de calorímetro de uso más extendido (calorímetro adiabático) consiste en un envase cerrado y perfectamente aislado con agua, un dispositivo para agitar y un termóme-

tro. Se coloca una fuente de calor en el calorímetro, se agita el agua hasta lograr el equilibrio, y el aumento de temperatura se comprueba con el termómetro. La cantidad de energía liberada, es decir, el poder calorífico superior (QPCS) de la probeta de ensayo, puede calcularse fácilmente con la siguiente fórmula dada por la norma ISO 1716:2010(Norma ISO,2010)de ensayos de reacción al fuego de productos:

$$Q_{PCS} = \frac{E(T_m - T_i + c) - b}{m} \quad (1)$$

Donde:

- Q_{PCS} es el poder calorífico superior, en MJ/kg;
- E es el equivalente de agua del calorímetro, la bomba, sus accesorios y del agua introducida en la bomba expresado en megajulios por kilogramo;
- T_i temperatura inicial en kelvin;
- T_m temperatura máxima en kelvin;
- b es la corrección, expresada en megajulios, necesaria para el calor de combustión de los “combustibles” usados durante el ensayo; es decir el cable de encendido, el hilo, el papel de fumar y el ácido benzoico;
- c es el factor de corrección de la temperatura, expresado en kelvin, requerido por el intercambio de calor con el exterior. Su valor es cero si se usa un depósito aislado adiabáticamente;
- m masa de la probeta de ensayo, en kilogramos.

Cuando la fuente de calor es una reacción química, como sucede al quemar un combustible o un alimento, las sustancias reactivas se colocan en un envase de acero pesado llamado bomba. Esta bomba se introduce en el calorímetro y la reacción se provoca por ignición, con ayuda de una chispa eléctrica. En estos casos se utiliza una bomba dado que la combustión requiere el aporte de oxígeno a presiones cercanas a 30 atmósferas y el recipiente debe poder resistirlo.

Los calorímetros suelen incluir su equivalente, para facilitar cálculos. El equivalente en agua del calorímetro es la masa de agua que se comportaría igual que el calorímetro y que perdería igual calor en las mismas circunstancias. De esta forma, solo hay que sumar al agua la cantidad de equivalentes.

III. ARMADO DEL CALORÍMETRO

Nuestro Grupo IEC tiene experiencia en puesta a punto de equipos antiguos (Juanto y otros, 2017). Luego de hacer un relevamiento, y comparando la tecnología disponible con la requerida por la norma UNE-EN ISO 1716:2010, se observa que el interior del calorímetro (esto es, la bomba calorimétrica) junto con el motor que mueve el agitador, podían ser aprovechados para armar un nuevo sistema para ensayos con el calorímetro.

Los elementos complementarios para formar este nuevo sistema se seleccionaron de manera tal que cumpla las especificaciones requeridas por la norma. Estos materiales fueron:

- Poliestireno expandido
- Madera
- Pegamento
- Agitador
- Cable de ignición
- Transformador
- Cables
- Caja para 5 conexiones: una conexión a la red, dos conexiones para la computadora y el monitor, una conexión al transformador y una conexión para el agitador del calorímetro
- Caja con una entrada y una salida con un led luminoso como indicador

En las figuras 1 y 2 se muestra la disposición de los elementos para poder reproducir los ensayos. El circuito funciona de la siguiente forma: La caja de conexiones se conecta a la red. Luego, se presiona un interruptor de la caja de conexiones de manera tal de cerrar el circuito eléctrico formado por la caja, el transformador y el calorímetro. Se establece una corriente en el circuito cerrado y debido a esta corriente se quema el alambre de ignición situado en la bomba calorimétrica, iniciándose la combustión de la probeta de ensayo. Desde que se cierra la bomba hasta que se estabiliza la temperatura después de quemar la probeta, el software de la computadora toma los datos suministrados por el termómetro.

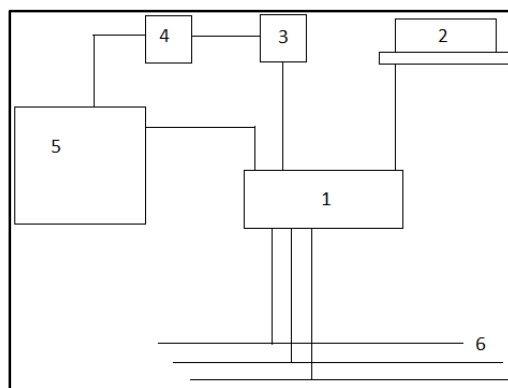


FIGURA 1.Diagrama de conexiones del sistema para ensayos de ignición.Leyenda: 1- Caja de conexiones, 2- computadora, 3-transformador, 4- caja de conexión con led, 5- calorímetro, 6- Red, Corriente alterna, 220V, 50 Hz.

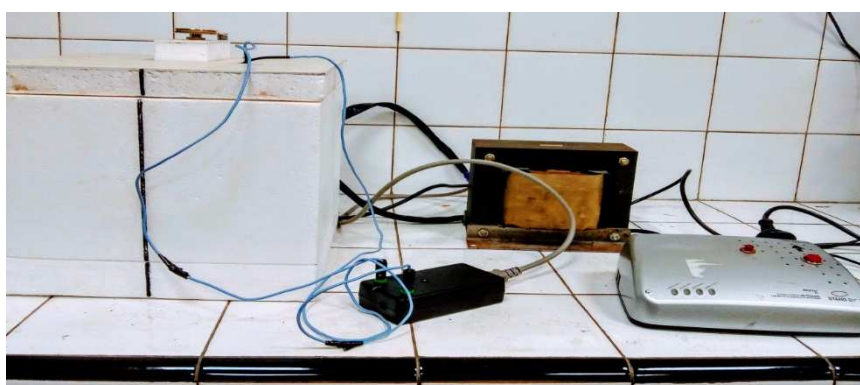


FIGURA 2.Sistema de ensayo montado en el laboratorio, correspondiente al circuito esquematizado.

En cuanto a los materiales elegidos para el calorímetro, se pensó utilizar el poliestireno expandido como material para construir el depósito aislado adiabáticamente ya que el gradiente de temperatura que debe existir en la caja es bajo ($+2K$ según la norma ISO 1716:2010) y la temperatura exterior es la temperatura ambiente.

Otras modificaciones consistieron en utilizar un sensor de temperatura marca Vernier en lugar de termómetro, dado que tiene buena precisión y permite adquirir y almacenar los datos en forma digital.

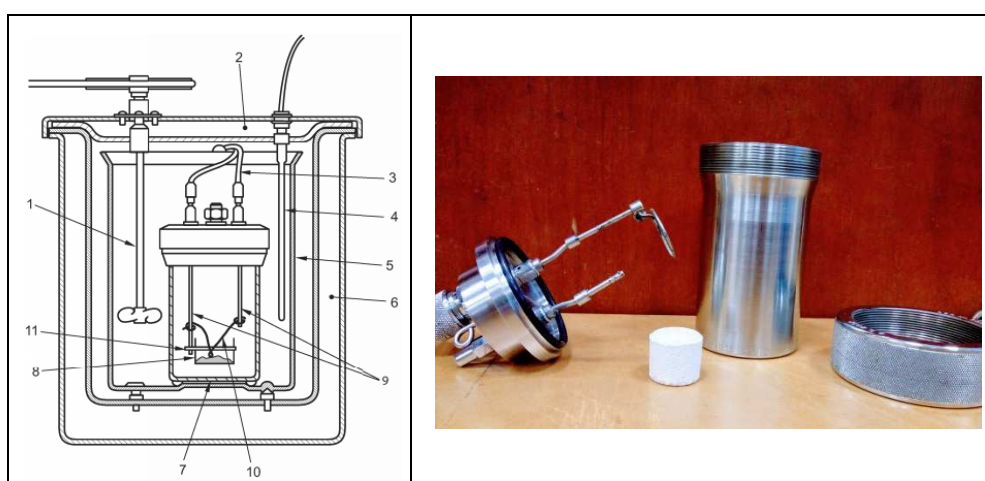


FIGURA 3.Aparato de ensayo según ISO 1716:2010.Leyenda: 1- Agitador, 2- Tapa del depósito aislado, 3- Cables de ignición, 4- Dispositivo de medición de la temperatura, 5- Vaso calorimétrico, 6- Depósito aislado, 7- Bomba calorimétrica, 8- Crisol, 9- Electrodo, 10- Cable de encendido, 11- Apoyo de crisol.

A. Elección del cable de ignición

El alambre de ignición original del equipo de 1970 era de hierro, diámetro 0.2 mm. En las bombas calorimétricas modernas, el sistema de ignición consiste en un cable que enciende la muestra, hay un sensor que indica que llegó a la temperatura indicada, y el cable puede reutilizarse en repetidas ocasiones.

En el calorímetro de 1970 no se incluían sensores, la ignición estaba asegurada porque el cable se fundía, lo cual se verificaba por la medida de continuidad del mismo (con el cable sin fundir, la Resistencia es muy baja, y viceversa). Cuando el cable original se nos agotó, entendimos que se necesitaba un cable capaz de fundirse con la alimentación disponible.

Sin poder conseguir el alambre de hierro similar al original, recorrimos negocios que venden alambres resistivos de diferentes características.

Comprobamos que la alimentación original del calorímetro no alcanzaba a fundir los tipos de alambre resistivos disponibles en el mercado: ensayamos Nicrom (80% de níquel y 20% de cromo) de resistencia similar al original, pero no alcanzaba a fundir, y Manganina (84% cobre, 12% manganeso, y 4% níquel) de distintos diámetros, que fundía, pero muy lentamente, debido a que debe existir un compromiso entre la resistencia y la temperatura de fusión.

Finalmente aumentamos la potencia de alimentación del cable, incluyendo un circuito con un transformador con más potencia (se adecuó el circuito como se muestra en las Fig.1 y 2), y alambre Cromalfe (Fe 70%, Cr 25% y Al5%) de 0.2 mm cumplió con los requisitos.

IV. USO DEL CALORÍMETRO

Una vez armado el calorímetro (ScienceDirect, s.f.), se empezó a utilizar el mismo. Se realizaron ensayos solicitados por una Diseñadora Industrial interesada en medir el poder calorífico de posibles leñas para una estufa que había diseñado, y una doctora en Agronomía, interesada en medir el poder calorífico de leña y carbón obtenido a partir de especies vegetales consideradas invasivas (Universidad Nacional de la Plata, s.f.). Tales personas nos proveyeron muestras de diferentes tipos de madera. Se trabajó con diversos tipos de muestra, y se hicieron varias medidas de cada muestra. Se tomaron los datos de la evolución de la temperatura de las muestras y el calorímetro con el software (*Logger Pro*), correspondiente a la termocupla de Vernier. Se tabularon los resultados y se compararon con valores de referencia de internet.

V. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

En este ensayo se quema una probeta de masa especificada bajo condiciones normalizadas, a volumen constante en una atmósfera de oxígeno, en una bomba calorimétrica (Fig.3), calibrada por combustión de ácido benzoico certificado. El calor de combustión determinado bajo estas condiciones se calcula en base al aumento de temperatura observado, considerando la pérdida de calor y el calor latente de vaporización del agua (fórmula 1). Este es un método de ensayo para determinar un valor absoluto de calor de combustión de un producto y considera las variables intrínsecas del producto. A continuación, se detallan los pasos para el ensayo.

1. En primer lugar, se mide la constante del calorímetro. Para esto, se coloca dentro del calorímetro 2 kg de agua y se calcula el equivalente de agua.
2. Luego se coloca una pastilla de ácido benzoico de 1 g con 15 cm de alambre y se envuelve a estos materiales como si fuera un cigarrillo como se indica en la figura 4. Se presuriza el interior de la bomba calorimétrica con oxígeno, hasta que llegue a una presión de 30 atmósferas. Luego, se devuelve la bomba al calorímetro, se cierra el circuito para quemar el alambre y se hace correr el software para que realice las mediciones de la evolución de la temperatura. Una vez que llega a una temperatura estable, se detiene la corrida del software, y con los datos de las temperaturas registradas se calcula la constante del calorímetro (fórmula 1).
3. Una vez registrada la constante del calorímetro, se procede con las mediciones de las diferentes muestras. A continuación, se detalla cómo se hace la medición de una muestra de madera:
4. Se separa una muestra de madera (o carbón según el caso) que tenga una masa cercana a 1 g,
5. Se coloca en un papel de celofán (papel de cigarrillo) la muestra del material combustible de interés
6. Se coloca 15 cm de alambre de ignición sobre el papel de celofán. Luego se enrolla el papel con su contenido sobre el alambre de ignición. Todo este armado compone la muestra a medir (figura 4).

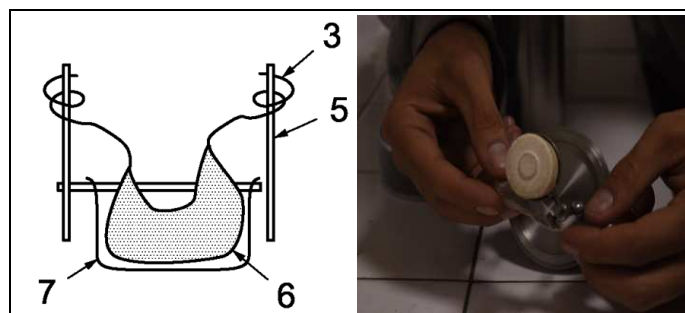


FIGURA 4. Cigarrillo colocado en el crisol. Leyenda: 3- Cables de encendido, 5- Electrodo, 6- Cigarrillo, 7- Crisol.

7. Una vez registrada la constante del calorímetro, se procede con las mediciones de las diferentes muestras. A continuación, se detalla cómo se hace la medición de una muestra de madera:
8. Se separa una muestra de madera (o carbón según el caso) que tenga una masa cercana a 1 g,
9. Se coloca en un papel de celofán (papel de cigarrillo) la muestra del material combustible de interés
10. Se coloca 15 cm de alambre de ignición sobre el papel de celofán. Luego se enrolla el papel con su contenido sobre el alambre de ignición. Todo este armado compone la muestra a medir. (figura 4)
11. Se coloca la muestra dentro del calorímetro. Se cierra el calorímetro, enroscando la tapa de la parte superior del mismo.
12. Se presuriza el interior del calorímetro con oxígeno. Se lo lleva a una presión de 30 atm.
13. Se cierra el circuito eléctrico. Por el alambre circula una corriente suficiente para que queме al alambre junto con la muestra.
14. En el instante en que se cierra el circuito se activa manualmente el Software que mide la evolución de la temperatura durante el tiempo necesario en que la muestra llegue a una temperatura estable.
15. Luego de que se guardaron los datos en la computadora, se retira la muestra del calorímetro y se calcula el calor específico de la muestra (formula 1).

VI. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron para las diferentes mediciones de cada una de las maderas, que tienen buena concordancia con los que se encuentran en Internet. (Ñuke, s.f.)

TABLA I. Mediciones con el calorímetro.

Fecha de la medición	Nombre de la muestra	Peso g	T_i °C	T_m °C	Valor de combustión	
					Kj/g	Kcal/g
21/11/2018	Eucalipto colorado	0,67	25,54	26,74	17,83	4,27
22/11/2018	Eucalipto colorado	0,97	26,86	28,55	18,17	4,35
22/11/2018	Cajón de verdura	0,98	25,53	27,36	19,64	4,7
21/11/2018	Quebracho	1,05	26,13	28,01	18,88	4,52
21/11/2018	Algarrobo	0,73	27,58	28,81	16,84	4,03
20/11/2018	Acacia negra carbón	1,03	26,1	29,3	34,1	8,16
22/11/2018	Galletita (alimento)	0,99	27,71	29,7	21,32	5,1
10/9/2017	Carbón de ligustro	0,20	17,5	18,1	33,12	7,92
10/9/2017	Carbón de eucaliptus	0,73	20,3	22,6	34,78	8,32
10/9/2017	Carbón de acacia negra	0,57	21,9	23,6	34,78	8,32
10/9/2017	Caña arundo	0,29	19,2	19,8	22,84	5,46
10/9/2017	Caña bambusa	0,40	20,2	21	22,08	5,28
10/9/2017	Caña phyllostachys	0,41	20,7	21,4	18,08	4,51
10/9/2017	Caña arundinaria	0,36	21,5	22,5	30,67	7,34
10/9/2017	Madera de acacia negra	0,18	22,8	23,2	24,53	5,87
28/11/2018	Cajón de verdura	0,51	23,87	24,91	19,79	4,73
28/11/2018	Algarrobo	0,64	25,01	26,21	18,67	4,47
28/11/2018	Quebracho	0,66	25,1	26,3	18,1	4,33

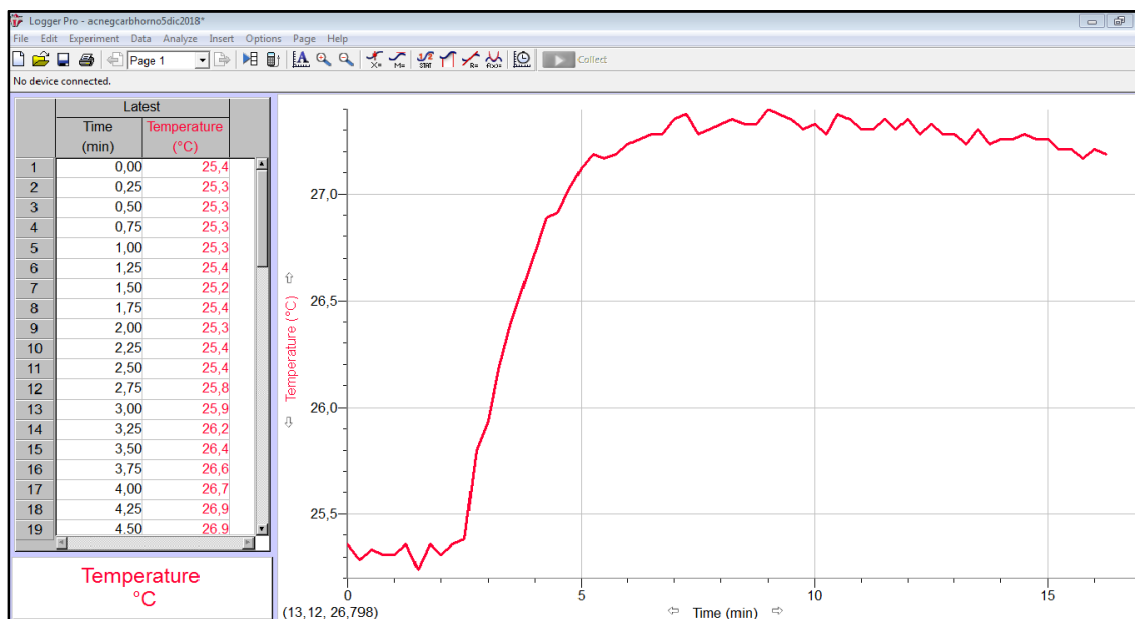


FIGURA 5. Gráfico de evolución de la temperatura en el tiempo, para un ensayo con carbón de acacia negra.

VII. CONCLUSIONES

Podemos observar que el trabajo realizado fue muy productivo en diferentes aspectos. En primer lugar, se pudo reacondicionar tecnología en desuso y obsoleta y utilizarla para fines de uso educativos y de investigación. Esto es un valor agregado importante que se le da tanto a la facultad como a la comunidad. Además, se pudo desarrollar la tecnología en cuestión con costos muy bajos en insumos, lo cual vemos como un ahorro grande para la facultad, teniendo en cuenta la imposibilidad de poder comprar en el mercado un calorímetro moderno para ensayos de ignición, por su alto costo.

Los poderes caloríficos obtenidos en los ensayos tienen una buena concordancia con los que se encuentran en bibliografía. De esta forma, podemos concluir que el calorímetro construido podrá ser utilizado de manera efectiva para los fines ya nombrados.

La construcción del calorímetro y los ensayos con el mismo fueron realizados por profesionales que también son docentes en la facultad. Por lo que, el conocimiento para la construcción de la maquinaria y su uso, es transmitido a los alumnos de UTN FRLP, para incentivarlos en desarrollar y experimentar en tecnologías como esta, así como para unirse al equipo de trabajo del IEC y realizar actividades de ciencia e investigación, que fortalece a la formación del alumno.

En 2018 también fue utilizado el equipo en un trabajo de laboratorio con alumnos de la Escuela Enseñanza Superior Técnica n 2 de Ensenada, en sus Prácticas Profesionalizantes en nuestro Grupo IEC.

Finalmente, el grupo de trabajo también piensa mejorar el calorímetro construido, para realizar trabajos a terceros. Dicha propuesta nos incentiva para ser utilizada en futuros artículos a presentar.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Alen Stei, por su participación y colaboración en la construcción del calorímetro. También se agrade a la Dra. Natalia Raffaelli (Fac. de Agronomía, UNLP), y la Diseñadora Industrial Edurne Battista (INTA), quienes nos trajeron las muestras de las diferentes maderas y carbones para ser utilizados en los ensayos de ignición.

REFERENCIAS

Juanto, S., Prodanoff, F., Alustiza, D., Zerbino, L., Ronconi, J., Cristofoli, N., y Stei, J. (2017). Despertando en el secundario el interés por las carreras científico-tecnológicas a través del trabajo experimental. *Revista de Enseñanza de la Física*. 29(Extra), 261–267.

Norma ISO 1716:2010 – Ensayos de reacción al fuego de productos. Determinación del calor bruto de combustión (valor calorífico)

Ñuke (s.f.). La leña como combustible. <https://www.productosnuke.com.ar/ecologia-la-lena-como-combustible/>Sitio consultado en marzo 2019.

ScienceDirect (s.f.). Bomb Calorimeter. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bomb-calorimeter>Sitio consultado en marzo 2019

Universidad Nacional de La Plata. (s.f.). Utilizan especies leñosas invasoras y desechos de poda para producir energía. <https://unlp.edu.ar/extension/extensionistas-de-la-unlp-utilizan-especies-lenosas-invasoras-y-desechos-de-poda-para-producir-carbon-16364>Sitio consultado en julio de 2019.