



Resumen de los trabajos preparatorios
de la Comisión Internacional para
la realización de los prototipos
internacionales y la creación de la
Oficina Internacional de Pesas y Medidas
(1871-1872)
3ª edición

*Summary of the preparatory work
of the International Commission for the
creation of the international prototypes
and the establishment of the International
Bureau of Weights and Measures
(1871-1872)
3rd edition*

D. Carlos Ibáñez e Ibáñez De Ibero

Edición con transcripción en caracteres de imprenta. Incluye versión en inglés.
Transcribed version into printed characters. English version included



CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA



Resumen de los trabajos preparatorios
de la Comisión Internacional para
la realización de los prototipos
internacionales y la creación de la
Oficina Internacional de Pesas y Medidas
(1871-1872)
3ª edición

*Summary of the preparatory work of the
International Commission for the creation
of the international prototypes and the
establishment of the International
Bureau of Weights and Measures
(1871-1872)
3rd edition*

D. Carlos Ibáñez e Ibáñez De Ibero

Edición con transcripción en caracteres de imprenta. Incluye versión en inglés.
Transcribed version into printed characters. English version included

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

Este libro transcribe en español y traduce a inglés el manuscrito del General Ibáñez, mantenido y conservado en los archivos del Centro Español de Metrología.

This book transcribes into Spanish and translates into English the manuscript of General Ibáñez, kept and preserved in the archives of the Centro Español de Metrología.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

En esta publicación se ha utilizado papel de acuerdo con los criterios medioambientales de la contratación pública vigente.

Catalogue of publications of the General State Administration:
<https://cpage.mpr.gob.es>

Paper has been used in this publication in accordance with the environmental criteria of public procurement in force.

3.^a edición: septiembre de 2024

Edita: Centro Español de Metrología.

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, sin permiso expreso y escrito de los titulares del copyright.

© Centro Español de Metrología e Instituto Geográfico Nacional

NIPO: 218240227 (papel)

NIPO: 218240232 (digital)

Depósito legal: M-24138-2024

3rd edition: September 2024

Published by: Centro Español de Metrología.

All rights reserved. No part of this work may be reproduced in any form or by any means without the express written permission of the copyright holders.

© Spanish Metrology Centre and National Geographic Institute

NIPO: 218240227

NIPO: 218240232 (digital)

Legal deposit: M-24138-2024

Agradecimientos

El Centro Español de Metrología (CEM) agradece al Comité de Metrología del Instituto de Ingeniería de España (IIE) los trabajos realizados para la transcripción en caracteres de imprenta, por las notas aclaratorias añadidas y por su traducción a la lengua inglesa.

Asimismo, el CEM quiere hacer constar su agradecimiento al Instituto Geográfico Nacional por su colaboración en la publicación inicial de la presente obra.

Acknowledgements

The Centro Español de Metrología (CEM) expresses its gratitude to the Metrology Committee of the Institute of Engineering of Spain (IIE) for the work carried out in transcribing into print, for the added explanatory notes, and for the translation into English.

Furthermore, CEM would like to acknowledge its appreciation to the National Geographic Institute for its collaboration in the initial publication of this work.

ÍNDICE / INDEX

Presentación	9
Prólogo a la edición especial 150 Aniversario del BIPM.....	11
Biografía	13
Transcripción en español.....	15
Resumen de los trabajos de la Comisión Internacional del Metro	17
Notas y comentarios técnicos	85
<i>Foreword</i>	97
<i>Prologue to the Special Edition for the 150th Anniversary of the BIPM</i>	99
<i>Biography</i>	101
<i>English translation of the manuscript</i>	103
<i>Summary of discussions of the International Metre Commission</i>	105
<i>Notes and technical comments</i>	169

Presentación

Hacia noviembre de 2017, el Centro Español de Metrología (CEM) rescató de sus archivos un manuscrito original del general don Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero.

El manuscrito en cuestión es una información, destinada a sus jefes, en el que se describen las actuaciones a emprender para la materialización del metro y del kilogramo.

El facsímil del manuscrito, precedido de un prólogo y una semblanza del general-autor fue editado por el CEM con el título *Resumen de los trabajos preparatorios de la Comisión Internacional para la realización de los prototipos internacionales y la creación de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas. 1871-1872.*

El manuscrito es legible, aunque no con la facilidad que supone un texto mecanografiado. Por ello, el Comité de Metrología del Instituto de la Ingeniería de España (que conocía esa edición) propuso al CEM transcribirlo.

En esta transcripción, se han incluido una serie de notas que se han creído convenientes para fijar mejor el contexto temporal o científico y se ha completado con una traducción al inglés.

El Instituto de la Ingeniería de España ha realizado este trabajo porque considera que el manuscrito del general es muy interesante, no ya por su valor histórico, sino por su contenido.

Y es que, como se puede apreciar de la serena lectura de sus páginas, los trabajos descritos por el general intentan en todo momento conseguir la excelencia científica. Tanto la ingeniería como la calidad tienen como una de sus principales metas llevar a cabo realizaciones que, cumpliendo los requisitos establecidos, supongan la menor inversión monetaria posible. En el campo de la metrología lo que se persigue es más la excelencia en el desarrollo y realización de las nuevas ideas, lo que casi nunca es compatible con un gasto

pequeño de capital. Los metrologos saben que su trabajo, si no consigue la excelencia, vale de poco. Las siguientes generaciones beberán de esos desarrollos si son valiosos, y si no lo son, el trabajo será baldío.

Los trabajos descritos por el general en el documento comentado han sido extremadamente valiosos. El metro patrón (la famosa barra de platino e iridio) ha conservado su vigencia durante 71 años, desde 1889 (año en que se fundieron y repartieron los prototipos destinados a las naciones firmantes del Convenio) hasta 1960 (cuando en la XI Conferencia General de Pesas y Medidas fue redefinido como 1.650.763,73 veces la longitud de onda de la radiación emitida por el salto cuántico entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$ de un átomo de kriptón 86). Hoy esta definición está ya obsoleta.

En cuanto al kilogramo patrón, ese cilindro (también de platino e iridio) ha conservado su vigencia durante 130 años. La definición/realización ha estado vigente hasta la celebración, el 16 de noviembre de 2018 de la XXVI Conferencia General de Pesas y Medidas, cuando el Sistema Internacional de Unidades fue redefinido en función de constantes universales.

Al principio se ha indicado que el manuscrito es un informe que el general elevaba a sus jefes. En ese sentido, cuestiones que ahora se plantean no eran necesarias en el tiempo de su elaboración, por ser obvias. Véase, por ejemplo, la nota número 3 en relación con el cargo, ahora inexistente, de brigadier.

También cabe destacar cómo el autor va refiriendo los instrumentos usados en las experiencias necesarias para llegar a la definición y realización del metro patrón. Sus autores son conocidos científicos de la época. Entre esos instrumentos se encuentra la “Regla de Ibáñez” que se conserva en el Real Observatorio de Madrid, en la montaña del Retiro, cercano a la glorieta de Atocha.

Es el deseo tanto del Centro Español de Metrología como del Instituto de la Ingeniería de España que el lector disfrute leyendo tranquilamente sus páginas y, en la medida de lo posible, que le sean útiles las notas que se han añadido. Si ese deseo se consigue, esa será la mejor recompensa a los trabajos que los miembros del Comité de Metrología realizaron con ilusión.

Comité de Metrología
Instituto de la Ingeniería de España

Prólogo a la edición especial 150 Aniversario del BIPM

En 2025 se cumple el 150 Aniversario de la firma del tratado diplomático de la Convención del Metro por representantes de diecisiete naciones, entre las que estaba España. En dicho tratado se establece una estructura administrativa y técnica permanente, la Oficina de Pesas y Medidas (BIPM) para que los gobiernos miembros actúen de común acuerdo en todos los asuntos relacionados con las unidades de medida y concretamente para asegurar la unificación internacional y la perfección del sistema métrico, hoy Sistema Internacional de Unidades (SI).

La firma de la Convención del Metro y la creación del BIPM representan un hito en la historia de la humanidad a todos los niveles. Se puede considerar como uno de los primeros ejemplos de colaboración y coordinación científica internacional a gran escala, y sigue siendo un ejemplo singular, como demuestra la revisión del Sistema Internacional de Unidades (SI) en 2018. Es impensable el desarrollo experimentado en el siglo xx así como el proceso de globalización sin la coordinación internacional ejercida por el BIPM en materia de unidades de medida.

En los procesos previos a la firma de la Convención (Tratado del Metro, también llamado) un ilustre científico español, fue pieza clave para su consecución, el General D. Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero. Sus trabajos y visión de una metrología universal coordinada entre todas las naciones, jugaron un importantísimo papel en la creación de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM).

En ocasión del 150 Aniversario de la firma del Tratado del Metro y la creación del BIPM, el Centro Español de Metrología quiere unirse a esta onomástica con una tercera reedición del texto manuscrito de Ibáñez de Ibero sobre los trabajos preparatorios de la Comisión Internacional para la realización de

los prototipos internacionales y la creación de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (1871-1872) como máximo órgano coordinador e impulsor del sistema métrico, en una versión con letras de imprenta para una mejor comprensión y con traducción al inglés para su amplia difusión.

Con esta reedición pretendemos recuperar en la memoria colectiva ese pequeño intervalo de la historia en la que se fraguó un sistema de unidades armonizado y la creación del BIPM, así como rendir homenaje a los científicos y personalidades que lo hicieron posible y a todos aquellos que durante este siglo y medio han trabajado y colaborado para que las unidades de medida se adaptasen a las necesidades de la sociedad.

Hoy, en pleno siglo XXI, siglo y medio después de la firma del Tratado, sigue vigente el proyecto inicial de los diecisiete estados que firmaron la Convención y fundaron el BIPM en 1875. La labor del BIPM durante todos estos años ha permitido disponer de un lenguaje científico común, que ha servido de catalizador para el comercio y la cooperación internacional, así como para el desarrollo tecnológico y la innovación.

En palabras del Prof. Philippe Taquet, antiguo presidente de la Academia de las Ciencias francesas:

“El BIPM es una organización que es un ejemplo perfecto y magnífico de una obra de paz. El BIPM simboliza de manera única lo que las personas son capaces de lograr cuando unen sus voluntades, sus conocimientos, sus talentos y sus habilidades”.

El 150 aniversario de la creación del BIPM es una gran oportunidad para la comunidad metroológica y científica para fortalecer los lazos de colaboración internacional y seguir avanzando en la ciencia de la metrología abordando los actuales retos a los que se enfrenta nuestra sociedad

Desde estas líneas, nos unimos al reconocimiento y agradecimiento de todos los logros conseguidos en estos 150 años de andadura y le deseamos al BIPM, muchos éxitos en los años venideros.

Tres Cantos, septiembre de 2024

José Ángel Robles Carbonell

Director del Centro Español de Metrología

Biografía

General Ibáñez e Ibáñez de Ibero, Marqués de Mulhacén

El General Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero (Barcelona, 1825-Niza, 1891), marqués de Mulhacén, fue el principal promotor español de la Geodesia e inventor del “aparato Ibáñez”, también conocido como “regla española”, destinado a medir bases de triangulación geodésica, con el que se realizó entre otros, bajo su dirección, la medición de la base central de la triangulación geodésica de España, la base de Madridejos en Toledo, aspecto para el que se necesitaría una adecuada definición y materialización de los sistemas de unidades de medida.

Fundador y primer presidente de la Asociación Geodésica Internacional, fue también el primer director del Instituto Geográfico Nacional, creado en 1870, cargo que desempeñó durante diecinueve años realizando importantes aportaciones en el cálculo, diseño y observación de las redes de triangulación geodésicas, nivelaciones de precisión, mapas topográficos, catastro y también con la importante responsabilidad de determinar y conservar los tipos internacionales de pesas y medidas, entre sus muchas actividades desarrolladas. Fue además miembro y vicepresidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

En lo que se refiere a la metrología, sus trabajos y su visión de una metrología universal coordinada entre todas las naciones, jugaron un importantísimo papel en la creación de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) como laboratorio permanente para desarrollar y mantener los prototipos internacionales de las unidades de medida. La Conferencia Diplomática del Metro le encomendó la presidencia del recién creado Comité Internacional de Pesas y Medidas (1875 – 1892), donde realizó un riguroso trabajo para el diseño y fabricación de los referidos prototipos internacionales.

«... Llegó a ser Ibáñez de Ibero, durante un tercio de siglo, la figura más destacada del mundo en el periodo heroico de la metrología, cuya trascen-

dente obra internacional dirige y organiza con tanta competencia como habilidad... No fue sólo un especialista de la Ciencia, sino un obrero de la civilización universal; un precursor de la colaboración científica entre naciones con fines civilizadores; un esforzado paladín de la solidaridad humana...».

(Julio Pastor, 1925)



Transcripción en español

Resumen de los trabajos de la Comisión Internacional del Metro¹

La Comisión internacional del Metro, convocada en París para el día 24 de Setiembre² próximo pasado, ha terminado sus trabajos de la presente reunión el día 12 de Octubre.

El Excelentísimo Sr. Ministro de Agricultura y Comercio de la República francesa, al abrir la primera sesión, pronunció un discurso alusivo a las circunstancias dando las gracias a los sabios extranjeros que habían accedido a dejar momentáneamente sus trabajos para ocuparse en una cuestión de interés general, no solamente científico sino además muy importante bajo el punto de vista industrial y comercial. Manifestó su satisfacción de poder hacer constar que esta vez las naciones americanas se hallaban representadas, y se felicitó de la presencia de los delegados de varios Gobiernos que no habían tomado parte en la reunión de 1870, a consecuencia de diversas circunstancias.

Veintisiete naciones se hallaban representadas por los delegados cuyos nombres y posiciones aparecen a continuación.

Alemania

Señores

Doctor Foerster Profesor y Director del Observatorio de Berlín; Director de la Oficina de pesas y medidas.

De Jolly Profesor e individuo de la Real Academia de Munich.

República Argentina

Mariano de Belcarce Ministro plenipotenciario.

Austria

Doctor J. Herr	Profesor de Geodesia y de Astronomía en la Escuela politécnica de Viena; Director de pesas y medidas.
Doctor Von Lang	Individuo de la Academia de Ciencias; Profesor de Física en la Universidad de Viena

Bélgica

H. Maus	Inspector general de puentes y calzadas; individuo de la Real Academia de Bélgica.
Stas	Individuo de la Real Academia de Bélgica.
Heusschen	Antiguo Profesor de Artillería de la Escuela Militar de Bruselas.

Colombia

Torres Caicedo	Ex-Ministro de los Estados Unidos de Colombia en París.
----------------	---

Chile

C. Gay	Individuo del Instituto de Francia.
--------	-------------------------------------

Dinamarca

Holten	Profesor de Física en la Universidad de Copenhague.
--------	---

Ecuador

Aguirre y Montúfar	Antiguo Presidente del Senado.
--------------------	--------------------------------

España

Ibáñez	Brigadier ³ de Ejército; Director del Instituto Geográfico de España; de la Academia de Ciencias.
--------	--

Estados Unidos

J. E. Hilgard ⁴	Inspector de pesas y medidas de Washington; individuo de la Academia nacional de Ciencias.
----------------------------	--

 Francia

L. Mathieu	Individuo de la Academia de Ciencias
Morin	Teniente General; individuo de la Academia de Ciencias; Director del Conservatorio de Artes y Oficios.
Le Verrier	Individuo de la Academia de Ciencias y de la Oficina de longitudes.
Faye	Individuo de la Academia de Ciencias y de la Oficina de longitudes
Fizeau	Individuo de la Academia de Ciencias;
H.Saint Claire	Individuo de la Academia de Ciencias;
Deville	Profesor de la Escuela Normal Superior.
Jarras	Teniente General; exdirector de los trabajos geodésicos.
E. Becquerel	Individuo de la Academia de Ciencias; Profesor de Física en el Conservatorio de Artes y Oficios.
E. Peligot	Individuo de la Academia de Ciencias; Profesor de Química en el Conservatorio de Artes y Oficios.
H. Tresca	Individuo de la Academia de Ciencias; Profesor de Mecánica en el Conservatorio de Artes y Oficios.

 Grecia

Souzo	Secretario de la Legación de Grecia en París.
-------	---

 Hungría

E de Krusper	Profesor de Geodesia en la Escuela Politécnica de Pesth.
C. de Szily	Profesor de Física en la Escuela Poli- técnica de Pesth.

 Inglaterra

W. H. Miller	Individuo de la Sociedad Real; Profesor de Mineralogía en Cambridge.
Chisholm	Conservador de los prototipos en Londres.

 Italia

Marqués J. Ricci	Teniente General; exdirector de los trabajos geodésicos.
Chisholm	Profesor de Física en la Universidad de Turín.

Noruega

Broch Profesor de Matemáticas en la Universidad de Cristiania.

Países Bajos

Stamkart Profesor en la Escuela politécnica de Delft; individuo de la Academia de Ciencias.

Bosscha Inspector de Instrucción pública en el Haya; individuo de la Academia de Ciencias.

Perú

Doctor E. Bonifaz Encargado de Negocios del Perú en Brasil.

Portugal

Morin Teniente General del Ejército francés; individuo de la Academia de Ciencias; Director del Conservatorio de Artes y Oficios en Francia.

Rusia

De Jacobi Consejero privado; individuo de la Academia imperial de Ciencias.

Otto Struve Director del Observatorio de Pulkowa; individuo de la Academia imperial de Ciencias.

H. Wild Director del Observatorio físico de San Petersburgo; individuo de la Academia imperial de Ciencias.

San Salvador

Torres Caicedo Ministro plenipotenciario de la República de San Salvador en París.

Santa Sede

Reverendo P. Secchi Director del Observatorio del Colegio Romano.

Suecia

Baron Wrede Teniente General; individuo de la Academia de Ciencias.

Suiza

Doctor A. Hirsch Director del Observatorio de Neuchâtel.

Turquía

H. Husny Bey Jefe perteneciente al Cuerpo de Estado Mayor.

Uruguay

D. Mateo Margarinos Encargado de Negocios de la República en París.
Cervantes

Venezuela

Doctor Eliseo Acosta

El programa redactado anteriormente por la misma Comisión internacional y por su Comité de estudios preparatorios es el siguiente:

1. Para la ejecución del Metro internacional se toma como punto de partida el Metro de los Archivos nacionales de Francia⁵ en su estado actual.
2. Hasta la época de las comparaciones definitivas, el Metro de los Archivos de Francia no deberá servir para ninguna comparación.
3. Las comparaciones definitivas se deberán hacer en primer lugar con palpadores cilíndricos de generatrices verticales y semejantes a los del comparador original de Lenoir, después con palpadores semejantes a los de los comparadores empleados más recientemente, reservándose el uso de los demás medios que las circunstancias puedan sugerir.
4. Antes de estas comparaciones se deberán examinar, por procedimientos ópticos convenientemente dispuestos, los detalles de los cantos terminales del metro de los Archivos; pero no se podrá emplear con el mismo objeto ningún aparato de contacto hasta después de haber hecho las comparaciones mencionadas en el artículo 3.
5. Como resultado de todas estas investigaciones, la Comisión definirá la longitud que se deba dar al metro internacional.

6. El metro internacional ¿debe ser un metro determinado por trazos o por cantos?
7. ¿De qué materia se deberá construir el metro internacional?
8. ¿Qué forma convendrá dar al metro internacional?
9. El metro internacional ¿debe ir acompañado de termómetros especiales?
10. Qué sistemas de soportes conviene emplear para que el metro internacional se mantenga constantemente en condiciones lo más invariables que sea posible?
11. ¿A qué temperatura el metro internacional debe tener la longitud del metro de los Archivos?
12. Dilatación
13. Comparador
14. La Comisión desea que, en interés de la Ciencia geodésica, el Gobierno francés mande medir de nuevo, en tiempo oportuno, una de las antiguas bases francesas.
15. Utilidad de la creación en París, antes del fin de las operaciones de la Comisión, de una Oficina internacional de pesas y medidas sostenida a expensas de los Estados interesados, bajo la Dirección de un Comité permanente y la alta vigilancia de la Comisión internacional en sus reuniones periódicas.
16. El kilogramo internacional ¿debe deducirse directamente del kilogramo de los Archivos de Francia, en su estado actual, o construirse de nuevo partiendo de una definición teórica?
17. En todo caso es necesario determinar, por los procedimientos más precisos, el peso del decímetro cúbico de agua destilada.
18. ¿De qué materia se debe construir el kilogramo internacional?
19. ¿Qué forma conviene dar al kilogramo internacional?
20. El kilogramo internacional ¿debe referirse al peso en el vacío o al peso en el aire en condiciones determinadas?

21. Estudiar la influencia de los medios, relativamente a la invariabilidad del peso.
22. Peso específico y dilatación.
23. Balanza e instrumentos accesorios.

La Comisión internacional distribuye los trabajos entre doce subcomisiones, en la forma siguiente⁶:

Para proponer los sistemas de votación:

Sr. Foerster
Sr. Govi
Sr. Hirsch
Sr. Ibáñez
Sr. Morin
Sr. Tresca

Estudio de los cantos del metro de los Archivos. Cuestiones 4 y 5:

Sr. Foerster
Sr. Govi
Sr. Heusschen
Sr. Hilgard
Sr. Husny
Sr. Ibáñez
Sr. Lang
Sr. P. Secchi
Sr. Tresca

Materia de que debe construirse el metro. Cuestión 7:

Sr. Bosscha
Sr. Broch
Sr. Deville
Sr. Fizeau
Sr. Herr
Sr. Jacobi
Sr. Peligot

Sr. Stas
Sr. Wrede

Forma y soportes del metro. Cuestiones 8 y 10:

Sr. Broch
Sr. Faye
Sr. Husny
Sr. Ibañez
Sr. Jacobi
Sr. Krusper
Sr. Maus
Sr. Morin
Sr. Tresca
Sr. Wrede

Termómetros y dilatación. Cuestiones 9, 12 y 22:

Sr. Becquerel
Sr. Bosscha
Sr. Fizeau
Sr. Govi
Sr. Herr
Sr. Hilgard
Sr. Hirsch
Sr. Jolly
Sr. Lang
Sr. Szily

Temperatura nominal del metro y peso del kilogramo en el vacío y en el aire. Cuestiones 11 y 20:

Sr. Bosscha
Sr. Deville
Sr. Foerster
Sr. Herr
Sr. Hilgard
Sr. Le Verrier

Sr. Maus
Sr. Ricci
Sr. P. Secchi
Sr. Wild
Sr. Wrede

Comparadores. Cuestiones 3 y 13:

Sr. Chisholm
Sr. Faye
Sr. Fizeau
Sr. Foerster
Sr. Hirsch
Sr. Husny
Sr. Ibañez
Sr. Krusper
Sr. Miller
Sr. P. Secchi
Sr. Stamkart
Sr. Tresca
Sr. Wrede

Creación de una Oficina internacional. Cuestión 15:

Sr. Faye
Sr. Foerster
Sr. Heusschen
Sr. Hilgard
Sr. Hirsch
Sr. Jarras
Sr. Miller
Sr. Morin
Sr. Ricci
Sr. Wild.

Peso del decímetro cúbico de agua. Cuestión 17:

Sr. Becquerel

Sr. Fizeau
Sr. Govi
Sr. Holten
Sr. Jolly
Sr. Miller
Sr. Peligot
Sr. Szily
Sr. Wild

Materia y forma del kilogramo. Cuestiones 18, 19 y 21:

Sr. Deville
Sr. Herr
Sr. Holten
Sr. Jacobi
Sr. Jolly
Sr. Krusper
Sr. Miller
Sr. Peligot
Sr. Stas
Sr. Wrede

Balanzas. Cuestión 23:

Sr. Broch
Sr. Chisholm
Sr. Foerster
Sr. Govi
Sr. Holten
Sr. Lang
Sr. Stamkart
Sr. Stas
Sr. Tresca

Conservación de los tipos y garantías de su invariabilidad:

Sr. Chisholm
Sr. Fizeau

Sr. Herr
Sr. Hirsch
Sr. Ibañez
Sr. Jolly
Sr. Le Verrier
Sr. Miller
Sr. Tresca
Sr. Wild

A consecuencia del dictamen presentado por la Subcomisión encargada de proponer los sistemas de votación, la Comisión internacional decidió por unanimidad:

1. Cuando al Presidente le parezca agotada una discusión pronunciará su terminación y anunciará que va a disponer que se proceda a votar.
2. El sistema general de votación será individual, levantando la mano.
3. Si, antes de proceder a la votación por este sistema, dos individuos de la Comisión reclaman la votación nominal, tendrá ésta lugar inmediatamente.
4. Si, antes que se proceda a la votación por el primero o por el segundo sistema, tres individuos de la Comisión pertenecientes a tres nacionalidades diferentes piden la votación por naciones, se acordará que ésta tenga lugar con el número de votos que para cada nación expresa el estado que sigue, pero esta votación se aplazará hasta la sesión siguiente, a fin de que los delegados de cada nación puedan ponerse de acuerdo.
5. Cuando una votación haya tenido lugar por uno de los tres sistemas indicados anteriormente, la resolución será definitiva.

Estado del número de votos que corresponden a cada una de las naciones:

Naciones	Votos	Naciones	Votos
Alemania	3	Argentina (República)	1
España	3	Bélgica	1
Estados Unidos	3	Colombia	1
Francia	3	Chile	1
Inglaterra	3	Dinamarca	1
Italia	3	Ecuador	1
Rusia	3	Grecia	1
Turquía	3	Noruega	1
	24	Países Bajos	1
		Perú	1
		Portugal	1
		San Salvador	1
		Santa Sede	1
		Suecia	1
		Suiza	1
		Uruguay	1
		Venezuela	1
			17

Para exponer los fundamentos de los acuerdos tomados por la Comisión internacional es preciso presentar, siquiera sea en extracto, los dictámenes de las diferentes subcomisiones y, en algunos casos, las observaciones hechas durante la discusión en sesión general. En esta exposición se adoptará el orden mismo en que aparezcan las subcomisiones, terminando lo relativo a cada una de ellas con las resoluciones votadas por la Comisión; si bien para presentar en conjunto y en el orden conveniente estas resoluciones, se agruparán al final de este escrito.

Cuestiones 4 y 5 del programa

El examen óptico de la regla de los Archivos debía tener por objeto hacer constar y señalar, si había lugar, las alteraciones de las dos superficies terminales producidas por las comparaciones para las cuales ha servido desde su

constitución en 1797, o por otras causas accidentales que hubieran podido modificar dichas superficies.

Cierto es que la longitud exacta del metro primitivo no tiene para nosotros actualmente la misma importancia que debía tener cuando se creía poder referir con certeza a las dimensiones del esferoide terrestre; pero su conservación por el nuevo metro, terminado por trazos es indispensable, a fin de poder comparar los antiguos trabajos científicos ejecutados con el auxilio de metros deducidos de la regla de los Archivos, con los que se hagan en adelante con arreglo al metro internacional que va a reemplazar al antiguo prototipo.

Es pues necesario, ante todo, hacer constar hasta qué punto la regla de platino de los Archivos representa actualmente los metros tipo que de ella se han deducido y que han sido entregados a los gobiernos de diferentes países en distintas épocas.

He aquí algunas observaciones generales sobre la regla prototipo:

El metro de los Archivos es de platino forjado⁷, tal cual se podía obtener a fines del siglo pasado⁸, cuando la fusión de este metal era casi imposible. Su superficie presenta algunas burbujas y pajas cuya presencia causa ciertos fallos de homogeneidad en la materia. Sin embargo, sus dos caras terminales son bastante buenas y si se exceptúan algunos ligeros defectos cerca de las aristas y algunos puntos diseminados en la pasta, y cuyo aspecto parece indicar la presencia de pequeños granos de iridio o de otros metales más duros que el platino y no combinados con él, se puede decir que las partes más importantes del metro prototipo están en un estado de homogeneidad enteramente satisfactorio. La regla parece bastante recta y no haber sufrido ninguna torsión apreciable alrededor de su eje longitudinal.

El trabajo de los dos cantos parece haber sido ejecutado con una ancha rueda giratoria y bien plana, semejante a las que emplean los lapidarios para el tallado de las piedras duras. Esta rueda, que era tal vez de cobre o de vidrio y cuya cara plana se cubría con esmeril fino primero y con trípoli después, ha dejado sobre los dos cantos de las reglas trazos circulares concéntricos en dos sentidos diferentes, cruzándose bajo un pequeño ángulo y dando a estos cantos un aspecto mate que el tiempo no ha alterado mucho. El radio de curvatura de estos trazos es aproximadamente de seis centímetros.

Algunas huellas un poco más marcadas indican la acción de granos de esmeril más gruesos que había en la pasta del lapidario y cuya presencia se manifiesta, no solamente en el metro de los Archivos, sino también en el del Conservatorio, fabricado por Lenoir al mismo tiempo que el primero.

El rozamiento del terciopelo y del polvo del estuche contra los cantos del metro ha producido muchos trazos extraordinariamente finos, que aparecen principalmente cerca de las aristas superior e inferior de las dos caras. La parte central está casi exenta de ellos.

Es necesario añadir, para explicar completamente la presencia de estos trazos y de algunos otros un poco más considerables que se ven en los dos cantos, que durante algún tiempo se ha sacado la regla de su caja, levantándola por medio de dos cintas bastante fuertes, sujetas por una extremidad al fondo de la caja y sobresaliendo algunos centímetros por la otra extremidad de los dos cantos de la regla. Hace poco que estas cintas se han quitado para impedir que su rozamiento, algo rudo, alterase más las extremidades del prototipo, el cual puede sacarse muy fácilmente del estuche invirtiendo éste antes de abrirlo.

Pero, además de estas marcas del trabajo primitivo y de estos ligeros arañazos que acabamos de mencionar, se perciben sobre una de las caras terminales del metro prototipo, tres pequeñas marcas que podrían compararse a tres golpes dados con un martillo de dimensiones casi microscópicas. Su profundidad no puede ser bien grande, puesto que es preciso mirar o iluminar la superficie muy oblicuamente para percibir las. Estas marcas están, por otra parte, bastante lejos del centro del canto y no ocupan sino una parte insignificante.

Las aristas de las caras no son muy vivas y hay unas que parecen haber sido un poco aplastadas por un ligero golpe, pero, en todo caso, la alteración de la superficie no se extiende sino muy poco más allá de estas mismas aristas y no puede afectar en nada las distancias entre las partes centrales de los cantos, que determinan la verdadera longitud del metro primitivo.

Lo que más nos ha preocupado en el examen de estos cantos no han sido las rayas y las pequeñas lesiones de las que acabamos de hablar, sino el lustre o pulimento que se ve cerca del centro de las dos caras debido, indudablemente, a la presión o al rozamiento de los palpadores empleados por Lenoir o por Gambey en sus comparadores⁹, de los cuales se ha hecho uso en diferentes épocas.

La acción de los palpadores cilíndricos se manifiesta sobre toda la altura de uno de los cantos, pero no tiene la misma extensión en el otro; los palpadores esféricos han dejado sus marcas en la parte central de cada uno de los dos cantos.

Ahora bien, como está admitido que la verdadera longitud del metro debe tomarse entre los dos centros de los cantos terminales, el lustre de estas partes nos ha hecho temer que la longitud primitiva del metro hubiese experimentado alguna disminución sensible a consecuencia de la acción de los dos palpadores.

En consecuencia, hemos creído deber intentar la medición de la profundidad de las marcas ocasionadas por los palpadores, empleando para ello todos los procedimientos que teníamos a nuestra disposición, los cuales no se han podido variar o modificar por lo escaso del tiempo del que podíamos disponer.

He aquí cuáles han sido nuestros métodos y los resultados obtenidos.

Es evidente que el estudio (casi podríamos decir el sondeo) de los cantos del metro de los Archivos podía hacerse por procedimientos mecánicos y por procedimientos ópticos. Pero, teniendo en cuenta el deseo formulado por la Comisión de que no se tocasen dichos cantos hasta la época de las comparaciones definitivas (cuestión 2) nos hemos impuesto la obligación de no recurrir más que a procedimientos ópticos.

Parece inútil añadir que los ingeniosos y delicados procedimientos a los cuales el Sr. Fizeau ha recurrido para determinar los coeficientes de dilatación de los sólidos, u otros medios análogos fundados en los fenómenos de interferencia o de difracción, no se hubieran podido utilizar en este caso sin grandes dificultades de instalación y ensayos preparatorios inconciliables con el poco tiempo concedido a la Subcomisión para ejecutar su trabajo.

El Comité de estudios preparatorios había ya dispuesto un excelente microscopio¹⁰ del Sr. Nacet¹¹ montado sobre un pie de movimientos rectangulares muy bien ejecutados y sumamente delicados procedente de los talleres del Sr. Dumoulin Froment y que nos parecía poder dar muy buenos resultados, por lo menos para una primera aproximación.

El procedimiento por medio del cual debía emplearse este microscopio había sido indicado por nuestro colega, el Sr. Lang, y consistía en variar la posición del microscopio frente a los dos cantos terminales del metro, de suerte

que los pudiese observar en un gran número de puntos, situando siempre exactamente en el focus el punto observado. Esta colocación en focus podía hacerse por medio de un tornillo micrométrico de $\frac{1}{4}$ de milímetro de paso, cuyo tambor está dividido en 250 partes y que da, por consiguiente, la milésima de milímetro. Un nonio aplicado a la graduación permite valuar las fracciones de milésima.

Un gran número de punterías ejecutadas por varios de entre nosotros habrán dado la seguridad de que la colocación en focus podía hacerse con la precisión de milésima de milímetro, con la condición de que el objeto apuntado estuviese bien definido y fuese de un espesor extraordinariamente pequeño.

Por desgracia, los cantos terminales del metro no ofrecen estas condiciones. Se ve una gran cantidad de pequeños arañazos, de agujeros, de granulaciones microscópicas; pero ninguno de estos objetos presenta la limpieza de contornos ni el pequeñísimo espesor que pueden permitir una puntería perfecta.

Algunos ensayos se han hecho colocando en los cantos del metro del Conservatorio (al cual se ha aplicado primeramente el procedimiento) cuerpos microscópicos a fin de asegurar mejor la colocación del microscopio en focus; pero ha sido preciso renunciar a estos medios auxiliares, concretándonos a la observación directa de los puntos mejor definidos en la superficie misma del metal.

Por otra parte, la condición de exactitud en la colocación en focus de los puntos observados no era lo único que necesitábamos en la exploración que íbamos a emprender. Debíamos sondar una extensión bastante considerable y para esto era preciso mover en todos los sentidos, bien el metro delante del microscopio o bien el microscopio delante del metro, de suerte que pasasen sucesivamente los diversos puntos de la superficie que se había de estudiar, sin que jamás el centro del objetivo se hallase más o menos distante del plano ideal, a partir del cual hubieran debido efectuarse todos los sondeos.

Ahora bien, todos los que manejan instrumentos de precisión saben cuán difícil es, por no decir imposible, mover un objeto delante de otro con estas condiciones, puesto que los órganos del movimiento han de tener cierto juego, por más pequeño que se le suponga, y que a este juego vienen a agregarse sin cesar las compresiones de las materias, las acciones elásticas y los efectos térmicos, cuya influencia no es despreciable cuando se trata de medir cantidades tan pequeñas como la milésima de milímetro o la fracción de esta milésima.

Nos ha sido, por consiguiente, imposible asegurar a nuestro microscopio en estos movimientos, sea el perfecto paralelismo de su eje cilíndrico, sea la exacta permanencia del centro de su objetivo en un plano fijo y normal de este eje¹².

De aquí todas las irregularidades que se han manifestado en las diversas experiencias y que la repetición no hubiera podido jamás eliminar completamente. Conviene decir, sin embargo, que la incertidumbre resultante del movimiento no nos ha parecido superior a cinco milésimas de milímetro; pero esta cantidad, aunque bastante pequeña, es muy considerable para que se pueda atribuir a nuestros sondeos toda la precisión que había derecho de exigir.

He aquí el motivo que nos ha conducido a no asignar valores numéricos a las irregularidades de los cantos del metro prototipo; si bien podemos afirmar que son muy inferiores a lo que se hubiera podido temer setenta y cinco años después de su construcción y como consecuencia de un número bastante considerable de inspecciones y comparaciones hechas con aparatos que no llenaban, tal vez, todas las condiciones que son de desear, respecto a movilidad y extrema delicadeza.

La reflexión sobre los cantos del metro, tanto de hilos de araña como de líneas muy finas de un micrómetro de cristal, reflexión que se observaba con un microscopio o con un antejo de corta distancia focal, no nos han hecho ver tampoco sensibles deformaciones de las imágenes, como no sea en las huellas del trabajo primitivo o en los ligeros arañazos sin importancia, siendo de advertir que estas imágenes tenían bastante limpieza para que se hubiese podido descubrir en ellas las más pequeñas irregularidades de los objetos que las producían.

La persistencia de las huellas del trabajo primitivo sobre casi toda la extensión de los cantos terminales del metro de los Archivos nos ha parecido, por otra parte, una garantía suficiente de su buena conservación, tanto más cuanto que el aspecto de este trabajo es idéntico en el metro prototipo y en el del Conservatorio, lo que excluye, para el primero, todo temor de pulimentos posteriores.

En las porciones centrales de los dos cantos, donde las huellas del lapidario han desaparecido en parte, no lo han hecho, sin embargo, completamente, puesto que todavía se ven algunos trazos que concuerdan perfectamente con el resto.

Por otra parte, nada nos prueba que el lustre en el centro de los cantos terminales del metro no se remonte a la época de su fabricación, cuando para darle su verdadera longitud en relación a la toesa¹³ ha sido preciso colocarlo un gran número de veces sobre el comparador, lo que había, sin duda, producido el aplastamiento de las rebabas de los surcos hechos por el lapidario y modificado mucho más considerablemente el aspecto de estos cantos que todas las comparaciones que se han podido hacer después.

Los metros entregados en diferentes épocas a varios países y empleados, bien en la construcción de reglas geodésicas, bien en otros trabajos científicos, no se compararon al metro de los Archivos sino por medio de instrumentos con palpadores cilíndricos o esféricos que no daban una exactitud superior a dos o tres milésimas de milímetro. Por consiguiente, aun cuando la regla de los Archivos hubiese sufrido una alteración de este orden, a consecuencia de las modificaciones de la parte central de sus cantos, el metro que de ella se deduciría ahora no dejaría de estar de acuerdo con todos los metros antiguos, en los límites de los errores que estos últimos pueden tener.

Creemos, sin embargo, que si se quiere remontar exactamente a la longitud primitiva del metro, se encontrarán todavía sobre la regla de los Archivos porciones de superficie intactas bastante grandes para conseguirlo, sea por medio de palpadores cilíndricos giratorios, sea recurriendo al procedimiento del Sr. Fizeau, de suerte que se llegarían a reconocer y a medir las pequeñísimas diferencias que el pulimento central hubiese podido producir.

Solamente por medio de experiencias de este género ejecutadas por procedimientos diferentes y convenientemente discutidos será posible asegurarse del estado real de conservación o de alteración del metro y, por consiguiente, de la conformidad más o menos grande que se podrá obtener entre el nuevo prototipo terminado por trazos y el tipo de los Archivos o los antiguos metros empleados ya en los diferentes trabajos científicos.

Conclusiones

1. La Comisión declara que, en vista del estado actual de la regla de platino depositada en los Archivos de Francia, les parece que el nuevo metro internacional terminado por trazos puede deducirse de ella con

seguridad. Esta opinión es necesario que se confirme por los resultados de los diferentes procedimientos de comparación que se puedan emplear en este trabajo.

2. La ecuación del metro internacional se deducirá de la longitud actual del metro de los Archivos de Francia determinada por medio de todas las comparaciones que se efectúen por los diferentes procedimientos que la Comisión internacional del metro esté en estado de emplear.

Estas dos conclusiones fueron aprobadas separadamente por unanimidad.

Cuestión 7 del programa

Para asegurar la duración y, al mismo tiempo, la precisión de nuestra obra, es preciso construir el metro con una materia inalterable por el aire, por el fuego y por los agentes químicos que, a consecuencia de circunstancias hasta improbables, puedan ponerse en contacto con ella. Es preciso que resista a las acciones mecánicas que sobre ella se puedan ejercer, sea por fricción, sea por compresión o sea por choques. Es preciso que posea propiedades físicas invariables con el tiempo; en otros términos, que no sufra esas modificaciones que se llaman moleculares y espontáneas y que en realidad dependen de la variación incesante de las circunstancias físicas que nos rodean: la temperatura, la presión, el magnetismo terrestre, etc.

Para satisfacer a estas condiciones se necesita:

- 1º. Una materia inoxidable, insensible a la acción del ozono, del azufre, del cloro, del hidrógeno sulfurado, del amoníaco, del agua, de la sal marina y aún de algunos ácidos y álcalis. Que resista a la temperatura roja producida por los incendios; que bajo esta influencia no pueda recocerse ni templarse; que por consiguiente no sufre ninguna alteración ni en sus dimensiones ni en su composición.
- 2º. La materia de nuestros tipos debe ser dura, es decir, que se rayen con dificultad; es preciso que su coeficiente de elasticidad sea bastante grande para que no se produzca una deformación permanente sino bajo la influencia de las más enérgicas presiones; es preciso que su cohesión sea grande para que no se quiebre por la influencia de un choque

aunque este sea bastante violento; es preciso que el pulimento de su superficie y su rectitud acusen toda modificación de su forma normal.

- 3°. La materia, si es amorfa, no debe cristalizar espontáneamente. Si está cristalizada, debe serlo según el sistema regular y sin que pueda cambiar de forma cristalina, lo que corresponde siempre a un cambio de densidad y por consecuencia a una deformación. No debe ser susceptible de templarse, es decir que sus propiedades físicas no deben modificarse a consecuencia de variaciones más o menos bruscas o más o menos extensas de la temperatura. Finalmente debe ser poco o nada magnética para no tener que sufrir la acción de otra fuerza que la de la gravedad.

Además de estas propiedades que es preciso que tenga la materia del metro, una vez concluido y comparado, hay otras que se nos imponen por la facilidad de la construcción y por las exigencias de la Comisión internacional.

Para atenuar la influencia de los errores debidos a la variación de la temperatura durante las comparaciones, es de desear que el coeficiente de la dilatación de la materia entre los límites de esta temperatura sea nulo o por lo menos tan pequeña como sea posible.

La Comisión ha decidido que todos los tipos no solamente se compararan por medio de los mismos instrumentos, sino que además se compondrán de la misma sustancia. Si esta sustancia es un producto natural, será preciso no solamente que sea homogéneo en cada una de las reglas, sino que la identidad absoluta exista entre las materias de todas las reglas y que esté demostrado por las pruebas químicas y físicas más rigurosas. Si la materia es un producto de fabricación, por ejemplo un metal, todas las reglas se deberán tomar de una misma masa, cuyas partes deberán ser perfectamente homogéneas.

Sentado esto, vamos a examinar sucesivamente las ventajas y los inconvenientes que presentan las sustancias a las cuales se podrá recurrir para fabricar los tipos proyectados.

1° Cuarzo

Si fuese posible encontrar un cristal de cuarzo limpio y homogéneo en el cual se pudiesen cortar paralelepípedos de un metro de longitud por lo menos,

y en número suficiente, se tendría una materia que satisfaría a la mayor parte de las condiciones que se acaban de enumerar. Tal vez sería un poco frágil y tendría además el inconveniente de no poder resistir el fuego, puesto que los cristales de cuarzo estallan en fragmentos bajo la influencia de una temperatura muy elevada. Pero ¿existe un cristal de esta clase en tal estado de perfección? Sabido es que una aglomeración de cristales que se penetren no podría convenir, porque no presentaría ninguna garantía de homogeneidad respecto a su dilatabilidad, que no es la misma en el sentido del eje de estos cristales que en el sentido perpendicular.

2° Vidrio

El vidrio es una sustancia fusible, frágil, muy alterable por el aire húmedo que empaña su superficie. Tiende siempre, por las variaciones de temperatura, hacia el estado cristalino, que constituye el vidrio desvitrificado. Nada se parece tanto al vidrio, por sus propiedades características, como el lacre: el vidrio, lo mismo que el lacre, se reblandece mucho antes de fundirse, y este reblandecimiento empieza a una temperatura inferior a 440 grados. ¿Puede saberse lo que le sucedería a una lámina de vidrio de un metro de longitud apoyada por sus extremos y expuesta a la flexión de su propio peso? ¿Se puede afirmar que no se deformaría a la temperatura ordinaria como se deforma entre nuestros dedos una barra de lacre, la cual fundida quemaría cruelmente la mano?

El vidrio se temple con una facilidad tal, que es difícil encontrar una plancha de algún espesor que no despolarice la luz aun cuando se haya tenido cuidado de recocerla largo tiempo. Este temple se modifica por los cambios de temperatura (lo que explica la variación del cero en los termómetros) y determina necesariamente un cambio notable de la densidad. La desvitrificación produce el mismo efecto y en el mismo sentido. Por consiguiente un metro de vidrio experimentaría con el tiempo un acortamiento que podría ser considerable. El Sr. Stas ha observado en tipos de acero templado alteraciones espontáneas del mismo género.

3° Metales

Los dos metales que satisfacen a las condiciones de inalterabilidad exigidas por la Comisión son el oro y el platino; todos los demás, o por lo menos

los que están a nuestra disposición, se alteran al aire puro o cargado de hidrógeno sulfurado, de vapor de agua, de amoníaco o de ozono.

El oro es evidentemente demasiado blando.

En cuanto al platino, es el metal que constituye el metro prototipo de los Archivos, y la elección de esta materia hecha por la primera Comisión del Metro está bien justificada por el estado de conservación del tipo que nos ha legado. Pero es preciso decir que este platino, preparado por Jannetty¹⁴ con el arsénico, es una aleación que contiene todos los metales de mineral que no ataca la potasa, es decir, el rodio, el paladio y sobre todo el iridio en cantidades notables (tal vez un poco de arsénico). Es un platino duro que no podríamos fácilmente reproducir. Al platino del comercio se le achacaría hoy, y con justo motivo, el defecto del oro, de ser demasiado blando para fabricar con él el metro. Pero será preciso que al escoger otras materias nos aproximemos, tanto como sea posible, a las preciosas propiedades de la regla de los Archivos.

4° Aleaciones

Para que una aleación se pueda emplear en la construcción de nuestras reglas, es preciso que después de fundida produzca un lingote homogéneo. Un corto número de aleaciones satisfacen a esta condición. La mayor parte producen al solidificarse el fenómeno de la licuación. Se separan en varias aleaciones de composiciones diferentes que se superponen durante el enfriamiento en capas confusamente distribuidas según el orden de su fusibilidad y de su densidad. Las aleaciones de cobre con estaño y plata y de plata con platino no producirían un lingote homogéneo.

El latón y el bronce de aluminio que son homogéneos y todas las aleaciones en que domina el cobre, deben ser desechadas como alterables y demasiado dilatables. Respecto a las aleaciones de cobre y oro en que este último metal debería estar en cantidad preponderante, sus propiedades físicas no bastarían para compensar el elevado precio de su materia.

Para satisfacer en lo posible a todas las exigencias enunciadas al principio de este informe, no queda más que una aleación, la de platino e iridio, metales absolutamente inalterables por todos los agentes atmosféricos, por el fuego y por la casi totalidad de los reactivos de nuestros laboratorios. Bajo este con-

cepto no deja nada que desear; pero ciertamente le faltarán algunas de las cualidades que constituyen el metal perfecto que buscamos. No se sabe todavía darle un pulimento tan fino como el del acero o de la plata. Tal vez tiene bajo este punto de vista alguna inferioridad que será preciso hacer desaparecer o alguna dificultad que vencer; pero posee cualidades excepcionales que resultan de los hechos siguientes:

- 1°. Los dos metales cristalizan bajo el sistema regular y tienen ambos la misma densidad de 21,15.
- 2°. Las aleaciones de estos dos metales con diez, veinte y treinta por ciento de iridio, tienen la misma densidad de 21,15, de suerte que no hay ninguna contracción durante su disolución, lo que excluye toda idea de separación por el efecto de licuación. Resulta de aquí que la fundición de estas aleaciones producirá siempre una materia homogénea, como por otra parte lo han probado el análisis y el estudio de las propiedades físicas de la materia tomadas a diversas alturas en los lingotes.
- 3°. De todas las materias metálicas (no comprendidos el arsénico y el osmio) el platino y el iridio son los que se dilatan menos por el calor, de suerte que la influencia de los errores más temibles, que son los que provienen de la variación de la temperatura durante la comparación de los metros, resultará atenuada en lo posible; siendo de notar que el coeficiente de dilatación del platino iridiado es sensiblemente el mismo que el de las reglas de Borda¹⁵, cuyo metal debe considerarse como idéntico al del metro de los Archivos, primer término de todas nuestras comparaciones.
- 4°. El platino con diez por ciento de iridio ha sido experimentado por el Sr. Fizeau en sus trabajos sobre la dilatibilidad de los cuerpos por el calor. Constituye la materia del trípode de que se ha servido para sus numerosas determinaciones. Su coeficiente de dilatación es, por consiguiente, de todos los conocidos, el que se ha fijado por el mayor número de experimentos exactos y el que ha resistido al mayor número de variaciones de la temperatura. El platino iridiado, como el de las reglas de Borda¹⁶, presenta un coeficiente de dilatación fijo e invariable con el tiempo. Esto resulta, por una parte, de las numerosas observacio-

nes hechas durante cinco años con un mismo aparato de dilatación de platino iridiado, y por otra, de la completa concordancia reconocida a sesenta años de distancia en las experiencias de dilatación de las regla número 1 de Borda, hechas por el mismo Borda, y recientemente por el Brigadier Ibáñez.

- 5°. Las aleaciones de platino y de iridio ofrecen una dureza y una rigidez muy grandes. El coeficiente de elasticidad determinado para una de ellas por el Sr. Tresca es considerable, así como su cohesión o resistencia a la fractura. Se corta muy bien con el diamante, y los trozos de tres milésimas de milímetro de anchura observados con un aumento de 300 o 600 veces son perfectamente regulares.
- 6°. Si se fija convenientemente la proporción de iridio, la maleabilidad y ductilidad de la aleación son tales que los mayores lingotes se pueden transformar por medio del laminador y del martillo, en planchas, barras o reglas de la forma que se quiera.
- 7°. El platino se obtiene con la mayor facilidad en estado de pureza. Lo mismo sucede con el iridio para el cual algunos procedimientos recientemente experimentados han dado los resultados más satisfactorios. Por estos procedimientos y con las materias primeras que existen en el comercio será fácil preparar estos dos metales en cantidad más considerable que la que la Comisión pueda necesitar. Su precio varía entre 700 y 1.000 francos el kilogramo.
- 8°. Los procedimientos experimentados desde hace unos quince años y diariamente utilizados pueden aplicarse tan fácilmente a la fusión del platino iridiado como a la del platino puro y todas las reglas que pida la Comisión podrán salir del mismo lingote perfectamente homogéneo.
- 9°. La aleación de platino y de iridio se analiza con precisión y, por lo tanto, la composición de cada regla se podrá comprobar perfectamente.

Conclusiones

1. Para la fabricación de los metros se empleará una aleación de noventa partes de platino y diez de iridio con una tolerancia de dos por ciento en

más o en menos. Con el lingote que provenga de una sola fusión, y por medio de los procedimientos usados en la fabricación de los metales, se construirán reglas cuyo número determinará la Comisión internacional.

2. Estas reglas se recocerán durante unos días a la temperatura más elevada, para que después no tengan que sufrir más que pequeñas acciones mecánicas.

En la discusión de este dictamen el Sr. Wild manifestó, refiriéndose a una publicación suya muy reciente, que había mandado construir dos decímetros de cuarzo y otros dos de latón y que había sometido uno de los decímetros de cada sustancia a las pruebas que se indican a continuación, antes de compararlos nuevamente a sus similares, operación que tuvo lugar con un error de tres diezmilésimas de milímetro. Un cambio de temperatura doce veces repetido entre cero y cuarenta grados dejó al cuarzo su longitud primitiva; pero el latón varió en una milésima de milímetro. Las dos reglas, empaquetadas cuidadosamente, fueron arrastradas por las calles de San Petersburgo dentro de un tonel, durante doce horas; solamente el latón se alargó una milésima de milímetro.

Sería pues de temer, según el Sr. Wild, que un metro metálico pueda variar por las acciones mecánicas por lo menos en una centésima de milímetro. Por esta razón desearía que se hiciesen experiencias en el sentido indicado.

El Sr. Deville contestó en nombre de la Subcomisión que las experiencias pedidas por el Sr. Wild debían en efecto llevarse a cabo y ejecutarse con el mayor cuidado sin que ninguna de las reglas pueda colocarse en el comparador antes de haber resistido estas pruebas de una manera satisfactoria y aún de haber hecho constar la fijeza de un coeficiente de dilatación. Pero esto no quiere decir que dichas experiencias se deban ejecutar con cualquier barra de platino iridiado, y no sería posible preparar en pocos días el trabajo puesto que sería preciso ante todo poseer dos barras idénticas y sometidas a un recocido suficientemente prolongado. El Sr. Wild reconocerá que estos preparativos son de una delicadeza extraordinaria y que no es conveniente precipitarlos.

Relativamente a la elasticidad del platino iridiado, el Sr. Tresca recordó que el coeficiente que ha resultado es mayor que el obtenido para las demás materias experimentadas y una cuarta parte más elevado que el del acero. Esta determinación se obtuvo colocando la barra de cinco kilogramos de peso so-

bre dos apoyos distantes entre sí noventa centímetros, colocando en el medio una carga que se fue aumentando sucesivamente hasta diez y seis kilogramos la cual, con el peso propio de la barra formaba una carga total de veintiún kilogramos. Las flexiones permanecieron exactamente proporcionales, tanto durante la carga como al verificar la descarga, y con un catetómetro¹⁷, que indicaba la centésima de milímetro, se hizo constar que la barra volvía exactamente a su forma primitiva.

Para desvanecer la tensión que podría resultar de lo dicho por el Sr. Wild, el Sr. Fizeau hizo ver que los experimentos de dicho Sr. no son enteramente pertinentes, y se expresó en estos términos: «Trátase en efecto de saber, no si el latón puede sufrir modificaciones por la trepidación molecular, sino si esto le sucede al platino, lo cual es enteramente diferente. Todos los físicos admitirán que si un cambio molecular es bastante grande para modificar las dimensiones de una barra, una variación correlativa intervendrá necesariamente en el coeficiente de dilatación. Ahora bien, precisamente una de las reglas de Borda nos proporciona, para el intervalo de tiempo más considerable que se puede citar en este orden de conocimientos, numerosas pruebas de la inalterabilidad del coeficiente de dilatación del platino. El Sr. Brigadier Ibáñez tuvo a su disposición el módulo número 1 de Borda, empleado por Delambre¹⁸ en el mediodía de Francia y que por consiguiente ha viajado mucho más que ninguno de los tipos de esta época y obtuvo en 1862 para el coeficiente de dilatación de estas reglas exactamente la misma cifra que Borda. Queda pues establecido que ninguno de los hechos citados sea por el Sr. Wild, sea por el Sr. General Bae- yer¹⁹ ni por ningún otro físico, justifica los indicados temores. Por el contrario se hubiera podido predecir el resultado indicado por el Sr. Wild respecto del latón; lo mismo se hubiera obtenido con el acero, como lo ha probado el Sr. Stas, principalmente con el acero templado».

Terminada la discusión se procedió a votar separadamente cada una de las conclusiones resultando aprobadas por unanimidad.

Cuestiones 8 y 10 del programa

En el seno del Comité de estudios preparatorios se suscitó ya la cuestión de si los trazos deberían trazarse en la superficie superior o en el plano medio de

las barras. La Subcomisión se ha pronunciado por esta última solución, y cree haber encontrado el medio de evitar los inconvenientes de los procedimientos empleados hasta ahora con este objeto.

Las otras condiciones que la Subcomisión se ha impuesto, tienen por objeto obtener, a igual cantidad de materia, una gran rigidez en el sentido vertical y en el horizontal; hacer que la barra tome fácilmente una temperatura tan uniforme como sea posible y que se puedan grabar otros trazos entre los dos extremos, para facilitar las comparaciones con un testigo de longitud igual a una subdivisión.

Nuestro colega el Sr. Tresca, que se ha ocupado especialmente de este asunto, ha propuesto a la Subcomisión y esta ha aceptado, el proyecto de una barra cuya sección transversal afecte próximamente la forma de una X cuyas jambas se hallen reunidas por una regla horizontal²⁰ presentando así a la vista su plano neutral a los efectos de la curvatura que se podría producir, sea por la flexión, sea por las diferencias momentáneas de temperatura entre las superficies inferior y superior. Sobre este plano se han de grabar los diferentes trazos.

Se llegaría a esta forma quitando materia a una barra de sección cuadrada de veinte milímetros de lado.

Resulta de los cálculos hechos por el Sr. Tresca, y repetidos a petición suya por los Sres. Broch y Maus, que una barra de esta forma, de una sección total de 150 milímetros cuadrados aproximadamente y colocada sobre sus soportes tendría tan solo una flexión de 51 milésimas de milímetro; la superficie neutral en que estarían grabados los trazos no experimentaría en estas condiciones más que una variación reducida al minimum e igual a cinco cienmilésimas de milímetro. La regla así construida pesaría menos de 3 kilog. 50 gr; ofrecería una gran rigidez en los dos sentidos y, comparada con el metro de los Archivos, su rigidez sería cuarenta veces mayor.

Para los tipos terminados por cantos que pidan los diferentes países, la Subcomisión es de dictamen que la sección transversal de la barra debe tener el mismo perfil exterior, pero haciendo que la regla que une las jambas esté simétricamente colocada en el sentido vertical puesto que no es necesario que esté a la vista el eje central más que en sus extremidades. Respecto a los cantos de la barra destinada a este objeto, la Subcomisión propone la forma esférica.

Dadas las disposiciones de la barra, la Subcomisión propone como soporte, para las operaciones que haya que hacer con los nuevos metros, el sistema adoptado por el Sr. General Baron Wrede en su reciente Memoria, si bien el Sr. Maus ha demostrado que no habría inconveniente, bajo el punto de vista de la resistencia ocasionada por el rozamiento, en colocar la barra directamente sobre un plano. La pequeñez del acortamiento que podría experimentar una barra apoyada en dos puntos cuya distancia a cada uno de los extremos fue determinada por Bessel; la ventaja que resultaría de que la barra estaría así completamente en contacto con el medio en el cual se operase y la extraordinaria sencillez de la disposición, han decidido a la Subcomisión en favor de este sistema de soporte, exclusivamente destinado a las operaciones; pero, para evitar los inconvenientes señalados como resultado del contacto continuo de la barra con los rodillos, la Subcomisión propone que se conserve habitualmente cada regla en un estuche.

Conclusiones

1. Las barras de platino iridiado sobre las cuales se deben grabar los metros terminados por trazos tendrán una longitud de 102 centímetros y su sección transversal afectará próximamente la forma de una X cuyas jambas se hallan reunidas por una regla horizontal (véase la figura²⁰) presentando así a la vista su plano neutral a los efectos de la curvatura que se podría producir, sea por la flexión, sea por las diferencias momentáneas de temperatura entre las superficies inferior y superior. Sobre este plano se han de grabar los trazos.
2. Las barras destinadas a la construcción de los metros terminados por cantos tendrán una sección transversal análoga pero simétrica en el sentido vertical; las extremidades se trabajarán en forma esférica de un metro de radio.
3. Durante todas las operaciones que se deberán llevar a cabo con los metros tipos, se apoyarán estos, según el sistema de Bessel, sobre dos cilindros giratorios; pero para su conservación se colocarán en estuches convenientemente dispuestos.

En el curso de la discusión explicó el Sr. Broch que la distancia entre los cilindros giratorios recomendada por la Subcomisión es un poco diferente

para los tipos terminados por cantos que para los terminados por trazos, como resulta de la teoría de Bessel²¹, confirmado por medio de consideraciones más sencillas por el Sr. Collund.

A consecuencia de algunas observaciones de los Sres. Hilgard, Herr y Govi, el Sr. Tresca manifestó que tal vez convendría aumentar el espesor de la regla central que reúne las jambas para los metros terminados por cantos, separándose un poco de la forma de mayor resistencia pero conservando las alas cuyo objeto es aumentar la rigidez en una gran proporción.

Respecto al radio de curvatura de los cantos esféricos, los Sres. Hirsch y Lang hicieron notar que el Sr. Steinheil adoptó un radio de 50 centímetros como más favorable para su método y su comparador, a fin de obtener la igualdad entre las diferentes líneas comprendidas entre los puntos de contacto.

Los Sres. Wrede y Broch afirmaron, por el contrario, que el radio de un metro es el que reduce el error probable a un mínimo cuando se tiene en cuenta el cambio de posición posible de los puntos de contacto, tanto en anchura como en altura.

Esta opinión fue confirmada por el Sr. Miller, manifestando que él mismo la había comprobado por el examen matemático de la cuestión.

Habiendo preguntado el Sr. Hilgard si la redacción presentada por la Subcomisión envuelve algún cambio en el método de los dos rodillos cuyos efectos fueron calculados por Bessel, el Sr. Ibañez, ponente de la Subcomisión, declaró que la redacción se aplica al análisis de Bessel, anejo número 1 de su obra, página 121.

Con motivo de la última parte de la conclusión tercera, tuvo lugar una larga discusión. Algunos miembros de la Comisión deseaban que se precisase si dentro de los estuches habría o no rodillos para soportar los metros.

El ponente de la Subcomisión insistió en la redacción presentada por ésta, que tiene la ventaja de no precisar otra cosa que el empleo de un estuche convenientemente dispuesto. Por otra parte, habiendo una Subcomisión encargada de proponer los medios de conservación de los tipos, ésta podrá estudiar detalladamente las condiciones que los estuches deban llevar.

Puestas a votación las diferentes conclusiones resultó aprobada la primera por todos los votos de los delegados presentes menos dos. La primera parte de la segunda conclusión por todos los votos menos uno; la segunda parte, relativa a la forma esférica, por veintinueve votos contra siete. La tercera conclusión fue aprobada por treinta votos contra tres.

Cuestiones 9, 12 y 22 del programa

Está hoy fuera de toda duda que, en las determinaciones de la temperatura absoluta que habrán de satisfacer a la condición de compatibilidad cuando se trata de obtener una precisión superior a una décima de grado, es necesario recurrir al termómetro de aire²². Como el termómetro de mercurio, este instrumento goza de la propiedad esencial de que la dilatación, que mide las diferencias de temperatura no depende sensiblemente de un estado molecular especial, muchas veces variable, que podría tener el cuerpo termoscópico, como acontece en los termómetros de metales sólidos, tales como la regla termométrica de Borda. Sin embargo, en los termómetros de mercurio la influencia de la dilatación de la envuelta de vidrio, cuya composición y estructura molecular pueden variar considerablemente de un termómetro a otro, hace casi ilusoria la ventaja que proporciona el empleo de un cuerpo termoscópico, líquido o gaseoso, cuyas propiedades estén exactamente definidas. Siendo la dilatación de la envuelta la séptima parte aproximadamente de la del mercurio, resulta que los termómetros de esta clase, bien calibrados y cuyos puntos fijos se hayan determinado rigurosamente, pueden presentar entre sí, a las temperaturas ordinarias, desacuerdos de algunas décimas de grado. Los termómetros de gas son los únicos que, en virtud de la dilatación considerable de los fluidos elásticos, podrán satisfacer a la condición de comparabilidad dentro de los límites de precisión que se deben exigir.

La Subcomisión, que tenía que estudiar las cuestiones de termómetros y de dilatación, de acuerdo sobre este punto con el Comité de estudios preparatorios, ha admitido por lo tanto, en principio, que todas las mediciones de temperatura que deberían hacerse en las comparaciones del metro se referirán al termómetro de aire.

Considerado bajo este punto de vista la proposición del Comité de estudios preparatorios, relativa a la cuestión 9, podrá presentarse alguna duda respecto

a su oportunidad. El Comité propone que a cada metro acompañen dos termómetros separados²³, cuidadosamente comparados al termómetro de aire. Ahora bien, si en las ecuaciones de los tipos se refieren las temperaturas al termómetro de aire, la longitud de los metros a una temperatura dada se halla evidentemente definida de una manera perfectamente rigurosa. El cuidado de determinar, en las comparaciones a las cuales han de servir los tipos, la temperatura absoluta por medio del termómetro de aire, corresponde al observador que en cada país se encargue de estas delicadas operaciones. Además, en la opinión de varios físicos, es difícil garantizar la invariabilidad de la marcha de los termómetros de mercurio. El cambio, unas veces brusco, otras lento y continuo, de los puntos fijos de los termómetros, indica una variación en el volumen del vidrio y es muy probable que la ley de la dilatación de la envuelta cambie igualmente. Las experiencias de los físicos que se han ocupado en esta clase de trabajos ha venido a confirmar estas previsiones. De aquí que el empleo del termómetro de mercurio como instrumento intermedio puede ser una causa de error.

A estas objeciones cree deber oponer la Subcomisión la observación importante de que el termómetro de aire es un instrumento complicado y de un uso que no deja de ser difícil. Para determinar por medio de este aparato con una precisión de $1/30$ de grado la temperatura absoluta, se necesitan precauciones minuciosas y una grande habilidad en este género de investigaciones. La necesidad de recurrir al termómetro de aire en cada comparación que se haya de hacer con los tipos, podría ocasionar serias dificultades. La Subcomisión cree que se pueden evitar sin perjuicio de la exactitud de las mediciones de longitud empleando termómetros de mercurio comparados al termómetro de aire, con la condición de que esta comparación se ha de repetir en distintas épocas. Es poco probable que los termómetros de mercurio, bien contruidos y sometidos a experiencias previas para conocer la estabilidad de sus puntos fijos, conservados además en las mejores condiciones y nunca expuestos a variaciones de temperatura considerables, cambien su marcha de una manera brusca o irregular. Una comprobación periódica podría indudablemente ofrecer suficiente garantía.

Respecto al método que convenga emplear en las determinaciones de dilatación, la Subcomisión ha considerado que el del Sr. Fizeau, en cuyas manos ha dado resultados de una concordancia tan notable, podría ciertamente

proporcionar un dato precioso sobre uno de los principales caracteres de la materia del metro. Pero al mismo tiempo que recomienda este procedimiento, la Subcomisión ha juzgado indispensable que en las mediciones de dilatación destinadas a reducir la longitud de los metros a una temperatura dada, se opere en lo posible con las mismas condiciones que se realizarán en las comparaciones subsiguientes y que por lo tanto habrá que hacer mediciones exactas y multiplicadas del aumento de la distancia entre los trazos del metro, producido por una elevación dada de temperatura. La importancia de un conocimiento exacto de esta dilatación longitudinal exige grandes precauciones y una severa comprobación. Por esta causa, la Subcomisión quisiera exigir que se determine la dilatación absoluta para cada tipo separadamente y que se sometan luego estas mediciones a la comprobación de las determinaciones de dilatación relativa. Con el objeto de poder juzgar acertadamente del número de términos que convenga emplear en las fórmulas de dilatación, será necesario observar la dilatación absoluta a varias temperaturas diferentes. La Subcomisión cree deber pedir que se lleven a cabo por lo menos a cinco temperaturas comprendidas entre cero y cuarenta grados. Como es muy probable que la dilatación relativa de los metros se pueda expresar por una fórmula lineal, será suficiente hacer las comparaciones relativas a tres temperaturas distintas.

Sentados estos principios, la Subcomisión ha estudiado los procedimientos y los aparatos que deberían ser recomendados y aun prescriptos por la Comisión internacional.

¿Es preciso, para conservar una temperatura uniforme y constante en toda la longitud de la barra sumergir ésta en un líquido buen conductor o colocarla en un medio tal como el aire o un gas que si bien conduce más difícilmente el calor ofrece la ventaja de la mayor movilidad y permite obtener una temperatura casi igual en todas las partes de un recinto de alguna extensión?

¿Se habrá de medir directamente la temperatura con el termómetro de aire, o bien con el termómetro de mercurio previamente comparado, o finalmente por los medios termoelectricos?

¿La variación de la longitud de las reglas se determinará por el método directo o por el método diferencial, es decir, se medirán los cambios de posición de los trazos del metro por medio de puntos de referencia fijos o determinando

las diferencias entre la longitud de una barra conservada a temperatura constante y la de las reglas llevadas a diversos grados de calor?

La mayoría de la Subcomisión ha reconocido que las experiencias hechas hasta aquí, entre las cuales será suficiente citar el trabajo del Sr. Ibañez y las investigaciones del Sr. Hirsch, deben hacer preferir la inmersión de las reglas en un líquido buen conductor, tal como la glicerina, y la aplicación del método diferencial recomendado por el Sr. Baron Wrede en su reciente Memoria. Cierto es que las experiencias en las cuales se han comparado reglas no sumergidas no se han hecho todas en las mejores condiciones; que otros aparatos, principalmente el recinto de temperatura constante instalado en una de las salas del Conservatorio de Artes y Oficios, permiten realizar un perfeccionamiento considerable asegurando mayor estabilidad al equilibrio de temperatura; pero faltan datos ciertos acerca de esto y parece dudoso que por estos medios se llegue a determinar la dilatación absoluta de los metros. Esta última observación tenía a los ojos de la mayor parte de los individuos de la Subcomisión tanta mayor importancia cuanto que, en su opinión, es difícil suponer, tanto en los microscopios como en los puntos de referencia la estabilidad casi absoluta que exige el método directo.

Respecto a los medios que se deban emplear para determinar la temperatura de la barra, el Sr. de Jolly ha recomendado el uso de un termómetro de aire cuyo depósito, de un metro de longitud y dispuesto paralelamente a la barra indicaría muy aproximadamente la temperatura media de la capa líquida en la cual la barra se hallase sumergida. Sabido es que el Sr. Regnault, en sus experiencias, se sirvió muy a menudo de este artificio con muy buenos resultados. La dificultad de emplear con suficiente precisión el termómetro de aire no podría crear en este caso ningún entorpecimiento puesto que los observadores a los cuales la Comisión confíe estos trabajos han de tener la experiencia necesaria, tanto más cuanto que tendrán que hacer las comparaciones de los termómetros de aire y de mercurio.

Otro individuo de la Subcomisión ha insistido sobre la oportunidad de emplear el termómetro de aire construido según las indicaciones del Sr. de Jolly, simultáneamente con los termómetros de mercurio especialmente destinados a acompañar los prototipos, lo cual tendría la ventaja de hallar al mismo tiempo las correcciones de estos termómetros de mercurio.

El Sr. Wild ha expuesto un sistema de operaciones que consiste en distribuir a lo largo de la barra varios elementos de una pila termo-eléctrica, cuya corriente indicaría la temperatura media de la barra, procedimiento que es ciertamente de una gran sencillez.

En presencia de tan diversas opiniones manifestadas en el seno de la Subcomisión, ha considerado ésta que la experiencia y la opinión de las personas competentes, a las cuales la Comisión internacional confiará las mediciones y las verificaciones definitivas, no deberían someterse a una decisión que prescribiese los métodos y los aparatos. Conviene indudablemente conceder una gran parte a los perfeccionamientos que en lo sucesivo se podrían proponer o que el Comité ejecutivo juzgase oportuno introducir. La Subcomisión desearía, por ejemplo, llamar la atención de la Asamblea General sobre un aparato destinado a la aplicación del método directo, en el cual el cambio de posición de los extremos del metro se refiere a dos verticales obtenidas por medio de dos colimadores fijos. Este método está descrito por el Sr. Hilgard en una Memoria muy reciente.

Lo relativo al peso específico y a la dilatación de la materia del kilogramo no ha dado lugar a consideraciones especiales puesto que los procedimientos ordinarios son muy suficientes para obtener la determinación de estas constantes con la necesaria precisión. Bastará hacer notar que la inmersión de cada kilogramo en el agua se deberá hacer antes de haber pesado definitivamente.

Conclusiones

1. Cada uno de los metros internacionales irá acompañado de dos termómetros de mercurio, aislados y cuidadosamente comparados con el termómetro de aire. Se juzga indispensable que estos termómetros se comparen varias veces en el transcurso de los tiempos al termómetro de aire para tener en cuenta su variabilidad.
2. Para determinar el coeficiente de dilatación del platino iridiado que se ha de emplear en la construcción de los metros, se hará uso del procedimiento del Sr. Fizeau.
3. Se someterán los tipos a los mejores procedimientos por medio de los cuales se puedan determinar los coeficientes de dilatación absoluta de

los metros enteros. Estas experiencias se harán separadamente, por lo menos a cinco temperaturas diferentes comprendidas entre cero y cuarenta grados.

4. La comparación relativa de los tipos se deberá ejecutar por lo menos a tres temperaturas comprendidas entre estos mismos límites.

Después de la lectura del dictamen que se acaba de extractar, el Sr. Deville manifestó que sin tener el ánimo de impugnarlo deseaba sin embargo hacer conocer su opinión a consecuencia de sus propios experimentos. Desde hace veinte años ha hecho constantemente uso del termómetro de aire, que no se emplea todo lo que fuera de desear y que ni aún es bien conocido tal cual ha sido empleado durante tanto tiempo en el laboratorio del Sr. Regnault y en el suyo. Nada hay más exacto ni más cómodo, más fácil ni más expedito.

Según el Sr. Deville es imposible determinar la temperatura media de una regla con otro termómetro que con el de aire, puesto que es necesario tener en cuenta a la vez la temperatura de cada uno de los puntos de la misma. En lugar de recurrir a termómetros de mercurio, que deben compararse al de aire ¿porque no se hace uso de este último instrumento?

Para operar con la regla cuya forma se ha adoptado, el Sr. Deville construiría un termómetro de aire del mismo metal y de igual forma. Dispondría con este objeto un tubo cilíndrico que constituiría un verdadero estuche cuya forma se modificaría sucesivamente para que sus paredes se aproximasen hasta muy cerca de las de las reglas; una de las extremidades quedaría primeramente cerrada, practicando las aberturas necesarias para grabar o para observar los trazos. El termómetro-envuelta se cerraría enseguida por su otra extremidad, a excepción de un punto en el cual se soldaría, con oro, un hilo de platino de una décima de milímetro de diámetro, interior; que haría conocer exteriormente las variaciones de presión, por medio de una nueva soldadura del mismo platino, con el vidrio de un manómetro. Si fuese necesario se aplicaría a este tubo, de tan reducido volumen, un sistema compensador.

Estima el Sr. Deville que se medirá así la temperatura media con una exactitud de $1/240$ de grado. Manifestó el deseo de que la Comisión haga el experimento convencido como está de los buenos resultados que ha de producir.

Añadió el Sr. Deville que estas indicaciones son suficientes para sentar el principio; que no es necesario formular ninguna proposición especial porque la Subcomisión ha sido extraordinariamente prudente en sus conclusiones. Los sabios que se encargarán de la ejecución sabrán lo que deben esperar de este procedimiento enteramente práctico.

El Sr. ponente hizo constar que estas mismas consideraciones se tuvieran presentes en la Subcomisión, en la cual varios individuos opinan que es superfluo el uso de termómetros especiales de mercurio. Recomendó sin embargo, la aprobación de las conclusiones presentadas, tanto más cuanto que el mismo Sr. Deville no se opone a que se emplee a la vez el termómetro de mercurio.

El Brigadier Ibañez confirmó las consideraciones presentadas por el Sr. Deville. Cuando llevó a cabo en 1856 sus determinaciones quiso recurrir a un procedimiento análogo y, después de haberse puesto de acuerdo con el Sr. Regnault, había tomado la resolución de emplear este método. Algunas dificultades prácticas, que provenían de tener que operar con una regla de cuatro metros de longitud, le obligaron entonces a abandonar la idea, pero ahora debe llevarse a cabo por no existir las mismas razones que en aquella época.

Acerca de la tercera proposición dijo el Sr. Struve que no se explicaba por qué las operaciones no se habían de extender a las temperaturas inferiores a cero, principalmente cuando parece probable que será la de cero grados la temperatura normal.

El Sr. Hirsch, autor de la conclusión, contestó que la extensión pedida por el Sr. Struve no responde a una necesidad práctica puesto que los tipos no se han de emplear probablemente a temperaturas inferiores a cero, que será difícil obtener con la suficiente constancia para las comparaciones. Si se hubiese de operar solamente a algunos grados bajo cero, el Sr. Hirsch no conoce otro líquido que se pueda emplear más que el alcohol, el cual presenta serios inconvenientes.

El Sr. Deville dijo que no quería ser tan afirmativo. Cree, por el contrario, que cuando se hayan preparado los medios de asegurar la constancia de la temperatura por medio de un baño de aire, y de medir la longitud variable de las reglas, será muy posible determinar aun el segundo término del coeficiente de dilatación, que afecta al cuadrado de la temperatura. Para esto no será

inútil descender a cinco o seis grados bajo cero. Si bien no presentó ninguna enmienda a la redacción tan reservada de la Subcomisión, dijo que esperaba la extensión del límite inferior.

El Sr. Bosscha declaró que la cuestión no había sido objeto de una discusión especial en el seno de la Subcomisión, considerando sin duda, que las ventajas resultantes de la extensión de los límites quedarían muy disminuidas por las causas de error que ocasionaría. La Subcomisión no ha querido excluir; pero tampoco ha querido prescribir en esta materia.

El Sr. Hilgard manifestó la opinión de que debe quedar sentado que en la determinación de la dilatación debe observarse la regla entera, comprendida entre los trazos.

Puestas a votación las diferentes conclusiones fueron todas aprobadas por unanimidad.

Cuestiones 11 y 20 del programa

Como en varias naciones se ha elegido la temperatura media de los lugares habitados para la temperatura normal de los tipos de longitud, el Sr. General Baron Wrede ha recordado las consideraciones por él expuestas en su reciente Memoria, y que a su parecer deben hacer adoptar dicha temperatura media como normal para los nuevos metros.

A pesar del sentimiento de hallarse en desacuerdo con el sabio colega que ha tomado una gran parte en nuestros trabajos, los otros individuos de la Subcomisión han creído deber proponer, para la temperatura normal de los metros, la de cero grados del termómetro centígrado, la cual han preferido por las razones siguientes:

Si la adopción de la temperatura media presenta la ventaja de dar a los tipos su verdadera longitud a una temperatura poco diferente de la de los lugares habitados, y de disminuir las correcciones consiguientes, tiene sin embargo el inconveniente de que estas sean unas veces positivas y otras negativas, lo cual puede ocasionar equivocaciones en el uso ordinario.

Los motivos que han determinado a los físicos a designar por cero grados centígrados la temperatura que posee el agua en el momento en que pasa del

estado sólido al líquido han decidido a la Subcomisión a elegirla para temperatura normal de los metros. Esta temperatura constante resulta de un fenómeno que se puede fácilmente reproducir en todas las latitudes.

Finalmente, para obtener la longitud del metro de los Archivos, el tipo internacional deberá referirse a la temperatura de cero grados centígrados que es la normal de aquel prototipo.

La Subcomisión propone que el kilogramo internacional se refiera a su peso en el vacío.

Habiendo hecho notar el Sr. Baron Wrede las diferencias de densidad del latón empleado en la construcción de los pesos usuales que sirven para las operaciones hechas en el aire y los consiguientes errores, la Subcomisión ha manifestado el deseo de que se haga un estudio para apreciar las ventajas que representaría la construcción de un kilogramo cilíndrico de 54 milímetros de diámetro y otro tanto de altura, destinado al empadronamiento de los pesos usuales en las condiciones ordinarias de las habitaciones.

Conclusiones

1. El metro internacional tendrá la longitud del metro a cero grados del termómetro centígrado.
2. El kilogramo internacional se ha de referir al peso hecho en el vacío.

La primera de estas conclusiones fue aprobada por todos los individuos presentes menos uno; y la segunda por unanimidad.

Cuestiones 3 y 13 del programa

La Subcomisión tenía el encargo de buscar y de indicar los medios más a propósito para efectuar con toda la precisión necesaria:

- 1º. El trazado de los nuevos metros terminados por trazos.
- 2º. La comparación entre estos metros terminados por trazos y el metro de los Archivos terminado por cantos.

- 3°. Todas las demás comparaciones que puedan considerarse útiles para los metros terminados por trazos y los definidos por cantos, sea entre sí o entre unos y otros.

Hasta estos últimos tiempos el uso general había consagrado, para los tipos de medición de longitud, el empleo de reglas terminadas por cantos, es decir terminadas en cada una de sus extremidades por una cara plana normal a la longitud de las reglas o por un segmento esférico. En tales circunstancias las comparaciones de las reglas entre sí se efectuaban por medio de instrumentos llamados comparadores, en los cuales los palpadores planos, cilíndricos o esféricos, se pueden aplicar sucesivamente a las extremidades de las reglas; pero en ese caso es inevitable que por consecuencia de contactos tan repetidos los extremos de los tipos, reciban impresiones sensibles, capaces de alterar con el tiempo las superficies terminales y de cambiar notablemente la longitud de las reglas.

Según un acuerdo de esta Asamblea los nuevos tipos deben estar terminados por trazos, es decir, formados por dos líneas que disten entre sí un metro y estén grabadas sobre una superficie plana presentando así todas las garantías posibles bajo el punto de vista de la perfecta conservación de su longitud, pero las comparaciones entre las diferentes reglas no pueden ya llevarse a cabo con los comparadores que se acaban de mencionar, y es preciso recurrir a nuevos procedimientos y a nuevos instrumentos para comparar dos reglas terminadas por trazos entre sí, o una regla de esta clase con otra terminada por cantos.

El Comité de estudios preparatorios, así como la Sección francesa de la Comisión han consignado sus estudios y sus investigaciones sobre este asunto.

Tratan primeramente de decidir la construcción de dos aparatos, uno de movimiento longitudinal para el trazado de los metros y el otro de movimiento transversal para su comparación. El primero de estos instrumentos ha parecido realizar la disposición más a propósito para trazar, con una gran perfección y en poco tiempo, el número de tipos que será necesario construir para los diferentes Estados; el segundo, destinado especialmente a las comparaciones y construido según el sistema más generalmente empleado, ha parecido presentar más garantías de exactitud que el precedente, cuya precisión en este género de observaciones no ha sido experimentada hasta ahora.

Se propone que las comparaciones entre las reglas se lleven a cabo en un líquido y en el aire, sin permitir sin embargo que el tipo de los Archivos se sumerja en ningún líquido antes del fin de las operaciones, es decir, antes que el metro internacional terminado por trazos esté completamente concluido. Esta reserva se funda en el temor de alguna alteración posible en el prototipo por la acción de un líquido sobre el platino de que está formado, el cual, habiendo sido preparado por el método Jannetty²⁴, debe ser bastante poroso para absorber cierta cantidad de líquido.

La proposición que viene después se refiere a la manera más conveniente de pasar el metro terminado por cantos al terminado por trazos, empleando el método de las puntas que producen sus imágenes reflejadas en las caras extremas del metro terminado por cantos. Este método permite transformar, por decirlo así, un metro terminado por cantos en otro definido por trazos y susceptible de ser observado por los mismos microscopios y la misma precisión que un verdadero metro terminado por trazos.

Las proposiciones cuarta y quinta se refieren a los medios de obtener, con la mayor precisión posible, las ecuaciones de los diversos tipos. Con este objeto se emplearán todos los medios de comparación conocidos y que hayan hecho sus pruebas: es decir, según los casos, bien sean palpadores de diferentes formas, bien el método de los Srs. Airy y Struve o bien el de los Srs. Stamkart y Steinheil.

Por último la otra conclusión, relativa a los metros terminados por cantos que podrán solicitar algunos Estados, se reduce a proponer que estos metros se construyan refiriéndolos al metro internacional terminado por trazos cuando este se halle concluido.

Conclusiones

1. La Comisión decide que se construyan dos aparatos, uno de movimiento longitudinal para el trazado de los metros y el otro de movimiento transversal para su comparación.
2. Las comparaciones se efectuarán sumergiendo los nuevos tipos en un líquido y en el aire; pero sin sumergir el metro de los Archivos de Francia en ningún líquido antes de terminar las operaciones.

3. El trazado de los metros terminados por trazos y su primera comparación con el metro de los Archivos de Francia se llevarán a cabo, en primer lugar, por el procedimiento propuesto por el Sr. Fizeau que consiste en observar al mismo tiempo y en cada extremo del metro una punta muy fina colocada a la proximidad del canto y la imagen de la misma punta reflejada por éste.
4. Para la determinación de las ecuaciones de los diferentes tipos se emplearán además todos los medios de comparación ya conocidos, es decir, según los casos, bien sean palpadores de diferentes formas, bien el método de los Srs. Airy y Struve, bien el de los Srs. Stamkart y Steinheil.
5. Las ecuaciones entre el metro de los Archivos de Francia y el metro internacional terminado por trazos, así como las ecuaciones entre los otros tipos y el metro internacional, se determinarán por la discusión de los resultados de todas estas observaciones.
6. Las operaciones se harán a la inversa, partiendo del metro internacional, para la construcción de los tipos terminados por cantos que pidan las diferentes naciones.

Respecto del uso que convenga hacer de las dos clases de aparatos, la primera de movimiento longitudinal y la segunda de movimiento transversal para llevar a cabo las comparaciones, conviene citar textualmente los párrafos siguientes de las actas del Comité de Estudios preparatorios:

«Comienza la discusión acerca del sentido en que conviene hacer el cambio de posición de las reglas para que sus extremidades pasen sucesivamente bajo los microscopios».

«El Sr. Fizeau insiste en la ventaja del movimiento longitudinal de las reglas, que permite realizar el conjunto de todas las condiciones necesarias, con un carácter de unidad que no puede tener ningún otro procedimiento. El movimiento longitudinal del plano en que descansan las dos reglas, se aplicará, en efecto, no solamente a la comparación del metro terminado por cantos con el de trazos, sino también a la construcción de este y a la comparación de dos metros terminados por trazos. En cuanto al trazado, que se hace sucesivamente por la misma cuchilla después de un cambio de posición arreglado precisamente a la

longitud de la regla que se quiere traducir, no es necesario insistir para hacer ver la ventaja relativa a esta disposición; entendiéndose, sin embargo, que es necesario el empleo de un colimador para calcular la influencia de la más pequeña desviación en la dirección del movimiento, si esta tuviese lugar».

«El Sr. Joerster achaca al sistema que se acaba de indicar una grave incertidumbre que proviene de que una desviación de un segundo solamente produciría por si sola un error de una diezmilésima de milímetro entre dos reglas cuyos ejes no estuviesen separados más que por una distancia de dos centímetros».

«Al Sr. Fizeau se le ocurre un medio de amplificar ópticamente la medida de esta desviación empleando reflexiones sucesivas, de manera que se pueda conocer si cada observación está comprendida entre límites suficientemente próximos».

«El Sr. Hirsch manifiesta la sorpresa con que tanto sus colegas extranjeros como él han visto esta disposición longitudinal, cuando se les ha enseñado por primera vez: sabe muy bien que Borda, Lenoir y Gambey, la emplearon, pudiendo por esto designarla con el nombre de sistema francés, si bien fue abandonada al construir la regla de medir bases del Gobierno español, ejecutada bajo la dirección del Sr. Brigadier Ibáñez por el Sr. Brunner. Ninguno de los comparadores extranjeros admite esta operación que ni se halla en los trabajos de Bessel, ni en Berna, ni en Berlín, ni en Inglaterra. La opinión general en estos países es que se obtienen los mismos resultados con muchos menos inconvenientes moviendo las reglas en el sentido transversal tan solo algunos centímetros empleando un microscopio en cada extremidad; estos microscopios podrían asegurarse en un macizo de piedra y deberían en todo caso, establecerse con una gran estabilidad».

«Además de las ventajas que esta disposición presenta por el pequeño movimiento que exige, así como porque está al abrigo de toda desviación anormal que, si se produjese, no permitiría operar, es la única que se presta a las comparaciones hechas en un líquido, condición que el Sr. Hirsch considera indispensable».

«El Sr. Deville no tiene gran confianza en las comparaciones hechas por el movimiento transversal, y el Sr. Hirsch concluye diciendo que el uso del nuevo colimador de reflexiones múltiples, superabundante para el trazado

del metro, es absolutamente insuficiente en las comparaciones que se han de efectuar. Con este motivo recuerda que la misma objeción no es aplicable al trazado de los metros, trabajo que no exige la misma precisión, puesto que el error del trazado puede ser, sin grave inconveniente, mucho mayor que el de las comparaciones».

«Los señores Wild y Foerster no podrían tampoco comprender que para las comparaciones se recurriera al movimiento longitudinal, esto sería hacer abstracción de toda la experiencia adquirida, tanto en Berlín desde 1834, como en Londres, Berna y Munic, y aún en París y en España, en los bellos trabajos del Sr. Ibáñez, mientras que el movimiento longitudinal está lejos de recomendarse por los resultados de las determinaciones hechas en Francia en diversas épocas».

Después de una ligera discusión, destinada a dar algunas explicaciones sobre las conclusiones presentadas por la Subcomisión, fueron estas aprobadas por unanimidad.

Cuestión 15 del programa

Precedidas de un dictamen en que se demuestra la necesidad de adoptar todas las precauciones necesarias para que los nuevos prototipos tengan un carácter verdaderamente internacional, la Subcomisión presentó las siguientes:

Conclusiones

1. La construcción de los nuevos prototipos del metro y del kilogramo, el trazado de los metros, la comparación de los nuevos prototipos con los de los Archivos de Francia, así como la construcción de los aparatos auxiliares necesarios para estas operaciones se confían a la Sección francesa de la Comisión internacional, con el concurso del Comité permanente del que se hace mención en el artículo siguiente.
2. La Comisión elige en su seno un Comité permanente que debe funcionar hasta la próxima reunión de la Comisión, con la organización y las atribuciones siguientes:
 - a) El Comité permanente se compondrá de doce individuos que pertenezcan todos a naciones diferentes; para que sus deliberaciones

sean válidas es necesaria, por lo menos, la presencia de cinco de sus individuos; elige su Presidente y su Secretario; se reúne siempre que lo juzgue necesario, por lo menos una vez al año.

- b) El Comité dirige y vigila la ejecución de las decisiones de la Comisión internacional relativamente a la comparación de los nuevos tipos métricos entre sí, así como la construcción de los comparadores, balanzas y otros aparatos auxiliares que hayan de servir para estas operaciones.
 - c) El Comité permanente ejecutará los trabajos indicados en el párrafo b) que precede, con todos los medios que tenga a su disposición; para estos trabajos recurrirá a la Oficina internacional de pesas y medidas cuya fundación se recomendará a las naciones interesadas.
 - d) Cuando los nuevos tipos estén construidos y comparados, el Comité permanente dará cuenta de todos los trabajos a la Comisión internacional, la cual sancionará los tipos antes de distribuirlos a las diferentes naciones.
3. La Comisión internacional llama la atención de los Gobiernos interesados acerca de la gran utilidad que reportará la fundación en París de una Oficina internacional de pesas y medidas bajo las bases siguientes:
- 1°. El Establecimiento será internacional y se le declarará neutral.
 - 2°. Se establecerá en París.
 - 3°. La fundación y entretenimiento se harán con cargo a todas las naciones que se adhieran al tratado que se ha de llevar a cabo entre los Estados interesados para la creación de la Oficina.
 - 4°. El Establecimiento dependerá de la Comisión internacional del Metro y quedará bajo la vigilancia del Comité permanente, el cual designará el Director.
 - 5°. La Oficina internacional tendrá las atribuciones siguientes:
 - a) Estará a la disposición del Comité permanente para las comparaciones que han de servir de base a la verificación de los nuevos tipos, de lo cual se halla encargado el Comité.

- b) La conservación de los prototipos internacionales según las prescripciones de la Comisión.
 - c) Las comparaciones periódicas de los prototipos internacionales con los tipos nacionales y con los testigos que después se mencionarán, así como la de los termómetros tipos según las reglas establecidas por la Comisión.
 - d) La construcción y la verificación de los tipos que otros países puedan pedir en lo sucesivo.
 - e) La comparación de los nuevos prototipos métricos con los otros tipos fundamentales empleados en los diferentes países y en los trabajos científicos.
 - f) La comparación de los tipos y escalas de precisión que se le envíen, sea por los Gobiernos, sea por Corporaciones científicas, sea por artistas o por hombres de ciencia.
 - g) La Oficina ejecutará todos los trabajos que la Comisión o su Comité permanente le pidan en interés de la metrología y de la propagación del sistema métrico.
4. La mesa de la Comisión internacional queda encargada de dirigirse al Gobierno francés para que se sirva comunicar por la vía diplomática a los Gobiernos de todos los países representados en la Comisión, el ruego de ésta, relativo a la fundación de una Oficina internacional de pesas y medidas y para que invite a los mencionados Gobiernos a que hagan un tratado para crear de común acuerdo y lo más pronto posible el referido Establecimiento científico bajo las bases propuestas por la Comisión.

Antes de proceder a la deliberación, el Sr. General Marqués de Ricci, en la sesión del día 11 de Octubre, pidió la palabra y leyó la declaración siguiente:

«En la lista de los delegados de los diferentes Estados representados en esta Comisión, lista que fue leída en la sesión general de 24 de Setiembre, e inserta en el acta, el Reverendo P. Secchi está designado como representante de la Santa Sede. Con arreglo a esta calificación, la Comisión ha concedido al P. Secchi un voto en las votaciones por Estados».

«Nuestro Gobierno, considerando que la Santa Sede no es más que un poder espiritual, y no un Estado en el derecho público Europeo, acaba de ordenarnos a mi colega y a mí, que no tomemos parte en ningún acto en el cual el P. Secchi figure como delegado de la Santa Sede».

«No podemos considerar al P. Secchi, según nuestras instrucciones, más que como un sabio ilustre cuyo concurso personal y cuyos consejos, en las cuestiones científicas que la Comisión tendrá que tratar, nos consideramos muy dichosos de haber aprovechado».

«Declaramos, por consiguiente, que no podemos ya tomar parte en ninguna deliberación, mientras dure este estado de cosas».

El Sr. Presidente manifestó su sentimiento de no poder considerar este incidente más que como un hecho consumado.

El Sr. General Morin pidió la palabra y leyó lo siguiente:

«Señores: Experimento el sentimiento, que compartiréis ciertamente conmigo, al saber que dos de nuestros más eminentes colegas, que tantas pruebas nos han dado de su saber, de su celo y de su benevolencia, se ven obligados, para obedecer a órdenes imperativas, a separarse de nosotros».

«No me permitiré, sobre este asunto, ninguna reflexión; pero no puedo menos de expresar la sorpresa y el dolor que experimento al ver que consideraciones extrañas a la ciencia vienen a invadir y turbar su dominio, en el momento mismo en el que llevan a cabo uno de los trabajos más civilizadores».

«Esperemos que esta separación no será definitiva y que en nuestras primeras reuniones nuestros colegas vendrán a tomar asiento de nuevo entre nosotros».

Puestas a votación en conjunto las conclusiones de la Subcomisión, fueron aprobadas por unanimidad.

Cuestión 17 del programa

La determinación del peso del decímetro cúbico de agua es considerado uno de los problemas más delicados del dominio de las ciencias físicas, porque exige no solamente los medios más precisos para determinar la dilatación y los valores absolutos de la temperatura y de las dimensiones de un cuerpo sólido de forma regular, sino también el conocimiento exacto de la dilatación del agua, la determinación rigurosa de la temperatura de una masa de agua bastante grande de este líquido, así como los medios más delicados de pesar hidrostáticamente. Por otra parte la necesidad de proporcionarse agua enteramente pura y sobre todo de evaluar la influencia de la condensación del líquido sobre la superficie del cuerpo sumergido, cuestión que hasta ahora no ha sido planteada, aumentan aún más las dificultades de la solución de este problema.

Algunos individuos de la Subcomisión han creído, a causa de estas dificultades, que la determinación del peso del decímetro cúbico de agua podría ser superior a la de los medios de los que dispone la Comisión internacional y al objeto que se propone; que este problema se debería resolver por un solo sabio. La mayoría ha sostenido sin embargo, la necesidad de que esta determinación se haga por la Comisión, porque esta, al adoptar en su sesión del 26 de Setiembre el kilogramo de los Archivos en su estado actual para la deducción de los nuevos prototipos, emitió al mismo tiempo la opinión de que la relación entre el nuevo prototipo del kilogramo y el peso del decímetro cúbico de agua se deberá determinar rigurosamente para las necesidades de la ciencia y además porque el conocimiento de esta relación, abstracción hecha de las grandes diferencias entre los resultados obtenidos en diferentes países, no satisface las exigencias de la ciencia exacta, puesto que ninguna de las determinaciones de esta relación ofrece los datos necesarios para fijar ni aun aproximadamente su error probable; y finalmente porque la Comisión poseerá sin duda, para llevar acabo sus diferentes trabajos, comparadores, balanzas, e instrumentos accesorios de la mayor perfección, hallándose por lo tanto provista mejor que ningún otro Establecimiento científico, de los medios más esenciales para el trabajo en cuestión.

La Subcomisión ha creído deberse limitar a una sola proposición general, consignando los resultados de sus deliberaciones más especiales únicamente

bajo la forma de noticias para llevar a cabo esta investigación. Estos resultados son los siguientes:

- 1°. El mejor método para determinar exactamente el peso de un decímetro cúbico de agua parece ser el que generalmente se ha seguido hasta ahora, que consiste en medir el volumen exterior de un cuerpo sólido y en determinar ulteriormente, por el método hidrostático²⁵, el peso del agua que puede desalojar al sumergirlo en este líquido.
- 2°. De las tres formas regulares la esfera, el cilindro o el cubo, cada una ofrece ventajas especiales, sea para la construcción mecánica, sea para la valuación de su volumen por mediciones lineales; pero parece que la forma cilíndrica es la que, para dimensiones mayores, ofrece la mayor facilidad de construcción.
- 3°. La superficie de los cuerpos no aumenta sino con el cuadrado de las dimensiones mientras que el volumen lo verifica con la tercera potencia; se debe por lo tanto recomendar que se elija, para la determinación definitiva, un cilindro de bastante volumen (de diez litros, por ejemplo) a fin de que la condensación del líquido sobre la superficie tenga menor influencia sobre el resultado. En todo caso es de desear que se valúe esta influencia, siquiera sea aproximadamente, haciendo determinaciones preliminares con cuerpos más pequeños, pero de diferentes formas con el mismo volumen y de diferentes materias.
- 4°. Siendo la dilatación del agua menor cuando se halla cerca de su máximo de densidad y hallándose reducido al mínimo el cambio de peso del cuerpo sumergido, a consecuencia de un cambio de temperatura, cuando ésta esté próxima a aquella para la cual las dos dilataciones serán iguales entre sí, parece preferible pesar hidrostáticamente, deduciendo así la relación que se busca entre una y otra de estas condiciones. Pero como esta misma manera de pesar ofrece el medio mejor para determinar la dilatación del agua, cuya ley no se conoce con bastante exactitud, es de desear que para este objeto, se pese el cuerpo en el agua a temperaturas diferentes comprendidas entre cero y treinta grados centígrados. El conocimiento riguroso de la ley de dilatación del agua no es tan solo necesario para las correcciones que hay que aplicar en las

investigaciones de que se trata, sino que es igualmente indispensable para la determinación del peso específico del kilogramo.

- 5°. Las razones que se acaban de exponer nos han sugerido la idea de hacer, al mismo tiempo que esta determinación, una investigación especial acerca de la influencia del aire absorbido sobre el peso específico del agua y que por consiguiente conviene decidir de una vez si se debe pesar hidrostáticamente con agua privada de aire o con la que está saturada de él.

Conclusión

«La determinación del peso del decímetro cúbico de agua se debe hacer por la Comisión internacional».

Abierta discusión, el Sr. Miller recordó las conclusiones indicadas por Schumacher. Manifestó su opinión de que será ventajoso emplear, como propuso Gauss, una forma geométrica de mayores dimensiones, y cree también que sería preferible aproximarse todo lo posible a la temperatura para la cual la dilatación del agua es la misma que la del cilindro; este deberá ser hueco y no sólido como la redacción de la Subcomisión parece suponer.

El Sr. Baron Wrede añadió que la temperatura a la que aludía el Sr Miller, con relación al latón, es la de nueve grados y que también la considera como más conveniente para las operaciones de que se trata.

El Sr. Govi hizo notar que la proposición, redactada bajo una forma sumamente reservada, deja toda la laxitud necesaria.

El Sr. Wild manifestó que a consecuencia de algunas diferencias de apreciación, entre las cuales convendrá elegir con mayor madurez, la Subcomisión se había decidido a no precisar los detalles de ejecución. Respecto a la redacción dijo que la palabra sólido no excluye la idea de un sólido hueco.

Puesta a votación la conclusión fue aprobada por veintinueve votos contra tres.

Cuestiones 18, 19 y 21 del programa

La cuestión relativa a la materia del kilogramo no es muy diferente de la concerniente al metro, acerca de la cual la Comisión internacional se ha

pronunciado ya. La Subcomisión ha tenido en cuenta esta resolución y se ha apoyado en alguno de los principios que decidieron el acuerdo relativo al metro.

¿Cuáles son las condiciones a las cuáles hay que satisfacer en la selección de la materia del kilogramo?

- 1°. Es preciso que sea inalterable en el mismo grado que la materia del metro.
- 2°. Es preciso que el kilogramo desaloje la menor cantidad posible de aire, es decir, que su materia sea lo más densa posible.
- 3°. Es preciso que la materia del kilogramo sea a la vez dura, elástica y maleable: dura para que las fricciones, aunque enérgicas, no puedan quitar materia; elástica para que, bajo la influencia del choque o de la compresión, pierda lo menos posible su forma primitiva; maleable para que, violentamente golpeada, no se divida en fragmentos.
- 4°. Por último es de desear que por su composición, la materia elegida, difiera lo menos posible del kilogramo de los Archivos que se trata de copiar exactamente.

Sentado esto, veamos cuales son las sustancias que más naturalmente se presentan a nuestro examen.

1° Cuarzo

¿Debe servir el cuarzo a la confección de los kilogramos? Esta cuestión ha sido discutida en largas y numerosas sesiones.

La Subcomisión ha considerado que la densidad del cuarzo, 2,650, daría al kilogramo el volumen de 377,8 en lugar de 48,65 que tiene el kilogramo de los Archivos.

Ahora bien, dando lugar el peso en el aire a causas de error dependientes principalmente de la variación de presión, de temperatura y de la composición del aire, estos pesos serán tanto más exactos cuanto menores sean el volumen y la superficie del kilogramo. Respecto a la comparación con un tipo existente, es evidente la ventaja de que el volumen y la superficie de las materias que se hayan de comparar sean rigurosamente idénticos.

El cuarzo, como mal conductor del calor, se dilata desigualmente bajo su influencia y se pone muy lentamente en equilibrio con la temperatura ambiente, como lo ha hecho observar el Sr. de Jolly. Mal conductor de la electricidad, se electriza por el menor rozamiento. Aunque los experimentos del Sr Wild hayan atenuado grandemente esta causa de error, las observaciones de los Sres. Dumas²⁶, Boussingault y Stas, que han hecho constar la influencia ejercida sobre los pesos por la electrización del vidrio, dejan todavía escrúpulos en el ánimo de varios individuos de la Subcomisión.

Fundada esta principalmente en la pequeña densidad del cuarzo y en su fragilidad, no lo ha admitido como materia para la construcción del kilogramo. Pero considerando la inalterabilidad de esta sustancia y la invariabilidad de su peso en circunstancias rigurosamente determinadas por el Sr Herr, opina que se podrán construir, además de los kilogramos de platino, otros de cuarzo limpio para los estados que los pidan.

2° Vidrio

El vidrio, más frágil que el cuarzo muy higrométrico y de poca densidad, se halla naturalmente excluido de las materias que pueden servir para la fabricación del kilogramo.

3° Metales

Debiendo desecharse los metales alterables al aire, quedan el oro y el platino. Este es preferible a aquel por ser más denso en la proporción de 21,15 a 19,36, y porque es mucho más duro. El platino puro es, por consiguiente, una materia que se puede emplear para la construcción del kilogramo.

4° Aleaciones

Las aleaciones de oro se podrían adoptar a causa de su inalterabilidad y porque después de haber preparado convenientemente el metal se puede colocar en la balanza de comparación sin recocerlo. Pero la densidad de las aleaciones de oro es menor que las del platino y su precio triple del de éste.

Hallándose excluidas todas estas materias excepto el platino, resta tan sólo examinar este metal y el platino iridiado adoptado por la Comisión internacional para la construcción del metro.

Los experimentos que uno de nosotros y el Sr. Troost han publicado demuestran que a una temperatura elevada el platino puro se deja penetrar, con notable facilidad, por el gas hidrógeno. El ázoe²⁷ pasa igualmente a través del platino pero en cantidad extraordinariamente pequeña. El Sr. Graham ha demostrado después que el platino y aún más el paladio pueden conservar hidrógeno aún a la temperatura ordinaria. ¿No sería de temer, por consiguiente, que el platino puro condense en su superficie los elementos o uno de los elementos del aire mismo, y aún en el vacío si conservase los gases absorbidos después de la supresión del aire ambiente? Las experiencias del Sr. Regnault pueden tranquilizarnos acerca de esto, pues ha demostrado que el coeficiente de dilatación del aire es el mismo cuando se mide por medio de un globo que contenga sólo aire y en el mismo globo después de introducir en él un gran número de hojas delgadas de platino.

Pero la Sección francesa, preocupada con este asunto ha hecho con el platino iridiado un experimento todavía más decisivo. Un cubo de platino iridiado, colocado en el polo negativo de una pila y en un voltámetro de donde se desprendía hidrógeno, no adquirió el menor aumento de peso y su coeficiente de dilatación no varió. Un cilindro de paladio había adquirido en las mismas circunstancias un considerable exceso de peso y hasta se había abierto a consecuencia de un aumento de volumen.

Finalmente, el Sr. Stas, ha dado cuenta en la Subcomisión de los resultados obtenidos en experiencias concluyentes hechas con la más minuciosa exactitud, y de las cuales una gran parte se ha publicado ya. Deduce de ellas que un kilogramo de platino tratado por el alcohol, el agua fría, el agua hirviendo, la desecación en el vacío, calentando a temperaturas de 250 y 350 grados, a la temperatura roja, pero al abrigo de las llamas, y colocado de nuevo en una balanza que acusa con toda seguridad $\frac{1}{4}$ de miligramo, toma de nuevo su peso primitivo determinado en el aire húmedo a la temperatura de 15 grados. La misma constancia se ha observado cuando el platino calentado al abrigo de las llamas, hasta el punto de perder su pulimento y enfriado en el aire seco, se comparaba al platino que no había sufrido ninguna de estas modificaciones. El tiempo empleado para que el equilibrio de la balanza fuese estable variaba con la naturaleza y el número de las operaciones hechas con el platino sometido a la observación; pero en todos los casos, el peso primitivo se conservaba definitivamente con la exactitud que se acaba de indicar y después de un tiempo suficientemente largo.

Ninguna otra materia exceptuando tal vez el oro puro, podría presentar semejante invariabilidad de peso en iguales circunstancias.

Queda por resolver la siguiente cuestión: ¿Se debe preferir al platino puro la aleación de platino e iridio, que ha de servir para la construcción del metro?

Es preciso hacer notar en primer lugar que el platino del kilogramo de los Archivos no es puro. Es una aleación muy rica en platino y en la cual entran cantidades notables de iridio, que el procedimiento de Jannetty introduce precisamente, con paladio y rodio en muy pequeña proporción.

¿Se aproxima más, por su composición, al platino del kilogramo de los Archivos el actual del comercio que el platino iridiado adoptado para el nuevo metro? El análisis de la materia del kilogramo permitiría únicamente contestar a esta pregunta; pero este análisis no se puede llevar a cabo.

En la duda hay que contentarse con comparar las ventajas que presentan el platino puro y el iridiado, decidiéndose por una de estas materias, sin dar una importancia capital a esta elección.

- 1º. La densidad de estas dos materias es exactamente la misma.
- 2º. El platino iridiado es todo lo maleable y dúctil que se puede desear, y el platino puro tiene las mismas propiedades. Pero el platino iridiado es mucho más duro: el límite de la elasticidad es tal que aún después de choques violentos toma la materia su primitiva disposición, siempre que estos choques se repartan sobre una superficie de cierta extensión. En otros términos: el platino puro se deformaría profundamente cuando la materia más elástica de todas las que conocemos, el platino iridiado, no sufriría ninguna modificación.
- 3º. El precio de las dos materias es el mismo.
- 4º. El empleo del platino iridiado en la construcción del metro hará conocer para esta materia y de una manera muy rigurosa, ciertos datos físicos que no será inútil poseer para la materia del kilogramo y recíprocamente. La unidad de composición de estos dos tipos, aunque no es necesaria en principio, puede presentar más adelante algunas ventajas que es prudente prever desde hoy mismo; la diversidad de su composición no puede realizar ninguna circunstancia favorable.

Conclusiones

1. La materia del kilogramo internacional será la misma que la del metro, es decir, una aleación de platino e iridio que contenga el diez por ciento de este último metal, con una tolerancia del dos por ciento en más o en menos.
2. La materia del kilogramo se fundirá en un solo cilindro que se someterá enseguida a los caldeos y operaciones mecánicas capaces de dar a su masa toda la homogeneidad necesaria.
3. La forma del kilogramo internacional será la misma que la del de los Archivos de Francia, es decir, un cilindro cuya altura sea igual al diámetro y cuyas aristas estén ligeramente redondeadas.
4. Que se construyan kilogramos de cuarzo para los Estados que los pidan.

Después de una extensa discusión en que tomaron parte los Sres. Wild, Baron Wrede, Foerster, Stas, Chisholm, Deville, Jolly, Tresca, Govi, y Herr, acerca de la selección entre el platino iridiado y el cuarzo para los kilogramos tipos, y de las ventajas e inconvenientes que presentaría la construcción del kilogramo de cuarzo además de los tipos, de platino iridiado, se pusieron separadamente a votación las cuatro conclusiones, resultando aprobada la primera por treinta votos contra dos: los de los Sres. Herr y Wild. La segunda y tercera por unanimidad y la cuarta fue suprimida también por unanimidad.

Cuestión 23 del Programa

El problema que hay que resolver consiste en determinar el método más conveniente para comparar los nuevos kilogramos y hallar su valor con la mayor precisión. Esta cuestión se divide en cuatro partes:

- 1ª. Balanzas e instrumentos para pesar.
- 2ª. Determinación del volumen de los kilogramos.
- 3ª. Determinación de su peso en el vacío con relación al del kilogramo de los Archivos.
- 4ª. Detalles acerca de la manera de operar.

Es evidente que para las operaciones se debe hacer uso de varias balanzas de la mejor construcción, que puedan dar los resultados más satisfactorios.

El Conservatorio de Artes y Oficios posee, entre otras, tres balanzas a propósito para este objeto:

- Balanza de Deleuil²⁸ que acusa 1 miligramo.
- Balanza de Bianchi²⁹ que acusa ½ miligramo.
- Balanza³⁰ en el vacío, de Deleuil.

Además el Sr. Miller, que ha sido invitado por la Subcomisión para ayudarles con su experiencia acerca de la balanza, ha propuesto que la de Barrow usada por él, para el peso de los tipos ingleses y franceses se ponga a la disposición de la Comisión internacional.

El Sr. Herr, que posee una balanza de excelente construcción, procedente de los talleres del Doctor Steinheil, y el Sr. Jolly han prometido poner sus balanzas a la disposición del Comité de ejecución. Según éste lo considere conveniente hará uso de otras balanzas que mande construir de tal suerte que se puedan obtener los resultados más satisfactorios.

Para determinar el volumen de los kilogramos, el método hidrostático es el más exacto y se debe recurrir a él siempre que sea posible. Pero se presentan graves objeciones a la inmersión en el agua del kilogramo de los Archivos, antes de terminar las operaciones, a causa de la porosidad que tiene tal vez el metal en algunos de sus puntos. Por otra parte su volumen es suficientemente conocido. El Conservatorio de Artes y Oficios posee un comparador de Gambey del que se ha hecho uso para medir el volumen del prototipo. El valor medio de las determinaciones hechas por Olufsen en 1834, por Gambey en 1837 y por Steinheil en 1845, se cita en la memoria del Sr. Miller sobre la construcción de la libra tipo inglesa, siendo el volumen del prototipo, a cero grados centígrados, igual a 48,665 cc. Más tarde el volumen del prototipo ha sido determinado por la Comisión de que en 1860 formaban parte los Sres. Brix, Le Verrier, Morin y Regnault, habiendo hallado el valor 48,6724 cc. En 1864 ha sido valuado en 48,7544 cc por la Comisión del Ministerio de Agricultura y de Comercio.

La manera de determinar en el vacío el peso de los nuevos kilogramos con relación al del kilogramo de los Archivos, ha sido objeto de una discusión muy detenida.

Nuestro colega el Sr. Stas ha propuesto que se construyan como testigos dos kilogramos de platino, en lo posible del mismo volumen y del mismo peso que el de los Archivos, determinando con la mayor precisión sus ecuaciones con relación a éste y entre sí; que el volumen de estos dos testigos se determine por el método hidrostático y que los nuevos kilogramos se comparen, en el aire y en el vacío, con uno de estos testigos y entre sí, reservando el otro para comprobar los resultados de estas comparaciones.

Esta proposición, aceptada por unanimidad en la Subcomisión, se halla grandemente facilitada por la circunstancia de que el Conservatorio de Artes y Oficios posee ya dos kilogramos de platino que se construyeron con el mismo objeto en 1863. El volumen del kilogramo número 1, determinado con el comparador de Gambey, es igual a 48,6729 cc y su peso resultó mayor que el del kilogramo de los Archivos en el vacío, siendo de 0,72 mg la diferencia, según el acta del 16 de Abril del 1864.

Queda sin embargo sentado que las últimas comparaciones de cada uno de los nuevos kilogramos se deben hacer en el aire directamente con el de los Archivos, puesto que no conviene colocar este prototipo en el vacío antes de haber terminado todas las operaciones. Después de haber elegido uno de los nuevos tipos para kilogramo internacional, el valor de todos los demás se determinará y hará constar por su ecuación con él.

Respecto al procedimiento que convenga emplear para pesar, ha habido en la Subcomisión partidarios de los dos métodos, uno llamado de sustitución con contrapeso, conocido con el nombre de Borda y empleado siempre en Francia y el otro llamado de alternación o de Gauss³¹, cambiando los tipos de uno al otro lado de la balanza, usado en Inglaterra, excepto para pesar hidrostáticamente. Se deberán emplear ambos y juzgar después por los resultados que se obtengan. En el primer caso, el contrapeso debe ser de la misma materia que el kilogramo que se compare y, en lo posible del mismo volumen.

Conclusiones

1. Las balanzas que deben servir son no solamente las que podrían facilitar los establecimientos y personas que las poseen, sino además una nueva balanza construida según las condiciones de la mayor precisión.
2. Los volúmenes de todos los kilogramos se determinarán por el método hidrostático; pero el kilogramo de los Archivos de Francia no se sumergirá en el agua ni se colocará en el vacío antes de terminar las operaciones.
3. Para determinar en el vacío el peso de los nuevos kilogramos con relación al de los Archivos de Francia, se hará uso de dos kilogramos auxiliares, si es posible del mismo peso y del mismo volumen que el de los Archivos, siguiendo el método indicado por el Sr. Stas. Cada uno de los nuevos kilogramos se comparará también en el aire al kilogramo de los Archivos.
4. Construido que sea el kilogramo internacional se compararán a él todos los demás en el aire y en el vacío para determinar sus respectivas ecuaciones.
5. Con este objetivo se emplearán los métodos de la alternación y de la sustitución con contrapeso de la misma materia.
6. Las ecuaciones relativas a las pérdidas de peso en el aire se efectuarán con los datos científicos más precisos y mejor discutidos.

Abierta discusión sobre todas y cada una de las conclusiones y después de algunas ligeras observaciones del Sr. Wild contestadas por los Sres. Chisholm y Broch fueron aprobadas por unanimidad las dos primeras proposiciones; la tercera por todos los votos menos uno y las tres últimas por unanimidad.

Conservación de los tipos y garantías de su invariabilidad

La Subcomisión se ha reunido varias veces y ha examinado parte de las cuestiones cuyo estudio se le había recomendado. Son de un orden tal estas cuestiones que la mayor parte no podían obtener solución definitiva sin una discusión muy profunda que hubiera además necesitado el apoyo de expe-

riencias especiales y sobre todo el conocimiento de ciertos datos físicos y mecánicos que no se obtendrán con certeza sino en las operaciones de la construcción, del estudio de las dilataciones, del de los efectos producidos por las vibraciones y de otras circunstancias imposibles tal vez de prever.

En esta situación, ha opinado la Subcomisión que, estableciendo como principio que ningún medio de conservación o de garantía de invariabilidad de los tipos se dejaría de emplear para asegurar a los trabajos todo su valor en el porvenir, conviene reservar toda decisión definitiva hasta otra reunión general, cuando se hayan de sancionar los diversos resultados y los tipos que han de conducir a la más completa uniformidad de las medidas métricas.

La Subcomisión ha examinado varias proposiciones de nuestro colega el Sr. Hirsch relativas a la oscilación del péndulo y a la medición de varias bases de comprobación bien elegidas, pero, de acuerdo con dicho Sr., se han reservado estas cuestiones para más adelante limitándonos a proponer tan sólo lo que se refiere a la construcción misma o los medios que se nos han presentado, sea con carácter de evidencia o bien bajo la forma de experimentos que conviene hacer. La Subcomisión presenta por lo tanto, con intención deliberada, una relación un poco vaga pero útil y en el actual estado de las cosas.

Conclusión

La Comisión es de dictamen que el tipo internacional deberá estar acompañado de cuatro reglas idénticas conservadas como él a una temperatura lo menos variable que sea posible; otra regla idéntica se deberá conservar como experimento a temperatura invariable y en el vacío; habrá lugar de establecer testigos de cuarzo y de berilo, comparables en todo tiempo a la regla entera en totalidad o por fracciones. Estos medios principales de comprobación y de conservación, recomendados desde este momento, no son todos los que se deben emplear; la Comisión podrá decidir mejor acerca de esto, cuando los tipos estén terminados y sancionados por ella, porque entonces habrá sido posible recoger datos más precisos sobre las condiciones practicables en las cuales sería de desear que los tipos se conservasen en cada uno de los países interesados, de suerte que tuviesen siempre toda su autoridad en el porvenir.

Después de ligeras observaciones, la Comisión aprobó por unanimidad lo propuesto por la Subcomisión.

Además de las treinta y cinco cuestiones sometidas al estudio preliminar de las diferentes Subcomisiones, la Comisión general tomó directamente cinco acuerdos que completan el número de cuarenta agrupados a continuación según las diferentes materias a que se refieren:

1. Considerando que la Comisión internacional del metro está llamada a indicar las disposiciones encaminadas a dar al sistema métrico de pesas y medidas un carácter verdaderamente internacional; que no se puede obtener la unidad de peso y de medida de una manera rigurosa y satisfactoria para las necesidades de las ciencias y de las artes sino con la condición de que todos los países que hayan adoptado el sistema métrico posean tipos de igual valor y de construcción idéntica perfectamente comparables y rigurosamente comparados: la Comisión internacional del metro decide que construirá tantos tipos idénticos del metro y del kilogramo cuantos reclamen los Estados interesados; que la Comisión debe comparar todos estos tipos y establecer sus ecuaciones con toda la exactitud posible; que se escogerá uno de estos metros y uno de estos kilogramos para prototipos internacionales, con relación a los cuales se expresarán las ecuaciones de todos los demás; y finalmente, que los otros tipos, así ejecutados, se distribuirán indistintamente entre los diferentes Estados interesados.
2. Para la ejecución del metro internacional se toma como punto de partida el metro de los Archivos de Francia en su estado actual.
3. La Comisión declara que en vista del estado actual de la regla de platino depositada en los Archivos de Francia, le parece que el nuevo metro internacional terminado por trazos puede deducirse de ella con seguridad. Esta opinión es necesario que se confirme por los resultados de los diferentes procedimientos de comparación que se puedan emplear en este trabajo.
4. La ecuación del metro internacional se deducirá de la longitud actual del metro de los Archivos de Francia, determinada por medio de todas las comparaciones que se efectúen por los diferentes procedimientos que la Comisión internacional del Metro esté en estado de emplear.
5. Si bien se decide que el nuevo metro internacional debe estar terminado por trazos y que todos los países recibirán copias idénticas construidas

al mismo tiempo que el prototipo, la Comisión deberá construir después un cierto número de tipos terminados por cantos para las naciones que los hayan pedido; y las ecuaciones de estos metros con relación al nuevo prototipo terminado por trazos se determinarán igualmente por la Comisión internacional.

6. El metro internacional tendrá la longitud del metro a cero grados del termómetro centígrado.
7. Para la fabricación de los metros se empleará una aleación de noventa partes de platino y diez de iridio con una tolerancia de dos por ciento en más o en menos.
8. Con el lingote que provenga de una sola fusión y por medio de los procedimientos usados en la fabricación de los metales, se construirán reglas cuyo número determinará la Comisión internacional.
9. Estas reglas se recocerán durante varios días a la temperatura más elevada para que después no tengan que sufrir más que pequeñas acciones mecánicas.
10. Las barras de platino iridiado sobre las cuales se deben grabar los metros terminados por trazos tendrán una longitud de 102 centímetros y su sección transversal afectará aproximadamente la forma de una X cuyas jambas se hallan reunidas por una regla horizontal, (véase la figura que aparece en la nota 20) presentando así a la vista su plano neutral a los efectos de la curvatura que se podría producir sea por la flexión, sea por las diferencias momentáneas de temperatura entre las superficies inferior y superior. Sobre este plano se han de grabar los trazos.
11. Las barras destinadas a la construcción de los metros terminados por cantos tendrán una sección transversal análoga pero simétrica en el sentido vertical, las extremidades se trabajarán en forma esférica de un metro de radio.
12. Durante todas las operaciones que se deberán llevar a cabo con los metros tipos, se apoyarán estos, según el sistema de Bessel, sobre dos cilindros giratorios; pero para su conservación se colocarán en estuches convenientemente dispuestos.

13. Cada uno de los metros internacionales irá acompañado de dos termómetros de mercurio, aislados y cuidadosamente comparados con el termómetro de aire. Se juzga indispensable que estos termómetros se comparen varias veces en el transcurso de los tiempos al termómetro de aire, para tener en cuenta su variabilidad.
14. Para determinar el coeficiente de dilatación del platino iridiado que se ha de emplear en la construcción de los metros se hará uso del procedimiento del Sr. Fizeau.
15. Se someterán los tipos a los mejores procedimientos por medio de los cuales se puedan determinar los coeficientes de la dilatación absoluta de los metros enteros. Estas experiencias se harán separadamente, por lo menos a cinco temperaturas diferentes comprendidas entre cero y cuarenta grados.
16. La comparación relativa de los tipos se deberá ejecutar por lo menos a tres temperaturas comprendidas entre estos mismos límites.
17. La Comisión decide que se construyan dos aparatos, uno de movimiento longitudinal para el trazado de los metros, y el otro de movimiento transversal para su comparación.
18. Las comparaciones se efectuarán sumergiendo los nuevos tipos en un líquido y en el aire, pero sin sumergir el metro de los Archivos de Francia en ningún líquido antes de terminar las operaciones.
19. El trazado de los metros terminados por trazos y su primera comparación con el metro de los Archivos de Francia se llevarán a cabo, en primer lugar, por el procedimiento propuesto por el Sr. Fizeau³² que consiste en observar al mismo tiempo y en cada extremo del metro una punta muy fina colocada a la proximidad del canto y la imagen de la misma punta reflejada por éste.
20. Para la determinación de las ecuaciones de los diferentes tipos se emplearán además todos los medios de comparación ya conocidos, es decir, según los casos, bien sean palpadores de diferentes formas, bien el método de los Sres. Airy y Struve, bien el de los Sres. Stamkart y Steinheil.

21. Las ecuaciones entre el metro de los Archivos de Francia y el metro internacional terminado por trazos, así como las ecuaciones entre los otros tipos y el metro internacional, se determinarán por la discusión de los resultados de todas estas observaciones.
22. Las operaciones se harán a la inversa, partiendo del metro internacional para la construcción de los tipos terminados por cantos que pidan las diferentes naciones.
23. Considerando que la sencilla relación establecida por los autores del sistema métrico entre las unidades de peso y de volumen está representada por el kilogramo actual de una manera suficientemente exacta para los usos de la industria y del comercio, y aun para la mayor parte de los usos ordinarios de la ciencia; considerando que las ciencias exactas no tienen la misma necesidad de una relación numéricamente sencilla sino de una determinación tan perfecta como sea posible de esta relación; considerando por último las dificultades que traería consigo un cambio de la unidad actual de peso métrico, se decide que el kilogramo internacional se deducirá del de los Archivos de Francia en el estado en que hoy se encuentra.
24. El kilogramo internacional se ha de referir al peso hecho en el vacío.
25. La materia del kilogramo internacional será la misma que la del metro, es decir, una aleación de platino e iridio que contenga el diez por ciento de este último metal, con una tolerancia de un dos por ciento en más o en menos.
26. La materia del kilogramo se fundirá en un solo cilindro que se someterá enseguida a los caldeos y operaciones mecánicas capaces de dar a su masa toda la homogeneidad necesaria.
27. La forma del kilogramo internacional será la misma que la del de los Archivos de Francia, es decir un cilindro cuya altura sea igual al diámetro y cuyas aristas estén ligeramente redondeadas.
28. La determinación del peso del decímetro cúbico de agua se debe hacer por la Comisión internacional.

29. Las balanzas que deben servir son, no solamente las que podrían facilitar los establecimientos y personas que las poseen, sino además una nueva balanza construida según las condiciones de la mayor precisión.
30. Los volúmenes de todos los kilogramos se determinarán por el método hidrostático, pero el kilogramo de los Archivos de Francia no se sumergirá en el agua ni se colocará en el vacío antes de terminar las operaciones.
31. Para determinar en el vacío el peso de los nuevos kilogramos con relación al de los Archivos de Francia, se hará uso de dos kilogramos auxiliares, si es posible del mismo peso y del mismo volumen que el de los Archivos, siguiendo el método indicado por el Sr. Stas. Cada uno de los nuevos kilogramos se comparará también en el aire al kilogramo de los Archivos.
32. Construido que sea el kilogramo internacional se compararán a él todos los demás en el aire y en el vacío para determinar sus respectivas ecuaciones.
33. Con este objeto se emplearán los métodos de la alternación y de la sustitución, con contrapeso de la misma materia.
34. Las correcciones relativas a las pérdidas de peso en el aire se efectuarán con los datos científicos más precisos y mejor discutidos.
35. La construcción de los nuevos prototipos del metro y del kilogramo, el trazado de los metros, la comparación de los nuevos prototipos con los de los Archivos de Francia, así como la construcción de los aparatos auxiliares necesarios para estas operaciones, se confían a la Sección francesa de la Comisión internacional, con el consenso del Comité permanente de que se hace mención en el artículo siguiente.
36. La Comisión elige en su seno un Comité permanente que debe funcionar hasta la próxima reunión de la Comisión, con la organización y las atribuciones siguientes:
 - a) El Comité permanente se compondrá de doce individuos que pertenezcan todos a naciones diferentes; para que sus deliberaciones

- sean válidas es necesario, por lo menos, la presencia de cinco de sus individuos; elige su Presidente y su Secretario; se reúne siempre que lo juzgue necesario y por lo menos una vez al año.
- b) El Comité dirige y vigila la ejecución de las decisiones de la Comisión internacional relativamente a la comparación de los nuevos tipos métricos entre sí, así como la construcción de los comparadores, balanzas y otros aparatos auxiliares que hayan de servir para estas operaciones.
 - c) El Comité permanente ejecutará los trabajos indicados en el párrafo b) que precede con todos los medios que tenga a su disposición; para estos trabajos recurrirá a la Oficina internacional de pesas y medidas cuya fundación se recomendará a las naciones interesadas.
 - d) Cuando los nuevos tipos estén construidos y comparados, el Comité permanente dará cuenta de todos los trabajos a la Comisión internacional, la cual sancionará los tipos antes de distribuirlos a las diferentes naciones.
37. La Comisión internacional llama la atención de los gobiernos interesados, acerca de la gran utilidad que reportaría la fundación en París de una Oficina internacional de pesas y medidas bajo las bases siguientes:
- 1ª. El Establecimiento será internacional y se le declarará neutral.
 - 2ª. Se establecerá en París.
 - 3ª. Su fundación y entretenimiento se harán con cargo a todas las naciones que se adhieran al tratado que se ha de llevar a cabo entre los Estados interesados, para la creación de la Oficina
 - 4ª. El Establecimiento dependerá de la Comisión internacional del metro y quedará bajo la vigilancia del Comité permanente, el cual designará al Director.
 - 5ª. La Oficina internacional tendrá las atribuciones siguientes:
 - a) Estará a la disposición del Comité permanente para las comparaciones que han de servir de base a la comprobación de los nuevos tipos, de la cual se halla encargado el Comité.

- b) La conservación de los prototipos internacionales según las prescripciones de la Comisión.
 - c) Las comparaciones periódicas de los prototipos internacionales con los tipos nacionales y con los testigos que después se mencionarán, así como las de los termómetros tipos según las reglas establecidas por la Comisión.
 - d) La construcción y la comprobación de los tipos que otros países puedan pedir en lo sucesivo.
 - e) La comparación de los nuevos prototipos métricos con los otros tipos fundamentales empleados en los diferentes países y en los trabajos científicos.
 - f) La comparación de los tipos y escalas de precisión que se le envíen, sea por los gobiernos, sea por corporaciones científicas, sea por artistas o por hombres de ciencia.
 - g) La Oficina ejecutará todos los trabajos que la Comisión o su Comité permanente le pida en interés de la metrología y de la propagación del sistema métrico.
38. La mesa de la Comisión internacional queda encargada de dirigirse al Gobierno francés para que se sirva comunicar por la vía diplomática a los Gobiernos de todos los países representados en la Comisión el ruego de ésta, relativo a la fundación de una Oficina internacional de pesas y medidas y para que invite a los mencionados gobiernos a que hagan un tratado para crear, de común acuerdo, y lo más pronto posible, el referido Establecimiento científico, bajo las bases propuestas por la Comisión.
39. La Comisión es de dictamen que el tipo internacional deberá estar acompañado de cuatro reglas idénticas conservadas como él a una temperatura lo menos variable que sea posible, otra regla idéntica se deberá conservar como experimento a temperatura invariable y en el vacío; habrá lugar de establecer testigos de cuarzo y de berilo, comparables en todo tiempo a la regla entera, en totalidad o por fracciones. Estos medios principales de comprobación y de conservación, recomenda-

dos desde este momento, no son todos los que se deben emplear; la Comisión podrá decidir mejor acerca de esto cuando los tipos estén terminados y sancionados por ella, porque entonces habrá sido posible recoger datos más precisos sobre las condiciones practicables en las cuales sería de desear que los tipos se conservasen en cada uno de los países interesados, de suerte que tuviesen siempre toda su autoridad en el porvenir.

40. La Comisión ruega al Gobierno francés que, en interés de la ciencia geodésica, mande medir de nuevo, en tiempo oportuno, una de las antiguas bases francesas.
41. En la duodécima y última sesión, procedió la Comisión a elegir, en votación secreta, su Comité permanente; resultando elegidos, por el orden del número de votos obtenidos, los delegados cuyos nombres aparecen a continuación:

Por unanimidad	
Señores	
Foerster	Director del Observatorio de Berlín; Delegado de Alemania
Ibáñez	Brigadier; Director del Instituto geográfico; Delegado de España.
Por mayoría absoluta	
Bosscha	Inspector de Instrucción pública; Delegado de los Países Bajos
Herr	Profesor de Geodesia y Astronomía; Delegado de Austria
Wild	Director del Observatorio físico de San Petersburgo; Delegado de Rusia
Baron Wrede	Teniente general; Delegado de Suecia
Hilgard	Inspector de pesas y medidas; Delegado de los Estados Unidos
Morin	Teniente General: Delegado de Francia
Chisholm	Conservador de los prototipos; Delegado de Inglaterra
Broch	Catedrático de la Universidad de Cristianía; Delegado de Noruega

Por mayoría absoluta

Stas	Individuo de la Real Academia; Delegado de Bélgica
Husny-Bey	Jefe perteneciente al cuerpo de Estado Mayor; Delegado de Turquía

Suspendida la sesión para que se constituyese el Comité permanente, se abrió de nuevo una hora después y el Sr Bosscha manifestó que el Comité se había constituido habiendo elegido Presidente al Brigadier Ibañez y Secretario al Sr. Bosscha; que se había ya ocupado en algunos asuntos de los más urgentes y que continuaría sus trabajos con arreglo a las bases sentadas por la Comisión internacional del metro.

Madrid 31 de Octubre de 1872

El Director del Instituto, Delegado del Gobierno Cárlos Ibañez

Notas y comentarios técnicos

- 1 Este informe fue publicado y difundido entre las instituciones científicas españolas entre 1872 y 1874 bajo el título de Resumen de los trabajos de la Comisión Internacional del Metro, y un extracto del mismo fue leído por Ibáñez en la sesión de la Academia de Ciencias de 21 de octubre de 1872.
- 2 La Comisión Internacional del Metro se reunió por primera vez en París entre el 8 y 13 de agosto de 1870. La situación de guerra en Europa obligaría a suspender las sesiones hasta septiembre de 1872, en el Conservatoire des Arts et Metiers, París.

Fuente: CEM. Legajos Asociación Geodésica Internacional y Comisión Internacional del Metro. Doc 14: Oficio de Carlos Ibáñez al Director General de Estadística del 3 de julio de 1872.

- 3 El general Ibáñez Ibero se refería a sí mismo como brigadier. El empleo de brigadier, no se correspondía con el empleo de general, siendo un grado intermedio entre coronel y mariscal de campo. No obstante, tras una serie de vicisitudes en el año 1871 se confirma a los brigadieres en la categoría de oficiales generales y en el año 1889 por Ley Adicional a la Constitutiva del Ejército se les reconoce como generales de brigada, que era el empleo que faltaba entre coronel y mariscal de campo, rebautizado este último como general de división en esa misma ley.

Ibáñez fue ascendido a coronel el 13 de septiembre de 1864, a brigadier el 10 de noviembre de 1871, y a mariscal de campo el 23 de enero de 1877. Las actuaciones de la Comisión Internacional del Metro tuvieron lugar del 24 de septiembre al 12 de octubre de 1872, cuando Ibáñez era brigadier pero aún no mariscal de campo y, por tanto, no era todavía general.

Fuente: El brigadier. Empleo atípico en el generalato español de los siglos XVIII y XIX. Francisco Ángel Cañete Páez.

- 4 Julius Erasmus Hilgard.
- 5 Metro “des archives” fabricado por Etienne Lenoir. Kilogramo “des Archives” fabricado por Nicolas Fortin. El 6 de junio de 1799, se

construyen en platino los primeros prototipos definitivos del metro (mètre des Archives) y kilogramo. La definición de metro fue elegida como la diezmillonésima parte de la longitud de un cuarto del meridiano terrestre que pasa por París y une Dunkerke con Barcelona. El metro de los archivos, representado por una barra era una “regla de extremos”; sus extremos planos y paralelos entre sí estaban pulidos “a espejo” para facilitar las operaciones de comparación, que se realizaban empleando instrumentos ópticos, con las otras barras métricas o con las que representaban submúltiplos.

El kilogramo tenía una masa igual a la masa de 1 dm³ de agua en su densidad máxima, aproximadamente a 4°. Los patrones del metro y del kilogramo, en platino, se depositaron en los Archivos Nacionales el 4 de Mesidor del año VII (22 de junio de 1799) en lo que se considera habitualmente como el acto fundacional del sistema métrico.

- 6 La primera de las cuestiones no es técnica, pero es fundamental, al definir las reglas del juego en las votaciones.
- 7 El platino forjado es casi tan blanco como la plata, brillante, muy dúctil y maleable, y su densidad es 21,53 g/cm³. Es infusible al fuego de forja, pero se funde con facilidad al soplete de gas; sin embargo, expuesto a la temperatura del rojo blanco se ablanda lo suficiente como para poderse forjar y soldar como el hierro. El oxígeno y el aire no ejercen acción sobre él a ninguna temperatura. La inalterabilidad e infusibilidad del platino lo hacen sumamente apreciable para la fabricación de instrumentos quirúrgicos y químicos, utilizándose también para hacer el oído de los cañones de fusil, y revestir la parte interior de las cazoletas.

Fuente: Programa de Física y Nociones de Química, D. Venancio González Valledor y D. Juan Chávarri, Madrid 1848, Biblioteca de la Univ. Complutense, Ref. X-53-319267-S.

- 8 Es a Antonio de Ulloa a quien se atribuye el “descubrimiento” del platino, y lo describe en el informe de la siguiente manera: “... en el partido del Choco habiendo muchas minas de lavadero, como las que se acaban de explicar, se encuentran también algunas, donde por estar

disfrazado y envuelto en oro por otros cuerpos metálicos, jugos y piedras, necesita para su beneficio el auxilio del azogue, y tal vez hallan minerales, donde la platina (piedra de tanta resistencia, que no es fácil romperla, ni desmenuzarla con la fuerza del golpe sobre el yunque de acero) es causa de que se abandonen, porque ni la calcinación la vence, ni arbitrio para extraer el metal que encierra, sino a expensas de mucho trabajo y costo” (Ulloa, 1748). El extraño mineral “platina” no despertó gran interés en su momento porque estaba unido al oro, que era el metalpreciado en el momento. Uno de los primeros experimentos para obtener platino fue desarrollado hacia 1750 por Charles Wood (1702-1774), quien encontró difícil la fusión del mineral, lo que generó el desarrollo de múltiples técnicas.

Fuente: El platino: contribuciones sociohistóricas y científicas desde el siglo xviii. Parte I. Andrea Aristizábal-Fúquen

- 9 Lenoir fabricó el primer comparador utilizado para la construcción del metro; más tarde, este aparato fue perfeccionado sucesivamente por Fortin y Gambey. Posteriormente, en 1851, Froment, ingeniero en instrumentos de precisión, fabricó uno diferente para satisfacer las condiciones que le impuso en su encargo el Gobierno español. Su construcción, más económica, mantuvo sin embargo la precisión buscada. Este comparador permitía comparar entre sí, a la milésima de milímetro más cercana, tanto los metros a trazos como los metros a cantos, y también, marcar sobre una regla, con una precisión de milésima de milímetro, la longitud exacta del metro, o longitudes más largas, de varios decímetros, o más cortas.

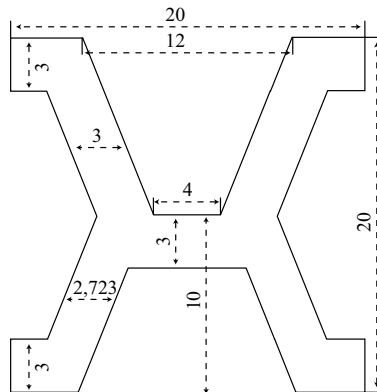
Fuente: Bulletin de la Societé d'encouragement pour l'industrie nationale, 50 Année, Paris, 1851, Biblioteca de la Univ. de California.

- 10 Es un robusto microscopio con un solo objetivo, que posee un estativo en herradura.
- 11 Camille Sebastien Nacet, 1799 – 1881, fue un óptico parisino de comienzos del siglo XIX. Empezó haciendo instrumentos ópticos con Chevalier pero posteriormente puso una pequeña oficina en “Rue Serpente 16, Paris”. Los primeros microscopios que hizo estaban basados

- en los modelos de tipo tambor (drum). Le sucedió su hijo Jean Alfred 1831-1908. Nachet fue incluido, junto con Chevalier y Oberhauser como los mejores fabricantes de microscopios de su época en París.
- 12 Ibáñez es consciente no sólo de la histéresis sino de otros fenómenos adicionales, tal vez desconocidos y, desde luego, imponderables.
 - 13 Antigua medida francesa de longitud, equivalente a 1,946 m.
 - 14 Jannetty está citado en “A treatise on chemistry de Roscoe, Henry E” por sus trabajos con el platino.
 - 15 Jean Charles Borda (1733 a 1799), matemático, ingeniero, físico, navegante, astrónomo, y político, colaboró con los astrónomos Méchain y Delambre en las campañas de medida del arco de meridiano entre Dunquerque y Barcelona que permitieron establecer el metro patrón.
 - 16 Dada la orografía, la medición del cuadrante de meridiano entre Dunquerque y Barcelona para la determinación del metro, no podía hacerse en línea recta sino por triangulación. El método consiste en construir una red de triángulos (115 en total) que cubran el Meridiano y que tengan dos a dos un lado común. Sus vértices son puntos visibles entre sí (campanarios, cimas de colinas,...). Es necesario medir la longitud de un lado del triángulo que descansa sobre un terreno relativamente horizontal. Las medidas de los ángulos del triángulo se establecen por observación para obtener mediante cálculos trigonométricos la longitud de todos los lados del triángulo y por proyección la distancia real.

Para la medición se utilizaron las reglas de Borda, desarrolladas por Etienne Lenoir, y compuestas por dos varillas unidas (una de bronce y otra de platino), a fin de calcular la variación de la longitud de la regla debido a la dilatación durante los cambios de temperatura. Las reglas se ajustaron a la toesa y medían 12 pies (aprox. 4 m). Para medir los ángulos, Delambre y Méchain usaron el Círculo Repetidor inventado por Borda y Lenoir. El principio del círculo repetidor es poder repetir tantas veces como se desee la misma medida sin volver a cero, de modo que el error disminuye con el número de lecturas, que a veces se repiten más de cien veces.

- 17 Instrumento de precisión para medir con exactitud pequeñas distancias verticales. Consiste en una barra vertical, montada rígidamente sobre un trípode, y un anteojo horizontal, colocado en un carro que puede deslizarse a lo largo de la barra por medio de una cremallera y un piñón. La diferencia de altura entre dos puntos se calcula mediante lecturas separadas de los dos niveles. El anteojo se eleva o se baja hasta que su retícula coincida sobre uno de los puntos que deben medirse y entonces se lee el nivel del anteojo en una escala vertical marcada sobre la barra empleando para la lectura un nonio o vernier (*véase Vernier, Pierre*) unido al carro. Para asegurarse de que la barra está exactamente vertical y el anteojo perfectamente horizontal se usan ciertos niveles de burbuja y unos tornillos reguladores. Un catetómetro puede usarse, por ejemplo, para determinar la diferencia de niveles del líquido en las dos ramas de un manómetro o en el calibrado de un barómetro. El barómetro que debe calibrarse se coloca en una cámara cerrada con un instrumento patrón y con el catetómetro se establecen los niveles del mercurio en ambos instrumentos para una serie de presiones producidas en la cámara. Así se determina por comparación la exactitud del aparato.
- 18 Jean Baptiste Joseph Delambre.
- 19 Johann Jacob Baeyer.
- 20 Sección del prototipo internacional y de los metros nacionales:



- 21 Los patrones a cantos se apoyan en los puntos de Airy (a 0,211 L de los extremos), con objeto de que sus caras extremas se mantengan paralelas, haciendo único el mensurando. Sin embargo los patrones a trazos se apoyan en los puntos de Bessel (a 0,22 L de los extremos), a fin de minimizar la flecha del patrón y mantenerlo enfocado durante la calibración, ya que ésta suele realizarse por métodos ópticos.
- 22 Dispositivo que mide la temperatura de un espacio cerrado por medio de variaciones en la presión o en el volumen de aire contenido en un bulbo colocado en el espacio. (*Real Academia de Ingeniería*). Este termómetro se refiere al termómetro de hidrógeno de volumen constante. A finales del siglo XIX, para la comparación de sus patrones de longitud, el Bureau Internacional de Pesas y Medidas tenía necesidad de una escala de temperatura. Durante varios años, el trabajo de Chappuis sobre este problema y sus investigaciones finalizaron en 1887 con la adopción por parte del Comité Internacional de Pesas y Medidas, como escala termométrica normal, para el Servicio Internacional de Pesas y Medidas, de la escala centígrada del termómetro de hidrógeno de volumen constante, que tenía como puntos fijos la temperatura del punto del hielo fundente (0°) y la del agua destilada en ebullición (100°) a la presión atmosférica normal, con el hidrógeno a una presión inicial de 1 000 mmHg, es decir a una fracción de $1\ 000/760 = 1,3158$ de la presión atmosférica normal. Esta escala estaba muy bien definida, se especificaba el gas, la presión de llenado y el modo de dilatación, sin embargo era arbitraria, aunque basada en las variaciones de presión del gas más perfecto conocido en la época, con lo que se esperaba que sus indicaciones estuvieran muy próximas a la temperatura termodinámica (absoluta). Pronto, los trabajos de Berthelot permitieron reducir la medida de la temperatura termodinámica al uso del termómetro de gas utilizando unas curvas de corrección. Esta primera escala tenía algunos inconvenientes, estaba limitada al intervalo de 0° a 100° y su transferencia era difícil, se trabajaba con la ayuda de termómetros de mercurio que se comparaban directamente con el termómetro de gas, pero, a pesar de la maestría con la que estaban fabricados por artesanos como Tonnelot y

Baudin, definían individualmente escalas algo diferentes. Esta escala fue legalizada en Francia mediante la ley de 2 de abril de 1919 y completada por el decreto de 20 de junio de 1919; se definía como unidad principal el grado centígrado (no centesimal para evitar confusiones con la unidad de ángulo). Esta escala fue el origen de las posteriores escalas termométricas que han servido para la realización y diseminación de la unidad de temperatura.

- 23 En la Colección Permanente de Pesas y Medidas del Centro Español de Metrología se conservan cuatro termómetros de columna de mercurio con sus correspondientes certificados de calibración. Estos termómetros fueron construidos por Jules Tonnelot, un reputado fabricante de instrumentos meteorológicos de alta precisión.
- 24 El proceso de Jannetty, que es considerado el mejor, y que se utiliza para obtener platino maleable, es el siguiente: Triturar platino común con agua, para que el agua elimine cualquier contaminante que pueda contener. Mezclar el platino con alrededor de una quinta parte de ácido arsenioso y una quinceava parte de potasa poniendo todo en un crisol adecuado. Tras calentar bien el crisol y el horno que lo recibe, poner en él un tercio de la mezcla, aplicar fuerte calor y añadir un tercio más; después de aplicar más calor, añadir la última porción de la mezcla. Después de una fusión completa del conjunto, enfriar y romper la masa. Luego fundirla por segunda vez y, si es necesario, incluso una tercera vez, hasta que deje de ser magnético. Romper en trozos pequeños y derretirlos en crisoles separados, en porciones de una libra y media en cada crisol, con igual cantidad de ácido arsenioso y media libra de potasa. Después de enfriar el contenido de los diferentes crisoles en posición horizontal, con el fin de obtener el mismo grosor calentarlos en una mufla para volatilizar el ácido arsenioso, y mantenerlos en este estado, sin añadir calor, por espacio de seis horas. A continuación, calentarlos en aceite, hasta que éste se haya evaporado a sequedad, sumergirlos en ácido nítrico, hervirlos en agua, calentarlos hasta el rojo en un crisol, y martillearlos hasta obtener una masa densa. Ahora, calentar a fuego desnudo y martillear para darle forma de barra, de cara a su comercio.

Fuente: System of theoretical and practical chemistry, Volume II, Philadelphia 1808, Friedrich Christian Accum, Biblioteca de la Univ. de Michigan.

- 25 El método de pesada hidrostática (basado en el principio de Arquímedes: “Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado”, es el utilizado para realizar las mediciones de densidad de mayor exactitud, que consiste en medir alternadamente el empuje que sufre un sólido en aire y en un líquido mediante el uso de balanzas de alta exactitud. Con la relación entre los dos empujes es posible determinar la densidad del líquido (si la densidad del sólido es conocida) o la densidad del sólido (si la densidad del líquido es conocida).
- 26 Jean Baptiste Dumas.
- 27 Nitrógeno: metaloide gaseoso, incoloro, transparente, insípido e inodoro que constituye el 78 % del aire atmosférico, pero no sirve para la respiración ni la combustión. Es elemento fundamental en la composición de los seres vivos.
- 28 Louis-Joseph Deleuil fue uno de los más destacables constructores de instrumentos de precisión de su generación. Se destaca sobre todo en la fabricación de instrumentos de pesaje. Su obra maestra es una balanza de brazos iguales que permite cargar 5 kg en cada plato y tiene un escalón de 1 miligramo y que construye para el Conservatoire National des Arts et Métiers. A él se deben los modelos de balanzas analíticas a un precio módico que se utilizaron por los químicos de la época. También creó una fábrica para la producción de pesos y medidas en el Sistema Métrico Decimal para que se repartieran por toda Francia.

Fuente: Constructeurs d'instruments scientifiques pour les établissements publics au XIXe siècle.

- 29 Barthélémy-Urbain Bianchi fue un constructor de instrumentos francés, que fue alumno de Gambey y luego creó su propia empresa. Construyó entre otros una máquina de vacío, un anemómetro y un

instrumento para determinar la densidad de la pólvora. También creó sistemas de mejora de las balanzas de precisión. La empresa de Bianchi se asoció con la empresa de los hermanos Collot, que estaba especializada únicamente en la fabricación de balanzas de precisión. Esta asociación permitió en 1879 y 1880 la comparación de los primeros tres prototipos del kilogramo en platino-iridio con el kilogramo de los Archivos de Francia, en la sala Méridien del Observatorio de París. Ello se realizó mediante la utilización de un carrito para transportar masas sobre plataformas, es decir, mediante un sistema de control remoto sin pinzas.

- 30 Esta balanza de vacío partía de una balanza de 3 kg de alcance y 5 miligramos de resolución a la que se había incorporado una carcasa de hierro con ventanas para hacerle el vacío. La observación de la indicación se realizaba mediante un telescopio y el equilibrado del brazo se podía realizar mediante una palanca.

Fuente: Balances: Instruments, manufacturers, history. Erich Robens, Shanath Amarasiri A. Jayaweera, Susanne Kiefer.

- 31 Existen dos métodos de doble pesaje para la comparación de dos masas patrón. Un método, conocido como método de Borda, y generalmente utilizado en Francia, es el de sustitución, en el que primero se compara contra un contrapeso colocado en el otro plato (de la balanza) una de las masas a comparar y luego la otra. La diferencia entre los puntos medios en reposo de la aguja indicadora en estas dos pesadas muestra la diferencia de las dos masas en divisiones de escala. El segundo método, conocido como método de Gauss, pero que fue inventado por primera vez por el Padre Amiot, y ahora se usa generalmente en Inglaterra y Alemania excepto para pesajes hidrostáticos, es el de alternancia. Primero se comparan los dos masas una contra la otra (una en cada plato de la balanza), y luego se repiten las pesadas después de haber intercambiado las masas. Por este segundo método, no se requiere contrapeso, y la mitad de la diferencia entre los puntos medios en reposo de la aguja de índice muestra la diferencia entre las dos masas, en divisiones de escala.

Fuente: On the Science of Weighing and Measuring, and the Standards of Weight and Measure. H. W. CHISHOLM. Nature volume 9, pages 47–49.

- 32 Fizeau, contando franjas de interferencia, midió la dilatación del material entre dos temperaturas dadas.

Foreword

In November 2017, the Centro Español de Metrología (CEM) retrieved from its archives an original manuscript by General Don Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero. The manuscript in question is a report intended for his superiors, in which he describes the actions to be undertaken for the realization of the meter and the kilogram. The facsimile of the manuscript, preceded by a prologue and a biographical sketch of the General-Author, was published by CEM under the title “Summary of the Preparatory Work of the International Commission for the Realization of the International Prototypes and the Creation of the International Bureau of Weights and Measures. 1871-1872”.

The manuscript is legible, though not with the ease of a typewritten text. For this reason, the Metrology Committee of the Spanish Institute of Engineering (which was familiar with this edition) proposed to CEM to transcribe it. In this transcription, a series of notes have been included, which were deemed appropriate to better establish the temporal or scientific context, and it has been supplemented with a translation into English.

The Spanish Institute of Engineering undertook this work because it considers the General’s manuscript to be very interesting, not only for its historical value but also for its content. As can be appreciated from a careful reading of its pages, the work described by the General strives at all times to achieve scientific excellence. Both Engineering and Quality aim, as one of their main goals, to carry out projects that meet established requirements with the least possible monetary investment. In the field of Metrology, what is sought is more the excellence in the development and realization of new ideas, which is almost never compatible with low capital expenditure. Metrologists know that their work, if it does not achieve excellence, is of little value. Future generations will build upon these developments if they are valuable, and if they are not, the work will be in vain.

The work described by the General in the document has been extremely valuable. The standard meter (the famous platinum-iridium bar) remained in

effect for 71 years, from 1889 (when the prototypes intended for the signatory nations of the Convention were cast and distributed) until 1960 (when at the 11th General Conference on Weights and Measures, it was redefined as 1 650 763.73 times the wavelength of the radiation emitted by the quantum leap between the 2p₁₀ and 5d₅ energy levels of a krypton-86 atom). Today, this definition is obsolete.

As for the standard kilogram, that cylinder (also made of platinum-iridium) remained in effect for 130 years. The definition/realization was in force until the celebration of the 26th General Conference on Weights and Measures on November 16th, 2018, when the International System of Units was redefined in terms of universal constants.

It was initially mentioned that the manuscript is a report that the General submitted to his superiors. In this sense, issues that are now raised were unnecessary at the time of its preparation, as they were obvious. See, for example, note number 3 in relation to the now non-existent rank of Brigadier.

It is also worth noting how the author refers to the instruments used in the necessary experiments to arrive at the definition and realization of the standard meter. Their authors were well-known scientists of the time. Among these instruments is the “Ibáñez Rule,” which is preserved at the Royal Observatory of Madrid, on the Retiro mountain, near the Atocha roundabout.

It is the wish of both CEM and the Spanish Institute of Engineering that the reader enjoys a leisurely read of these pages and, as far as possible, that the notes added are useful. If this wish is fulfilled, it will be the best reward for the work that the members of the Metrology Committee carried out with enthusiasm.

Metrology Committee
Spanish Institute of Engineering

Prologue to the Special Edition for the 150th Anniversary of the BIPM

In 2025, the 150th Anniversary of the signing of the diplomatic treaty of the Metre Convention by representatives of seventeen nations, including Spain, is celebrated. This treaty established a permanent administrative and technical structure, the International Bureau of Weights and Measures (BIPM), so that member governments could act in concert on all matters related to units of measurement, specifically to ensure international unification and the improvement of the metric system, today known as the International System of Units (SI).

The signing of the Metre Convention and the creation of the BIPM represent a milestone in human history at all levels. It can be considered one of the earliest examples of large-scale international scientific collaboration and coordination, and it remains a singular example, as demonstrated by the revision of the International System of Units (SI) in 2018. The development experienced in the 20th century, as well as the process of globalization, would be unthinkable without the international coordination provided by the BIPM regarding the units of measurement.

In the processes leading up to the signing of the Metre Convention, a distinguished Spanish scientist was a key figure in its achievement: General D. Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero. His work and vision of a universal metrology coordinated among all nations played a crucial role in the creation of the International Bureau of Weights and Measures (BIPM).

On the occasion of the 150th Anniversary of the signing of the Metre Convention and the creation of the BIPM, the Centro Español de Metrología wishes to join in this celebration with a third edition of the manuscript by Ibáñez de Ibero, which details the preparatory work of the International Commission for the creation of the international prototypes and the establishment of the International Bureau of Weights and Measures (1871-1872) as the highest coordinating and driving body of the metric system. This edition will be in print for better understanding and translated into English for wider dissemination.

With this edition, we aim to revive the collective memory of that brief period in history when a harmonized system of units was forged, and the BIPM was established. We also seek to pay tribute to the scientists and person who made this possible, as well as to all those who, over the past century and a half, have worked and collaborated to ensure that measurement units adapt to the needs of society.

Today, in the 21st century, a century and a half after the signing of the Metre Convention, the initial project of the seventeen states that signed the Convention and founded the BIPM in 1875 remains valid. The BIPM's work over all these years has enabled us to have a common scientific language that has served as a catalyst for trade, international cooperation, technological development, and innovation.

In the words of Professor Philippe Taquet, former President of the French Academy of Sciences:

“The BIPM is an organisation that is a perfect and magnificent example of a work of peace. The BIPM symbolises in a unique manner what people are able to achieve when they pool their wills, their knowledge, their talents and their abilities”.

The 150th anniversary of the creation of the BIPM is a great opportunity for the metrological and scientific community to strengthen the bonds of international collaboration and continue advancing in the science of metrology, addressing the current challenges facing our society.

From these lines, we join in the recognition and appreciation of all the achievements accomplished over these 150 years and wish the BIPM much success in the years to come.

Tres Cantos, September 2024.

José Ángel Robles Carbonell

Director of Centro Español de Metrología

Biography

General Ibáñez e Ibáñez de Ibero, Marqués de Mulhacén

The General Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero (Barcelona, 1825 – Nice, 1891), Marquess of Mulhacén, was the leading Spanish promoter of Geodesy and the inventor of the “Ibáñez apparatus”, also known as the “Spanish rule”, designed to measure geodetic triangulation bases. Under his direction, this instrument was used to measure, among other things, the central base of the geodetic triangulation of Spain, specifically the Madrdejos base in Toledo, a task that required the proper definition and materialization of measurement unit systems.

As the founder and first president of the International Geodetic Association, he was also the first director of the National Geographic Institute, established in 1870, a position he held for nineteen years. During his tenure, he made significant contributions to the calculation, design, and observation of geodetic triangulation networks, precision levelling, topographic maps, and cadastre, as well as bearing the important responsibility of determining and preserving the international standards of weights and measures, among his many other activities. He was also a member and vice-president of the Royal Academy of Exact, Physical, and Natural Sciences.

In the field of metrology, his work and his vision of a universal metrology, coordinated among all nations, played a crucial role in the creation of the International Bureau of Weights and Measures (BIPM) as a permanent laboratory to develop and maintain the international prototypes of measurement units. The Diplomatic Conference of the Meter entrusted him with the presidency of the newly created International Committee for Weights and Measures (1875 – 1892), where he carried out rigorous work in the design and manufacture of these international prototypes.

“... For a third of a century, Ibáñez de Ibero became the most prominent figure in the world during the heroic period of metrology, directing and organizing its significant international work with great competence and skill... He

was not just a specialist in Science, but a worker for universal civilization; a pioneer of scientific collaboration between nations for civilizing purposes; a determined champion of human solidarity... ”.

(Julio Pastor, 1925)



English translation of the manuscript

Summary of discussions of the International Metre Commission¹

The International Metre Commission, convened² in Paris for last September 24th, has finished its works of the present meeting on October 12th.

His Excellency the French Republic Minister of Agriculture and Commerce, when opening the first session, delivered a speech on the issue of the circumstances thanking the foreign wise men who have agreed to momentarily leave their jobs to deal with a matter of general interest, not only scientific but also very important from the industrial and commercial point of view. He expressed his satisfaction to point out that American nations were represented this time, and welcomed the presence of the delegates from several Governments who didn't take part on the 1870 meeting, due to several circumstances.

Twenty seven nations were represented by the delegates whose names and positions are listed below:

Germany	
Gentlemen	
Doctor Foerster	Professor and Director of the Berlin Observatory; Director of the Office of Weights and Measures.
De Jolly	Professor and Member of the Royal Academy of Munich.
Argentine Republic	
Mariano de Belcarce	Plenipotentiary Minister.
Austria	
Doctor J. Herr	Professor of Geodesy and Astronomy at the Polytechnic of Vienna; Director of Weights and Measures.
Doctor Von Lang	Member of the Academy of Science; Professor of Physics at the University of Vienna.

Belgium

H. Maus	Inspector General of Bridges and Roads; Member of the Royal Academy of Belgium.
Stas	Member of the Royal Academy of Belgium.
Heusschen	Former Professor of Artillery at the Military School in Brussels.

Colombia

Torres Caicedo	Former Minister of the United States of Colombia in Paris.
----------------	--

Chile

C. Gay	Member of the Academy des Sciences, Paris.
--------	--

Denmark

Holten	Professor of Physics at the University of Copenhagen.
--------	---

Ecuador

Aguirre y Montúfar	Former President of the Senate.
--------------------	---------------------------------

Spain

Ibáñez	Brigadier ³ of the Army; Director of the Spanish National Geographical Institute; Member of the Spanish Academy of Science
--------	---

United States

J. E. Hilgard ⁴	Inspector of Weights and Measures at Washington; Member of the National Academy of Science.
----------------------------	---

France

L. Mathieu	Member of the Academy of Science
Morin	Lieutenant-General; Member of the Academy of Science; Director of the Conservatory for Arts and Industries.
Le Verrier	Member of the Academy of Science and of the Bureau of Longitudes.
Faye	Member of the Academy of Science and of the Bureau of Longitudes.
Fizeau	Member of the Academy of Science
H.Saint Claire	Member of the Academy of Science

 France

Deville	Professor at the École Normale Supérieure
Jarras	Lieutenant-General; Former Director of the geodesic studies
E. Becquerel	Member of the Academy of Science; Professor of Physics at the Conservatory for Arts and Industries
E. Peligot	Member of the Academy of Science; Professor of Chemistry at the Conservatory for Arts and Industries.
H. Tresca	Member of the Academy of Science; Professor of Mechanics at the Conservatory for Arts and Industries

 Greece

Souzo	Secretary of the Hellenic Delegation in Paris
-------	---

 Hungary

E de Krusper	Professor of Geodesy at the Polytechnic University of Pesth.
C. de Szily	Professor of Physics at the Polytechnic University of Pesth.

 England

W. H. Miller	Fellow of the Royal Society; Professor of Mineralogy at Cambridge.
Chisholm	Warden of Standards in London.

 Italy

Marqués J. Ricci	Lieutenant-General; Former Director of the geodesic studies.
Chisholm	Professor of Physics at the University of Turin.

 Norway

Broch	Professor of Mathematics at the University of Cristiana
-------	---

 Netherland

Stamkart	Professor at the Polytechnic of Delft; Member of the Academy of Science.
Bosscha	Inspector of Secondary Education at The Hague; Member of the Academy of Science.

Peru

Doctor E. Bonifaz Chargé d'Affaires of Peru in Paris.

Portugal

Morin Lieutenant-General; Member of the Academy of Science; Director of the Conservatory of Arts and Industries in France

Russia

De Jacobi Private Counselor; Member of the Academy of Science.

Otto Struve Director of the Pulkova Observatory; Member of the Imperial Academy of Science.

H. Wild Director of the Physical Observatory at Saint Petesburg; Member of the Imperial Academy of Science

San Salvador

Torres Caicedo Plenipotentiary Minister of the Republic of San Salvador in Paris.

Holy See

Reverendo P. Secchi Director of the Vatican Observatory.

Sweden

Baron Wrede Lieutenant-General; Member of the Stockholm Academy of Science

Switzerland

Doctor A. Hirsch Director of the Observatory of Neuchâtel

Turkey

H. Husny Bey Military Attaché, Ottoman Embassy in Paris.

Uruguay

D. Mateo Margarinos Chargé d'Affaires of the Republic of Uruguay in Paris.
Cervantes

Venezuela

Doctor Eliseo Acosta

The following programme of work has been drawn up by the International Metre Commission and by the Committee for Preparatory Research:

1. For the international metre, the starting point should be the metre of the Archives⁵ in the state it is now.
2. The metre of the Archives should not be used in any comparison until it is time for the definitive comparisons.
3. The definitive comparisons should be made using vertical cylindrical probes similar to those used originally by Lenoir, then with modern probes and possibly then using any other method thought appropriate; reserving the use of other means according to circumstances.
4. Before the comparisons, the details of the end surfaces should be examined by optical means but no mechanical contacts made, till the comparisons in article 3 have been completed.
5. After results of all this research, the Commission will decide on the length to be given to the international metre.
6. Should the international metre be a line or an edge standard?
7. From what material should it be constructed?
8. What shape should the international metre have?
9. Should the international metre be accompanied by special thermometers?
10. How should the international metre be supported so as to maintain it as far as possible invariable?
11. At what temperature should the international metre equalize the length of the metre of the Archives?
12. Thermal expansion.
13. The comparators.
14. The Commission should recommend to the French government that, for the interest of the Geodetic Science, one of the original geodetic bases be remeasured.

15. Before the end of the operations of the Commission, the usefulness of the creation of an International Bureau of Weights and Measures in Paris, whose costs are supported by contributions of interested States, under the direction of a permanent Committee itself under the oversight of the International Metre Commission in its periodic meetings.
16. Should the international kilogram be made equal to the kilogram of the Archives in its present state or should a new one be made starting from a theoretical definition?
17. In any case, it is necessary to determine as accurately as possible the weight of a cubic decimetre of distilled water.
18. From what material should the international kilogram be made?
19. What shape should the international kilogram have?
20. Should the international kilogram be assigned a weight in vacuum or in air under specified conditions?
21. The stability of its weight should be studied as a function of its surroundings.
22. Specific weight and thermal expansion.
23. Balances and instrumentation.

The International Commission distributes the tasks in twelve Subcommittees as follows⁶:

To propose the voting procedures:

Mr. Foerster
Mr. Govi
Mr. Hirsch
Mr. Ibáñez
Mr. Morin
Mr. Tresca

Study of the end surfaces of the metre of the Archives. Questions 4 and 5:

Mr. Foerster
Mr. Govi

Mr. Heusschen
Mr. Hilgard
Mr. Husny
Mr. Ibáñez
Mr. Lang
Mr. P. Secchi
Mr. Tresca

Material should the metre be constructed. Question 7:

Mr. Bosscha
Mr. Broch
Mr. Deville
Mr. Fizeau
Mr. Herr
Mr. Jacobi
Mr. Peligot
Mr. Stas
Mr. Wrede

Shape and supports of the metre. Questions 8 and 10:

Mr. Broch
Mr. Faye
Mr. Husny
Mr. Ibáñez
Mr. Jacobi
Mr. Krusper
Mr. Maus
Mr. Morin
Mr. Tresca
Mr. Wrede

Thermometers and thermal expansion. Questions 9, 12 and 22:

Mr. Becquerel
Mr. Bosscha
Mr. Fizeau
Mr. Govi

Mr. Herr
Mr. Hilgard
Mr. Hirsch
Mr. Jolly
Mr. Lang
Mr. Szily

Nominal temperature of the metre and weight of the kilogram in vacuum and in air. Questions 11 and 20:

Mr. Bosscha
Mr. Deville
Mr. Foerster
Mr. Herr
Mr. Hilgard
Mr. Le Verrier
Mr. Maus
Mr. Ricci
Mr. P. Secchi
Mr. Wild
Mr. Wrede

Comparators. Questions 3 and 13:

Mr. Chisholm
Mr. Faye
Mr. Fizeau
Mr. Foerster
Mr. Hirsch
Mr. Husny
Mr. Ibañez
Mr. Krusper
Mr. Miller
Mr. P. Secchi
Mr. Stamkart
Mr. Tresca
Mr. Wrede

Creation of an International Bureau. Question 15:

Mr. Faye
Mr. Foerster
Mr. Heusschen
Mr. Hilgard
Mr. Hirsch
Mr. Jarras
Mr. Miller
Mr. Morin
Mr. Ricci
Mr. Wild.

Weight of a cubic decimetre of water. Question 17:

Mr. Becquerel
Mr. Fizeau
Mr. Govi
Mr. Holten
Mr. Jolly
Mr. Miller
Mr. Peligot
Mr. Szily
Mr. Wild

Material and shape of the kilogram. Questions 18, 19 and 21:

Mr. Deville
Mr. Herr
Mr. Holten
Mr. Jacobi
Mr. Jolly
Mr. Krusper
Mr. Miller
Mr. Peligot
Mr. Stas
Mr. Wrede

Balances. Question 23:

Mr. Broch
Mr. Chisholm
Mr. Foerster
Mr. Govi
Mr. Holten
Mr. Lang
Mr. Stamkart
Mr. Stas
Mr. Tresca

Conservation of the standards and guarantee of their invariability:

Mr. Chisholm
Mr. Fizeau
Mr. Herr
Mr. Hirsch
Mr. Ibañez
Mr. Jolly
Mr. Le Verrier
Mr. Miller
Mr. Tresca
Mr. Wild

Following the opinion of the Subcommittee responsible for proposing the voting procedure, the International Commission agreed unanimously:

1. When the President considers a discussion to be exhausted, he will declare it closed and announce the voting procedure.
2. Current voting procedure would be by the simple raising of hands.
3. When, before voting by this procedure, two members of the Commission request it, voting would be by individual calling of names.
4. If, before the vote is taken by either the first or second method, three individuals from the Committee, each representing a different nationality, request a vote by nations, it will be agreed that this vote will be

conducted with the number of votes allocated to each nation as stated below. However, this vote will be postponed until the next session to allow delegates from each nation to reach an agreement.

5. When the vote has taken place by one of the three above procedures, the decision shall be final.

List of the number of votes corresponding to each State:

States	Votes	States	Votes
Germany	3	Argentine Republic	1
Spain	3	Belgium	1
United States	3	Colombia	1
France	3	Chile	1
England	3	Denmark	1
Italy	3	Ecuador	1
Russia	3	Greece	1
Turkey	3	Norway	1
	24	Netherlands	1
		Peru	1
		Portugal	1
		San Salvador	1
		Holy See	1
		Sweden	1
		Switzerland	1
		Uruguay	1
		Venezuela	1
			17

States	Votes
Austria	2
Hungary	2
	4

In order to explain the basis of the agreements taken by the International Commission, it is necessary to show, at least in summary, the conclusions of the different Subcommittees and, in some cases, the observations made during the general discussion. In this document the order taken by the Subcommittees will be adopted, concluding each of them with the resolutions voted by the

Commission; although these resolutions are grouped at the end of this document in order to be presented orderly as a whole.

Issues 4 & 5 on the Commission's Agenda

The optical examination of the metre of the Archives should have the aim of clarifying and noting, if there was any doubt, the alterations on the two end surfaces caused by the comparisons performed with it since its construction in 1797, or due to other accidental causes that could have modified such surfaces.

The truth is that the exact length of the “Mètre des Archives” at the present time has not the same relevance that had when referred to the earth’s spheroid dimensions; but its conservation is essential in order to perform the comparisons between the old scientific surveys made with the metre bars made equal to the metre of the Archives and the surveys made from now on according to the international metre standard that will replace the old prototype.

Above all, it must be registered to what extent the platinum bar of the Archives represents currently the prototypes made equal to it and distributed to various States governments over different periods of time.

Here are some general observations about the line-scale prototype:

The metre of Archives is made of forged⁷ platinum, with the available procedures at the end of the last century⁸, when melting this metal was almost impossible. Some bubbles and pores are shown on its surface what causes some homogeneity faults. Nevertheless, its end sides are quite fine excepting some light defects near the edges and some dispersed points, whose appearance could reveal the presence of small iridium grains or other metals harder than platinum but not combined with this one; it can be said that the most important parts of the metre standard are in an entirely satisfactory homogeneity status. The line-scale seems quite straight and not to have been twisted around the longitudinal axis.

The two ends seem to be made by means of a large and flat rotary wheel, similar to the one used by the lapidaries when carving hard stones. This wheel, that could be made of copper or glass and whose flat side was covered firstly by fine emery and then with tripoli, has marked concentric circular marks in

either direction on the two edges, crossing in a small angle and giving a matte appearance to these edges not altered over time. The radius of curvature of these marks is approximately six centimetres.

Some deeper marks show the action of coarse grains of emery on the buffing wheel of the lapidary and they are not only present on the metre of the Archives, but also in the one of the Conservatory, made at the same time by Lenoir.

The friction of the velvet and the dust against the metre edges into the storage case has produced many extraordinary fine marks, mainly near the upper and bottom edges of both sides. The middle part is almost exempt from them.

To fully explain the presence of these marks and others a little more significant seen on both edges, it is needed to add that the line-scale has been taken off the storage case by lifting with two tough belts, fastened by one end to the case bottom and sticking out some centimetres by the other end of the two line-scale edges. These belts have been recently removed to avoid that the friction, quite rough, could further damage the prototype ends, which can be easily removed from its storing case by turning upside down before opening.

Besides the marks caused by the original construction and the above mentioned light scratches, three little notches can be seen on one end side of the prototype metre and could have been produced by three blows of an almost microscopic dimensions hammer. They cannot be quite deep because it is necessary to obliquely watch or enlighten the surface to appreciate them. Furthermore, these notches are quite far from the middle of the edge and cover an insignificant area.

The edges on the sides are not very sharp and some of them appear to have been lightly flattened, but, anyway, the alteration of the surface goes just a little beyond these edges and cannot affect the distances between the middle parts of the edges, which establish the true length of the metre of Archives.

What we have been most concerned about in the examination of these edges has not been the scratches and the small notches that we have just mentioned, but the polish that is seen near the centre of the two sides due, undoubtedly, to the pressure or the friction of the probes used by Lenoir or Gambey in their comparators⁹, employed over different periods of time.

The action of the cylindrical probes is manifested over the entire height of one of the edges, but does not have the same extension in the other; the spherical probes have left their marks in the middle part of each of the two edges.

Now, as it is admitted that the true length of the metre must be measured between the two centres of the end edges, the polish of these parts has made us fear that the original length of the metre would have undergone some significant decrease as a consequence of the action of the two probes.

Consequently, we thought we should try to measure the depth of the marks caused by the probes, using all the procedures that we had at our disposal, which could not be changed or modified because of the limited time available.

Here are the methods used and the results achieved.

It is evident that the study (we could almost say the research) of the edges of the metre of the Archives could be done by mechanical procedures and by optical procedures. But, taking into account the desire expressed by the Commission that these edges should not be touched until the time of the final comparisons (issue 2), we have imposed the obligation not to make use of more than optical procedures.

It seems useless to add that the ingenious and delicate procedures to which Mr. Fizeau has resorted to determine the thermal expansion coefficients of solids, or other similar means based on the phenomena of interference or diffraction, could not have been used in this case without great difficulties of installation and preparatory tests irreconcilable with the short space of time granted to the Subcommittee to execute its work.

The Committee for preparatory research had already arranged an excellent microscope¹⁰ of Mr. Nachet¹¹ mounted on a base of very well executed and extremely delicate rectangular movements from the workshop of Mr. Dumoulin Froment and that we thought could give very good results, at least for a first approach.

The procedure by which this microscope should be used had been indicated by our colleague, Mr. Lang, and consisted in varying the position of the microscope in front of the two ending edges of the metre, so that he could observe them in a large number of points, always placing the observed point exactly in the focus. This placement in focus could be done by means of a

micrometre screw of $\frac{1}{4}$ millimetre pitch, whose drum is divided into 250 parts and that achieves, therefore, the thousandth of a millimetre. A vernier allows achieving fractions of a thousandth.

A large number of sighting performed by several of us have given us the assurance that the placement in focus could be done with the accuracy of thousandths of millimetres, with the condition that the targeted object was well defined and had an extraordinarily small thickness.

Unfortunately, the ending edges of the metre do not offer these conditions. A lot of small scratches, holes, microscopic granulations can be appreciated; but none of these objects presents the cleaning of contours or the very small thickness that can allow a perfect aim.

Some tests were performed by placing microscopic bodies on the edges of the metre of the Conservatory (to which the procedure was first applied) in order to better ensure the focus of the microscope; but it has been necessary to abandon these auxiliary means, focusing on the direct observation of the best defined points on the very surface of the metal.

Furthermore, the requirement for accuracy in focusing on the observed points was not the only thing to take into consideration in the exploration that we were going to undertake. We had to probe a fairly extensive area and for this it was necessary to move in all directions, either the metre in front of the microscope or the microscope in front of the metre, so that the various points of the surface to be studied successively pass through, without the center of the objective ever being more or less distant from the ideal plane from which all the probes should have been conducted.

Now, all those who handle precision instruments know how difficult it is, if not impossible, to move an object in front of another with these conditions, since there must be a certain gap in the inner machinery, however small it may be, and that to this gap come to be added ceaselessly the compressions of the materials, the elastic actions and the thermal effects, whose influence is not negligible when measuring quantities as small as the thousandth of a millimetre or the fraction of this thousandth. It has been, therefore, impossible for us to ensure our microscope in these movements, either the perfect parallelism of its cylindrical axis, or the exact permanence of the centre of its focus in a fixed and orthogonal plane to this axis¹².

Hence all the irregularities that have manifested in the various experiments and that the repetition could never have completely eliminated. It should be said, however, that the uncertainty resulting from the movement did not seem exceeded to five thousandths of a millimetre; but this amount, although quite small, is significant enough that we cannot attribute to our measurements all the precision that could rightfully be demanded.

Here is the reason that has led us not to assign numerical values to the irregularities of the edges of the metre prototype; although we can affirm that they are much smaller than what could have been feared seventy-five years after its construction and as a consequence of a considerable number of inspections and comparisons made with devices that perhaps did not fulfil all the conditions that are to be desired, regarding mobility and extreme delicacy.

The reflection on the edges of the metre, whether of spider threads or very fine lines of a glass micrometre, observed with a microscope or with a telescope of short focal distance, did not reveal any noticeable deformations of the images, other than the marks of the original work or the slight minor scratches. It is worth noting that these images were quite clean so the smallest irregularities of the objects that produced them could have been revealed.

The persistence of the marks from the original workmanship across almost all the extension of the ending edges of the metre of the Archives has seemed to us, moreover, a sufficient guarantee of its good preservation, especially since the aspect of this work is identical in both the metre prototype and the Conservatory's meter, which excludes, for the first one, any fear of subsequent polishes.

In the central portions of the two edges, where the marks of the lapidary have partially disappeared, they have not vanished completely, since some marks that match perfectly with the rest are still seen.

On the other hand, nothing proves to us that the polish in the centre of the edges of the metre does not go back to the time of its manufacture, when to get it its true length in relation to the toise¹³ it has been necessary to place it a great number of times over the comparator, what had undoubtedly produced the crushing of the burrs of the grooves made by the lapidary and modified much more the appearance of these edges than all the comparisons that have been made afterwards.

The metres delivered at different times to various States and used, either in the construction of geodetic rulers, or in other scientific works, were not compared to the metre of the Archives but by means of instruments with cylindrical or spherical probes that did not give a superior accuracy to two or three thousandths of a millimetre. Therefore, even if the linescale of the Archives had suffered an alteration of this order, as a result of the modifications of the central part of its edges, the metre that would be deduced from it now would match with all the old metres, in the limits of the errors that the latter may have.

However, we believe that if we want to go back to the original length of the metre, some portions of the intact surface of the metre of the Archives can be found large enough to achieve it, either by means of rotating cylindrical probes, or by making use of Mr. Fizeau procedure, so that tiny differences that the central polishing could have produced would be detected and measured.

Only by means of this type of experiments performed by different procedures, thoroughly discussed, will it be possible to ensure the actual state of preservation or alteration of the metre and, consequently, the degree of conformity that may be obtained between the new line prototype and the prototype of the Archives or the old metres already used in the different scientific works.

Conclusions

1. Considering the current status of the platinum metre of the Archives in France, the Commission states that the new international metre determined by edge marks can be certainly made equal to that one. This opinion needs to be confirmed by the results obtained from the different comparison methods than can be used in this work.
2. The international metre equation will be deduced from the current length of the metre of the Archives in France, determined by means of all the comparisons made by the different methods that the International Metre Commission was ready to implement.

These two conclusions were unanimously and separately approved.

Issue 7 on the Commission's Agenda

To ensure the durability and, at the same time, the accuracy of our works, it is necessary to construct the metre with an air, fire and chemical agents resistant material that could get in contact with it even in unexpected situations. This material shall be resistant to mechanical stresses that could be applied, either by friction, compression, or impact. It shall have time invariant physical properties; in other words, it shall not be affected by those modifications called spontaneous and molecular that actually depend on the continuous changes of the surrounding physical circumstances: temperature, pressure, terrestrial magnetism.

The requirements needed to meet these conditions are:

1. An stainless material, insensitive to the action of ozone, sulphur, chlorine, hydrogen sulphide, ammonia, water, sea salt and even some acids and alkalis. It will be resistant to heat due to fire, and shall not be annealed or tempered, and therefore shall keep its dimension and composition.
2. The material of our prototypes must be hard, difficult to scratch; the coefficient of elasticity shall be high enough to prevent from permanent deformation except under huge compression; its cohesion shall be high enough so it cannot break, even under a fairly violent impact; and the polish of its surface and its straightness must reveal any modification to its normal shape.
3. The material, if it is amorphous, must not crystallize spontaneously. If it is crystallized, it must be crystallized according to the regular system, without the possibility of changing its crystalline form, which always corresponds to a change in density and consequently to deformation. It should not be susceptible to hardening that means that its physical properties should not be modified as a result of more or less abrupt or more or less extensive fluctuations in temperature. Finally it must be little or nothing magnetic to avoid being affected by the action of another force than that of gravity.

Besides these properties, indispensable for the material of the meter, once settled and compared, there are others that are imposed on us by the ease of construction and by the demands of the International Commission.

In order to mitigate the influence of errors caused by the temperature variation during comparisons, it is desirable that the coefficient of material expansion between the limits of this temperature be zero or at least as small as possible.

The Commission has determined for all the prototypes to be, not only compared by the same instrumentation, but also made with the same material. If this material is a natural product, it is required not only to be homogenous in each metre bar, but also to be exactly equal in all the metre bars and that is demonstrated by the most rigorous chemical and physical testing. If the material is a manufactured product, for instance a metal, all the metre bars will be made from the same mass, whose parts must be perfectly homogenous.

These facts being admitted, we will proceed to analyse in turn the advantages and disadvantages of each one of the materials that could be used in the construction of the designed prototypes.

1st Quartz

A clear and homogenous quartz crystal where parallelepiped of minimum one metre in length could be cut, and in sufficient number, would be the perfect material to accomplish with the above listed requirements. Perhaps it would be a little fragile and with the inconvenient of not being fire resistant, since the quartz crystals burst in fragments under the influence of a very high temperature. But, is there such a crystal in such a perfect state? It is well known that removing an agglomeration of crystals is not convenient, because there is no guarantee of homogeneity regarding the thermal expansion coefficient, which is different in both crystal axis and perpendicular directions.

2nd Glass

Glass is a fissile substance, fragile, very changeable by humid air that fogs its surface. It always tends, due to temperature variations, to the crystalline state, which constitutes devitrified glass. Nothing is so similar to glass, because of its characteristic properties, such as sealing wax: glass, like wax, softens long before melting, and this softening starts at a temperature below 440 degrees. Can it be known that it would happen to a sheet of glass one metre in length supported by its ends and exposed to the flexion of its own weight? Is

it possible to say that it would not deform at ordinary temperature as a sealing wax rod deforms between our fingers, which, when molten, would cruelly burn the hand?

The glass is tempered with such ease that it is difficult to find a plate of any thickness that does not depolarize the light even though care has been taken to recoat it for a long time. This temper is modified by changes in temperature (which explains the variation of zero in the thermometers) and necessarily determines a remarkable change in density. Devitrification produces the same effect and in the same sense. Therefore, a metre of glass would experience a shortening over time that could be considerable. Mr. Stas has observed spontaneous alterations of the same kind in tempered steel types.

3th Metals

The two metals that satisfy the conditions of inalterability demanded by the Commission are gold and platinum; all others, or at least those that are available to us, are altered to pure air or loaded with hydrogen sulphide, steam, ammonia or ozone.

Gold is obviously too soft.

As for platinum, it is the metal that constitutes the prototype metre of the Archives, and the choice of this material made by the first Metre Commission is well justified by the state of conservation of the type that has bequeathed to us. But it must be said that this platinum, prepared by Jannetty¹⁴ with arsenic, is an alloy that contains all the metals of ore that potash does not attack, that is, rhodium, palladium and especially iridium in remarkable quantities (perhaps a little arsenic). It is a hard platinum that we could not easily reproduce. The platinum of commerce would be blamed today, and with just cause, the defect of gold, of being too soft to manufacture the metre with it. But it will be necessary that when choosing other subjects we approach, as much as possible, the precious properties of the metre of the Archives.

4th Alloys

For an alloy to be used in the construction of our metre bars, it is necessary that after casting it produces a homogeneous ingot. A small number of alloys

satisfy this condition. When solidifying, most of them produce the phenomenon of liquefaction. They are separated into several alloys of different compositions that overlap during cooling in confusingly distributed layers according to the order of their fusibility and their density. The copper alloys with tin and silver and those of silver with platinum would not produce a homogeneous ingot.

The brass and aluminium bronze that are homogeneous and all the alloys in which copper dominates, should be discarded as alterable and too dilatable. Regarding copper and gold alloys in which the latter metal should be in preponderant quantity, its physical properties will not be sufficient to compensate the high price of its material.

In order to accomplish as much as possible all the requirements stated at the beginning of this report, there remains only one alloy that of platinum and iridium, metals absolutely unalterable under the action of any atmospheric agent, by fire and by almost all the reagents of our laboratories. On this basis, it leaves nothing to be desired; but it will certainly lack some of the qualities that make up the perfect metal we are looking for. It is not known yet how to give it a polish as fine as that of steel or silver. Perhaps, under this point of view, it has some inferiority that will have to be eliminated or some difficulty to overcome; but it has exceptional qualities that result from the following facts:

1. The two metals crystallize under the regular system and both have the same density of 21.15.
2. The alloys of these two metals with ten, twenty and thirty percent iridium, have the same density of 21.15, so that there is no contraction during their dissolution, which excludes any idea of separation due to the liquefaction effect. It follows that the melting of these alloys will always produce a homogeneous matter, as has been proved by the analysis and study of the physical properties of the material taken at different heights in the ingots.
3. Of all metal materials (not including arsenic and osmium) platinum and iridium are those that less expand by the action of heat, so that the influence of the most fearsome errors, which are those that come from the variation of the temperature during the comparison of the metres, will be attenuated as much as possible; it should be noted that

the thermal expansion coefficient of platinum-iridium is substantially the same as that of Borda's rulers¹⁵, whose metal should be considered identical to that of the Metre of the Archives, the first term of all our comparisons.

4. Platinum with ten percent iridium has been experienced by Mr. Fizeau in his work on the extensibility of bodies by heat. It constitutes the tripod matter that has been used for its numerous determinations. Therefore, its thermal expansion coefficient is, from any known, which has been set by the largest number of accurate experiments and which has withstood the greatest number of temperature variations. Platinum-iridium, like that of Borda's rulers¹⁶, presents a fixed and unchanging thermal expansion coefficient over time. On the one hand, this results from the numerous observations made during five years with the same platinum-iridium expansion device, and, on the other, from the full agreement, sixty years later, with the expansion experiments of the Borda's number 1 ruler, made by Borda himself, and recently by Brigadier Ibáñez.
5. Platinum-iridium alloys offer a very high hardness and stiffness. The coefficient of elasticity estimated for one of them by Mr. Tresca is significant, as well as its shear strength or resistance to fracture. It is easily cut with diamond, and the pieces of three thousandths of a millimetre in width observed with an increase of 300 or 600 times are perfectly regular.
6. If the proportion of iridium is conveniently fixed, the malleability and ductility of the alloy are such that the largest ingots can be transformed by means of the laminator and the hammer into plates, bars or rulers of the desired shape.
7. Platinum is obtained with the greatest ease in the state of purity. The same happens with iridium for which some recently experienced procedures have given the most satisfactory results.

By these procedures and with the first materials that exist in the trade it will be easy to prepare these two metals in more considerable quantity than the one the Commission may need. Its price varies between 700 and 1000 francs per kilogram.

8. The procedures that have been experimented in the last fifteen years and used daily, can be applied as easily to the fusion of platinum-iridium as to pure platinum and all the metre bars requested by the Commission will be able to derive from the same homogeneous ingot.
9. The platinum-iridium alloy shall be accurately analysed and, therefore, the composition of each metre bar could be perfectly verified.

Conclusions

1. For the manufacture of the metres, an alloy of ninety parts of platinum and ten of iridium will be used, with a tolerance of plus or minus two percent.
2. With the ingot deriving from a single merger process, and by means of the procedures used in the manufacture of metals, metre bars will be constructed whose number will be determined by the International Commission.
3. These metre bars will be annealed for a few days at the highest temperature, so they do not have to undergo nothing but small mechanical actions later.

During the discussion of this opinion, Mr. Wild stated, referring to a very recent publication, that he had built two decimetres of quartz and two decimetres of brass and that he had submitted one of the decimetres of each substance to the following tests, before being compared with their analogues again, an operation that took place with an error of three ten thousandths of a millimetre. Under a temperature change twelve times repeated between zero and forty degrees, the quartz bar kept its primitive length; but the brass one varied by a thousandth of a millimetre. The two bars, carefully packaged, were dragged through the streets of St. Petersburg in a barrel, for twelve hours; only the brass was lengthened one thousandth of a millimetre.

Therefore, it is to be feared, according to Mr. Wild, that a metal metre can vary by mechanical actions at least one hundredth of a millimetre. For this reason he would like experiments to be made in this regard.

On behalf of the Subcommittee Mr. Deville replied that the experiences requested by Mr. Wild should in fact be carried out and executed with the utmost

care without any of the rulers being placed on the comparator before having satisfactorily withstood these tests and having fixed an expansion coefficient. But this does not mean that such experiments should be carried out with any platinum-iridium bar, and it would not be possible to prepare the work in a few days since it would be necessary to have two identical bars that were subjected to a sufficiently long annealing. Mr. Wild will recognize that these preparations are of an extraordinary delicacy and that it is not convenient to precipitate them.

Relating to the elasticity of platinum-iridium, Mr. Tresca recalled that the coefficient obtained is greater than the ones of other tested materials and a quarter higher than that of steel. This statement was obtained by placing the five-kilogram bar on two supports distant from each other by ninety centimetres, placing in the middle a load that was successively increased till sixteen kilograms, which, with the weight of the bar, made a total load of twenty one kilograms. The flexions remained exactly proportional, both during loading and checking the discharge, and with a cathetometer¹⁷, with a measuring accuracy of hundredth of a millimetre, it was noted that the bar returned exactly to its primitive shape.

To dissipate the tension that could result from what was said by Mr. Wild, Mr. Fizeau signified that Mr. Wild's experiments are not entirely pertinent, and he expressed himself in these terms: "It is indeed a matter of knowing, not whether brass can be modified by molecular trepidation, but if this happens to platinum, which is completely different. All physicists will admit that if a molecular change is large enough to modify the dimensions of a bar, a correlative variation will necessarily affect to the expansion coefficient. Now, in point of fact one of Borda's bars gives us, for the most considerable time interval that can be mentioned in this state of knowledge, numerous proofs of the inalterability of the platinum expansion coefficient. Brigadier Ibáñez had at his disposal the module number 1 of Borda, used by Delambre¹⁸ in the Southern France and consequently has travelled more than any of the prototypes in this time and obtained exactly the same figure as Borda for the expansion coefficient of these rulers in 1862. It is therefore established that none of the facts cited by Mr. Wild, either by General Baeyer¹⁹ or by any other physicist, justifies the indicated fears. On the contrary, the result indicated by Mr. Wild regarding brass

could have been predicted; the same would have been obtained with steel, as Mr. Stas has proven, mainly with tempered steel.

Once the discussion was concluded, the conclusions were separately voted and all of them were unanimously adopted.

Issues 8 & 10 on the Commission's Agenda

The question about whether the lines should be engraved on the upper surface or on the average plane of the bars was already raised within the Committee for Preparatory Research. The Subcommittee has chosen this last option, and it seems to have found the way to avoid the inconvenient of the procedures used so far to this purpose.

The other conditions that the Subcommittee has imposed are aimed at obtaining, for the same amount of material, a great stiffness both in vertical and horizontal directions; making the bar easily reaches a temperature as uniform as possible and that other marks can be recorded between the two ends, in order to facilitate comparisons with a baton of length equal to a subdivision.

Our colleague, Mr. Tresca, who has been particularly concerned with this matter, has proposed to the Subcommittee, and this one has accepted, the project of a bar whose cross-section affects approximately the shape of X whose jambs are joined by a horizontal²⁰ ruler (see figure) thus presenting in view its neutral plane to the effects of the curvature that could be produced, either by bending, or by momentary differences in temperature between the lower and upper surfaces. The lines should be engraved on this flat surface.

This shape is obtained removing material from a square section bar of twenty millimetres on each side.

It results from the calculations made by Mr. Tresca, and repeated at his request by Messrs. Broch and Maus, that a bar of this shape, of a total section of approximately 150 square millimetres and placed on its supports, would have only a bending of 51 thousandths of a millimetre; the neutral surface on which the marks would be engraved would not experience in these conditions more than a variation reduced to the minimum and equal to five hundred thousandths of a millimetre. The bar so constructed would weigh less than 3 kilog. 50 gr;

it would offer great stiffness in both directions and, compared to the metre of the Archives, its stiffness would be forty times greater.

For the end standard prototypes demanded by several countries, the Subcommittee's opinion is that the cross section of the bar must have the same exterior profile, but making the ruler that joins the jambs symmetrically placed in the vertical direction since it is not necessary that the central axis be visible more than at its extremities. Regarding the edges of the bar for this purpose, the Subcommittee proposes the spherical shape.

Given the provisions of the bar, the Subcommittee proposes as support, for the operations to be done with the new metres, the system adopted by Mr. General Baron Wrede in his recent Report, although Mr. Maus has shown that it would not be inconvenient, from the point of view of the resistance caused by friction, to place the bar directly on a plane. The smallness of the shortening that could be experienced by a bar resting on two points whose distance to each of the ends was determined by Bessel; the advantage that would result from the fact that the bar would thus be completely in contact with the environment in which it was operated and the extraordinary simplicity of the disposition, have decided to the Subcommittee in favour of this support system, exclusively intended for the operations; but, in order to avoid the inconveniences indicated as a result of the continuous contact of the bar with the rollers, the Subcommittee proposes that each bar should be usually kept in a case.

Conclusions

1. Platinum-iridium bars on which lines should be engraved will have a length of 102 centimetres and their cross section will adopt approximately the shape of an X whose jambs are joined by a horizontal ruler (see figure²⁰) thus presenting in view its neutral plane to the effects of the curvature that could be produced, either by bending, or by momentary differences in temperature between the lower and upper surfaces. The lines should be engraved on this flat surface.
2. The bars intended for the construction of end standards shall have a similar but symmetrical cross section in the vertical direction; the ends would be spherical with a radius of curvature of 1 metre.

3. During all the operations that should be carried out with the metre prototypes, these will be supported, according to the Bessel system, on two rotating cylinders; but for their conservation they will be placed in conveniently arranged cases.

In the course of the discussion, Mr. Broch explained that the distance between the rotating cylinders recommended by the Subcommittee is a little different for the end standards than for line metre prototypes, as per Bessel's theory²¹, confirmed by means of simpler considerations by Mr. Cellund.

As a result of some remarks by Mr. Hilgard, Mr. Herr and Mr. Govi, Mr. Trescas said that it might be advisable to increase the thickness of the central ruler that joins the jambs for the end standards, separating a little from the shape of greater resistance but keeping the wings whose purpose is to increase the rigidity in a large proportion.

Regarding the radius of curvature of the spherical edges, Messrs. Hirsch and Lang noted that Mr. Steinheil adopted a radius of 50 centimetres as more favourable for his method and his comparator, in order to get the same distance for the lines between the points of contact.

On the contrary, Messrs. Wredes and Broch stated that the radius of one metre is the one that minimizes the probable error when taking into account the possible change of position of the contact points, both in width and in height.

This opinion was confirmed by Mr. Miller, stating that he himself had verified it by the mathematical examination of the matter.

Having asked Mr. Hilgard whether the wording presented by the Subcommittee involves any change in the method of the two rollers whose effects were calculated by Bessel, Mr. Ibañez, rapporteur of the Subcommittee, stated that the wording applies to Bessel's analysis, annex number 1 of his work, page 121.

On the occasion of the last part of the third conclusion, a long discussion took place. Some members of the Commission wanted to know whether or not there would be rollers inside the cases to support the meters.

The rapporteur of the Subcommittee insisted on the wording presented by the Subcommittee, which has the advantage of not specifying any other thing

than the use of a conveniently arranged case. On the other hand, having a Subcommittee in charge of proposing the means of conservation of the prototypes, this one will be able to study in detail the conditions that the cases must carry.

The different conclusions were voted and the first one was adopted by all present delegates but two. The first part of the second conclusion was adopted by all the votes but one; the second part, regarding the spherical shape, by twenty nine votes in favour to seven against. The third conclusion was adopted by thirty votes to three against.

Issues 9, 12 & 22 on the Commission's Agenda

It is now beyond doubt that, in the determinations of the absolute temperature that will satisfy the compatibility condition when trying to achieve an accuracy of better than one tenth of a degree, the air thermometer²² is needed. Like the mercury thermometer, this instrument has the essential property that the expansion coefficient, which measures temperature differences, does not depend significantly on a particular, often variable, molecular state that the thermoscopic matter could have, as it happens with thermometers of solid metals, such as Borda's thermometric rule. However, the influence of the dilation of the glass casing in mercury thermometers, whose molecular composition and structure can vary considerably from one thermometer to another, makes almost illusory the advantage provided by the use of a thermoscopic matter, liquid or gaseous, whose properties are exactly defined. The dilatation of the casing being approximately one-seventh that of mercury, it turns out that these type of thermometers, well calibrated and whose fixed points have been rigorously designated, can differ from each other in a few tenths of degree, at ordinary temperatures. Gas thermometers are the only ones that, under the considerable expansion of elastic fluids, will be able to meet the condition of comparability within the accuracy limits that must be requested.

In principle the Subcommittee, in charge of the research about the thermometers and expansion questions, in agreement on this point with the Preparatory Research Committee, has therefore accepted that all the temperature measurements made when calibrating the metres shall be referred to the air thermometer.

Under this standpoint, the proposal of the Committee for Preparatory Research, on question 9, could have any doubt about the timing. The Subcommittee proposes that each metre will be accompanied by two separate mercury-in-glass thermometers²³, carefully calibrated against an air thermometer. Now, if in the equations of the types the temperatures are referred to the air thermometer, the length of the metres at a given temperature is evidently defined in a perfectly rigorous way. In each country, the observer member designated to calibrate the prototypes will carefully measure the absolute temperature by means of the air thermometer. In addition, in the opinion of several physicists, it is difficult to guarantee the invariability of mercury thermometers. The variation, sometimes abrupt, other slow and continuous, of the fixed points of thermometers, shows a change in the volume of the glass and it is very likely that the expansion law of the casing also changes. The experiences of physicists who research about this subject have confirmed these predictions. Hence, the use of the mercury thermometer as ancillary equipment can be a cause of error.

To these objections, the Subcommittee believes must oppose the important observation that the air thermometer is a complex instrument and difficult to use. In order to determine the absolute temperature by means of this apparatus with an accuracy of 1/30 of degree, meticulous precautions and a great skill in this type of research are needed. The need to resort to the air thermometer in each calibration that has to be made with the prototypes, might cause serious difficulties. The Subcommittee believes that this can be avoided using mercury thermometers compared to the air thermometer while preserving the accuracy of length measurements, with the proviso that this comparison must be repeated at different times. It is unlikely that mercury thermometers, well-constructed and subjected to previous experiments to know the stability of their fixed points, also preserved in the best conditions and never exposed to significant temperature fluctuations, change their behaviour in a sudden or irregular manner. A periodic check could undoubtedly provide enough guarantee.

Regarding the method that should be used in the determination of dilatation, the Subcommittee has considered that Mr. Fizeau's one, in whose hands it has resulted in such remarkable agreement, could certainly provide a precious data about one of the main characteristics of the material of the metre. But at the same time as it recommends this procedure, the Subcommittee has

deemed indispensable to proceed as far as possible under the same conditions that will be carried out in the subsequent comparisons when measuring the expansion designed to reduce the length of the metres to a given temperature and that, therefore, it will be necessary to make multiple and exact measurements of the increase of the distance between the lines on the meter, produced by a temperature rise. The importance of an exact knowledge of this longitudinal expansion requires great precautions and a severe check. For this reason, the Subcommittee would like to require that the absolute expansion for each prototype be determined separately and that these measurements then be subjected to the verification of the relative expansion determinations. In order to be able to judge correctly the number of terms that should be used in the expansion formulas, it will be necessary to observe the absolute expansion at several different temperatures. In Subcommittee's opinion, that should request to be carried out at least at five temperatures between zero and forty degrees. As it is very likely that the relative expansion of the metres can be expressed by a linear formula, it will be sufficient to make the comparisons relative to three different temperatures.

Established these principles, the Subcommittee has studied the procedures and devices that should be recommended and even prescribed by the International Commission.

Should the metre bar, in order to maintain a uniform and constant temperature over the entire length of the bar, be immersed in a good conductive liquid or placed in a milieu such as air or gas that, although they are poor heat conductors, they offer the advantage of a greater mobility and allows to achieve an almost homogenous temperature all over an enclosed area?

Should the temperature be directly measured with the air thermometer, or with the mercury thermometer previously compared, or finally by thermo-electric means?

Will the variation in the prototypes length be determined by the direct method or by the differential method, i.e., will the changes in the position of the metre marks be measured by means of fixed reference points or by determining the differences between the length of a bar kept at constant temperature and that of the metre bars brought to different degrees of heat?

The majority of the Subcommittee has recognized that the experiences made so far, among which it will be sufficient to cite Mr. Ibáñez's work and Mr. Hirsch's researches, should make prefer the immersion of the bars in a good conductive fluid, such as glycerine, and the application of the differential method recommended by Mr. Baron Wrede in his recent Report. It is true that the experiences in which non-submerged metre bars have been compared have not all been made in the best conditions; that other devices, mainly the constant temperature enclosure installed in one of the rooms of the Conservatory of Arts and Crafts, allow a considerable improvement ensuring greater stability to the temperature equilibrium; but certain data are lacking about this and it seems doubtful that by these means the absolute dilation of the meters can be determined. In the eyes of most of the members of the Sub-Commission, this last observation was of greater importance because, in their opinion, it is difficult to assume, both in microscopes and in reference points, the almost absolute stability required by the direct method.

Regarding the means to be used to determine the temperature of the bar, Mr. de Jolly has recommended the use of an air thermometer whose deposit, one metre long and arranged parallel to the bar would indicate very approximately the average temperature of the liquid layer in which the bar was submerged. It is well known that Mr. Regnault, in his experiences, used very frequently this device with very good results. The difficulty of using the air thermometer with enough precision could not create any obstruction in this case, since the observers to whom the Commission entrusts these works must have the necessary experience, especially since they will have to make the comparisons of the thermometers of air and mercury.

Another member of the Subcommittee has insisted on the opportunity to use the air thermometer built according to Mr. Jolly's guidelines, simultaneously with the mercury thermometers specially designed to accompany the prototypes, which would have the advantage of finding at the same time the corrections of these mercury thermometers.

Mr. Wild has described a system of operations that consists of distributing along the bar several elements of a thermo-electric battery, whose current would indicate the average temperature of the bar, a procedure that is certainly of great simplicity.

In view of such diverse opinions expressed within the Sub-Committee, this one has considered that the experience and opinion of the competent persons, to whom the International Commission will entrust the measurements and the final verifications, should not be subject to a decision that prescribes the methods and the devices. It is undoubtedly necessary to grant a large part to the improvements that could be proposed in the future or that the Executive Committee deemed appropriate to introduce. The Subcommittee would, for example, wish to draw the attention of the General Assembly to an apparatus for the application of the direct method, in which the change of position of the ends of the metre refers to two verticals obtained by means of two fixed collimators. This method is described by Mr. Hilgard in a very recent Report.

With regard to the specific weight and the dilation of the material of the kilogram this has not led to special considerations since the ordinary procedures are very sufficient to obtain the determination of these constants with the necessary precision. Suffice it to note that the immersion of each kilogram in the water must be done before having finally weighed it.

Conclusions

1. Each metre shall be accompanied by two mercury-in-glass thermometers, isolated and accurately calibrated against an air thermometer. It was thought to be essential that these thermometers were calibrated against an air thermometer repeatedly in the course of time in order to reflect their variations.
2. The method of Fizeau will be used for the measurement of the expansion coefficient of the platinum-iridium alloy used in the construction of the metres.
3. Prototypes will be subject to the best procedures available for calculating the absolute thermal expansion coefficients of the metre bars. These experiments will be individually performed, at least at five different temperatures at a range from zero to forty degrees centigrade.
4. The relative comparison between prototypes shall be made, at least, at three different temperatures at that temperature range.

After reading the opinion that was just been extracted, Mr. Deville said that without having the courage to challenge it, he nevertheless wished to make his opinion known as a result of his own experiments. For twenty years he has constantly used the air thermometer, which is not used all that is desired and is not even well known as it has been used for so long in Mr. Regnault's laboratory and in his laboratory. Nothing is more accurate or more comfortable, easier or more expeditious.

According to Mr. Deville it is impossible to determine the average temperature of a bar with another thermometer than with the air one, since it is necessary to take into account simultaneously the temperature of each of the points in the bar. Instead of resorting to mercury thermometers, which should be compared to air thermometers, why is not this last device used?

To operate with the bar whose form has been adopted, Mr. Deville would build an air thermometer of the same metal and in the same way. He would have for this purpose a cylindrical tube that would constitute a real case whose shape would be modified successively so that its walls approached very close to those of the bars; one of the extremities would be closed first, performing the necessary openings to engrave or to observe the marks. The thermometer-wrapped would be shortly closed its other extremity, except for a point in which it would be welded, with gold, a platinum thread of a tenth of a millimetre in inside diameter; that would make known the pressure variations externally, by means of a new welding of the same platinum, with the glass of a manometer. If necessary, a compensating system would be applied to this, so small in volume, tube.

Mr. Deville estimates that the average temperature will be measured with an accuracy of $1/240$ degree. He expressed the desire that the Commission make the experiment convinced, as he is, of the good results which would result from this.

Mr. Deville added that these indications are sufficient to establish the principle; that it is not necessary to make any special proposal because the Subcommittee has been extraordinarily cautious in its conclusions. The wise men who will be responsible for the performance, will know what to expect from this entirely practical procedure.

The rapporteur noted that these same considerations were present in the Subcommittee, in which several individuals believe that the use of special mercury thermometers is superfluous. However, he recommended the approval of the conclusions presented, all the more so since Mr. Deville himself does not object to the use of the mercury thermometer at the same time.

Brigadier Ibáñez confirmed the considerations presented by Mr. Deville. When he carried out his determinations in 1856, he wished to resort to an analogous procedure and, after having agreed with Mr. Regnault, he would have taken the decision to use this method. Some practical difficulties, which came from having to operate with a ruler of four meters in length, forced him to abandon the idea, but now it must be carried out because the same reasons did not exist at that time.

About the third proposition Mr. Struve said that he wondered why the operations were not to be extended to temperatures below zero, mainly when it seems likely that the normal temperature will be zero degrees.

Mr. Hirsch, author of the conclusion, replied that the extension requested by Mr. Struve does not meet a practical need since the types are not likely to be used at temperatures below zero, which will be difficult to obtain with sufficient consistency for comparisons. If it were to operate only a few degrees below zero, Mr. Hirsch does not know of another liquid that can be used but alcohol, which has severe drawbacks.

Mr. Deville said he did not want to be so affirmative. He believes, on the contrary, that when the means of assuring the constancy of temperature by means of an air bath have been prepared, and of measuring the variable length of the bars, it will be very possible to determine even the second term of the coefficient of expansion, which affects the square of the temperature. For this it will not be useless to descend to five or six degrees below zero. While he did not submit any amendments to the very reserved wording of the Subcommittee, he said he expected the extension of the lower limit.

Mr. Bosscha stated that the question had not been the subject of a special discussion within the Subcommittee, without doubt considering that the advantages resulting from the extension of the limits would be greatly diminished by the causes of error that would result. The Subcommittee has not wanted to exclude, but he has not wanted to prescribe in this matter either.

Mr. Hilgard expressed the opinion that it must be stated that in the determination of the expansion the entire ruler, included between the lines, must be observed.

The various conclusions were submitted to the vote and unanimously approved.

Issues 11 & 20 on the Commission's Agenda

Considering that several countries have chosen the average temperature in inhabited areas as the normal temperature for the length prototype bars, Mr. General Baron Wredes reminded the considerations exposed in his recent Memories that, in his opinion, such average temperature should have to be adopted as normal for the new metre bars.

Although there is this disagreement with our wise colleague, who has taken part in a lot of our papers, the rest of the members of the Subcommittee have considered they must propose, as normal temperature for the metre bars, the zero degrees Centigrade because of the following reasons:

While adopting the average temperature has the advantage of giving a real length to the metre bars at a temperature not very different from that of inhabited areas, and of reducing the consequent adjustments, it has, however, the disadvantage that these adjustments will be sometimes positive, sometimes negative, and thus leading to inaccuracies during ordinary use.

The reasons that have determined to the Physicists to design the zero degrees Centigrade as the temperature at which water changes its state from solid to liquid, have made the Subcommittee to choose it as the normal temperature for the metre bars. This constant temperature stems from a phenomenon that can be easily reproduced in any latitude.

Finally, to obtain the length of the metre of the Archives, the international prototype metre bar shall refer to a temperature of zero degrees Centigrade which is the standard of that prototype.

The Subcommittee proposes the international kilogram to be referred to its weight in vacuum.

Considering that Mr. Baron Wredes has made reference to the differences of density of the brass used to make the common weights which serve to measure in the air and thus resulting in inaccuracies, the Subcommittee has expressed the desire of carrying out a study to assess the advantages of the fabrication of a cylindrical-shape hunk weighing one kilogram, 54 millimetres in both diameter and height, designated to be the prototype for the common weights in normal room conditions.

Conclusions

1. The international metre will have the length of the metre bar at a temperature of zero degrees Centigrade.
2. The international kilogram shall be referred to its weight in vacuum.

The first of these conclusions was approved by all the members present but one; and the second conclusion unanimously.

Issues 3 & 13 on the Commission's Agenda

It was the duty of the Subcommittee to search and indicate the most appropriate methods to perform with all necessary precision:

1. The new prototypes of the metre in the form of a line standard.
2. The comparison between these prototypes of line standard and the end standard of the Archives.
3. All other comparisons that may be considered useful for both line and end standards, either among themselves or between them.

Up to these last times the general use had consecrated, for the types of measurement of length, the use of end standards, that is to say finished in each of its endings by a flat face perpendicular to the length of the metre bars or by a spherical segment. In such circumstances the comparisons of the rulers to each other were carried out by means of instruments called comparators, in which the flat, cylindrical or spherical probes can be applied successively to the endings of the metre bars; but in that case it is unavoidable that as a result of contacts so repeated the endings of the prototypes receive sensitive impres-

sions, capable of altering the ending surfaces over time and of remarkably changing the length of the metre bars.

According to an agreement of this Assembly the new prototypes must be line standards, that is to say, formed by two lines that are separated by one metre and are engraved on a flat surface thus presenting all possible guarantees under the point of view of the perfect conservation of its length, but comparisons between the different metre bars can no longer be carried out with the aforementioned comparators, and it is necessary to resort to new procedures and new instruments to compare the line metres with each other, or a metre bar of this class with another end standard.

The Committee for Preparatory Research, as well as the French Section of the Commission have set their studies and research on this subject.

First they try to decide the construction of two devices, one of longitudinal movement for tracing the meters and the other of transverse movement for their comparison. The first of these instruments seemed to make the provision more purposely to trace, with great perfection and in a short time, the number of prototypes that will be necessary to build for the different States; the second, especially designed for comparisons and built according to the most generally used system, has seemed to present more guarantees of accuracy than the previous one, whose precision in this kind of observations has not been experienced up to now.

It is proposed that the comparisons between the metre bars be carried out in a liquid and in the air, without however allowing the prototype of the Archives to be immersed in any liquid before the end of operations, that is, before the International line metre is completely concluded. This reserve is based on the fear of any possible alteration in the prototype by the action of a liquid on the platinum which is made of, which, having been prepared by the Jannetty method²⁴, must be sufficiently porous to absorb a certain amount of liquid.

The proposal that comes next refers to the most convenient way to pass the end standard to the line metre, using the method of the tips that produce their images reflected on the extreme faces of the end standard metre. This method allows to transform, so to speak, an end standard metre in another line metre and capable of being observed by the same microscopes and the same accuracy as a real end standard metre.

The fourth and fifth proposals refer to the means of obtaining, with the greatest possible accuracy, the equations of the various prototypes. For this purpose, all the known means of comparison will be used and those that have made their tests: that is, according to the cases, whether they are probes of different shapes, either the method of Mr. Airy and Mr. Struve or that of Mr. Stamkart and Mr. Steinheil.

Finally, the other conclusion referred to the end standards that may be requested by some States, it is summarised in the proposal that these standard metres would be calibrated against the new international metre once is constructed.

Conclusions

1. The Commission decides that two devices will be built, one of longitudinal movement for the tracing of the meters and the other of transversal movement for comparison.
2. The comparisons will be made by immersing the new types in a liquid and in the air; but without submerging the metre of the Archives of France in any liquid before finishing the operations.
3. The trace of the line metre standards and their first comparison with the metre of the Archives of France will be carried out, firstly, by the procedure proposed by Mr. Fizeau which consists of observing at the same time and in each end of the metre a very thin tip placed near the edge and the image of the same tip reflected by it.
4. For the determination of the equations of the different prototypes, all the means of comparison already known will be used, that is, according to the cases, whether they are probes of different shapes, either the method of Mr. Airy and Mr. Struve, or the one of Mr. Stamkart and Mr. Steinheil.
5. The equations between the metre of the Archives of France and the international end metre standard, as well as the equations between the other prototypes and the international metre, will be determined by the discussion of the results of all these observations.

6. The operations will be done in reverse, starting from the international metre, for the construction of the end metre standards requested by the different nations.

Regarding the use that should be made of the two kinds of apparatus, the first of longitudinal movement and the second of transversal movement to carry out the comparisons, the following paragraphs of the minutes of the Committee for Preparatory Research should be cited verbatim:

The discussion begins on the sense in which it is convenient to make the change of position of the metre bars so that their ends pass successively under the microscopes.

Mr. Fizeau insists on the advantage of the longitudinal movement of the metre bars, which makes it possible to carry out all the necessary conditions together, with a character of unity that no other procedure can have. The longitudinal movement of the plane on which the two rulers rest, will apply, in effect, not only to the comparison of the end metre standard with the line metre, but also to the construction of this one and the comparison of two line metres. As for the trace, which is made successively by the same blade after a change of position arranged precisely to the length of the metre bar to be replicated, it is not necessary to insist to show the advantage relative to this disposition; it being understood, however, that the use of a collimator is necessary to calculate the influence of the smallest deviation in the direction of movement, if this should take place.

Mr. Joerster blames the above system a serious uncertainty coming that a deviation of a second would produce by itself an error of one ten thousandth of a millimetre between two metre bars whose axes were separated only by a distance of two centimetres.

Mr. Fizeau comes up with a way to optically amplify the measurement of this deviation using successive reflections, so that we can know if each observation is within sufficiently close limits.

Mr. Hirsch expresses the surprise with which his foreign colleagues and himself have seen this longitudinal arrangement, when they have been taught for the first time: he knows very well that Borda, Lenoir and Gambey used it,

and can therefore designate it under the name of French system, although it was abandoned when constructing the ruler for measuring bases of the Spanish Government, executed under the guidance of Captain Ibáñez by Mr. Brunner. None of the foreign comparators admits this operation, which is neither in the works of Bessel, nor in Bern, nor in Berlin, nor in England. The general opinion in these countries is that the same results are obtained with much less inconvenience by moving the metre bars in the transverse direction only a few centimetres using a microscope in each ending; these microscopes could be secured in a stone massif and should, in any case, be established with great stability.

In addition to the advantages that this disposition presents due to the small movement that it demands, as well as because it is protected from any abnormal deviation that, if it were produced, it would not allow to operate, it is the only one that lends itself to comparisons made in a liquid, condition that Mr. Hirsch considers indispensable.

Mr. Deville does not have great confidence in the comparisons made by the transverse movement, and Mr. Hirsch concludes by saying that the use of the new collimator of multiple reflections, superabundant for the trace of the metre, is absolutely insufficient in the comparisons to be made. For this reason he remembers that the same objection is not applicable to the trace of the metre bars, work that does not demand the same accuracy, since the error of the trace can be, without serious inconvenience, much greater than that of the comparisons.

Mr. Wild and Mr. Joerster could neither understand that the longitudinal movement was used for the comparisons, this would be to overlook all the acquired experience, both in Berlin since 1834, as in London, Bern and Munich, and even in Paris and in Spain, in the beautiful works of Mr. Ibáñez, while the longitudinal movement is far from being recommended by the results of the determinations made in France at different times.

After a worthy discussion, devoted to provide further explanations on the conclusions presented by the Subcommittee, these were approved unanimously.

Issue 15 on the Commission's Agenda

Following an opinion in which the need to adopt all the necessary precautions for the new prototypes to have a truly international character is demonstrated, the Subcommittee presented the following:

Conclusions

1. The manufacture of the new prototypes of the metre and the kilogram, the layout of the metres, the comparison of the new prototypes with those of the Archives of France, as well as the construction of the auxiliary apparatus and instruments necessary for these operations will be entrusted to the French Section of the International Commission, with the support of its Permanent Committee mentioned in the following article.
2. The Commission chooses a Permanent Committee that must work until the next meeting of the Commission, with the following organization and powers:
 - a) The Permanent Committee will be composed of twelve individuals who belong to different States; for their deliberations to be valid, at least the presence of five of their individuals is necessary; they choose a President and a Secretary; they meet whenever they deem it necessary and at least once a year.
 - b) The Committee directs and oversees the execution of the decisions of the International Commission concerning the comparison of the new prototypes among themselves, as well as the construction of comparators, balances and ancillary equipment that are to be used for these operations.
 - c) The Permanent Committee will execute the works indicated in above paragraph (b), with all the means at its disposal; for these works, it will have recourse to the work of the International Bureau of Weights and Measures whose founding will be recommended to interested nations.

- d) When the new types are manufactured and compared, the Permanent Committee will report all the work to the International Commission, which will sanction the prototypes before distributing them to the different nations.
3. The International Commission draws the attention of the interested governments about the great profits that the foundation in Paris of an International Bureau of Weights and Measures will report under the following basis:
 - 1st. The Establishment will be international and declared neutral.
 - 2nd. Its seat will be in Paris.
 - 3rd. It will be funded and maintained by the fees paid in common by all those States that adhere to the treaty creating the Bureau.
 - 4th. The Establishment will come under the International Metre Commission and will be overseen by the Permanent Committee, which will appoint its Director.
 - 5th. The International Bureau will have the following attributes:
 - a) It will be at the disposal of the Permanent Committee for comparisons which serve as the base for the verification of the new prototypes, of which the Committee is responsible.
 - b) The conservation of the international prototypes following the instructions of the International Commission.
 - c) The periodic comparison of international prototypes with national standards and with their copies that will be mentioned later, as well as standard thermometers as established by the International Commission.
 - d) The construction and verification of standards that other countries might request in the future.
 - e) The comparison of new metric prototypes with other fundamental standards employed in different countries and in the sciences.

- f) The comparison of standards and precision scales that might be sent for verification either by governments, by scientific societies or even by individual savants.
 - g) The Bureau will carry out all the work the Commission or its Permanent Committee asks of it in the interest of metrology and the propagation of the metric system.
4. The President and Secretary of the International Metre Commission is in charge of calling upon the French Government to take the necessary diplomatic steps to address to the governments of all the countries represented in the Commission, the request concerning the foundation of an International Bureau of Weights and Measures and to invite the aforementioned Governments to make a treaty to create by common agreement and as soon as possible the aforementioned scientific Establishment on the basis proposed by the Commission.

Before a vote could be taken on this proposal, Mr. General Marqués de Ricci, at the session of October 11th, requested the floor and read the following statement:

In the list of delegates of the different States represented in this Commission list that was read in the general meeting of September 24th, and inserted in the minutes, the Reverend P. Secchi is designated as representative of the Holy See. In accordance with this qualification, the Commission has granted P. Secchi with a vote in the voting by States.

Our Government, considering that the Holy See is nothing else than a spiritual power, and not a State in European public law, has just ordered my colleague and me not to take part in any act in which P. Secchi figure as a delegate of the Holy See.

We cannot consider P. Secchi, according to our orders, more than as a personal savant of high standing whose personal assistance and whose advice on scientific questions that the Commission will have to deal with, we consider ourselves very happy to have taken advantage of.

We declare, therefore, that we can no longer take part in any deliberation, as long as this situation persists.

The President expressed his feeling of not being able to consider this incident more than as an accomplished fact.

Mr. General Morin requested the floor and read the following:

“Gentlemen, I experience a feeling, which you will certainly share with me, knowing that two of our most eminent colleagues, who have given us so many evidences of their knowledge, their zeal and their benevolence, are obliged, in order to obey imperative orders, to separate from us”.

“I will not allow myself, on this matter, any reflection; but I cannot help but express the surprise and pain that I experience when I see that considerations extraneous to science come to invade and disturb its domain, at the very moment in which they carry out one of the most civilizing works”.

“We hope that this separation is not definitive and that in our first meetings our colleagues will come to take a seat again among us”.

The Subcommittee conclusions were put to the vote and unanimously approved.

Issue 17 on the Commission's Agenda

The determination of the weight of the cubic decimetre of water is considered one of the most delicate problems in the domain of the physical sciences, because it requires not only the most precise means to determine the expansion and the absolute values of the temperature and the dimensions of a body, solid on a regular shape, but also the exact knowledge of water dilation, the rigorous determination of the temperature of a large quantity of water, as well as the more delicate means of weighing hydrostatically. On the other hand, the need to provide entirely pure water and, above all, to evaluate the influence of the condensation of the liquid on the surface of the submerged body, a question that has not been raised up to now, further increase the difficulties of this problem.

Some members of the Subcommittee have believed, because of these difficulties that the determination of the weight of the cubic decimetre of water could be greater than that of the means available to the International Commis-

sion and the object proposed; that this problem should be solved by a single wise man. The majority has argued however, the need for this determination to be made by the Commission because this one, when adopting in its session of September 26th the kilogram of the Archives in its current state for obtaining the new prototypes, issued at the same time the opinion that the ratio between the new prototype of the kilogram and the weight of the cubic decimetre of water should be rigorously determined for the needs of science and also because the knowledge of this ratio, abstraction made of the great differences between the results obtained in different countries, do not meet the demands of exact science, since none of the determinations of this ratio provides the necessary data to fix even their probable error, and finally because the Commission will undoubtedly possess, to carry out their different jobs, comparators, scales, and ancillary equipment of the highest perfection, being therefore provided, better than any other scientific Establishment, of the most essential means for the work in question.

The Subcommittee has felt it necessary to limit it to a single general proposition, recording the results of its more special deliberations only in the form of news to carry out this research. These results are the following:

1. The best method to determine exactly the weight of a cubic decimetre of water seems to be the one that has generally been followed until now, which consists in measuring the external volume of a solid body and in later determining, by the hydrostatic method²⁵, the weight of the water that can dislodge when submerged in this liquid.
2. Of the three regular shapes the sphere, the cylinder or the cube, each one offers special advantages, either for the mechanical construction, or for the evaluation of its volume by linear measurements; but it seems that the cylindrical shape is the one that, for larger dimensions, offers greater ease of construction.
3. The surface of the bodies does not increase except with the square of the dimensions, while the volume verifies it to the third power, it is therefore necessary to recommend that a cylinder of sufficient volume (of ten litres, for example) be chosen for the definitive determination so that the condensation of the liquid on the surface has less influence

on the result. In any case it is desirable to evaluate this influence, even if it is approximately, making preliminary determinations with smaller bodies, but in different ways with the same volume and different materials.

4. Given the water expansion smaller when it is close to the maximum of its density and the change of weight of the submerged body being reduced to a minimum, as a consequence of a temperature change, when it is close to the one for which, for which the two dilations will be equal to each other, it seems preferable to weigh hydrostatically, thus deducting the ratio that was sought between one and another of these conditions. But as this way of weighing offers the best means to determine the expansion of water, whose law is not known with enough accuracy, it is desirable that for this object, the body be weighed in water at different temperatures between zero and thirty degrees Celsius. The rigorous knowledge of the water expansion law is not only necessary for the corrections that must be applied in the research in question, but is also essential for the determination of the specific weight of the kilogram.
5. The reasons that have just been presented have suggested to us the idea of doing, at the same time as this determination, a special research about the influence of the absorbed air on the specific weight of the water and that therefore it is convenient to decide if it should be weighed hydrostatically with water deprived of air or with which it is saturated with it.

Conclusion

The determination of the weight of the cubic decimetre of water must be made by the International Commission.

Open for discussion, Mr. Miller recalled the conclusions indicated by Schumacher. He expressed his opinion that it will be advantageous to use, as proposed by Gauss, a geometrical shape of greater dimensions, and also thinks that it would be preferable to approach the temperature for which the expansion of the water is the same as that of the cylinder; this should be hollow and not solid, as the recommendation of the Subcommittee seems to assume.

Mr. Baron Wreder added that the temperature referred to by Mr. Miller, in relation to brass, is that of nine degrees and that he also considers it as more convenient for the operations in question.

Mr. Govi noted that the proposal, written in a highly reserved form, leaves all the necessary laxity.

Mr. Wild stated that, as a result of some differences of view, among which it would be advisable to choose more maturely, the Subcommittee would have decided not to specify the details of execution. Regarding the drafting, he said that the word solid does not exclude the idea of a hollow solid.

The conclusion was put on the vote and adopted by twenty nine votes against three.

Issues 18, 19 & 21 on the Commission's Agenda

The question concerning the material of the kilogram is not very different from that concerning the metre, about which the International Commission has already pronounced itself. The Subcommittee has taken this resolution into account and has relied on some of the principles that decided the agreement regarding the metre.

What are the conditions that must be satisfied in the selection of the kilogram material?

1. It must be inalterable in the same degree as the material of the metre.
2. It is necessary that the kilogram displace the smallest possible quantity of air, i.e., the material must be as dense as possible
3. It is necessary that the material of the kilogram is at the same time hard, elastic and malleable: hard so that the frictions, although energetic, cannot remove material; elastic so that even if subjected to a shock or compression, it loses its primitive form as little as possible; malleable so that even if violently struck, it does not fracture into fragments.
4. Finally it is to be desired that the composition of the chosen material, differs as little as possible from that of the kilogram of the Archives that is trying to be exactly copied.

Once these conditions are admitted, let's see what are the substances that most naturally are suitable to our examination.

1st Quartz

Is quartz suitable for the manufacture of the kilograms? This question has been discussed in long and numerous sessions.

The Subcommittee has considered that the quartz density, 2.650, would make the volume of 1 kilogram 377.8 instead of 48.65 that the kilogram of the Archives has.

Now, resulting the weight in air into error causes dependent mainly on the variation of pressure, temperature and air composition, these weights will be more accurate the smaller the volume and surface of the kilogram. With regard to the comparison with an existing prototype, it is evident the advantage that the volume and area of the materials to be compared are rigorously identical.

Quartz, as a poor conductor of heat, expands unevenly under its influence and resets very slowly in equilibrium at room temperature, as Mr. de Jolly has observed. Bad conductor of electricity, it is electrically charged by the least friction. Although Mr Wild's experiments greatly reduced this cause of error, the observations of Messrs. Dumay²⁶, Boussingault and Stas, which have shown the influence of the glass electrification over the weights, still keep scruples in the mind of several members of the Subcommittee.

Mainly based on the small density of quartz and its fragility, it has not been accepted as a material for the construction of the kilogram. But considering the inalterability of this substance and the invariability of its weight in circumstances rigorously determined by Mr. Herr, it is thought that, in addition to the kilograms of platinum, others could be constructed of clean quartz for the States that request it.

2nd Glass

Glass, more fragile than quartz, very hygrometric and with low density, has been naturally excluded from the materials that can be used for the manufacture of kilogram.

3rd Metals

Metals that can be altered with air must be discarded, so then gold and platinum remain.

This one is preferable to the other for being denser in the ratio of 21.15 to 19.36, and because it is much harder. Pure platinum is, therefore, a material that can be used for the construction of the kilogram.

4th Alloys

The gold alloys could be adopted because of their inalterability and because after having conveniently prepared the metal it can be placed on the comparison scale without annealing it.

But the density of gold alloys is lower than platinum and its price is three times higher that of this one.

All these materials being excluded except platinum, it remains only to examine this metal and the platinum-iridium adopted by the International Commission for the construction of the metre.

The experiments that one of us and Mr. Troost have published show that at high temperature, pure platinum can be penetrated, with remarkable ease, by hydrogen gas. Nitrogen²⁷ also penetrates platinum but in an extraordinarily small amount. Mr. Graham has shown later that platinum and even palladium can retain hydrogen even at ordinary temperature. Would it not be feared, therefore, that pure platinum condense on its surface the elements or one of the elements of the air and even in the vacuum if it retained the gases absorbed after the suppression of ambient air? Mr. Regnault's experiences can reassure us about this, since he has shown that the expansion coefficient of the air is the same when measured by means of a balloon containing only air and in the same balloon after introducing in it a large number of thin sheets of platinum.

But the French Section, concerned with this matter, has made an even more decisive experiment with platinum-iridium.

A platinum-iridium cube, placed in the negative pole of a battery and in a voltmeter from which hydrogen was released, did not gain the smallest weight and its coefficient of expansion did not change. A palladium cylinder had gai-

ned a considerable excess of weight in the same circumstances and had even opened due to an increase in volume. Finally, Mr. Stas has reported in the Subcommittee the results obtained in conclusive experiences done with the most meticulous accuracy, and a large part of which has already been published.

He deducts from them that a kilogram of platinum treated with alcohol, cold water, boiling water, drying in a vacuum warming up to temperatures of 250 and 350 degrees, at red heat, but protected from the flames, and placed again on a scale with an accuracy of $\frac{1}{4}$ milligram, it again returns to its primitive weight determined in moist air at a temperature of 15 degrees. The same constancy has been observed when platinum heated protected from the flames, till losing its polish and cooled in the dry air, if you compare to platinum that had not undergone any of these modifications. The time taken for the equilibrium of the scale to be stable varied with the nature and number of the operations made with the platinum under observation; but in all cases, the primitive weight was definitely preserved with the accuracy that has just been indicated and after a sufficiently long time.

No other material except perhaps pure gold, could present such weight invariability under the same circumstances.

The following question remains to be solved: Should pure platinum be preferred to platinum-iridium alloy that is to be used for the construction of the metre?

It should be noted first that platinum of the kilogram of the Archives is not pure. It is an alloy very rich in platinum and in which there are considerable amounts of iridium that the Jannetty process introduces precisely, with palladium and rhodium in a very small proportion.

Is it closer, because of its composition, to the platinum of the kilogram of the Archives, the current one of the trade than the platinum-iridium adopted for the new metre? The analysis of the material of the kilogram would only allow answering this question; but this analysis cannot be carried out.

In the doubt we have to content with comparing the advantages of pure platinum and platinum-iridium, deciding on one of these materials, without giving a major importance to this choice.

1. The density of these two materials is exactly the same.
2. Platinum-iridium is as malleable and ductile as desirable, and pure platinum has the same properties. But platinum-iridium is much harder: the limit of the elasticity is such that even after violent hits the material takes its primitive disposition, whenever these shocks are distributed over a surface of a certain area. In other words: pure platinum would be deformed deeply while the more elastic material of all we know, platinum-iridium would not undergo any modification.
3. The price of the two materials is the same.
4. The use of platinum-iridium in the construction of the metre will make known for this material and in a very ingenious way, certain physical data that will not be useless to possess for the material of the kilogram and reciprocally. The unity of composition of these two prototypes, although not necessary in principle, can later present some advantages that it is prudent to foresee from today. The diversity of its composition cannot make any favourable circumstance.

Conclusions

1. The material of the international kilogram will be the same as that of the metre, that is, an alloy of platinum and iridium containing ten percent of the latter metal, with a tolerance of two percent in more or less.
2. The material of the kilogram will be melt into a single cylinder that will be submitted immediately to the heating and mechanical operations capable of giving the mass all the necessary homogeneity.
3. The shape of the international kilogram will be the same as that of the Archives of France, that is, a cylinder whose height will be equal to the diameter and whose edges are slightly rounded.
4. That a kilogram of quartz will be built for the States that request it.

After an extensive discussion in which Messrs. Wild, Baron Wrede, Foerster, Stas, Chisholm, Deville, Jolly, Tresca, Govi, and Herr took part, about the selection between the platinum-iridium and the quartz for the kilogram prototypes and of the advantages and disadvantages that the construction of the ki-

logram of quartz besides the types of platinum-iridium would present, the four conclusions were voted on separately, the first being approved by thirty votes against two: those of Herr and Wild. The second and third were unanimously approved and the fourth was also deleted unanimously.

Issue 23 on the Commission's Agenda

The problem that has to be solved is to determine the most convenient method to compare the new kilograms and find their value with the greatest precision.

This question is divided into four parts.

1. Balances and instrumentation for weighing.
2. Determination of the volume of the kilograms.
3. Determination of its weight in vacuum in relation to that of the kilogram in the Archives.
4. Details about how to operate.

It is evident that for the operations it is necessary to make use of several balances of the best construction that can give the most satisfactory results.

- Balance of Deleuil²⁸ with a resolution of 1 milligram.
- Balance of Bianchi²⁹ with a resolution of ½ milligram.
- Balance in vacuum³⁰, of Deleuil.

In addition, Mr. Miller, who has been invited by the Subcommittee to assist them with his experience on the balance, has proposed that Barrow's, used by him for the weight of the English and French prototypes, be made available to the International Commission.

Mr. Herr, who has a balance of excellent construction, coming from the workshops of Dr. Steinheil, and Mr. Jolly have promised to make their balances available to the Implementation Committee. Whenever it considers convenient, it will make use of other balances that it orders to build in such a way that the most satisfactory results can be obtained.

To determine the volume of kilograms, the hydrostatic method is the most accurate and can be used whenever possible. But there are serious objections to the immersion in the water of the kilogram of the Archives, before determining the operations, because of the porosity that maybe the metal has in some of its points. On the other hand its volume is sufficiently known. The Conservatory of Arts and Crafts has a Gambey comparator that has been used to measure the volume of the prototype. The average value of the determinations made by Olufsen in 1814, by Gambey in 1817 and by Steinheil in 1845, is cited in the report of Mr. Miller about the construction of the English pound prototype, being the volume of the prototype, at zero degrees centigrade, equal to 48.665 cm^3 . Later the volume of the prototype has been determined by the Commission, that in 1860, Messrs. Brix, Le Verrier, Morin and Regnault were part, having found the value of 48.6724 cm^3 . In 1864 it has been valued in 48.7544 cm^3 by the Commission of the Ministry of Agriculture and Commerce.

The way to determine in vacuum the weight of the new kilograms in relation to the kilogram of the Archives, has been the subject of a very close discussion.

Our colleague Mr. Stas has proposed to construct as batons two kilograms of platinum, as much as possible of the same volume and of the same weight that of the Archives, determining with the greatest precision their equations in relation to this one and to each other; that the volume of these two batons is determined by the hydrostatic method and that the new kilograms are compared, in the air and in vacuum, with one of these batons and with each other, reserving the other to check the results of these comparisons.

This proposal, unanimously accepted in the Subcommittee, is greatly facilitated by the fact that the Conservatory of Arts and Crafts owns two kilograms of platinum that were built for the same purpose in 1863. The volume of the kilogram number 1, determined with the Comparator of Gambey, is equal to 48.6729 cm^3 and its weight was greater than the kilogram of the Archives in vacuum, being 0.72 mg the difference, according to the minutes of April 16, 1864.

It is nevertheless felt that the latest comparisons of each of the new kilograms should be made in the air directly with that of the Archives, since it

is not convenient to place this prototype in vacuum before having finished all the operations. After having chosen one of the new types as international kilogram, the value of all the others will be determined and will be stated by its equation with it.

Regarding the procedure that should be used for weighing, there have been in the Subcommittee supporters of the two methods, one called of substitution with counterweight, known as Borda and always used in France and the other called of alternation or Gauss³¹, changing the prototypes from one to the other side of the balance used in England except for hydrostatically weighing. Both should be used and then judged by the results obtained. In the first case, the counterweight must be of the same material as the kilogram that is compared and, as much as possible, of the same volume.

Conclusions

1. The balances that must be used are not only those that could be provided by the establishments and people who own them, but also a new balance constructed according to the conditions for the highest precision.
2. The volumes of all kilograms will be determined by the hydrostatic method; but the kilogram of the Archives of France will not be submerged in water nor placed in vacuum before the operations are finished.
3. To determine in vacuum the weight of the new kilograms in relation to that of the Archives of France, two auxiliary kilograms will be used, if possible of the same weight and the same volume that of the Archives, following the method indicated by Mr. Stas. Each of the new kilograms will be compared in the air to the kilogram of the Archives.
4. Finding that it is the international kilogram, all others will be compared in the air and in vacuum to determine their respective equations.
5. To this aim the methods of alternation and substitution with counterweight of the same material will be used.
6. The equations relative to weight losses in the air will be made with the most accurate and best-discussed scientific data.

Open to discussion on each and every one of the conclusions and after some observations of Mr. Weld answered by Messrs. Chisholm and Broch the first two propositions were unanimously approved; the third one by all votes except one and the last three ones unanimously.

Conservation of the standards and guarantee of the invariability

The Subcommittee has met several times and reviewed some of the questions for which it was commissioned to study.

Such questions are so important that most of them couldn't be definitively solved without an in-depth debate that would have also needed the support of special expertises and, overall, the knowledge of certain physical and mechanical data that couldn't be certainly obtained without the performance of the procedures, the construction, studies on thermal expansions, the effects of vibrations and other unforeseen circumstances.

In this context, the Subcommittee has advised that, setting as a principle that no ways of conservation or guarantee of invariability of the prototypes would be out of using in order to ensure a future value to the papers, any final decision should be reserved for another general meeting, when the different results and the standards leading to the most complete uniformity of the metric dimensions will be endorsed.

The Subcommittee has reviewed several proposals from our colleague Mr. Hirsch related to the swinging of the pendulum and the measurement of several well-chosen bases of comparison, but in agreement with him, these questions are reserved for further debate, focusing only in the construction itself or the procedures that have been presented, either as obvious facts or in the form of experiments that should be performed. Therefore the Subcommittee intentionally sets out a non-exhaustive but useful rapport at the present status.

Conclusion

The Commission states that the international metre standard must be accompanied by four identical metre bars preserved like it at a temperature the

least variable possible; another identical metre bar must be kept as an experiment at invariable temperature and in vacuum; there will be placed for establishing quartz and beryl batons, comparable at all times to the entire metre bar in whole or by fractions. These main means of testing and conservation, recommended from this moment, are not all that should be used; the Commission may decide better on this, when the prototypes are terminated and validated by it, because it will also be possible to obtain more precise information on the practical conditions in which it would be desirable to keep the prototypes in each of the countries concerned, so that they always had all their authority in the future.

After some slight comments, the Commission unanimously approved the proposal of the Subcommittee.

In addition, of the thirty-five issues submitted to the preliminary study of the different Subcommittees, the International Commission directly took five agreements that complete the number of forty grouped below according to the different matters to which they refer.

1. Considering that the International Metre Commission is called upon to indicate the provisions aimed at giving the metric system of weights and measures a truly international character; that the unit of weight and measure cannot be obtained in a rigorous and satisfactory manner for the needs of the sciences and the arts, but with the condition that all countries that have adopted the metric system possess prototypes of equal value and identical construction perfectly comparable and rigorously compared: the International Metre Commission decides that it will build as many identical prototypes of metre and kilogram as the interested States claim; that the Commission should compare all these prototypes and establish their equations with all possible accuracy; that one of these metres and one of these kilograms will be chosen as international prototypes, in relation to which the equations of all the others will be expressed; and finally, that the other prototypes, thus constructed, will be distributed indiscriminately among the different States concerned.
2. For the construction of the international metre, the metre of the Archives of France in its current state is taken as starting point.

3. The Commission declares that in view of the current state of the platinum metre bar placed in the Archives of France, it thinks that the new international line metre can be deduced for sure from it. This opinion needs to be confirmed by the results of the different comparison procedures that can be used in this work.
4. The equation of the international metre will be deduced from the current length of the metre of the Archives of France, determined by means of all the comparisons made by the different procedures that the International Metre Commission be in a state of use.
5. While it is decided that the new international metre must be a line-standard and that all countries receive identical copies built at the same time as the prototype, the Commission must then build a certain number of end standard prototypes for the nations that have requested; and the equations of these metres in relation to the new line standard prototype will also be determined by the International Commission.
6. The international metre will have the length of the metre at zero degrees centigrade.
7. For the manufacture of the metres an alloy of ninety parts of platinum and ten of iridium will be used with a tolerance of two percent in more or less.
8. With the ingot coming from a single melting and by means of the procedures used in the manufacture of metals, metre bars will be constructed whose number will be determined by the International Commission.
9. These metre bars will be annealed for several days at the highest temperature so that after they do not have to suffer more than small mechanical actions.
10. The platinum-iridium bars on which the line standard metres should be engraved will have a length of 102 centimetres and their cross section will have the shape of an X whose jambs are joined by a horizontal ruler (see figure), presenting thus its neutral plane visible to the effects of the curvature that could be produced by bending, or by the momentary

differences of temperature between the lower and upper surfaces. The end marks must be engraved on this plane.

11. The bars intended for the construction of end standard metres will have an analogous but symmetrical cross section in the vertical direction, the endings will be spherical with a radius of curvature of 1 metre.
12. During all the operations that should be carried out with the metre prototypes, these will be supported, according to the Bessel system, on two rotating cylinders; but for their conservation they will be placed in conveniently arranged storage cases.
13. Each of the international metres will be accompanied by two mercury-in glass thermometers, isolated, and carefully calibrated against an air thermometer. It is considered essential that these thermometers are calibrated several times in the course of time against an air thermometer, to take into account their variability.
14. To determine the coefficient of expansion of platinum-iridium to be used in the construction of the metres, Mr. Fizeau's procedure will be used.
15. Prototypes will be subjected to the best procedures by means of which the absolute expansion coefficients of the whole metres can be determined. These experiences will be done separately, at least at five different temperatures between zero and forty degrees.
16. The relative comparison of the prototypes must be executed at least at three temperatures between these same limits.
17. The Commission decides that two devices will be built, one of longitudinal movement for the tracing of metres, and the other of transverse movement for comparison.
18. The comparisons will be made by immersing the new prototypes in a liquid and in air, but without submerging the metre of the Archives of France in any liquid before finishing the operations.
19. The tracing of the line standard metres and in first comparison with the metre of the Archives of France will be carried out, firstly by the procedure proposed by Mr. Fizeau³² which consists of observing at the

same time and at each ending of the metre a very thin tip placed near the edge and the image of the same tip reflected by it.

20. For the determination of the equations of the different types, all known means of comparison will be used, that is, according to the cases, whether they are probes of different shapes, either the method of Messrs. Airy and Struve, or the method of Messrs. Stambart and Steinheil.
21. The equations between the metre of the Archives of France and the international end standard metre, as well as the equations between the other prototypes and the international metre, will be determined by the discussion of the results of all these observations.
22. The operations will be done in reverse, starting from the international metre for the construction of the end standard prototypes that the different nations request.
23. Considering that the simple ratio established by the authors of the metric system between the units of weight and volume is represented by the current kilogram in a manner sufficiently accurate for the uses of industry and commerce, and even for most of the ordinary uses of science; whereas the exact sciences do not have the same need for a numerically simple ratio but for a determination as perfect as possible of this ratio; considering lastly the difficulties that a change of the current unit of metric weight would bring, it is decided that the international kilogram will be deduced from that of the Archives of France in its present state.
24. The international kilogram would be referred to weighing in vacuum.
25. The material of the international kilogram will be the same as that of the metre, that is, an alloy of platinum and iridium containing ten percent of the latter metal, with a tolerance of two percent in more or less.
26. The material of the kilogram will be melt in a single cylinder that will be submitted immediately to heating and mechanical operations capable of giving their mass all the necessary homogeneity.
27. The shape of the international kilogram will be the same as that of the Archives of France, i.e. a cylinder whose height is equal to the diameter and whose edges are slightly rounded

28. The determination of the weight of the cubic metre of water must be made by the International Commission.
29. The balances that must be used are not only those that could be provided by establishments and people who own them, but also a new balance built according to the conditions of the highest accuracy.
30. The volumes of all the kilograms will be determined by the hydrostatic method, but the kilogram of the Archives of France will not be submerged in water nor placed in vacuum before finishing the operations.
31. To determine in vacuum the weight of the new kilograms in relation to that of the Archives of France, two auxiliary kilograms will be used, if possible of the same weight and the same volume that of the Archives, following the indicated method by Mr. Stas. Each of the new kilograms will also be calibrated in the air against the kilogram of the Archives.
32. Once the international kilogram is constructed, all the others will be calibrated against it in air and in vacuum in order to determine their respective equations.
33. For this purpose the methods of alternation and substitution with counterweight of the same material, will be used.
34. The corrections related to weight losses in air will be made with the most accurate and best-discussed scientific data.
35. The manufacture of the new prototypes, both metre and kilogram, the lines on the metre prototype, their calibration against the standards of the Archives and the construction of all the apparatus and instruments necessary for these operations would be entrusted to the French Section of the International Commission with the support of its Permanent Committee mentioned in next article.
36. The Commission chooses a permanent Committee that must function until the next meeting of the Commission, with the following organization and powers:
 - a) The Permanent Committee shall consist of twelve individuals who all belong to different nations; for their deliberations to be valid it

is necessary, at least, the presence of five of their individuals; it will choose its President and its Secretary; meets whenever he deems necessary and at least once a year.

- b) This Committee would direct and oversee the execution of the decisions of the International Commission concerning the comparison of the new prototypes among themselves as well as the construction of comparators, balances, and ancillary equipment.
 - c) The Permanent Committee will execute the works indicated in paragraph (b) above with all the means at its disposal; for these works, it will recourse to the International Bureau of Weights and Measures whose founding will be recommended to the nations concerned.
 - d) When the new prototypes are constructed and calibrated, the Permanent Committee will report all the work to the International Commission, which will sanction the prototypes before distributing them to the different nations.
37. The International Commission draws the attention of the interested governments, about the great utility that the foundation in Paris of an International Bureau of Weights and Measures would have under the following bases:
1. The establishment will be international and declared neutral.
 2. Its set will be in Paris.
 3. It will be funded and maintained by the fees paid in common by all those States that adhere to the treaty creating the Bureau.
 4. The establishment will come under the International Metre Commission and will be overseen by the Permanent Committee which will appoint its Director.
 5. The International Bureau will have the following attributes:
 - a) It will be at the disposal of the Permanent Committee for comparisons which serve as the base for the verification of the new prototypes, of which the Committee is in charge.

- b) The conservation of the international prototypes following the instructions of the International Commission.
 - c) The periodic comparisons of international prototypes with national standards and with their copies as well as standard thermometers as established by the International Commission.
 - d) The construction and verification of standards that other countries might request.
 - e) The comparison of new metric prototypes with other fundamental standards employed in different countries and in the sciences.
 - f) The comparison of standards and precision scales that might be sent for verification either by governments, by scientific societies or even by individual savants.
 - g) The Bureau will carry out all the work the Commission or its Permanent Committee asks of it in the interest of metrology and the propagation of the metric system.
38. The Bureau of the International Commission is in charge of addressing the French Government so that it may communicate through the diplomatic channel to the Governments of all the countries represented in the Commission the request of the latter, regarding the foundation of an International Bureau of Weights and Measures and to invite the aforementioned governments to make their treaty to create, by mutual agreement, and as soon as possible, the referred scientific establishment, under the bases proposed by the Commission.
39. The Commission is of opinion that the international prototype must be accompanied by four identical metre bars preserved like it at a temperature as little variable as possible, another identical metre bar should be preserved as an experiment at invariable temperature and in vacuum; there will be a place to establish quartz and beryllium batons, comparable at all times to the whole ruler, in whole or in fractions. These main means of checking and conservation, recommended from this moment, are not all those that should be used; the Commission may

decide better on this when the prototypes are terminated and approved by it, because then it would have been possible to collect more precise data on the practicable conditions in which it would be desirable to maintain the prototypes in each of the countries concerned, so that they always had all their authority in the future.

40. The Commission asks the French Government, in the interest of geodetic science, to command to measure again, in due time, one of the old French geodetic bases.

At the twelfth and final session, the Commission proceeded to elect its Permanent Committee by secret ballot; being elected, in the order of the number of votes obtained, the delegates whose names appear below:

Unanimously	
Messrs.	
Foerster	Director of the Berlin Observatory; Delegate by Germany.
Ibáñez	Brigadier, Director of the Spanish National Geographical Institute; Delegate by Spain
By absolute majority	
Bosscha	Inspector of Secondary Education; Delegate of Netherlands
Herr	Professor of Geodesy and Astronomy; Delegate of Austria
Wild	Director of the Physical Observatory at Saint Petersburg; Delegate of Russia
Baron Wrede	Lieutenant-General; Delegate of Sweden
Hilgard	Inspector of Weights and Measures; Delegate of United States.
Morin	Lieutenant-General; Delegate of France
Chisholm	Warden of Standards; Delegate of England
Broch	Professor at the University of Cristiania; Delegate of Norway
Stas	Member of the Royal Academy; Delegate of Belgium
Husny-Bey	Military Attaché; Delegate of Turkey

Suspended the session in order to establish the Permanent Committee, it was reopened an hour later and Mr. Bosscha stated that the Committee had been constituted, having elected Brigadier Ibáñez as President and Mr. Boss-

cha as Secretary; that it had already occupied some of the most urgent matters and that it would continue its work according to the bases laid down by the International Metre Commission.

Madrid, October 31st, 1872

The Director of the Institute, Delegate of Government Carlos Ibáñez

Notes and technical comments

- 1 This report was published and disseminated among Spanish scientific institutions between 1872 and 1874 under the title “Summary of the work of the International Metre Commission”, and an excerpt of it was read by Ibáñez at the session of the Academy of Sciences on October 21st, 1872.
- 2 The International Metre Commission met for the first time in Paris between 8th and 13th August 1870. The war situation in Europe forced the sessions to be suspended until September 1872, at the Conservatoire des Arts et Metiers, Paris.

Source: CEM. International Geodetic Association and International Metre Commission files. Doc 14: Letter from Carlos Ibáñez to the Director General of Statistics, 3rd July 1872.

- 3 General Ibáñez Ibero referred to himself as “brigadier”. The rank of brigadier did not correspond to that of general, being an intermediate rank between colonel and field marshal. However, after a series of changes, in 1871 the brigadiers were confirmed as general officers and in 1889, through an Additional Law to the Constitutive Army Law, they were recognised as brigadier generals. This rank filled the gap between colonel and field marshal, the latter being renamed major general in the same law.

Ibáñez was promoted to colonel on September 13th, 1864, to brigadier on November 10th, 1871, and to field marshal on January 23rd, 1877. The proceedings of the International Metre Commission took place from September 24th to October 12th, 1872, when Ibáñez was a brigadier but not yet a field marshal, and therefore not yet a general.

Source: The Brigadier: An Atypical Rank in the Spanish Generalship of the 18th and 19th Centuries by Francisco Ángel Cañete Páez.

- 4 Julius Erasmus Hilgard.
- 5 Metre ‘des Archives’ manufactured by Etienne Lenoir. Kilogram ‘des Archives’ made by Nicolas Fortin. On 6th June 1799, the first definitive prototypes of the metre (mètre des Archives) and kilogram were made in platinum. The definition of the metre was chosen as the

ten-millionth part of the length of a quarter of the Earth's meridian passing through Paris and linking Dunkirk with Barcelona. The metre of the archives, represented by a rod, was a 'rule of edges'; its flat ends, parallel to each other, were polished to a mirror finish to facilitate the operations of comparison, which were carried out using optical instruments, with the other metric rods or with those representing submultiples.

The kilogram had a mass equal to the mass of 1 dm³ of water at its maximum density, at approximately 4°. The platinum standards for the metre and the kilogram were deposited in the National Archives on 4th Mesidor of the year VII (22nd June 1799) in what is commonly considered to be the founding act of the metric system.

- 6 The first issue is not technical, but it is fundamental, as it defines the rules of the game in voting.
- 7 Forged platinum is almost as white as silver, shiny, very ductile and malleable, and its density is 21.53 g/cm³. It is infusible in a forging fire, but melts easily under a gas torch; however, when exposed to red-hot temperatures it softens sufficiently to be forged and welded like iron. Oxygen and air have no effect on it at any temperature. The inalterability and infusibility of platinum make it highly valuable for the manufacture of surgical and chemical instruments, and it is also used to make the breech of rifle barrels, and to line the interior of the cups.

Source: Programa de Física y Nociones de Química, D. Venancio González Valledor y D. Juan Chávarri, Madrid 1848, Library of the Univ. Complutense (Madrid). Ref. X-53-319267-S.

- 8 Antonio de Ulloa is credited with the 'discovery' of platinum, which he described in his report as follows: '... in the Choco region, there are many placer mines, similar to the ones just explained. Some of these mines contain platinum, which is wrapped in gold along with other metallic components, juices, and stones. To extract its benefit, mercury is necessary, and there may be minerals where platinum (a stone of such resistance that it is not easily broken or crushed by the force of a blow on a steel anvil) causes them to be abandoned. Neither

calcination nor any method can overcome its hardness to extract the enclosed metal, except at great expense and effort' (Ulloa, 1748). The peculiar mineral 'platinum' did not arouse much interest at the time because it was associated with gold, which was the highly prized metal of that era. One of the earliest experiments to obtain platinum was conducted around 1750 by Charles Wood (1702-1774), who found the fusion of the mineral challenging, leading to the development of multiple techniques.

Source: El platino: contribuciones sociohistóricas y científicas desde el siglo XVIII. Part I. Andrea Aristizábal-Fúquene.

- 9 Lenoir manufactured the first comparator used for the construction of the meter; later, this device was successively improved by Fortin and Gambey. Subsequently, in 1851, Froment, a precision instrument engineer, created a different one to meet the requirements set by the Spanish government for his commission. Although more economical in construction, it maintained the desired precision. This comparator allowed for the comparison of both line and edge metre to the nearest thousandth of a millimetre, and also for marking on a ruler, with a precision of a thousandth of a millimetre, the exact length of the meter, or longer lengths of several decimetres, or shorter ones.

Source: Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 50 Année, Paris, 1851, Library of the Univ. of California.

- 10 It is a robust microscope with a single objective, featuring a horseshoe-shaped stand
- 11 Camille Sebastien Nachet (1799–1881) was a Parisian optician from the early 19th century. He began making optical instruments with Chevalier but later set up a small workshop at 16 Rue Serpente, Paris. The first microscopes he made were based on drum-type models. He was succeeded by his son, Jean Alfred Nachet (1831–1908). Nachet was recognized, along with Chevalier and Oberhauser, as one of the leading microscope manufacturers of his time in Paris.
- 12 Ibáñez is aware not only of hysteresis but also of other additional phenomena, perhaps unknown and certainly incalculable.

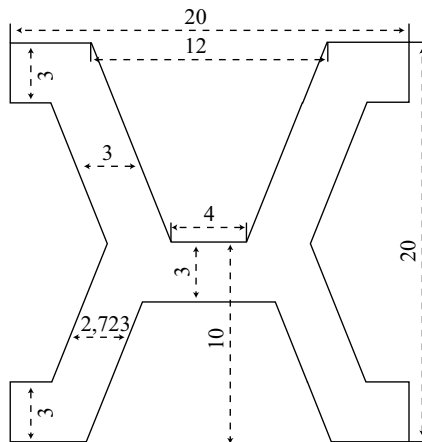
- 13 An old French unit of length, equivalent to 1.946 m.
- 14 Jannetty is cited in “A treatise on chemistry de Roscoe, Henry E” for his Works with platinum.
- 15 Jean Charles Borda (1733–1799), mathematician, engineer, physicist, navigator, astronomer, and politician. He collaborated with the astronomers Méchain and Delambre in the campaigns to measure the meridian arc between Dunkirk and Barcelona, which the establishment of the initial standard metre.
- 16 Given the terrain, the measurement of the meridian quadrant between Dunkirk and Barcelona for the determination of the metre could not be done in a straight line but by triangulation. The method consists of constructing a network of triangles (115 in total) covering the meridian and having a common side with each other. Their vertices are points that are visible from one another (such as bell towers, hilltops, etc.). It is necessary to measure the length of one side of the triangle that lies on relatively flat ground. The angles of the triangle are measured by observation, and using trigonometric calculations, the length of all sides of the triangle is determined, and by projection, the real distance is obtained.

Borda rulers, developed by Etienne Lenoir, were used for the measurement, consisting of two linked rods (one of bronze and one of platinum), in order to calculate the variation of the length of the ruler due to expansion during temperature changes. The rulers were adjusted to the toesa and measured 12 feet (approx. 4 m). To measure angles, Delambre and Méchain used the repeating circle invented by Borda and Lenoir. The principle of the repeating circle is to be able to repeat as many times as desired the same measurement without returning to zero, so that the error decreases with the number of readings, which are sometimes repeated more than a hundred times.

- 17 Precision instrument for accurately measuring small vertical distances. It consists of a vertical rod, rigidly mounted on a tripod, and a horizontal telescope, placed on a carriage which can be slid along the bar by means of a rack and pinion mechanism. The difference in hei-

ght between two points is calculated by separate readings of the two levels. The telescope is raised or lowered until its reticle coincides over one of the points to be measured and the telescope level is then read on a vertical scale marked on the bar using a vernier (see Vernier, Pierre) attached to the carriage. To ensure that the bar is exactly vertical and the telescope perfectly horizontal, certain bubble levels and regulating screws are used. A cathetometer can be used, for example, to determine the difference in liquid levels in the two branches of a manometer or in the calibration of a barometer. The barometer to be calibrated is placed in a closed chamber with a reference instrument and with the cathetometer the mercury levels in both instruments are established for a series of pressures produced in the chamber. The accuracy of the apparatus is then determined by comparison.

- 18 Jean Baptiste Joseph Delambre.
- 19 Johann Jacob Baeyer.
- 20 Section of the International Prototype and national standard metres:



- 21 The edge standards are supported on the Airy points (0.211 L from the ends), so that their end faces remain parallel, making the measurand unique. However, the line standards are supported on the Bessel points (0.22 L from the ends), in order to minimise the deflection of

the standard and to keep it in focus during calibration, which is usually performed by optical methods.

- 22 A device which measures the temperature of an enclosed space by means of variations in the pressure or volume of air contained in a bulb placed in the space (Spanish Royal Academy of Engineering). This thermometer refers to the constant-volume hydrogen thermometer. At the end of the 19th century, for the comparison of its length standards, the International Bureau of Weights and Measures needed a temperature scale. For several years, Chappuis' work on this problem and his investigations ended in 1887 with the adoption by the International Committee of Weights and Measures of the centigrade scale of the constant-volume hydrogen thermometer as the standard thermometric, which had as fixed points the temperature of melting ice (0 °C) and boiling distilled water (100 °C) at normal atmospheric pressure, with the hydrogen at an initial pressure of 1 000 mmHg, i.e. at a fraction of $1\,000/760 = 1.3158$ of normal atmospheric pressure. This scale was very well defined, specifying the gas, the filling pressure and the mode of expansion, but it was arbitrary, although based on the pressure variations of the most perfect gas known at the time, so that its indications were expected to be very close to the thermodynamic (absolute) temperature. Soon, Berthelot's work allowed the measurement of thermodynamic temperature using the gas thermometer with correction curves. This initial scale had some drawbacks; it was limited to the range of 0 °C to 100 °C, and its transfer was difficult. Work was done with the help of mercury thermometers that were directly compared with the gas thermometer, but despite the craftsmanship of artisans like Tonnellot and Baudin, they individually defined slightly different scales. This scale was legalized in France by the law of April 2nd, 1919, and supplemented by the decree of June 20th, 1919. The main unit was defined as the centigrade degree (not centesimal to avoid confusion with the angular unit). This scale was the origin of subsequent thermometric scales used for the realization and dissemination of the temperature unit.
- 23 Four mercury column thermometers with their corresponding calibration certificates are kept in the Permanent Collection of Weights and

Measures of the Centro Español de Metrología. These thermometers were built by Jules Tonnelot, a renowned manufacturer of high-precision meteorological instruments.

- 24 The Jannetty process, considered the best method for obtaining malleable platinum, is as follows: Crush common platinum with water to remove any contaminants it may contain. Mix the platinum with about one-fifth arsenious acid and one-fifteenth potash in an appropriate crucible. After thoroughly heating the crucible and the furnace, add one-third of the mixture and apply strong heat, then add another third. After applying more heat, add the final portion of the mixture. After a complete melting of the whole, cool and break the mass. Then melt it a second time, and if necessary, even a third time, until it is no longer magnetic. Break it into small pieces and melt them in separate crucibles, in portions of one and a half pounds in each crucible, with the same amount of arsenious acid and half a pound of potash. After cooling the contents of the different crucibles in a horizontal position to obtain uniform thickness, heat them in a muffle to volatilise the arsenious acid, and maintain them in this state, without adding heat, for six hours. Then, heat them in oil until it has evaporated completely, immerse them in nitric acid, boil them in water, heat them to a red-hot state in a crucible, and hammer them into a dense mass. Finally, heat the mass with an open flame and hammer it into a bar shape for commercial purposes.

Source: System of theoretical and practical chemistry, Volume II, Philadelphia 1808, Friedrich Christian Accum, Univ. of Michigan Library.

- 25 The hydrostatic weighing method (based on Archimedes' principle: "Any body immersed in a fluid experiences an upward buoyant force equal to the weight of the fluid displaced") is used for the most accurate density measurements. It consists of alternately measuring the buoyant force experienced by a solid in air and in a liquid using high-accuracy balances. From the ratio of the two buoyant forces it is possible to determine the density of the liquid (if the density of the

solid is known) or the density of the solid (if the density of the liquid is known).

- 26 Jean Baptiste Dumas.
- 27 Nitrogen: a colourless, transparent, tasteless, odourless gaseous metalloïd that makes up 78 % of atmospheric air. However, it is not suitable for respiration or combustion. It is an essential element in the composition of living things.
- 28 Louis-Joseph Deleuil was one of the most outstanding precision instrument makers of his generation. His company was particularly recognized for the manufacture of weighing instruments. His masterpiece is an equal-arm balance with a weighing capacity of 5 kg on each weighing pan and a 1-milligram scale, which he built for the Conservatoire National des Arts et Métiers. He is credited with creating affordable analytical balances that were used by chemists of the time. He also set up a factory for the production of weights and measures in the Decimal Metric System to be distributed throughout France.

Source: Constructeurs d'instruments scientifiques pour les établissements publics au XIXe siècle.

- 29 Barthélémy-Urbain Bianchi was a French instrument maker who studied under Gambey before founding his own company. Among his creations were a vacuum pump, an anemometer, and an instrument for determining the density of gunpowder. He also developed systems to improve precision balances. Bianchi's company partnered with the Collot brothers' company, which specialized exclusively in the manufacture of precision balances. This collaboration enabled the comparison of the first three prototypes of the platinum-iridium kilogram with the kilogram from the Archives of France in 1879 and 1880, conducted in the Méridien Room of the Paris Observatory. This was achieved using a trolley to transport masses across platforms, employing a remote control system without clamps.
- 30 This vacuum balance was based on a 3 kg capacity balance with a resolution of 5 milligrams, to which an iron casing with windows was

added to create a vacuum. The reading of the indication was done using a telescope, and the balancing of the arm could be adjusted using a lever.

Source: Balances: Instruments, manufacturers, history. Erich Robens, Shanath Amarasiri A. Jayaweera, Susanne Kiefer.

- 31 There are two double weighing methods for comparing two mass standards. One method, known as the Borda method and generally used in France, is that of substitution. In this method, one of the masses to be compared is first weighed against a counterweight placed on the other pan of the balance. Then, the other mass is weighed in the same way. The difference between the resting midpoints of the indicator needle in these two weighings shows the difference between the two masses in scale divisions.

The second method, known as the Gauss method (though it was first invented by Father Amiot), is now generally used in England and Germany except for hydrostatic weightings. This is the alternation method. In this method, the two masses are compared directly against each other (one on each pan of the balance), and then the weightings are repeated after swapping the masses. In this method, no counterweight is required, and half the difference between the resting midpoints of the index needle indicates the difference between the two masses in scale divisions.

Source: On the Science of Weighing and Measuring, and the Standards of Weight and Measure. H. W. Chisholm. Nature volume 9, pages 47–49.

- 32 Fizeau, by counting interference fringes, measured the expansion of the material between two given temperatures.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA
Y TURISMO

CEM CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

Calle de Alfar, 2 • 28760 Tres Cantos, Madrid

Teléfono 91 807 47 00

cem@cem.es • www.cem.es

