

# Comparación internacional de cinco magnitudes eléctricas

# *International comparison of five electrical quantities*

Felipe Hernández, René Carranza.  
Centro Nacional de Metrología (CENAM)  
Carretera a Los Cués km 4,5, El Marqués, Querétaro C.P 76241 - México  
[rcarranz@cenam.mx](mailto:rcarranz@cenam.mx)

## Resumen

Entre Marzo de 1997 y Abril de 1998 por iniciativa del Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) de la República Federal de Alemania, se llevó a cabo una comparación internacional en magnitudes eléctricas entre el PTB y varios laboratorios nacionales de metrología (LNM) de Latinoamérica. Como patrón viajero se utilizó un patrón de transferencia multifunciones marca Wavetek, modelo 4950, el cual fue medido por cada uno de los participantes en las magnitudes de tensión en corriente continua y alterna, intensidad en corriente continua y alterna, y resistencia eléctrica en corriente continua. El PTB ya ha presentado un informe sobre esta comparación [1].

## Abstract

*From March 1997 to April 1998, by initiative of the Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) of Germany, an international comparison for electrical quantities was carried out by the PTB and several National Metrology Institutes (NMI) of Latin America. As traveling standard, a Wavetek model 4950 multi function transfer standard was used and was measured by each participant for the following electrical quantities; DC voltage, AC voltage, DC current, AC current and DC resistance. The PTB has already submitted the report on this comparison results (1).*

## LABORATORIOS PARTICIPANTES Y CONTACTOS TÉCNICOS PARTICIPATING LABORATORIES AND TECHNICAL CONTACTS.

INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial Centro de Investigación y Desarrollo en Física (CEFIS) San Martín, Provincia de Buenos Aires, ARGENTINA R. García, J. Cioffi, M. Porfiri
CEFIS	Physics Research and Development Center. San Martín, Province of Buenos Aires, Argentina. R. García, J. Cioffi, M. Porfiri
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial Xerém, Duque de Caxias, Río de Janeiro, BRAZIL E. Afonso, J.R. da Silva, F.C. Ignácio, J.B. Femandes
SICICCCM	Superintendence of Trade and Industry, - Quality Control and Metrology Center, Santafé de Bogotá D.C., COLOMBIA O.C. Cedeflo, A. Martinez, H. Ferreira, R. Ortega
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig and Berlín, Germany, ALEMANIA H. Eckardt, G. Schliestedt, W. Schollmeier
ICAITI	Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial Guatemala C.A., GUATEMALA E. Alvarado B. Girón, O. Loesener, N. Prado
CENAM	Centro Nacional de Metrología Querétaro, MÉXICO D. Avilés, C. Sánchez, M. G. Alatorre, S. Campos, R. Carranza

## Objetivos de la comparación

Por varios años el PTB ha apoyado a los LNM de Latinoamérica en el marco de diversos proyectos de cooperación técnica. Este apoyo se ha ofrecido principalmente, mediante la donación de equipamiento de laboratorios y entrenamiento de personal en la realización, reproducción, mantenimiento y diseminación de magnitudes físicas. En particular, una de las tareas más importantes de estos proyectos en el campo de las magnitudes eléctricas ha sido encaminada a la reproducción del volt y del ohm como base de las magnitudes eléctricas. La comparación descrita permite observar las capacidades de medición de los LNM de Latinoamérica, las cuales pueden reflejar, en un momento dado, los beneficios del apoyo brindado por el PTB.

Los laboratorios estuvieron motivados en participar en la comparación con el propósito de:

- Verificar que sus mediciones realizadas en una calibración son correctas.
- Comparar las capacidades de medición de los laboratorios participantes.
- Mejorar la confianza de sus capacidades metrológicas y de calibración.

## Organización de la intercomparación

### 1 Patrón de transferencia multifunciones Wavetek, modelo 4950

Las magnitudes eléctricas de mayor demanda en servicios de calibración son tensión en corriente continua y alterna, intensidad de corriente continua y alterna, y resistencia eléctrica en corriente continua. Estas cinco magnitudes pueden ser medidas por un patrón de transferencia multifunciones Wavetek, modelo 4950. Este instrumento mostró un excelente desempeño en una comparación entre LNM's de Africa y Asia entre 1996 y 1997 [2,3]. Este mismo instrumento fue utilizado para la presente comparación y puesto a disposición a tal fin por el PTB, quien a su vez fungió como el laboratorio piloto de esta comparación.

## Comparison objectives

For several years, PTB has supported metrological activities in *Latin -America within the framework of various technical collaboration projects*. This support includes *laboratory equipment donations and training programs in areas such as realization, reproduction, maintenance and dissemination of physical quantities*. Specifically, one of the *fields of most importance* for These projects is *electrical metrology, particularly for the reproduction of the volt and the ohm, as the basis for other electrical quantities*. This comparison will *enable the observation of measurement capabilities in Latin -American NMIs, give some evidence respect the benefits of this support provided by PTB*.

*Laboratories were highly motivated and took part in the comparison to fulfill the following objectives:*

- *Verify that the measurements performed for their calibration services are correct.*
- *Compare the measurement capabilities of participating laboratorios.*
- *Improve the reliability of their measurement capabilities and of their calibration services.*

## Intercomparison organization

### 1 Wavetek model 4950 multi-function transfer standard

Electrical quantities with greater *demand* for calibration services are *DC and AC voltage, DC and AC current and DC resistance*. These five quantities can be measured by a Wavetek 4950 *multi-function transfer standard*. This instrument showed excellent performance in a comparison of NMIs in *Africa and Asia, in 1996 and 1997 [2, 3]*. The same instrument was used for the *current comparison and was provided by PTB, who participated as "pilot laboratory"*.

De acuerdo a las especificaciones técnicas del modelo 4950, los puntos de medición seleccionados para llevar a cabo la comparación se muestran en la Tabla 1.

*In accordance with the technical specifications of the 4950 model, the points selected to carry out the comparison are shown in table 1.*

MAGNITUD QUANTITY	PUNTOS DE MEDICIÓN MEASUREMENT POINTS	NOTA NOTE
Tensión en c.c. DC Voltage.	100 mV, 1 V, 10 V, 100 V y 1 000 V 100 mV, 1 V, 10 V, 100 V and 1 000 V	
Intensidad en c.c. DC Current.	100 uA, 1 mA, 10 mA, y 100 mA 100 uA, 1 mA, 10 mA, and 100 mA	
Resistencia en c.c. DC Resistance.	10ohm , 100ohm , 1 kohm, 10 kohm, 100 kohm y 1 Mohm 10 ohm, 100 ohm, 1 kohm, 10 kohm, 100 kohm and 1 Mhm	
Tensión en c.a. AC Voltage.	1 V, 10 V, 100 V y 1 000 V 1 V, 10 V, 100 V and 1 000 V	A 50 Hz y/o 60 Hz y 1 kHz At 50 Hz and/or 60 Hz and 1 kHz
Intensidad en c.a. AC Intensity.	10 mA, 100 mA y 1 A 10 mA, 100 mA and 1 A	A 50 Hz y/o 60 Hz y 1 kHz At 50 Hz and/or 60 Hz and 1 kHz

TABLA 1.- Valores de Medición Seleccionados en la Comparación

Además de estos puntos de medición seleccionados, se propusieron a los laboratorios participantes, los puntos de medición de 10 mV y 100 mV en tensión en c.a., así como también llevar a cabo todos los puntos de tensión en c.a. a frecuencias adicionales de 20 kHz, 100 kHz y 1 Mhz.

El laboratorio piloto llevó a cabo mediciones periódicas en todas las magnitudes del patrón viajero durante más de tres años con el propósito de verificar su estabilidad a largo plazo. En la figura 1 se muestra el comportamiento del patrón en el valor de 10 v, el cual indica un corrimiento menor de +0,5 ppm/mes, ésto es alrededor de tres veces mejor que la estabilidad declarada por el fabricante del instrumento en sus especificaciones técnicas. Sin embargo, entre el 15 de Febrero de 1997 y el 29 de Abril de 1998, periodo en el cual se lleva a cabo la comparación en los países de Latioamérica, se observa que la tendencia estimada del patrón viajero en 10 V es de aproximadamente +0,4 ppm/mes

*In addition to these selected measurement points, participating laboratories were asked to perform additional measurement points at 10 mV and 100mV for DC voltage, as well as all AC voltage points at frequencies of 20 kHz, 100 kHz and 1 Mhz.*

*The pilot laboratory performed measurements in all of the measurement points in all quantities of the traveling standard, at regular intervals for more than three years, in order to verify the long-term stability of the instrument. Figure 1 displays the behavior of the device at 10V which only shows a drift of +0,5 ppm per month, which is a stability value that is three times better than the value specified in the technical data by the manufacturer of the instrument. However, between February of 1997 and April 29, 1998, period in which the intercomparison was performed in Latin -American laboratories, the estimated drift for the traveling standard in the 10V value was approximately +0.4 ppm/month.*

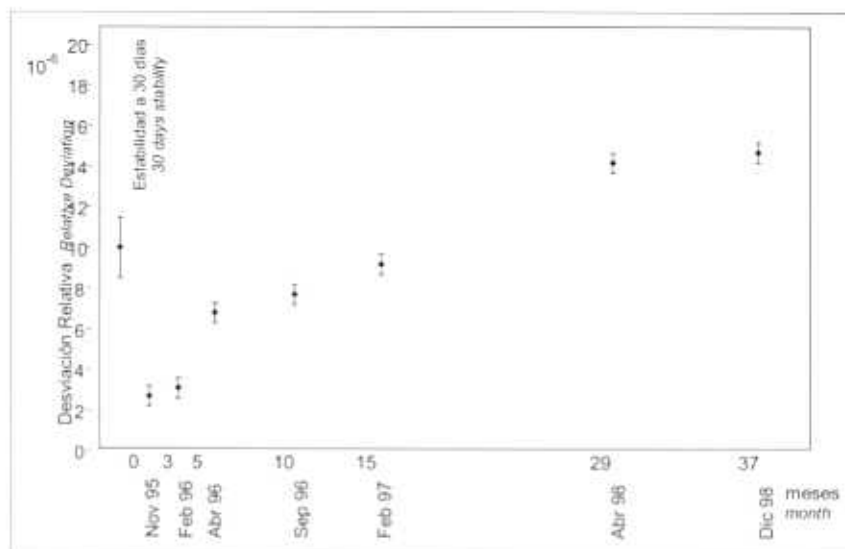


Fig. 1.- Estabilidad del patrón viajero en 10 V  
 Figure 1.- Stability of the traveling standard at 10V

## 2 Medición del patrón viajero en el laboratorio piloto

El patrón viajero fue calibrado por el laboratorio piloto antes y después del ejercicio de comparación de todos los países participantes. Las mediciones de tensión en c.c. en el valor de 1 V y 10 V se llevaron a cabo midiendo directamente la salida de una referencia electrónica Zener marca Fluke, modelo 732A. Para las mediciones restantes en tensión en c.c. se utilizó la misma referencia electrónica Zener en conjunto con un divisor Kelvin-Varley marca Fluke, modelo 720A, y un divisor de referencia marca Fluke, modelo 752A así como también un calibrador marca Fluke, modelo 5440B.

Para las mediciones de intensidad de c.c. se utilizó un calibrador multifunciones marca Fluke, modelo 5720A, el cual sirvió como una fuente de corriente conectada en serie con un resistor de referencia y el patrón viajero. La caída de tensión en los resistores utilizados fue medida empleando un voltmetro digital Hewlett-Packard, modelo 3458A. Para las mediciones de tensión en c.a. se empleó un patrón de transferencia c.a.-c.c. marca Fluke, modelo 792A junto con el calibrador 5720A.

Las mediciones de intensidad en c.a. se llevaron a cabo en conexión serie con los patrones de transferencia de corriente c.a.-c.c.

## 2 Measurement of the travel standard in the pilot laboratory

The traveling standard was calibrated before and after the comparison was performed by all the participant countries. The DC voltage measurements for 1V and 10V were taken directly from the output of a Fluke Model 732 A, Zener electronic reference. The other DC voltage measurements were performed using the same Zener electronic reference, in conjunction with a Fluke model 720A reference Kelvin-Varley divider, a Fluke model 752 divider, as well as a Fluke model 5440B calibrator.

For the DC current measurements a Fluke model 5720A multi-function calibrator was used, and also served as a current source when connected in series with a reference resistor and the travel standard. The voltage drop in the resistors was measured using a Hewlett-Packard model 3458A digital voltmeter. For AC voltage measurements a Fluke model 792A AC-DC transfer standard was used together with a 5720A calibrator.

The AC current measurements were carried out using AC-DC transfer standards connected in series.

### 3 Medición del patrón por los laboratorios participantes

A continuación se describen los patrones más importantes que fueron utilizados por los laboratorios participantes durante el ejercicio de comparación.

En el CENAM y el INMETRO el patrón viajero fue calibrado de manera similar a la realizada por el PTB, utilizando patrones y métodos de medición similares. Para las magnitudes de c.c. se utilizaron referencias electrónicas Zener, así como diversos calibradores multifunciones, divisores de referencia de tensión, resistores patrón y multímetros digitales. Para las magnitudes de c.a. los laboratorios emplearon el patrón de transferencia c.a.-c.c. 792A o el 54013 de Fluke y derivadores de corriente A40 de Fluke.

En el INTI, el patrón viajero fue calibrado en todas sus magnitudes con un calibrador Fluke, modelo 5700A. Antes de comenzar con el proceso de medición, el 5700 Ohm fue calibrado por artefactos utilizando una referencia electrónica Zener 732A, un resistor de 1 Ohm (tipo Thomas, marca Leeds & Northrup) y un resistor de 10 k Ohm marca ESI, modelo SR104. Para las reediciones de c.a. se empleó un sistema de medición de transferencia c.a.-c.c., desarrollado por este laboratorio, el cual utiliza termoconvertidores de unión sencilla de montaje coaxial.

El SIC llevó a cabo sus mediciones utilizando un calibrador 5720A y resistores patrón. Las mediciones realizadas son trazables a referencias electrónicas Zener Fluke 732A y 73213, pilas patrón Weston, utilizando un divisor Kelvin-Varley Fluke 720A y un divisor de tensión 750A. Para las magnitudes de c.a. las mediciones son trazables a un patrón de transferencia c.a.-c.c. Fluke 540B. En el ICAITI el patrón viajero fue calibrado en todas sus magnitudes con un calibrador Fluke 5700A. Las mediciones son trazables a una referencia electrónica Zener Fluke 732A, un resistor de 1 Ohm Fluke, modelo 742A-1 y un resistor de 10 k Ohm Fluke, modelo 742A-10k.

### 3 Measurements of the standard by participating laboratories

The most relevant standards used during the comparison by participating laboratories to perform the measurements are described below.

At CENAM and INMETRO the travel standard was calibrated in the same manner as that of PTB, using the same kind of measurement standards and procedures. For DC measurements Zener electronic references were used, as well as multi-function calibrators, reference voltage dividers, reference resistors, digital multimeters, for ac quantities these laboratories used a Fluke 792A or 540 ac-dc transfer standard and Fluke A40 current shunts.

At INTI the travel standard was measured for all quantities with a Fluke model 5700A calibrator. Before performing the measurements, the 5700 Ohm was artifact-calibrated with a 732 Ohm Zener electronic reference, Leeds & Northrup 1 ohm Thomas type resistor and an ESI SR 104 10 k ohm resistor. For AC measurements an AC-DC transfer system was used, which was developed by the laboratory and is based in single junction thermal converters coaxial mounted.

At SIC the measurements were performed with a 5720 A calibrator and standard resistors. These measurements are traceable to Fluke 732A and 73213 Zener electronic references, to Weston standard cells, using a Fluke 720A Kelvin-Varley voltage divider. For AC quantities the measurements are traceable to a 540B Fluke AC-DC transfer standard.

At ICAITI the travel standard was calibrated in all quantities using a 5700 Fluke calibrator. Measurements are traceable to a Fluke 732 A Zener electronic reference, a Fluke model 742A-1, 1 ohm resistor and a Fluke model 742A-10K, 10kohm resistor.

#### 4 Programa de comparación

La comparación fue organizada en "anillo"; ésto significa que el patrón viajero fue calibrado por el laboratorio piloto al comienzo y al final del proceso de comparación. Las ventajas de organizar la comparación en "anillo" (menos tiempo invertido en la transportación, por lo tanto menor duración en la comparación, menor cantidad de trabajo para el laboratorio piloto), son mayores que las desventajas (posibles defectos en el patrón viajero, cambios repentinos de su comportamiento en el tiempo, posibilidad de perder el control en el programa de comparación).

Para minimizar la influencia de las desventajas indicadas en el párrafo anterior, el CENAM aceptó actuar como laboratorio co-piloto, teniendo las siguientes tareas:

- Calibrar el patrón viajero después y antes del transporte transatlántico de Alemania a México y viceversa (con el propósito de detectar posibles cambios por el largo trayecto de transportación, así como durante el ciclo de comparaciones dentro de América).
- Coordinar la comparación, supervisar el calendario de comparaciones, en Latinoamérica y apoyar a los participantes en cuanto a problemas técnicos o de organización.
- Apoyar en la preparación y desarrollo del seminario final.

De acuerdo a lo planeado, el calendario de la comparación debía ser de Marzo de 1997 a Diciembre de 1997, en el siguiente orden cronológico: PTB, CENAM, INTI, INMETRO, ICAITI, SIC, CENAM, PTB. Cada participante debía tener el patrón viajero a su disposición por un periodo de cuatro semanas para llevar a cabo todas sus mediciones. Para la transportación de un laboratorio a otro se consideró un periodo de dos semanas. Desafortunadamente, en algunos casos los procedimientos para la importación temporal del patrón en las aduanas se llevaron más tiempo que el estimado, causando retrasos en el programa de comparación. Gracias a los esfuerzos de los participantes, el patrón viajero pudo regresar al PTB para Marzo de 1998.

#### 4 Comparison program

*This comparison was organized in a "ring" mode, this is means, that the travel standard was calibrated by the pilot laboratory at the beginning and at the end of the comparison process. The advantages of this type of organization (less time invested in transportation, less time needed for the comparison, less work for the pilot laboratory) outweigh the disadvantages (possible defects appearing in the travel standard, unexpected behavior changes of the travel standard with time, possibility of losing the comparison schedule).*

*In order to minimize the disadvantages stated above, CENAM agreed to function as co-pilot laboratory, with the following responsibilities:*

- *Calibrate the travel standard after and prior to the transatlantic transport from Germany to México and vice-versa, in order to detect possible changes due to the extended travel period, as well as those effects caused by the comparison cycle in the Americas.*
- *Coordinate the comparison, supervise the comparison schedule in Latin América, and provide support to participants in technical matters or with difficulties in keeping schedule.*
- *Assist in the preparation and development of the final presentation.*

*According to the schedule, the comparison should have taken place from March 1997, to December 1997, in the following chronological order PTB, CENAM, INTI, INMETRO, ICAITI, SIC, CENAM, PTB. Each participant should have had the travel standard at their disposal for a period of four weeks, time in which all of the measurements should have been performed. For transportation from one laboratory to another, a two week period was considered. Unfortunately, in some cases, the temporary import procedures caused the standard to be retained in customs offices much longer than expected, thus delaying the schedule considerably. Thanks to the efforts of all the participating laboratories, it was possible to return the standard to PTB in March of 1998.*

## Resultados de la comparación

Los resultados de los laboratorio participantes se presentan en las tablas 2, 3, 4,5 y 6. La calidad de las mediciones se indica por las incertidumbres de medición, las cuales describen la posible dispersión de los resultados, de medición. En los últimos años, se ha llevado a cabo un intenso trabajo por parte de especialistas y organizaciones internacionales con el propósito de unificar y acordar criterios para evaluarlas incertidumbres de medición. Esto ha llevado al desarrollo de guías para la expresión de incertidumbres en las mediciones [4,5]. Para poder comparar los resultados de medición en esta comparación, las incertidumbres de medición, fueron determinadas según lo acordado sobre la base de la guía empleada por los servicios de calibración europeos [5] a un nivel de confianza de 95,5 % La evaluación de las incertidumbres debía considerar los siguientes aspectos:

- Análisis del procedimiento de medición para cada una de las magnitudes, el cual debe incluir la función del modelo matemático junto con la descripción del método de medición.
- Evaluación de la dispersión de las magnitudes de entrada por medio de sus varianzas.
- Cálculo de las varianzas de las componentes de incertidumbre tipo A y tipo B.
- Combinación de las varianzas de los componentes considerando los coeficientes de sensibilidad derivados de la función del modelo matemático.
- Cálculo de la incertidumbre estándar combinada.
- Determinar la incertidumbre expandida utilizando el factor de cobertura  $k = 2$  correspondiente a un nivel de confianza de 95,5%

## Comparison results

Comparison results for each laboratory are presented in tablee 2, 3, 4, 5 and 6. The quality of the measurements is *reflected* by the *uncertainties*, because they describe the *probable dispersion of* the measurement results. In recent years, *considerable* efforts have been undertaken by specialists and by *international* organizations in order to unify and agree on criteria, in regard to the evaluation of uncertainties. These efforts have lead to the *development of* guides for the expression of uncertainty in measurements [4,5]. To be able to compare the *measurements obtained* in this comparison, the measurement uncertainties were *determined* in accordance with the *European standard*, which is used for *European calibration services* [5], with a *confdence level of 95%*. The uncertainty evaluation *should* consider the following componente:

- Analysis of the measurement procedure for each one of the quantities, which should include the function of the mathematical model, together with the description of the method used to perform the measurements.
- Evaluation of input value dispersion determining the variances.
- Variance calculation of type A and type B uncertainty components.
- Combinacion of the variances, considering the sensitivity coefficients derived from the function of the mathematical model.
- Calculation of the combined standard uncertainty.
- Determination of the expanded uncertainty using the  $k=2$  cover factor, which corresponds to the 95.5% of confidence level.

Intervalo Range	Punto de Medición Measurement Point		Desviaciones Relativas e Incertidumbres en partes en $10^{-6}$ Relative deviations and Uncertainties in parts in $10^{-6}$							
			PTB	CENAM	INTI	INMETRO	ICAITI	SIC CCCM	CENAM	PTB
100 mV	10 mV	Desv. (Dev.)	-2,2	-1,4	-	-	-	535,0	13,4	-3,0
		Incert. (Unc.)	1,5	6,0	-	-	-	372,9	7,7	1,5
	100 mV	Desv. (Dev.)	8,6	7,6	7,0	3,0	-0,2	62,7	9,7	6,8
		Incert. (Unc.)	1,0	0,6	5,0	6,0	44,0	37,2	1,3	1,0
1 V	1 V	Desv. (Dev.)	9,4	8,4	5,9	8,0	-0,4	11,6	11,8	10,6
		Incert. (Unc.)	0,6	0,2	1,0	6,0	10,0	3,0	0,6	0,6
10 V	1 V	Desv. (Dev.)	1,0	-	-	-1,0	1,0	2,0	-	5,0
		Incert. (Unc.)	0,6	-	-	6,0	6,9	2,8	-	0,6
	2 V	Desv. (Dev.)	4,0	-	-	5,0	7,0	7,0	-	9,0
		Incert. (Unc.)	1,5	-	-	6,0	6,0	2,0	-	1,5
	5 V	Desv. (Dev.)	7,2	-	-	8,0	11,2	9,6	-	12,0
		Incert. (Unc.)	1,0	-	-	6,0	9,6	1,4	-	1,0
	10 V	Desv. (Dev.)	9,2	9,6	7,5	9,0	12,4	10,2	14,2	14,2
		Incert. (Unc.)	0,5	0,1	2,0	6,0	9,0	1,4	0,4	0,5
	-10 V	Desv. (Dev.)	2,6	-	-	3,0	3,9	1,8	-	5,2
		Incert. (Unc.)	0,5	-	-	6,0	9,3	1,4	-	0,5
100 V	100 V	Desv. (Dev.)	7,4	7,7	4,3	8,0	12,7	9,2	10,7	10,1
		Incert. (Unc.)	1,0	0,2	3,0	6,0	15,6	2,1	1,0	1,0
1000 V	1000 V	Desv. (Dev.)	6,1	7,4	-2,2	9,0	8,4	9,3	12,2	11,2
		Incert. (Unc.)	1,5	0,5	5,0	6,0	13,1	2,6	1,3	1,5

Tabla 2.- Resultados de Medición para la Magnitud de Tensión en c.c.

Table 2.- Measurement Results for DC Voltage.

Intervalo Range	Punto de Medición Measurement Point		Desviaciones Relativas e Incertidumbres en partes en $10^{-6}$ Relative deviations and Uncertainties in parts in $10^{-6}$							
			PTB	CENAM	INTI	INMETRO	ICAITI	SIC CCCM	CENAM	PTB
100 $\mu$ A	100 $\mu$ A	Desv. (Dev.)	8	-23	11	10	-6	18	14,6	16
		Incert. (Unc.)	8	3	10	30	97,6	39,4	1,7	5
1 mA	1 mA	Desv. (Dev.)	-13	-1	-9	-10	-5	-13	-3,8	-2
		Incert. (Unc.)	6	3	8	30	47	16,5	1,5	3
10 mA	10 mA	Desv. (Dev.)	14	18	20,2	20	19	2	14,5	23
		Incert. (Unc.)	5	3	5	30	47,2	7,5	1,5	3
100 mA	100 mA	Desv. (Dev.)	16	58	13,1	30	22	15	18,3	26
		Incert. (Unc.)	8	7	5	30	54,1	19,1	4,7	5

Tabla 3.- Resultados de Medición para la Magnitud de Intensidad de c.c.

Table 3.- Measurement Results for DC Current.

Intervalo Range	Punto de Medición Measurement Point		Desviaciones Relativas e Incertidumbres en partes en $10^{-6}$ Relative deviations and Uncertainties in parts in $10^{-6}$							
			PTB	CENAM	INTI	INMETRO	ICAITI	SIC CCCM	CENAM	PTB
10 $\Omega$	10 $\Omega$	Desv. (Dev.)	9,5	2,3	17,2	2,4	5,2	30,3	16,8	7,3
		Incert. (Unc.)	3	3	5	2	45,6	81,6	4,1	1
100 $\Omega$	100 $\Omega$	Desv. (Dev.)	10,9	10,2	14,9	12	11,3	22,5	17,4	14,3
		Incert. (Unc.)	3	2	3	1	46,4	11,2	0,8	1
1 k $\Omega$	1 k $\Omega$	Desv. (Dev.)	3,8	8,2	13,2	8	9,1	-5,7	11,7	9,7
		Incert. (Unc.)	5	0,4	2	1	16	12,8	0,5	1
10 k $\Omega$	10 k $\Omega$	Desv. (Dev.)	2,8	3,6	5,8	4	58	3,9	8,1	8,2
		Incert. (Unc.)	5	1	2	5	21	12,3	0,6	2
100 k $\Omega$	100 k $\Omega$	Desv. (Dev.)	7,4	2,7	5,3	19	41	-0,3	8,2	10,2
		Incert. (Unc.)	5	2	3	5	14	10,2	1,4	3
1 M $\Omega$	1 M $\Omega$	Desv. (Dev.)	9	1,7	4,4	20	17,3	13,2	6,6	12,4
		Incert. (Unc.)	10	3	5	6	69	10,4	3,3	10

Tabla 4.- Resultados de Medición para la Magnitud de Resistencia Eléctrica en c.c.

Table 4.- Measurement Results for DC Resistance.

Intervalo Range	Punto de Medición Measurement Point	Frecuencia Frequency	Desviaciones Relativas e Incertidumbres en partes en $10^{-6}$ Relative deviations and Uncertainties in parts in $10^{-6}$								
			PTB	CENAM	INTI	INMETRO	ICAIFI	SIC CCUM	CENAM	PTB	
1 V	1 V	60 Hz	Desv. (Dev.)	41	36	53	60	26	37	53	52
			Incert. (Unc.)	15	20	20	50	253	20,3	24	15
	1 V	1 kHz	Desv. (Dev.)	42	36	52	60	56	59	48	51
			Incert. (Unc.)	15	20	20	50	63	20,3	20	15
1 V	20 kHz	Desv. (Dev.)	50	-	63	-	-	71	81	58	
		Incert. (Unc.)	15	-	20	-	-	20,3	20	15	
1 V	100 kHz	Desv. (Dev.)	125	-	153	-	-	116	-	134	
		Incert. (Unc.)	15	-	40	-	-	56,6	-	15	
10 V	10 V	60 Hz	Desv. (Dev.)	28	30	47	50	11	47	46	47
			Incert. (Unc.)	20	20	20	50	130	19,3	24	20
	10 V	1 kHz	Desv. (Dev.)	34	34	37	60	54	51	52	45
			Incert. (Unc.)	20	20	20	50	63	19,3	20	20
V	10 V	20 kHz	Desv. (Dev.)	36	-	40	-	-	53	65	56
			Incert. (Unc.)	20	-	20	-	-	19,3	20	20
V	10 V	100 kHz	Desv. (Dev.)	108	-	130	-	-	96	-	150
			Incert. (Unc.)	25	-	40	-	-	48,3	-	25
100 V	100 V	60 Hz	Desv. (Dev.)	22	20	41	40	15	36	25	32
			Incert. (Unc.)	30	20	15	50	166	23,3	24	30
	100 V	1 kHz	Desv. (Dev.)	19	30	30	30	58	33	23	34
			Incert. (Unc.)	25	20	20	50	68	23,3	20	25
100 V	20 kHz	Desv. (Dev.)	23	-	43	-	-	35	44	32	
		Incert. (Unc.)	35	-	30	-	-	23,3	20	35	
100 V	100 kHz	Desv. (Dev.)	85	-	112	-	-	90	-	392	
		Incert. (Unc.)	40	-	20	-	-	63,1	-	40	
1000 V	1000 V	60 Hz	Desv. (Dev.)	35	41	17	50	11	50	54	56
			Incert. (Unc.)	35	25	25	50	152	23,3	32	35
	1000 V	1 kHz	Desv. (Dev.)	25	43	9	60	39	45	41	31
			Incert. (Unc.)	35	25	25	50	86,1	27,3	25	35

Tabla 5.- Resultados de Medición para la Magnitud de Tensión en c.a.

Table 5.- Measurement Results for AC Voltage.

Intervalo Range	Punto de Medición Measurement Point	Frecuencia Frequency	Desviaciones Relativas e Incertidumbres en partes en $10^{-6}$ Relative deviations and Uncertainties in parts in $10^{-6}$								
			PTB	CENAM	INTI	INMETRO	ICAIFI	SIC CCUM	CENAM	PTB	
10 mA	10 mA	60 Hz	Desv. (Dev.)	4	10	30	0	20	36	36	50
			Incert. (Unc.)	20	60	30	100	260	59,8	60	20
	10 mA	1 kHz	Desv. (Dev.)	-16	-27	38	0	10	46	34	16
			Incert. (Unc.)	20	60	30	100	145	60	60	20
100 mA	100 mA	60 Hz	Desv. (Dev.)	19	29	18	100	20	72	67	46
			Incert. (Unc.)	25	60	30	100	1493	56,6	60	25
	100 mA	1 kHz	Desv. (Dev.)	48	37	45	100	80	101	94	80
			Incert. (Unc.)	25	60	30	100	1470	56,6	60	25
1 A	1 A	60 Hz	Desv. (Dev.)	-30	-13	37	100	30	47	153	-9
			Incert. (Unc.)	35	70	30	100	1599	117,5	70	35
	1 A	1 kHz	Desv. (Dev.)	-52	-53	26	0	50	22	-18	-17
			Incert. (Unc.)	35	70	30	100	1584	117,5	70	35

Tabla 6.- Resultados de Medición para la Magnitud de Intensidad de c.a.

Table 6.- Measurement Results for AC Current.

## Conclusiones

La comparación y discusión de los resultados se llevó a cabo dentro de un seminario de clausura de la comparación, mismo que se efectuó en Enero de 1999 en las instalaciones del CENAM, en México. A este seminario asistieron los contactos técnicos del PTB, del INTI, del INMETRO y del CENAM. Dentro del seminario los participantes tuvieron la oportunidad de intercambiar sus experiencias en el campo de la metrología acerca del desarrollo de sus laboratorios en cuanto a la realización y reproducción de las magnitudes eléctricas. Además, se intercambió información relacionada con los métodos de medición aplicados por los participantes, la evaluación de las mediciones y de la estimación de las incertidumbres de medición. En los casos en que los resultados de medición de los participantes no fue satisfactorio, se manifestó el compromiso de detectar las causas y darles solución lo más pronto posible.

Los participantes expresaron su interés en llevar a cabo más comparaciones y reconocieron los beneficios de esta comparación para el mejoramiento de sus actividades.

Se agradece al Ministerio Federal de Cooperación y Desarrollo Económico de la República Federal de Alemania por financiar la comparación y al Centro Nacional de Metrología de México por su esfuerzo en la supervisión de la comparación y su hospitalidad durante el seminario de clausura de la comparación.

## Conclusions

*The comparison and discussion of results took place within the Seminar prior to the closing ceremony for the comparison, which was held in January of 1999, at CENAM's facilities in México. The technical contacts from PTB, INTI, INMETRO and CENAM attended the meeting. The seminar provided an excellent opportunity for the exchange of information and experiences in metrology and on the performance each participant's laboratory, in regard to the realization and reproduction of electrical quantities. Furthermore, it was possible to exchange information on measurement methods that were applied by the participating laboratories, on evaluation of measurement capabilities and on the uncertainty determination methods. In the cases where measurement results were unsatisfactory, participants expressed their commitment for improvement and desire to determine the cause of these inconsistencies and provide solutions as soon as possible.*

*Participants expressed their interest in performing further comparisons and recognized the benefits provided by this exercise, in the improvement of their activities.*

*Participants would like to thank the Ministry of Cooperation and Development of Germany for providing the financial resources for this comparison and to the Centro Nacional de Metrología of México for its valuable assistance in the organization of the comparison and its staff for their hospitality during the closing seminar.*

