



DESARROLLO DE TECNOLOGIA PARA CARACTERIZACION DE FENOMENOS TERMICOS

Resumen Ejecutivo

Investigadores: Carlos Alberto Herrera Cáceres & Miguel Enrique Rosillo Peña

A través de este proyecto se desarrolló tecnología propia para caracterización de fenómenos térmicos: comportamiento en estado transitorio de sistemas de resistencia interna no despreciable (con intercambio de calor a un medio calefactor), comportamiento en estado transitorio de sistemas de resistencia interna despreciable (con intercambio de calor al medio ambiente), e ilustración del fenómeno de radiación y caracterización de la propiedad de la emisividad radiante. Esta caracterización de fenómenos térmicos tiene propósito académicos en campos como la termodinámica, transferencia de calor, y mecatrónica, y los equipos demostrativos resultaron equivalentes a los foráneos en seguridad de operación, presentación de planta, precisión, facilidad de manejo, y superior en términos económicos. Para lo anterior se constituyó un grupo, que además de los investigadores principales, incluyó tres estudiantes en tesis, y una firma contratista constructora local encargada de hacer las construcciones mecánicas y electrónicas, y realizar la asistencia en el campo sistemas. Además de que los tres equipos muestran buena presentación y la solidez, se dispone de la documentación de ingeniería que permitiría a nuestra Unidad replicar los aparatos. Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento que demostraron su confiabilidad dado los altos grados de repetitividad de resultados. Según lo anterior, todos los objetivos propuestos fueron plenamente alcanzados.

Productos comprometidos y entregados

Acorde al a 'propuesta del proyecto, se están entregando tres equipos prototipos con tecnología de última generación que caracterizan fenómenos térmicos. Así mismo, los equipos son de construcción nacional, calidad y presentación igual a la foránea, bajo costo, y con aplicación académica con beneficiarios estudiantes de pregrado (3 tesis) y posgrado, profesores y usuarios externos.



Identificación del proyecto:

1.1. Código del proyecto: CI2619
Nombre del proyecto: -DESARROLLO DE TECNOLOGIA
1.2. PARA CARACTERIZACION DE FENOMENOS TERMICOS.
1.3. Nombre del investigador principal: Carlos Alberto Herrera Cáceres
1.4. Nombre de los coinvestigadores: Miguel Enrique Rosillo Peña
1.5. Fecha de presentación del informe: 27 Febrero de 2012
Fecha de inicio: Mayo 2010
Fecha de terminación: Febrero 2012

1. Resumen:

A través de este proyecto se desarrolló tecnología propia para caracterización de fenómenos térmicos: comportamiento en estado transitorio de sistemas de resistencia interna no despreciable (con intercambio de calor a un medio calefactor), comportamiento en estado transitorio de sistemas de resistencia interna despreciable (con intercambio de calor al medio ambiente), e ilustración del fenómeno de radiación y caracterización de la propiedad de la emisividad radiante. Esta caracterización de fenómenos térmicos tiene propósito académicos en campos como la termodinámica, transferencia de calor, y mecatrónica, y los equipos demostrativos resultaron equivalentes a los foráneos en seguridad de operación, presentación de planta, precisión, facilidad de manejo, y superior en términos económicos. Para lo anterior se constituyó un grupo, que además de los investigadores principales, incluyó tres estudiantes en tesis, y una firma contratista constructora local encargada de hacer las construcciones mecánicas y electrónicas, y realizar la asistencia en el campo sistemas. Además de que los tres equipos muestran buena presentación y la solidez, se dispone de la documentación de ingeniería que permitiría a nuestra Unidad replicar los aparatos. Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento que demostraron su confiabilidad dado los altos grados de

repetitividad de resultados. Según lo anterior, todos los objetivos propuestos fueron plenamente alcanzados.

2. Equipos

Para la caracterización de los fenómenos térmicos fueron construidos tres equipos que agrupan sistemas mecánicos, y de monitoreo y de control. Cada uno tiene la capacidad de ilustrar un fenómeno térmico y hacer cuantificación de variables que permiten comprobar los principios científicos involucrados. Todos los equipos están ubicados de laboratorio de transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Edificio 340, espacio 1008. Los equipos son:

Sistemas de resistencia interna no despreciable con intercambio de calor a un medio calefactor.

Sistemas de resistencia interna despreciable con intercambio de calor al medio ambiente.

Sistema para ilustrar el fenómeno de radiación, sus leyes básicas, y la medición de la propiedad radiante emisividad.

SISTEMA MONITOREO Y CONTROL

La configuración del sistema de monitoreo y control es una sola para los tres los sistemas termo-mecánicos. Dicha configuración está dotada de un sistema electrónico con tarjeta de captura y almacenamiento de datos, y dispositivos para control de actuadores (resistencias eléctricas, válvulas solenoides, motores, etc.) integrado a sendas computadoras. Tienen compatibilidad con la red de laboratorios de Ingeniería Mecánica para ser operados y monitoreados remotamente. El esquema típico se muestra en la Figura 1.

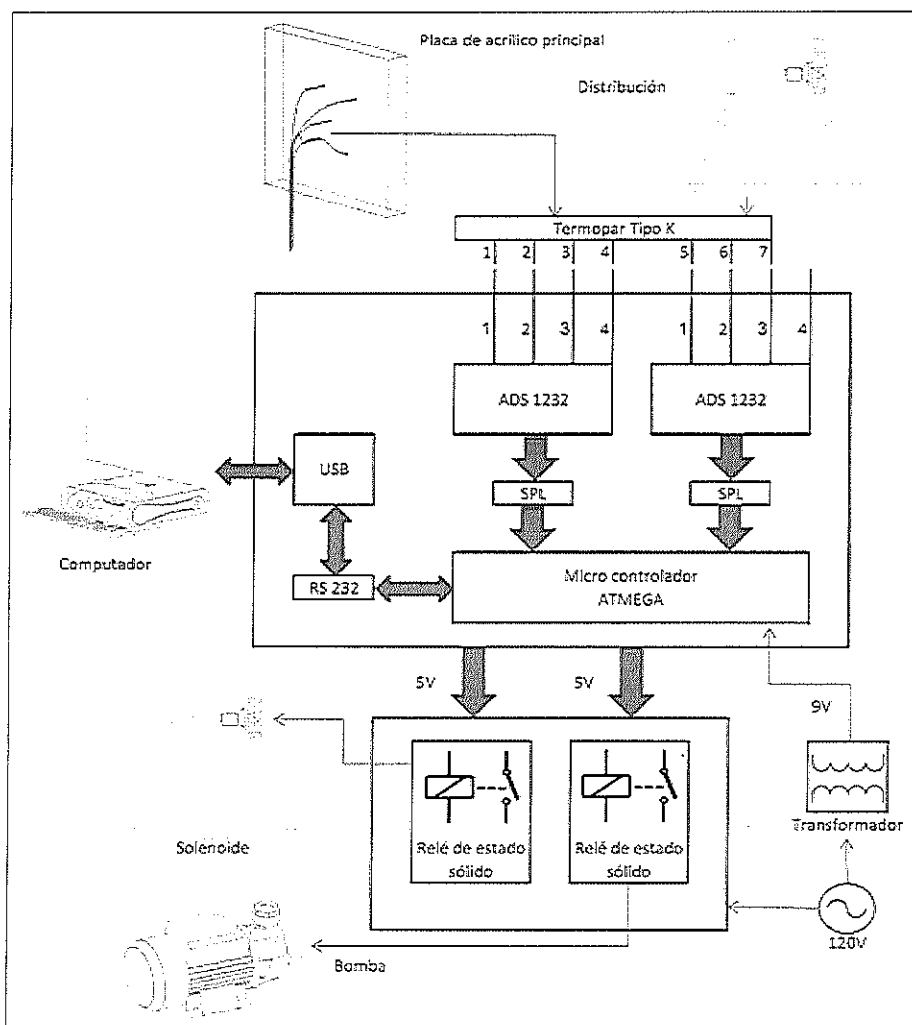


Figura 1: Esquema típico del sistema de monitoreo y control.

La arquitectura mecatrónica de cada equipo está constituida por el módulo mecánico, un módulo electrónico (tarjeta de potencia y tarjeta de información), y una interfaz de usuario en un computador, con posibilidad de tener acceso remoto a través de internet. El módulo mecánico está integrado por los diferentes componentes mecánicos que permiten la transferencia de energía, así como los actuadores y sensores; es decir, contiene las termocuplas, válvulas solenoides, motores, resistencias, bases, interruptores, intercambiadores, etc. El módulo electrónico está integrado por una tarjeta de potencia y una de información. La tarjeta de potencia permite el accionamiento de los actuadores del



módulo mecánico accionados mediante una potencia de 120 Voltios. Adicionalmente la tarjeta de información permite la adquisición de información de temperatura desde los módulos mecánicos. También permite la comunicación con un computador a través de un puerto USB. La misma tarjeta activa los relés de estado sólido ubicados en las tarjetas de potencia y que accionan los actuadores. Finalmente la interface de usuario se encuentra instalada en un computador adjunto; esta interface permite la comunicación por medio de USB con la tarjeta de información, los dispositivos de comando para accionar los actuadores, la comunicación con una base de datos para registro histórico de las pruebas, y una visualización de los datos en pantalla. El software es desarrollado para un ambiente Windows mediante el lenguaje C#, my-sql. Las Figuras 2, 3 y 4 ilustran la interface gráfica típica de los equipos.

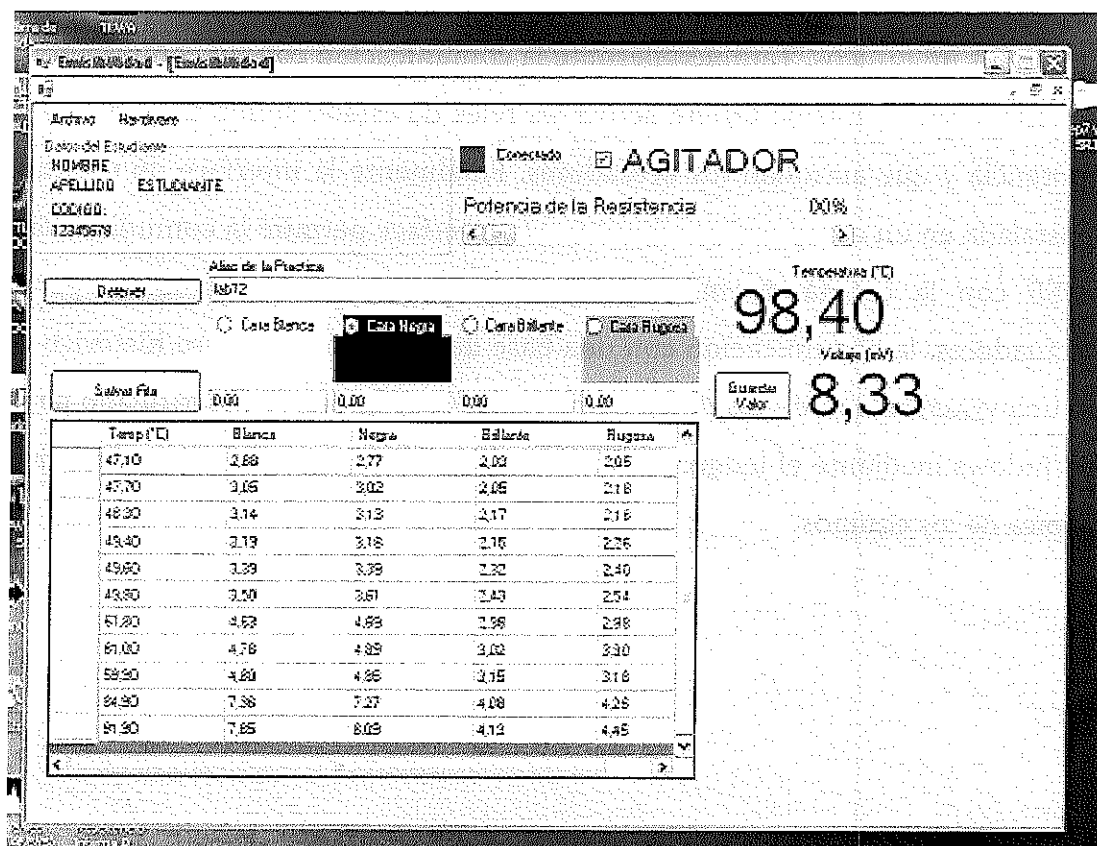


Figura 2: Interface gráfica del Equipo de Caracterización de Radiación y Emisividades (Hernandez & Ortiz, 2012).

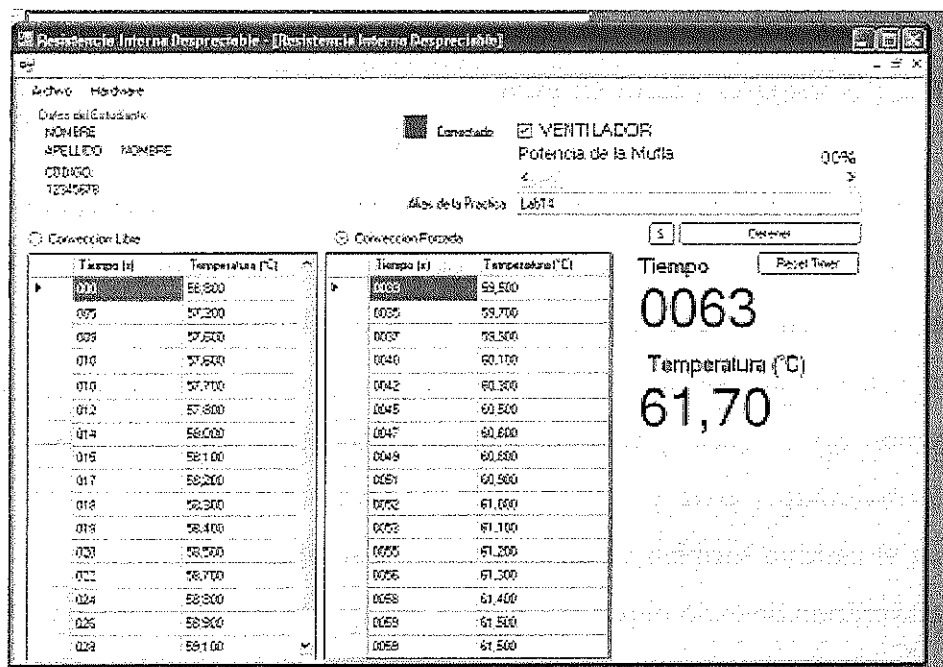


Figura 3: Interface gráfica del Equipo de Caracterización de Radiación y Emisividades (Hernandez & Ortiz, 2012).

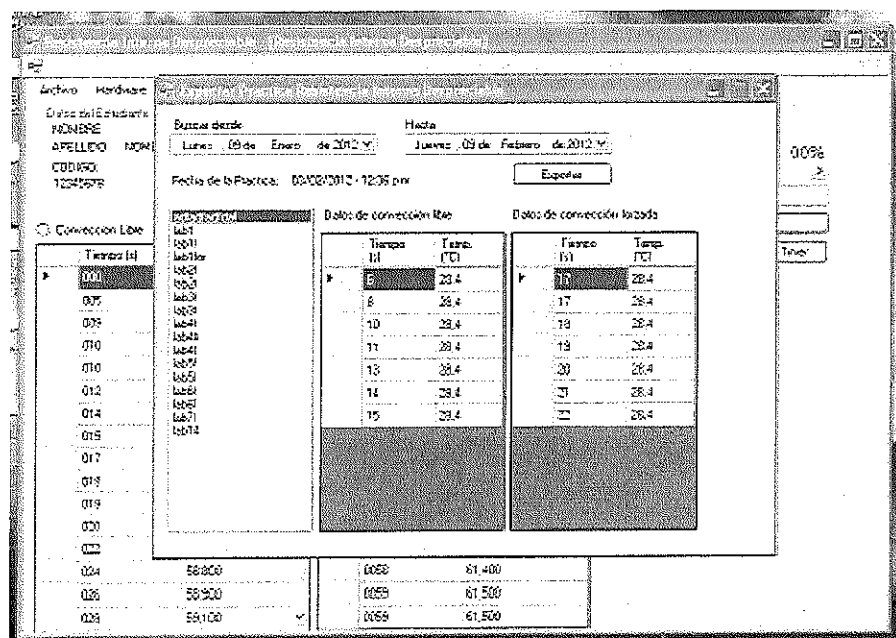


Figura 4: Interface gráfica para exportación de datos del Equipo de Caracterización de Radiación y Emisividades (Hernandez & Ortiz, 2012).

SISTEMA DE RESISTENCIA INTERNA NO DESPRECIABLE CON INTERCAMBIO DE CALOR A UN MEDIO CALEFACTOR.

La Figura 5 ilustra la disposición general del sistema calefactor y del equipo de caracterización con resistencia interna no-despreciable. Como se alcanza a apreciar en este esquema y en las fotos siguientes, el sistema calefactor es un circuito cerrado de agua caliente constituido por un calentador eléctrico, bomba, tanque de expansión, líneas de distribución con by-pass, y válvulas manuales y acoples. La placa gruesa está fabricada en acrílico traslúcido y para poder apreciar las diversas posiciones de los termopares. Para provocar el cambio térmico se dispone de un sistema de válvula solenoide que permite el paso instantáneo de todo el flujo de agua caliente. Las Figuras 6 a 11, son las fotografías del sistema general y sus componentes.

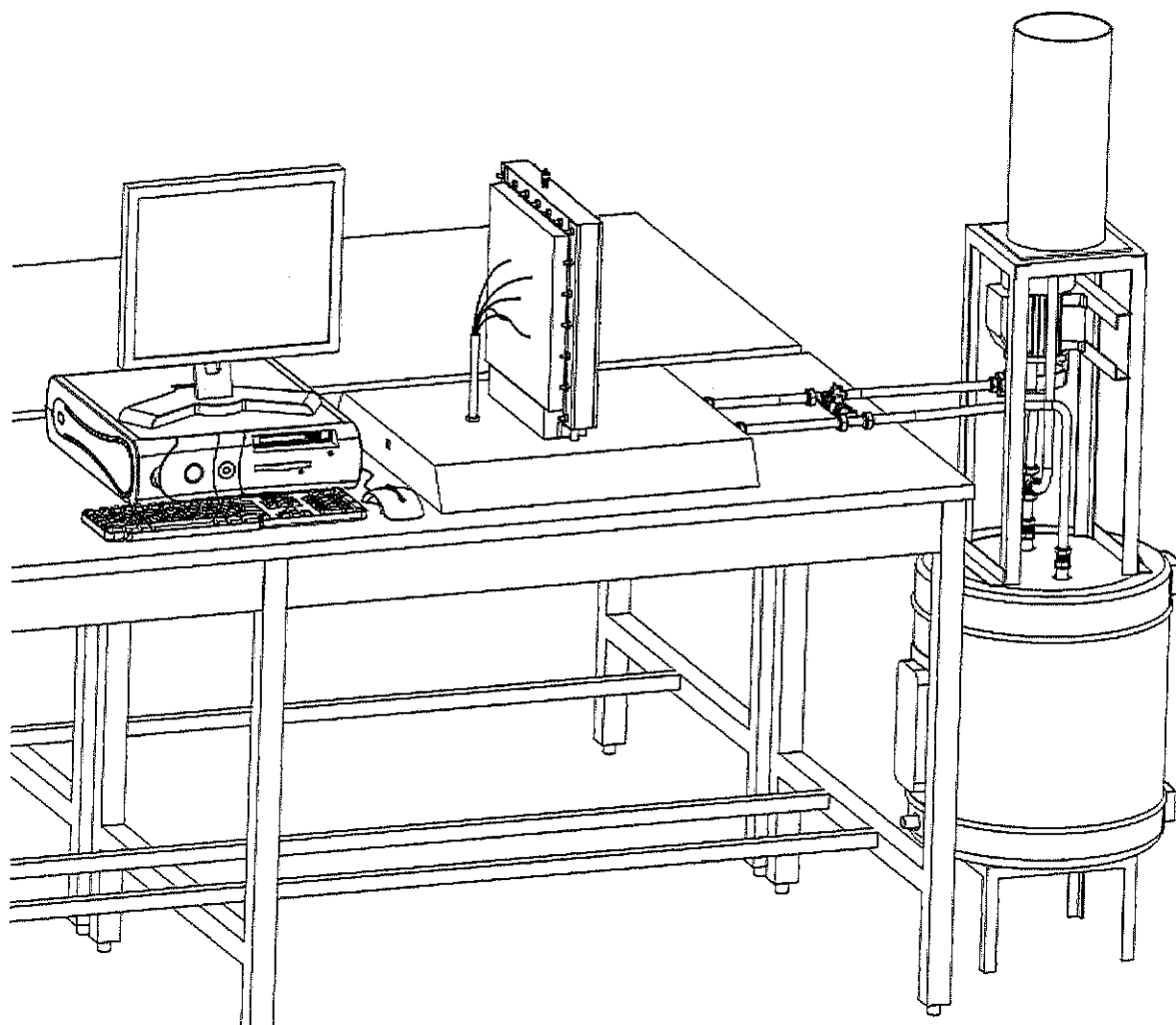


Figura 5: Esquema General Equipo de Caracterización de Resistencia Interna NO-Despreciable

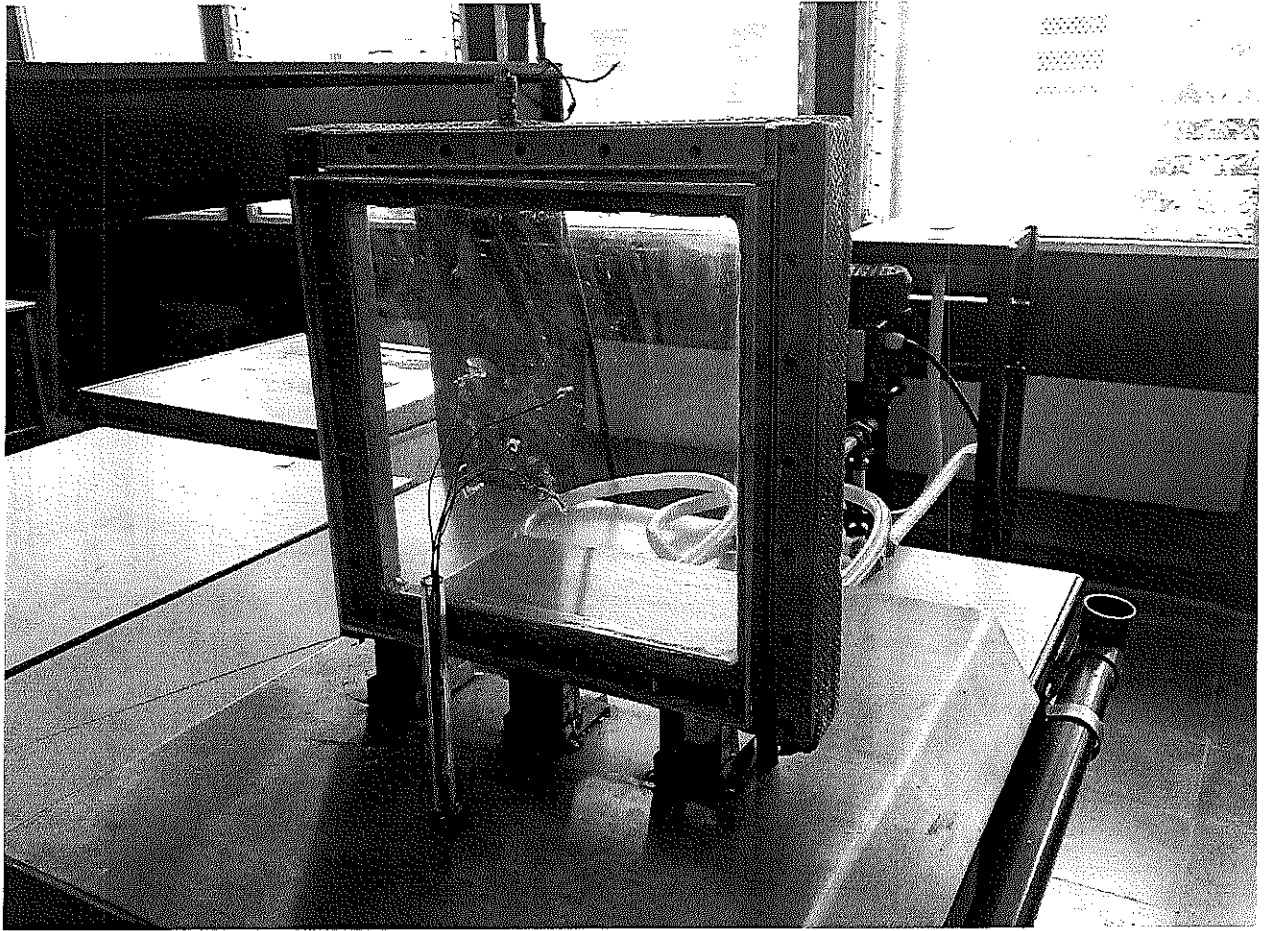


Figura 6: Sistema Mecánico equipo Caracterización de Resistencia Interna No-despreciable



Figura 7: Sistema Completo equipo Caracterización de Resistencia Interna No-Despreciable

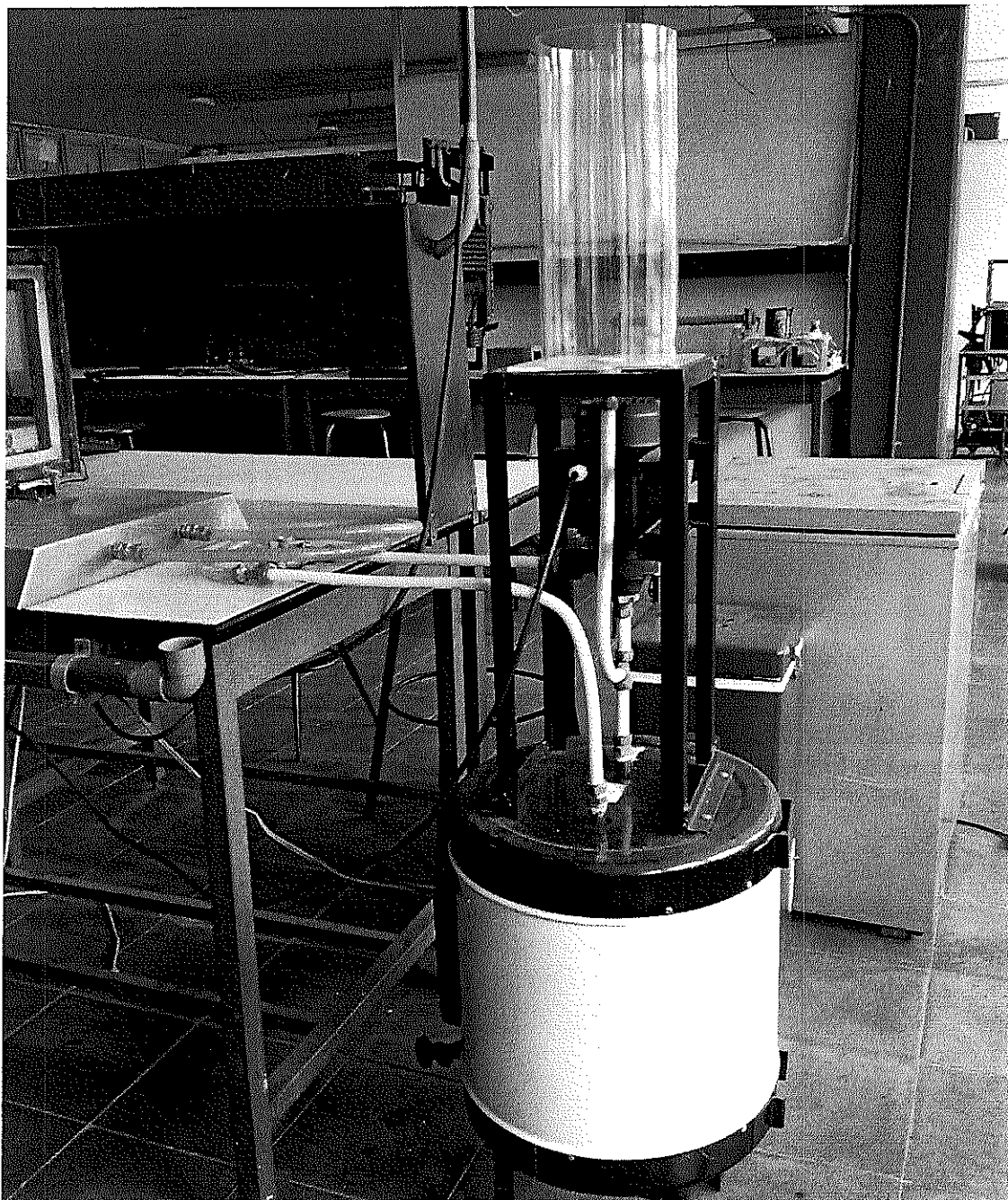


Figura 8: Sistema Hidráulico del equipo Caracterización de Resistencia Interna No-Despreciable

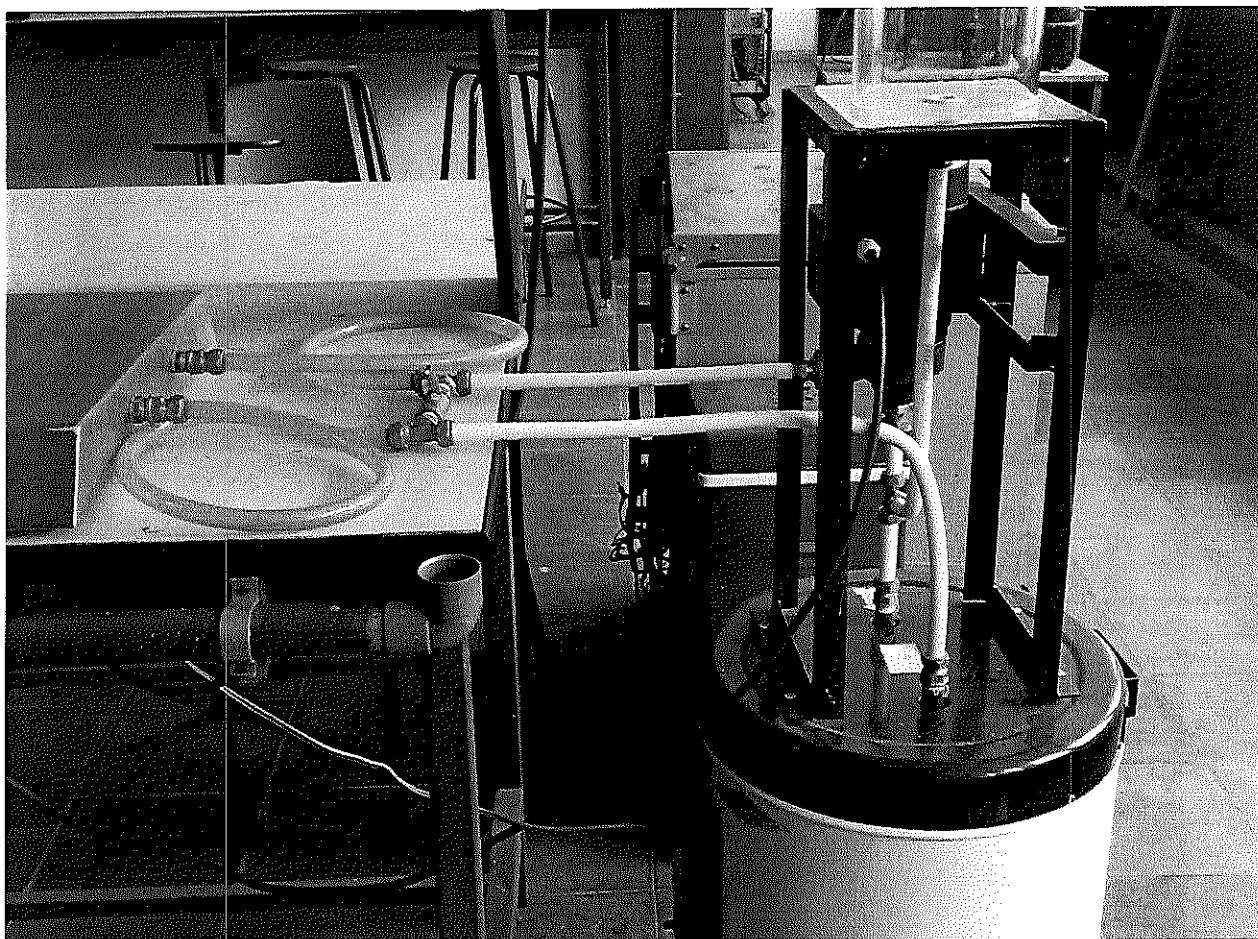
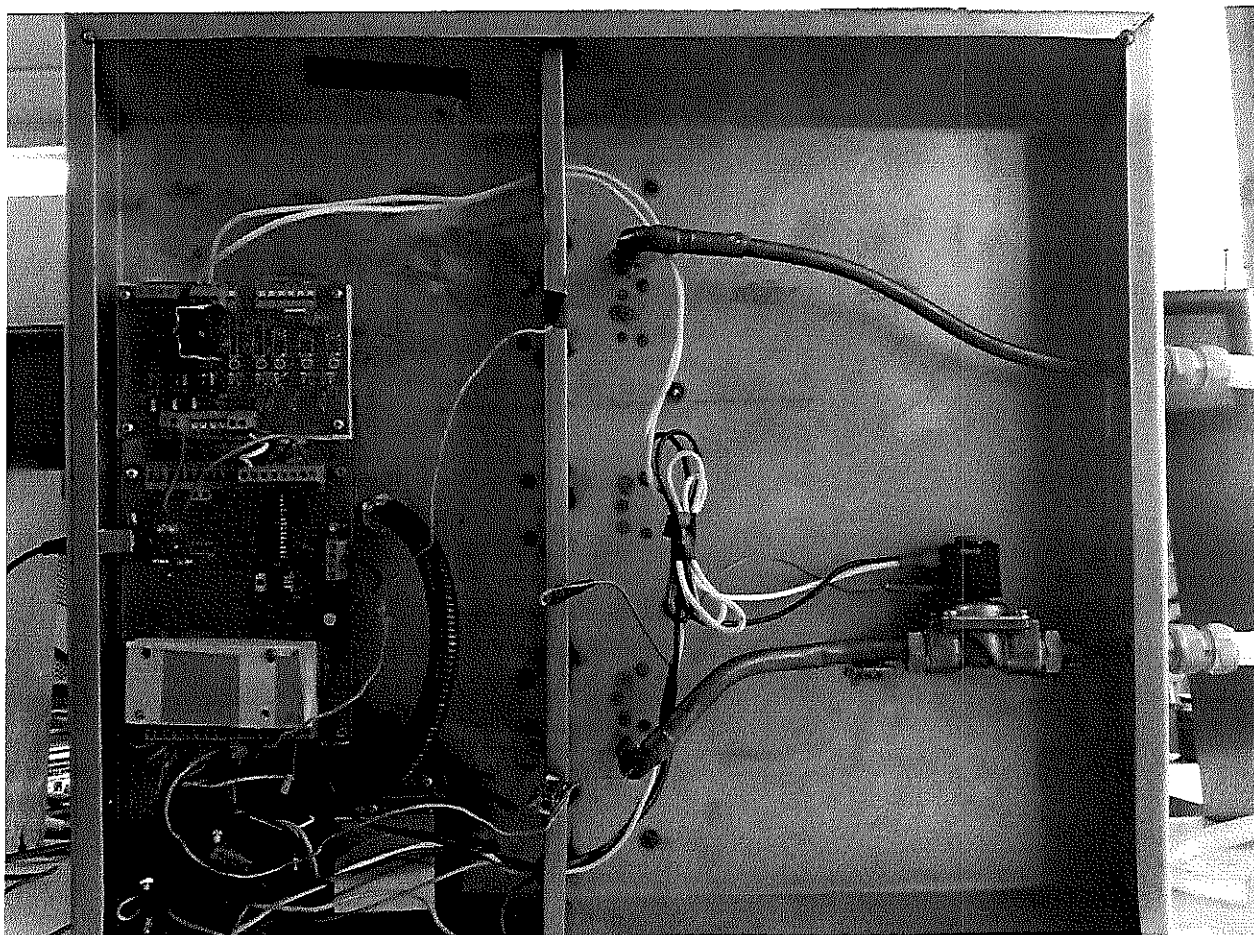


Figura 9: Líneas de distribución de agua caliente del Equipo Caracterización de Resistencia Interna No-Despreciable



**Figura 10: Sistema Electrónico – tarjetas de medición y control- del Equipo
Caracterización de Resistencia Interna No-Despreciable**

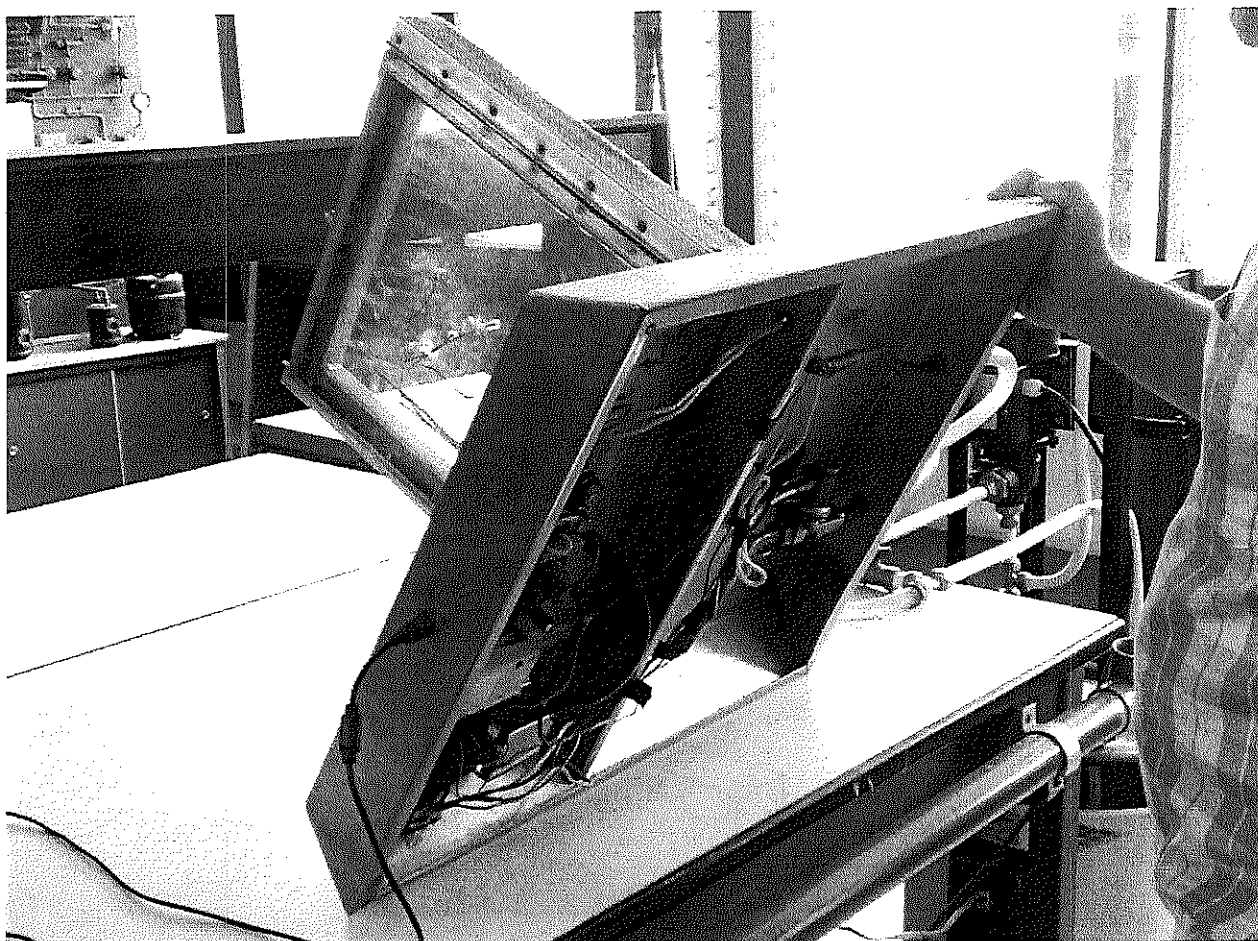


Figura 11: Localización del Sistema Electrónico del Equipo Caracterización de Resistencia Interna No-Despreciable

SISTEMA PARA ILUSTRAR EL FENÓMENO DE RADIACIÓN, SUS LEYES BÁSICAS, Y LA MEDICIÓN DE LA PROPIEDAD RADIANTE EMISIVIDAD.

La Figura 12 muestra la composición del sistema mecánico del equipo de ilustración del fenómeno de radiación. Como se alcanza a apreciar en este esquema y en las fotos siguientes, el sistema está compuesto por un cubo metálico en paredes delgadas de acero inoxidable de distintos acabados superficiales, un cono con termopila, un agitador, una resistencia eléctrica para calefacción, un sistema de desagüe, y un sensor de temperatura tipo termocupla. Las Figuras 13 a 17, son las fotografías del sistema general y sus componentes.

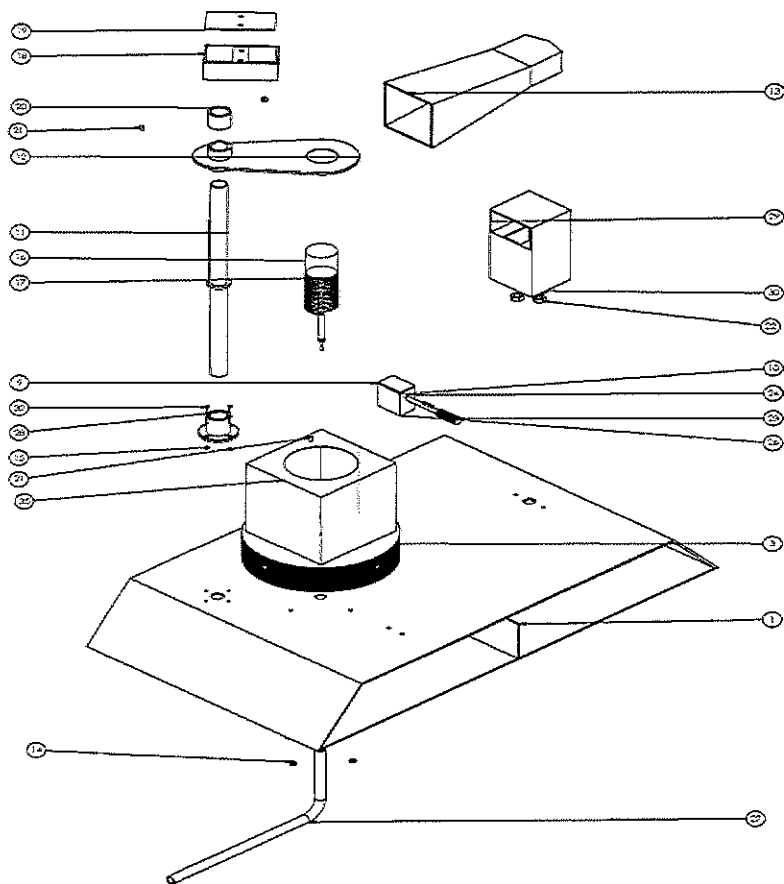


Figura 12: Despiece de Equipo Ilustración del principio de Radiación y Medición Emisividades

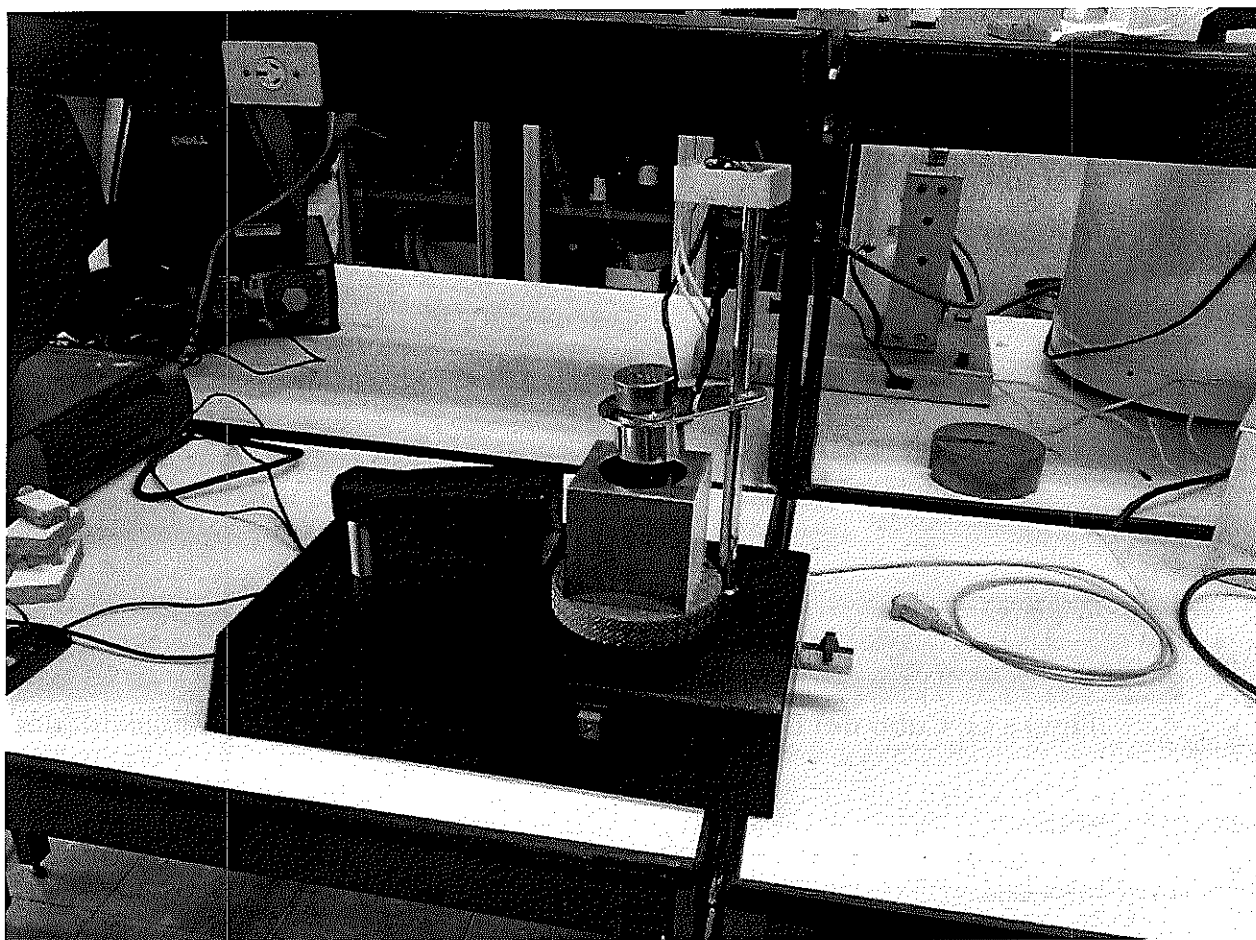


Figura 13: Sistema Mecánico equipo Caracterización de Radiación – Emisividades



Figura 14: Cubo del Equipo Caracterización de Radiación y Emisividades

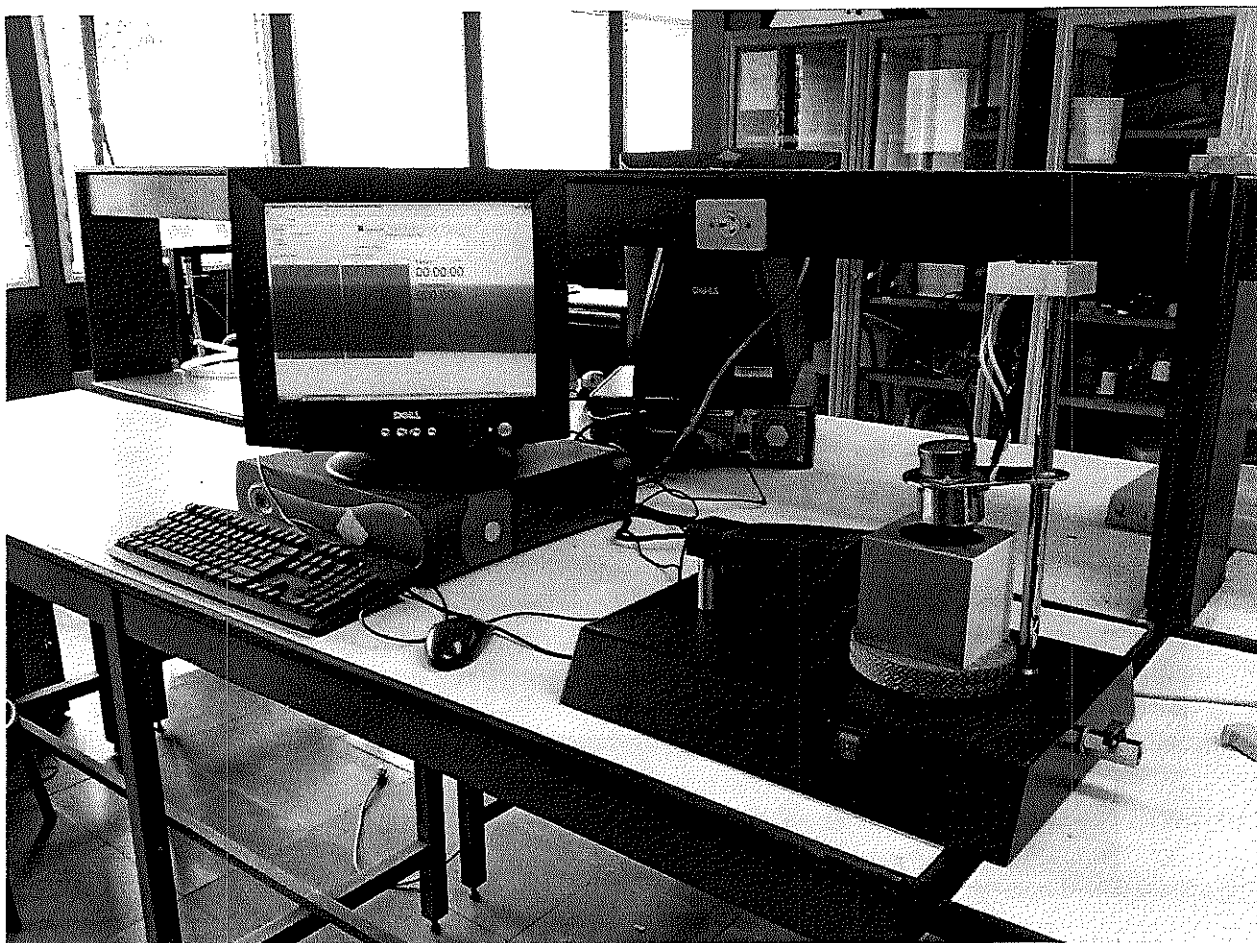
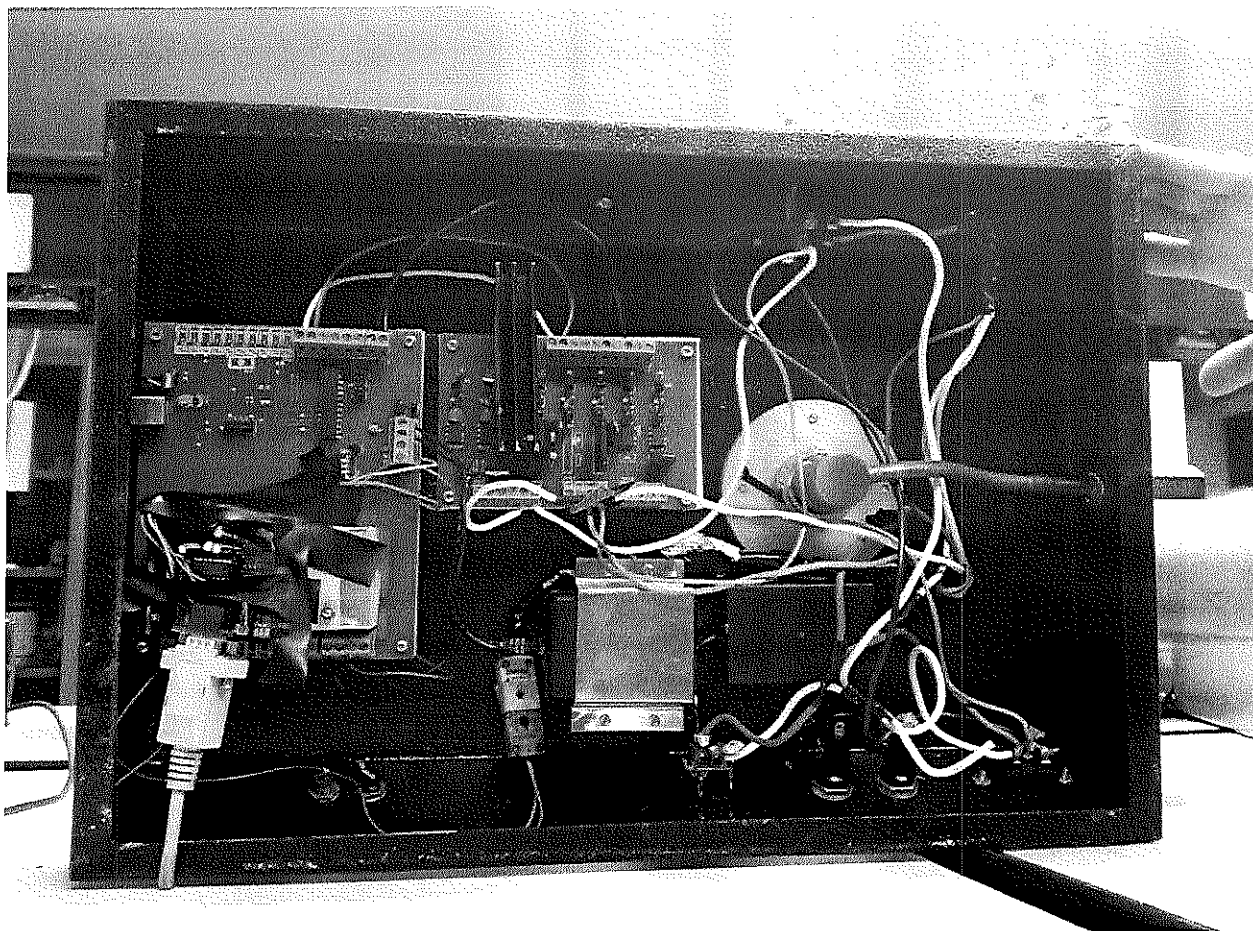


Figura 15: Sistema Completo del Equipo Caracterización de Radiación y Emisividades



**Figura 16: Sistema Electrónico – tarjetas de medición y control- del Equipo
Caracterización de Radiación y Emisividades**

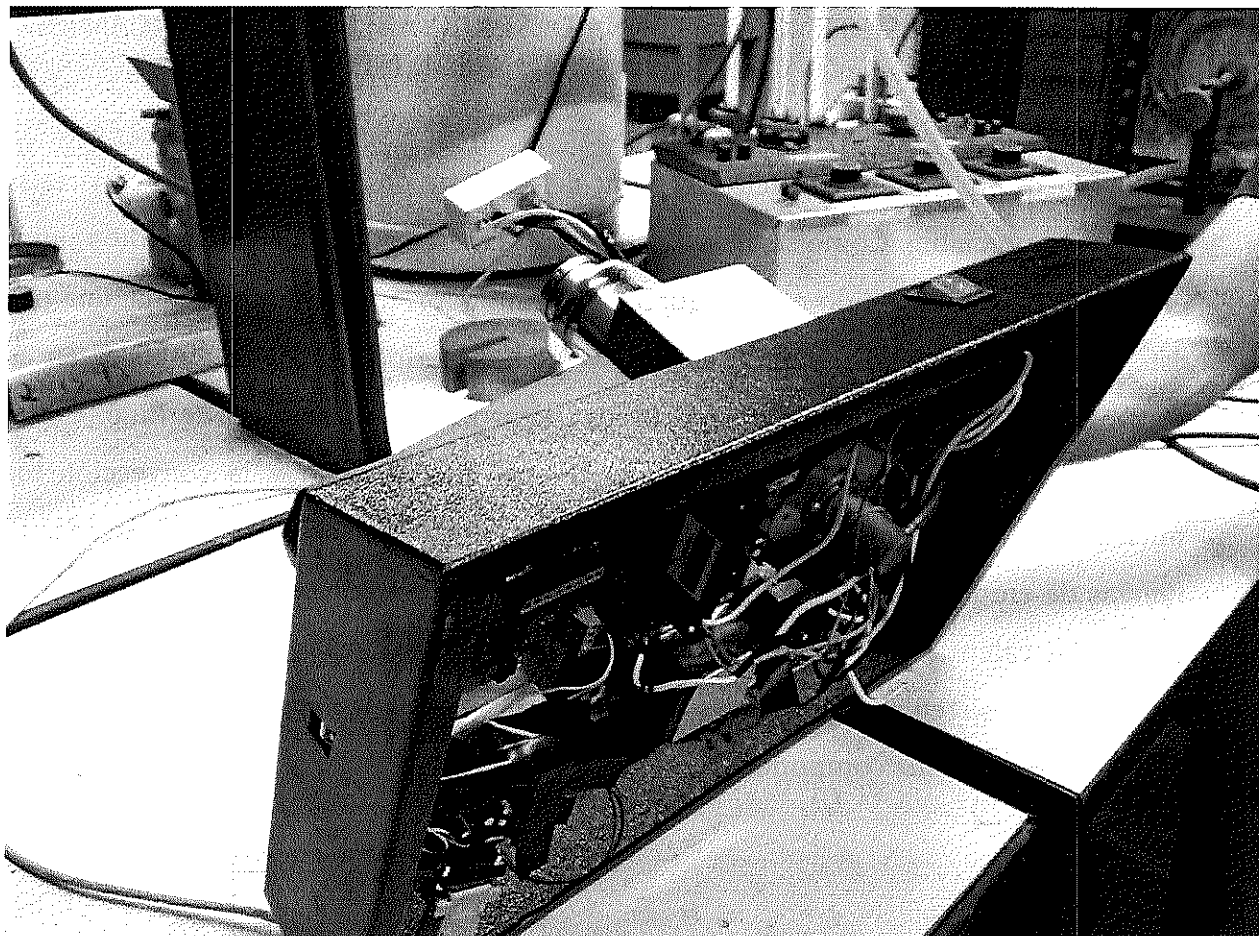


Figura 17: Localización del Sistema Electrónico del Equipo Caracterización de Radiación y Emisividades

SISTEMAS DE RESISTENCIA INTERNA DESPRECIABLE CON INTERCAMBIO DE CALOR AL MEDIO AMBIENTE.

La Figura 18 ilustra la disposición general del sistema de caracterización con resistencia interna despreciable. Como se alcanza a apreciar en este esquema y en las fotos siguientes, el sistema está constituido por un ducto con ventilador, una cámara aislada, una pequeña esfera de cobre con termocupla inserta, y un horno tipo mufla. El ducto es en acrílico transparente para permitirle al usuario visualizar los enderezadores de flujo. Con el uso del ventilador se provoca una corriente de aire que da lugar a la convección forzada, mientras que en la cámara aislada se evitan corrientes distintas a las provocadas por las fuerzas de empuje, lo que da lugar a convección libre, exclusivamente. El horno eléctrico sirve para calentar la pequeña esfera de cobre cuyo número de Biot indica que es un sistema de resistencia interna despreciable. Las Figuras 19 a 25, son las fotografías del sistema general y sus componentes.

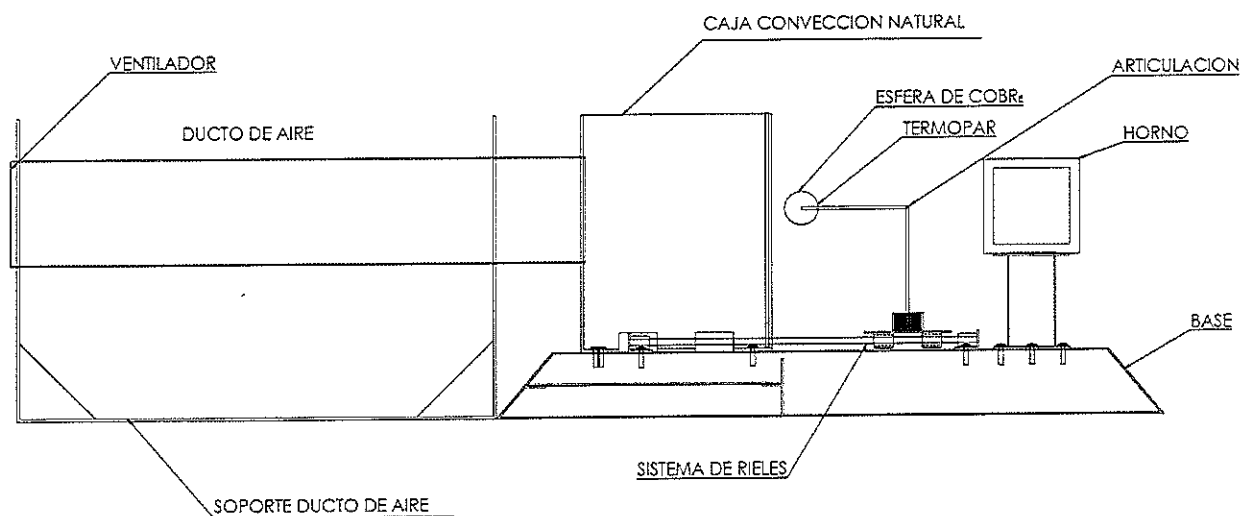


Figura 18: Esquema General del Equipo de Caracterización de Resistencia Interna Despreciable



Figura 19: Sistema Completo del Equipo Caracterización de Resistencia Interna Despreciable

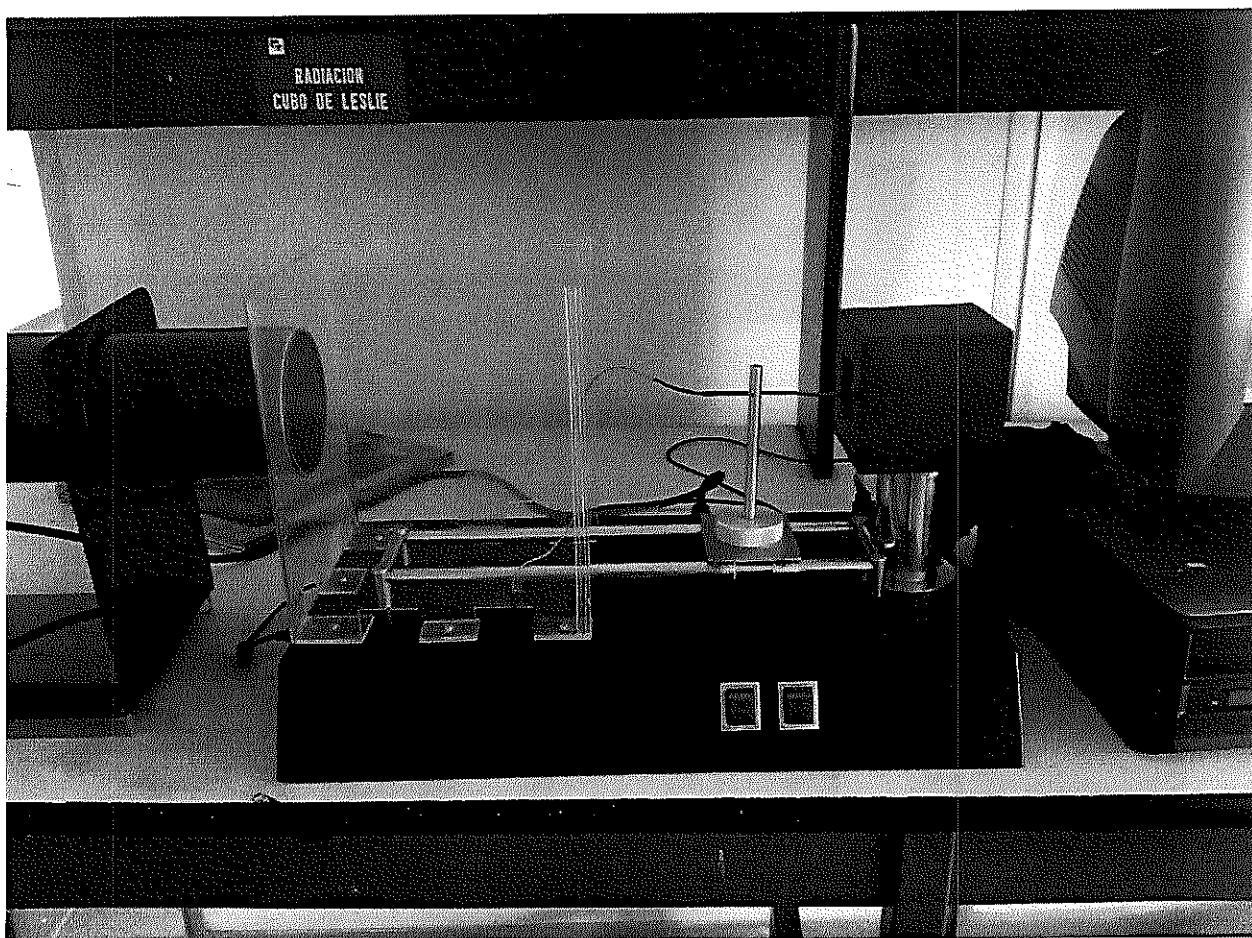


Figura 20: Caja de Aislamiento del Equipo Caracterización de Resistencia Interna Despreciable

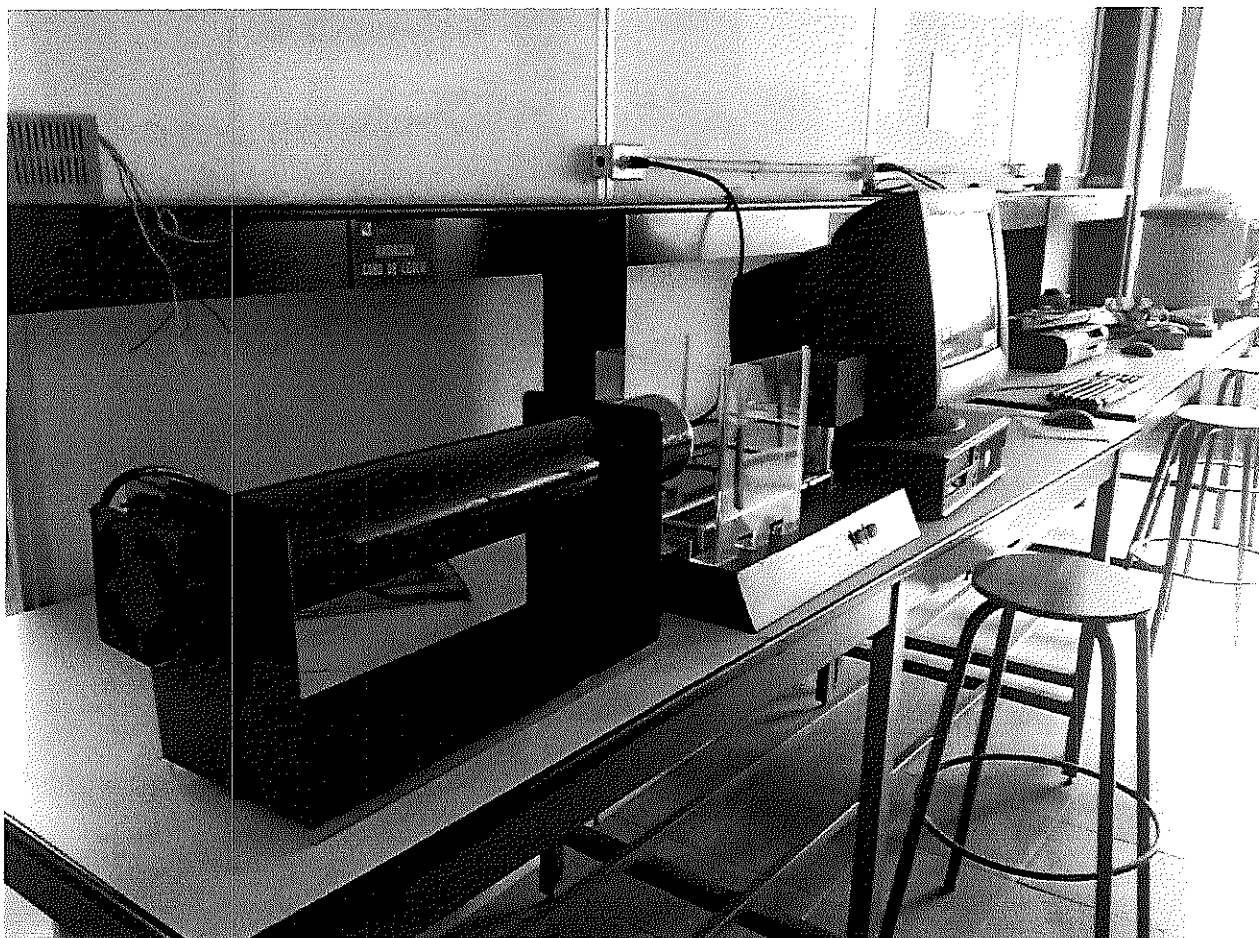


Figura 21: Ducto de aire con Ventilador del Equipo Caracterización de Resistencia Interna Despreciable

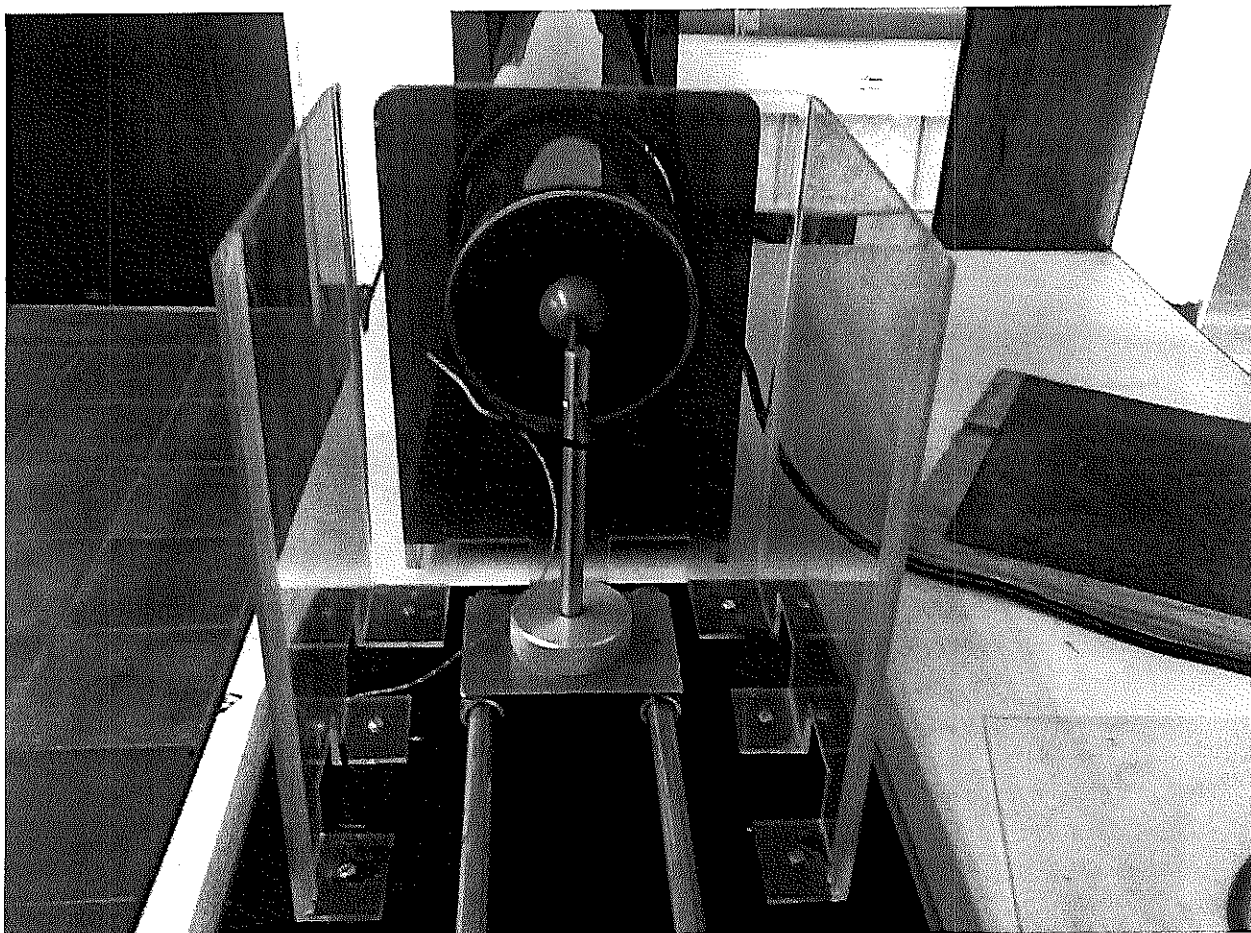


FIGURA 22 : Sistema de Posicionamiento del equipo Caracterización de Resistencia Interna Despreciable

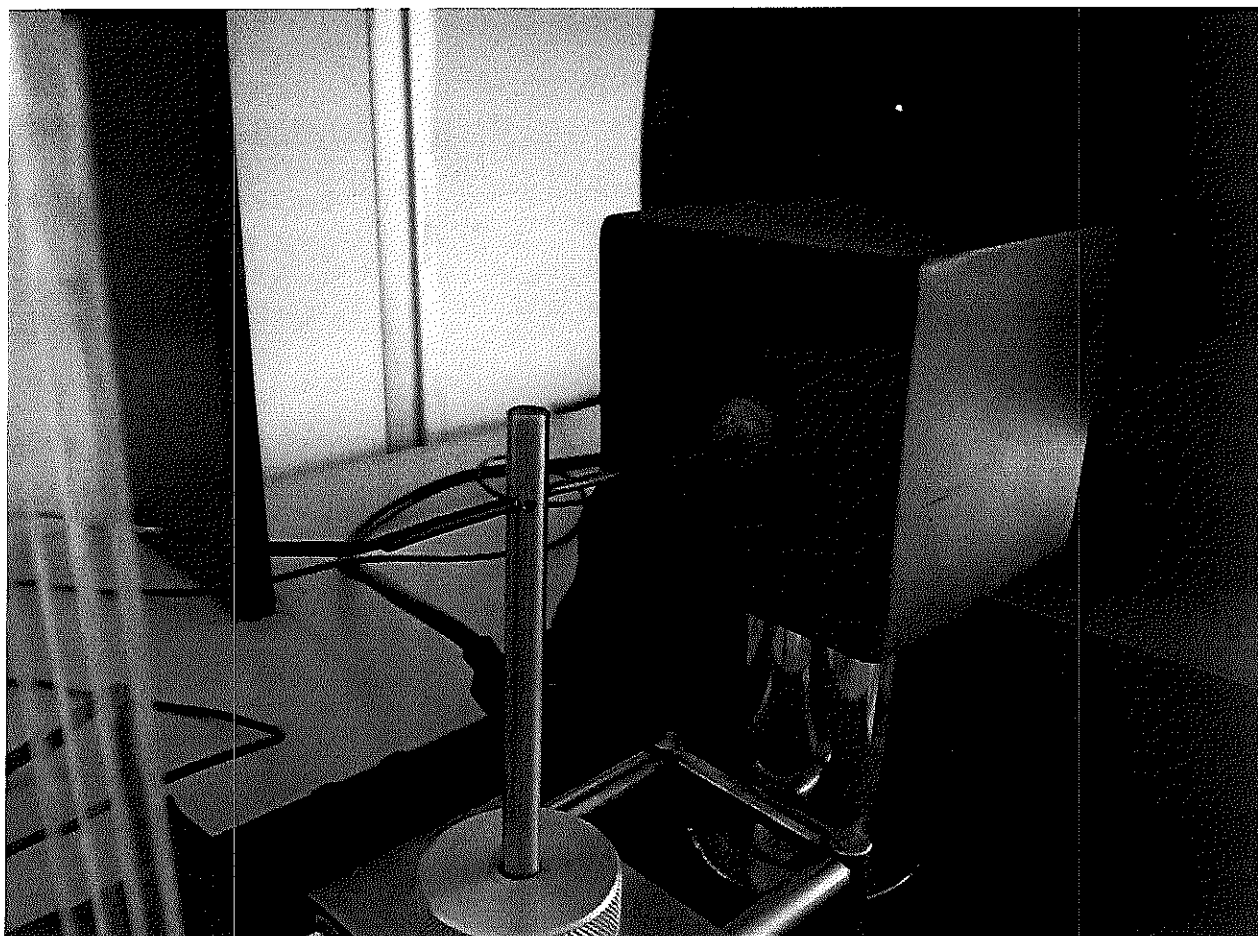
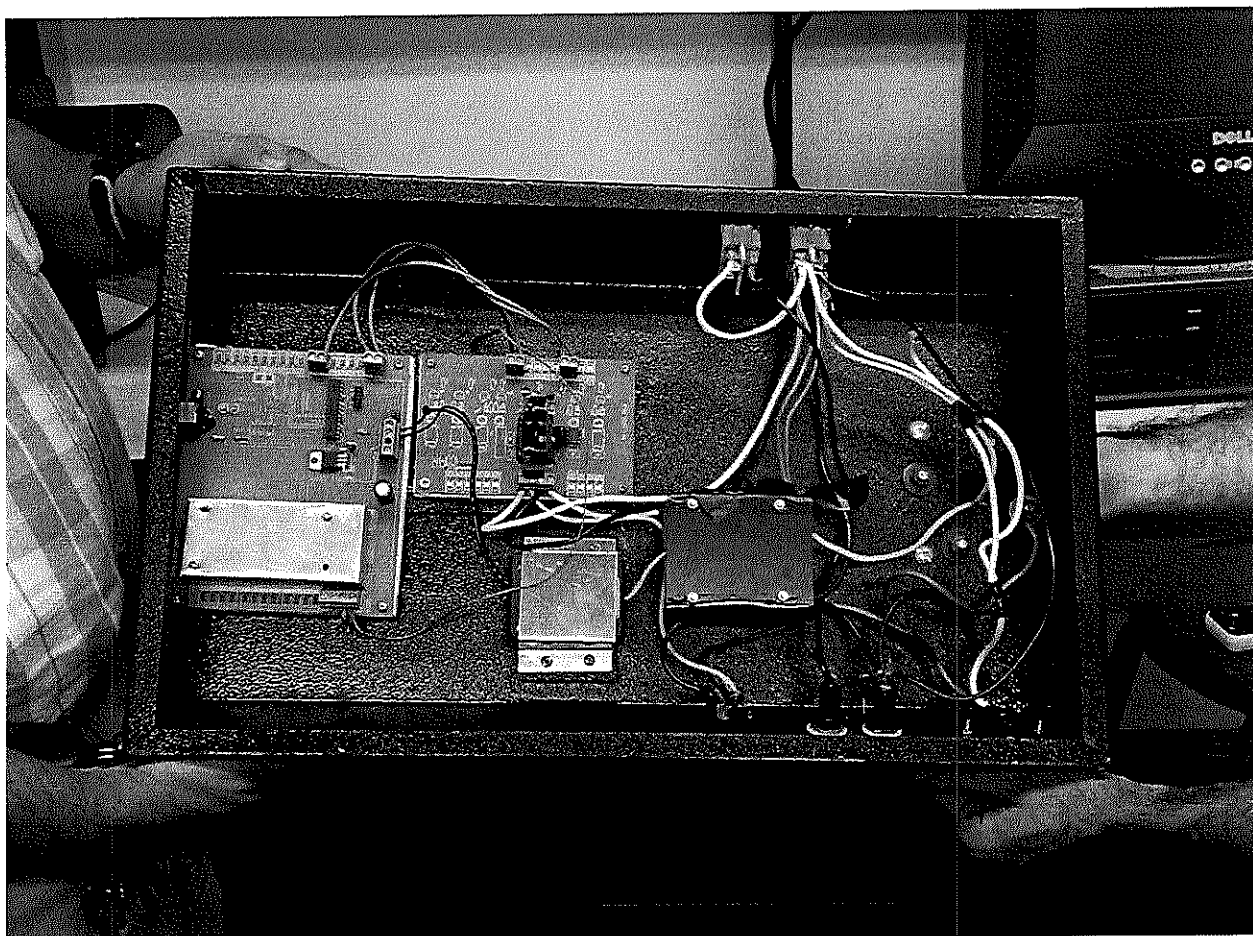


Figura 23: Esfera de Cobre y Mufla del equipo Caracterización de Resistencia Interna Despreciable



**Figura 24: S Sistema Electrónico – tarjetas de medición y control- del Equipo
Caracterización de Resistencia Interna Despreciables**

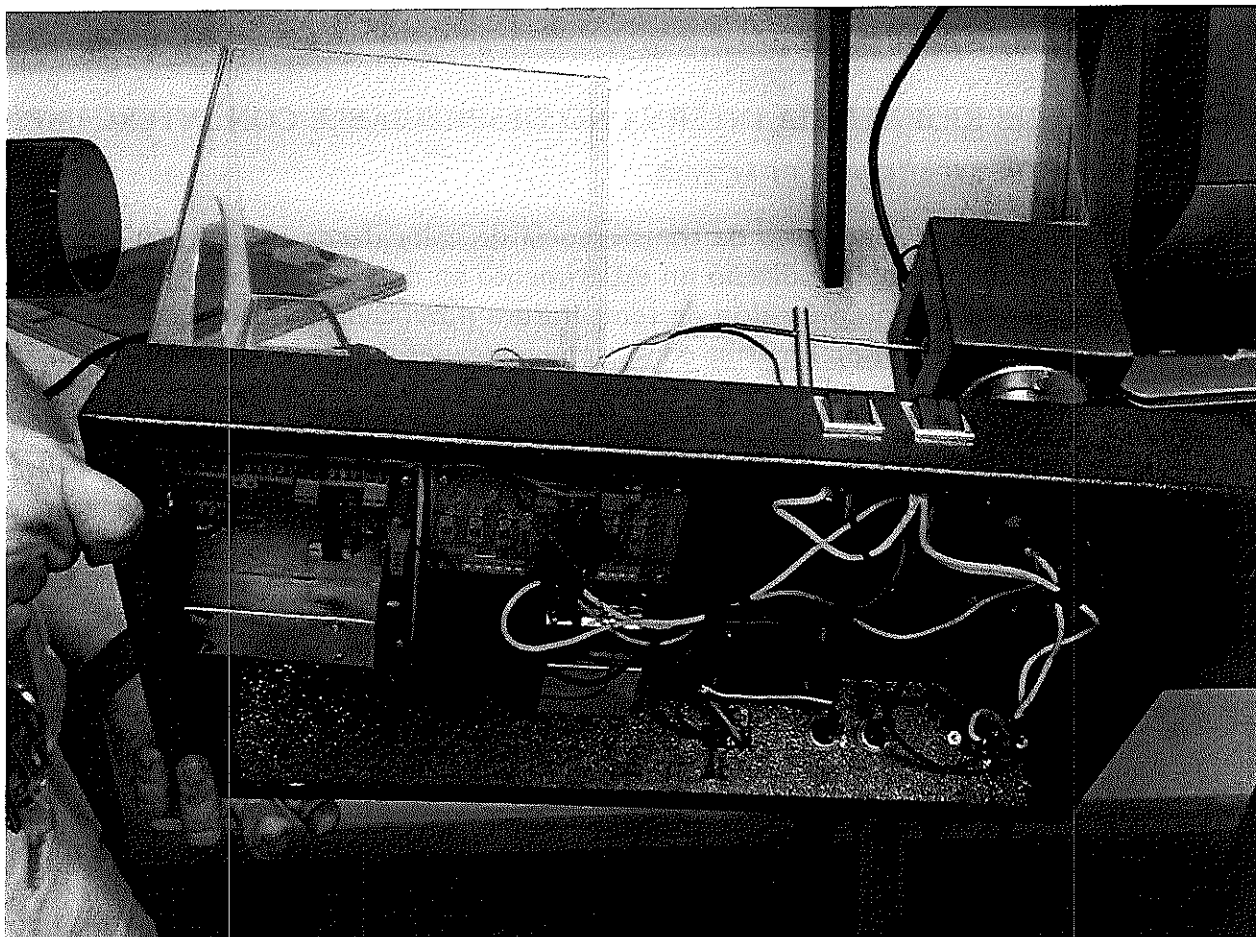


Figura 25: Localización del Sistema Electrónico del Equipo Caracterización de Resistencia Interna Despreciables



3. Informe de resultados

SISTEMA DE RESISTENCIA INTERNA NO DESPRECIABLE CON INTERCAMBIO DE CALOR A UN MEDIO CALEFACTOR.

Para caracterizar el fenómeno de transferencia de calor desde un sistema de resistencia interna no-despreciable, se diseñó un experimento en donde una pared gruesa de acrílico es sometida a un cambio escalón de temperatura provocado por una corriente de fluido calefactor (agua caliente). En estas condiciones se experimenta un cambio de temperatura función de la posición y del tiempo transcurrido. El monitoreo de esta variable, en cuatro puntos distintos permite, además de ilustrar el fenómeno, hacer comparaciones teórico experimentales, y análisis de diversos métodos de solución del problema. Las Figuras 26 a 29, contienen los resultados experimentales obtenidos en los primeros experimentos y muestran tendencias perfectamente coherentes con los comportamientos esperados, Trujillo, 2012. Tanto la existencia y disponibilidad del sistema calefactor y del equipo mecánico y del sistema de monitoreo y control, en unas condiciones de presentación de planta muy buenas, así como el comportamiento de variables esperadas, confirman el alcance de los objetivos propuestos.

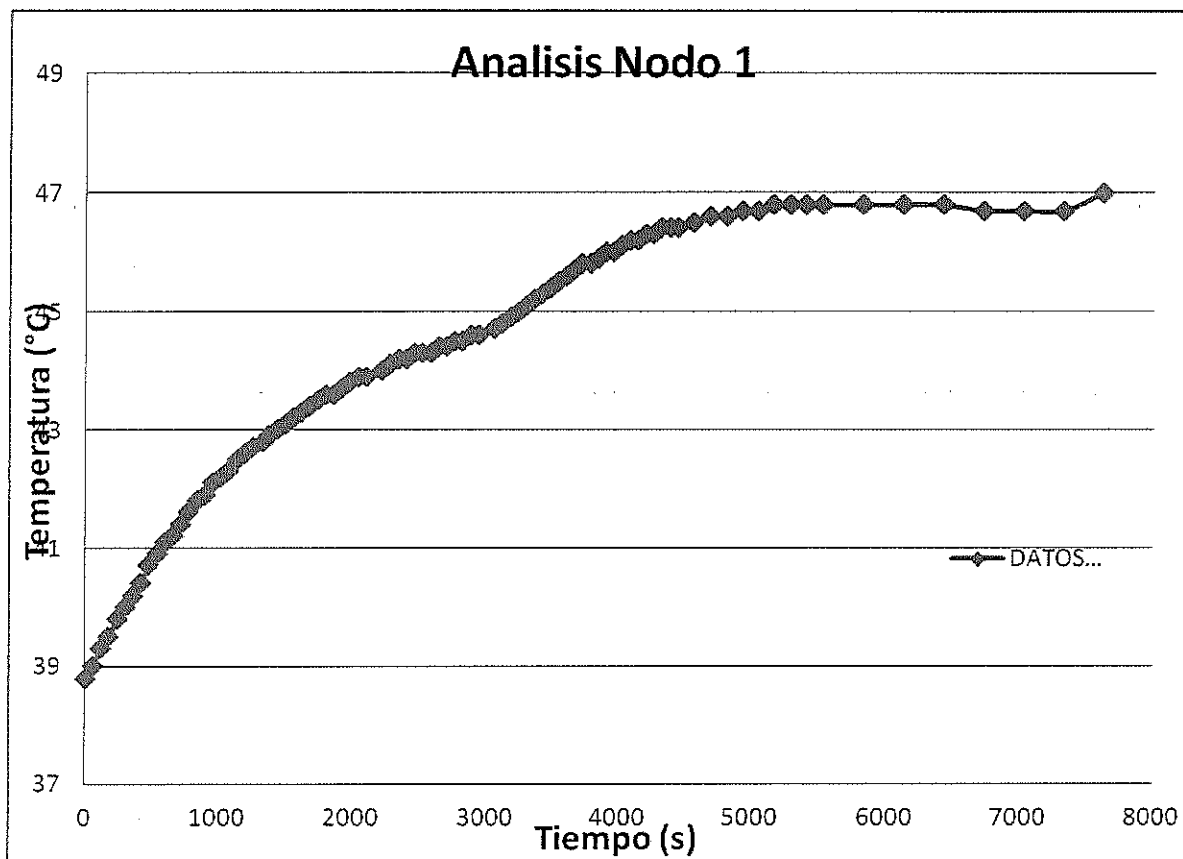


Figura 26: Variación de la temperatura del Nodo 1 en el Experimento de Resistencia Interna No-Despreciables

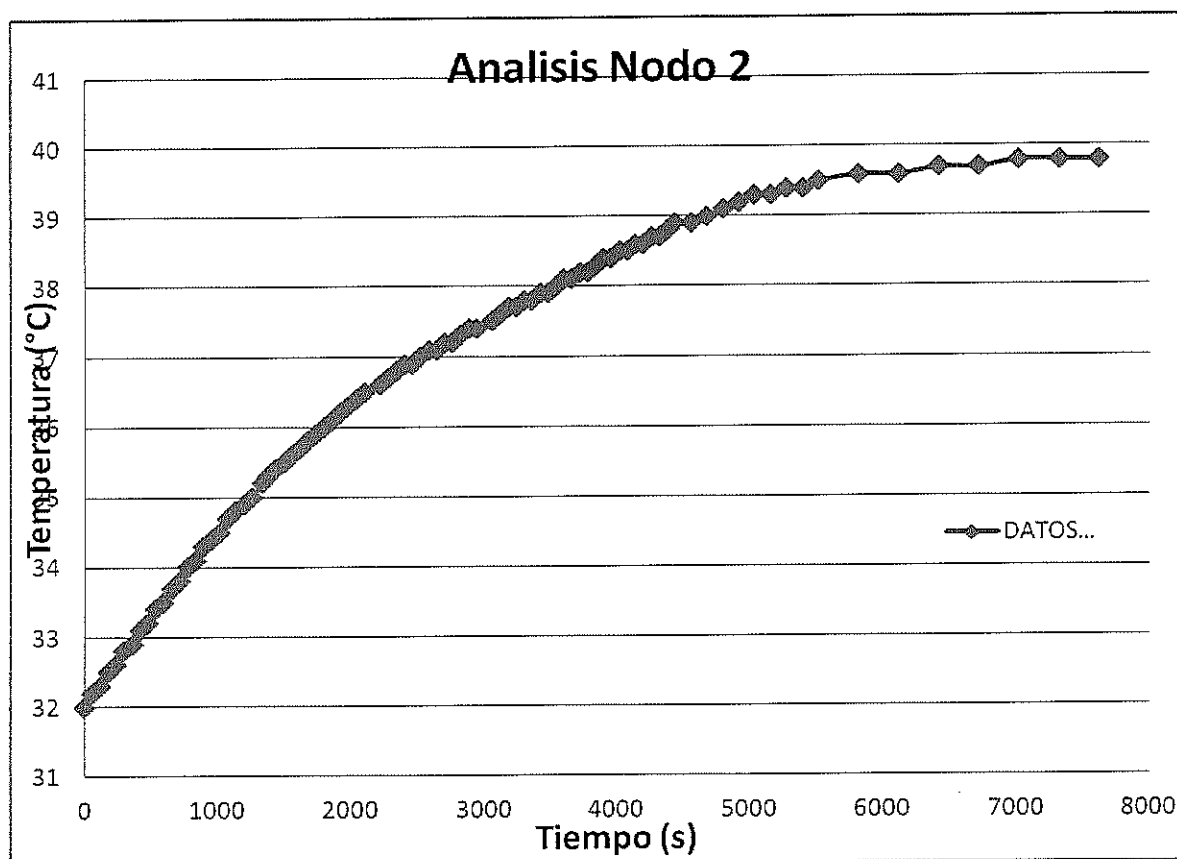


Figura 27: Variación de la temperatura del Nodo 2 en el Experimento de Resistencia Interna No-Despreciables

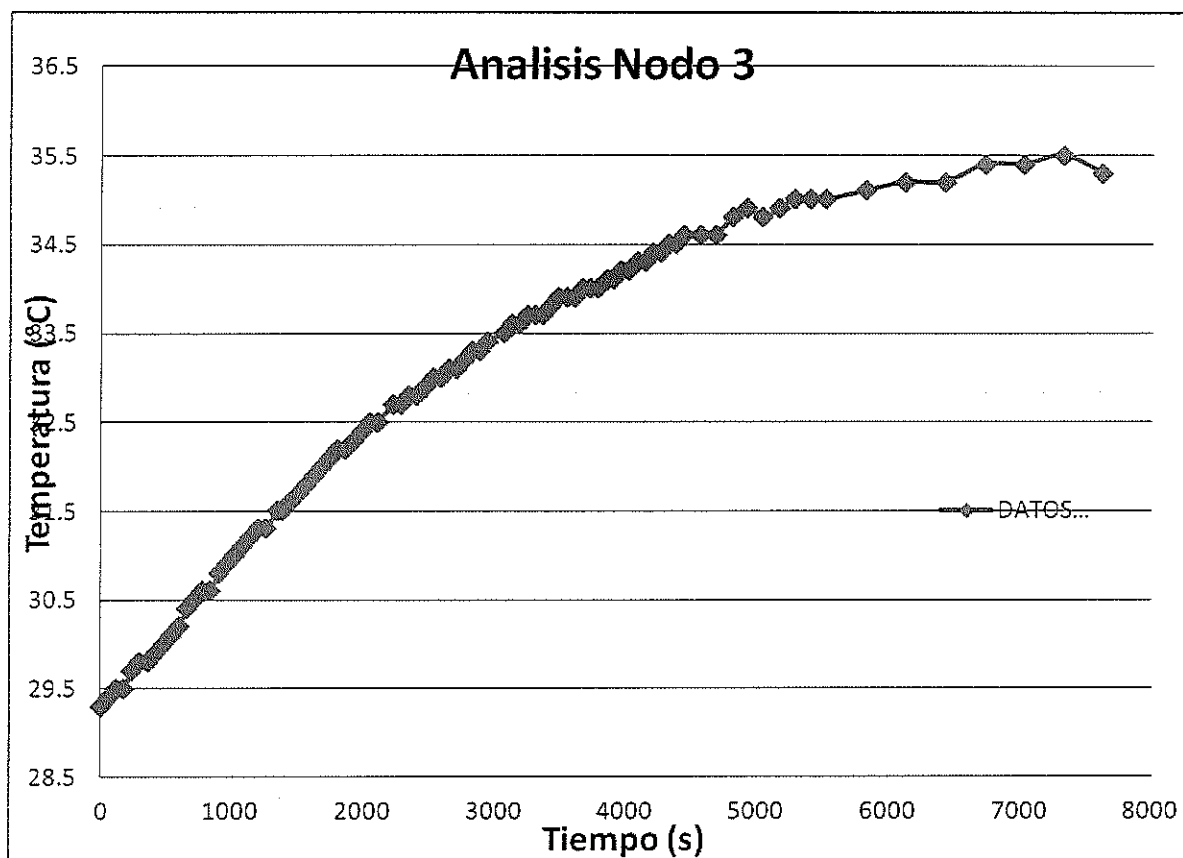


Figura 28: Variación de la temperatura del Nodo 3 en el Experimento de Resistencia Interna No-Despreciables

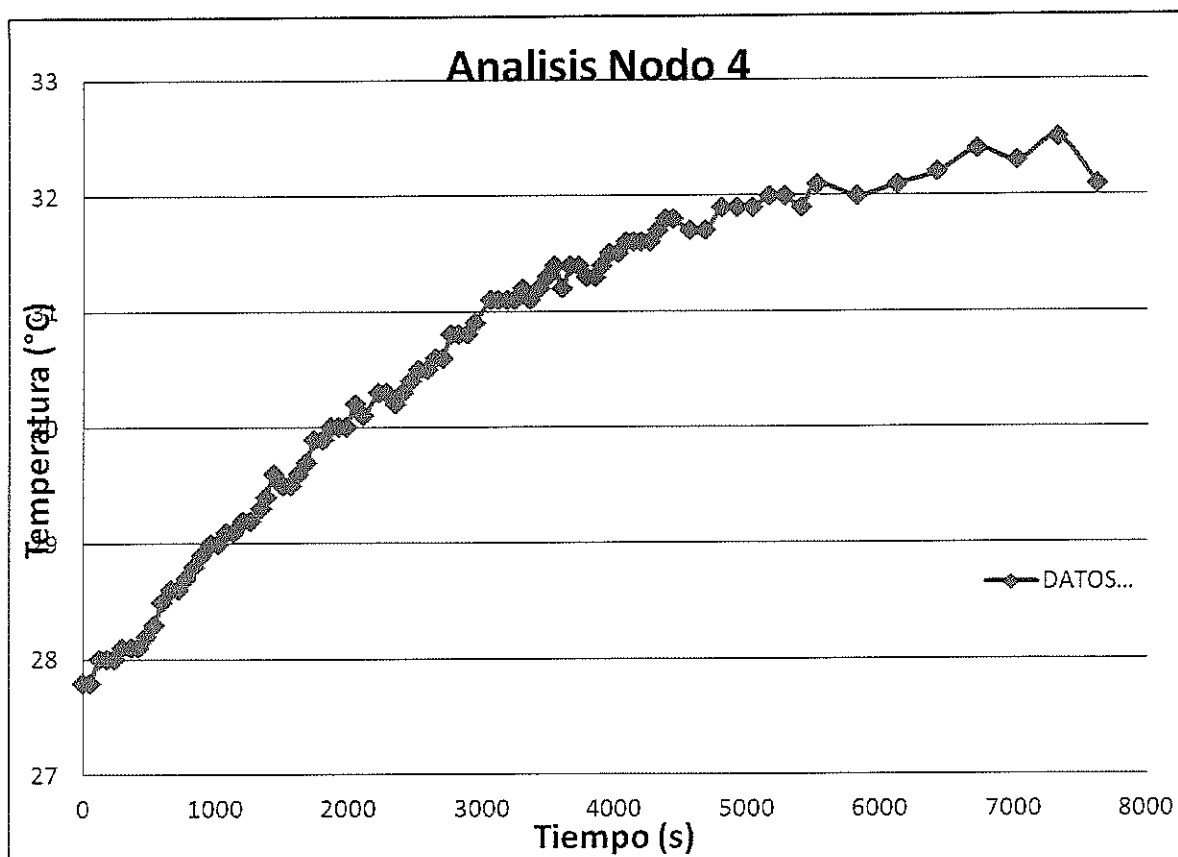


Figura 29: Variación de la temperatura del Nodo 4 en el Experimento de Resistencia Interna No-Despreciables

SISTEMA PARA ILUSTRAR EL FENÓMENO DE RADIACIÓN, SUS LEYES BÁSICAS, Y LA MEDICIÓN DE LA PROPIEDAD RADIANTE EMISIVIDAD.

Para caracterizar el fenómeno térmico de intercambio de calor por radiación e ilustrar el efecto de la emisividad, se diseñó un experimento en donde un cubo de paredes delgadas de acero inoxidable, pero de diferentes acabados superficiales, se llena de agua la cual se calienta y se agita para garantizar que todas las paredes están a la misma temperatura. En estas condiciones se hace medición de la radiación emitida por cada una de estas paredes a través de un cono provisto de una termopila. La medición de las temperaturas, y la radiación de las superficies permite el alcance de los objetivos propuestos que son: ilustrar las leyes básicas de la radiación, y la medición de las Emisividades. Las Tabla 1 a 4 muestran los datos recopilados en las seis secuencias de prueba, y las Figuras 30 a 35, dan



cuenta de la consistencia y repetitividad entre las diferentes pruebas, así como una comparación teórico-experimental, aproximación realizada por los estudiantes en tesis, Hernandez & Ortiz, 2012. De los datos experimentales se observó una repetitividad de los resultados es altamente satisfactoria, lo que demuestra que este fenómeno de transferencia de calor por radiación queda plenamente ilustrado, al igual que el efecto de la emisividad. Finalmente la Tabla 5 muestra que los resultados de las Emisividades para superficie blanca, opaca, y espejo, son compatibles con las reportadas en la literatura técnica.

Tabla 1 : Resultados Comparativos de Caracterización Equipo Radiación & Emisividades- Prueba 1 y 2- (Hernández & Ortiz, 2012)

TABLA 6.1 Pruebas análogas FEM Tamb = 26°C

T(°C)	T _{abs}	BLANCA (mV)	OPACA (mV)	NEGRA (mV)	ESPEJO (mV)	T ⁴ -T _a ⁴ (x10 ⁹)
41	314	0,64	0,16	0,63	0,13	1,729
53	326	1,05	0,25	1,06	0,23	3,302
57	330	1,3	0,3	1,29	0,24	3,867
72	345	2,22	0,51	2,16	0,39	6,174
76	349	2,57	0,55	2,54	0,44	6,843
80	353	2,73	0,64	2,82	0,51	7,535
85	358	3,12	0,66	3,18	0,56	8,433
90	363	3,5	0,77	3,48	0,61	9,371
95	368	3,77	0,82	3,8	0,66	10,347

TABLA 6.2 Pruebas análogas FEM Tamb=26°C

T(°C)	T _{abs}	BLANCA (mV)	OPACA (mv)	NEGRA (mV)	ESPEJO (mV)	T ⁴ -T _a ⁴ (x10 ⁹)
49	322	0,92	0,21	1	0,18	2,758
51	324	1,01	0,21	1	0,18	3,027
55	328	1,19	0,26	1,21	0,21	3,582
64	337	1,76	0,4	1,78	0,33	4,905
67	340	1,99	0,42	2,1	0,37	5,371
70	343	2,18	0,47	2,17	0,4	5,849
75	348	2,54	0,54	2,68	0,46	6,674
79	352	2,79	0,61	2,83	0,46	7,360
81	354	3,01	0,66	2,98	0,51	7,712
85	358	3,1	0,67	3,2	0,53	8,433

Tabla 2 : Resultados Comparativos de Caracterización Equipo Radiación & Emisividades - Prueba 3 y 4- (Hernández & Ortiz, 2012)

TABLA 6.3 Pruebas análogas FEM Tamb=26°C

T(°C)	T _{abs}	BLANCA (mV)	OPACA (mV)	NEGRA (mV)	ESPEJO (mV)	T ⁴ -T _a ⁴ (x10 ⁹)
38	311	0,23	0,06	0,25	0,05	1,362
41	314	0,62	0,16	0,63	0,13	1,729
51	324	1,17	0,25	1,18	0,2	3,027
58	331	1,33	0,29	1,35	0,23	4,011
60	333	1,43	0,33	1,45	0,25	4,304
62	335	1,58	0,34	1,6	0,27	4,602
65	338	1,75	0,39	1,77	0,32	5,059
70	343	2,06	0,45	2,1	0,38	5,849
75	348	2,41	0,54	2,46	0,43	6,674
80	353	2,81	0,61	2,86	0,52	7,535
85	358	3,21	0,76	3,31	0,56	8,433
90	363	3,58	0,78	3,71	0,62	9,371
95	368	3,98	0,88	4,14	0,69	10,347

TABLA 6.4 Pruebas análogas FEM Tamb=30°C

T(°C)	T _{abs}	BLANCA (mV)	OPACA (mV)	NEGRA (mV)	ESPEJO (mV)	T ⁴ -T _a ⁴ (x10 ⁹)
40	313	0,4	0,12	0,4	0,11	1,169
45	318	0,65	0,15	0,66	0,14	1,797
50	323	0,93	0,22	0,93	0,2	2,456
55	328	1,2	0,27	1,2	0,22	3,145
60	333	1,45	0,32	1,46	0,24	3,867
70	343	2,06	0,46	2,07	0,38	5,412
80	353	2,7	0,61	2,74	0,52	7,099
90	363	3,34	0,8	3,35	0,61	8,934

Tabla 3 : Resultados Comparativos de Caracterización Equipo Radiación & Emisividades- Prueba 5 y 6- (Hernández & Ortiz, 2012)

TABLA 6.5 Pruebas análogas FEMTamb=26°C

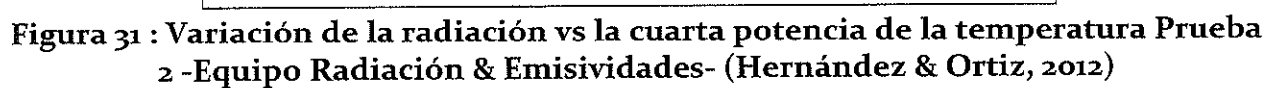
T(°C)	T _{abs}	BLANCA (mV)	OPACA (mV)	NEGRA (mV)	ESPEJO (mV)	T ⁴ -T _a ⁴ (x10 ⁹)
46	319	0,63	0,15	0,66	0,12	2,363
64	337	1,68	0,34	1,64	0,29	4,905
71	344	2,05	0,46	2,13	0,35	6,011
77	350	2,42	0,51	2,36	0,39	7,014
81	354	2,62	0,58	2,7	0,46	7,712
89	362	3,45	0,76	3,56	0,55	9,180

TABLA 6.6 Pruebas análogas FEMTamb=27°C

T(°C)	T _{abs}	BLANCA (mV)	OPACA (mV)	NEGRA (mV)	ESPEJO (mV)	T ⁴ -T _a ⁴ (x10 ⁹)
42	315	0,52	0,12	0,53	0,11	1,746
44	317	0,56	0,14	0,58	0,13	1,998
48	321	0,8	0,21	0,77	0,18	2,517
52	325	1,03	0,26	1	0,21	3,057
59	332	1,4	0,31	1,39	0,26	4,049
68	341	1,99	0,43	2,02	0,38	5,421
74	347	2,31	0,53	2,4	0,45	6,398
78	351	2,61	0,6	2,57	0,48	7,078
85	358	2,97	0,72	3	0,54	8,326
90	363	3,25	0,79	3,3	0,62	9,263

Tabla 4 : Resultados Comparativos de Caracterización Equipo Radiación & Emisividades - Factores de Correlación- (Hernández & Ortiz, 2012)

PRUEBA	CARA			
	BLANCA	OPACA	NEGRA	ESPEJO
1	0.996	0.993	0.995	0.994
2	0.996	0.992	0.993	0.994
3	0.991	0.985	0.990	0.989
4	0.999	0.992	0.998	0.984
5	0.990	0.982	0.983	0.993
6	0.998	0.995	0.997	0.996



PRUEBA 3 ($T_{amb}=26^{\circ}C$)

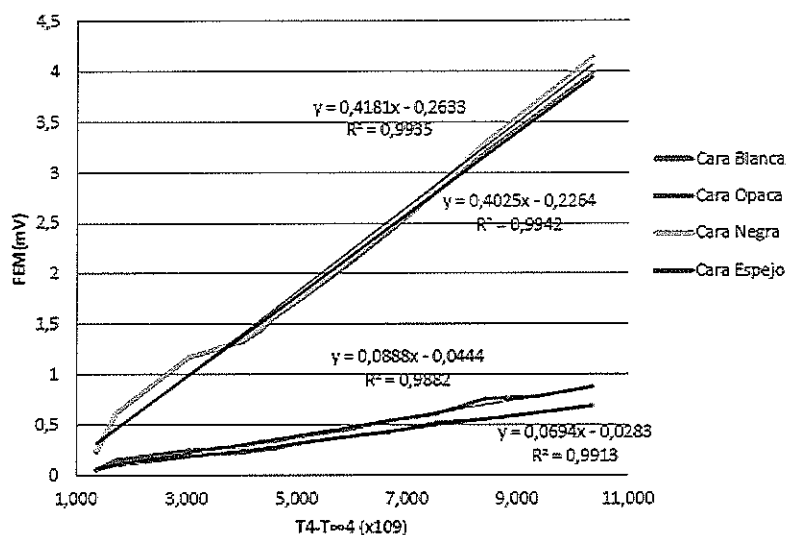


Figura 32 : Variación de la radiación vs la cuarta potencia de la temperatura Prueba 3 -Equipo Radiación & Emisividades- (Hernández & Ortiz, 2012)

PRUEBA 4 ($T_{amb}=30^{\circ}C$)

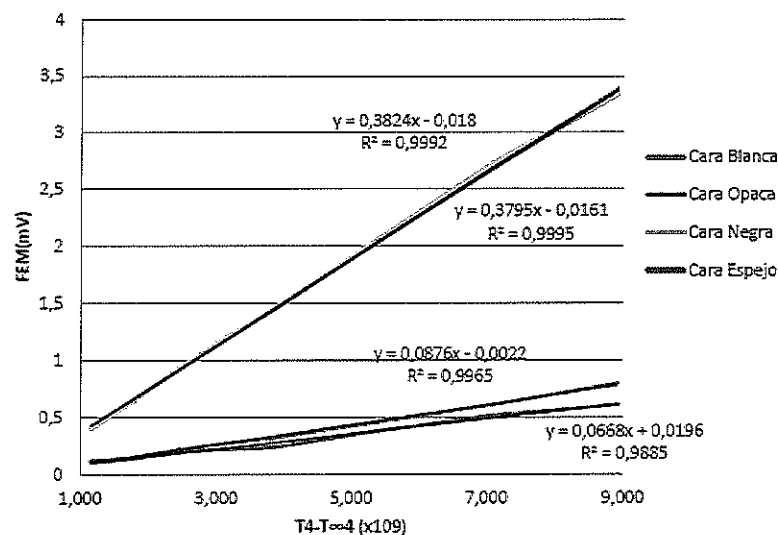


Figura 33 : Variación de la radiación vs la cuarta potencia de la temperatura Prueba 4 -Equipo Radiación & Emisividades- (Hernández & Ortiz, 2012)

PRUEBA 5 ($T_{amb}=26^{\circ}C$)

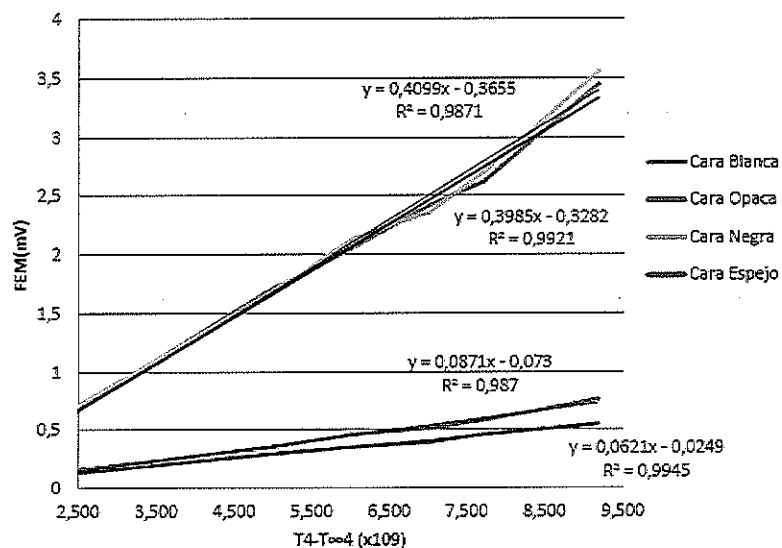


Figura 34 : Variación de la radiación vs la cuarta potencia de la temperatura Prueba 5 -Equipo Radiación & Emisividades- (Hernández & Ortiz, 2012)

PRUEBA 6 ($T_{amb}=27^{\circ}C$)

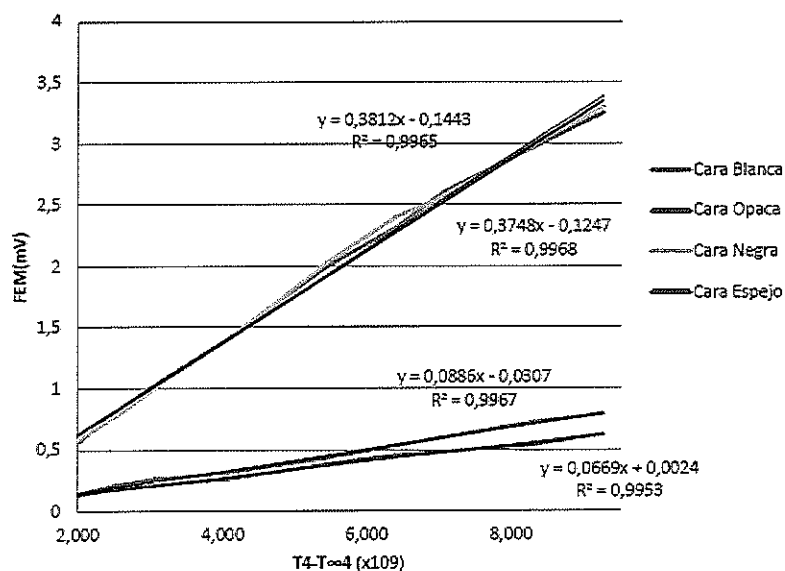


Figura 35 : Variación de la radiación vs la cuarta potencia de la temperatura Prueba 6 -Equipo Radiación & Emisividades- (Hernández & Ortiz, 2012)

**Tabla 5 : Resultados de Emisividades Equipo Radiación & Emisividades
(Hernández & Ortiz, 2012)**

PRUEBA	CARA		
	BLANCA	OPACA	ESPEJO
1	0,969	0,226	0,180
2	0,951	0,232	0,183
3	0,950	0,237	0,187
4	0,964	0,245	0,189
5	0,959	0,245	0,180
6	0,963	0,246	0,189
Promedio emisividades	0,959	0,239	0,185

SISTEMAS DE RESISTENCIA INTERNA DESPRECIABLE CON INTERCAMBIO DE CALOR AL MEDIO AMBIENTE.

Para caracterizar el fenómeno térmico de intercambio de calor en sistemas de transferencia de calor con resistencia térmica despreciable, se diseñó un experimento en donde una pequeña esfera de cobre se enfría al aire ambiente en convección natural y en convección forzada. El equipo para lo anterior fue descrito en el acápite precedente. Las variables a tener en cuenta fueron la Temperatura y el tiempo, además de de los parámetros físico del sistema RID (masa, conductividad, material, geometría, Biot, temperatura ambiente, temperatura de la mufla). Las Tablas 6 a 7 muestran los datos recopilados en las secuencias de prueba, y las Figuras 36 a 37, dan cuenta de la consistencia y repetitividad entre las diferentes pruebas, así como una comparación teórico-experimental, aproximación realizada por los estudiantes en tesis, Hernández & Ortiz, 2012. De los datos experimentales se observó una repetitividad de los resultados altamente satisfactoria, lo que demuestra que este fenómeno de transferencia de calor queda plenamente ilustrado. Además, como un extra de esta práctica se puede hacer comparación entre la convección natural y la convección forzada.

Tabla 6: Resultados Experimentales –Convección Libre- Equipo Resistencia Interna Despreciable (Hernández & Ortiz, 2012)

Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)	Ts (°F)
P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
199,13	200,57	197,58	198,62	194,81	198,59	199,18	199,14	197,09	200,93
197,38	198,82	195,83	196,87	193,06	196,84	197,43	197,39	195,34	199,18
195,67	197,11	194,12	195,16	191,35	195,13	195,72	195,68	193,63	197,47
193,99	195,43	192,44	193,48	189,67	193,45	194,04	194	191,95	195,79
192,34	193,78	190,79	191,83	188,02	191,8	192,39	192,35	190,3	194,14
190,72	192,16	189,17	190,21	186,4	190,18	190,77	190,35	188,68	192,52
189,13	190,57	187,58	188,62	184,81	188,59	189,18	189,14	187,09	190,93
187,57	189,01	186,02	187,06	183,25	187,03	187,62	187,58	185,53	189,37
186,04	187,48	184,49	185,53	181,72	185,5	186,09	186,05	184	187,84
183,06	184,5	181,51	182,55	178,74	182,52	183,11	183,07	181,02	184,86
180,18	181,62	178,63	179,67	175,86	179,64	180,23	180,19	178,14	181,98
177,41	178,85	175,86	176,9	173,09	176,87	177,46	177,42	175,37	179,21
174,73	176,17	173,18	174,22	170,41	174,19	174,78	174,74	172,69	176,53
172,15	173,59	170,6	171,64	167,63	171,61	172,2	172,16	170,11	173,95
169,65	171,09	168,1	169,14	165,33	169,11	169,7	169,66	167,61	171,45
167,67	164,11	161,12	162,16	158,35	162,13	162,72	162,68	160,63	164,47
158,4	159,84	156,85	157,89	154,08	157,86	158,45	158,41	156,36	160,2
154,41	155,85	152,86	153,9	150,09	153,87	154,46	154,42	152,37	156,21
150,67	152,11	149,12	150,16	146,35	150,13	150,72	150,68	148,63	152,47
147,18	148,62	145,63	146,67	142,86	146,64	147,23	147,19	145,14	148,98
142,34	143,78	140,79	141,83	138,02	141,8	142,39	142,35	140,3	144,14
137,94	139,38	136,39	137,43	133,62	137,4	137,99	137,95	135,9	139,74
133,94	135,38	132,39	133,43	129,62	133,4	133,99	133,95	131,9	135,74
130,29	131,73	128,74	129,78	125,97	129,75	130,34	130,3	128,25	132,09
126,95	128,39	125,4	126,44	122,63	126,41	127	126,96	124,91	128,75
121,1	122,54	119,55	120,59	116,78	120,56	121,15	121,11	119,06	122,9
116,17	117,61	114,62	115,66	111,85	115,63	116,22	116,18	114,13	117,97
112	113,44	110,45	111,49	107,68	111,46	112,05	112,01	109,96	113,8
108,44	109,88	106,89	107,93	104,12	107,9	108,49	108,45	106,4	110,24
105,4	106,84	103,85	104,89	101,08	104,86	105,45	105,41	103,36	107,2
102,78	104,22	101,23	102,27	98,46	102,24	102,83	102,79	100,74	104,58
100,52	101,96	98,97	100,01	96,2	99,98	100,57	100,53	98,48	102,32
98,58	100	97,01	98,05	94,24	98,02	98,61	98,57	96,52	100,36
96,85	98,29	95,3	96,34	92,53	96,31	96,9	96,86	94,81	98,65
95,38	96,8	93,81	94,85	91,04	94,82	95,41	95,37	93,32	97,16

**Tabla 7: Resultados Experimentales –Convección Forzada-Equipo Resistencia
Interna Despreciable (Hernández & Ortiz, 2012)**

Temperatura Teórica de la esfera T_s para Convección Forzada

T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)	T_s (°F)
P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
197,05	197,08	197,02	197,04	196,96	197,04	197,05	197,05	197,01	197,09
188,28	188,44	188,1	188,22	187,79	188,21	188,28	188,28	188,04	188,48
180,32	180,6	180,02	180,22	179,48	180,22	180,33	180,32	179,92	180,67
173,1	173,49	172,68	172,96	171,94	172,96	173,11	173,1	172,55	173,58
166,53	167,01	166,01	166,36	165,08	166,35	166,55	166,54	165,85	167,13
160,55	161,11	159,94	160,34	158,84	160,33	160,56	160,55	159,74	161,25
155,08	155,72	154,39	154,85	153,15	154,84	155,1	155,08	154,14	155,88
150,08	150,79	149,32	149,83	147,95	149,82	150,11	150,09	149,08	150,97
145,51	146,28	144,68	145,23	143,19	145,22	145,53	145,51	144,42	146,47
141,31	142,13	140,42	141,02	138,83	141	141,34	141,32	140,14	142,34
137,45	138,33	136,51	137,14	134,82	137,13	137,48	137,46	136,21	138,55
133,91	134,63	132,92	133,56	131,14	133,56	133,94	133,91	132,6	135,06
130,84	131,6	129,61	130,3	127,75	130,28	130,67	130,65	129,28	131,84
127,63	128,62	126,55	127,27	124,63	127,25	127,66	127,63	126,21	128,87
124,84	125,87	123,73	124,48	121,75	124,46	124,88	124,85	123,38	126,13
122,27	123,33	121,13	121,89	119,08	121,87	122,31	122,28	120,77	123,6
119,89	120,98	118,71	119,5	116,61	119,48	119,92	119,89	118,34	121,25
117,68	118,79	116,48	117,28	114,33	117,26	117,72	117,69	116,1	119,07
115,63	116,77	114,4	115,23	112,21	115,2	115,67	115,64	114,02	117,05
113,72	114,88	112,48	113,31	110,24	113,29	113,76	113,73	112,08	115,17
111,95	113,13	110,68	111,54	108,41	111,51	111,99	111,96	110,28	113,43

T_{EXP} (°F) Vs TIEMPO (seg)
CONVECCION LIBRE DATOS AUTOMATIZADOS

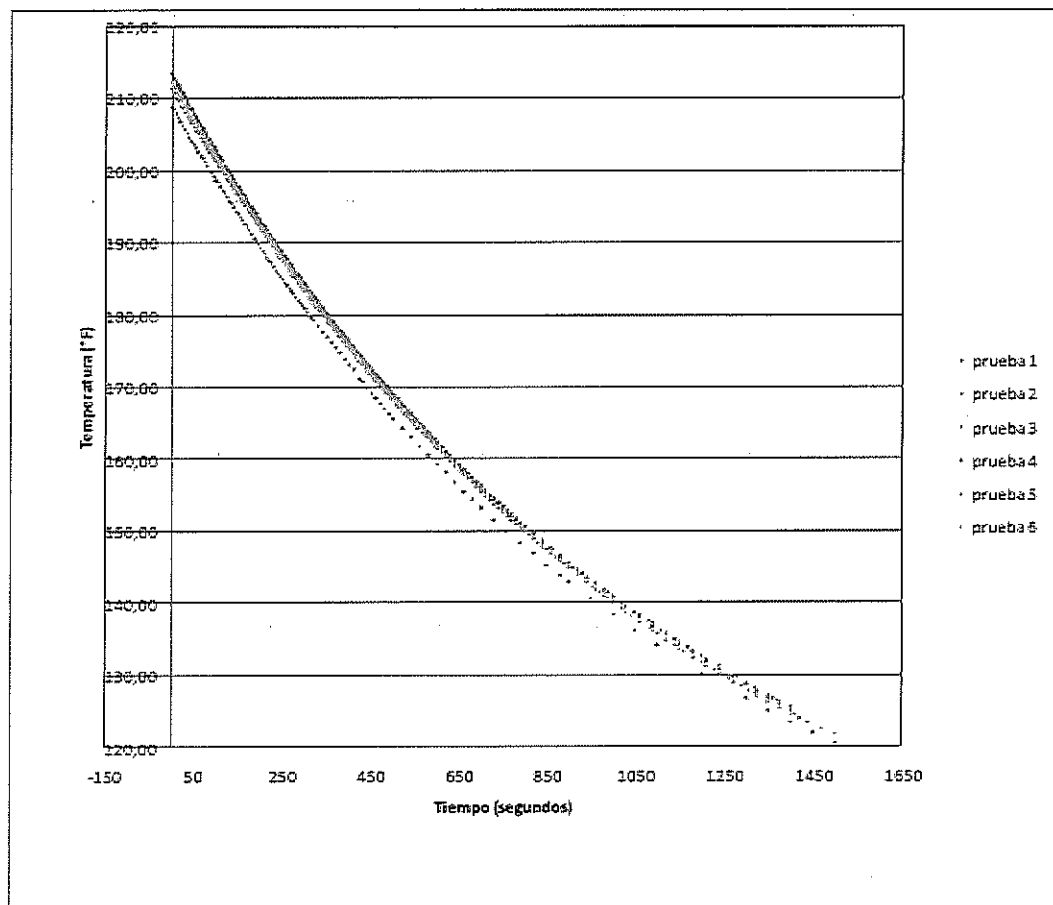


Figura 36 : Consolidado de Resultados de pruebas de Convección Libre- Equipo Resistencia Interna Despreciable- (Hernández & Ortiz, 2012)

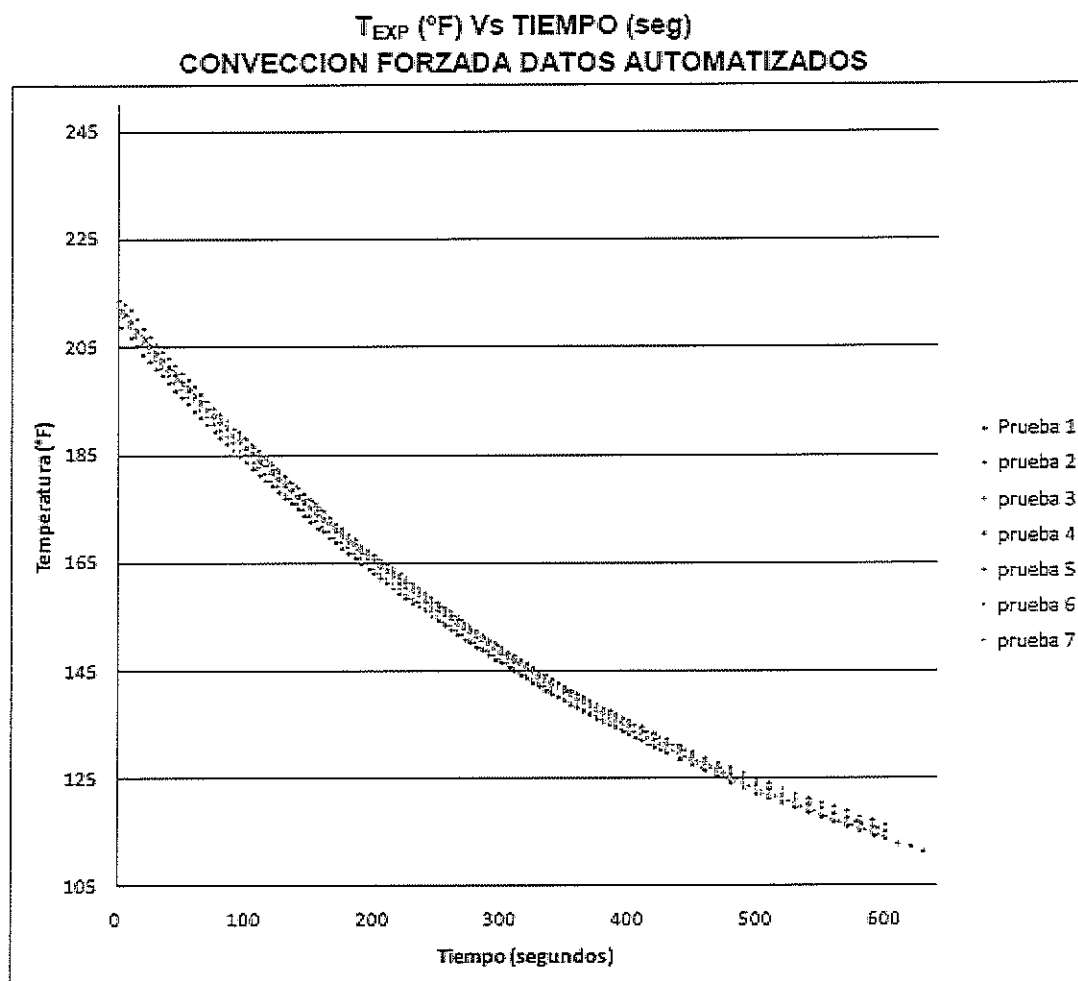


Figura 37 : Consolidado de Resultados de pruebas de Convección Forzada- Equipo Resistencia Interna Despreciable- (Hernández & Ortiz, 2012)

4. Impactos:

1. La Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con tres nuevos equipos de laboratorio. Esto atiende las conclusiones del proceso de autoevaluación y acreditación del CNA, y está acorde con el Plan de Desarrollo de la Universidad y de la EIME.
2. Los estudiantes de ingeniería que tienen prácticas en le área de transferencia de calor disponen de equipos que ilustran tres tópicos de las ciencias térmicas fundamentales en su capacitación.
3. Los equipos contruidos son de última generación, tienen una excelente presentación y confiabilidad. Al ser de construcción local significa que se ha hecho apropiación de una tecnología antes foránea.
4. Se logró el objetivo de construir estos equipos a bajo costo: el orden de la inversión fue de 10.000 Euros, frente a su valor comercial de 50.000 Euros.
5. El proyecto colaboró con la formación de tres nuevos ingenieros mecánicos. Estos estudiantes se capacitaron en diseño, construcción, interventoría, puesta en marcha y validación del funcionamiento de equipos.



VICERRECTORIA DE
INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**INFORME FINAL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**

ANEXO 1: PROPUESTA ORIGINAL