



Universidad Carlos III de Madrid

Ingeniería Industrial

PROYECTO FIN DE CARRERA

2009-2010

Realizado en INSA – Lyon



Medida de la temperatura interna de una cámara de combustión

SINTESIS DEL PROYECTO

Estudiante :

Javier González Mateo

Tutor :

Frédéric André

Cotutor :

Antonio Lecuona Neumann

INDICE

SINOPSIS.....	4
1.- INTRODUCCION	4
2.- CALIBRACION	5
2.1 Descripción del montaje del radiómetro y de su puesta en marcha	5
2.2 Puesta en funcionamiento	6
2.3 Resultados de las experiencias	7
2.3.1 « Filtros cero »	8
2.3.2 Curvas de tendencia	8
2.3.3 Fórmulas	9
2.3.4 Medidas aleatorias y extrapolación	9
2.3.5 Intervalos	11
2.3.6 Errores de medida estimados	11
2.3.7 Temperaturas reales y temperaturas teóricas	12
2.2 Información complementaria	13
3.- CONCLUSION Y PERSPECTIVAS	14

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de onda para cada filtro	5
Tabla 2. Temperaturas extrapoladas a partir de las tensiones de la tabla 2 para 1085°C	9
Tabla 3. Temperaturas medias estimadas en comparación con la temperatura real.	10
Tabla 4. Desviaciones típicas para las temperaturas estimadas según el filtro.	10
Tabla 5. Intervalos de temperaturas para cada filtro	11
Tabla 6. Errores relativos según el filtro.....	12
Tabla 7. Temperaturas reales vs temperaturas teóricas.....	13

RESUMEN

SINOPSIS

Este trabajo tiene por objetivo calibrar un instrumento óptico. Este dispositivo es un radiómetro que va a ser utilizado para medir la temperatura interna de una cámara de combustión. Sirve para caracterizar la temperatura según los valores de tensión que nos proporciona. Por consiguiente el objetivo de esta memoria es presentar las curvas de calibración del radiómetro obtenidas a partir de medidas en un cuerpo negro y también de verificar que los resultados son fiables. El trabajo realizado en este proyecto ha sido completado por una búsqueda y elección de proveedores de flujómetros térmicos y de pintura de alta emisividad para completar otros proyectos llevados a cabo en la misma cámara de combustión.

Palabras Clave: Calibración, radiómetro, temperatura, verificación, búsqueda de proveedores.

1.- INTRODUCCION

El objetivo de este proyecto está centrado en la calibración de un radiómetro pero, para comenzar, me he informado con diversos documentos sobre diferentes métodos de medida de la temperatura y del flujo en una cámara de combustión a fin de tener una idea general sobre las problemáticas ligadas a mi proyecto. Los métodos estudiados han sido los siguientes:

- Termopares
- Flujómetro
- Cámara Infrarroja
- Radiómetro

Mi proyecto va a estar definido en dos partes principales:

- 1.- Calibración del radiómetro: obtener curvas de respuesta del radiómetro para diferentes temperaturas de la superficie de un cuerpo negro.
- 2.- Verificar la eficacia de esta calibración y dar ejemplos para explicar cómo medir la temperatura de la cámara de combustión a partir de las curvas obtenidas para un cuerpo negro en la primera parte.

En esta memoria, el método llevado a cabo para la calibración ha sido explicado de la forma más clara y precisa posible. Se han añadido diversos anexos para detallar el estudio y en los cuales se pueden ver todas las gráficas estudiadas. Al final de la misma hay dos anexos en donde se explica la búsqueda de proveedores de flujómetros y también de pintura de alta emisividad para completar mi formación como ingeniero en el Centro de Térmica de Lyon.

2.- CALIBRACION

2.1 Descripción del montaje del radiómetro y de su puesta en marcha

Un radiómetro es un instrumento que permite medir la intensidad del flujo de radiación electromagnética en diferentes dominios de longitudes de onda como el ultravioleta, el visible o el infrarrojo.

Los radiómetros son utilizados sobre todo en meteorología dispuestos en los satélites. Efectúan medidas sobre canales bien determinados de longitudes de onda, lo que les permite medir con precisión el contenido en vapor de agua y agua líquida en la atmósfera. En nuestro caso, queremos utilizarlo para medir la temperatura interna de una cámara de combustión. Por lo tanto debemos calibrarlo antes para alcanzar nuestro objetivo.

Seguiremos el principio que dice que todo cuerpo emite radiación térmica diferente de una materia a otra. Sin embargo, se puede calcular la energía calorífica máxima radiada por la materia según la temperatura a la que esté y la longitud de onda analizada. El emisor ideal que radiaría esta energía se llama cuerpo negro y nos servirá como patrón de radiación en la calibración.

Un cuerpo negro define el estado de equilibrio termodinámico perfecto entre la radiación y la materia en una cavidad radiante isoterma a la temperatura termodinámica T . Por definición, el cuerpo negro absorbe toda la radiación que recibe. Se puede entonces evaluar la energía emitida por los otros cuerpos en relación a la que emitiría el cuerpo negro en las mismas condiciones ayudándonos de coeficientes de emisividad. Hemos utilizado un cuerpo negro y le hemos impuesto una temperatura de trabajo.

El porta-filtros está equipado con 6 filtros que están centrados según las longitudes de onda siguientes:

Filtro	1	2	3	4	5	6
Longitud de onda central(nm)	2850	2725	4250	2100	2470	4530

Tabla 1. Longitud de onda para cada filtro

Estas cifras han sido estudiadas teniendo en cuenta los siguientes baremos: la longitud de onda de los filtros debe situarse en las regiones espectrales exactas del infrarrojo donde uno de los constituyentes mayoritarios de los residuos de combustión emite radiación térmica y por otro lado la tasa de transmisión de los filtros debe ser la más

elevada posible en estas regiones con el objetivo de perder la menos información posible proveniente de la fuente de emisión.

Por un lado es necesario alinear el radiómetro con los filtros y el cuerpo negro que tiene una abertura a través de la cual la radiación es emitida. Hemos centrado el bloque radiómetro - porta-filtros y el cuerpo negro fijándolos a dos placas de metal para comenzar con la calibración del instrumento óptico. Este reglaje es obligatorio ya que debemos asegurarnos que la luz entrante en nuestro sistema proviene del cuerpo negro a la temperatura fijada y no de sus fronteras (equivalentes a un medio gris). Por lo tanto, al final de la calibración podremos utilizar el radiómetro para estimar con precisión la temperatura interna de la cámara de combustión.

2.2 Puesta en funcionamiento

Explotando los resultados de otros estudios que han utilizado el cuerpo negro, sabemos que hace falta imponer un caudal de agua que permita la refrigeración externa del cuerpo negro. Este caudal de agua debe estar comprendido entre 3,0 y 4,5 litros/minuto. Hace falta verificar con precisión que el valor no sea inferior a 3 litros/minuto ya que en ese caso la refrigeración no sería suficiente.

Alimentamos el sistema y ajustamos la temperatura de trabajo requerida. Comenzamos por la temperatura más alta. Debemos dejar que la temperatura aumente de forma constante, sin paradas. Después realizaremos las medidas para esta temperatura e iremos descendiendo parando en cada una de las otras temperaturas de trabajo. Así es más fácil para el sistema descender por intervalos.

A continuación ponemos en marcha el radiómetro y el ordenador con el cual recibiremos todos los datos con un programa informático específico (labview) para tratar las medidas del radiómetro. Nuestro objetivo es calibrar el instrumento óptico y obtener curvas temperatura-tensión. Es preciso decir que vamos a recibir muchas cifras de voltaje pero lo que conocemos, ya que lo imponemos así, de manera precisa es la temperatura que hemos fijado y el filtro que hemos escogido para cada ocasión. Por lo tanto podremos considerar así la temperatura (en °C) en función de la tensión (en mV) para cada filtro escogido.

Una vez alcanzada la primera temperatura hemos comenzado por hacer las medidas sin filtro. Para ello hemos tapado el haz receptor entre el cuerpo negro y el porta-filtros y una segunda medida tapando el haz entre el porta-filtros y el radiómetro con el objetivo de asegurar que la radiación exterior es desdeñable. Después hemos realizado dos medidas para cada filtro y una vez terminado con el sexto filtro hemos medido otra vez dos últimas temperaturas tapando el haz. Este caso lo hemos llamado “filtro cero” a fin de corroborar el estudio. Hemos hecho las mismas operaciones para cada temperatura: 1429°C, 1326°C, 1223°C, 1119°C y 1014°C.

Una vez terminadas las experiencias, había que modificar la alimentación para poder bajar la temperatura de trabajo a 100°C y asegurar así un descenso constante de la temperatura sin cambios bruscos en el sistema.

Hemos seguido este procedimiento paso a paso durante 5 días con el objetivo de tener un mínimo de datos para obtener las curvas tensión-temperatura.

Un último día nos ha servido para efectuar medidas para algunas medidas aleatorias a fin de verificar que las curvas elegidas son correctas y constatar si es posible extrapolar los resultados y confirmar el buen funcionamiento del radiómetro. Estas temperaturas eran: 1388°C, 1348°C, 1250°C, 1170°C y 1085°C (todas contenidas en el intervalo de temperaturas escogidas para los días precedentes). En este caso hemos comenzado por la temperatura de 1250°C y hemos tomado las otras aleatoriamente en este orden: 1250°C, 1170°C, 1348°C, 1085°C y 1388°C, como sabemos que el cuerpo negro es un caso ideal queremos saber con precisión y utilizar el radiómetro para otras experiencias reales con objetos como la cámara de combustión que contienen medios reactivos y en los cuales la radiación varía con el tiempo. Hemos realizado las medidas siguiendo el mismo método que en las campañas de medidas precedentes.

Para terminar con la puesta en funcionamiento hemos compilado todos los datos obtenidos en un programa que interpretaba todas las cifras como por ejemplo: Algebraicamente, 01ab cdef da un valor de tensión en voltios de: $+c,def * 10^{-ab}$ V, es decir:

Dato: 0104 2234 → es transformado en → $2,234 * 10^{-04}$ Voltios según el compilador.

Una vez que hemos compilado los datos y los hemos adaptado a Excel todos los valores de tensión. Los hemos analizado mediante gráficas.

2.3 Resultados de las experiencias

El objetivo de esta calibración es utilizar el radiómetro para medir la temperatura de un objeto. La respuesta del radiómetro es un valor de tensión. Es por eso que debemos poder transformar las cifras obtenidas para a continuación estimar la temperatura a partir de nuestras curvas tensión-temperatura.

En un primer instante hemos tratado los datos y hemos trazado las gráficas T(V) para cada día y para cada filtro. De esta forma hemos podido estimar una temperatura desconocida a partir de las cifras en mV del radiómetro.

2.3.1 « Filtros cero »

Al principio hemos constatado que los valores para el filtro sin radiación directa (« filtro cero ») son desdeñables. Es necesario saberlo para verificar que todos los otros datos no están influenciados por la radiación exterior sino únicamente por el cuerpo negro. En el caso contrario sería imposible poder calibrar el radiómetro. Se puede observar que los resultados para el filtro cero son del orden de μV mientras que todos los otros valores son del orden de mV , es decir, tres órdenes de magnitud superiores. La primera conclusión es que la radiación exterior no afecta a las medidas. Además no depende de la temperatura del cuerpo negro.

2.3.2 Curvas de tendencia

Nuestro siguiente paso es trazar las gráficas para cada día y cada filtro. Podemos observar que los puntos siguen una tendencia. Esta tendencia es muy importante ya que debemos encontrar curvas cuya fórmula nos permitirá determinar los valores de temperatura a partir de valores de tensión $T(\text{V})$. La explicación para la elección del tipo de curva es la siguiente: hemos aproximado varios tipos de curvas para dos filtros: lineal, polinómica de orden tres y de orden cuatro, potencial, logarítmica... Para conocer la curva más precisa hemos calculado el coeficiente de determinación R^2 .

La variable estadística R^2 , cuyo valor se sitúa entre 0 y 1, indica la fuerza de relación entre dos variables. Es interpretada como el porcentaje de variación de la variable dependiente explicado por el modelo. Un R -cuadrado próximo a 1 significa que la curva de tendencia describe precisamente la relación entre la variable dependiente y la otra.

Las curvas de tendencia que hemos obtenido para los diferentes filtros verifican que nuestra elección es la más coherente. Debido a que hemos utilizado un programa informático para hallar R^2 , éste ha redondeado a 1 en el polinomio de orden 3, debido a los pocos datos para aproximar la curva, lo consideraremos como coherente.

Se puede constatar que la curva de tendencia utilizando un polinomio de orden tres es la que mejor se adapta a nuestros datos. Su R^2 vale 1, todas las otras curvas lo tienen próximo a 1 pero no tan precisas. Debido a lo ya explicado lo consideraremos válido para nuestro objetivo de medir la temperatura. Todos los puntos están mejor adaptados a la línea. Por tanto tomaremos las curvas de tendencia polinómicas de orden tres cuyas fórmulas nos servirán para extrapolar los resultados.

2.3.3 Fórmulas

Hemos obtenido 5 curvas T-V (de cada día) para cada filtro, y ahora debemos sintetizarlas. He aquí presentadas las fórmulas para el primer filtro.

Filtro 1:

$$T (^{\circ}\text{C}) = 19,908[\text{V}(\text{mV})]^3 - 154,25[\text{V}(\text{mV})]^2 + 587,33[\text{V}(\text{mV})] + 668,78$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = 15,579[\text{V}(\text{mV})]^3 - 133,35[\text{V}(\text{mV})]^2 + 552,59[\text{V}(\text{mV})] + 686,72$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = 31,769[\text{V}(\text{mV})]^3 - 201,22[\text{V}(\text{mV})]^2 + 638,43[\text{V}(\text{mV})] + 661,62$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = 29,866[\text{V}(\text{mV})]^3 - 199,65[\text{V}(\text{mV})]^2 + 660,19[\text{V}(\text{mV})] + 664,81$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = 36,098[\text{V}(\text{mV})]^3 - 221,80[\text{V}(\text{mV})]^2 + 683,13[\text{V}(\text{mV})] + 658,76$$

2.3.4 Medidas aleatorias y extrapolación

Ahora que tenemos todas las fórmulas, con los datos tomados el último día metemos, los valores de tensión hallados, en cada una de las fórmulas y comparamos los resultados con la temperatura que hemos escogido aleatoriamente para este objetivo.

Aquí podemos ver la extrapolación para la temperatura 1085°C. El método consiste en tomar los valores de tensión para cada filtro y meterlos en la fórmula para cada día (cinco por filtro). Así obtendremos una tabla de temperaturas en torno a 1085°C más o menos cerca según el filtro. Por lo tanto el objetivo será tener intervalos donde se encuentre la temperatura estimada.

Temperatura (°C)		1085					
Filtro		F1	F2	F3	F4	F5	F6
Día	J1	1060,42	1052,32	1033,50	1066,51	1071,59	1022,75
	J2	1061,47	1055,85	1039,96	1066,92	1069,48	1018,90
	J3	1070,10	1066,52	1067,05	1073,22	1080,34	1038,50
	J4	1091,29	1086,79	1122,34	1089,77	1101,92	1091,14
	J5	1092,59	1088,19	1111,49	1091,04	1104,13	1101,58
Media		1075,17	1069,94	1074,87	1077,49	1085,49	1054,58

Tabla 2. Temperaturas extrapoladas a partir de las tensiones de la tabla 2 para

1085°C

Hemos repetido este método para las cinco temperaturas aleatorias: 1085°C, 1170°C, 1250°C, 1348°C y 1388°C, es decir, ahora tenemos cinco tablas como la anterior. Se puede constatar que las medias no corresponden exactamente al valor de la temperatura

real, es decir, nuestros valores están en torno a esa media para cada filtro. A continuación tenemos que calcular la varianza y la desviación típica para estimar los intervalos donde podemos encontrar la temperatura con un margen de confianza y así verificar que los resultados no se alejan de la realidad.

Medias :

Filtro	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
Temperatura (°C)	1085	1075,17	1069,94	1074,87	1077,49	1085,49	1054,58
	1170	1174,38	1169,12	1188,14	1176,68	1179,82	1165,39
	1250	1259,65	1251,98	1276,70	1260,04	1258,45	1253,78
	1348	1330,99	1324,49	1319,29	1335,16	1343,55	1303,98
	1388	1354,51	1348,97	1335,38	1361,19	1363,13	1318,87

Tabla 3. Temperaturas medias estimadas en comparación con la temperatura real.

Desviaciones típicas:

Filtro	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
Temperatura (°C)	1085	14,10	15,09	36,29	10,82	14,79	34,90
	1170	16,25	17,23	38,13	12,35	16,66	46,31
	1250	17,37	18,36	37,90	13,37	16,88	52,88
	1348	24,96	30,41	46,78	19,37	17,05	70,29
	1388	18,68	19,73	36,37	15,10	16,47	54,98

Tabla 4. Desviaciones típicas para las temperaturas estimadas según el filtro.

De esta forma podemos conocer la precisión de nuestras medidas. Se puede observar que para los filtros tres y seis la desviación es notablemente más grande, es decir, que los puntos de medida están más alejados de la curva elegida para definir la tendencia y en consecuencia las fórmulas son menos precisas.

Por otra parte se puede observar que para el valor 1388°C ninguna media alcanza esta cifra, lo que significa que hemos cometido errores de medida. Por tanto, para terminar con nuestra calibración verificaremos que los valores escogidos estén contenidos en los intervalos propuestos para cada medida aleatoria.

2.3.5 Intervalos

El método para obtener los intervalos consiste en definirlos como: $[\bar{X} - \sigma; \bar{X} + \sigma]$

Temperatura (°C)	Filtro					
	F1	F1	F2	F2	F3	F3
1085	1061,07	1089,28	1054,85	1085,02	1038,58	1111,16
1170	1158,13	1190,63	1151,89	1186,36	1150,01	1226,27
1250	1242,28	1277,03	1233,62	1270,33	1238,79	1314,59
1348	1306,03	1355,96	1294,08	1354,89	1272,51	1366,07
1388*	1335,83	1373,19	1329,24	1368,69	1299,08	1371,75

Temperatura (°C)	Filtro					
	F4	F4	F5	F5	F6	F6
1085	1066,67	1088,31	1070,71	1100,28	1019,68	1089,48
1170	1164,33	1189,03	1163,16	1196,49	1119,08	1211,69
1250	1246,67	1273,41	1241,56	1275,33	1200,89	1306,66
1348	1315,79	1354,53	1326,50	1360,59	1233,69	1374,27
1388*	1346,09	1376,29	1346,66	1379,59	1263,89	1373,85

*Valor no comprendido en los intervalos

Tabla 5. Intervalos de temperaturas para cada filtro

El valor 1388°C no está comprendido en ningún intervalo, pero no hemos encontrado explicación alguna. Todos los otros datos están comprendidos en sus intervalos correspondientes. Por lo tanto, podemos concluir que la calibración es correcta para las curvas estudiadas.

2.3.6 Errores de medida estimados

El objetivo de esta calibración es estimar la temperatura interna de la cámara de combustión. Cuando las medidas estén tomadas, una temperatura será calculada y para obtener una buena precisión será necesario estimar un error de medida alrededor de la temperatura obtenida.

Para conseguirlo hemos calculado los errores para cada filtro. Hemos calculado tanto los errores absolutos como los relativos y al final hemos obtenido la media de estos errores para cada filtro. Las fórmulas para determinar el error relativo es la siguiente:

Error relativo:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{T_{th}} = \frac{|T_{exp} - T_{th}|}{T_{th}} = \frac{|valor_{aproximado} - valor_{real}|}{valor_{real}}$$

Hemos omitido el valor 1388°C ya que era un valor cuya dispersión era muy alta. A continuación hemos calculado el error absoluto para cada filtro como la diferencia entre la temperatura teórica (T_{th}), la cual hemos tomado del día de medidas aleatorias (1085°C, 1170°C, 1250°C y 1348°C), y las cinco medidas para cada día y cada filtro. Por lo tanto hemos obtenido veinte errores absolutos para cada filtro. Con este error hemos obtenido el error relativo para el mismo número de datos. Para sintetizar todas estas cifras hemos calculado la media de errores relativos para cada filtro de forma que hubiese uno por filtro, que utilizaremos (en porcentaje) para estimar la temperatura interna.

Filtro	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Porcentaje (%)	1,09	1,22	2,36	0,84	1,02	3,14

Tabla 6. Errores relativos según el filtro.

2.3.7 Temperaturas reales y temperaturas teóricas

Podemos observar que los errores no son muy significativos, pero se deben comparar las temperaturas teóricas con las reales para asegurar que la calibración es correcta. Idealmente haría falta una segunda jornada de medidas con temperaturas aleatorias para validar claramente la técnica. Debido a falta de tiempo se ha considerado una jornada suplementaria con medidas que diesen el mismo resultado que el día anterior. A fin de verificar la calibración se van a tomar los valores de tensión recibidos por el radiómetro y se van a realizar los cálculos con nuestras fórmulas, después con los errores correspondientes a cada filtro se verificará que nuestras medidas reales (T_{reales}) están comprendidas en los intervalos teóricos ($T \pm \Delta T$)_{calculados}.

En esta tabla se puede ver la comparación entre las dos temperaturas, real y teórica.

Treal (°C)	1085	1170	1250	1348
Tensión (mV)	0,77	2,26	1,40	0,41
Filtro	4	2	1	3
Tcalculada(°C)	1076,36	1168,97	1259,57	1318,54
ΔT (°C)	8,93	14,26	13,73	31,11

Tabla 7. Temperaturas reales vs temperaturas teóricas.

Las diferencias observadas con otras tablas son debidas al trincar los valores de tensión a dos cifras significativas.

Todas las T_{Reales} están comprendidas en los intervalos $(T \pm \Delta T)_{\text{calculados}}$, es decir:

$$1085 \in [1067,43 ; 1085,29]$$

$$1170 \in [1154,71 ; 1183,23]$$

$$1250 \in [1236,27 ; 1273,30]$$

$$1348 \in [1287,43 ; 1349,65]$$

Las medidas con el radiómetro están ya completamente caracterizadas. Por lo tanto, estamos preparados para utilizar el radiómetro con toda esta información con el objetivo de medir la temperatura y obtener un valor con su error correspondiente y así caracterizar la cámara de combustión.

Cuando el radiómetro sea utilizado para realizar las medidas de temperatura, se obtendrán valores de tensión en mV y se utilizarán las fórmulas de las curvas de tendencia (según el filtro) para llevar a cabo la extrapolación de resultados. Tendremos entonces cinco temperaturas; lo que proponemos es calcular la media y mirar en las tablas para determinar el error. Hemos realizado algunos ejemplos determinando la temperatura para medidas aleatorias en la cámara de combustión para aclarar la explicación sobre su uso. Están contenidas en los anexos.

2.2 Información complementaria

Quiero recordar como se dijo en la introducción que al final de los anexos hay dos anexos en concreto donde se explica la búsqueda de proveedores de flujómetros y también de pintura de alta emisividad para completar mi formación como ingeniero en el Centro de Térmica de Lyon. Esta búsqueda ha sido bastante enriquecedora y distinto de cuanto había hecho a lo largo de la carrera. Por tanto sirve bastante como complemento tanto a este proyecto como a mi formación personal.

3.- CONCLUSION Y PERSPECTIVAS

El trabajo presentado en esta memoria aborda la calibración de un radiómetro y su uso en un futuro próximo. Después del estudio estadístico se puede decir que los resultados son fiables ya que no se observan errores de medida significativos. Por lo tanto se puede concluir que la calibración del radiómetro es precisa para las curvas estudiadas.

Además, es necesario comprender bien cada etapa de este proceso de calibración para las futuras calibraciones del instrumento, ya que no es la primera que se realiza en objetos ópticos similares. Son instrumentos delicados que hay que saber manejar y estar seguro que miden correctamente en el momento de utilizarlos.

Por otra parte el objetivo de esta calibración es medir la temperatura interna de una cámara de combustión, por lo que este trabajo es también la referencia para llevarlo a cabo. Se obtendrán valores de tensión en mV y se utilizarán las fórmulas de las curvas de tendencia para hacer la extrapolación de resultados sin olvidar que para precisarlos hace falta dar la medida con su error correspondiente.

Esperamos también que la redacción de la memoria sea suficientemente clara para la persona que vaya a continuar con las medidas. He intentado tenerlo en cuenta en todo momento al describir cada etapa del proceso.

Para finalizar decir que este Proyecto de Fin de Carrera fue una experiencia a la vez nueva y enriquecedora. La calibración ha sido completada por una búsqueda de proveedores de flujómetros térmicos y también de proveedores de pintura para otros proyectos llevados a cabo en la misma cámara de combustión, para los cuales era necesario pintar la pared para utilizar la cámara infrarroja. Por lo tanto, al final, he podido descubrir numerosas maneras de medir la temperatura de una cámara de combustión, tanto de forma intrusiva como no intrusiva.

