



# INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO

**Definición de la campaña de ensayos del primer prototipo del Motor Stirling. Medición de parámetros y sistema de adquisición de datos.**

**Informe Técnico:** DMA-018/13

**Revisión:**

**Proyecto:** Fonarsec INTIHUASI

**Fecha:** 05/02/2013

**Autor:**

Ing. Diego Carrasco  
*Investigador - IUA*

**Revisó:**

Ing. Gustavo Scarpin  
*Director de Proyecto*



## **PROYECTO STIRLING SOLAR**

### **Definición de la campaña de ensayos del primer prototipo del Motor Stirling. Medición de parámetros y sistema de adquisición de datos.**

Por:

*Ing. Diego Carrasco*

#### **RESUMEN**

Dentro del proyecto de desarrollo llevado a cabo por el Consorcio Público Privado Intihuasi, en el que el IUA es parte, patrocinado por el Fondo de Innovación Tecnológica Sectorial de Energía Solar 2010 que administra el Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC), se definió la metodología del ensayo del primer prototipo de Motor Stirling en estudio a fin de determinar sus performances y poder comparar dichos resultados con los obtenidos de manera teórica a partir de la Optimización (Ref. [2] y [3]) y posterior simulación por medio del modelo Simple (Ref. [1]).

En el presente informe, se definieron las variables que se van a medir durante el ensayo del motor, los sensores necesarios para ello, el sistema de adquisición de datos y la interfaz que se empleará.

**Córdoba, 05 de Febrero de 2012**



**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESARROLLO .....</b>	<b>4</b>
2.1    Objetivos del ensayo .....	4
2.2    Definición de los parámetros de medición. ....	4
2.3    Sistema de adquisición de datos (SAD) .....	5
2.3.1    Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD) - Ref. [5] .....	6
2.4    Sensores utilizados en el ensayo .....	7
2.4.1    Sensor de presión MPX5700DP - Ref. [6] .....	7
2.4.2    Sensor de temperatura: Termocupla tipo K.....	8
2.4.3    Sensor de frecuencia y posición angular.....	9
1.4.3.1    Encoder Siemens 6FX2001-5FS12.....	9
1.4.3.2    Sensor óptico reflectivo CNY70 - Ref [7].....	9
2.4.4    Sensor de par: Brushless Dualsky XM6360CA-12 .....	11
2.4.5    Sensor de vibraciones: Acelerómetro MMA8451Q - Ref. [8] .....	11
2.5    Esquema de instalación de sensores. ....	12
2.5.1    Instalación de los sensores de presión .....	12
2.5.2    Instalación de los sensores de temperatura .....	13
2.5.3    Instalación del sensor óptico .....	14
2.6    Utilaje e instrumentos utilizados en el ensayo .....	14
2.6.1    Banco de ensayos.....	15
2.6.2    Sistema de calefacción del calentador .....	15
1.6.2.1    Pistola de calor - Ref. [9].....	15
1.6.2.2    Calefacción por resistencias .....	17
2.6.3    Consola de control .....	19
2.7    Resumen del ensayo .....	20
2.7.1    Análisis termodinámico del ensayo - Ventilación.....	20
2.8    Definición de la metodología del ensayo .....	21
<b>3. CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>4. REFERENCIAS.....</b>	<b>22</b>
<b>ANEXO: PLANILLA DE CONTROL .....</b>	<b>23</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe, se describirá la campaña de ensayos del Primer Prototipo de Motor con ciclo Stirling en estudio, con pistones curvos y regenerador tipo malla de alambres enrollada como características principales y cuyas dimensiones han sido optimizadas.

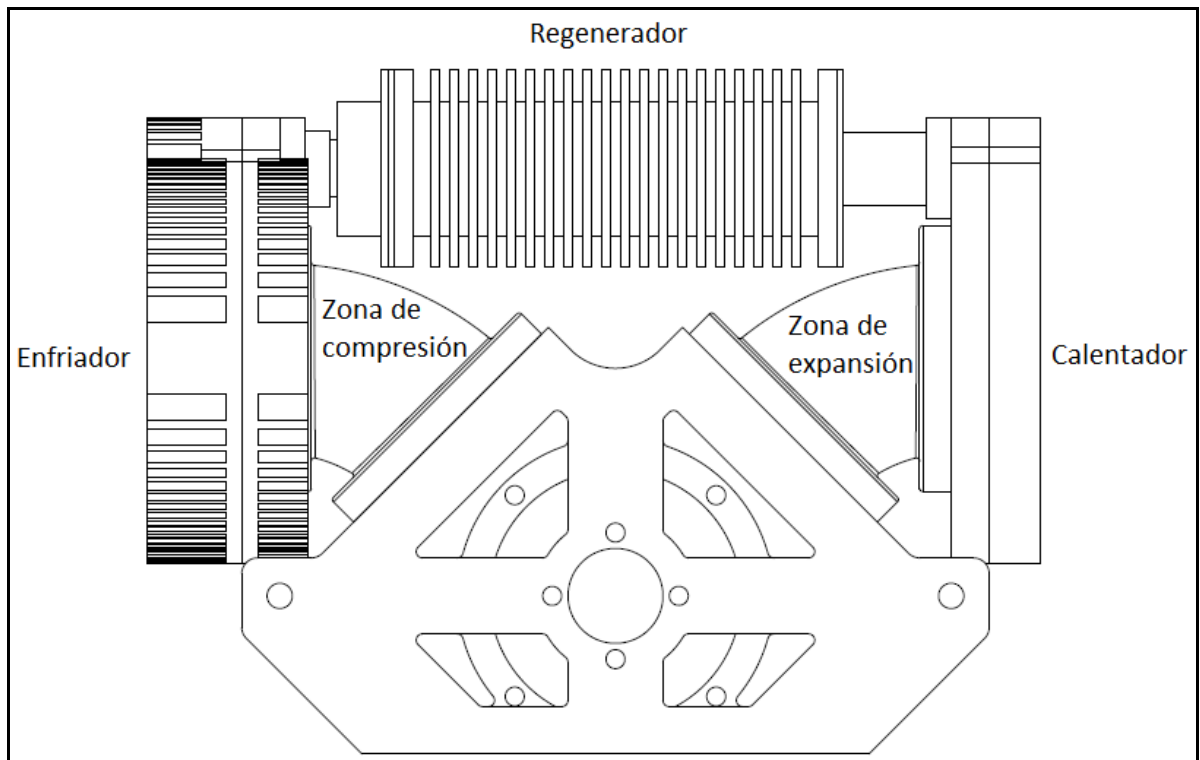


Fig. 1 – Motor Stirling a ensayar.

El propósito del ensayo del motor es el de determinar sus performances (Velocidad de rotación, potencia, presiones y temperaturas de trabajo, etc) para de esta manera poder comparar dichos resultados con los obtenidos de manera teórica, y luego de su correspondiente análisis, estudiar los posibles cambios o mejoras para los próximos prototipos.

Por medio de ensayos se podrá determinar la influencia de efectos que no han sido tenidos en cuenta en los modelos matemáticos en la eficiencia del motor y su potencia en el eje.

Antes de realizar cualquier ensayo es necesario su planificación que busca evitar cualquier problema o inconveniente que pueda producirse durante su realización, provocando que no se cumplan con los objetivos del ensayo. Para ello, deben seguirse los siguientes pasos:

- 1) Definir los objetivos del ensayo.
- 2) Definir las variables que afectarán los resultados del ensayo.
- 3) Determinar la modalidad de la recogida de datos (Tipo de señales, rango de variación, entre otros), el procedimiento experimental y anticiparse a las posibles dificultades que puedan producirse. Verificar la disposición y funcionamiento de todos los elementos de medición, montaje, protección, etc. que se requieran.



- 4) Definir una metodología de trabajo para evitar olvidar cualquier operación que pueda inutilizar el ensayo y verificar si dicha metodología logra cumplir con todos los objetivos que se propusieron. La definición de la metodología de trabajo consiste en describir todos los procedimientos y operaciones que se llevarán a cabo durante el ensayo.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 Objetivos del ensayo

Los objetivos principales del ensayo del Motor en estudio, son:

- 1) Sensar variables termodinámicas para un dado régimen del motor (torque y frecuencia).
- 2) Ensayar distintos tipos de matrices en el regenerador del motor.
- 3) Medir las oscilaciones durante el funcionamiento.
- 4) Controlar el generador para utilizarlo también como motor de arranque.

### 2.2 Definición de los parámetros de medición.

Para evaluar las pérdidas de carga y variaciones de temperatura de los intercambiadores de calor, régimen y oscilaciones del motor será necesario medir los siguientes parámetros:

Nº	Simbolo	Variable	Rango aprox.	Frecuencia de medición
1	Tc	Temperatura del gas en la zona de compresión	300 – 400 K	1 Hz
2	Te	Temperatura del gas en la zona de expansión	750 – 950 K	1 Hz
3	Pc	Presión en la zona de compresión	0,6 – 1,5 Bar	400 Hz
4	Pe	Presión en la zona de expansión	0,6 – 1,5 Bar	400 Hz
5	Tkr	Temperatura en la conexión entre el enfriador y regenerador	300 – 400 K	1 Hz
6	Trh	Temperatura en la conexión entre el regenerador y calentador	750 – 900 K	1 Hz
7	Pkr	Presión en la conexión entre el enfriador y regenerador	0,6 – 1,5 Bar	400 Hz
8	Prh	Presión en la conexión entre el regenerador y calentador	0,6 – 1,5 Bar	400 Hz

9	Theta, $\theta$	Posición angular	0 – 360 °	1800 Hz
10	$\omega$	Velocidad angular	3.000 rpm	1 Hz
11	C	Cupla		1 Hz
12	$\Delta$	Oscilación del motor		1 Hz

El lugar de cada medición será de acuerdo al esquema que se muestra a continuación:

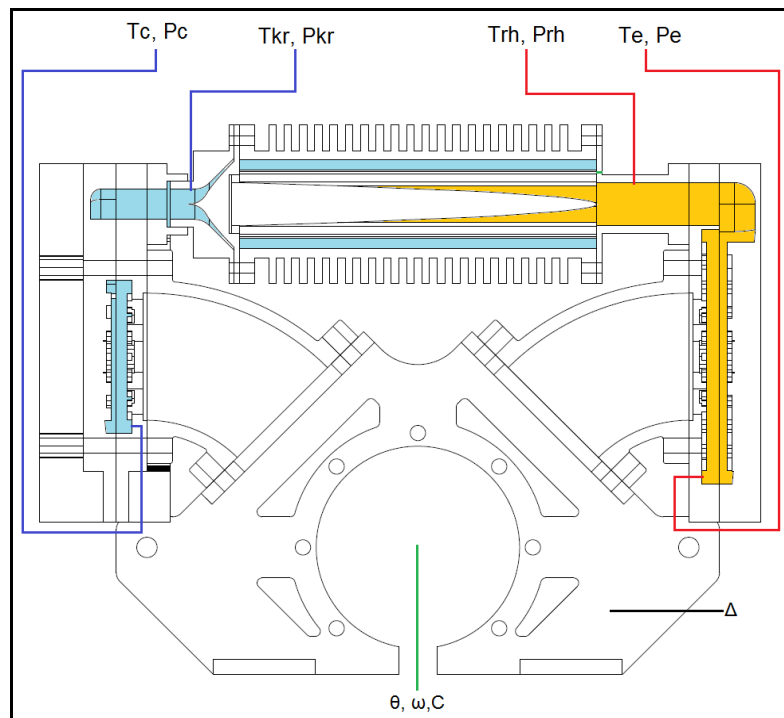


Fig. 2 – Puntos para sensar presiones y temperaturas

### 2.3 Sistema de adquisición de datos (SAD)

La adquisición de datos consiste en tomar muestras del mundo real (sistema analógico) por medio de sensores para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación. El elemento que hace dicha transformación es la tarjeta de Adquisición de Datos. (Ref. [4])

#### Ventajas de un sistema de Adquisición de datos

- 1) Flexibilidad de procesamiento,

- 2) Posibilidad de realizar las tareas en cuasi - tiempo real o en análisis posteriores (a fin de analizar los posibles errores),
- 3) Gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión,
- 4) Se adquieren gran cantidad de datos para poder analizar
- 5) Posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición y activar varios instrumentos al mismo tiempo
- 6) Facilidad de automatización, etc.

### 2.3.1 Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD) - Ref. [5]

La TAD que se utilizará es la *Measurement Computing USB-1208FS*, que se muestra a continuación:

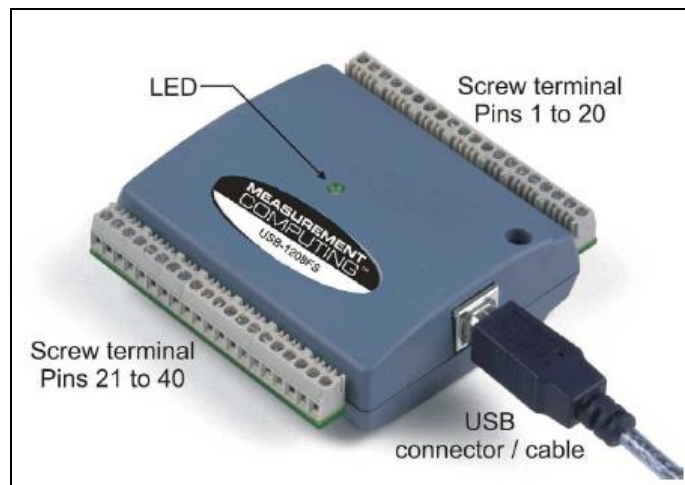


Fig. 3 – Tarjeta de Adquisición de datos. Ref. [5]

#### Características:

- Tiene entradas y salidas analógicas y digitales.
- Rango de temperatura de 0°C a 70°C.
- Humedad relativa de 0% a 90%.
- Dimensiones 127 x 88.9 x 35.56 mm.
- El conector USB provee una tensión de 5 V. No requiere fuentes externas.
- Posee un LED que indica el estado de la comunicación entre la tarjeta y la computadora.

#### Instalación

La tarjeta de adquisición trae el software *Measurement Computing Data Acquisition Software* con los siguientes programas:

- InstalCal™ y Universal Library™: Programas para configurar y reconocer la Tarjeta de adquisición de datos.
- TracerDAQ®: Aplicación virtual para adquirir datos y generar señales con la TAD.

- ULx for NI LabView: instala en LabVIEW una librería llamada *MCC Data Acquisition*.
- Manual de usuario del hardware.

### Configuración de la TAD

- 1) Instalar el software.
- 2) Conectar la TAD a la PC, ésta será reconocida por el sistema y se puede ver en el programa InstalCal™.
- 3) Configurar las entradas.

## 2.4 Sensores utilizados en el ensayo

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se desea medir. Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc.

### 2.4.1 Sensor de presión MPX5700DP - Ref. [6]

La serie de transductores piezoresistivos MPX5700 son sensores monolíticos de silicio que miden presión de aire, diseñados para una gran variedad de aplicaciones, pero especialmente aquellas que emplean microprocesadores o microcontroladores con entradas A/D. Provee una salida de voltaje análogo de alto nivel que es proporcional a la presión aplicada. Proporcionan una variación de tensión exacta y directamente proporcional a la presión que se les aplica. El sensor consta de un diafragma monolítico de silicio para medir el esfuerzo y una fina película con una red de resistencias integradas en un chip. El chip se ajusta, calibra y compensa en temperatura por láser.

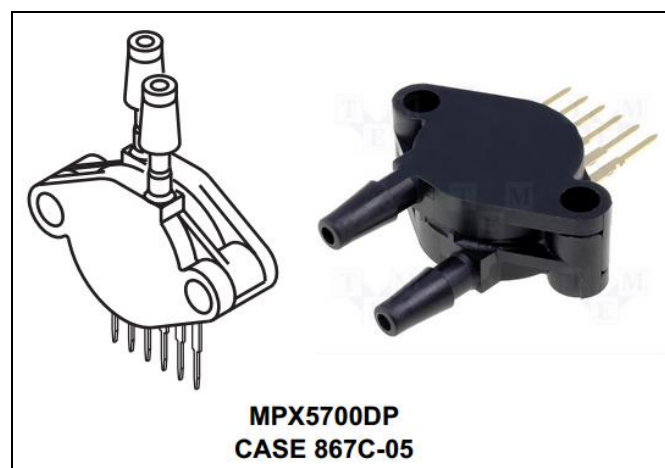


Fig. 4 – Sensor de presión

### Características

- Rango 0 a 700 kPa (0 a 101.5 psi)
- Voltaje de salida 0.2 V a 4.7 V
- Error máximo: 2.5% en el rango de temperatura de 0 a 85 °C
- Medida diferencial



- 2 Puertos
- Voltaje de alimentación: 4.75 V a 5.25 V (típico: 5V)
- Corriente típica: 7mA
- Sensibilidad: 6.4 mV/kPa
- Tiempo de respuesta: 1 ms
- Presión en P1 debe ser siempre mayor o igual a P2
- Presión máxima en P1: 2800 kPa (406 psi) (Con  $P2 \leq 1$  Atmósfera)
- Presión máxima en P2: 500 kPa (72 psi)
- Puerto P1 protegido con gel de fluorosilicona
- Cuerpo durable de Epoxy
- Temperatura de operación: -40 a +125 °C.
- Encapsulado: Unibody CASE 867C-05 de 6 pines
- Las características y pruebas de confiabilidad se basan en aplicaciones de medida de presión con aire seco. Aplicaciones con diferentes gases o fluidos, o con aire húmedo, pueden causar efectos adversos en el desempeño y/o en la confiabilidad del dispositivo.

#### 2.4.2 Sensor de temperatura: Termocupla tipo K.

Una termocupla consiste de un par de conductores de diferentes metales o aleaciones unidos en un extremo (soldados generalmente). Esta junta de medición está colocada en el lugar donde se desea medir la temperatura. Los dos conductores salen del área de medición y terminan en el otro extremo, la junta de referencia. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) el cual aumenta con la temperatura. Se produce entonces una fuerza electromotriz (fem) que es función de la diferencia de temperatura entre las dos juntas. Dado que el principio de medición se basa en la diferencia de temperatura entre la junta de medición y la de referencia, la temperatura en la junta de referencia debe ser conocida y constante.

Como se dijo, una termocupla es un transductor de temperatura, constituido por dos conductores (alambres), que desarrollan una f.e.m. que es función de la diferencia de temperatura entre sus uniones, una caliente ubicada en el lugar a medir temperatura, y una fría tomada como referencia.

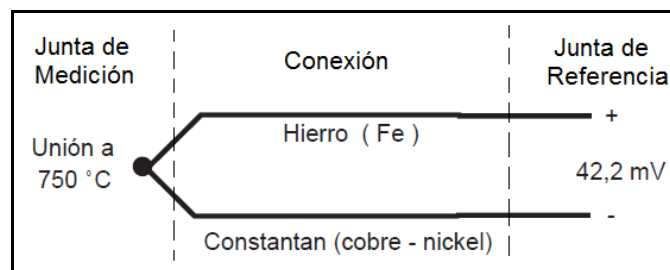


Fig. 5 – Principio de la termocupla

Normálmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable ú otro material (vainas). El tiempo de respuesta con vaina y tubos será de tres a diez veces mayor que con las termocuplas sin protección. La junta expuesta posee la respuesta más rápida de las tres configuraciones (junta aislada, soldada y expuesta), pero no es hermética a la presión, humedad y los alambres se hallan expuestos al ambiente.

La termocupla que se utilizará en el ensayo es la Tipo K y se la conoce también como termocupla Chromel - Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90 % de níquel, y 10 % de cromo, el Alumel es una aleación de 95 % de níquel, más aluminio, silicio y manganeso. La termocupla Tipo K es la mas usada en la industria debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J, y pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes, inertes hasta una temperatura de 1260 °C.

### **2.4.3 Sensor de frecuencia y posición angular**

#### **1.4.3.1 Encoder Siemens 6FX2001-5FS12.**

Un codificador rotatorio, o generador de pulsos, suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor. Entonces, los Encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición.



Fig. 6 – Encoder Siemens.

#### **1.4.3.2 Sensor óptico reflectivo CNY70 - Ref [7]**

El CNY70 es un sensor óptico reflexivo que tiene una construcción compacta dónde el emisor de luz y el receptor (consiste en un fototransistor) se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto utilizando la reflexión del infrarrojo sobre el objeto.



Fig. 7 – Sensor CNY70

#### Características

- La construcción compacta con distancia de del centro-a-centro de 0.1 ' (pulgadas) entre emisor y receptor
- No necesita ningún ambiente especial
- Señal de salida alta
- El coeficiente de temperatura bajo
- Detector provisto de filtro óptico
- Dimensiones (L x W x H en mm): 7 x 7 x 6

#### Modo de uso:

Se acopla al eje del cigüeñal del motor un disco con 36 marcas radiales reflectantes tal que cuando pasan por el sensor óptico reflectivo CNY70 generan 36 pulsos por revolución de señal cuadrada.

Para transformar la lectura de los pulsos en la frecuencia del motor debe efectuarse la siguiente operación:

$$\omega [rpm] = f_{sensor} \left[ \frac{\text{pulsos}}{\text{seg}} \right] \cdot \frac{60 \left[ \frac{\text{seg}}{\text{min}} \right]}{36 \left[ \frac{\text{pulsos}}{\text{rev}} \right]}$$

Y para obtener la posición angular del eje, se hace:

$$\theta [gr] = f_{sensor} [\text{Cant. de pulsos}] \cdot \frac{360 \left[ \frac{gr}{\text{rev}} \right]}{36 \left[ \frac{\text{pulsos}}{\text{rev}} \right]}$$

Debido a la facilidad de su implementación, se utilizará este tipo de sensores en los primeros ensayos dejando la utilización del Encoder para posteriores ensayos buscando incrementar la precisión de las mediciones.

#### 2.4.4 Sensor de par: Brushless Dualsky XM6360CA-12

Características:

- Peso: 618 gr.
- Potencia máxima: 2450 W
- RPM/V: 210



Fig. 8 - Motor Dualsky XM6360CA-12

Con este brushless se arrancará el motor Stirling, y luego se invertirá su función para controlar la frecuencia del motor.

#### 2.4.5 Sensor de vibraciones: Acelerómetro MMA8451Q - Ref. [8]

El acelerómetro es un transductor, siendo el más común el piezoeléctrico por compresión. Este se basa en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada. El MMA8451Q es un acelerómetro de 3 ejes con 14 bits de resolución.

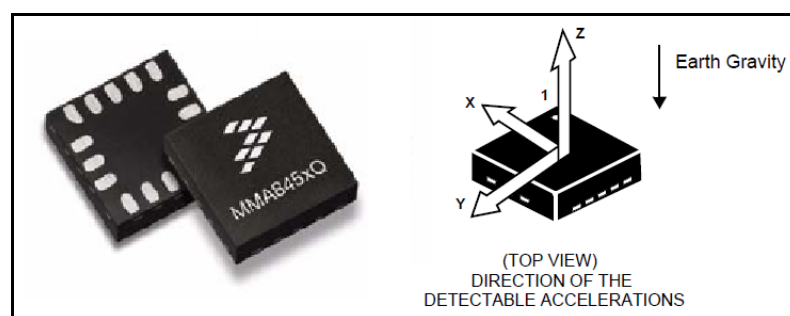
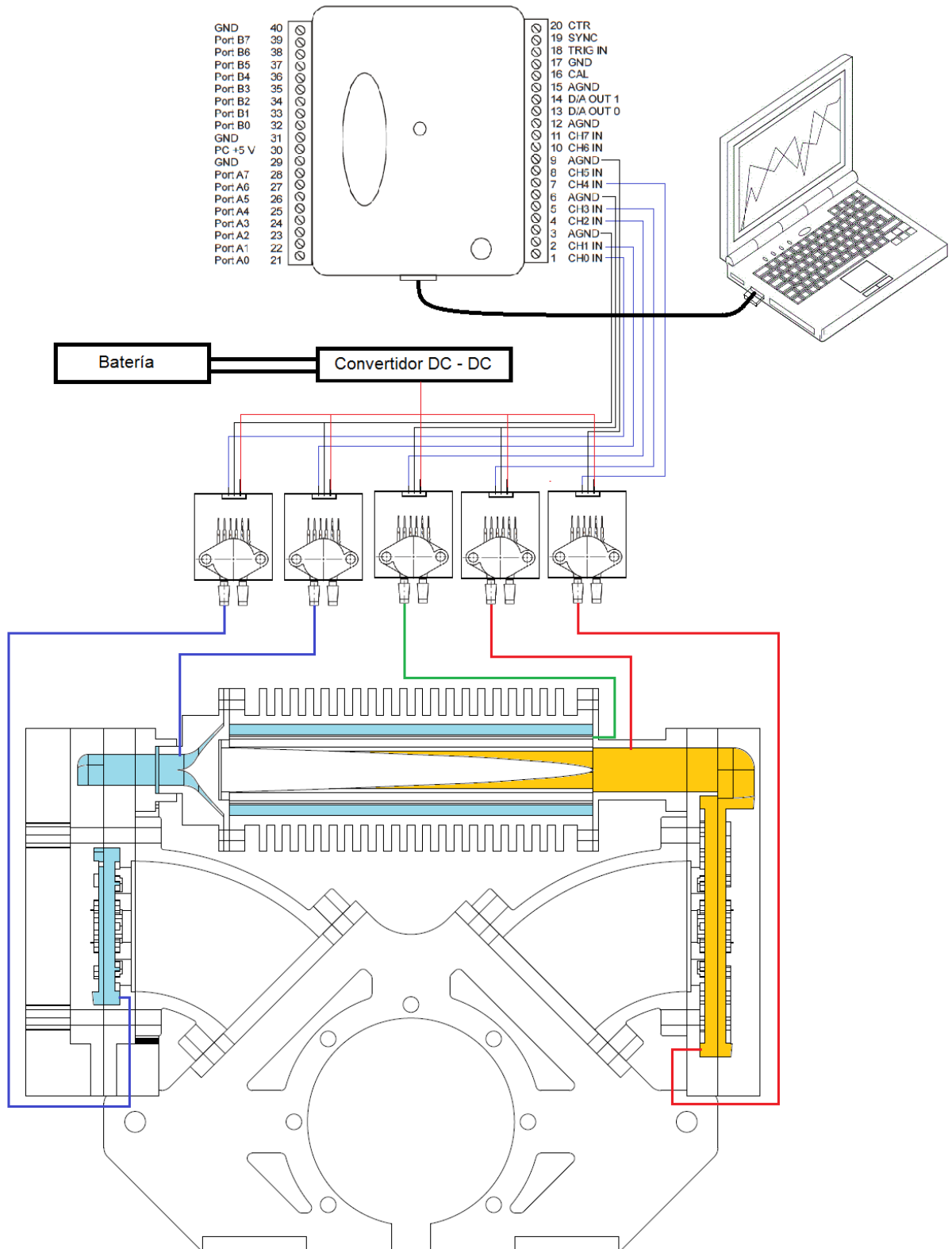


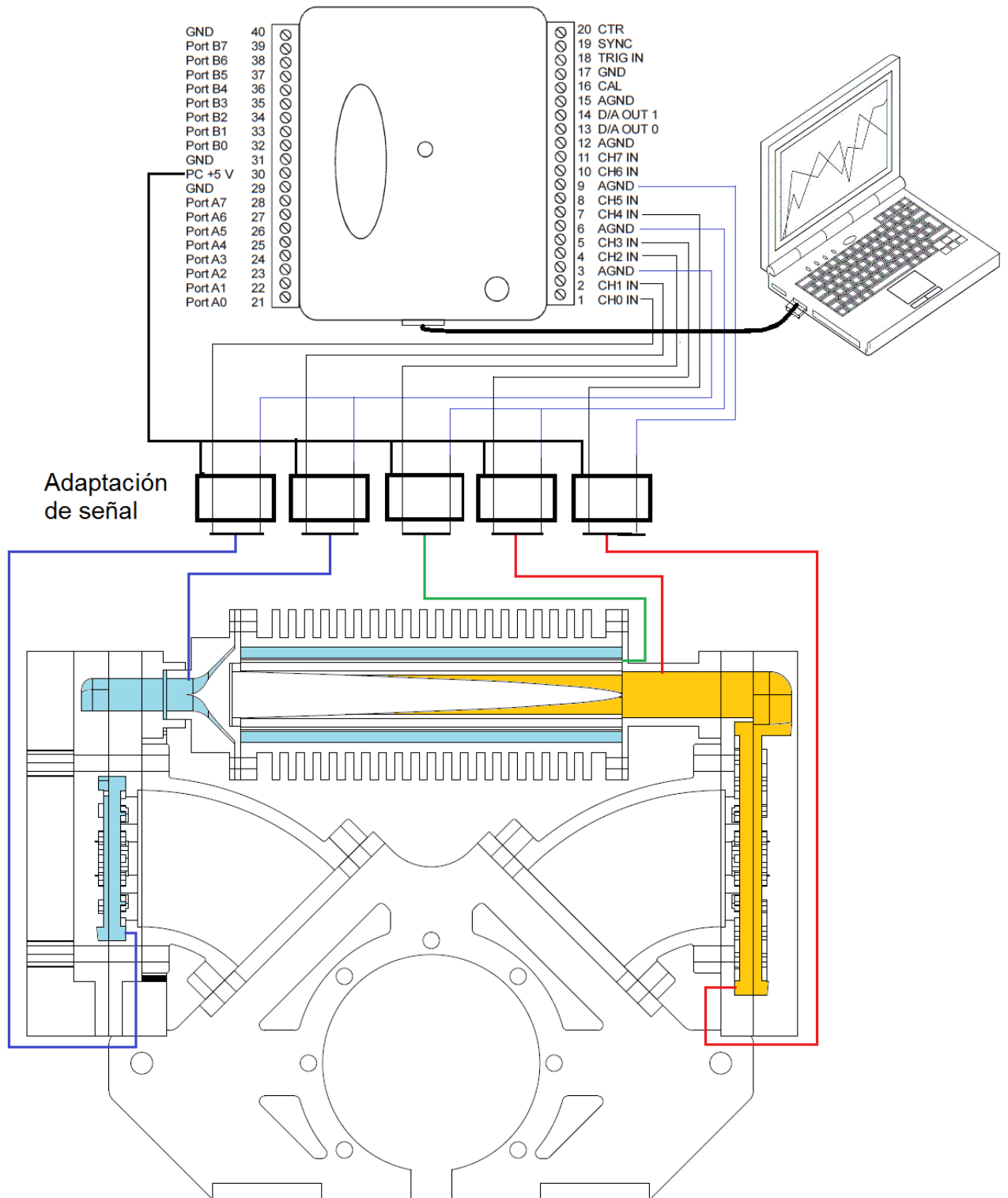
Fig. 9 - Acelerómetro MMA8451Q

## 2.5 Esquema de instalación de sensores.

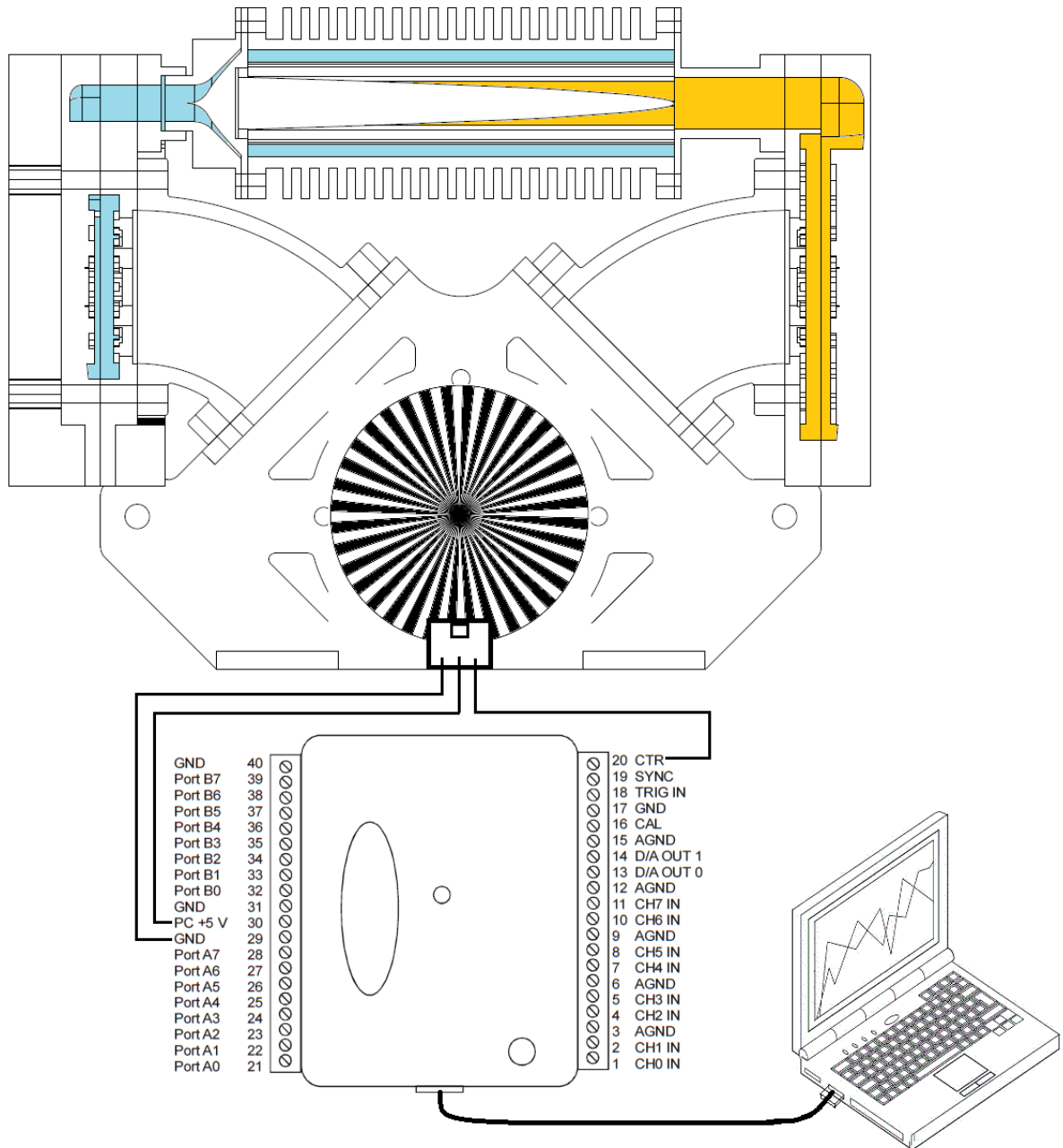
### 2.5.1 Instalación de los sensores de presión



### 2.5.2 Instalación de los sensores de temperatura



### 2.5.3 Instalación del sensor óptico



### 2.6 Utilaje e instrumentos utilizados en el ensayo

Una instalación básica, consta de los elementos siguientes:

- Banco de pruebas para el motor;
- Sistema de calefacción del calentador: Pistola de calor o calefacción por resistencias



- Campana de convección
- Consola de control

### 2.6.1 Banco de ensayos

El principal problema en el diseño de montaje del motor es la de asegurar que los movimientos del motor y las fuerzas transmitidas a los alrededores se mantengan a niveles manejables. También en la celda de ensayo, el motor puede estar equipado con equipo adicional y diferentes conexiones de servicio. Las precauciones a tener en cuenta en los bancos de ensayos son:

- El motor debe ser montado de tal manera que ni él ni las conexiones puedan dañarse por el movimiento excesivo o restricción excesiva.
- La Transmisión de la vibración inducida por el motor a la estructura de la célula o a otros edificios debe ser controlado.

### 2.6.2 Sistema de calefacción del calentador

#### 1.6.2.1 Pistola de calor - Ref. [9]

Esta herramienta está diseñada para eliminar pintura, conformar y soldar plástico, y calentar tubos termocontraíbles; la herramienta también es adecuada para soldar y estañar, despegar juntas adhesivas y descongelar tuberías de agua.

#### Características Técnicas

- Potencia: 2000 W
- Peso: 0,8 Kg
- Caudal de aire: 250 – 500 lts/min

#### Opciones de uso:

1 = chorro de aire a 250 litros/minuto (50 - 550°C)

2 = chorro de aire a 500 litros/minuto (50 - 650°C)



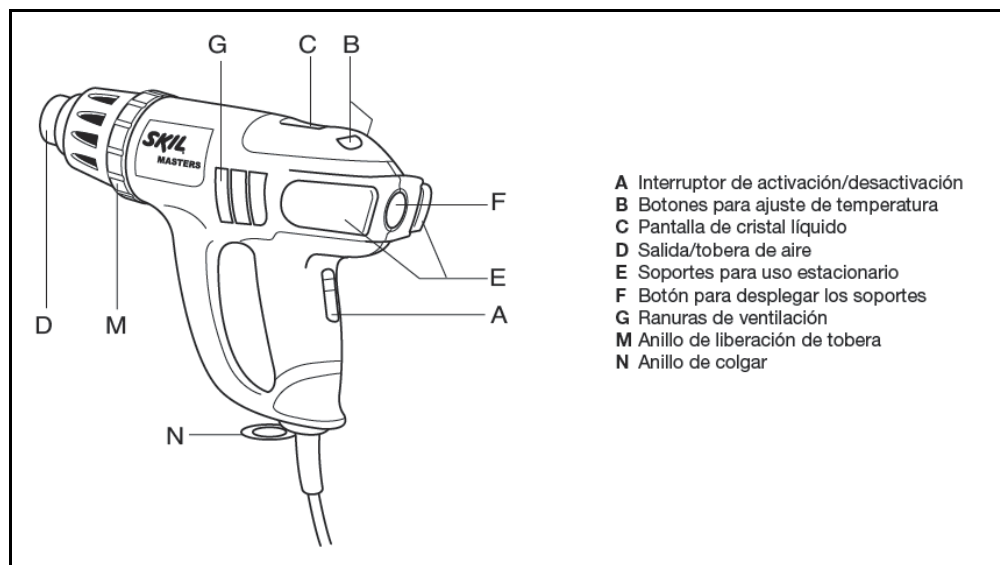


Fig. 10 – Pistola de calor

### Campana de convección

Cuando el motor esté en servicio, la transferencia de calor al calentador será principalmente por radiación proveniente del foco del disco reflector de energía solar. Mientras que durante el ensayo, la transferencia de calor al calentador será primariamente por convección forzada por el aire caliente de la pistola.

Por lo tanto, para lograr que se transfiera la cantidad de calor necesaria por unidad de tiempo (300 W según Ref. [1]) para alcanzar la temperatura de diseño en la pared interior del calentador (900 K según Ref. [1]) será preciso tomar alguna de las siguientes soluciones:

- Incrementar la temperatura del aire de la pistola.
- Incrementar el coeficiente de transferencia de calor por convección aumentando la velocidad del flujo de aire.
- Incrementar el área de transferencia adicionando aletas a la superficie del calentador.

La primera solución no es factible debido a que la temperatura máxima del aire de la pistola es de 923 K y para coeficientes de transferencia de calor por convección típicos no se alcanza el caudal de calor necesario. La segunda solución tampoco es posible, como consecuencia de que la velocidad máxima de salida del aire (alrededor de 9 m/s) no es suficiente para lograr transferir la cantidad de calor necesaria.

Sin embargo, la última solución es viable ya que se puede incrementar el espesor y altura de las aletas hasta alcanzar el caudal de calor necesario, a pesar que la eficiencia de la aleta disminuya.

Utilizando el mismo método que se empleó para calcular las aletas del enfriador (Ref. [10]), se determinó las siguientes dimensiones:

- 1) Cantidad de aletas: 16 (definido por disposición radial de las mismas y para evitar contacto con los tornillos que sujetan la tapa del calentador)
- 2) Espesor de las aletas 2 mm
- 3) Altura de las aletas: 68 mm

Estas aletas son encerradas por una carcasa del mismo material para obligar al flujo a pasar por las aletas para luego ser expulsado hacia arriba del motor y evitar de esta manera calentar otras partes del motor o causar quemaduras al personal a cargo del ensayo.

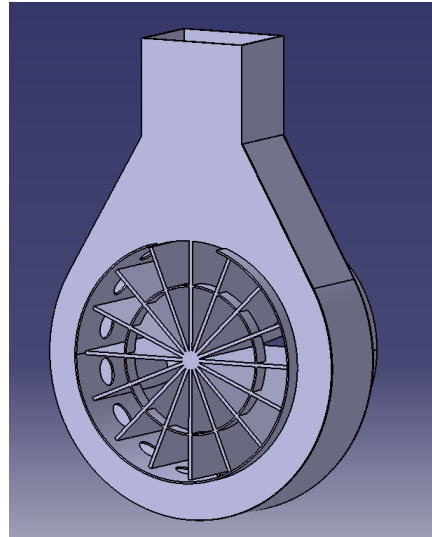


Fig. 11 – Campana de convección.

### 1.6.2.2 Calefacción por resistencias

Consiste en calentar el calentador por medio de un tubo de acero o cobre soldado al mismo y rodeado por una serie de resistencias. De esta manera parte del calor generado por las resistencias se pierde en forma de convección y principalmente radiación, pero el resto se transfiere al tubo el cual conduce el flujo de calor directo al calentador. A continuación se esquematiza esta manera de calentar el calentador:

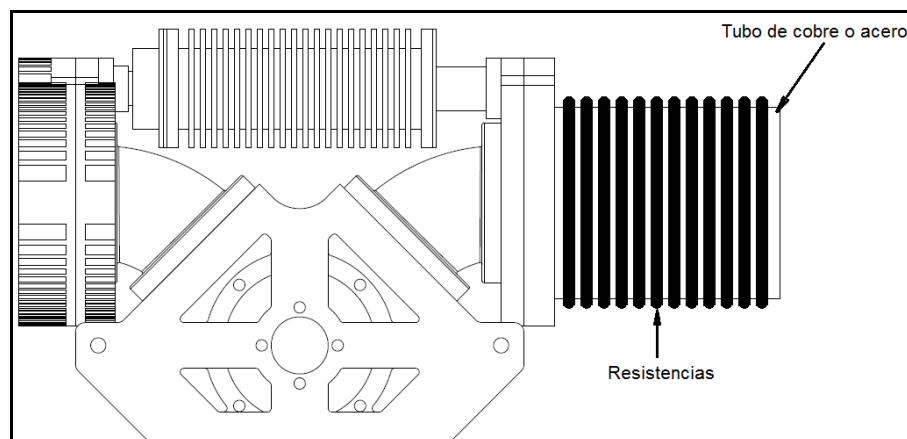


Fig. 12 – Calefacción por resistencias

Por lo tanto el tubo deberá tener una sección transversal al flujo de calor suficiente para transferirlo. Una manera de determinar la sección necesaria del tubo se considera un tramo del tubo como se muestra en la siguiente figura:

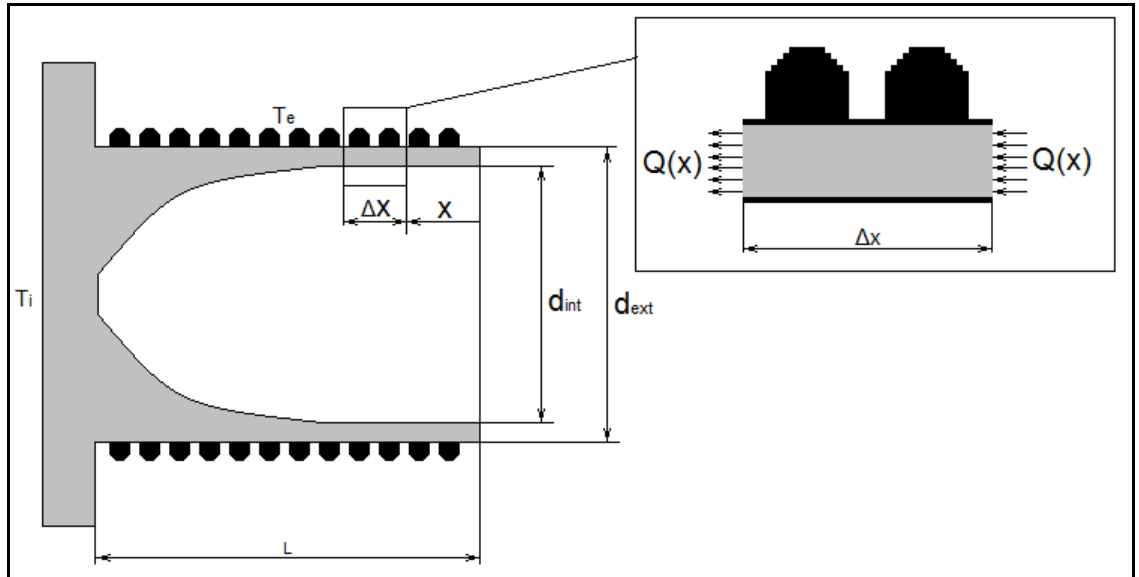


Fig. 13 – Corte del tubo con resistencias

Se sabe que:  $\dot{Q} = K \cdot A \cdot \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right)$

Siendo  $Q$ : Porción de flujo de calor generado por las resistencias que es transferido al tubo

$T_e$ : Temperatura en la pared externa del tubo

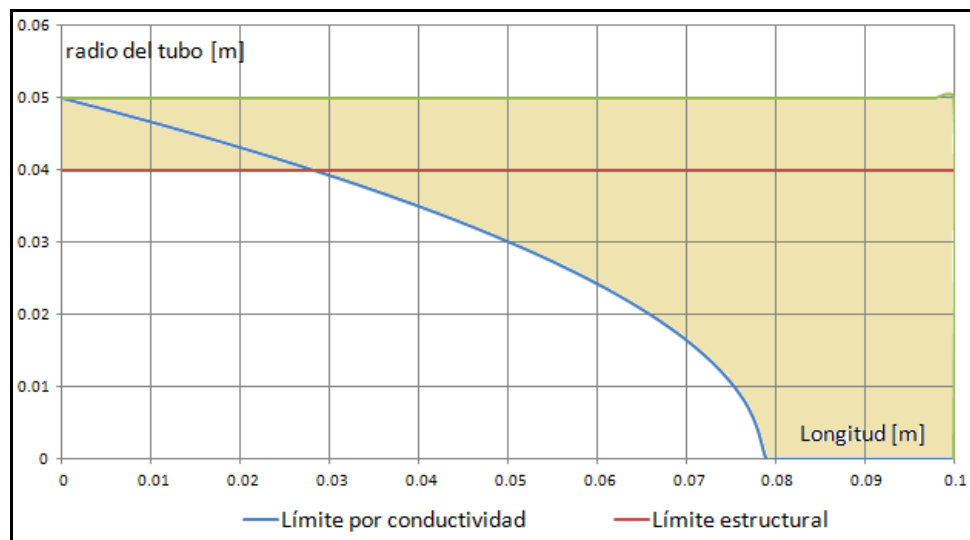
$T_i$ : Temperatura en la pared del tubo que está en contacto con el calentador

$$\left. \begin{aligned} \text{Se tiene: } Q(x) &= \left( \frac{Q}{L} \right) \cdot x \\ \frac{\Delta T}{\Delta x} &= \frac{T_e - T_i}{L} = \frac{\Delta T}{L} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left( \frac{Q}{L} \right) \cdot x = K \cdot A \cdot \left( \frac{\Delta T}{L} \right) \Rightarrow A = \left( \frac{Q}{K \cdot \Delta T} \right) \cdot x$$

$$\text{Como } A = \left( \frac{Q}{K \cdot \Delta T} \right) \cdot x = \pi \cdot \frac{d_{ext}^2 - d_{int}^2}{4} \Rightarrow d_{int} = \sqrt{d_{ext}^2 - \frac{4}{\pi} \cdot \left( \frac{Q}{K \cdot \Delta T} \right) \cdot x}$$

Por ejemplo, para  $\left\{ \begin{aligned} Q &= 1000 \text{ W} \\ \Delta T &= 25 \text{ K} \\ K &= 400 \text{ W/K} \cdot \text{m} \text{ (Cobre)} \\ d_{ext} &= 0,1 \text{ m} \end{aligned} \right.$

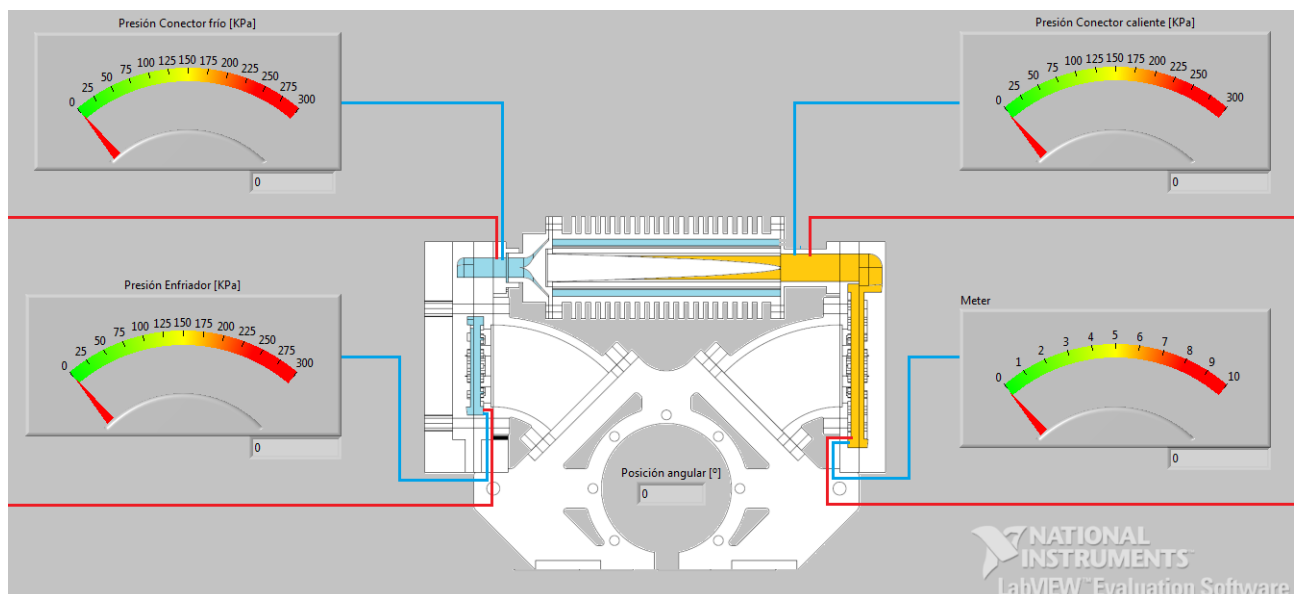
Se tiene:



### 2.6.3 Consola de control

La interfaz que muestra y almacena los datos sensados en el motor se realizó por medio de la utilización de *National Instruments LabVIEW™ Evaluation Software*.

Los datos adquiridos y traducidos en voltajes son leídos por la TAD, luego transmitidos a la PC donde la interfaz los transforma a unidades de presión, temperaturas, etc. para mostrarlos por medio de indicadores y almacenarlos en planillas de cálculos.



## 2.7 Resumen del ensayo

El ensayo del primer prototipo del Motor Stirling consiste básicamente en calentar el calentador con la pistola de aire hasta alcanzar una temperatura de 650 °C. Luego, por medio del generador, se hace girar el cigüeñal del motor hasta que éste entre en régimen.

Al variar la cupla resistente del motor a través del brushless, se consigue que el motor se estabilice a distintas velocidades de giro. Entonces para cada velocidad del cigüeñal, se registran temperaturas, presiones, etc.

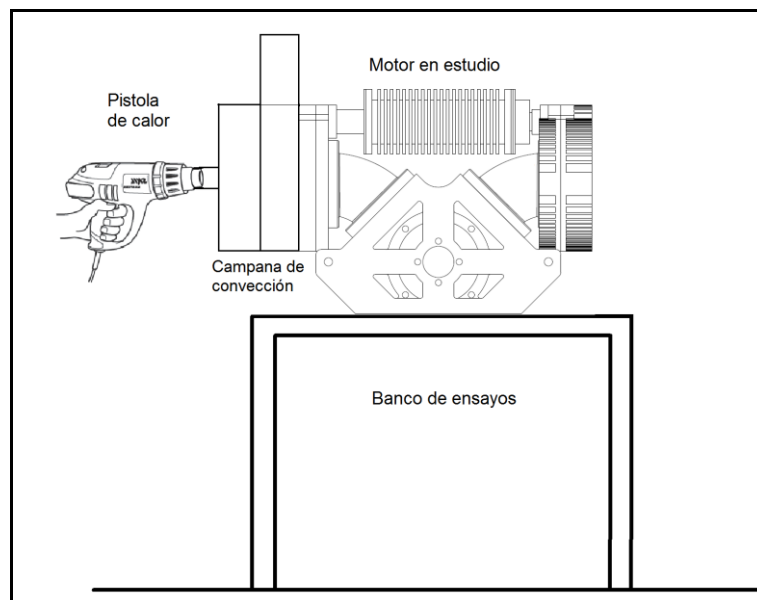


Fig. 13 – Esquema del ensayo.

### 2.7.1 Análisis termodinámico del ensayo - Ventilación

Muchos problemas son experimentados en el ensayo de células cuando la termodinámica de la célula no ha sido correctamente tratada en el diseño de los sistemas de refrigeración. El problema más común es la alta temperatura del aire en la célula de prueba, ya sea en general o en áreas críticas. La ventilación y el acondicionamiento del aire son vitales para el diseñador de la célula que busca tener una apreciación general de la contribución de varias fuentes de calor y las estrategias para su control.

En el desarrollo de la teoría de termodinámica muchos hacen uso del concepto de sistema abierto, que es una poderosa herramienta y puede ser muy útil en considerar el comportamiento total de la célula de prueba. Esto está vinculado con la idea del volumen de control, un espacio que encierra el sistema y rodeado por una superficie imaginaria, la superficie de control.

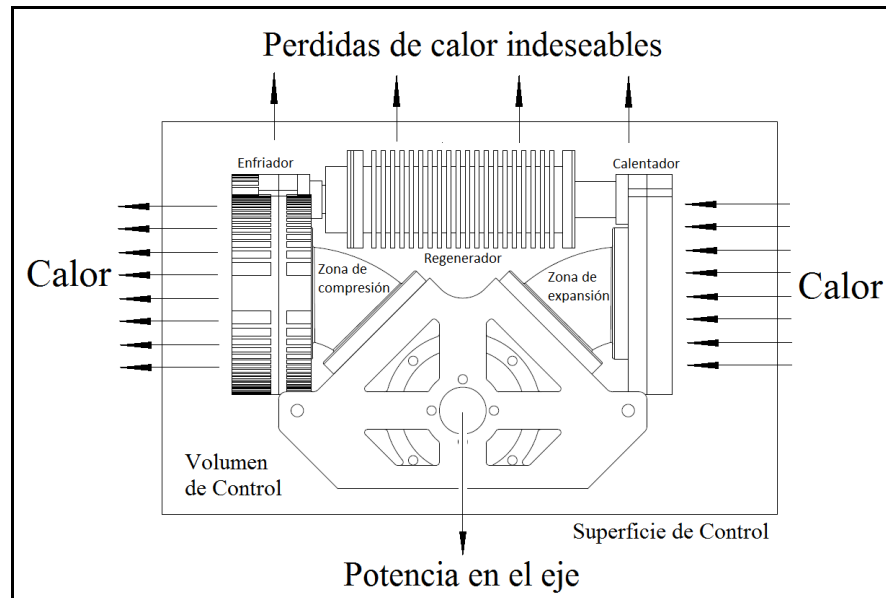


Fig. XX – Sistema abierto para el prototipo.

Balance de energía	
Entrada	Salida
Calor (Fuente: Pistola de aire)	Potencia
	Disipación de calor en el enfriador
	Perdidas de calor por convección
	Perdidas de calor por radiación
	Perdidas de calor por fricción
	Ruido y vibración

La gran ventaja de este concepto es que una vez que se ha identificado todos los flujos de masa y de energía en el sistema, no es necesario saber exactamente lo que está pasando en el interior del sistema en el momento de elaborar un "balance" de las entradas y salidas.

## 2.8 Definición de la metodología del ensayo

Antes de comenzar con el ensayo, es necesario que se verifique el funcionamiento de todos los elementos que se utilizarán. Además, el personal que intervendrá en el ensayo debe utilizar las protecciones personales correspondientes. Los pasos a seguir son:

- 1) Instalar y sujetar el motor al banco
- 2) Instalar todos los sensores (de presión, de temperatura, de posición, etc.)
- 3) Conectar los sensores a la tarjeta de adquisición de datos.



- 4) Conectar la TAD a la computadora e iniciar la interfaz realizada en LabVIEW.
- 5) Verificar la entrada de datos al sistema.
- 6) Encender la pistola de calor hasta que alcance la temperatura de 650°C.
- 7) Encender el brushless funcionando como motor hasta que entre en régimen el motor a una velocidad y cupla determinada.
- 8) Registrar datos por medio de la planilla anexada.
- 9) Cambiar la cupla del brushless.
- 10) Volver al paso 7 las veces que se requiera.
- 11) Apagar la pistola y esperar hasta que el motor se detenga.
- 12) Guardar los datos recolectados

### 3. CONCLUSIONES

En el marco del proyecto Stirling-Solar se ha definido los sensores necesarios para realizar el ensayo del primer prototipo del proyecto, el modo de la adquisición de datos y la metodología que se implementará. Los resultados del ensayo permitirán verificar el modelo matemático utilizado y ver que puntos o elementos del motor han de ser modificados para la fabricación del segundo prototipo, el que debe cumplir con requerimientos más rigidos respecto de su antecesor.

### 4. REFERENCIAS

- [1] Gustavo Scarpin, "Modelo Simple de Motores Stirling", Inf. DMA-012/12, IUA-FI-DMA, 27/08/2012.
- [2] Gustavo Scarpin, "Optimización de Motores Stirling", Inf. DMA-013/12, IUA-FI-DMA, 09/10/2012.
- [3] Carrasco Diego, "Simulación y Optimización de un regenerador con matriz tipo malla de alambres arrollada para el Motor Stirling", Inf. DMA-013/12, IUA-FI-DMA, 05/11/2012.
- [4] [http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)
- [5] Measurement Computing, User's Guide, Revision 7, Febrero de 2012.
- [6] Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated - MPX5700 Series , © Freescale Semiconductor, [www.freescale.com](http://www.freescale.com) - Rev 9, 09/2009.
- [7] VISHAY – Reflective Optical Sensor with Transistor Output CNY70 - Document Number: 83751- Rev. 1.8, 30-Jul-12 - [www.vishay.com](http://www.vishay.com)
- [8] Xtrinsic MMA8451Q 3-Axis, 14-bit/8-bit Digital Accelerometer - Freescale Semiconductor, Inc., <http://www.freescale.com/> - Rev. 8, 02/2013
- [9] Skil Masters Profesional Power Tools – Heat Gun 8005 (F0158005..) – Manual original, Pag. 43.

