

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol:

Disseny d'un generador termoelèctric d'automoció per assajar diferents tipus d'absorbidors de calor i del seu sistema de test.

Document: MEMÒRIA I ANNEXOS

Alumne: Sergio Herrera Parra

Tutor: Toni Pujol Sagaró / Martí Comamala Laguna

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Mecànica de Fluids / Màquines i Motors Tèrmics

Convocatòria: juny 2020

Índex

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ.....	5
1.1 Antecedents.....	5
1.2 Objecte del projecte.....	7
1.3 Requeriments i abast.....	7
1.3.1 Requeriments.....	7
1.3.2 Abast del projecte.....	7
2. SISTEMA D'ASSAIG.....	8
2.1 Introducció.....	8
2.2 Banc de flux.....	10
2.3 Escalfador.....	10
2.4 Generador termoelèctric.....	12
2.4.1 Absorbidor.....	13
2.4.2 Dissipadors de calor.....	16
2.4.3 Sistema de subjecció.....	18
2.4.3.1 Brida termoelèctric.....	19

2.4.3.1 Brida conjunt termoelèctric	21
2.4.4 Conjunt termoelèctric.....	26
2.5 Conjunt d'assaig	28
3. METODOLOGIA D'ASSAIG	31
3.1 Muntatge d'absorbidors en el generador termoelèctric.....	31
3.1.1 Introducció.....	31
3.1.2 Muntatge pràctic del generador termoelèctric	31
3.1.3 Croquis explosionat generador termoelèctric.....	37
3.1.4 Croquis explosionat conjunt termoelèctric.....	38
3.2 Assaig del generador termoelèctric.....	39
4. RESUM DEL PRESSUPOST.....	41
5. CONCLUSIONS	42
6. RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	43
7. BIBLIOGRAFIA.....	44
ANNEXOS	
ANNEX A. Càlculs.....	46
A.1 Càlcul de les condicions d'assaig	46

A.2 Càlcul de la potència de l'escalfador	50
A.3 Càlcul del punt de funcionament del banc de flux	53
A.4 Càlcul de dimensionament del Chiller	55
A.5 Càlcul de pèrdues de càrrega del termoelèctric	61
ANNEX B. Descripcions tècniques	64
B1. Banc de flux.....	64
B2. Escalfador	65
B3. Chiller	66
B.4 Ràcords i accessoris de refrigeració	68
B5. Absorbidors	69
B6. Maniguets.....	71
B7. Colze	72
B8. Sensor de temperatura	73
B9. Mòdul National instrument	75
B.10 Lamina ceràmica	76
B.11 Indicador de pressió	77
B.12 Accessoris control de pressió	80

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

El Grup de Recerca en Enginyeria de Fluids, Energia i Medi Ambient (GREFEMA) de la Universitat de Girona té una llarga experiència en l'estudi de la generació termoelèctrica aplicada a processos industrials.

El grup ha proposat diferents solucions, en base a generadors termoelèctrics, per poder recuperar calor residual dels fums d'escapament de motors de combustió interna. Algunes d'aquestes solucions s'han construït i assajat en el banc de proves del laboratori de Motors Tèrmics de l'Escola Politècnica Superior.

Els generadors termoelèctrics d'automoció es col·loquen al tub d'escapament d'un motor de combustió interna per transformar part de la calor dels gasos en energia elèctrica mitjançant les propietats dels materials termoelèctrics, que generen una diferència de potencial quan estan sotmesos a un gradient de temperatura, és a dir quan es presenta una de les cares del termoelèctric calenta i l'altra freda. Per tal de mantenir una bona transferència de calor dels fums cap als mòduls termoelèctrics, s'ha de desenvolupar un sistema d'absorbidor. Un absorbidor de calor amb molta àrea de transferència augmenta la calor absorbida però també la contrapressió a l'escapament. Per això, saber escollir l'absorbidor de calor més adequat per al dispositiu és clau per a la seva viabilitat.

D'altra banda, per aconseguir el disseny d'absorbidor més adequat, GREFEMA ha de portar a terme els assajos dels generadors termoelèctrics d'automoció en un banc motor. Aquests assajos es converteixen en una tasca molt laboriosa per la multitud d'elements externs al propi generador termoelèctric que s'han de tenir en compte, fet que limita la quantitat d'estudis que es poden realitzar. Tal i com s'observa en la figura 1, un assaig d'un generador termoelèctric en un banc motor inclou molts elements que requereixen una laboriosa posada a punt.

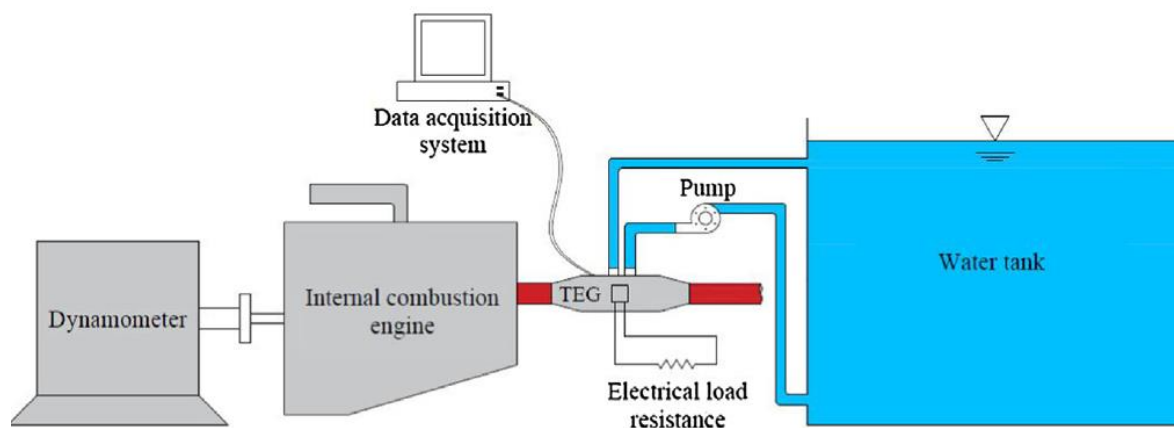


Figura 1: Esquema del sistema amb un banc motor.

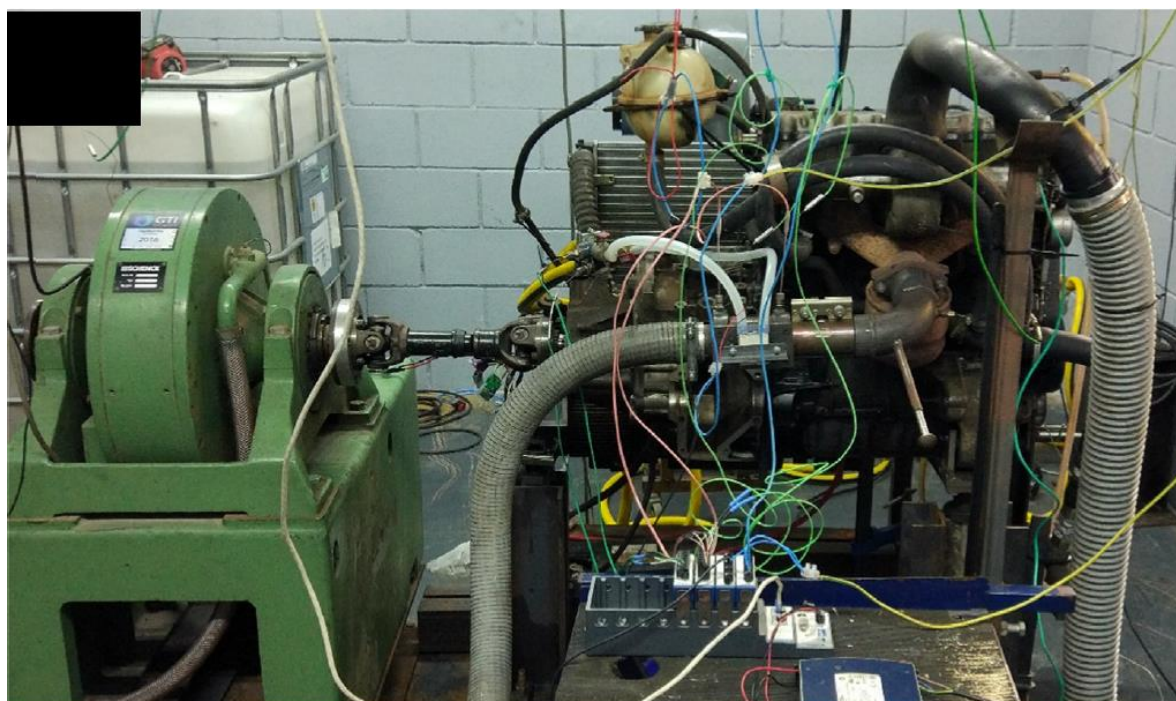


Figura 2: Muntatge d'un banc motor.

La figura 2 mostra una fotografia d'un dispositiu termoelèctric assajat en el banc motor. S'ha d'acoblar el motor al fre, a condicionar la sala per extreure els fums, monitoritzar el motor de combustió interna, verificar que el seu funcionament sigui correcte, etc.

La possibilitat d'utilitzar aire calent en comptes de gasos de combustió per assajar generadors termoelèctrics suposarà un gran pas endavant per al grup de recerca ja que facilitarà enormement els assajos experimentals. No només els permetrà regular i adequar

les característiques del fluid de manera senzilla, sinó que obtindran simultàniament dades reals dels valors de temperatura, pressió, pèrdues de carrega, etc. amb un banc de proves més sofisticat i molt menys laboriós de posar a punt.

1.2 Objecte del projecte

- Dissenyar i validar un generador termoelèctric que permeti assajar de forma ràpida i precisa diferents tipus d'absorbidors de calor.
- Dissenyar un sistema de test més ràpid i menys laboriós que un banc motor.

1.3 Requeriments i abast

1.3.1 Requeriments

TEMA	O/D	DESCRIPCIÓ
Funcionament	O	Utilitzar aire en comptes de gasos d'escapament
Funcionament	O	Temperatura d'aire d'entrada d'uns 200°C
Funcionament	O	Cabal mínim de 10 g/s d'aire
Mesures	O	Capacitat de mesurar els valors de cabal i de pressió i temperatura abans i després del generador termoelèctric.
Econòmic	D	Tingui un preu assequible i que pugui reutilitzar part del material o equipament del laboratori
Construcció	D	Fàcil de muntar i desmuntar

O = Obligat; D = Desitjat

1.3.2 Abast del projecte

Dissenyar i construir un generador termoelèctric que permeti assajar diferents tipus d'absorbidors. També s'inclou el disseny i construcció d'un dispositiu d'assaig amb aire calent que d'acord amb els requisits de temperatura, cabal i pressions, simuli les condicions reals de treball en un escapament de motor de combustió interna.

2. SISTEMA D'ASSAIG

2.1 Introducció

La proposta del present projecte permet la utilització d'aire calent provinent d'escalfadors per tal de realitzar assajos d'una manera més ràpida i segura.

A la figura 3 s'observa un esquema que compara un sistema d'assaig dissenyat a partir d'un banc motor, i el sistema que es portarà a terme al projecte, mitjançant un banc de flux i la resta d'elements anomenats.

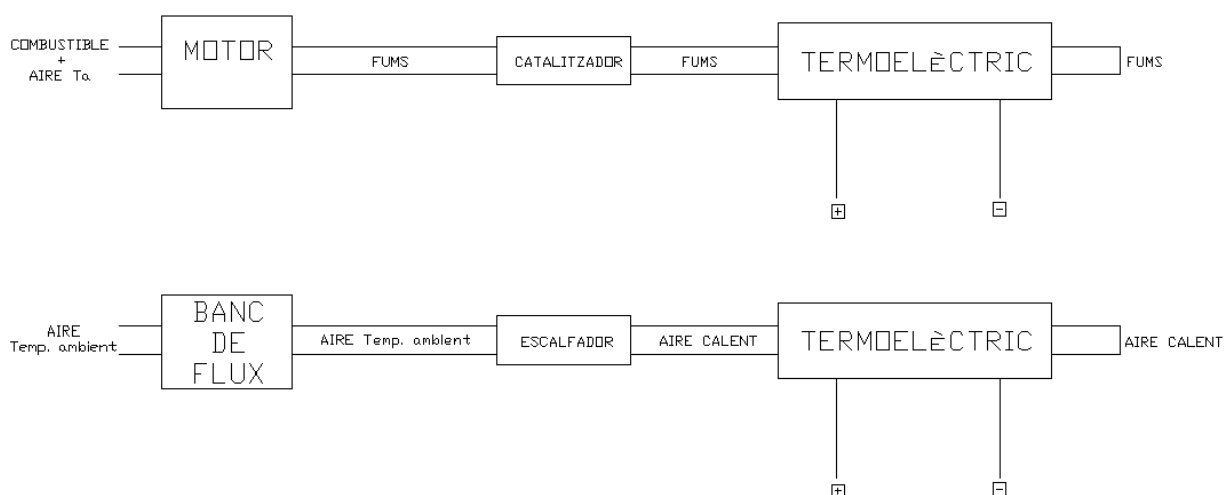


Figura 3: Esquema del muntatge actual (superior) i del sistema d'assaig dissenyat pel projecte (inferior).

Per dissenyar aquest dispositiu i a partir de les eines de les quals disposa la Universitat de Girona, utilitzarem:

- Un banc de flux, per tal d'aconseguir un cabal d'aire regulable i mesurable.
- Un escalfador elèctric, que ens permetrà augmentar la temperatura d'aquest aire per tal de que s'ajusti a les condicions reals.
- Un generador termoelèctric amb els absorbidors que s'han d'assajar, que també inclourà el seu propi sistema de subjecció i refrigeració.

Tot l'anterior anirà unit mitjançant un sistema molt senzill de conductes recreant el recorregut d'un tub d'escapament. Cal remarcar que tant el banc de flux com l'escalfador elèctric són

elements que ja disposa el propi grup de recerca, tot i que són utilitzats per tasques diferents a les que pretenem. El generador termoelèctric amb facilitat de testejar diferents absorbidors és de nou disseny.

A la figura 4 s'observa una part del predisseny que es va dur a terme abans de fer la proposta definitiva del sistema d'assajos. Aquí, es disposa del banc de flux que mitjançant unes tuberies redirigeix l'aire (cabal) fins a l'escalfador, per tal d'acabar d'ajustar les característiques del flux (temperatura) abans no passi pel generador termoelèctric.



Figura 4: Disposició del banc de proves en una prova preliminar.

Aquest muntatge ens permetrà no només regular i adequar les característiques del flux (cabal i temperatura), sinó també obtenir simultàniament dades dels valors de temperatura, pressió, pèrdues de carrega, etc.

Per altra banda, per tal d'assajar i definir el millor sistema d'absorció de calor i per tant l'absorbidor més adient, es portarà a terme el disseny i construcció d'un mòdul generador termoelèctric adaptat al banc de flux.

2.2 Banc de flux

Com s'ha especificat anteriorment s'utilitzarà un banc de flux per a la realització d'aquest banc de proves. El banc de flux és un dispositiu que permet saber el cabal i la pressió d'aire a la seva sortida. Aquest element ens permetrà arribar a la recreació d'una situació real (motor de combustió interna) en un entorn amb paràmetres coneguts, amb l'objectiu d'assajar els termoelèctrics en un espai de treball el més senzill possible.

El banc de flux permet realitzar proves de fluids sota unes condicions de cabals i pressions conegudes i controlables, per tal d'analitzar de manera experimental, entre d'altres, variacions de pressió, pèrdues de càrrega, etc. Actualment, GREFEMA disposa d'un banc de flux de la marca Saenz, les característiques del qual es poden trobar a l'annex B (descripcions tècniques). Actualment s'utilitza per mesurar la pèrdua de càrrega per a diferents cabals quan l'aire passa a través de culates de motor, turbocompressors, etc. Per reduir costos, s'estudiarà la viabilitat de poder-lo utilitzar en aquest muntatge (veure Annex A. Càlculs).

2.3 Escalfador

L'escalfador s'encarregarà d'escalfar l'aire fins a una temperatura similar a la dels fums de la combustió en el sistema d'escapament, que més endavant hauran d'escalfar el termoelèctric. Actualment, GREFEMA disposa d'un escalfador elèctric d'elevada potència de la marca Watlow (veure l'annex B. Descripcions tècniques). Aquest escalfador s'ha utilitzat per escalfar gasos d'escapament de vehicles pesants quan arranquen en fred amb l'objectiu d'augmentar el rendiment dels catalitzadors i disminuir les emissions. Com en el cas anterior, i per reduir costos, s'estudiarà la viabilitat de poder-lo utilitzar en aquest muntatge (veure Annex A. Càlculs). L'objectiu es disposar d'un escalfador elèctric programable, que escalfarà l'aire mitjançant una resistència i permetrà modificar la seva temperatura amb un quadre de comandament.

Un cop l'escalfador estigui instal·lat, a partir d'uns sensors situats a l'entrada i a la sortida del mateix, mesurarà la temperatura de l'aire i ajustarà la potència de la resistència que l'escalfa fins arribar al valor de temperatura d'aire de consigna prèviament definit.

A la figura 5 es pot observar l'escalfador Watlow un cop instal·lat al banc de proves.



Figura 5: Muntatge de l'escalfador.

Els orificis d'entrada i sortida d'aire de l'escalfador són d'un diàmetre exterior normalitzat de 76 mm, el qual permet un diàmetre constant al llarg de la instal·lació, això facilita la unió entre cada tram. La longitud del l'escalfador és de 400 mm aproximadament i està recolzat sobre un suport d'altura regulable per ajustar-lo a la sortida del banc de flux, aproximadament a 1300 mm, on descansa el seu pes, i es subjecta mitjançant unes brides i uns cargols per evitar desplaçaments. Es pot veure amb més detall la figura 5 anterior.

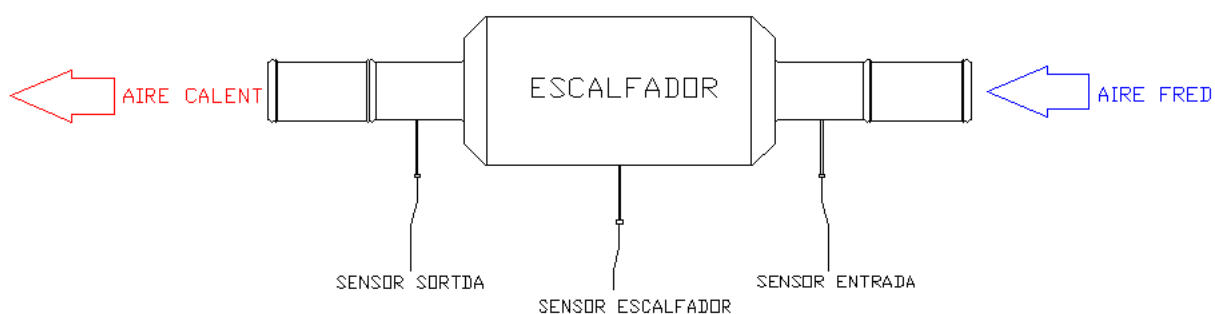


Figura 6: Esquema de l'escalfador.

A la figura 6 es representa d'una manera més esquemàtica com actua l'escalfador de flux i la disposició d'elements de control i obtenció de dades, per tal d'auto ajustar-se a la temperatura de consigna de l'escalfador i per una altre banda, mesurar els valors de la temperatura de l'aire a l'entrada i a la sortida del dispositiu.

2.4 Generador termoelèctric

Per definició, els generadors termoelèctrics són generadors de corrent continu que utilitzen l'efecte Seebeck per generar electricitat a partir d'un flux de calor. Normalment són de baixa potència i no tenen parts mòbils.

Un generador termoelèctric converteix directament la calor en electricitat. La calor indueix la circulació d'un corrent elèctric en fluir des de la cara calenta a través del mòdul termoelèctric o termopila.

Per a generar electricitat mitjançant l'efecte Seebeck, els generadors termoelèctrics més comuns utilitzen com a mínim, un mòdul termoelèctric comercial com el de la figura 7, i una font de calor aplicada a la cara calenta que provoqui una diferència de temperatura entre totes dues cares d'aquest. És molt important que, la cara freda dissipï calor contínuament per tal de mantenir un elevat flux de calor a través del material i, per tant, mantenir una diferència de temperatures elevada entre les dues cares del mòdul termoelèctric.



Figura 7. Mòdul termoelèctric.

D'aquesta forma, els elements bàsics del generador termoelèctrics són tres:

- El focus calent que augmenta la temperatura d'una de les cares. L'aire calent provinent de l'escalfador farà aquesta funció, augmentant la temperatura de la cara calenta del mòdul aproximadament fins a uns 200C⁰.
- El propi dispositiu o mòdul termoelèctric.
- El focus fred, per tal de dissipar la calor que es pugui transmetre a la cara freda. Aquesta disposarà d'un sistema de refrigeració per tal d'assegurar una elevada transferència de calor i, per tant, una temperatura baixa de la cara freda del dispositiu.

L'objectiu d'aquest projecte és el disseny d'un dispositiu per assajar la capacitat de diferents absorbidors en condicions de treball d'un generador termoelèctric. Per això, en els assajos de diferents absorbidors, no cal incloure mòduls termoelèctrics comercials que són cars d'adquisició, i molt laboriosos d'instal·lar ja que s'ha d'anar amb molta cura per no malmetre'ls. Per això, s'ha optat per substituir aquests mòduls comercials per una làmina de ceràmica que ocupa l'espai propi del mòdul termoelèctric, 3 mm de gruix i una secció rectangular de 100 mm x 80 mm, modificada al taller respecte al format d'origen, i que disposa d'una conductivitat tèrmica molt semblant al d'un mòdul termoelèctric comercial (1.5 W/mK; veure fitxa tècnica a l'annex B. Descripcions tècniques). Això permet agilitzar el procés de muntatge i, per tant, de testejar diferents absorbidors. Com la ceràmica ocupa el mateix espai que els mòduls termoelèctrics comercials, una vegada s'hagi definit l'absorbidor més adient, ja es podria substituir pels mòduls termoelèctrics en un únic assaig per conèixer la potència elèctrica obtinguda.

El generador termoelèctric que s'ha dissenyat per tal de portar a terme els assajos, es compon de 4 parts muntades una sobre l'altra amb aquest mateix ordre: l'absorbidor de calor, els mòduls termoelèctrics (aquí substituïts per una placa ceràmica), el dissipador de calor i les brides, que formen el sistema de subjecció. Tot el conjunt, forma un bloc que permet assolir una temperatura molt alta en la part interna, per tal d'escalfar una de les cares del mòdul termoelèctric, i una temperatura relativament baixa a la part externa per assegurar aquesta diferència de temperatura, i que es mantingui una unió compacte entre els elements. A continuació es descriuen aquests elements i el muntatge del generador termoelèctric en el seu conjunt.

2.4.1 Absorbidor

En un vehicle, si intentem aprofitar la calor dels gasos d'escapament, única i exclusivament per la transferència entre les parets del termoelèctric i el tub d'escapament, la temperatura que assolirà la cara calenta del termoelèctric, tot i que la dels gasos sigui prou alta, no serà molt elevada i, per tant, el gradient de temperatura entre les cares del mòdul termoelèctric no serà prou significatiu ni es generarà electricitat de manera que sigui rendible. Això és degut a la poca calor absorbida per les parets del tub d'escapament.

Amb aquesta premissa, el generador termoelèctric necessita d'uns absorbidors de calor distribuïts de manera homogènia en la secció per la qual travessen els gasos calents, augmentant així la transmissió de calor entre el fluid i el termoelèctric.

En el nostre model, es volen assajar uns absorbidors que són elements de compra (veure l'annex B; descripcions tècniques). Aquests s'utilitzen com a dissipadors de calor, com es pot veure a la figura 8, tenen una geometria característica per millorar la transferència de calor, amb una base plana continua amb aletes intercalades. Això fa augmentar la superfície de contacte entre l'aire calent i el propi element i així doncs poder assegurar una transferència de calor més eficient.



Figura 8. Placa absorbidor de calor.

Aquests absorbidors de calor hauran de ser modificats lleugerament per adaptar-se correctament a la secció que han d'ocupar en el disseny proposat.

Alhora de portar a terme la seva disposició i modificació s'han de tenir en compte dos factors molt importants. En primer lloc, la geometria del conjunt d'absorbidors i de les seves aletes ha de ser l'adient perquè l'absorció de calor sigui significativament alta. Per altra banda i sent uns dels objectius estudiats al projecte, que la disposició d'aquests absorbidors no obstrueixi en excés el pas dels gasos i que per tant es generi una elevada contrapressió al tub d'escapament.

Tot i que el model d'absorbidor més adient és desconegut, per tal de que la distribució de calor sigui homogènia en tota la superfície en contacte amb el termoelèctric, els absorbidors en conjunt formaran una espècie de malla ocupant així pràcticament en la seva totalitat la secció lliure amb les seves aletes. El seu muntatge teòric aproximat serà l'indicat a la figura 9 on es pot visualitzar la trama que es genera per incrementar l'absorció de calor del fluid.

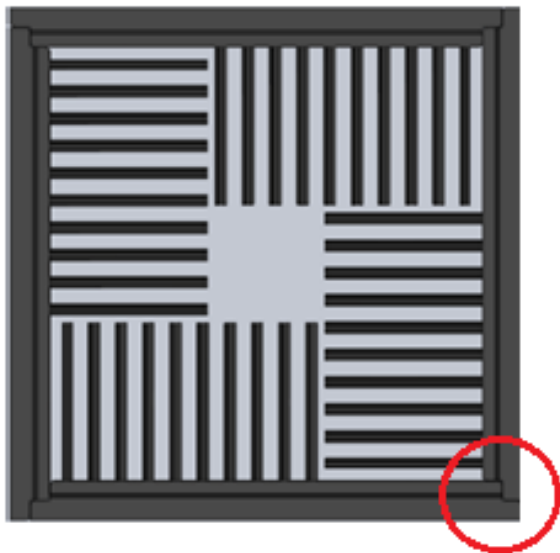


Figura 9: Distribució de quatre absorbidors de calor proposada en el dispositiu quadrat.

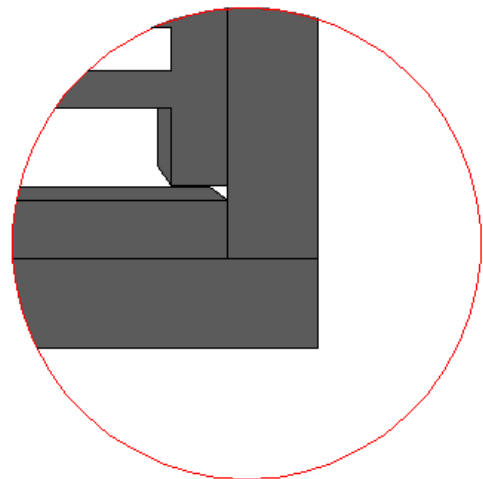


Figura 10: Detall unió entre absorbidors.

Per dur a terme aquesta disposició dels elements, caldrà eliminar un número d'aletes suficients de cadascun dels absorbidors per permetre introduir-lo en l'absorbidor veí. Aquesta mesura serà l'equivalent a l'altura h de les aletes (en aquest cas 30 mm). També s'haurà de mecanitzar la base al llarg de tot el perímetre per formar un esglaó que permeti que es muntin entre ells com un puzzle (figura 10) i per facilitar més tard, l'ajustatge de les brides que subjecten el conjunt termoelèctric per la part frontal i posterior (apartat 2.4.3.2). S'ha optat per fer un rebaix de, 3 mm d'altura i 3 mm de profunditat, detallat a la figura 11.

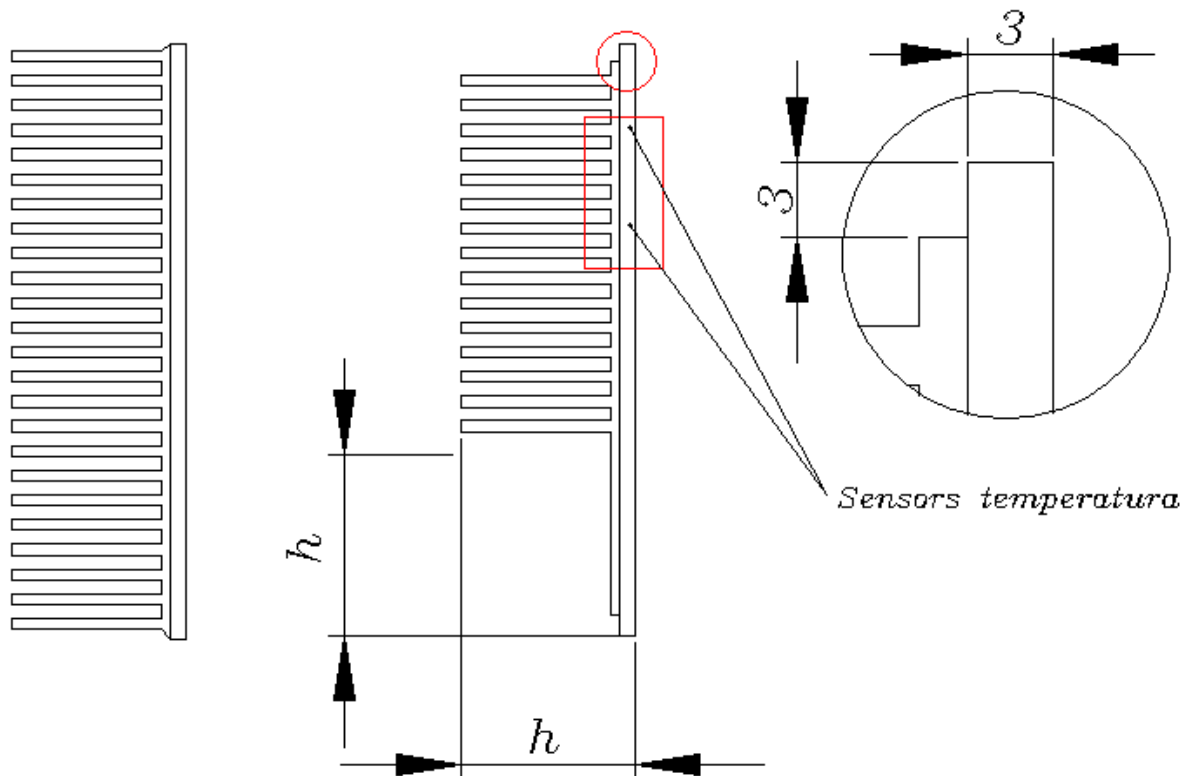


Figura 11: Croquis detallat de les modificacions adoptades per portar a terme el muntatge de la figura 9.

Els absorbidors estan fets de A 6063, un aliatge d'alumini, magnesi i silici, amb una alta conductivitat tèrmica. Disposaran, a les dues cares per on entrarà i sortirà l'aire, de dues perforacions cada una de 1 mm de diàmetre, una més profunda que l'altra (20 mm de longitud la situada en una posició més externa i 40 mm la interna), per tal d'introduir unes sondes de temperatura tipus termoparell k (veure l'annex B; descripcions tècniques) i mostrejar la temperatura dels absorbidors, tal i com es senyala a la figura anterior (figura 11). L'adquisició de dades dels termoparells es farà a partir d'uns mòduls de National Instrument (veure l'annex B; descripcions tècniques) dels quals ja es disposa, i es monitoritzarà els resultats amb el software LabView

2.4.2 Dissipadors de calor

Un dels punts més importants a l'hora de portar a terme el disseny d'un generador termoelèctric, és precisament assolir una temperatura entre ambdues cares que sigui significativament gran per tal de que es generi més quantitat de corrent elèctric.

Per tal d'assegurar que la cara externa del termoelèctric es trobi a una temperatura pròxima a la temperatura ambient de manera prolongada, es disposarà d'un sistema de dissipació que no refredarà com a tal el termoelèctric per contacte directe, sinó que s'encarregarà de dissipar la calor que es transmeti transferint-la a un líquid refrigerant.

El circuit refrigerant anirà connectat a un Chiller o refredador d'aigua, una màquina que s'ocupa d'extreure la calor generada pel procés, per tal de mantenir la temperatura del líquid refrigerant en un rang de temperatures concret. Aquest sistema és un element nou de compra que anirà instal·lat com un accessori extern al banc de flux, que opera automàticament la gestió de la temperatura.

La cara freda del mòdul termoelèctric es trobarà en contacte directe amb el cos del dissipador de calor, un element dissenyat a partir d'un massís rectangular d'alumini de 108 mm x 94 mm i gruix 22 mm amb un serpentí d'amplada 3 mm i profunditat 10,5 mm gravat sobre la seva superfície, com es pot observar a la figura 12, per tal de que el líquid refrigerant que es troba en constant moviment recorri tota l'àrea que abasta el termoelèctric.

A la cara contrària al serpentí i la qual es troba en contacte amb la cara freda del mòdul termoelèctric, tal i com es pot veure a la figura 13, s'ha mantingut un petit esglaó per delimitar la posició en un requadre de dimensions 100 mm x 80 mm i assegurar l'ajustatge correcte del termoelèctric, el qual serà substituït per una lamina de ceràmica en aquest projecte.

Els massissos dissipadors de calor estaran fets d'alumini per augmentar la transferència tèrmica, i igual que els absorbidors, disposaran, a dues de les cares, de dues perforacions d'1 mm de diàmetre, una més profunda que l'altra (al contrari dels absorbidors, 20 mm de longitud la situada a l'interior i 40 mm l'exterior), per instal·lar-hi uns sensors de temperatura tipus termoparell K i poder mostrejar la temperatura dels dissipadors en punts diferents de la seva secció.

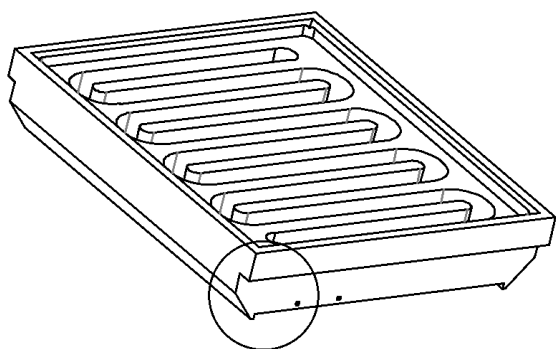


Figura 12: Serpentí dissipador de calor.

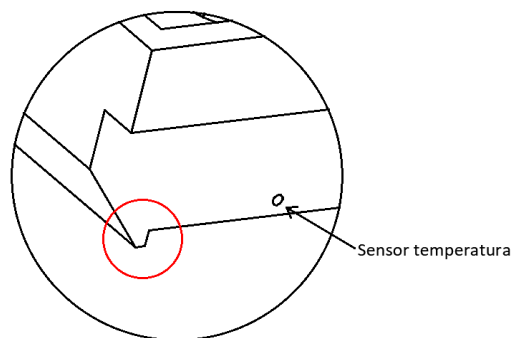


Figura 13: Detall ajustatge termoelèctric.

Per tal de que el líquid refrigerant es mantingui en moviment al llarg dels dissipadors, aquest incidirà al serpentí a partir d'uns ràcords de diàmetre 1/8" (8 en total), com el de la figura 14, roscats a la brida de subjecció, que delimita la càmera per on circularà el refrigerant. És a dir, la tapa dels dissipadors de calor evita la fuga del líquid refrigerant i farà, a l'hora de subjecció, tal i com s'explica a l'apartat següent.



Figura 14. Ràcord circuit refrigerant amb espiga de 9 mm i diàmetre 1/8'.

El circuit hidràulic del refrigerant i les seves parts, es contempla amb més detall a l'annex B; descripcions tècniques.

2.4.3 Sistema de subjecció

El generador termoelèctric està dissenyat per instal·lar-se en aparells mòbils, és a dir, la unió entre tots els elements ha de ser estable i compacte per tal de suportar sacsejos i vibracions de manera sostinguda i continua.

La subjecció de tots els components es farà mitjançant plaques (o brides) metàl·liques, dissenyades amb una geometria concreta, i varetes roscades per unir-les al conjunt.

Es poden diferenciar dos tipus de brides en aquest sistema, les brides que assemblen el generador termoelèctric amb tots el seus elements i les brides que subjecten tot aquest conjunt al banc de flux.

2.4.3.1 Brida termoelèctric

Per assegurar un bon funcionament del termoelèctric i que tant la transmissió de calor a la part calenta com la seva refrigeració funcioni de manera correcta, tot el conjunt d'elements ha de romandre fixa i compacte com una única peça.

La unió entre el dissipador de calor i la brida es farà mitjançant un cordó de soldadura per assegurar l'estanquitat i l'hermetisme de la càmera per on circularà el líquid refrigerant. D'aquesta forma el propi dissipador de calor farà de brida.

Recordem que els ràcords d'entrada i sortida del refrigerant aniran cargolats a la superfície de cadascuna de les brides. Per tant, aquestes disposaran de dos forats roscats amb diàmetre 1/8" a cada extrem del principi i final del serpentí.

Per tal de fixar la resta d'elements es disposaran dos parells de brides, enfrontades cadascuna amb la seva parella subjectaran el bloc format per totes les parts del generador termoelèctric.

Les brides, es faran a partir de planxes d'alumini amb una geometria que permetrà unir-les entre elles mitjançant espàrrecs roscats evitant que els elements de fixació entrin en contacte amb qualsevol part interna (o calenta) del sistema. Això, evitarà l'existència de pont tèrmics, zones per on podria transmetre's un flux elevat de calor al no veure's obligat a travessar el mòdul termoelèctric.

El muntatge de les brides serà tal com s'indica a la figura 16, per tal de que l'assemblatge de tots el elements interns romanguí fixa i no hi hagi contacte entre la part freda i la calenta.

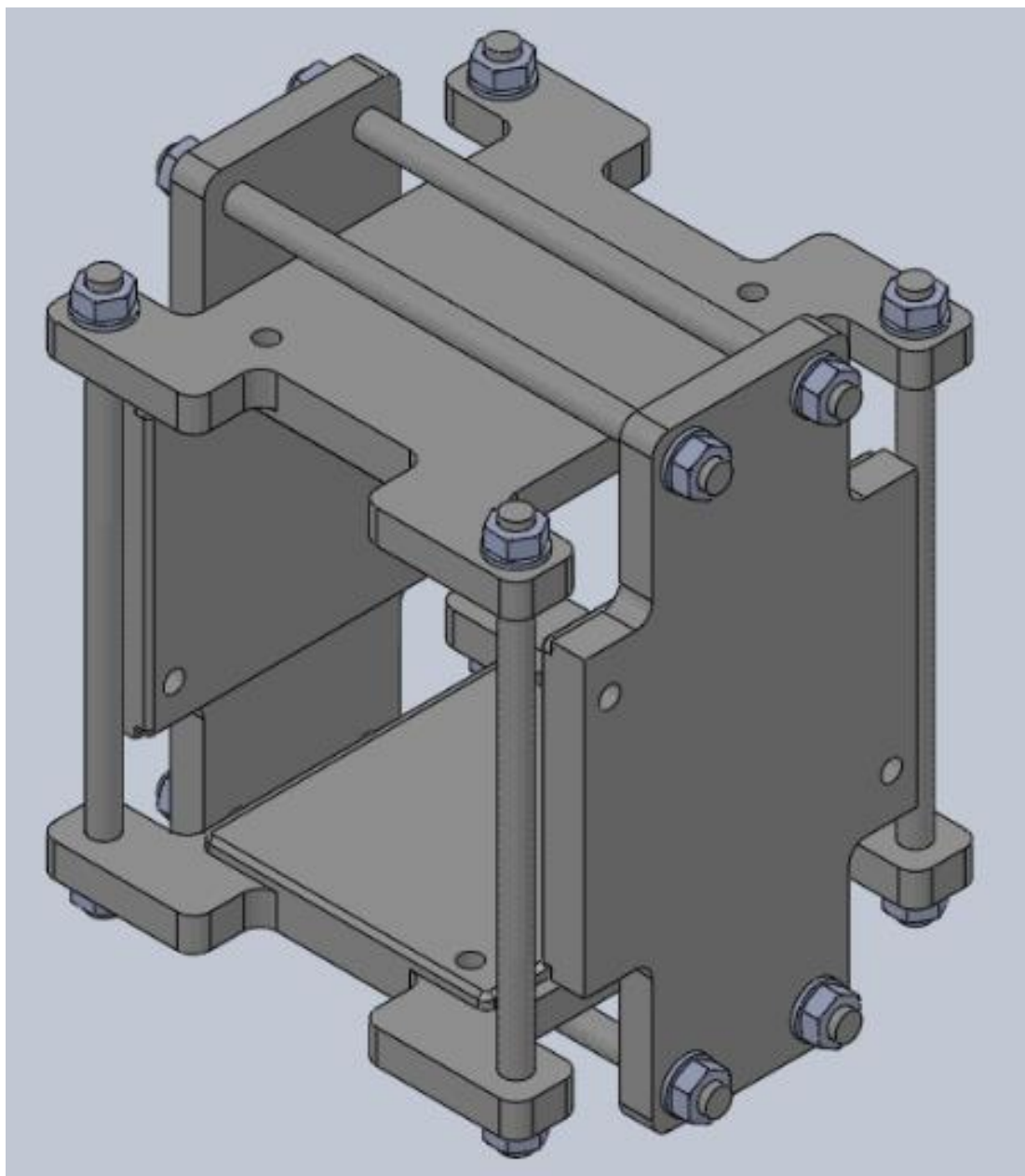


Figura 16: Brida de subjecció termoelèctric sense el dissipadors.

Alhora de resumir les dimensions les de les brides, parlaríem de mides generals o mides del brut de partida donat que no tenen una forma geomètrica estàndard. Per les situades a la part superior i inferior segons la figura 16, les dimensions són, sense considerar el dissipador soldat, 144 mm d'amplada per 140 mm de llargada per un gruix de 10 mm. Les brides laterals són del mateix gruix, 10 mm, i fan 182 X 100 mm.

Els espàrrecs o varetes roscades d'acer inoxidable que uneixen les brides són trams de 165 mm mètric 8 (M8), i sumen un total de 8 unitats amb una volandera i una femella d'acer inoxidable a cada extrem, el que suposa un total de 16 unitats de cadascun dels elements per tal de subjectar el conjunt.

A la figura 17 es recullen totes les especificacions del muntatge anomenades en aquest punt en forma de croquis.

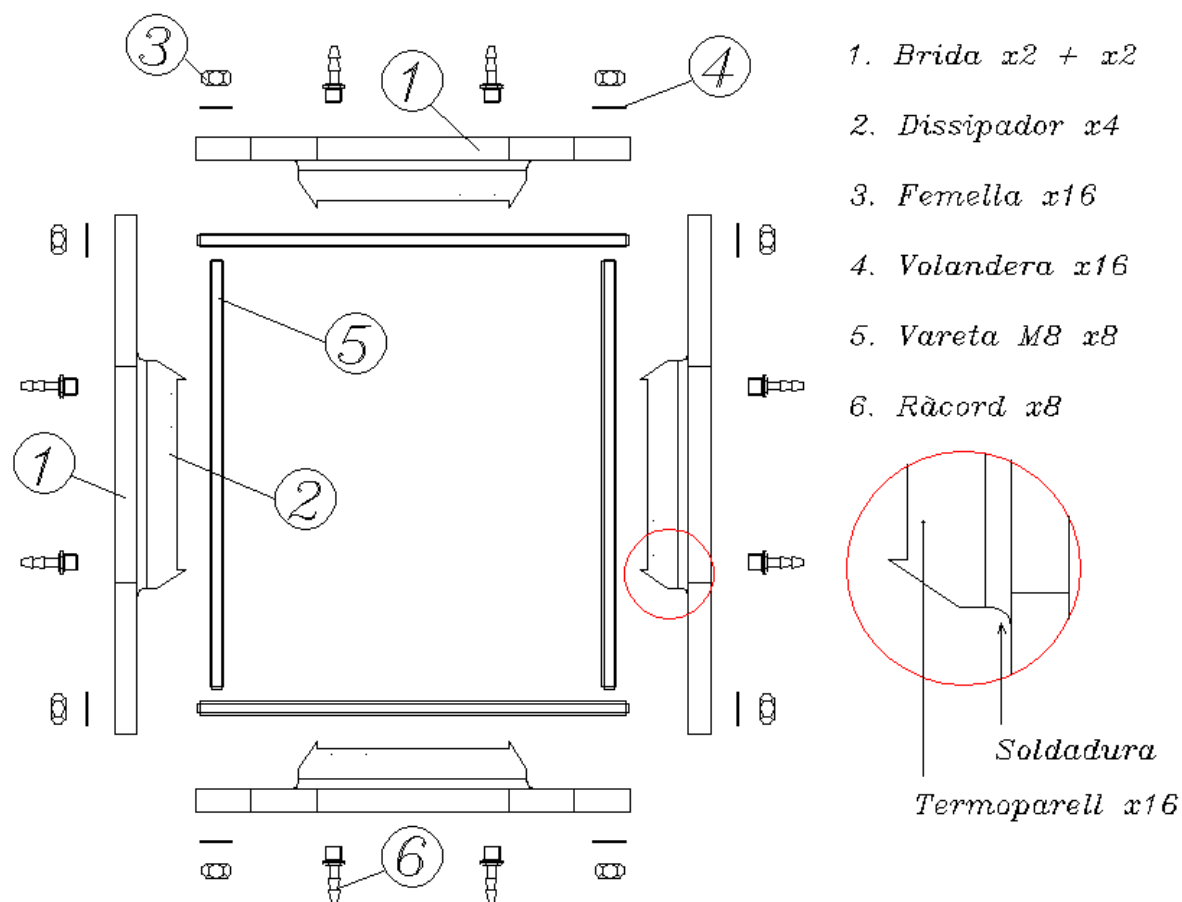


Figura 17: Resum croquisat del sistema de subjecció i dels seus elements.

2.4.3.2 Brida conjunt termoelèctric

Una vegada el cos del termoelèctric es troba subjectat i compacte, cal instal·lar un sistema de subjecció per tal que el conjunt pugui ser acoblat al tram de tub pel qual circula l'aire calent de la sortida de l'escalfador.

Es portarà a terme mitjançant dos tubs d'acer inoxidable de longitud 190 mm, un a cada cantó del dispositiu termoelèctric, amb una geometria variable, la qual com es pot observar a la figura 18, inicialment serà circular de diàmetre exterior 76 mm per facilitar la continuïtat del tub, a continuació augmentarà la seva secció de manera progressiva, i finalment serà de secció quadrada de 78 mm per cada costat, és a dir, tindrà un perfil cònico-piramidal, per ajustar-se amb una major sintonia amb el conjunt termoelèctric i, en particular, amb els absorbidors de calor. La secció descrita anteriorment es troba més detallada al document de plànols.

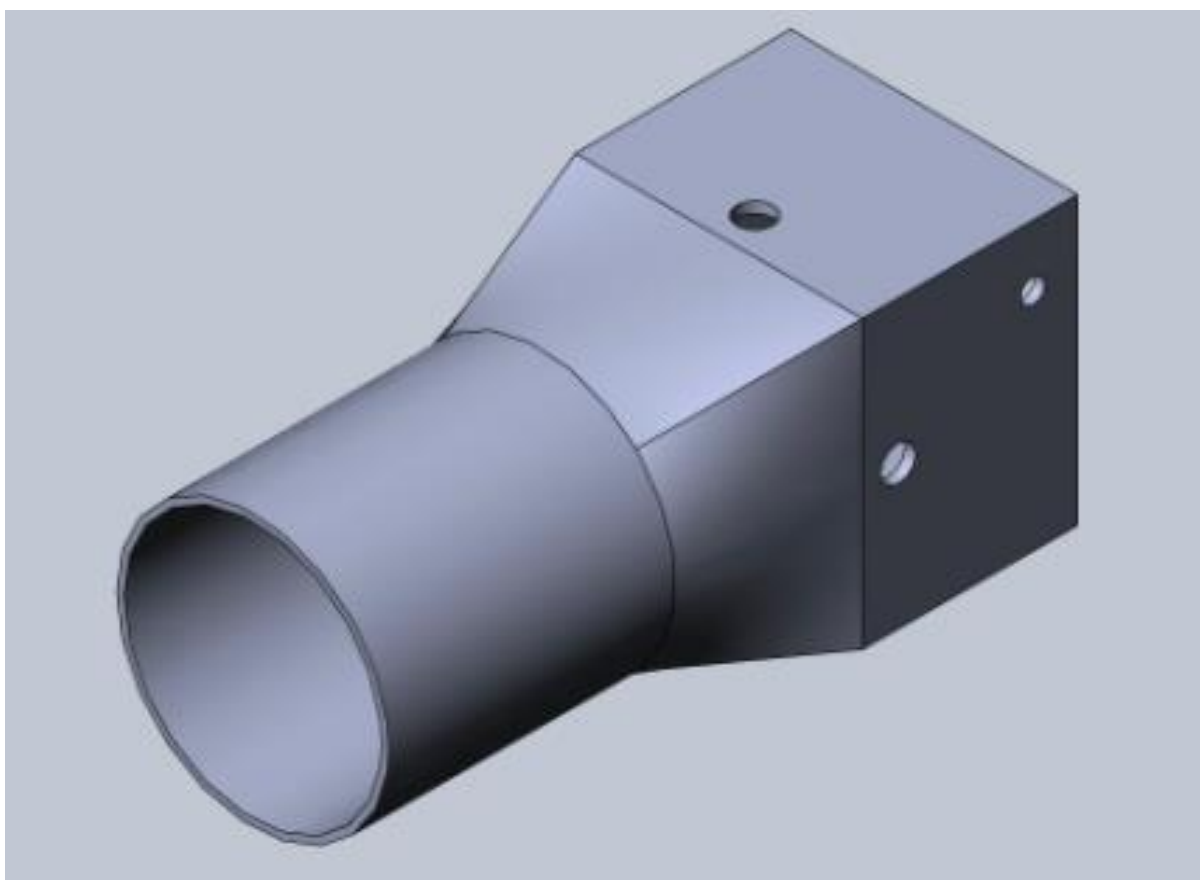


Figura 18: Tub de secció variable per a la fixació del bloc termoelèctric.

Per tal d'unir tots dos tubs i assegurar la seva fixació, es disposaran dues brides circulars de diàmetre 315 mm a ambdós costats, a partir de dues planxes d'acer inoxidable de gruix 10 mm, amb un forat interior quadrat aixamfranat perquè faci topall en el punt on comença la màxima secció dels tubs (veure la unió de les dues peces a la figura 19), on a més a més s'han afegit uns punts de soldadura per assegurar la robustesa de la unió i la seva perpendicularitat al tub, com es pot veure més endavant a la vista en detall de la figura 21. Aquestes brides es trobaran unides entre elles a partir de 6 varetes roscades amb mètric 12

(M12) d'acer inoxidable de 264 mm de llargada, col·locades en 6 forats colissos dels que disposa cada brida, amb una volandera i una femella d'acer inoxidable a cada extrem, el que suposa un total de 12 unitats de cadascun dels elements per tal de subjectar el conjunt.

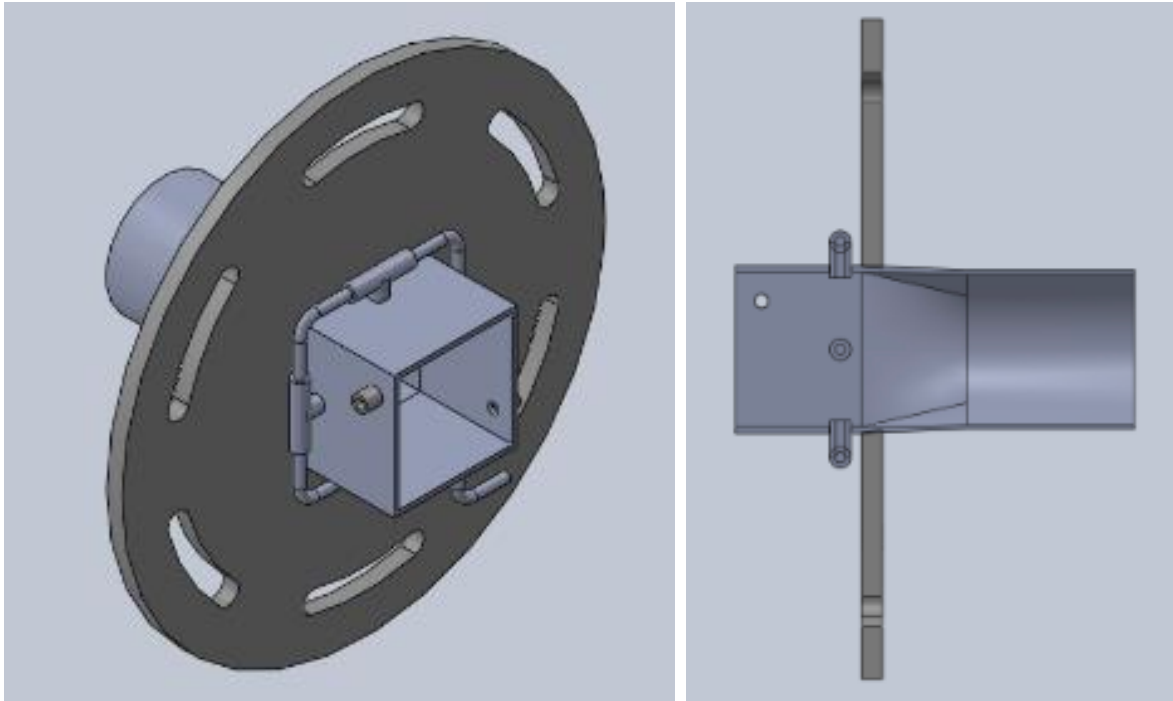


Figura 19: Brida sobreposada al tub de fixació del conjunt i vista lateral en secció.

L'extrem de secció quadrada d'aquesta peça encaixa amb la modificació feta als absorbidors de calor (figura 11). D'aquesta manera, s'assegura un correcte acoblament entre els dos objectes alhora que permet reduir les fuites d'aire cap a l'exterior. En cas que aquestes fossin remarcables, es podria segellar aquesta unió amb pasta no permanent per facilitar el desmuntatge. Un cop les brides apliquin pressió una sobre l'altre, tot el conjunt quedarà subjecte i només caldrà unir tots dos extrems al tram de tub per on passa l'aire calent.

Donat que la temperatura i la pressió són magnituds que s'han de controlar, es disposarà tant a l'entrada com a la sortida del generador termoelèctric d'aparells de mesura. Per tal de controlar la temperatura, i com s'ha fet ja anteriorment, s'utilitzarà un sensor de temperatura tipus termoparell K. Es soldarà una rosca d'1/8" sobre dues de les cares planes del tub de cada brida per rosca-hi uns ràcords que subjectaran els termoparells de diàmetre 1,5 mm (annex B; descripcions tècniques). A l'hora de mesurar la caiguda de pressió al pas del termoelèctric i per tal de que aquesta sigui el més precisa possible, s'ha instal·lat un circuit al voltant del tram quadrat de manera que la mesura de pressió és fa sobre el punt comú de

quatre mostres diferents, una a cada banda de les cares del tub. A partir d'uns forats roscats de diàmetre 1/4" sobre el tub es col·loquen les T per obtenir la pressió de mostreig. L'eina de mesura de la pressió és un sensor WIKA CPT 6200 i el circuit està construït a partir d'accessoris de llautó, més detallats a l'annex B; descripcions tècniques. A la figura 20 es pot veure amb més detall la instal·lació descrita anteriorment.

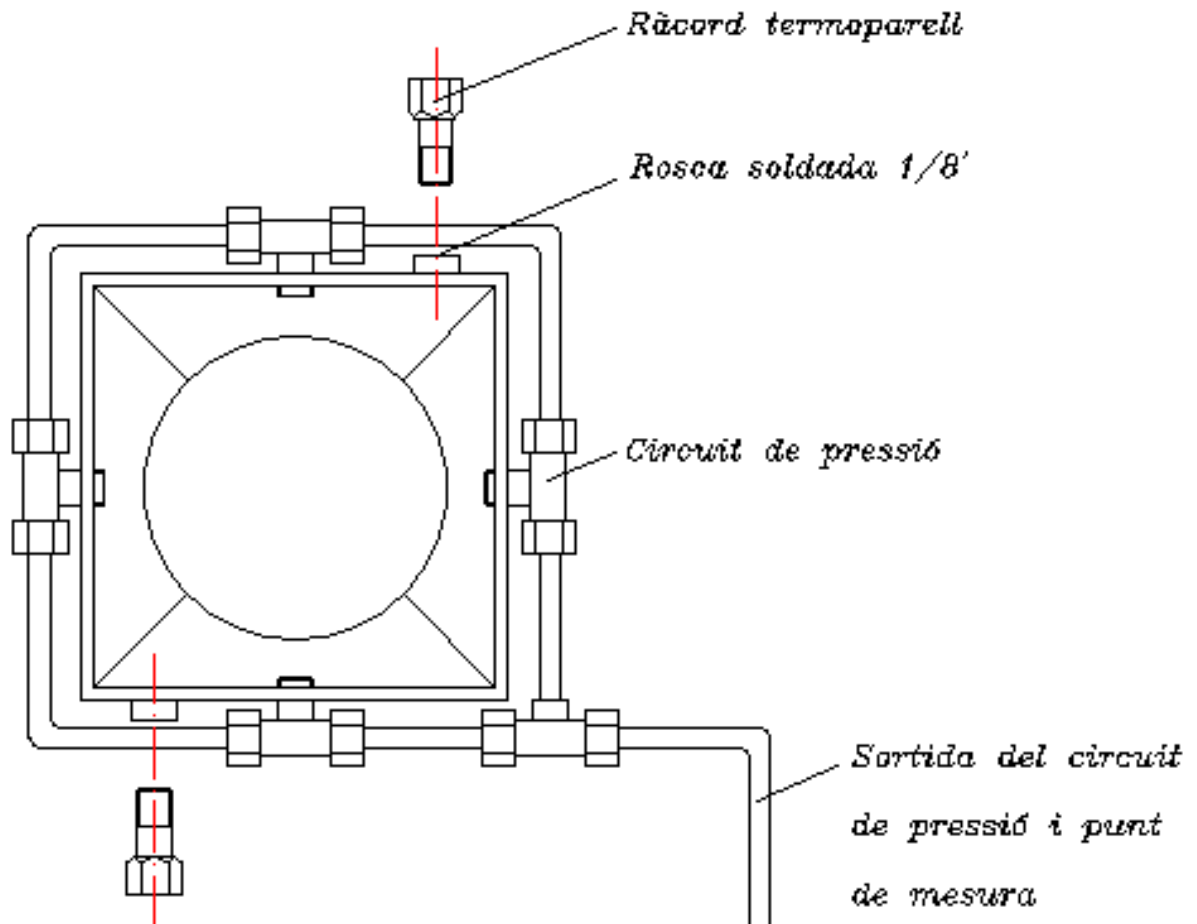
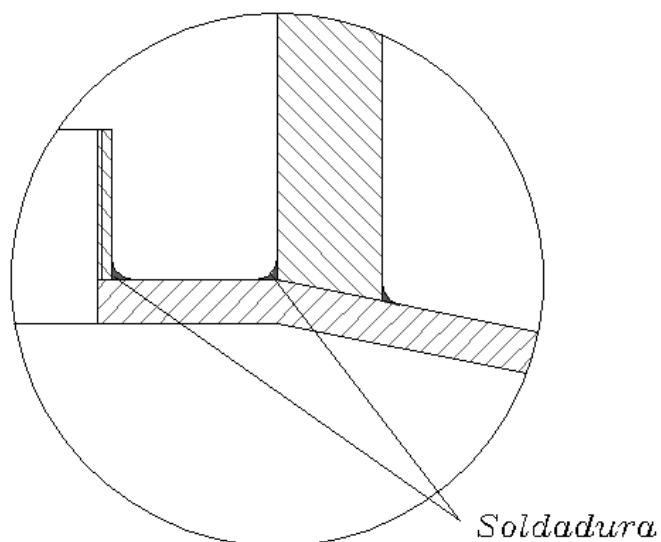
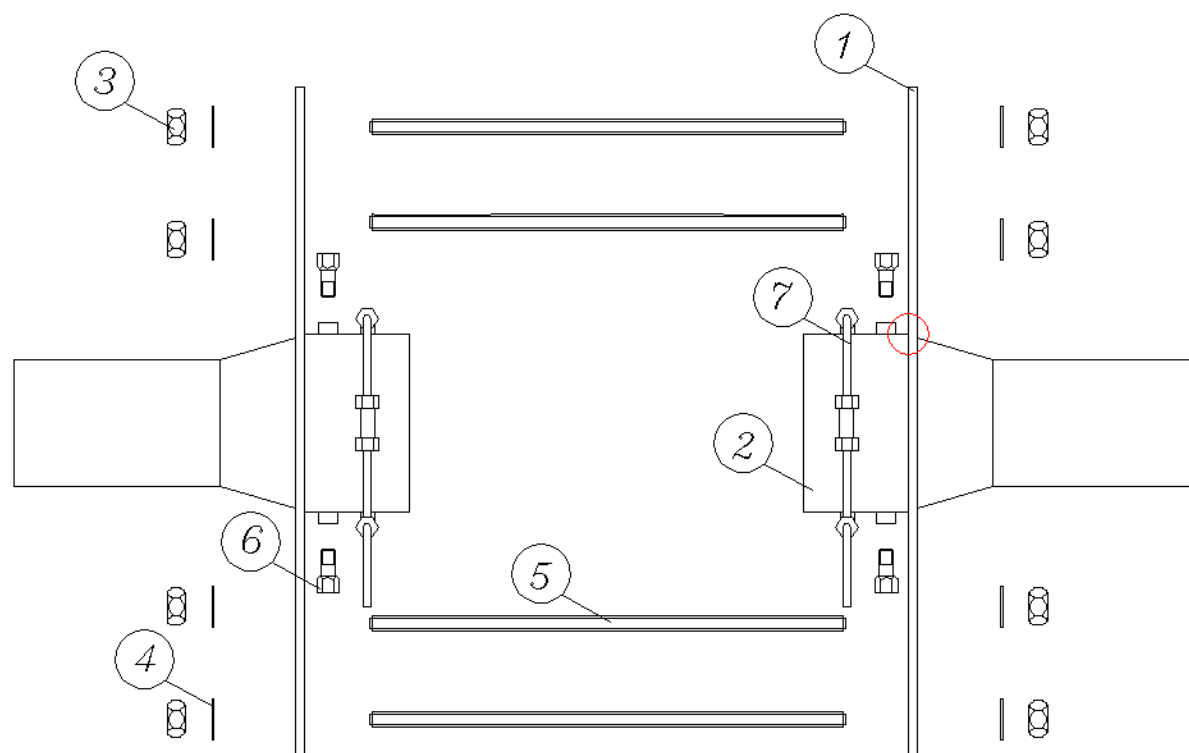


Figura 20. Croquis vista frontal del tub secció quadrada.

La connexió de les T està feta a partir de trams de 35 mm x 35 mm d'una canonada d'acer inoxidable de 6 mm de diàmetre doblegats a 90°. Una anella de compressió situada a l'interior dels cargols dels extrems de les T assegura l'estanquitat del tub mitjançant la pressió del roscatge. A la sortida del circuit, i per tal de refredar la mostra abans de que el sensor de pressió faci la seva lectura, anirà connectada una torre de refrigeració tant a circuit de l'entrada com al de la sortida del generador termoelèctric.

A la figura 21 es recullen totes les especificacions del muntatge anomenades en aquest punt en forma de croquis.



- 1. Brida x2
- 2. Tub x2
- 3. Femella x12
- 4. Volandera x12
- 5. Vareta M12 x6
- 6. Ràcord x4
- 7. Circuit de pressió

Figura 21. Resum croquisat del sistema de subjecció del conjunt termoelèctric i dels seus elements.

2.4.4 Conjunt termoelèctric

Un cop exposades les parts del termoelèctric cal definir de manera més acurada la unió del conjunt i per tant el seu muntatge i instal·lació.

Inicialment es col·locaran els absorbidors amb la intenció de fer una espècie de malla per tal de mantenir la simetria del conjunt i, augmentant al màxim la superfície de fricció en contacte amb l'aire. Cal verificar que l'orientació de les aletes és paral·lela amb la direcció del flux. La geometria d'aquests amb la seva modificació prèvia, ens permetran unir totes quatre peces com un puzzle, tal i com s'ha pogut veure en apartats anteriors.

A continuació, es posicionaran les làmines de ceràmica Macor (que substitueixen els mòduls termoelèctrics comercials), quatre en total, una per a cada una de les cares del cub. La cara que romandrà calenta, estarà recolzada en la seva totalitat sobre la base que ofereix l'absorbidor, per tal d'aprofitar al màxim l'energia recollida.

Com s'ha exposat anteriorment i tal i com es pot veure a la figura 22, per assegurar un alt flux de calor i, per tant, un gradient de temperatura, el sistema refrigerant es col·locarà sobre l'altra cara de la làmina ceràmica.

La brida de subjecció soldada al dissipador s'encarregarà de segellar el circuit i aplicant pressió sobre la brida de la part contrària subjectaran tot el conjunt. Per tal de que el líquid circuli pel serpentí del dissipador, es disposaran els dos ràcords roscats, un a l'inici del gravat i un altre al final, connectats al Chiller que s'encarrega de refredar l'aigua.

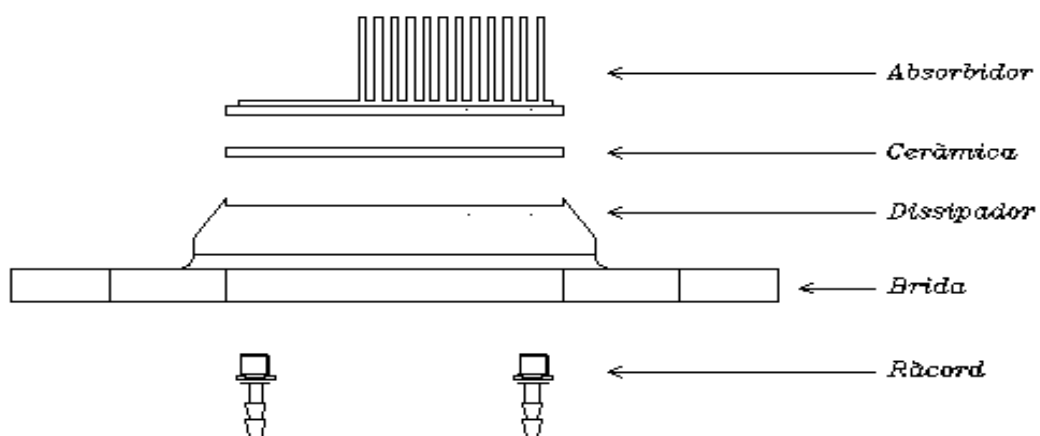


Figura 22. Superposició del conjunt absorbidor, làmina ceràmica, dissipador, brida i ràcords.

A la figura 23 es pot observar, en la seva totalitat d'elements, el conjunt descrit anteriorment, muntat i assemblet

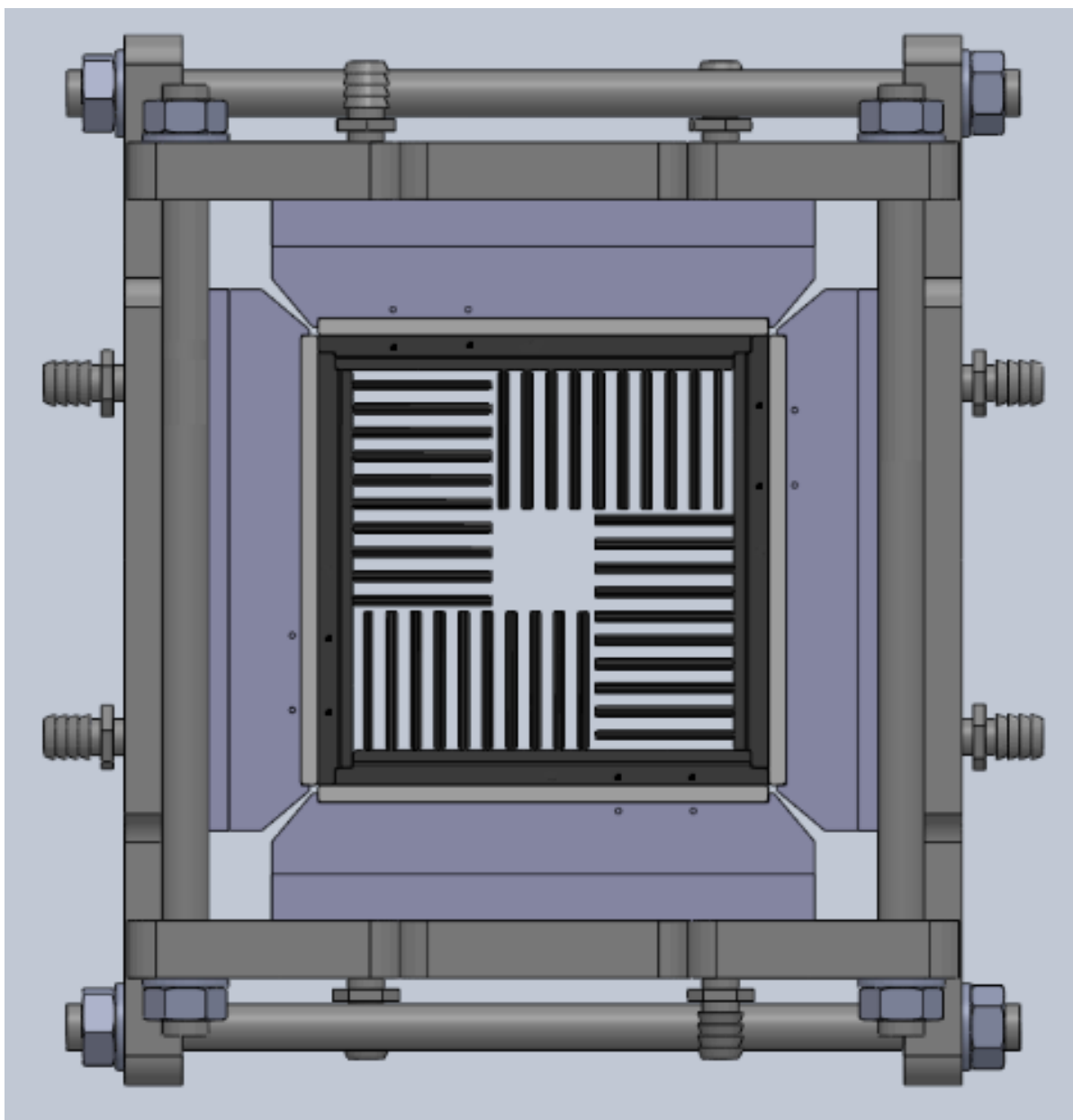


Figura 23. Generador termoelèctric assemblet.

Finalment, com es pot veure a la figura 24, tot el termoelèctric romandrà fixa al sistema mitjançant el parell de brides circulars anomenades anteriorment. Els tubs d'entrada/sortida d'aire permetran no només unir el conjunt i assegurar un flux continu d'aire a través del generador, si no que també delimitarà el desplaçament de la resta d'elements en aquesta mateixa cara, a partir de l'ajust entre la secció del tub i la resta del bloc detallat anteriorment.

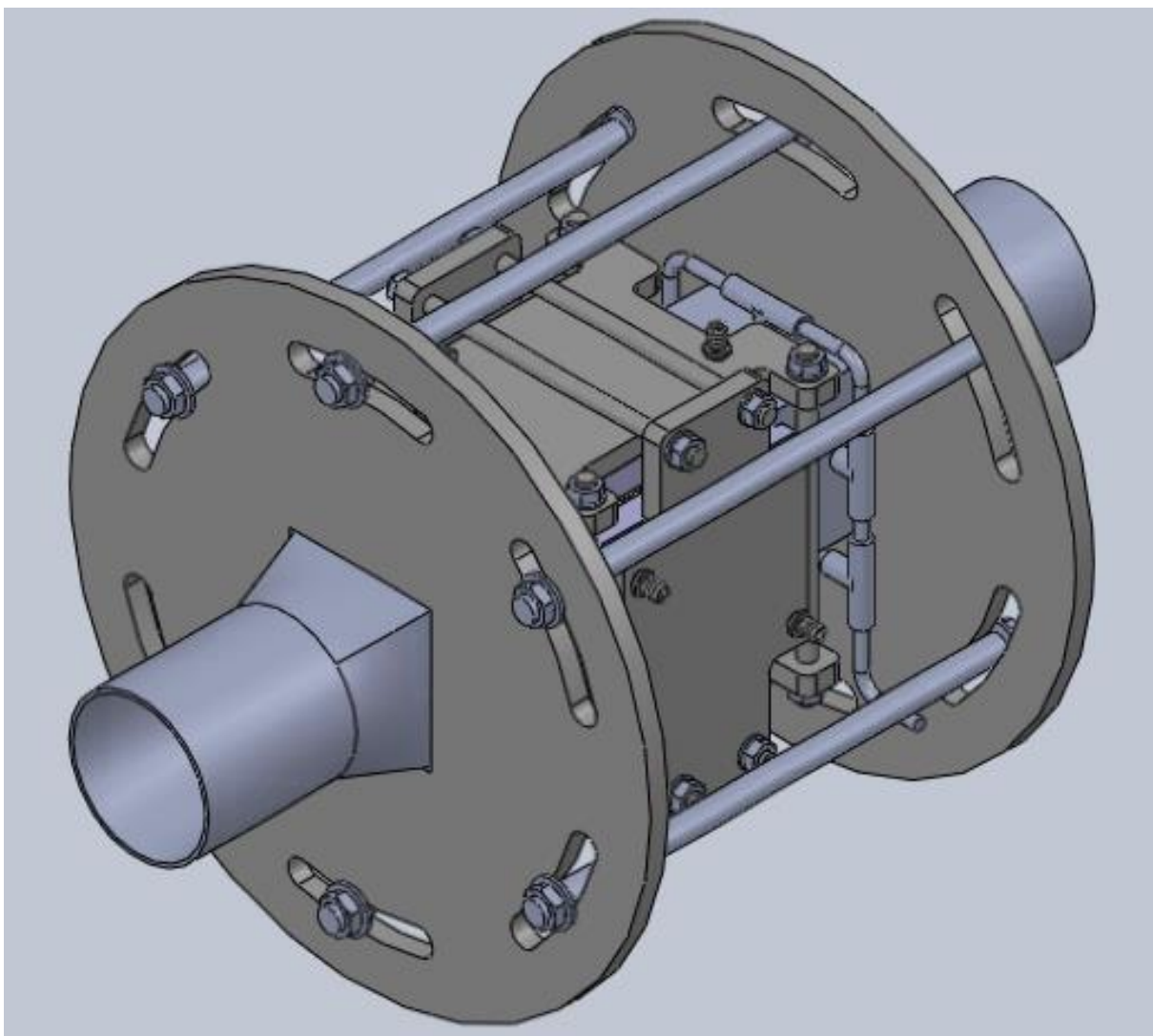


Figura 24. Conjunt termoelèctric assembletat.

2.5 Conjunt d'assaig

El conjunt d'elements que formen el banc de proves, es pot dividir en tres parts.

En primer lloc, a l'hora de dirigir el flux d'aire fins a l'entrada de l'escalfador, s'ha dissenyat una brida d'alumini amb materials del taller que es troba unida a banc de flux a partir d'uns cargols roscats, situats d'origen a la superfície del banc. La brida permetrà connectar la resta del circuit al banc, donat que la seva funció és facilitar la unió de la resta del muntatge a partir d'un tub de diàmetre exterior 76 mm soldat en l'extrem superior d'aquesta. Per tal d'assegurar un tancament hermètic, aquesta unió està segellada mitjançant una junta de goma col·locada entre la brida i la superfície plana del forat per on s'expulsa l'aire.

A la figura 25 es pot veure un croquis dels components descrits anteriorment.

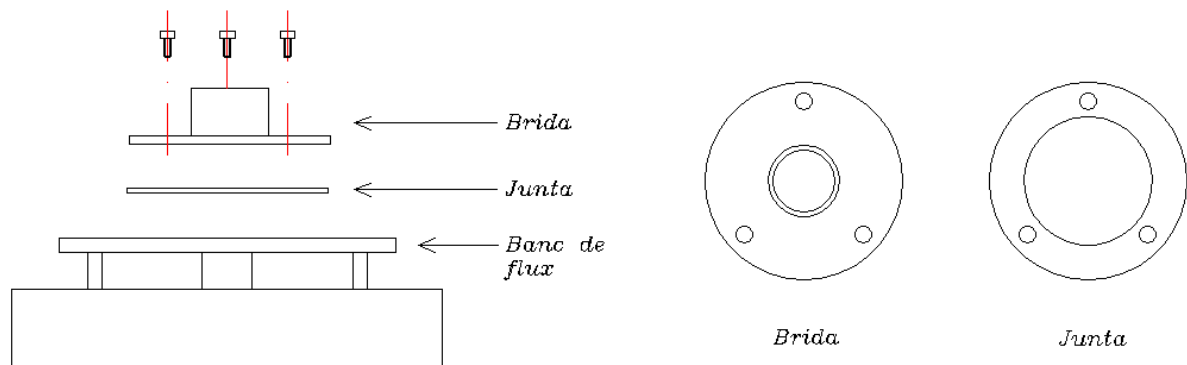


Figura 25. Croquis brida del banc de flux.

Després de la unió entre el banc de flux i la brida metàl·lica es troba un colze de 90° per tal de redirigir l'aire cap al tub conductor i evitar que l'altura del banc de proves sigui desproporcionada. L'extrem de sortida del colze, ens permet embocar directament un tub de diàmetre exterior 76 mm normalitzat amb gruix 1,5 mm (diàmetre interior de 73 mm), per poder prolongar el canal, tot segellant i evitant fugues mitjançant una junta tòrica de la que disposa el mateix colze de compra.

A continuació, es situarà l'escalfador de gasos, per tal d'augmentar la temperatura de l'aire abans d'arribar al generador. Aquest s'incorporarà al conjunt mitjançant un manigueta com el que es pot veure a la figura 26, que unirà l'extrem del tub que surt del colze, amb el conducte d'entrada de l'escalfador, incorporant el mateix sistema hermètic, a partir d'una junta a cada un dels seus extrems, per evitar fuites amb l'augment de la pressió..



Figura 26. Manigueta d'acer inoxidable amb junta tòrica ambdós extrems.

Amb la intenció de subjectar l'escalfador a una altura adequada per facilitar la continuïtat del circuit i assegurar la seva fixació, s'ha construït un suport amb un braç telescòpic que permet ajustar l'altura de l'escalfador i que romangui immòbil.

Finalment, a l'altre extrem de l'escalfador, per on surt l'aire una vegada ja s'ha escalfat per l'efecte de la resistència, es col·locarà senzillament un altre maniguet que permetrà unir el conjunt amb el generador termoelèctric. Aquest tindrà el seu corresponent suport, semblant a aquell on es troba subjectat l'escalfador, per aguantar el seu pes i poder portar a terme els assajos. Al document de plànols es representa un croquis més detallat de cadascun dels suports explicats anteriorment.

A la figura 27 es pot veure el croquis de totes les parts que formen el circuit del sistema d'assaig. El conjunt assemblet amb la totalitat dels seus elements es troba al document de plànols.

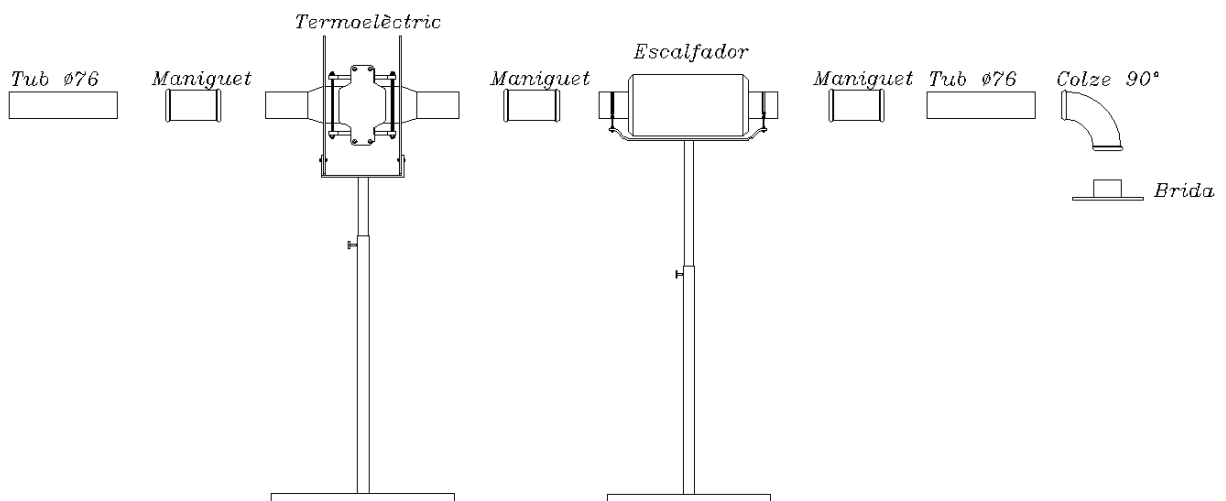


Figura 27. Croquis del conjunt d'elements del muntatge.

Es prolongarà el punt on l'aire surt de l'escalfador tot el que sigui necessari amb el sistema de maniguets esmentat anteriorment.

Al llarg de tot el muntatge el diàmetre entre les parts romandrà constant.

3. METODOLOGIA D'ASSAIG

3.1 Muntatge d'absorbidors en el generador termoelèctric

3.1.1 Introducció

El generador termoelèctric dissenyat ha de seguir un procediment de muntatge concret per tal de que aquest sigui totalment compacte. Prèviament, i tot hi que les parts més generals ja han estat esmentades, s'enumeraran tots els components els quals formen part del conjunt termoelèctric des de la part més interna, a la més externa.

- Absorbidor
- Làmina Ceràmica
- Dissipador
- Sistema refrigerant
- Brida termoelèctric
- Brida conjunt
- Control de temperatura
- Control de pressió
- Varettes roscades i cargols

Per tal de mostrar el muntatge dels absorbidors a assajar i un cop definides les parts anteriors, es procedeix a la numeració del procés de muntatge i a la descripció detallada de cada un dels elements que siguin necessaris contemplats a la llista amb el recolzament d'imatges reals del procediment.

Totes les soldadures han estat realitzades prèviament pel taller que ha fabricat les peces.

3.1.2 Muntatge pràctic del generador termoelèctric

La primera part del muntatge, recau sobre les brides que subjecten tots els elements interns del generador termoelèctric.

1- Un cop presentats tots els elements requerits per aquesta part de muntatge, es col·loquen les varetes roscades als seus forats corresponents per posicionar les brides, com es pot veure a la figura 28.



Figura 28. Brides del termoelèctric.

2- Sobre el dissipador, que es troba soldat a la brida, es col·locaran la lamina ceràmica, que substitueix al termoelèctric, i l'absorbidor a assajar, segons indica la figura 29. Donat que les peces han sigut prèviament modificades per facilitar el muntatge, aquestes ajustaran entre elles en la seva posició correcta.

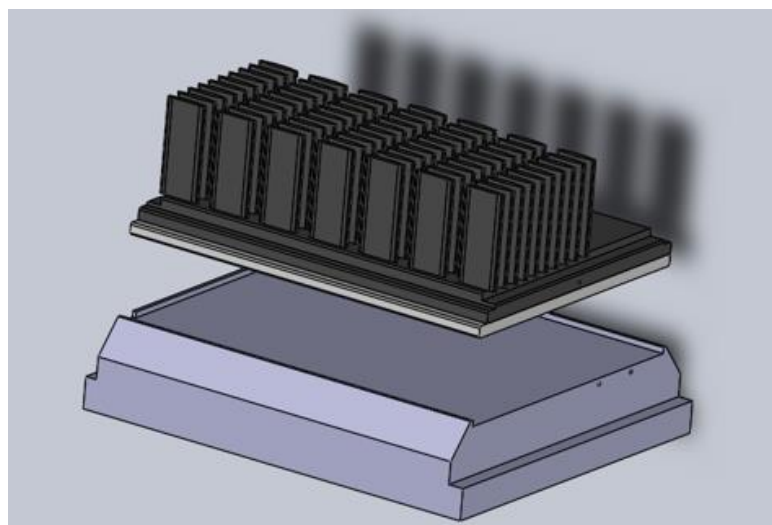


Figura 29. Superposició del conjunt absorbidor, termoelèctric i dissipador.

3- Un cop introduïts tots els elements a l'interior de les brides en la seva posició corresponent, i mitjançant les femelles i les volanderes corresponents, s'aniran unint els elements roscant proporcionalment les varetes per totes bandes, per tal que la pressió es reparteixi de manera equilibrada. S'haurà d'anar corregint lleugerament la posició dels absorbidors fins que la pressió exercida entre les brides faci que el conjunt romanguí fixa. Fins aquest punt és tal com s'indica a la figura 30.

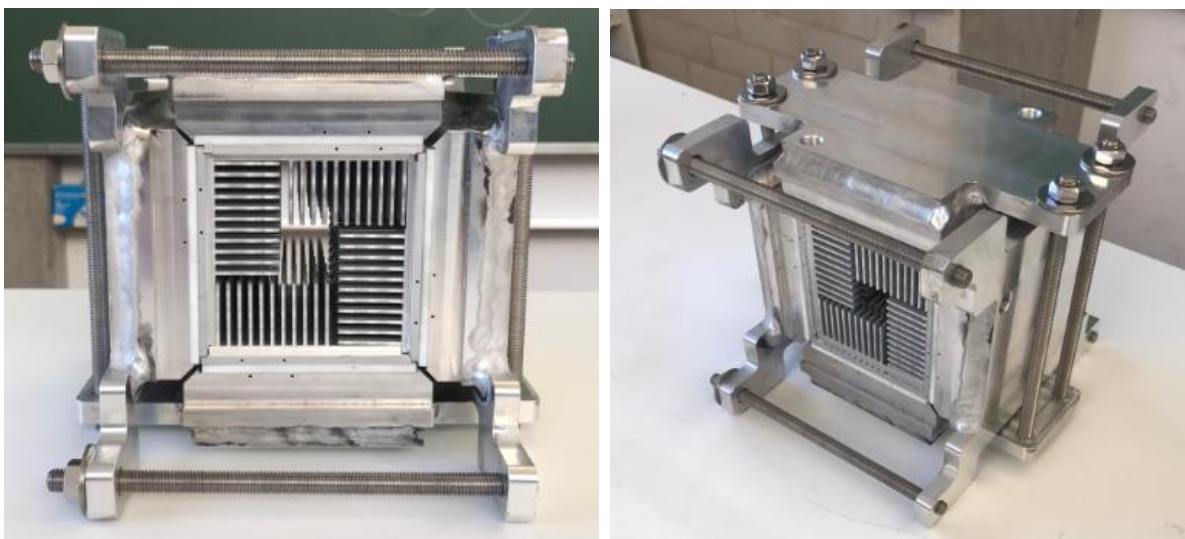


Figura 30. Assemblatge dels elements interns del termoelèctric

4- Es roscaran els 8 ràcords que formen part del sistema refrigerant amb tefló a la part roscada per assegurar l'estanquitat de la unió. Es poden identificar a la figura 31.

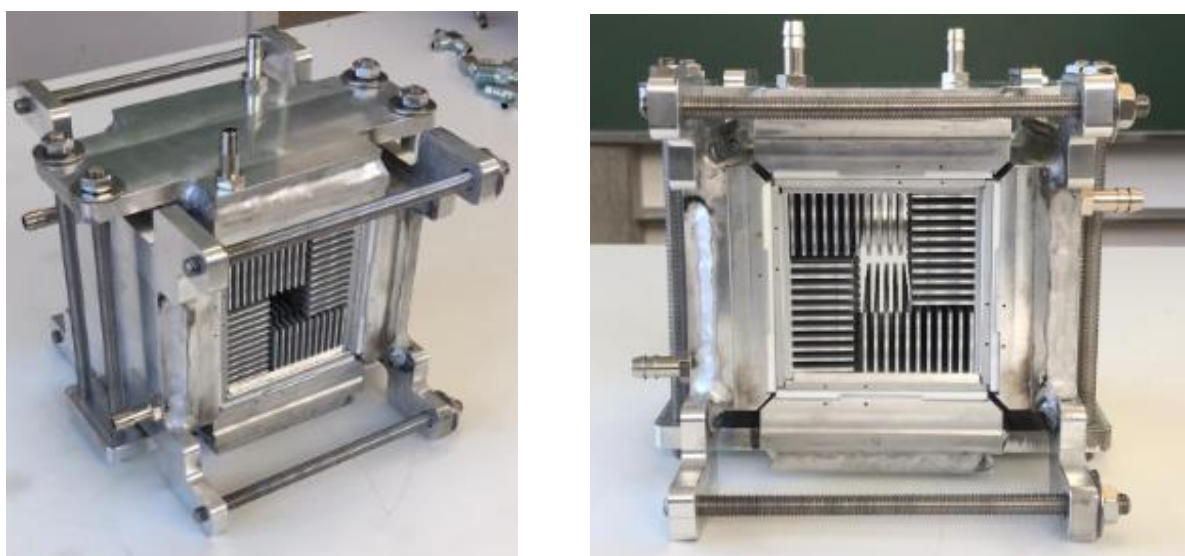


Figura 31. Assemblatge amb ràcords per les mànegues del Chiller.

5- Com les brides de subjecció del conjunt impediran l'accés als elements interns del generador, abans de continuar s'han d'instal·lar els 32 termoparells d'1mm de diàmetre per monitoritzar la temperatura dels dissipadors i absorbidors. Només caldrà anar introduint la punta del termoparells pels orificis corresponents fins que faci topall, tal i com es pot veure a la figura 32.

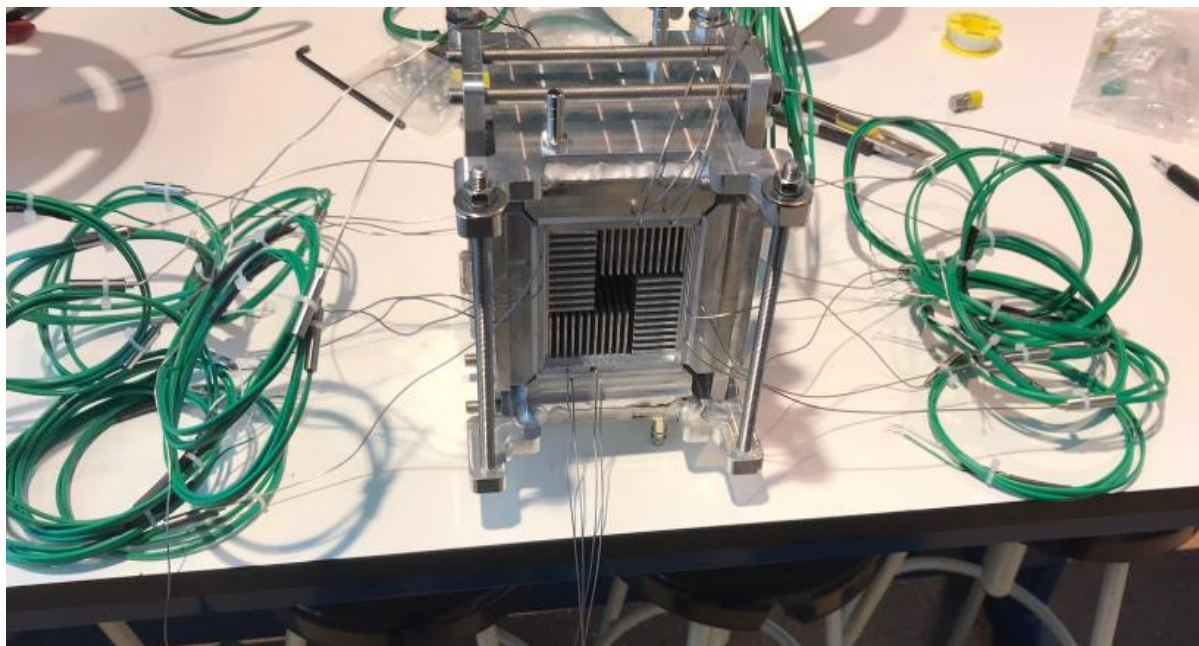


Figura 32. Termoparells instal·lats al conjunt.

Muntada aquesta part, només faltaria unir-la amb les dues brides de subjecció. Aquestes com s'ha comentat anteriorment, ja venen soldades del taller. Tot i així caldrà acabar d'instal·lar els sistemes de mesura de temperatura i pressió abans de posicionar-les definitivament.

6- Pel que fa als sensors de temperatura, s'introduiran els termoparells d'1,5 mm de diàmetre pels ràcords que es rosquen als casquets roscats soldats sobre el tub. La posició dels termoparells situats a banda i banda del termoelèctric serà una posició centrada per un d'ells i lateral per l'altre, respecte del tub per on passarà el flux.

7- El circuit de mesura de la de pressió es muntarà roscant prèviament les T en la seva posició i completant el circuit amb els trams de tub que les connecten entre elles. La figura 33 mostra la posició final de tots aquets elements.

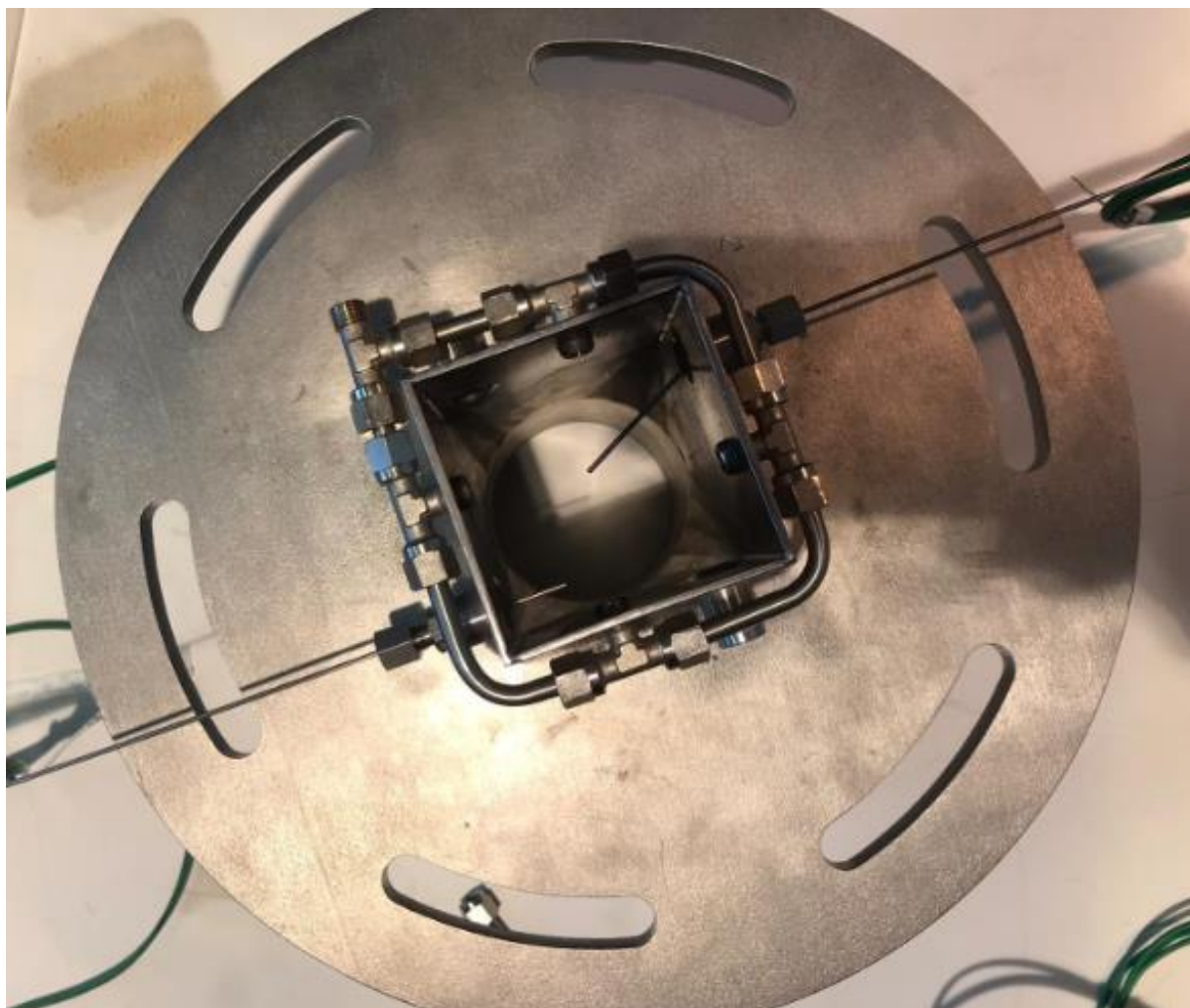


Figura 33. Instal·lació d'elements de control de temperatura i pressió.

8- Es posicionarà una de les brides en vertical sobre la taula, com la de la figura anterior, i es col·locarà el conjunt termoelèctric sobre la secció quadrada. Gràcies al seu disseny aquestes encaixaran entre elles en la posició correcta. De la mateixa manera, es col·locarà l'altra brida sobre el que ja tenim muntat. Només caldrà doncs unir ambdues brides amb les seves varetes roscades, volanderes i femelles respectivament. La pressió dels cargols s'aplicarà de manera homogènia en tots els punts perquè la unió sigui equilibrada. Quan el desplaçament de tots els elements sigui nul, ja serà suficient. El generador completament assemblet quedarà tal i com es pot veure a la figura 34.

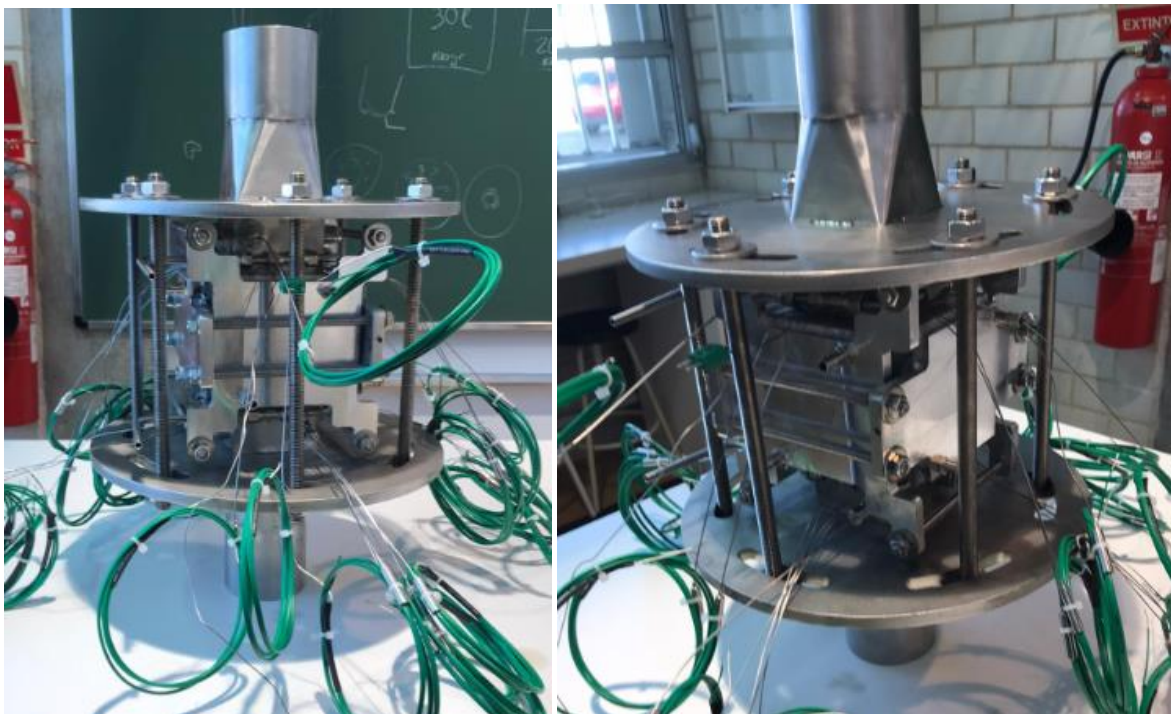


Figura 34. Assemblatge final del generador termoelèctric.

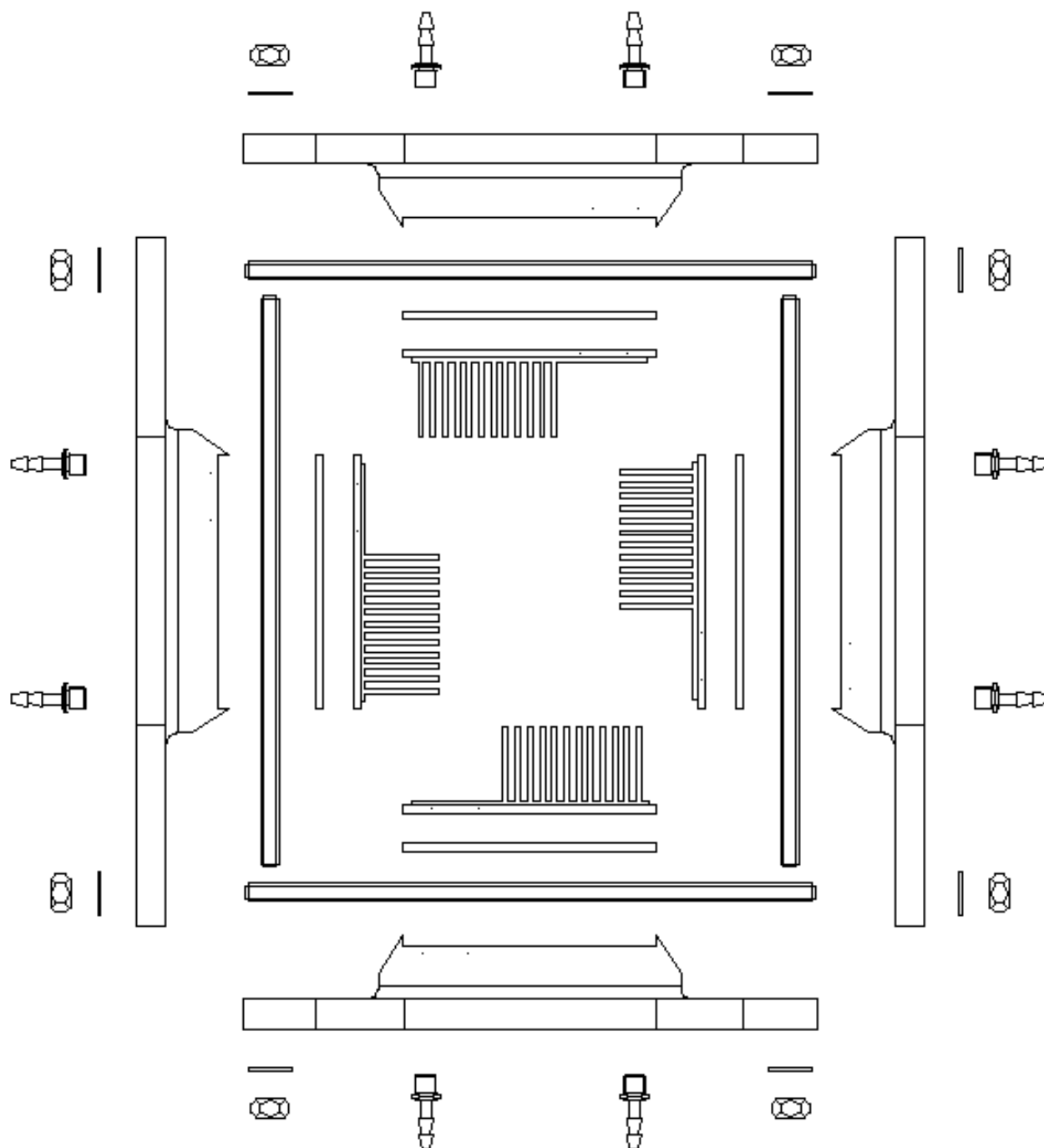
9- Finalment es col·locarà un últim tub al sistema de pressió de cada brida, com el de la figura 35, per prolongar la sortida i facilitar posteriorment la seva mesura.



Figura 35. Detall dels tubs units al circuit de pressió per facilitar l'obtenció de dades.

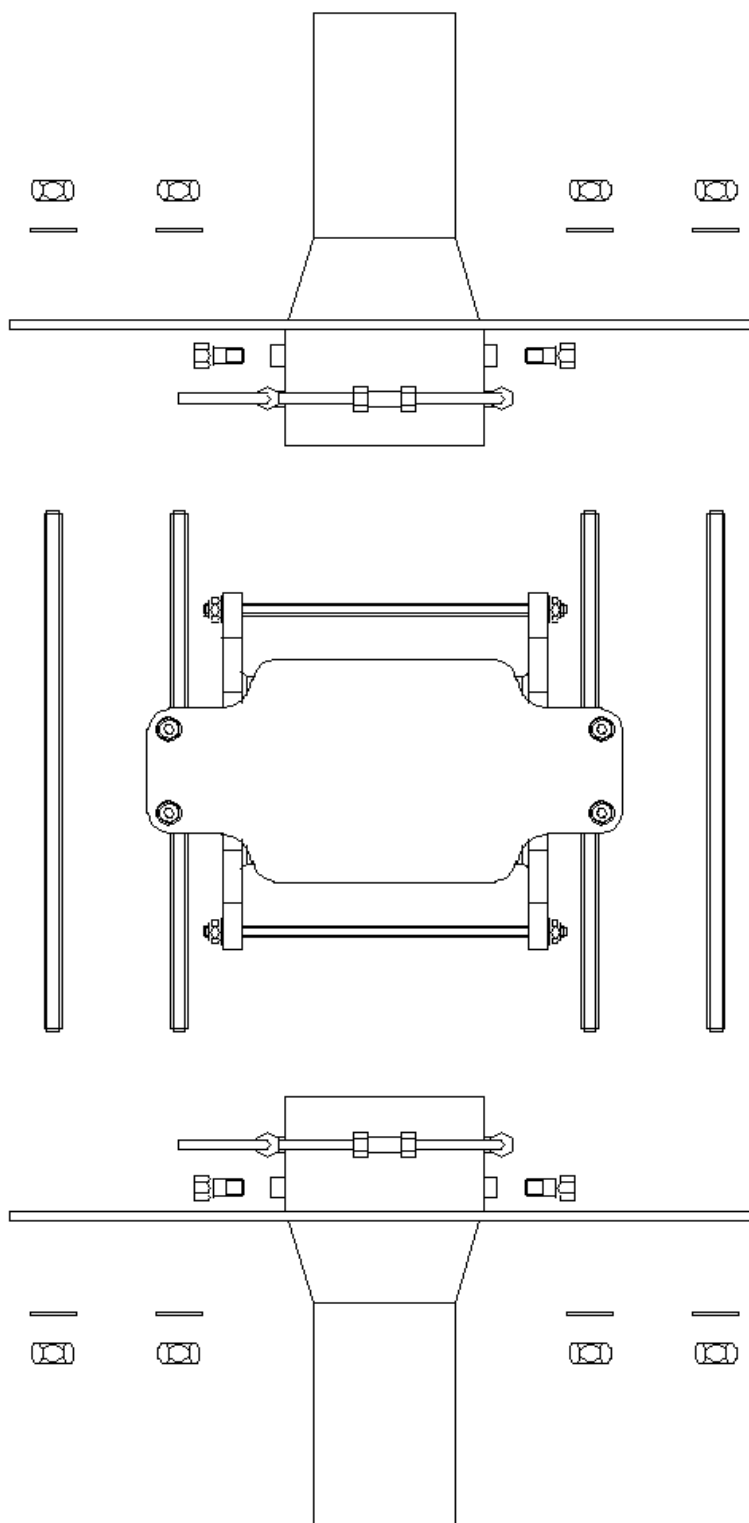
3.1.3 Croquis explosionat generador termoelèctric

Aquest és un croquis explosionat de la vista frontal del mòdul generador termoelèctric amb la totalitat de les seves peces, tal i com s'ha portat a terme el muntatge al taller.



3.1.4 Croquis explosionat conjunt termoelèctric

Un cop assemblet el mòdul generador termoelèctric, en aquest croquis es mostra una vista frontal de l'explosionat del sistema de subjecció i dels elements que el formen, tal i com s'ha realitzat al taller.



3.2 Assaig del generador termoelèctric

Un dels objectius principals d'aquest projecte és crear un banc de proves que permeti recrear les condicions d'un banc motor per tal d'assajar més endavant diferents tipus d'absorbidors de calor. Per tant, una vegada muntat el banc de proves, segons com es descriu a l'apartat 2.5 i a partir de tots els elements explicats en els apartats anterior, cal explicar el procés pel qual es portaran a terme els assajos i la seqüència correcta per obtenir les dades amb la major fidelitat.

Primer cal posar en marxa els sistemes d'adquisició de dades, tant el sistema de control de temperatura com el de pressió, i començar l'enregistrament de les lectures. Això es fa a partir del software LabView en el cas dels termoparells i de l'indicador portàtil CPH6300 en el cas dels sensors de pressió.

Un cop s'ha iniciat la recollida i registre de les dades es posarà en marxa el banc de flux al valor de consigna calculat (annex A; càlculs) 50,5 l/s (per exemple). Quan l'aire es trobi en circulació ja es pot posar en marxa l'escalfador amb el valor de consigna definit als càlculs (annex A) de 200°C (per exemple). L'escalfador regularà la seva potència de manera autònoma per assegurar aquest valor de consigna. L'enregistrament de dades continuarà fins que el cabal i la temperatura s'estabilitzin. La figura 36 representa de manera croquisada el banc de proves a ple funcionament.

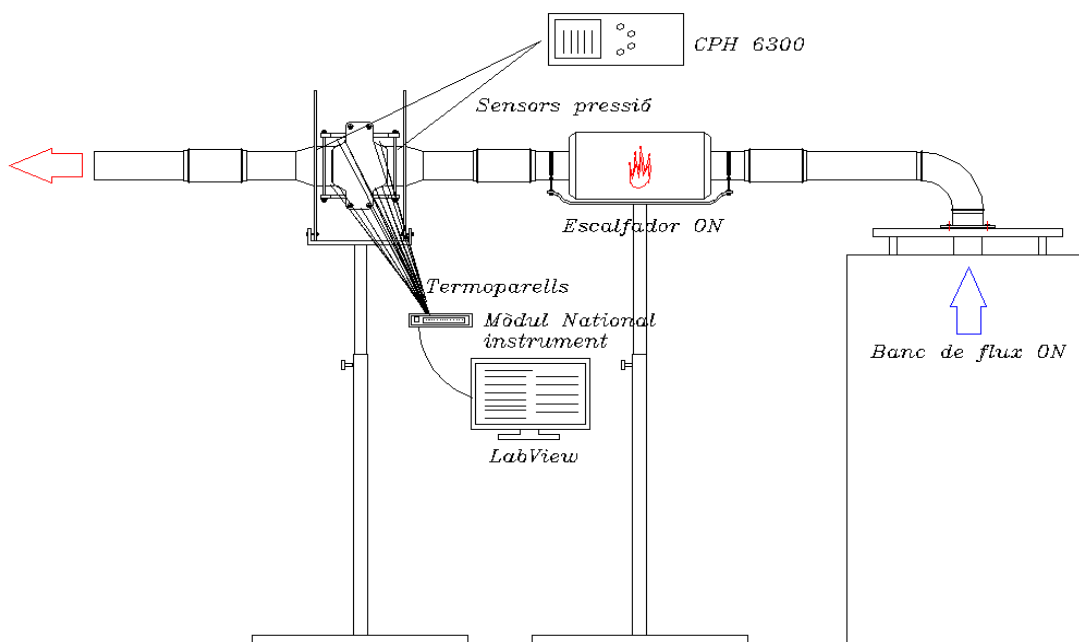


Figura 36. Croquis banc de proves en funcionament.

Quan els valors de cabal i temperatura romanguin constants es prolongarà aproximadament uns 5 minuts l'obtenció de dades. Passat aquest temps ja es pot aturar l'escalfador i deixar un parell de minuts que el corrent d'aire refredi la resistència i els components abans d'aturar el banc de flux. Un cop desconnectat el banc de flux s'aturarà l'enregistrament de tot el sistema i s'analitzaran les dades.

4. RESUM DEL PRESSUPOST

La construcció del dispositiu generador termoelèctric d'aquest projecte té un cost amb un 21% d'IVA de deu mil tres-cents vint-i-quatre euros amb cinquanta nou cèntims (10.324,59€).

El cost de realització d'aquest projecte és de sis mil euros (6.000€).

5. CONCLUSIONS

El generador termoelèctric dissenyat al projecte permet portar a terme assajos de diferents absorbidors (amb una prèvia modificació per tal de complir amb unes dimensions fixades) amb un sistema senzill, robust, sense ponts tèrmics i altament monitoritzat. Els resultats obtinguts del test dependran únicament de la distribució, la geometria i la densitat dels àleps, característiques pròpies i diferents de cada model d'absorbidor.

D'altra banda el banc de proves dissenyat permet portar a terme un sistema de test de manera més ràpida i menys laboriosa que al banc motor, garantint que les condicions d'assaig reproduiran condicions molt similars en termes de cabal, pressió i temperatura.

Tot i que l'anterior compleix els objectius proposats en aquest projecte, degut al COVID-19 no s'ha pogut realitzar un assaig de laboratori per avaluar el comportament del muntatge.

6. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Document I: Memòria

Document II: Plànols

Document III: Estat d'amidaments

Document IV: Pressupost

7. BIBLIOGRAFIA

BOLLATI, EDUARDO. Generadores termoeléctricos, generación de energía sin partes móviles. Servicio técnico autorizado de generadores Global Thermolectric. Abril 2007.

BRICOMART. Construccions i reformes. Catàleg de cargols i volanderes. 2020

<https://www.bricomart.es/ferreteria/varilla-roscada-tuercas-y-arandelas>

CONNOR, NICK. ¿Qué es el Número de Reynolds?. 2020-01-20.

<https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-numero-critico-de-reynolds-definicion/>

ENFRIADORES RECIRCULANTE DE LA SERIE THERMO SCIENTIFIC. Catàleg ThermoChill III. 2019.

<http://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/BRTCTHERMOCHILL-ES-1013-LR.pdf>

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR, UNIVERSITAT DE GIRONA. Departament d'enginyeria mecànica i construcció industrial. Conceptes de termodinàmica. 2016

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR, UNIVERSITAT DE GIRONA. Departament d'enginyeria mecànica i construcció industrial. Transmissió de calor, Tema 2. 2016

GEBERIT. Catàleg i tarifes de sistemes de subministres Geberit. Febrer 2019.

<https://achedosol.com/descargas/geberit/tarifa-geberit-2019.pdf>

ING. VALDEMAR MORATTO. Supervisor de instalaciones PMB. Funcionamiento y mantenimiento de un Chiller. 2017.

<https://ingenierovalemoratto.blogspot.com/2017/12/funcionamiento-y-mantenimiento-de-un.html>

MAHESH M. RATHORE, RAUL RAYMOND. Engineering Heat Transfer. Chapter 3, Steady-state conduction without heat generation. 2011.

MARTINEX, ISIDORO. Termodinámica básica y aplicada. Capítulo 12, Convección térmica y másica. 1992.

NATIONAL INSTRUMENT. Mòdul d'entrada de temperatures Serie C. 2020.

<https://www.ni.com/es-es/shop/select/c-series-temperature-input-module>

PLANETCALC. Aproximació de funcions amb anàlisis de regressió. 2019

<https://es.planetcalc.com/5992/#>

RANDRADE. Proveïdors industrials, professionals del metall. Catàleg de canonades. 2020.

<https://www.randrade.com/>

SAENZ. Catàleg banc de flux. 2016.

<http://www.saenzdynos.com.ar/flujo metros.php?lang=es&division=competicion>

SICONTROL S.L. Sistemas de Control Industrial. Catàleg d'accessoris per circuits de pressió. Barcelona. 2020

<http://www.sicontrol.com/>

TC SA. Mesura i control de temperatura. Termoparells tipus K. 2020.

<https://www.tc-sa.es/termopares/tipo-k-termopar.html>

WATLOW. Catàleg escalfador sistema ECO-HEAT. 2018.

<https://es.watlow.com/en/products/heaters/air-heaters/eco-heat-internal-load-bank>

WIKA. Indicador de pressió portàtil CHP6300. 2020.

https://www.wika.es/cph6300_es_es.WIKA

WIKA. Sensor de pressió portàtil CHT6200. 2020.

https://www.wika.es/cph6200_cpt6200_es_es.WIKA

WIKA. Torre de refrigeració per manòmetres per rosca Tipus 910.32. 2020.

https://www.wika.es/910_32_es_es.WIKA

ANNEXOS

ANNEX A: CÀLCULS

A.1 Càlcul de les condicions d'assaig

Per tal de portar a terme un model d'assaig amb aire amb la major proximitat a la realitat possible, cal conèixer els factors reals i definir llavors els paràmetres d'assaig.

És necessari registrar prèviament la temperatura real aproximada que assoleixen els fums en un tub d'escapament d'un motor de combustió interna i la seva velocitat, per tal de definir unes condicions que puguin ser assimilables quan es faci l'experiment amb aire.

GRAFEMA disposa d'una taula (taula 1) amb dades reals obtingudes per a un model de camió on es volen instal·lar generadors termoelèctrics i on es relaciona el cabal màssic de sortida dels gasos d'escapament \dot{m} gas i la temperatura a la qual s'emeten T_{out} .

Taula 1. Cabal de gasos i la seva temperatura en un assaig d'un camió

\dot{m} gas	T_{out}	\dot{m} gas	T_{out}	\dot{m} gas	T_{out}	\dot{m} gas	T_{out}
kg/h	°C	kg/h	°C	kg/h	°C	kg/h	°C
355,66	252	952,3	342	1002,06	312,3	974,96	278,1
347,2	242,1	1019,27	359,1	1071,21	333	1052,73	304,2
365,22	252,9	434,72	167,4	1155,6	358,2	1123,89	342,9
405,22	273,6	410,98	197,1	1232,11	385,2	1227,37	378
429,78	292,5	432,59	227,7	495,82	191,7	1400,03	391,5
499,1	306,9	484,83	254,7	517,43	204,3	1432,46	396,9
581,88	318,6	571,42	274,5	556,67	228,6	599,24	204,3
660,59	324	666,67	285,3	616,47	252,9	662,37	207
729,13	331,2	749,14	298,8	699,19	266,4	755,23	219,6
796,39	340,2	838,63	307,8	804,56	277,2	837,1	235,8
832,45	358,2	924,15	315,9	901,26	284,4	913,59	248,4
876,29	377,1	1012,68	320,4	985,01	293,4	1011,09	259,2
408,53	248,4	1064,78	342	1049,71	333	1106,49	275,4
391,94	242,1	1118,41	376,2	1146,64	368,1	1180,45	315

\dot{m} gas	T_out	\dot{m} gas	T_out	\dot{m} gas	T_out	\dot{m} gas	T_out
kg/h	°C	kg/h	°C	kg/h	°C	kg/h	°C
405,86	252,9	499,38	200,7	1258,39	378	1240,69	351,9
449,75	270,9	460,16	201,6	1356,74	387	1357,37	383,4
497,63	287,1	488	229,5	553,18	196,2	1494,25	401,4
682,34	306	628,23	270,9	645,38	223,2	764,49	192,6
746,22	316,8	733,9	282,6	743,07	238,5	863,08	209,7
829,89	324	828,65	292,5	820,65	256,5	925,84	227,7
902,34	327,6	917,61	302,4	898,92	267,3	1026,67	241,2

Per tal de facilitar la visualització de les dades, s'ha creat una gràfica (figura 37) on es mostra cada dada anotada a la taula anterior.

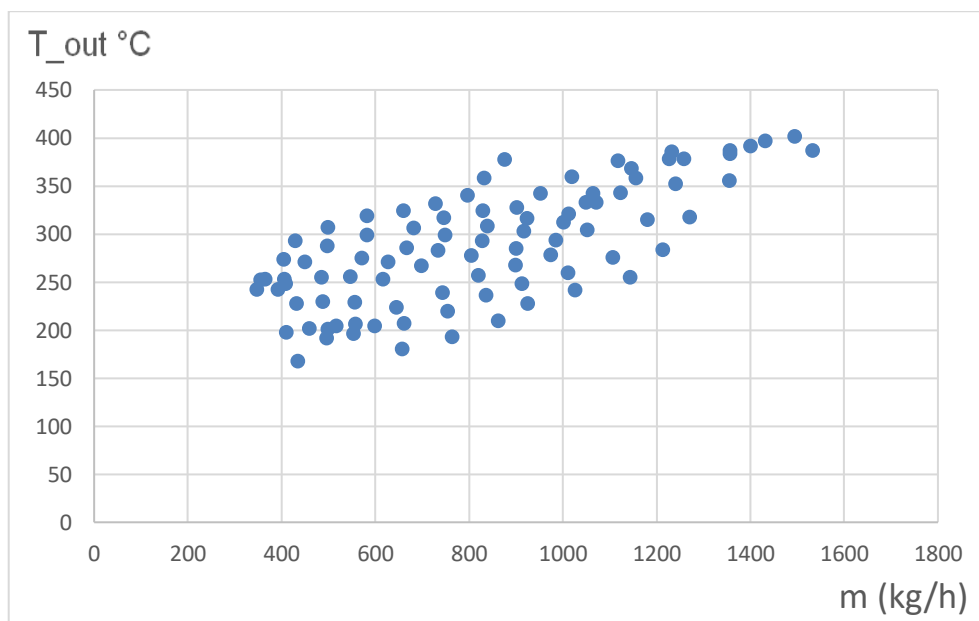


Figura 37. Temperatura dels gasos d'escapament en funció del cabal màssic per a un vehicle industrial.

Seleccionem, tot arrodonint les dades, 10 mostres de la relació que s'estableix entre el cabal i la temperatura de sortida, per tal de simplificar la valoració de dades a l'hora de trobar la velocitat dels gasos.

Els càlculs es centraran en els valors enregistrats amb temperatures inferiors, recollits a la taula 2, donat que es vol calcular quina seria la producció del termoelèctric que s'obtidria a

poca càrrega, i aquests seran els valors obtinguts quan el motor es troba a rpm baixes, propers a un règim de ralenti.

Taula 2. Relació de cabals i temperatures més baixes registrades amb valor absolut de les dades del camió.

\dot{m}(kg/h)	400	400	400	700	700	700	1000	1000	1000	1500
T (°C)	150	200	250	150	225	300	200	275	350	430

Dades:

- \dot{m} (kg/s), cabal màssic dels gasos.
- T (K), temperatura aire entrada al generador termoelèctric.
- D = 0.105 m, diàmetre tub entrada.
- $P_{ATM} = 1 \cdot 10^5$ Pa, pressió atmosfèrica.
- R = 287 J/K·kg, constant específica per a l'aire dels gasos ideals.

La densitat dels gasos es veu notablement afectada per la temperatura. La llei dels gasos ideals descriu la relació matemàtica entre les dues magnituds en funció de la pressió. Aquí s'aproximen els fums de combustió a les propietats de l'aire.

$$\rho = \frac{P_{ATM}}{R \cdot T}$$

(Eq. 1)

A partir de la densitat trobada anteriorment es calcularà el cabal volumètric per determinar llavors la velocitat dels gasos d'escapament.

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

(Eq. 2)

Finalment, conegut el diàmetre del tub i per tant calculada la seva secció, s'obté un valor de velocitat per cada mostra seleccionada, tal i com es detalla a la taula 3.

$$A = \pi r^2 = 0,00865\text{m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

(Eq. 3)

Taula 3. Velocitat dels gasos d'escapament en funció de la temperatura i del cabal màssic.

\dot{m}_{gas}	T°	ρ	\dot{m}_{gas}	\dot{Q}_{gas}	v_{gas}
(kg/h)	(°C)	(kg/m ³)	(kg/s)	(m ³ /s)	(m/s)
400	150	0,822	0,111	0,1352	15,61
400	200	0,735	0,111	0,1512	17,46
400	150	0,665	0,111	0,1671	19,3
700	200	0,822	0,194	0,2366	27,32
700	225	0,7868	0,194	0,2471	28,54
700	300	0,607	0,194	0,3203	36,99
1000	200	0,735	0,278	0,3779	43,65
1000	275	0,6345	0,278	0,4378	50,56
1000	350	0,558	0,278	0,4978	57,49
1500	430	0,45	0,417	0,9259	106,93

Com s'ha esmentat anteriorment, es centrarà l'atenció sobre els resultats de les mostres obtingudes amb una càrrega baixa amb un registre de temperatures inferiors. Per tant, els resultats obtinguts defineixen una velocitat aproximada dels gasos en el tub d'escapament entre **15 i 20 m/s**. Aquesta velocitat és important per poder conèixer la pèrdua de càrrega (o contrapressió) que proporciona el dissipador. Si la velocitat augmenta, per un augment de cabal, la pèrdua de càrrega serà major i, per tant, la contrapressió augmentarà i encara seria més desfavorable per al motor.

A.2 Càlcul de la potència de l'escalfador

Determinades les condicions d'assaig, cal dimensionar la potència de l'escalfador que s'encarregarà d'augmentar la temperatura de l'aire a la sortida del banc de flux per tal de que aquesta s'aproximi a la temperatura dels gasos d'escapament d'un vehicle.

Per poder definir la potència més adequada farem un model suposant 5 valors de potència diferents, de manera coherent i segons el que s'ofereix al mercat, respecte tres valors de cabal també orientatius, continguts dins del rang disponible del banc de flux.

P (kW)	12	10	8	6	4
$\dot{m}_{in\text{aire}}$ (kg/s)	0,04	0,06	0,08		

Dades:

- P (W), potència de l'escalfador P (W).
- \dot{m}_{in} (kg/s), cabal màssic de l'aire d'entrada.
- $T_{in} = 293,15$ K, temperatura aire entrada.
- $D = 0,073$ m, diàmetre tub entrada.
- $P_{ATM} = 1 \cdot 10^5$ Pa, pressió atmosfèrica.
- $R = 287$ J/K·kg, constant específica dels gasos ideals per a l'aire.
- Factor corrector transmissió de calor = 1.
- $C_p = 1,012$ J/K·kg, calor específic de aire a 100°C.

Un cop definides les dades i per tal de construir una taula on poder calcular i valorar les dades obtingudes s'ha de determinar en primer lloc, la densitat a la qual es troba l'aire que entra a l'escalfador. A partir de l'equació dels gasos ideals es relacionen la densitat i la temperatura del gas com ja s'ha fet anteriorment.

$$\rho = \frac{P_{ATM}}{R \cdot T}$$

(Eq. 1)

Donat que el cabal està definit en tres valors concrets i per tant és conegut, només cal calcular el cabal volumètric a partir de la densitat trobada anteriorment.

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

(Eq. 2)

Suposada una potència, per tal de determinar l'augment de temperatura de l'aire al pas de l'escalfador i considerant que el factor corrector de transmissió és 1, és a dir, que la quantitat de calor que es transmet des de les resistències a l'aire és total, l'augment de temperatura vindrà determinat per l'expressió següent.

$$\Delta T = T_{\text{out}} - T_{\text{in}} = \frac{P_{\text{ot}}}{\dot{m} \cdot C_p}$$

(Eq. 4)

Coneguda ja la temperatura final de l'aire un cop travessa l'escalfador la densitat de sortida, es pot calcular mitjançant la fórmula que relaciona la variació de densitat a partir del canvi de temperatura (es considera per tant que la pressió a la entrada i a la sortida és la mateixa).

$$\rho_{\text{out}} = \rho_{\text{in}} \cdot \frac{273'15 + T_{\text{in}}}{273'15 + T_{\text{out}}}$$

(Eq. 5)

Mitjançant les equacions definides anteriorment del càlcul del cabal, s'obtenen les condicions de sortida de l'escalfador a les quals es troba l'aire.

A partir del cabal i conegut el diàmetre del tub, es determina la velocitat de sortida de l'escalfador per cadascun dels casos considerats a la taula 4.

$$A = \pi r^2 = 0,004301 \text{m}^2$$

$$v = \frac{\dot{Q}}{A}$$

(Eq. 3)

Taula 4. Propietats de l'aire a la sortida de l'escalfador per a diferents condicions de cabal i potència tèrmica de les resistències de l'escalfador.

T_{in}	ρ_{in}	$\dot{m}_{in\text{ aire}}$	$\dot{Q}_{in\text{ aire}}$	P. escalfador	ΔT	$T_{out\text{ aire}}$	ρ_{out}	$\dot{Q}_{out\text{ aire}}$	Vel. sortida
(°C)	(kg/m ³)	(kg/s)	(m ³ /s)	(kW)	(°C)	(°C)	(kg/m ³)	(m ³ /s)	(m/s)
20	1,1886	0,04	0,03365	12	296,2	316,2	0,59	0,0677	15,73
20	1,1886	0,04	0,03365	10	246,8	266,8	0,65	0,0620	14,41
20	1,1886	0,04	0,03365	8	197,4	217,4	0,71	0,0563	13,09
20	1,1886	0,04	0,03365	6	148,1	168,1	0,79	0,0507	11,78
20	1,1886	0,04	0,03365	4	98,7	118,7	0,89	0,0450	10,46
20	1,1886	0,06	0,05048	12	197,4	217,4	0,71	0,0845	19,64
20	1,1886	0,06	0,05048	10	164,5	184,5	0,76	0,0788	18,32
20	1,1886	0,06	0,05048	8	131,6	151,6	0,82	0,0731	17,01
20	1,1886	0,06	0,05048	6	98,7	118,7	0,89	0,0675	15,69
20	1,1886	0,06	0,05048	4	65,8	85,8	0,97	0,0618	14,37
20	1,1886	0,08	0,06731	12	148,1	168,1	0,79	0,1013	23,55
20	1,1886	0,08	0,06731	10	123,4	143,4	0,84	0,0956	22,24
20	1,1886	0,08	0,06731	8	98,7	118,7	0,89	0,0900	20,92
20	1,1886	0,08	0,06731	6	74,0	94,0	0,95	0,0843	19,60
20	1,1886	0,08	0,06731	4	49,4	69,4	1,02	0,0786	18,28

Com es pot observar a la taula 4, els valors de potència per sota de 10 kW només donen temperatures elevades a l'aire quan el cabal és el més petit. Per cabals grans, la temperatura que assoliria l'aire no seria comparable a la dels fums en un sistema d'escapament. Per això l'escalfador escollit serà el de 12kW que és el que disposa actualment GREFEMA. Aquest permetrà adaptar-se més fàcilment a qualsevol cabal de funcionament en un rang de temperatures el més semblant al real.

A.3 Càlcul del punt de funcionament del banc de flux

Per portar a terme aquest model d'assaig al banc de flux, coneguda la temperatura real aproximada que assolixen els fums en un tub d'escapament i la velocitat, s'han de definir unes condicions concretes per realitzar el model amb aire i acabar d'ajustar les variables per obtenir un cabal de funcionament al banc de flux.

Seguint el procediment anterior i realitzant iteracions de cabals, s'escollirà el punt de funcionament, és a dir, el cabal de funcionament del banc de flux que reproduïx amb més fidelitat les condicions de treball al cas real.

Els cabals d'estudi seran valors al voltant del que es suposa que haurien de ser els equivalents als d'un motor de combustió. El cabal volumètric, la velocitat i la secció estan relacionades per l'expressió.

$$\dot{Q} = A \cdot v$$

(Eq. 3)

A més, fixant ara el valor de la potència de l'escalfador a 12 kW, amb les equacions de l'apartat A.2 (Eq. 1,2,4,5 i 3) es pot obtenir la velocitat i la temperatura a la sortida de l'escalfador per a diferents cabals d'entrada d'aire a temperatura ambient. Els cabals seran valors compresos entre els valors considerats anteriorment. Aquests resultats es recolliran a la taula 5.

Cabalmàssic → $\dot{m}_{in} \text{aire (kg/s)}$	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
---	------	------	------	------	------	------	-----

Taula 5. Dades de velocitat i temperatura de l'aire en funció del cabal de sortida del banc de flux.

T_{in}	ρ_{in}	$\dot{m}_{in} \text{aire}$	$\dot{Q}_{in} \text{aire}$	P. escalfador	ΔT	$T_{out} \text{aire}$	ρ_{out}	$\dot{Q}_{out} \text{aire}$	Vel. sortida
(°C)	(°C)	(kg/s)	(m ³ /s)	(kW)	(°C)	(°C)	(°C)	(m ³ /s)	(m/s)
20	1,1886	0,04	0,03365	12	296,2	316,2	0,59	0,0677	15,73
20	1,1886	0,05	0,04207	12	236,9	256,9	0,66	0,0761	17,69
20	1,1886	0,06	0,05048	12	197,4	217,4	0,71	0,0845	19,64

T_{in}	ρ_{in}	$\dot{m}_{in \text{ aire}}$	$\dot{Q}_{in \text{ aire}}$	P. escalfador	ΔT	$T_{out \text{ aire}}$	ρ_{out}	$\dot{Q}_{out \text{ aire}}$	Vel. sortida
(°C)	(°C)	(kg/s)	(m ³ /s)	(kW)	(°C)	(°C)	(°C)	(m ³ /s)	(m/s)
20	1,1886	0,07	0,05889	12	169,2	189,2	0,75	0,0929	21,60
20	1,1886	0,08	0,06731	12	148,1	168,1	0,79	0,1013	23,55
20	1,1886	0,09	0,07572	12	131,6	151,6	0,82	0,1097	25,51
20	1,1886	0,1	0,08413	12	118,5	138,5	0,85	0,1181	27,47

Tal i com s'ha explicat en el càlcul de les condicions d'assaig, els gasos d'escapament d'un vehicle en condicions reals es troben a una temperatura al voltant dels 200°C i a un valor de velocitat que està situat entre els 15 i 20 m/s. Per tant segons els resultats calculats a la taula 5 es pot definir que el cabal que més s'ajusta a la realitat i que permetrà doncs portar a terme una recreació del gasos d'escapament del camió, és el de 0,06 kg/s a temperatura ambient o el que és el mateix 50,5 l/s.

El banc de flux del que es disposa serà més que suficient per recrear les condicions reals de funcionament, donat que el cabal màxim que es capaç de proporcionar és d'aproximadament 283 l/s (annex B; descripcions tècniques) i el cabal necessari definit anteriorment és de 50,5 l/s (a temperatura ambient).

A.4 Càlcul de dimensionament del chiller

Per tal de poder instal·lar el Chiller més adient, s'haurà de calcular la potència calorífica que s'ha de dissipar per mantenir el conjunt termoelèctric refrigerat i determinar un Chiller amb la capacitat necessària per fer front a aquesta demanda.

És necessari, un cop coneguda la temperatura de l'aire calent que circula per l'interior del dispositiu, definir els materials per on es transmetrà el flux de calor fins al refrigerant que s'encarregarà de la refrigeració. A la figura 38 es resumeix la superposició de materials i es pot veure en una vista detall com serà la transmissió de temperatura des de l'aire fins al medi refrigerant.

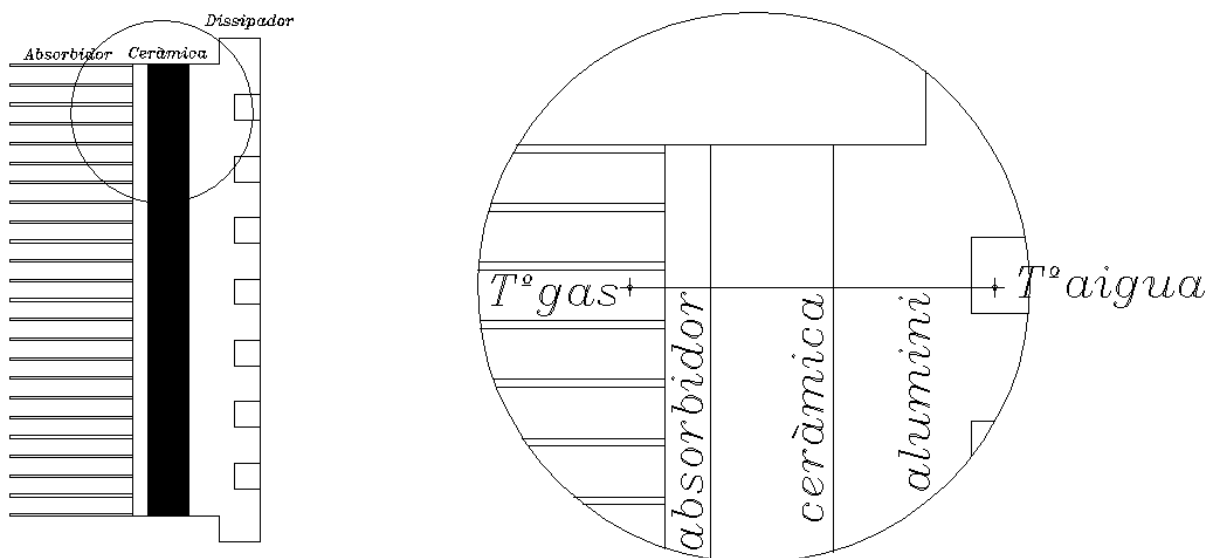


Figura 38. Croquis de la superposició d'elements des de l'aire calent fins al líquid refrigerant.

En aquest càlcul simplificat unidimensional, en un mateix material només es diferencien dos punts, als extrems del material, per calcular la transferència de calor per conducció. Cada material es considera homogeni i unidimensional, i exerceix una resistència tèrmica entre dos punts. El punt de transmissió partint des del gas es considerarà el costat calent i l'altre extrem el fred. Tot això es representa al croquis de la figura 39.

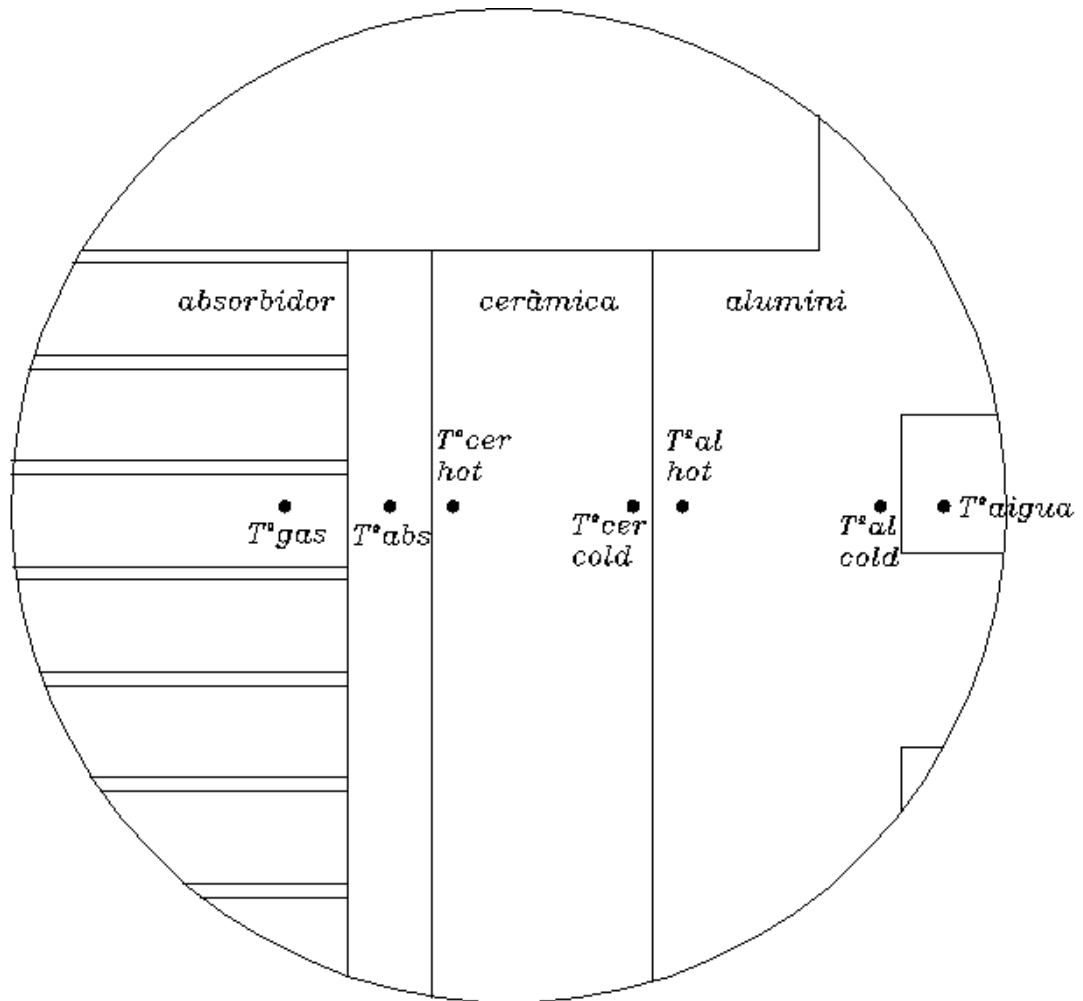


Figura 39. Croquis dels punts de cada medi a considerar en la transmissió de calor.

L'expressió per calcular la quantitat de calor que es transmet a través del medi relaciona la temperatura d'entrada dels gasos al generador i de sortida del líquid de refrigeració considerant la resistència tèrmica pròpia del material.

$$Q = \frac{T_0 - T_f}{\sum R_c}$$

(Eq.6)

Aquesta resistència R_c es pot donar de tres maneres en aquest cas; per conducció R_{CD} si es relacionen dos punts del mateix cos, per convecció R_{CV} si hi intervé un medi fluid, com en podria ser sòlid-gas, i per contacte R_{CT} , que seria el cas de dos cossos sòlids diferents que es trobin en contacte directe.

A la figura 40 es representa com quedaria resumida la relació entre temperatures i resistències tèrmiques des de l'aire calent fins al líquid refrigerant (aquí considerat aigua).

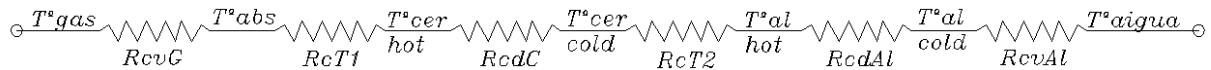


Figura 40. Croquis de la relació entre punts a considerar i resistències del medi conductor.

A continuació es defineixen les equacions que expressen la quantitat de calor (W) que es transmet a cada tram.

$$Q = \frac{T_{GAS} - T_{ABS}}{R_{CVG}}; Q = \frac{T_{ABS} - T_{CH}}{R_{CT1}}; Q = \frac{T_{CH} - T_{CC}}{R_{CDC}}; Q = \frac{T_{CC} - T_{AH}}{R_{CT2}}; Q = \frac{T_{AH} - T_{AC}}{R_{CDAL}}; Q = \frac{T_{AC} - T_{AIGUA}}{R_{CVAL}}$$

Per això la quantitat d'energia en forma de calor que es transmet des del gas a l'aigua, es pot obtenir, també, de la suma de tots els trams.

$$Q = \frac{T_{GAS} - T_{AIGUA}}{R_{CVG} + R_{CT1} + R_{CDC} + R_{CT2} + R_{CDAL} + R_{CVAL}}$$

(Eq. 7)

Les temperatures d'entrada de l'aire calent i l'entrada de fluid refrigerant són conegudes, donat que s'ha determinat que la temperatura de l'aire serà de uns 200°C i la temperatura de l'aigua serà igual a la temperatura ambient a uns 20°C. Per tant només s'ha de calcular la resistència tèrmica en cada tram per saber el flux de calor.

A continuació totes les dades que fan referència a mesures, s'obtenen dels plànols.

- Resistència per conducció

$$R_{CDC} = \frac{b_{cer}}{K_{cer} \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1,4 \cdot (0,08 \cdot 0,1)} = 0,268 \frac{K}{W}$$

$$R_{CDAL} = \frac{b_{al}}{K_{al} \cdot A} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{209 \cdot (0,08 \cdot 0,1)} = 0,0044 \frac{K}{W}$$

(Eq. 8)

on:

- b és l'espessor que s'ha de travessar.
- A és l'àrea de la superfície del cos.
- K és la conductivitat tèrmica pròpia del material [W/m·K].

- Resistència per contacte

$$R_{CT1} = R_{CT2} = h \cdot \frac{1}{A} = 10^{-4} \cdot \frac{1}{0,08 \cdot 0,1} = 0,0125 \frac{K}{W}$$

(Eq. 9)

on:

- A és l'àrea de la superfície del cos [m²].
- h és el coeficient de resistència per contacte per unitat d'àrea [m²K/W].

- Resistència per convecció

R_{CVG} = si consultem la taula dels absorbidors que trobarem als annexos, proporcionada pel fabricant, es pot definir que, per una velocitat del gas de 20 m/s la resistència tèrmica serà de 0,2 K/W.

Pel cas del dissipador, s'utilitzarà la fórmula següent:

$$\frac{1}{R_{CVAl}} = h \cdot A = \frac{K_{H2O}}{D} \cdot Nu \cdot (2\pi r \cdot l) = \frac{0,58}{0,006} \cdot 183,13 \cdot (2\pi \cdot 0,003 \cdot 0,723) = 241,26 \frac{W}{K}$$

(Eq. 10)

on:

- A és l'àrea de la superfície de contacte entre el serpentí gravat a l'alumini i l'aigua que hi circula.
- D és el diàmetre de la secció.
- K és la conductivitat tèrmica pròpia de l'aigua [W/m·K].
- Nu és el numero de Nusselt que es calcula a partir de l'expressió següent.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr = 0,023 \cdot 6000^{0,8} \cdot 7,56 = 183,13$$

(Eq. 11)

on:

- Pr és el número Prandtl de l'aire que varia segons el flux amb el que es treballa i s'agafa com a valor mitjà per l'aigua 7,56.
- Re és el numero de Reynolds que es calcula a partir de l'expressió següent.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1 \cdot 0,006}{10^{-6}} = 6000$$

(Eq. 12)

on:

- v és la velocitat del fluid, que es suposarà pròxima a 1 m/s.
- D és el diàmetre de la secció per la qual passa el fluid.
- ν és la viscositat cinemàtica pròpia del fluid, en el cas d l'aigua a uns 20°C és de 10^{-6} m²/s.

Conegudes totes les resistències tèrmiques, s'utilitza l'expressió que permet calcular la quantitat de calor transferida des de l'aire fins l'aigua per tal de determinar l'energia que haurà de dissipar el Chiller.

$$Q = \frac{200 - 20}{0,2 + 0,0125 + 0,268 + 0,0125 + 0,0044 + \frac{1}{241,26}} = 360W$$

(Eq. 7)

El valor obtingut només contempla la refrigeració d'una de les cares de termoelèctric, per tal de tenir en compte tot el conjunt i donat que l'absorció de calor es porta a terme en les quatre cares, la quantitat d'energia real que es transmetrà a l'aigua s'obtindrà de multiplicar per quatre la calor obtinguda anteriorment.

$$Q_{TOTAL} = 4 \cdot Q = 1440 W$$

Un cop l'energia en forma de calor que s'ha de dissipar és coneguda, cal a partir de les característiques que ens facilita el fabricant, escollir un Chiller capaç d'assolir aquestes necessitats. En aquest cas, el model ThermoChill III detallat a l'annex B és l'adequat.

A.5 Càlcul de pèrdues de càrrega del termoelèctric

El càlcul de pèrdues de càrrega al termoelèctric recaurà en l'estudi de la caiguda de pressió dels absorbidors, ja que són l'únic obstacle al flux d'aire. Aquesta caiguda de pressió ve representada en una gràfica de característiques que ens facilita el fabricant.

Donat que es disposa de dos models d'absorbidor diferents per assajar, a continuació es mostren ambdós gràfiques (figura 41 i figura 42) i es calcula la seva corresponent caiguda de pressió.

- ALPHA_UB100-30B

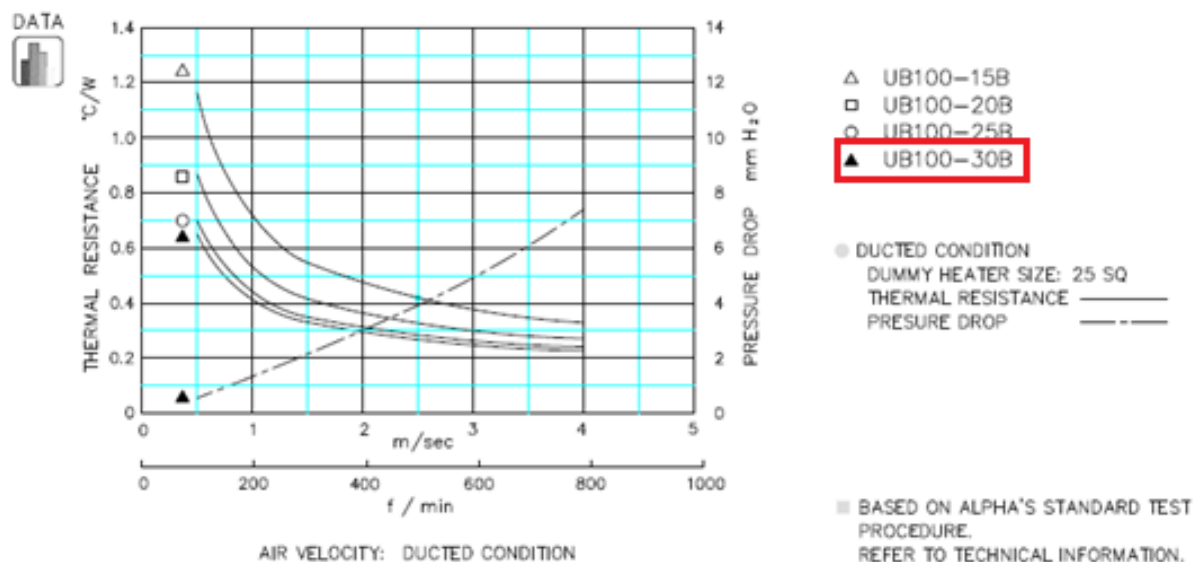
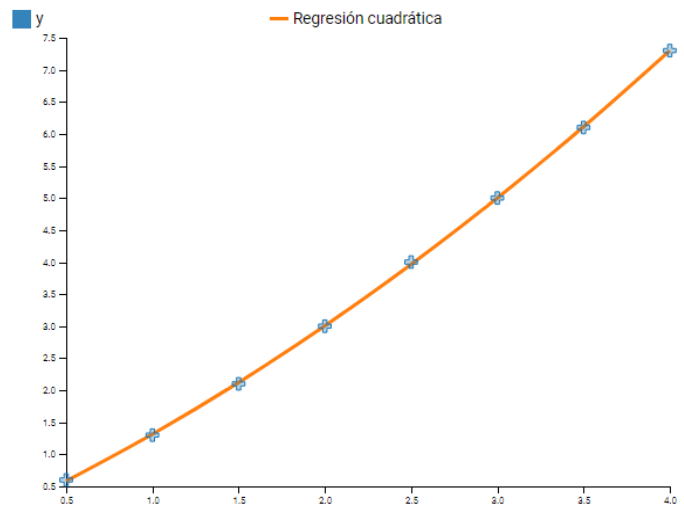


Figura 41. Gràfica de característiques de l'absorbidor UB100-30B proporcionada pel fabricant.

Aproximem la velocitat de l'aire que passarà per l'absorbidor a uns 20m/s. Aquest valor és un valor sobreestimat ja que, com s'ha vist en el muntatge del generador termoelèctric, hi ha una part interior buida (no ocupada per aletes) que farà que una part del cabal hi circuli pel seu interior,

Aquesta velocitat de 20 m/s no es contempla a la gràfica, a partir dels valors que si tenim i mitjançant una regressió quadràtica s'obté el valor corresponent de pressió.

Velocitat (m/s)	mmH2O
0,5	0,6
1	1,3
1,5	2,1
2	3
2,5	4
3	5
3,5	6,1
4	7,3



$$y(x) = 0,1524x^2 + 1,2333x - 0,0714$$

Aplicant l'equació de la corba trobada a partir de la regressió quadràtica i substituint el valor de la variable de la velocitat s'obté la pressió.

$$y(20) = 85,5546 \text{ mmH2O} \cdot 9,8 = 838.435 \text{ Pa}$$

- ALPHA_W100-30W

La corba característica de la pressió del model 30W s'aproxima molt a la del model 35W, donat que el fabricant ens disposa només de la d'aquest segon model, s'estudiarà la caiguda de pressió teòrica a partir de les dades de les que disposem.

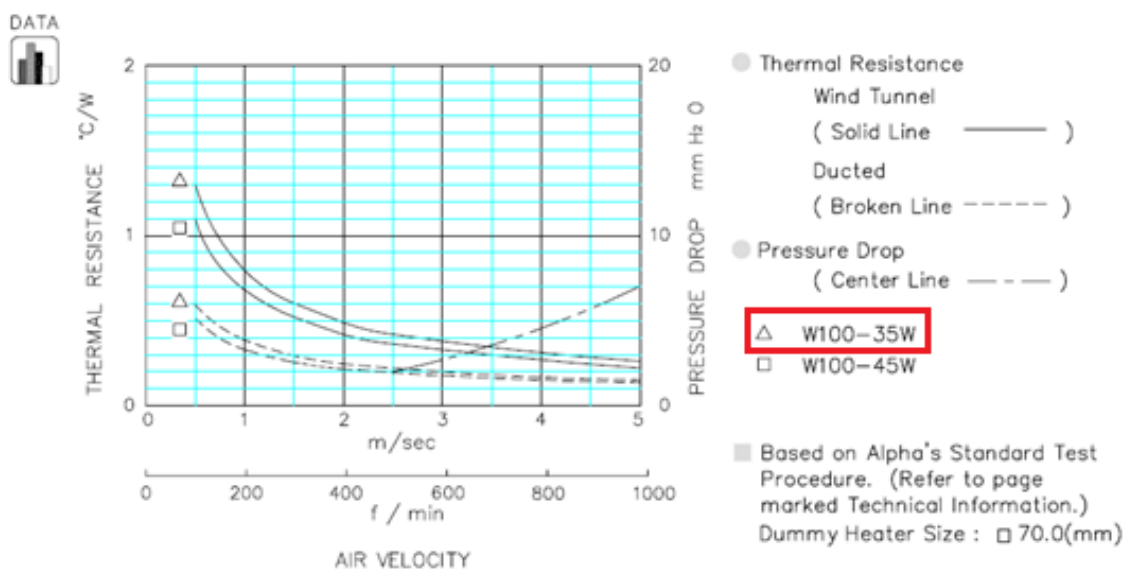
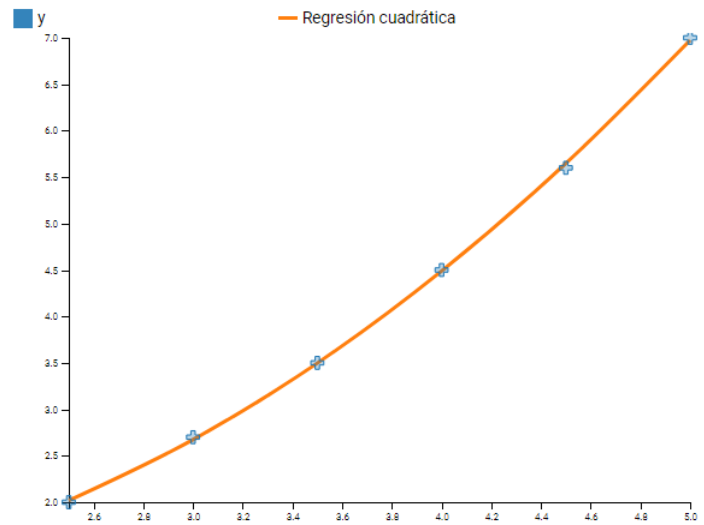


Figura 42. Gràfica de característiques de l'absorbidor W100-30W proporcionada pel fabricant.

Igual que s'ha calculat al cas anterior, s'obté la pressió corresponent a 20 m/s mitjançant una regressió.

Velocitat (m/s)	mmH2O
2,5	2
3	2,7
3,5	3,5
4	4,5
4,5	5,6
5	7



$$y(x) = 0,3357x^2 - 0,535x + 1,2571$$

Aplicant l'equació de la corba trobada a partir de la regressió quadràtica i substituint el valor de la variable de la velocitat s'obté la pressió.

$$y(20) = 124,8371 \text{ mmH}_2\text{O} \cdot 9,8 = 1223,403 \text{ Pa}$$

* No es multiplica per 4 perquè els absorbidors estan en paral·lel i la pèrdua de càrrega de diversos elements en paral·lel és igual a la pèrdua de càrrega d'un únic element.

ANNEX B: DESCRIPCIONS TÈCNIQUES

B1. Banc de flux

El banc de flux del que disposa GREFEMA, és un fluxòmetre de la gama de productes de l'empresa Saenz. Dissenyat per exercir treballs industrials, amb una intenció clara d'aplicació a motors tèrmics, estan calibrats sota les normes ASME MFC-3M-2007. Permeten entre d'altres, mesurar i controlar el flux a diferents pressions de treball en qualsevol conducte tant a nivell d'impulsió com d'aspiració.

El fabricant ofereix quatre models diferents segons la demanda de caudal requerida, el model del que disposem és el J-600. A la taula següent (figura 43) facilitada pel fabricant és detallen les característiques més generals.

La columna marcada en vermell fa referència a les dades del model disponible.

Flujómetro	J-150	J-400	J-600	J-1000
Capacidad	150 cfm @ 28" de agua	400 cfm @ 28" de agua	600 cfm @ 28" de agua	1000 cfm @ 28" de agua
Dimensiones	52 x 60 x 50 cm	90 x 80 x 75 cm	90 x 70 x 100 cm	110 x 90 x 110 cm
Peso	70kg	125kg	180kg	240kg
Alimentación	220/240 VAC, monofásico 50/60 Hz	240/380 VAC, trifásico 50/60 Hz	240/380 VAC, trifásico 50/60 Hz	240/380 VAC, trifásico 50/60 Hz
Consumo máx	10 Amp	10 Amp por fase	15 Amp por fase	25 Amp por fase
Dirección de flujo	Admisión y escape	Admisión y escape	Admisión y escape	Admisión y escape

Figura 43. Taula de dades tècniques generals del model banc de flux del que es disposa.

Segons les dades de la taula anterior, la capacitat màxima de funcionament del banc de flux és de 600 cfm, el que en unitats del sistema internacional seria aproximadament un caudal de 283 l/s. Per tant, conegudes les necessitats del projecte, aquest model garanteix cobrir-les.

La especificacions pròpies sobre el software de mesurar de dades venen definides al manual d'usuari proporcionat pel fabricant i distribuïdor.

B2. Escalfador

L'escalfador del que disposa GREFEMA forma part de la gama de productes d'escalfadors d'aire de l'empresa Watlow. On originalment, aquest producte està desenvolupat per escalfar els gasos d'escapament de vehicles dièsel, donat que en condicions on aquests gasos són massa freds comprometen el rendiment del sistema de reducció d'emissions contaminants.

El sistema ECO-HEAT, del qual està dotat aquest escalfador permet escalfar l'aire a partir d'una font elèctrica per tal d'entregar al seu extrem de sortida el gas a la temperatura desitjada.

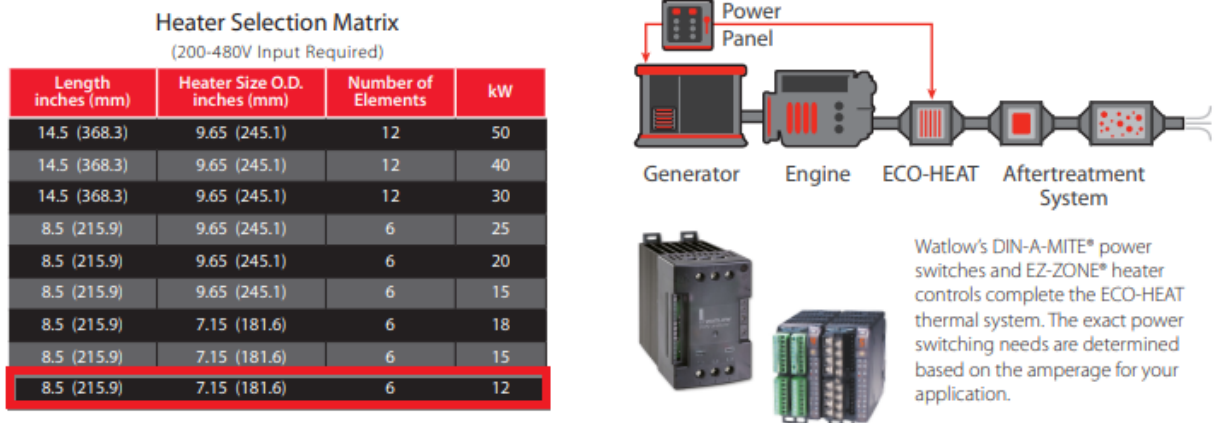


Figura 44. Fitxa tècnica general dels models d'escalfador de la marca Watlow.

Segons la fitxa tècnica la qual ofereix la seva pagina web i distribuïdor oficial Watlow, tal com podem veure a la figura 44, i donades les necessitats del projecte, l'escalfador de menor potència, el de 12 kW, del qual disposa GREFEMA permet cobrir totes les necessitats per garantir les condicions requerides al sistema d'assaig.

La especificacions pròpies sobre la instal·lació, la posta en marxa i les precaucions venen definides al manual d'usuari proporcionat pel fabricant i distribuïdor.

B3. Chiller

Un sistema Chiller de refrigeració d'aigua, s'encarregarà d'assegurar l'extracció de calor a través dels dissipadors. Aquest és un refrigerador de líquid, que mitjançant l'intercanvi tèrmic en un circuit tancat refreda l'aigua. El sistema de funcionament d'aquesta unitat és el següent:

L'aigua que es requereix refredar circula a través d'un bescanviador. Aquest flux d'aigua perdrà calor a l'ambient per l'efecte del refredament que pateix en contacte amb l'evaporador del flux del líquid refrigerant. El refrigerant, en rebre part d'aquesta calor, es manté completament en fase vapor i a una baixa pressió. El refrigerant és extret pel compressor, el qual l'envia comprimit cap al condensador. En aquest procés, el refrigerant s'escalfa per l'efecte de la compressió. El gas calent del compressor entra al condensador, on la seva calor és transmesa a un mitjà refrigerant, que bé pot ser aigua o aire. La calor extreta provoca que el refrigerant es condensi a alta pressió. El refrigerant en estat líquid a alta pressió s'envia directament a la vàlvula d'expansió per així reiniciar el cicle. A la figura 45 es representa de manera esquemàtica tot el que s'ha explicat anteriorment.

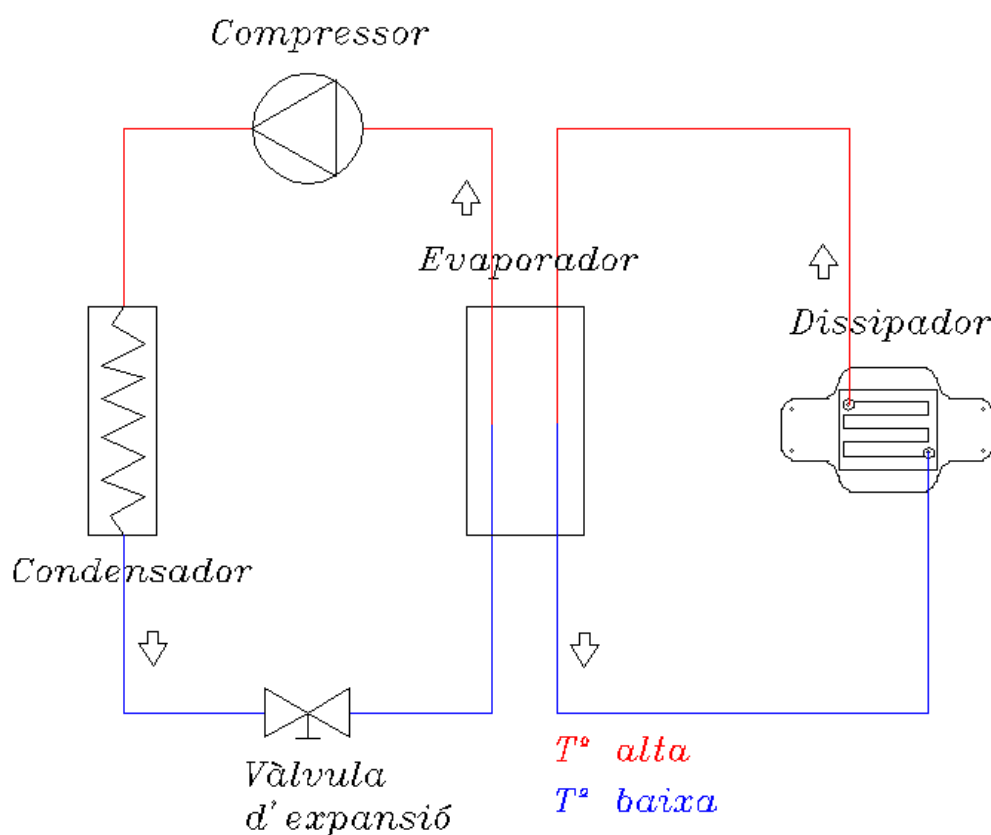


Figura 45. Esquema del circuit de funcionament d'un Chiller.

Conegudes les necessitats d'extracció de calor, i a partir de la fitxa tècnica facilitada pel fabricant (figura 46) de sistemes de refrigeració tipus Chiller, Thermo Scientific, s'ha escollit el model més adient.

Especificaciones

	ThermoChill I	ThermoChill II	ThermoChill III
Intervalo de temperatura del valor de referencia estándar	De 5 °C a 30 °C (de 41 °F a 86 °F)		
Intervalo de temperatura del valor de referencia de intervalo bajo	De - 10 °C a 30 °C (de - 40 °F a 86 °F)		
Valores a temperatura ambiente	De 10 °C a 35 °C (de 50 °F a 95 °F)		
Estabilidad de la temperatura	± 0,1 °C		± 0,5 °C
Capacidad de enfriamiento del valor de referencia 20 °C			
60 Hz	700 W/2391 BTU	1000 W/3415 BTU	2000 W/6830 BTU
50 Hz	600 W/2049 BTU	900 W/3074 BTU	1900 W/6489 BTU
Volumen del depósito	9,5 litros (2,5 galones)		19 litros (5 galones)
Refrigerante	R134A		
Dimensiones físicas (Al. x An. x Prof.)	62 x 36,1 x 59,9 cm (24,4 x 14,2 x 23,6 pulg)		72,6 x 43,9 x 59,9 cm (28,6 x 17,3 x 23,6 pulg)
Bomba de desplazamiento positivo (PD-1)			
60 Hz	5,3 lpm a 4,1 bar (1,4 gpm a 60 psid)		
50 Hz	4,5 lpm a 4,1 bar (1,2 gpm a 60 psid)		
Bomba de desplazamiento positivo (PD-2)			
60 Hz	—	13,6 lpm a 4,1 bar (3,6 gpm a 60 psid)	
50 Hz	—	9,4 lpm a 4,1 bar (2,5 gpm a 60 psid)	
Bomba centrífuga (MD)'			
60 Hz	—	7,6 lpm a 0,7 bar (2,0 gpm a 10 psid)	—
50 Hz	—	7,6 lpm a 0,7 bar (2,0 gpm a 10 psid)	—
Bomba centrífuga (MD-30)²			
60 Hz	—	7,6 lpm a 0,4 bar (2,0 gpm a 6 psid)	—
50 Hz	—	7,6 lpm a 0,3 bar (2,0 gpm a 4,2 psid)	—
Peso	40,8 kg (90 lb)		72,6 kg (160 lb)
Opciones de voltaje			
115 V, 60 Hz y 100 V, 50 Hz	Disponible	Disponible	—
208-230 V, 60 Hz y 200 V, 50 Hz	—	—	Disponible
230 V, 50 Hz	Disponible		

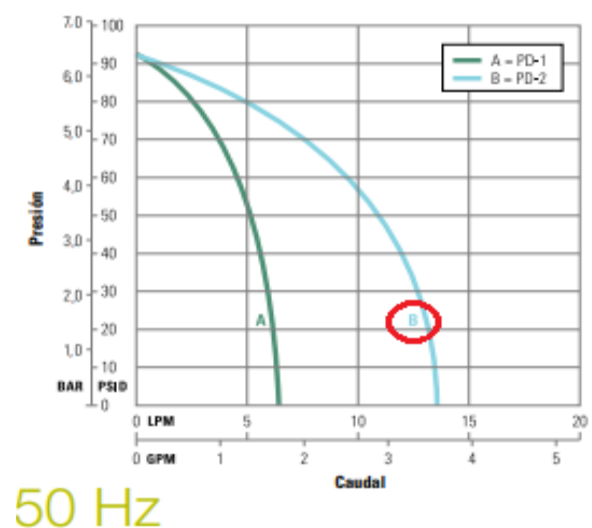
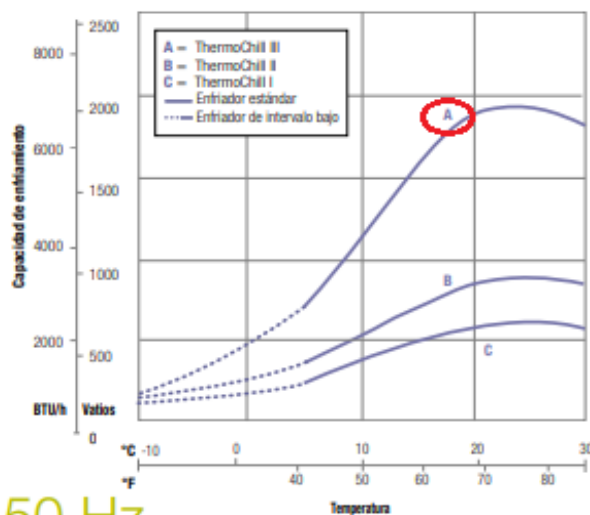


Figura 46. Dades tècniques del Chiller seleccionat.

Tal i com s'indica a la fitxa tècnica i a les gràfiques de potència i pressió de bombeig de figura 46, el model escollit serà el ThermoChill III que garanteix una capacitat de refredament 1900W, amb un sistema de bombeig de desplaçament positiu PD-2.

Per tal de bombejar l'aigua a través de tot el circuit refrigerant, el Chiller anirà equipat amb aquest sistema de bombeig capaç d'assolir una gran demanda de cabal i pressió suficient com per vèncer les pèrdues de carrega associades a la circulació de l'aigua pel dissipador i els tubs

B.4 Ràcords i accessoris de refrigeració

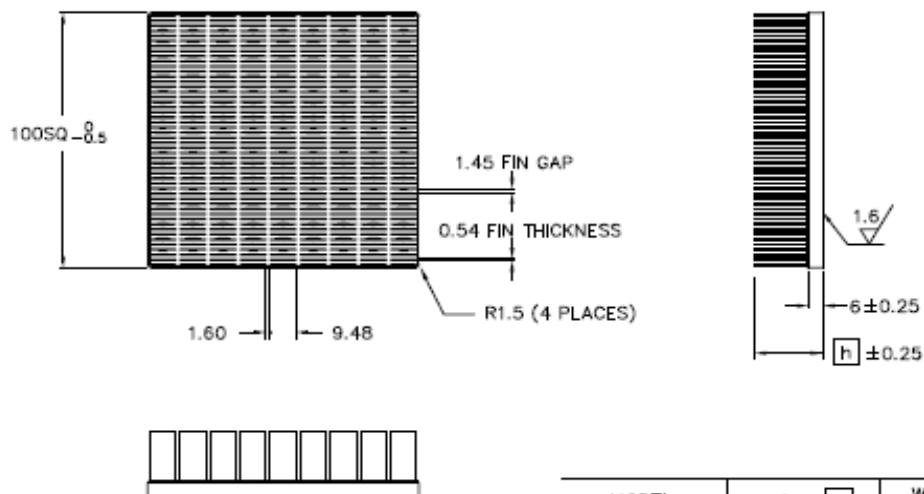
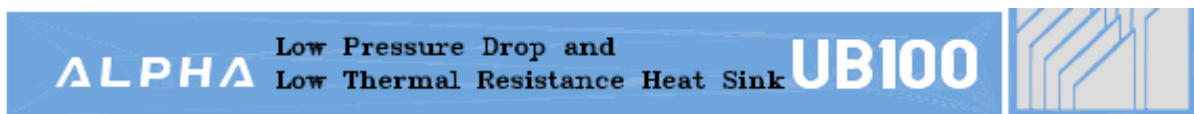
El generador termoelèctric està disposat d'elements de connexió pel circuit refrigerant. Tots són articles de compra amb característiques res excepcionals, per tant només es contemplaran dades descriptives i funcionalitat dels elements que falten per anomenar.

A l'hora de portar a terme les connexions entre la mànega del Chiller i per tal de formar un circuit tancat entre el dissipadors, aquests disposen d'un ràcord roscat a cada un dels extrems del serpentí. Els ràcords d'entrada d'aigua aniran connectats entre ells mitjançant unes T que permeten la seva connexió per unificar el tram d'impulsió d'aigua del Chiller. De la mateixa manera, els ràcords de la sortida del serpentí estaran connectats per reduir a un el tram de tornada cap al Chiller. La descripció tècnica d'aquests components és: *espiga manguera niq. "ea diam.9 rosca cilí.macho 1/8' , te tubo-tubo tekalan 8x10, cristallo arossico 8x12 i racor niq. bicono recto "bcf" tubo 6 rosca hembra 1/8'*, es contemplen tant mànegues com accessoris. Definides les quantitats al pressupost i estat d'amidaments.

B5. Absorbidors

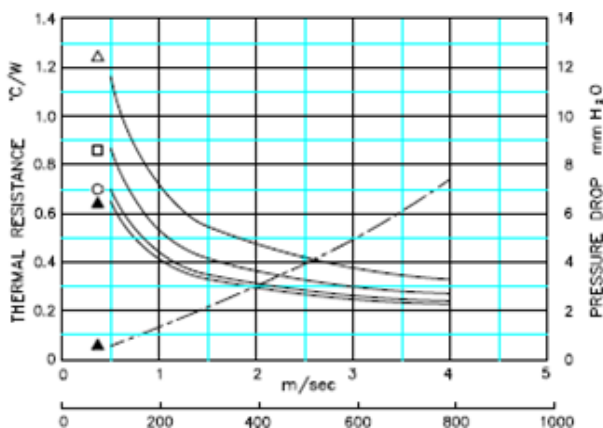
Els absorbidors d'aquest sistema d'assaig aniran instal·lats al conjunt termoelèctric per tal d'augmentar la transferència de calor entre l'aire i la cara calenta del termoelèctric. Per tal de que aquest muntatge funcioni correctament cal verificar que aquests absorbidors, que es situaran al pas del aire calent, no obstaculitzin significativament la circulació de l'aire.

La universitat disposa doncs de dos models diferents d'absorbidors per fer les proves. Totes les dades tècniques són facilitades pel fabricant a les fitxes següents (figura 47) i el model concret està marcat amb un requadre vermell.



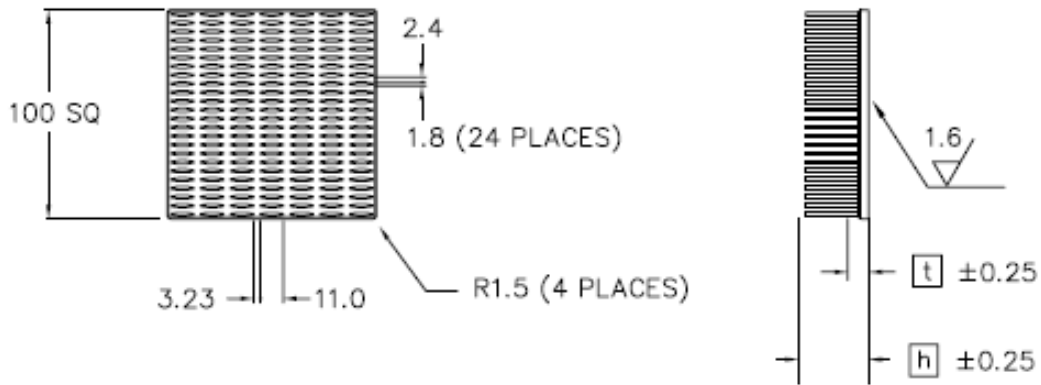
HEAT SINK
 MATERIAL : A 6063
 FINISH : BLACK ANODIZE

MODEL	HEIGHT [h]	WEIGHT (grams)
UB100-15B	15	209
UB100-20B	20	236
UB100-25B	25	264
UB100-30B	30	291



- △ UB100-15B
 - UB100-20B
 - UB100-25B
 - ▲ UB100-30B
- DUCTED CONDITION
 ○ DUMMY HEATER SIZE: 25 SQ
 — THERMAL RESISTANCE
 - - - PRESURE DROP

ALPHA High - Efficiency Heat Sink **W100**



MODEL	HEIGHT [h]	THICKNESS [t]	WEIGHT (grams)
W100-20W	20	6	276
W100-25W	25	6	297
W100-30W	30	6	318
W100-35W	35	7	403
W100-40W	40	7	424
W100-45W	45	7	445

HEAT SINK
 MATERIAL : A 6063
 FINISH : CLEAR ANODIZE

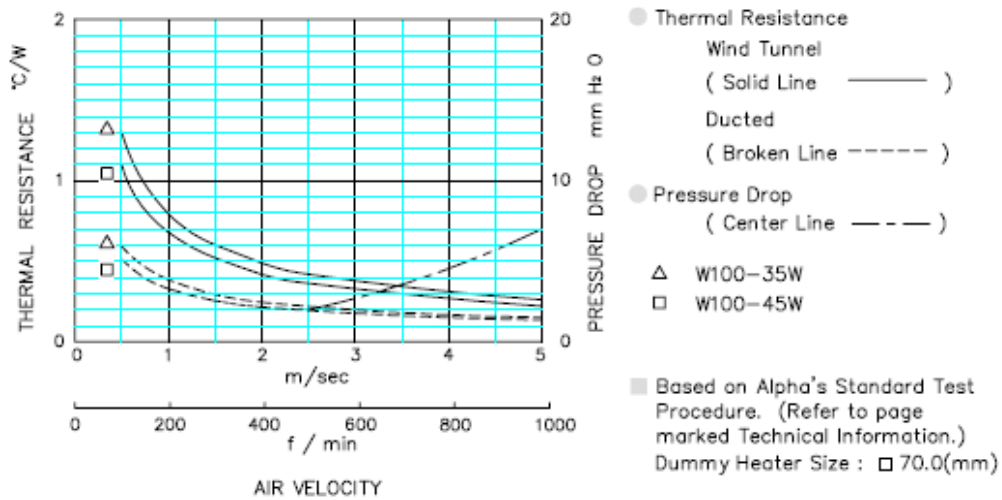


Figura 47. Fitxa tècnica dels absorbidor.

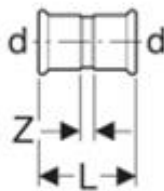
B6. Maniguets

El muntatge complet del sistema d'assaig el componen entre d'altres 3 maniguets d'acer inoxidable amb junta tòrica als extrems per evitar les fugues en la unió de les altres parts. Els maniguets són de la marca Geberit, el model Mapress concretament, i el mateix fabricant ens facilita la seva fitxa tècnica.

Manguito Geberit Mapress Acero Inoxidable



Imagen de ejemplo



Aplicaciones

- Para agua potable fría y caliente
- Para agua de calefacción
- Para agua de refrigeración sin anticongelante
- Para agua de refrigeración con anticongelante
- Para agua de calefacción urbana
- Para vapor saturado
- Para agua depurada
- Para aguas pluviales con valor pH > 6,0
- Para aguas negras y grises con un valor pH > 6,0
- Para redes de extinción de incendios (húmedas)
- Para aspersores (húmedo)
- Para productos químicos y fluidos técnicos
- Para aire comprimido (clase de pureza de aceite 0-3)

- Para presión negativa
- Para gases inertes (p.ej. nitrógeno)
- Para gases industriales (p.ej. acetileno, gases de protección de soldaduras)
- Para aplicaciones sanitarias y calefacción, industria y construcción naval

Propiedades

- Indicador de compresión
- No estanca si no está comprimida
- Junta tórica de CIIR negro
- Manguito de compresión con tapón de protección transparente

Información técnica

Material | Acero CrNiMo 1.4401 (EN 10088)

N.º de art.	DN	d, ø	L	Z
33001	10	12 mm	4.2 cm	0.8 cm
32002	12	15 mm	4.8 cm	0.8 cm
32003	15	18 mm	4.8 cm	0.8 cm
32004	20	22 mm	5 cm	0.8 cm
32005	25	28 mm	5.4 cm	0.8 cm
32006	32	35 mm	6.2 cm	1 cm
32007	40	42 mm	7.1 cm	1.1 cm
32008	50	54 mm	8.3 cm	1.3 cm
32011	100	108 mm	19.4 cm	4.4 cm
32009	65	76.1 mm	14.1 cm	3.5 cm
32010	80	88.9 mm	16.2 cm	4.2 cm

Figura 48. Fitxa tècnica maniguets amb junta.

La fila marcada en vermell correspon als articles instal·lats.

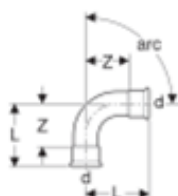
B7. Colze

Per tal de reconduir l'aire des de la sortida del banc de flux fins a la resta del circuit, s'instal·larà un colze que anirà situat sobre la brida i connectat a l'extrem del primer tram de tub. Aquest consta de les mateixes característiques que els maniguets, el fabricant és Geberit, el model Mapress concretament, el qual ens facilita la seva fitxa tècnica (figura 49).

Codo Geberit Mapress Acero Inoxidable



Imagen de ejemplo



Aplicaciones

- Para agua potable fría y caliente
- Para agua de calefacción
- Para agua de refrigeración sin anticongelante
- Para agua de refrigeración con anticongelante
- Para agua de calefacción urbana
- Para vapor saturado
- Para agua depurada
- Para aguas pluviales con valor pH > 6,0
- Para aguas negras y grises con un valor pH > 6,0
- Para redes de extinción de incendios (húmedas)
- Para aspersores (húmedo)
- Para productos químicos y fluidos técnicos
- Para aire comprimido (clase de pureza de aceite 0-3)

- Para presión negativa
- Para gases inertes (p.ej. nitrógeno)
- Para gases industriales (p.ej. acetileno, gases de protección de soldaduras)
- Para aplicaciones sanitarias y calefacción, industria y construcción naval

Propiedades

- Indicador de compresión
- No estanca si no está comprimida
- Junta tórica de CIIR negro
- Manguito de compresión con tapón de protección transparente

Información técnica

Material | Acero CrNiMo 1.4401 (EN 10088)

N.º de art.	DN	d, ø	arc	L	Z
30601	10	12 mm	45 °	3.2 cm	1.5 cm
30101	10	12 mm	90 °	4.2 cm	2.5 cm
30602	12	15 mm	45 °	3.6 cm	1.6 cm
30102	12	15 mm	90 °	4.9 cm	2.9 cm
30603	15	18 mm	45 °	3.7 cm	1.7 cm
30103	15	18 mm	90 °	5.3 cm	3.3 cm
30604	20	22 mm	45 °	4.2 cm	2.1 cm
30104	20	22 mm	90 °	6.1 cm	4 cm
30605	25	28 mm	45 °	4.8 cm	2.5 cm
30105	25	28 mm	90 °	7.2 cm	4.9 cm
32606	32	35 mm	45 °	4.3 cm	1.7 cm
31106	32	35 mm	90 °	6.8 cm	4.2 cm
31109	65	76.1 mm	90 °	15.9 cm	10.6 cm
31110	80	88.9 mm	90 °	18.5 cm	12.5 cm

Figura 49. Fitxa tècnica del colze amb junta.

B8. Sensor de temperatura

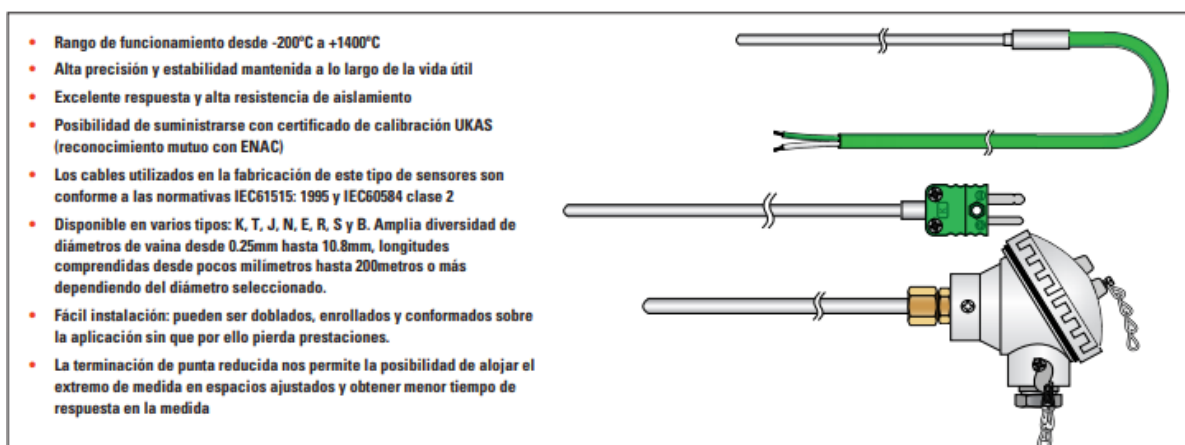
Donat que el factor temperatura és un dels elements a considerar més importants del projecte, s'ha de portar a terme un control continu de la distribució de temperatures al llarg del conjunt termoelèctric.

Com s'esmenta anteriorment, tant els absorbidors com els dissipadors disposen de dues perforacions cadascun per tal d'obtenir dues temperatures de mostreig diferents, una lectura interna o cèntrica a 40 mm de la cara exterior i una altra més externa a 20 mm, per tal d'assegurar primer que la distribució de temperatures és homogènia en les quatre cares i que per tant el sistema està equilibrat en tot moment, i segon que tant l'absorbidor com el dissipador compleixen la seva funció adequadament.

Aquest control de temperatura es portarà a terme amb uns dispositius anomenats termoparells. Un termoparell és un sensor per a mesurar la temperatura. Es compon de dos metalls diferents, units en un extrem. Quan la unió dels dos metalls s'escalfa o es refreda, es produeix una tensió que és proporcional a la temperatura.

Els termoparells estan disponibles en diferents combinacions de metalls o calibratges per a adaptar-se a diferents aplicacions. El tipus K és el més popular i el triat per aquest cas, a causa del seu ampli rang de temperatures i baix cost. Està format per un conductor positiu de níquel-cromo i un conductor negatiu de níquel-alumini.

El proveïdor dels aparells de mesura serà l'empresa *TC medida y control de temperatura SA*, que ofereix una ampla gama de models. A continuació i mitjançant la fitxa tècnica del fabricant (figura 50) es defineixen totes les característiques del model desitjat.

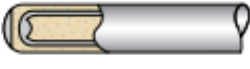

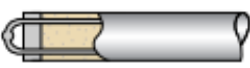



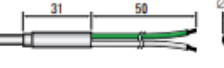
SECCIÓN 1		Tipo de Termopar		Rango de Temperatura*	
				(continuo)	(puntual)
K	Chromel / Alumel	0 a +1100°C	-180 a +1350°C		
T	Cobre / Constantán	-185 a +300°C	-250 a +400°C		
J	Hierro / Constantán	+20 a +700°C	-180 a +750°C		
N	Nicrosil / Nisil	0 a +1100°C	-270 a +1300°C		
E	Chromel / Constantán	0 a +800°C	-40 a +900°C		
R	Platino - 13% Rodio / Platino	0 a +1800°C	-50 a +1700°C		
S	Platino - 10% Rodio / Platino	0 a +1550°C	-50 a +1750°C		
B	Platino - 30% Rodio / Platino - 6% Rodio	+100 a +1800°C	+100 a +1820°C		

SECCIÓN 2		Material de Vaina		Temp. Max.
		Especificaciones	Propiedades	
Estándar	321	Acero Inoxidable AISI 321 18/8/1 Níquel/Cromo/Titanio Estabilizado BS EN 970 Parte 4:1970 Werkstoff N°: 1.4541	Muy resistente a la corrosión en todo su rango. Apto para la mayoría de las aplicaciones industriales.	800°C
	316L	Acero Inoxidable AISI 316L 18/8/1 Níquel/Cromo/Molibdeno Estabilizado BS EN 10088 Werkstoff N°: 1.4404	Buena resistencia a la corrosión a altas temperaturas y adecuado para su uso en atmósferas sulfuradas. Alta resistencia a la oxidación.	800°C
	310	Acero Inoxidable AISI 310 25/20 Níquel/Cromo BS EN 10088 Werkstoff N°: 1.4845	Buena resistencia a la corrosión a altas temperaturas y apto para su uso en ambientes sulfurados. Mantiene una alta resistencia a la oxidación pero con baja resistencia a la tracción mecánica.	1100°C
	600	Inconel 600® Níquel/Cromo/Hierro BS EN 10095 Werkstoff N°: 2.4816	Apto para su uso en atmósferas corrosivas a temperaturas elevadas. Alta resistencia a la oxidación. Los termopares tipo R, S o B no son aconsejables para temperaturas superiores a 800°C. No apto para su uso en ambientes sulfurados por encima de 550°C.	1100°C

SECCIÓN 3		Diámetro de Vaina (mm)	Diámetro de Vaina (pulgadas)
Diámetros Nominales		0.25mm	0.010"
		0.5mm	0.020"
		0.75mm	0.030"
		1.0mm	0.039"
		1.5mm	0.059"
		1.6mm (1/16")	0.063"
		2.0mm	0.079"
		3.0mm	0.118"
		3.2mm (1/8")	0.125"
		4.5mm	0.177"
		5.5mm*	0.216"
		6.0mm	0.236"
	6.35mm (1/4")	0.250"	
	8.0mm	0.315"	
	9.5mm	0.374"	
	10.8mm*	0.425"	

Tiempo de Respuesta		Ømm	Tiempo (seg.)
X32 X4		0.25mm	0.015
		0.5mm	0.030
		0.75mm	0.090
		1.0mm	0.150
		1.5mm	0.300
		1.6mm (1/16")	0.320
		2.0mm	0.400
		3.0mm	0.800

SECCIÓN 4		Tipo de Unión de Medida	
2I		Aislada La unión de medida está aislada de la vaina. Proporciona una salida flotante cuya resistencia de aislamiento es superior a los 100 Mohmios. Es posible fabricar termopares dobles (2ID) o triples (2IT).	
2G		A Masa La unión de medida está soldada a la vaina consiguiendo tiempos de respuesta más rápidos. Es posible fabricar termopares a masa dobles (2GD) o triples (2GT).	
2X		Expuesta Tiempo de respuesta muy rápido, recomendable para medidas de temperatura del aire en conductos. El rango de temperatura está restringido a unos 600°C. Es posible fabricar termopares dobles (2XD) o triples (2XT).	

SECCIÓN 5		Tipo de Transición	
3P1		Salida Directa de Conductores Internos cualquier diámetro de vaina 3P1 Máxima temperatura 135°C 3P1B Máxima temperatura 300°C 3P1C Máxima temperatura 650°C Nota: Se recomienda que este transición sea temporal y se proceda mas tarde a realizar un acabado mas robusto	
3P2L		Casquillo Inoxidable Crimpado para vainas inferiores a 3.0mm 3P2L Máxima temperatura 135°C 3P2LA Máxima temperatura 235°C 3P2LB Máxima temperatura 300°C se requiere seleccionar el cable de extensión (sec. 6)	



SECCIÓN 6		Cables de Extensión	
A30		PVC HR Paralelo (105°C) Par paralelo multihilo (7x0.2mm) diámetro 0.5mm, sección 0.22mm². Aislado individualmente y enconjunto con PVC HR.	
A27		PVC HR Trenzado Apantallado (105°C) Par trenzado multihilo (7x0.2mm) diámetro 0.5mm (0.22mm²). Apantallado mediante Mylar en contacto con un hilo de drenaje. Aislado individualmente y enconjunto con PVC HR.	

Figura 50. Catàleg i dades tècniques dels termoparells.

Els quadres en vermell senyalen l'opció escollida.

Els termoparells de diàmetre més gran col·locats a l'entrada i la sortida del termoelèctric aniran subjectes al tub mitjançant uns ràcords del mateix proveïdor, que aniran roscats a dues de les cares quadrades del tub. A la figura 51 es marca l'opció escollida.

SECCION 7		Racores Deslizantes (opcional)					
Dia.	1/8" Gas Cónica	1/4" Gas Cónica	1/2" Gas Cónica	Dia.	1/8" Gas Cónica	1/4" Gas Cónica	1/2" Gas Cónica
0.5mm	SFS18T05	–	–	3.0mm	SFS18T30	SFS14T30	SFS12T30
0.75mm	SFS18T75	–	–	4.5mm	SFS18T45	SFS14T45	SFS12T45
1.0mm	SFS18T10	SFS14T10	SFS12T10	6.0mm	SFS18T60	SFS14T60	SFS12T60
1.5mm	SFS18T15	SFS14T15	SFS12T15	8.0mm	–	SFS14T80	SFS12T80

Figura 51. Catàleg dels models de ràcord corresponent als termoparells.

B9. Mòdul National instrument

Els sensors de temperatura es connectaran al mòdul d'entrada de temperatura de la sèrie C (com els de la imatge de la figura 52) del fabricant National Instrument, per tal de realitza mesures des de els termoparells per a sistemes CompactDAQ o CompactRIO.



Figura 52. Mòduls d'entrada de temperatura de la sèrie C de National Instrument

Els mòduls d'entrada de Temperatura compten amb fins a 16 canals d'entrada de temperatura des de termoparells. Els mòduls inclouen filtres anti-aliasing, detecció de termoparells oberts i compensació d'unió freda per a mesures de termoparells d'alta precisió.

B.10 Làmina ceràmica

El sistema d'assaig desenvolupat s'ha portat a terme per tal de reproduir les condicions a les que estaria sotmès el generador termoelèctric instal·lat en un tub d'escapament d'un vehicle, de manera que així permet estudiar si les temperatures i les pressions són correctes.

Per tant, en la realització del sistema generador termoelèctric no s'ha hagut de valorar l'actuació d'uns mòduls termoelèctrics com a tals, és a dir, per facilitar el muntatge del conjunt termoelèctric s'ha prescindit d'un mòdul termoelèctric i el seu lloc l'ocupa una lamina ceràmica de propietats i mides idèntiques que simula la presència del mòdul en qüestió, per tal de valorar quin és el model d'absorbidor més adequat, si el sistema de refrigeració funciona correctament, etc.

RS components, el proveïdor d'aquesta ceràmica de vidre, ens facilita la seva fitxa tècnica (figura 53)

Atributo	Valor
Material	Cerámica de Vidrio Maquinable
Longitud	100mm
Ancho	100mm
Grosor	3mm
Color	Blanco
Densidad	2.52g/cm ³
Conductividad Térmica	1.46W/mK
Dureza	Rockwell A 48
Resistencia a Fractura	1.53MPa
Fuerza de Compresión	35kg/mm ²
Absorción de Agua	0%
Temperatura Máxima de Operación	+800°C

Figura 53. Característiques de la lamina ceràmica.

Les mesures d'amplada i longitud s'hauran de modificar per ajustar-se a les dimensions establertes pels mòduls termoelèctrics.

B.11 Indicador de pressió

La mesura de la pressió es portarà a terme mitjançant un indicador de pressió portàtil de la marca WIKA, el model CPH6300, el qual es pot utilitzar per a mesurar la sobrepressió i la pressió absoluta. Un mesurament de la pressió diferencial entre dos punts és possible amb la versió de dos canals CPH6300-S2 de la qual es disposa i dos sensors de pressió de referència model CPT6200 connectats.

A continuació a la figura 54 es mostra una taula facilitada pel fabricant on es mostren les característiques més generals a considerar, i el model seleccionat.

Manómetro portátil modelo CPH6300 (toda la cadena de medida)						
Entradas de medición		1 entrada en CPH6300-S1				
		2 entradas en CPH6300-S2				
Rango de medición						
Presión relativa	mbar	-600 ... 0	-600 ... +600	-400 ... 0	-400 ... +400	-250 ... 0
		-250 ... +250	-100 ... +100	-20 ... 60	-20 ... 40	-20 ... 25
		0 ... 25	0 ... 40	0 ... 60	0 ... 100	0 ... 160
		0 ... 250	0 ... 400	0 ... 600		
	bar	-1 ... 0	-1 ... 1,5	-1 ... 3	-1 ... 5	-1 ... 9
		-1 ... 15	-1 ... 24	-1 ... 39	0 ... 1	0 ... 1,6
		0 ... 2,5	0 ... 4	0 ... 6	0 ... 10	0 ... 16
		0 ... 25	0 ... 40	0 ... 60	0 ... 70	0 ... 100
		0 ... 160	0 ... 250	0 ... 400	0 ... 600	0 ... 1.000
	psi	0 ... 0,4	0 ... 0,6	0 ... 0,9	0 ... 1,5	0 ... 2,5
		0 ... 4	0 ... 6	0 ... 10	0 ... 14,5	0 ... 25
		0 ... 40	0 ... 60	0 ... 90	0 ... 145	0 ... 250
		0 ... 360	0 ... 580	0 ... 870	0 ... 1.450	0 ... 2.320
		0 ... 3.630	0 ... 5.800	0 ... 8.700	0 ... 14.500	
Presión absoluta	mbar abs.	0 ... 250	0 ... 400	0 ... 600		
	bar abs.	0 ... 1	0 ... 1,6	0 ... 2,5	0 ... 4	0 ... 6
		0 ... 10	0 ... 16	0 ... 25	0,8 ... 1,2	
Límite de presión de sobrecarga	3 veces; ≤ 25 bar doble; > 25 bar ... ≤ 600 bar 1,5 veces; > 600 bar		3 veces; ≤ 360 psi doble; > 360 psi ... ≤ 8.700 psi 1,5 veces; > 8.700 psi			
Resolución	en función del rango de presión (máx. 4 1/2 dígitos)					
Exactitud de medición de la cadena de medición ¹⁾	0,2 % FS (resolución de 4 dígitos); (opcional: 0,1 % FS (resolución: 4 1/2 dígitos)) ²⁾					
Tipos de presión	Presión relativa, (presión absoluta de 0 ... 25 bar abs. (0 ... 360 psi abs.) y rangos de medición de vacío de -1 ... +39 bar (-14,5 ... 550 psi)) Una medición de la presión diferencial es posible con el CPH6300-S2 y dos sensores de presión de referencia modelo CPT6200 conectados					
Compatibilidad con sensores	Compatible con sensores de presión de referencia modelo CPT6200					

Figura 54. Fitxa tècnica del l'indicador de pressió.

L'indicador de pressió ve acompanyat de dos sensors de pressió model CPT6200 per tal de realitzar la mesura. Les dades tècniques facilitades pel fabricant respecte aquests sensors es recullen a la taula de la figura 55.

Sensor de presión de referencia modelo CPT6200	
Conexión al proceso ⁴⁾	G ½ B; (con frente al ras (G 1 para 0,1 a 1,6 bar (1,5 a 23,2 psi)) o diversos adaptadores de conexión sobre demanda)
Material	
Piezas en contacto con el medio	Acero inoxidable o Elgiloy [®] , (> 25 bar (360 psi) adicionalmente con obturación NBR) ³⁾ Ejecución con membrana enrasada: acero inoxidable (Hastelloy C4); junta tórica: NBR (FKM/ FPM o EPDM)
Medio de transmisión interno	Aceite sintético (sólo en rangos de medición de hasta 16 bar (250 psi) o membrana enrasada) {Aceite de halocarbono para versiones con oxígeno}; {conforme a FDA para la industria alimentaria}
Datos del sensor	
Exactitud ¹⁾	≤ 0,2 % del span en condiciones de referencia ²⁾
Zona compensada	0 ... 80 °C (0 ... 176 °F)
Coefficiente de temperatura medio	≤ 0,2 % del span/10 K (fuera de las condiciones de referencia)
Condiciones ambientales admisibles	
Temperatura del medio ⁴⁾	-30 ... +100 °C (-22 ... +212 °F) ⁵⁾
Temperatura de servicio	-20 ... +80 °C (-4 ... +176 °F)
Temperatura de almacenamiento	-40 ... +100 °C (-40 ... +212 °F) ⁵⁾
Humedad	0 ... 95 % h.r. (sin condensación)
Caja	
Material	Acero inoxidable
Conexión al CPH6300	Estándar: vía cable de conexión de 1 m (3,3 pies) (plug-and-play); Opcional: hasta 5 m (16,4 ft)
Tipo de protección	IP67
Dimensiones	Véase dibujo técnico
Peso	aprox. 220 g (0,49 lbs)

Figura 55. Fitxa tècnica dels sensors de pressió.

Donat que la mesura de la pressió es portarà a terme sobre un flux d'aire a una temperatura elevada, al voltant dels 200°C, s'ha de disposar d'una torre de refrigeració per a cada manòmetre. Aquests elements s'utilitzen si la temperatura del medi sobrepassa el límit admissible de temperatura del manòmetre, que com es pot observar a la taula anterior així és. Mitjançant la circulació d'aire i la radiació tèrmica a la torre de refrigeració es redueix la temperatura per facilitar l'ús del manòmetre i minimitzar el marge d'errors produït per la temperatura.

Les dades tècniques d'aquest aparell facilitades pel fabricant es recullen a la figura 56.

Versiones disponibles			
Temperatura del medio máx.	Conexión a proceso	Conexión del instrumento de medición	Nº de pedido
150 °C (3 anillos de enfriamiento)	G 1/2 B (EN 837)	G 1/2 B hembra (EN 837)	14109813
200 °C (5 anillos de enfriamiento)	G 1/2 B (EN 837)	G 1/2 B hembra (EN 837)	14109815

Otras conexiones a consultar

Carga máx. admisible

600 bar

Material

Acero inoxidable 1.4571

Este valor es válido solamente con una junta adecuada según EN 837 y con un rango de temperatura de < 100 °C en el instrumento de medición.

Peso

3 anillos de enfriamiento: aprox. 180 g

5 anillos de enfriamiento: aprox. 200 g

Canal de presión

3,5 mm

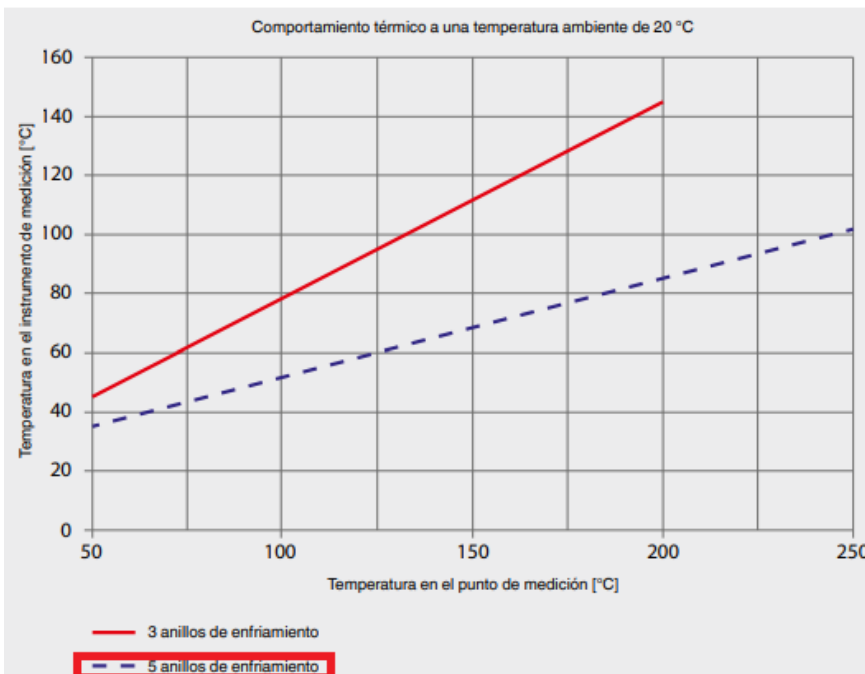


Figura 56. Fitxa tècnica i gràfica de funcionament de la torre de refrigeració.

La gràfica anterior descriu el comportament de la torre de refrigeració. En vermell es senyala el model escollit, la torre de 5 anells.

Les dades tècniques sobre el funcionament, especificacions pròpies sobre la instal·lació, la posta en marxa i les precaucions de tots els element esmentats, venen definides al manual d'usuari i fitxa tècnica proporcionada pel fabricant i distribuïdor.

B.12 Accessoris control de pressió

El circuit de control de pressió està disposat d'articles de compra amb característiques res excepcionals, per tant només es contemplaran dades descriptives i funcionalitat dels elements que el componen .

A l'hora de portar a terme la lectura de la pressió d'entrada i sortida del generador termoelèctric, i per tal de formar un circuit que permeti obtenir el valor mig de quatre punts diferents sobre la canonada quadrada en tots dos casos. El circuit està disposat d'una T e llautó cargolada a cada cara del tub, connectades amb les seves veïnes mitjançant una canonada d'acer inoxidable, formant així un quadrat al voltant del tub. Finalment en un dels vèrtex del circuit, una altra T amb un tram de la mateixa canonada amb un dels extrems lliure, permet connectar el sensors de pressió.

Els components seleccionats formen part de la gama de productes " *Racores con bicono en latón niquelado Serie SO*" de l'empresa Sicontrol S.L i la descripció tècnica d'aquests components és: *T central conica macho 1/4' 6 mm, T lateral conica macho 1/4' 6 mm, tuerca Diam. 6 mm, bicono Diam. 6 mm, tub rodó amb soldadura AISI 304 6 mm.*