

**ANEXOS**

## Anexo A. CONCEPCIÓN Y MONTAJE DE LA INSTALACIÓN

La parte experimental de este proyecto se ha llevado a cabo en una instalación, compuesta principalmente por un microprocesador Intel Atom D510 sumergido en aceite (se explicará con más detalle durante todo este anexo), desarrollada mediante la colaboración de los departamentos de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería de Sistemas Informáticos de la Universidad de Zaragoza. Su montaje ha sido llevado a cabo por Carlos Gracia y Alfonso Gracia (Maestros de Taller del departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura).

### A.1. COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

El componente principal de la instalación es el microprocesador que va a ser refrigerado y en el que se realizarán las medidas que es un procesador Intel Atom D510. Se va a proceder a su refrigeración mediante el aceite industrial Mobiltherm 605. En las figuras A.1 y A.2 se muestra el microprocesador y sus componentes.

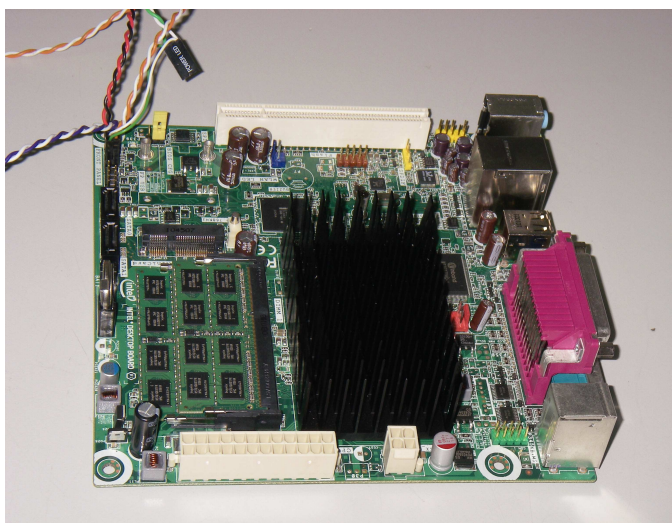


FIGURA A. 1 PROCESADOR INTEL ATOM D510

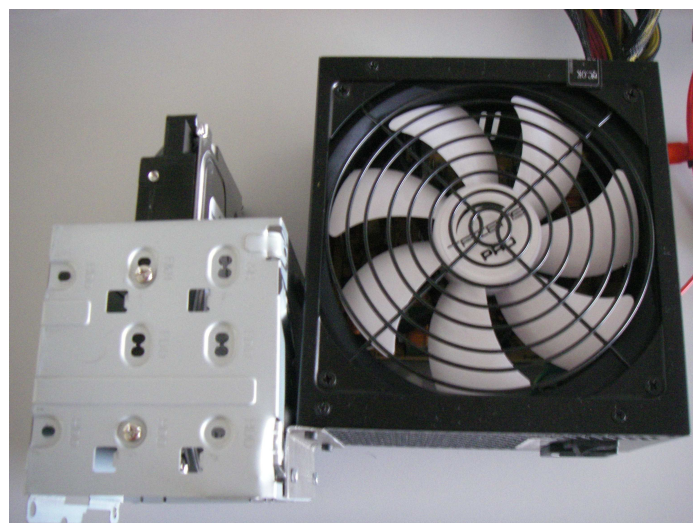


FIGURA A. 2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y DISCO DURO

Éste va a ser introducido en un recipiente de metacrilato transparente con forma prismática, cuya base es cuadrada para facilitar que el flujo de aceite que se va a mover lo haga de una forma uniforme que es el que se muestra en la figura A.3.

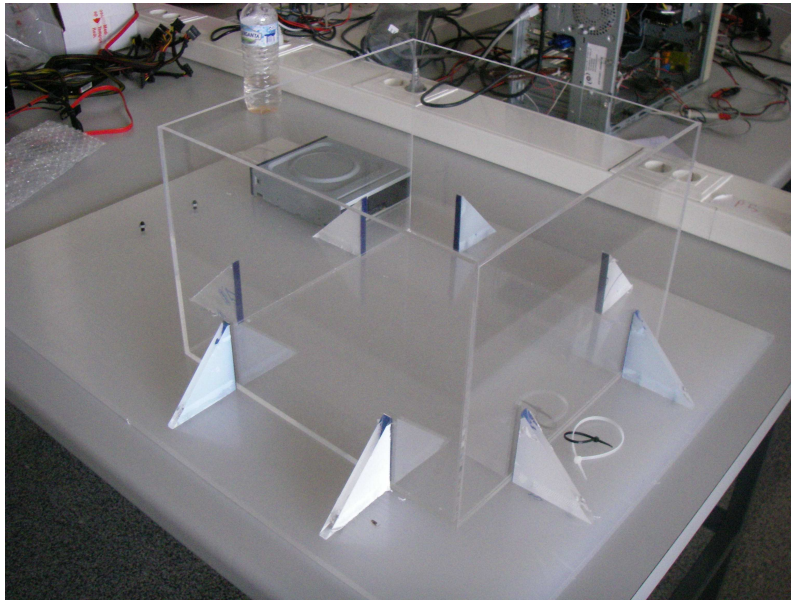


FIGURA A. 3 RECIPIENTE CONTINENTE DEL MICROPROCESADOR

A todo lo anterior habría que añadirle, los termopares para la medida de las temperaturas y el registrador de datos PICO TC-08 que conectado al ordenador pasa las medidas de temperatura a la tarjeta de captura de datos para poder procesarlas después. Además de los termopares para la medición de la temperatura se dispone de una sonda amperimétrica que da la medida de la corriente y el voltaje que alimenta directamente al chip del microprocesador y así se puede saber su consumo eléctrico.

## A.2. MONTAJE DE LA INSTALACIÓN

El montaje ha estado sujeto a distintas variaciones durante casi todo el desarrollo del proyecto, ya que a la vez que se iba procediendo al montaje y a la compra de componentes se iba llegando a distintas conclusiones respecto a las condiciones de trabajo reales del procesador. Es por eso que he decidido incluir todos los pasos del montaje desde el comienzo hasta llegar a la instalación actual en la que se han llevado a cabo la toma de medidas.

Los pasos seguidos durante el montaje fueron los siguientes:

1. Se retiró el radiador que venía incorporado sobre el chip del microprocesador puesto que en un principio la refrigeración iba a ser con aceite por convección natural y se querían observar si había zonas a distinta temperatura en el chip del procesador. El microprocesador una vez retirado el radiador se puede ver en la figura A.4.

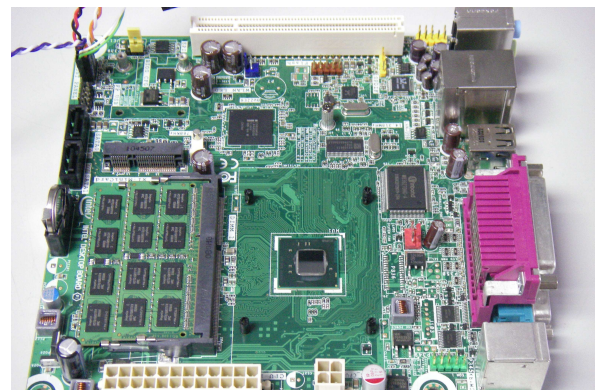


FIGURA A. 4 MICROPROCESADOR SIN EL RADIADOR

2. Se dispone de 8 termopares tipo T, de los cuales:
- Cinco se van a colocar en la superficie del microprocesador para la medición de la temperatura en la superficie del chip (un termopar en cada extremo y uno en el centro del chip del microprocesador).
  - Uno encima del chip pero a una distancia 'prudencial' para saber la temperatura del flujo del aceite saliente.
  - Otro de ellos se colocara lo más alejado posible del microprocesador y lo más cercano posible a la superficie del aceite en contacto con el aire, para tener el valor de la temperatura del aceite  $T_{\infty}$

La colocación de estos termopares ha sido una tarea verdaderamente complicada ya que debían estar en contacto con la superficie del chip del microprocesador pero a su vez debían tener la menor superficie metálica posible en contacto con el aceite que lo refrigerara todo para evitar problemas de medida. También se debía evitar que cubriesen mucha superficie del chip porque no se podría garantizar su correcta refrigeración. El primer problema se solventó colocando macarrón termo retráctil aislado la parte metálica del termopar que estaba en contacto con el aceite y sólo dejando la punta libre. Y el segundo de los problemas fue el más complicado de resolver, tras diversos intentos se encontró un buen sistema de sujeción de los termopares que garantiza su buen contacto con la superficie para la correcta toma de medidas. En las imágenes abajo situadas se puede ver el sistema de sujeción definitivo de los termopares, un termopar con el macarrón termo retráctil colocado y como quedaron colocados los termopares sobre el chip.

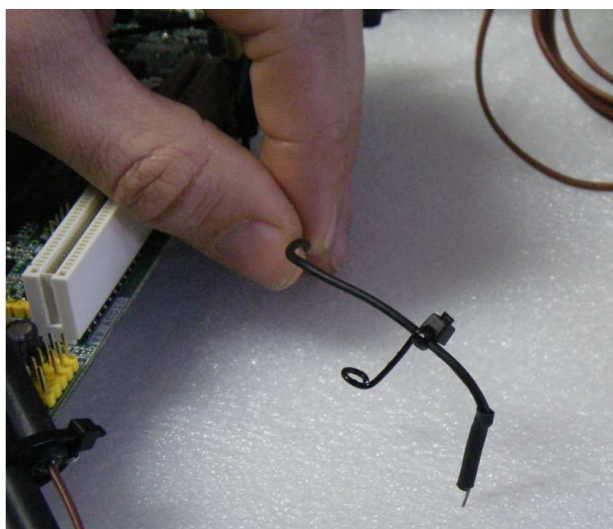


FIGURA A. 5 SISTEMA DE SUJECIÓN DE LOS TERMOPARES



FIGURA A. 6 TERMOPAR CON MACARRÓN TERMO RETRÁCTIL



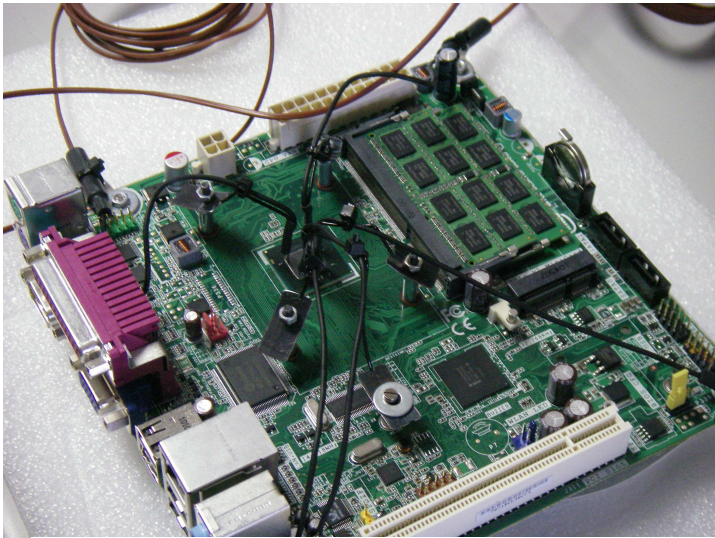


FIGURA A. 7 POSICIÓN FINAL DE LOS TERMOPARES

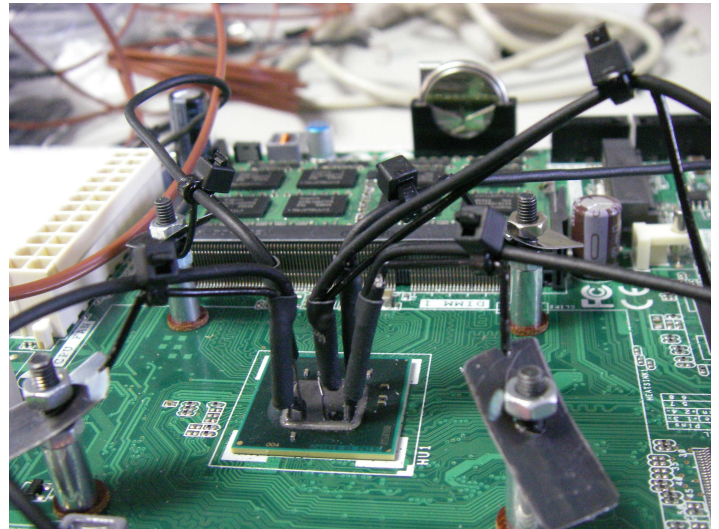


FIGURA A. 8 VISTA DE CERCA DE LOS TERMOPARES

3. La placa madre del microprocesador se coloca sobre una plancha de porexpan como se muestra en la figura A.10 para evitar la circulación de flujo de aceite bajo la placa del microprocesador. Dicha plancha va a ser que se adherida al fondo de la pecera de metacrilato para que no se produzca su flotación en aceite.
4. Se realizan pequeños orificios en todos los bordes de la pecera para la sujeción de todos los cables (tanto los de los termopares como los de conexión del microprocesador a su fuente de alimentación y los cables de conexión de los periféricos) mediante cremalleras al borde de la misma y así garantizar su fijación definitiva. En la figura A.9 se pueden ver los orificios realizados.

También se realizan unos orificios en la parte frontal de la pecera de metacrilato para la colocación dos pulsadores, un pulsador de encendido y otro de reset, y dos leds como se ve en la figura A.12.

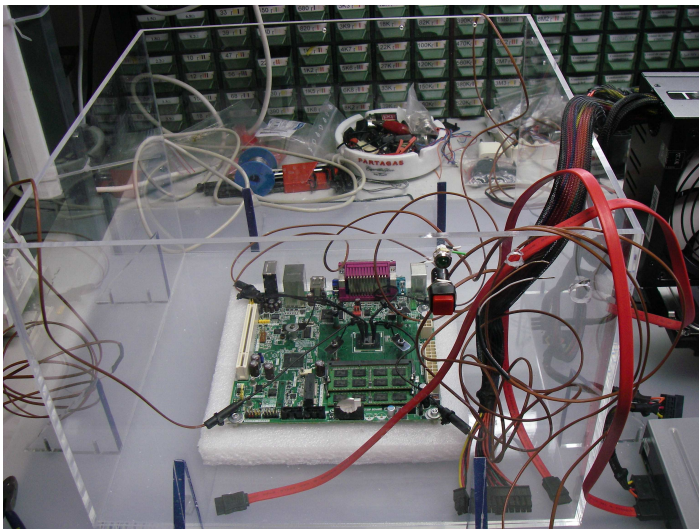


FIGURA A. 9 PROCESADOR SITUADO DENTRO DE LA PECERA

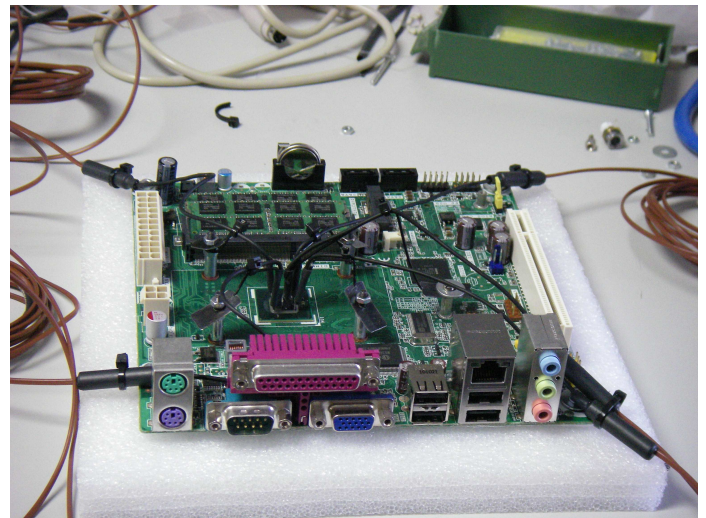


FIGURA A. 10 PROCESADOR SOBRE LA PLANCHA DE POREXPAN



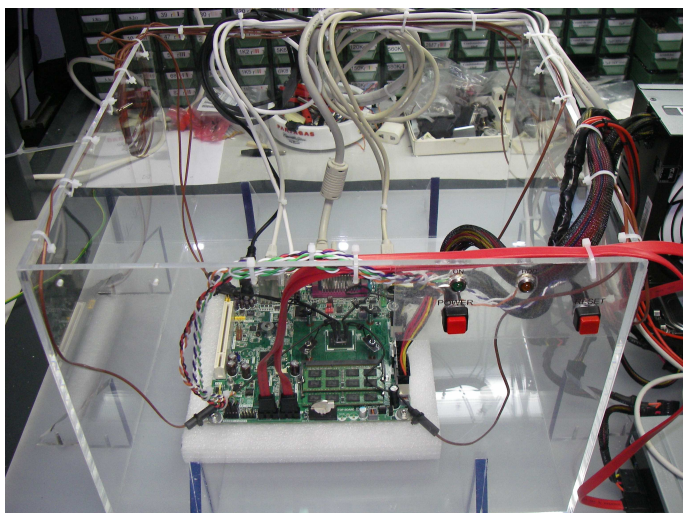


FIGURA A. 11 ASPECTO FINAL CON LOS CABLES CONECTADOS

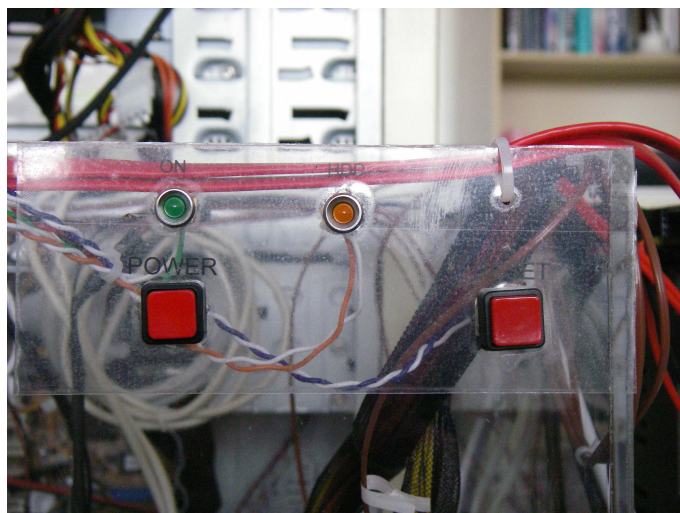


FIGURA A. 12 PANEL DE CONTROL DEL PROCESADOR

5. Finalmente tras conectar todos los cables (los de alimentación, los de los periféricos, los termopares al registrador de datos y los cables de conexión de la sonda amperimétrica) se hubiera procedido a echar el aceite con el que se iba a refrigerar. El estado en ese momento de la instalación era el de la figura A.11.

Pero tras realizar los cálculos teóricos se llegó a la conclusión de que el aceite Mobiltherm 605 era excesivamente viscoso para la refrigeración por convección natural. Por lo que se buscaron otros aceites sustitutos menos viscosos, pero aún así habría que refrigerar de forma forzada.

Aunque se intentó por todos los medios buscar una bomba que se ajustase a las características y exigencias de la instalación no se encontró ninguna que estuviese dentro del presupuesto disponible. Ya que había que buscar una bomba capaz de trabajar con un aceite dieléctrico que estuviese caliente y que no fuese muy ruidosa. Además la bomba tenía que estar sobredimensionada, pues no se sabía cuál iba a ser la disposición definitiva del sistema hidráulico de refrigeración y por tanto también se desconocían las posibles pérdidas de carga.

Llegados a este punto y después de todo el trabajo que había llevado el desarrollo y montaje de la instalación se decide volver a colocar el radiador para poder realizar una serie de experimentos con aire y así poder observar el comportamiento del procesador en funcionamiento. Así pues los últimos pasos que se llevaron a cabo para el montaje de la instalación son los que siguen.

6. Se quitan los termopares de la superficie del chip y se mecaniza el radiador que retiró para que 4 termopares puedan estar directamente en contacto con la superficie del chip. A causa de la mecanización del radiador hubo que retirar cuatro aletas. Se colocarán dos termopares en dos aletas, uno en una aleta central y otro en una aleta de uno de los extremos del radiador. También se coloca otro termopar

en la base del radiador y otro encima del radiador para captar la salida de aire caliente.

En la figura A.13 se muestra como quedan colocados los termopares en el radiador y en la figura A.14 se muestra el estado de la instalación final.

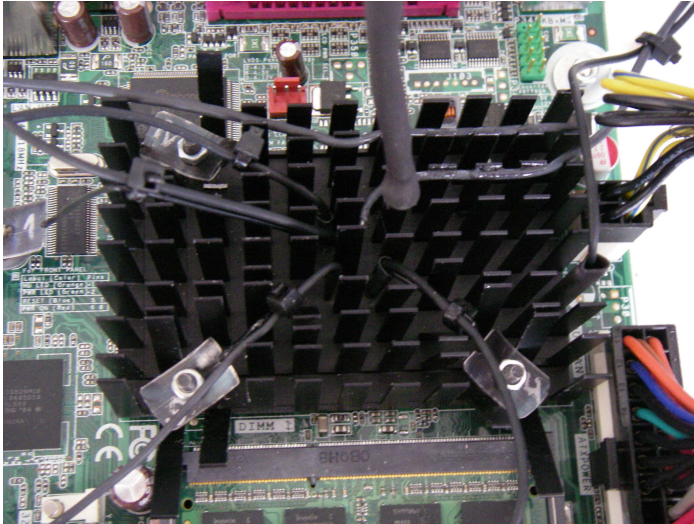


FIGURA A. 13 POSICIÓN DE LOS TERMOPARES SOBRE EL RADIADOR

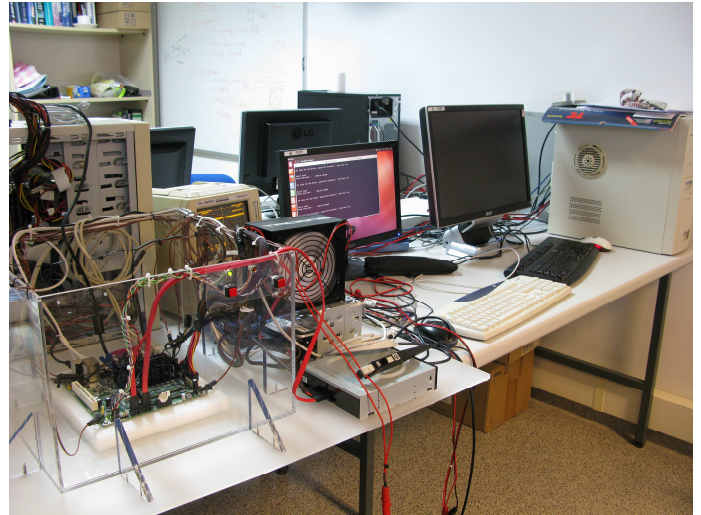


FIGURA A. 14 INSTALACIÓN FINAL

## Anexo B. ECUACIONES DEL CÁLCULO EN EES

En este anexo se muestra desglosado el archivo EES en el que se han llevado a cabo los cálculos de la refrigeración por convección tanto natural como forzada del microprocesador. Para facilitar la comprensión el anexo se separa en distintos apartados en ellos se muestran los datos de los materiales empleados, y las ecuaciones usadas para cálculo extraídas directamente del archivo EES y para finalizar unas tablas con los resultados obtenidos para cada caso.

### B.1. DATOS Y DIMENSIONES

Se tienen como datos constantes la temperatura del ambiente, la gravedad, así como las dimensiones del chip del microprocesador.

Datos del ambiente:

$$T_{\text{amb}} = 20$$

$$g = 9,81$$

Geometría y propiedades del chip:

$$a = 0,00956$$

$$b = 0,00906$$

$$\lambda_{\text{eili}} = 148$$

Las propiedades de los fluidos que se han empleado en distintos casos de refrigeración se encuentran reflejadas en la tabla B.1.

Líquidos Refrigerantes	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	$\mu$ [Pa*s]	$\beta$ [K <sup>-1</sup> ]
Aire	1,164	1007	2,63E-02	1,59E-06	1,85E-05	1/T
Agua	1000	4182	0,58	8,91E-07	8,91E-04	2,57E-04
Mobiltherm 605	869	1880	0,134	8,00E-05	0,0695	8,00E-04
Tensión centauro	871	1901	0,137	9,60E-06	8,36E-03	7,00E-04

TABLA B. 1 PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS REFRIGERANTES

### B.2. ECUACIONES DEL CÁLCULO DE CONVECCIÓN NATURAL EN UNA PLACA HORIZONTAL ISOTERMA

Estas ecuaciones son a través de las que se obtiene el flujo de calor por metro cuadrado que se tendría si la temperatura del chip alcanzase la máxima temperatura.

$$\text{Area} = a \cdot b$$

$$\text{Perimetro} = 2 \cdot a + 2 \cdot b$$

$$L = \frac{\text{Area}}{\text{Perimetro}}$$



$$Gr_{isot} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{junction} - T_{amb}) \cdot L^3}{\nu^2}$$

$$Pr_{isot} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}$$

$$Ra_{isot} = Gr_{isot} \cdot Pr_{isot}$$

$$Nus_{isot} = 0,54 \cdot Ra_{isot}^{0,25}$$

$$Nus_{isot} = \frac{h_{isot} \cdot L}{\lambda}$$

$$q_{isot} = h_{isot} \cdot (T_{junction} - T_{amb})$$

### B.3. ECUACIONES DEL CÁLCULO DE CONVECCIÓN NATURAL EN UNA PLACA HORIZONTAL ISOFLUJO

El resultado que se obtiene con estas ecuaciones es la temperatura máxima que se alcanza en la superficie del chip.

$$Q_{thermal} = 13$$

$$q_{isof} = \frac{Q_{thermal}}{Area}$$

$$Gr_{isof} = \frac{g \cdot \beta \cdot q_{isof} \cdot L^4}{\lambda \cdot \nu^2}$$

$$Pr_{isof} = Pr_{isot}$$

$$Ra_{isof} = Gr_{isof} \cdot Pr_{isof}$$

$$Nus_{isof} = 0,61 \cdot Ra_{isof}^{0,2}$$

$$Nus_{isof} = \frac{h_{isof} \cdot L}{\lambda}$$

$$q_{isof} = h_{isof} \cdot (T_{max} - T_{amb})$$

### B.4. ECUACIONES DEL CÁLCULO DE LA REFRIGERACIÓN POR CONVECCIÓN FORZADA EN UNA PLACA HORIZONTAL ISOFLUJO

Con este cálculo lo que se busca es averiguar la velocidad a la que se tendrá que mover el fluido que se emplee para refrigerar para que la temperatura en la superficie del chip sea la que se ha establecido como temperatura máxima de trabajo.

$$L_{forz} = 0,00906$$

$$T_{queremos} = 80$$

$$h_{\text{queremos}} = \frac{q_{\text{forz}}}{T_{\text{queremos}} - T_{\text{amb}}}$$

$$q_{\text{forz}} = 150091,9$$

$$\text{Nus}_f = \frac{h_{\text{queremos}} \cdot L_{\text{forz}}}{\lambda}$$

$$\text{Gr}_{\text{forz}} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{\text{queremos}} - T_{\text{amb}}) \cdot L_{\text{forz}}^3}{\nu^2}$$

$$\text{Re}_{\text{forz}} = \frac{v_f \cdot L_{\text{forz}}}{\nu}$$

$$\text{Pr}_{\text{forz}} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}$$

$$\text{Nus}_f = 0,453 \cdot \text{Re}_{\text{forz}}^{0,5} \cdot \text{Pr}_{\text{forz}}^{(1/3)}$$

## B.5. ARCHIVO COMPLETO EES

A continuación se muestra el archivo completo del cálculo en EES con comentarios en algunas variables sobre cuál es su ámbito de aplicación y con las unidades de algunas variables.

```
T_amb=20
g=9,81{m/s^2}
```

```
{Datos aire}
```

```
rho=1,1614
c_p=1007
mu=184,6e-07
nu=15,89e-07
lambda=26,3e-03
```

```
{Agua}
```

```
rho=1000 {kg/m3 densidad}
c_p=4182 {J/KgK}
mu=0,000891 {Pa*s, mu viscosidad dinámica}
nu=mu/rho {viscosidad cinemática, m^2*s^-1}
lambda=0,58 {W/m K}
beta=2,57e-04 {K^-1, }
```

```
{Datos aceites}
```

```
{Mobiltherm 605}
```

```
rho=869 {kg/m3 densidad}
c_p=1880 {J/KgK}
mu=0,0695 {Pa*s, mu viscosidad dinámica}
nu=mu/rho {viscosidad cinemática, m^2*s^-1}
lambda=0,134 {W/m K}
beta=0,8e-03 {K^-1, }
```

```
{Tensión centauro}
```

```
rho=871 {kg/m3 densidad}
c_p=1901 {J/KgK}
mu=8,36e-03 {Pa*s, mu viscosidad dinámica}
nu=mu/rho
mu_2=0,02178{obtenida con el otro archivo EES a partir de vis interpolada}
nu_2=mu_2/rho {viscosidad cinemática, m^2*s^-1}
lambda=0,137 {W/m K}
beta=0,7e-03 {K^-1, }
```

```
{Datos chip microprocesador}
```

```
a=0,956e-02{anchura chip}
b=0,906e-02 {longitud chip}
T_junction=100
lambda_sili=148
```

```
{Cálculo convección Natural considerando superficie isoterma}{Se tiene la consideración de que se alcanza la temperatura más alta posible para ver si el flujo es equivalente al que tenemos}
```

```
Area=a*b
Perimetro=2*a+2*b
L= Area/Perimetro
Gr_isot=(g*beta*(T_junction-T_Amb)*L^3)/(nu^2) {Número de Grashof}
Pr_isot=(mu*c_p)/lambda
Ra_isot=Gr_isot*Pr_isot
Nus_isot=0,54*Ra_isot^0,25 {escojo esta correlación pero el rayleigh obtenido no entra en el margen dado}
Nus_isot=(h_isot*L)/lambda
q_isot=h_isot*(T_junction-T_amb)
```

```
{Cálculo convección Natural considerando flujo de calor uniforme}
```

```
Q_thermal=13 {W}
q_isof=Q_thermal/Area {thermal power desing processor}
Gr_isof=(g*beta*q_isof*L^4)/(lambda*nu^2)
Pr_isof=Pr_isot
Ra_isof=Gr_isof*Pr_isof
Nus_isof=0,61*Ra_isof^0,2
Nus_isof=(h_isof*L)/lambda
q_isof=h_isof*(T_max-T_amb)
```

```
{Cálculo de convección forzada}{Considerando placa isoflujo}
```

```
L_forz=9,06e-03 {Longitud característica convección forzada en placa plana con flujo paralelo es la longitud que atraviesas}
T_queremos=80
{h_queremos=10*h_isof}
h_queremos=q_forz/(T_queremos-T_amb)
q_forz=150091,9 {Flujo de calor en W/m^2}
{q_forz=h_queremos*(T_queremos-T_amb) }{La Temperatura en el procesador no puede sobrepasar 100° porque se destruiría el chip}
Nus_f=(h_queremos*L_forz)/lambda {Empleando en los números adimensionales la longitud característica L para una placa plana}
Gr_forz=(g*beta*(T_queremos-T_amb)*L_forz^3)/(nu^2) {Número de Grashof}
Re_forz=(v_f*L_forz)/nu
{Gr_forz/(Re_forz^2)=valor }{Relación entre número de Grashof y de Nusselt para saber si hay convección forzada o mixta}
```



$Pr_{forz} = (\mu \cdot c_p) / \lambda$  {Numero de Prandtl}  
{ $Nu_f = 0,0308 \cdot (Re_{forz}^{4/5}) \cdot (Pr_{forz}^{1/3})$ } {Régimen turbulento}

$Nu_f = 0,453 \cdot (Re_{forz}^{0,5}) \cdot (Pr_{forz}^{1/3})$  {Correlación convección forzada flujo paralelo placa plana, pag 172}

{Cálculo de la viscosidad que nos gustaría tener fijada una velocidad 10 veces menor que la calculada}

$Re_{forz} = (v_{queremos} \cdot L) / \nu_{que}$

$v_{queremos} = v_f / 100$

## Anexo C. DATOS Y RESULTADOS DE SIMULACIÓN

---

En este anexo se presentan todos los modelos de simulación creados, las propiedades físicas más importantes de los materiales que componen dichos modelos y así como algunos de los resultados obtenidos con dichos modelos de simulación.

Grupo 1 : refrigeración por convección natural utilizando los cuatro fluidos de la tabla 3.1

1. Simulación con el modelo 2D realizando la refrigeración por convección natural.
2. Simulación con el modelo 2D simétrico por convección natural.

Grupo 2: refrigeración por convección forzada con el aceite Tensión Centauro

3. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada de 22 mm de diámetro y 200 mm de longitud y dos de salida de 22 mm de diámetro y 30 mm de longitud situados todos en vertical.
4. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada en vertical de 22mm de diámetro y dos de salida de 11mm situados en vertical.
5. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada vertical de 11mm de diámetro y 200 mm de longitud y dos de salida de 11mm de 30 mm de longitud situados en vertical.
6. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada vertical con terminación convergente de 22mm de diámetro y 200 mm de longitud y un tubo de salida de 22 mm y 30 mm de longitud situado en vertical
7. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada en vertical de 11 mm de diámetro y 220 mm de longitud y uno de salida de 11 mm de diámetro y 30 mm de longitud situado en vertical.
8. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada vertical de 22 mm de diámetro y 230 mm de longitud y uno de salida de 22 mm de diámetro y 30 mm de longitud situado en vertical.
9. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada en vertical de 22 mm de diámetro y 220 mm de longitud y dos de salida de 22 mm de diámetro y 30 de longitud situados todos en vertical.
10. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada vertical de 11 mm de diámetro y 200 mm de longitud y uno de salida de 11 mm de diámetro y 30 mm de longitud situado en vertical.
11. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada horizontal de 22 mm de diámetro y 164 mm de longitud y uno de salida vertical de 22 mm de diámetro y 30 mm de longitud.

12. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada horizontal de 11 mm de diámetro y 140 mm de longitud y uno de salida vertical de 11 mm y 30 mm de longitud.
13. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada horizontal de 11 mm de diámetro y 140 mm de longitud y uno de salida vertical de 11 mm y 30 mm de longitud. En este modelo cambia respecto al anterior la altura a la que se coloca el tubo horizontal de entrada.
14. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada horizontal de 11 mm de diámetro y 164 mm de longitud y uno de salida vertical de 11 mm de diámetro y 30 mm de longitud.
15. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada con una inclinación de  $60^\circ$  y 11 mm de diámetro y uno de salida de 11 mm de diámetro y 30 mm de longitud situado en vertical.
16. Es parecido al modelo 15 sólo que se modifica la longitud del tubo y la altura a la que se coloca.
17. Es parecido al modelo 15 sólo que se modifica la longitud del tubo y la altura a la que se coloca.
18. Simulación con el modelo 2D que tiene un tubo de entrada en vertical de 22 mm de diámetro y 220 mm de longitud y uno de salida vertical de 22 mm de diámetro y 30 mm de longitud.

Grupo 3: refrigeración por convección natural utilizando aire y el aceite Tensión Centauro para refrigerar.

19. Simulación con el modelo 3D que sólo contiene al chip realizando la refrigeración por convección natural.
20. Simulación con el modelo 3D en el que están el chip y la placa madre refrigerado por convección natural.
21. Simulación con el modelo 3D en el que además del chip y la placa madre se incluye el radiador refrigerado por convección natural.

### C.1. DATOS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

En la tabla C.1 se muestran las propiedades de los materiales sólidos que se han empleado para en la creación de los modelos de simulación. Los valores de las propiedades de dichos materiales han sido extraídos de [8]. Debe notarse que los materiales que se han utilizado en las simulaciones en los componentes del microprocesador han sido asignados de forma aproximada pues el fabricante no indica en ningún caso los materiales constructivos. La información sobre los materiales utilizados para la fabricación de componentes electrónicos y ordenadores ha sido extraída de [13].



<b>Materiales</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Cp[J/kgK]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/mK]</b>
<b>Polimetacrilato ( extruido)</b>	1190	1470	0,19
<b>Poriestireno exp</b>	20	1210	0,04
<b>PVC</b>	1714	1050	0,092
<b>Silicio</b>	2330	712	148

TABLA C. 1 MATERIALES MODELOS DE SIMULACIÓN

La tabla C.2 contiene las propiedades más importantes de los materiales utilizados para la refrigeración del microprocesador medidas a 293 K.

<b>Líquidos Refrigerantes</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Cp[J/kgK]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/mK]</b>	<b><math>\nu</math>[m<sup>2</sup>/s]</b>	<b><math>\mu</math>[Pa*s]</b>	<b><math>\beta</math> [K<sup>-1</sup>]</b>
<b>Aire</b>	1,164	1007	2,63E-02	1,59E-06	1,85E-05	1/T
<b>Agua</b>	1000	4182	0,58	8,91E-07	8,91E-04	2,57E-04
<b>Mobiltherm 605</b>	869	1880	0,134	8,00E-05	0,0695	8,00E-04
<b>Tensión centauro</b>	871	1901	0,137	9,60E-06	8,36E-03	7,00E-04

TABLA C. 2 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE SIMULACIÓN

## C.2. RESULTADOS MODELOS 2D REFRIGERADOS POR CONVECCIÓN FORZADA

En la tabla C.3 se muestran las dimensiones de los tubos de entrada y salida para cada modelo creado y los cálculos del salto de presión necesario dependiendo de la velocidad a la que se mueve el fluido refrigerante y de la longitud del tubo. Este salto de presión es necesario para introducirlo en la condición de contorno "Pressure-outlet" de FLUENT. El salto de presión se ha calculado para realizar la refrigeración con el aceite Tensión Centauro y con las siguientes velocidades:

- Velocidad 1: 4.73 m/s
- Velocidad 2: 6.5 m/s

El que haya dos velocidades diferentes se debe a que para el cálculo de la primera se ha empleado el dato de viscosidad que aparece en las hojas de características del aceite Tensión Centauro y que está medido a 40 °C. Y para el cálculo de la velocidad 2, se emplea un valor de viscosidad que se ha interpolado para tener un valor estimativo de la viscosidad a temperatura ambiente. Aunque la velocidad 2 que aquí se emplea es ligeramente superior a la obtenida con dicho cálculo que era de 5.94 m/s. Esto se debe a que se decide dar un margen de error y por ello se simula con una velocidad algo superior

Modelos	Radio E(m)	Radio S (m)	Longitud E(m)	Longitud S(m)	$\Delta P1$ (Pa)	$\Delta P2$ (Pa)	Inclinación	m1 S (kg/s)	m2 S(kg/s)
Modelo 1	0,011	0,011	0,05	0,22	575,17	2059,20	-	1,57	2,15
Modelo 2	0,011	0,005	0,05	0,22	2783,81	9966,53	-	0,32	0,44
Modelo 3	0,005	0,005	0,05	0,22	2783,81	9966,53	-	0,32	0,44
Modelo 4	0,005	0,011	0,05	0,22	575,17	2059,20	-	1,57	2,15
Modelo 5	0,005	0,005	0,03	0,22	2783,81	9966,53	-	0,32	0,44
Modelo 6	0,011	0,011	0,02	0,22	575,17	2059,20	-	1,57	2,15
Modelo 7	0,011	0,011	0,03	0,22	575,17	2059,20	-	1,57	2,15
Modelo 8	0,005	0,005	0,03	0,22	2783,81	9966,53	-	0,32	0,44
Modelo 9	0,011	0,011	0,164	0,22	575,17	2059,20	-	1,57	2,15
Modelo 10	0,005	0,005	0,14	0,23	2910,35	10419,55	-	0,32	0,44
Modelo 11	0,005	0,005	0,14	0,23	2910,35	10419,55	-	0,32	0,44
Modelo 12	0,005	0,005	0,164	0,22	2783,81	9966,53	-	0,32	0,44
Modelo 13	0,005	0,005	-	0,22	2783,81	9966,53	60	0,32	0,44
Modelo 14	0,005	0,005	-	0,22	2783,81	9966,53	60	0,32	0,44
Modelo 15	0,005	0,005	-	0,22	2783,81	9966,53	-	0,32	0,44
Modelo 16	0,011	0,011	0,05655	0,22	575,17	2059,20	-	1,57	2,15

TABLA C. 3 DATOS DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN 2D

En la tabla C.4 se pueden ver los resultados de simulación para todos los modelos antes descritos y para las dos velocidades que se han mencionado antes.

Modelos	Tmax1(K)	Tmax2 (K)	Vmax1(m/s)	Vmax2(m/s)
Modelo 1	358,25	352,47	4,73	6,5
Modelo 2	353,28	346,307	7,107	10,081
Modelo 3	367,41	356,9847	4,732	6,5
Modelo 4	356,46	349,69	4,753	6,56
Modelo 5	367,41	356,98	4,732	6,5
Modelo 6	345,12	341,02	9,005	12,42
Modelo 7	354,74	340,25	4,73	6,5
Modelo 8	383,15	373,52	6,76	9,807
Modelo 9	363,59	354,26	7,85	10,92
Modelo 10	383,18	368,426	6,106	8,518
Modelo 11	380,73	366,25	6,107	8,509
Modelo 12	371,11	362,15	6,198	8,66
Modelo 13	358,07	352,37	6,204	8,6729
Modelo 14	344,17	336,344	7,0945	9,83
Modelo 15	348,86	343,41	6,278	8,76
Modelo 16	370,35	361,062	7,14	9,95

TABLA C. 4 RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN CONVECCIÓN FORZADA

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.1 Componentes de un procesador (Fuente [3]).....	8
Figura 2.1 Esquema de análisis .....	12
Figura 3.1 Ventana de ANSYS workbench tras la elección del tipo de análisis.....	17
Figura 3.2 Ventana del DesignModeler modelo 2D.....	17
Figura 3.3 Muestra de los modelos de simulación en 2D .....	19
Figura 3.4 Muestra de modelos de simulación en 3D y radiador .....	20
Figura 3.5 Ventana de diálogo al iniciar FLUENT .....	23
Figura 3.6 Calidad de la malla de un modelo 2D .....	23
Figura 3.7 Opciones generales para el solucionador de ecuaciones .....	24
Figura 3.8 Selección de los modelos de las ecuaciones a resolver .....	25
Figura 3.9 Selección de los parámetros de comportamiento del aceite tensión centauro .....	26
Figura 3.10 Pestaña donde se definen las condiciones de contorno.....	28
Figura 3.11 Metodologías de solución seleccionadas para las simulaciones .....	29
Figura 3.13 Opciones de la pestaña de inicio de cálculo .....	30
Figura 3.12 Valores de la pestaña de inicialización del problema .....	30
Figura 3.14 Líneas de velocidad del movimiento del aceite Tensión centauro.....	33
Figura 3.15 Mapa de temperatura de la simulación 2D con aceite Tensión centauro	34
Figura 3.16 Contornos de velocidad de las simulaciones 2D forzadas .....	35
Figura 3.17 Contorno velocidad modelo 19.....	36
Figura 3.18 Contorno de velocidad del modelo 21.....	36
Figura 4.1 Instalación de la toma de medidas .....	37
Figura 4.2 Esquema de la toma de medidas de la instalación (fuente [4]).....	38
Figura 4.3 Esquema de la posición de los termopares en la superficie del chip y del radiador.....	39
Figura 4.4 Sonda amperimétrica.....	39
Figura 4.6 Termopar de hilo tipo T .....	40
Figura 4.5 Registrador Pico TC-08 .....	40
Figura 4.7 Medidas de temperatura y potencia en el ensayo de un reproductor de video .....	42
Figura 4.8 Medidas de temperatura y potencia en el ensayo de un reproductor de video hd .....	43
Figura 4.9 Medidas de temperatura y potencia en el ensayo Lapack .....	44
Figura 4.10 Medidas de temperatura y potencia en el ensayo modo sleep .....	44
Figura 4.11 Medidas de temperatura y potencia en el ensayo con 4 reproductores de video.....	45
Figura 4.12 Medidas de temperatura y potencia del ensayo con 4 reproductores de video HD.....	45
Figura 4.13 Medidas de temperatura y potencia del ensayo Lapack .....	45
Figura 4.14 Medidas de temperatura y potencia del ensayo en modo sleep .....	46



Figura A. 1 Procesador Intel Atom D510.....	54
Figura A. 2 Fuente de alimentación y Disco duro .....	54
Figura A. 3 Recipiente continente del microprocesador .....	55
Figura A. 4 Microprocesador sin el radiador.....	55
Figura A. 5 Sistema de sujeción de los termopares .....	56
Figura A. 6 Termopar con macarrón termo retráctil .....	56
Figura A. 8 Vista de cerca de los termopares.....	57
Figura A. 7 Posición final de los termopares.....	57
Figura A. 9 Procesador situado dentro de la pecera.....	57
Figura A. 10 Procesador sobre la plancha de porexpan .....	57
Figura A. 12 Aspecto final con los cables conectados.....	58
Figura A. 11 Panel de control del procesador.....	58
Figura A. 13 Posición de los termopares sobre el radiador .....	59
Figura A. 14 Instalación final.....	59

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2.1 Propiedades del aceite Mobiltherm 605.....	11
Tabla 2.2 Viscosidades de distintos aceites dieléctricos.....	14
Tabla 3.1 Materiales utilizados para la refrigeración.....	31
Tabla 3.2 Resultados de simulación 2D convección natural.....	33
Tabla 3.3 Resultados de simulación de algunos de los modelos refrigerados .....	34
Tabla 5.1 Valores máximos de temperatura y consumo en los experimentos.....	47
Tabla 5.2 Resultados de simulación con aire .....	48
Tabla B. 1 Principales propiedades físicas de los fluidos refrigerantes.....	60
Tabla C. 1 Materiales modelos de simulación .....	67
Tabla C. 2 Propiedades de los fluidos de simulación .....	67
Tabla C. 3 Datos de los modelos de simulación 2D.....	68
Tabla C. 4 Resultados de simulación en convección forzada.....	68