

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE  
REFRIGERACION LIQUIDA APLICADA EN  
COMPUTADORES COMO UNA ALTERNATIVA A LA  
REFRIGERACION CONVENCIONAL**

**JORGE ANDRES ARDILA FIGUEROA  
CRISTIAN DAVID ESPINEL RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2.007**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE  
REFRIGERACION LIQUIDA APLICADA EN  
COMPUTADORES COMO UNA ALTERNATIVA A LA  
REFRIGERACION CONVENCIONAL**

**JORGE ANDRES ARDILA FIGUEROA  
CRISTIAN DAVID ESPINEL RAMIREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director**

**OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2.007**

## DEDICATORIA

A mi madre Alicia, mi hermano Juan y mi novia Johanna Patricia sin los cuales nada de esto hubiera sido posible.

JORGE

A mi madre, que quiero mucho quien siempre me ha apoyado, brindado todo su amor y comprensión.

A Diego mi hermano, quien siempre me ha apoyado y ha sido mi amigo y un ejemplo.

A Khatty mi hermana, que me incitaba a terminar rápido y estaba ahí para apoyarme.

A mi compañero de proyecto Jorge Ardila, gracias a su ayuda, y colaboración, hicimos realidad este proyecto.

A Lady mi novia por su apoyo, por su fuerza y ante todo por su alegre compañía en el transcurso y culminación de mi carrera.

A mis amigos que nunca faltaron y que siempre estuvieron ahí brindándome su apoyo y colaboración.

CRISTIAN

## **AGRADECIMIENTOS**

A Omar Armando Gelvez Arocha, nuestro Director de Proyecto por apoyar nuestros esfuerzos e impulsarnos ante las dificultades...Gracias.

A nuestras madres por su incondicional apoyo y paciencia...Gracias.

A Diego Yonathan Moreno por su constante apoyo, su aporte al conocimiento, por su ayuda en la instalación y pruebas del sistema de refrigeración, sus consejos y ante todo su ejemplo de perseverancia.

A nuestros compañeros de Universidad, por el conocimiento compartido y en especial por su fuerza de motivación y apoyo: Lady Johanna Mendoza, Zulma Yajaira Cagua, Leonardo Quiroga Jordan, Juan Manuel Quiroga, Gustavo Adolfo Marun, Oscar Fernando Romero.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
<b>1. REFRIGERACION DE LOS COMPUTADORES.....</b>	<b>17</b>
1.1 REFRIGERACION CONVENCIONAL.....	18
1.2 REFRIGERACION LIQUIDA.....	19
1.2.1 BLOQUES INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	21
1.2.2 BOMBA DEL SISTEMA.....	22
1.2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS ALETEADOS (RADIADOR).....	23
1.2.4 TUBOS Y ACCESORIOS.....	24
1.3 DINAMICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA REFRIGERACION LIQUIDA EN COMPUTADORES.....	25
1.4 TEORIA DEL OVERCLOCKING.....	28
1.4.1 QUE ES EL OVERCLOCKING.....	28
1.4.2 PORQUE SE PUEDE HACER EL OVERCLOCKING.....	29
1.5 ANALISIS DE LA REFRIGERACION CONVENCIONAL.....	31
1.5.1 CALCULO DEL CALOR MAXIMO DISIPADO POR EL SISTEMA CONVENCIONAL.....	33
1.5.2 EFECTO DE LA VARIACION DEL COEFICIENTE DE CONVECCION SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MAXIMA.....	36
1.5.3 EFECTO DE LA LONGITUD DE LAS ALETAS SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.....	38

1.5.4	EFEECTO DEL AREA DE LAS ALETAS SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.....	40
1.5.5	EFEECTO DEL MATERIAL DE LAS ALETAS SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.....	43
<b>2.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION ALTERNATIVO.....</b>	<b>45</b>
2.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED HIDRAULICA.....	45
2.2	ANALISIS DE CADA UNO DE LOS TRAMOS QUE COMPONEN EL SISTEMEMA HIDRAULICO.....	48
2.3	CALCULO DEL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRAULICO.....	50
2.4	DEFINICION DE LAS VARIABLES DEL MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	53
2.4.1	PROCESADOR (1).....	53
2.4.2	CHIPSET DE LA BOARD (2).....	55
2.4.3	CHIPSET DE LA TARJETA DE VIDEO (3).....	55
2.4.4	INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	55
2.5	DISEÑO DEL BLOQUE INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL PROCESADOR.....	55
2.5.1	CALCULO DEL CALOR MAXIMO DISIPADO POR EL BLOQUE...57	
2.5.2	MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CHOQUE.....58	
2.5.3	CALCULO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL BLOQUE INTERCAMBIADOR DEL PROCESADOR.....	61
2.6	RESUMEN DEL DISEÑO DE LOS BLOQUES INTERCAMBIADORES DE CALOR PARA EL CHIPSET DE LA BOARD Y EL CHIPSET DE LA TARJETA DE VIDEO.....	62

2.7 RESUMEN DE LA GEOMETRIA OBTENIDA PARA LOS BLOQUES INTERCAMBIADORES DEL CHIPSET DE LA BOARD Y LA TARJETA DE VIDEO.....	63
2.8 DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL SISTEMA.....	64
2.8.1 ANALISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	65
<b>3. CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL SISTEMA DE REFRIGERACION ALTERNATIVO.....</b>	<b>71</b>
3.1 FICHA TECNICA DEL BLOQUE DEL PROCESADOR.....	71
3.2 MONTAJE DEL SISTEMA DE REFRIGERACION ALTERNATIVO.....	73
<b>4. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION.....</b>	<b>76</b>
4.1 TESTEO DEL SISTEMA EN REGIMEN NORMAL CON REFRIGERACION CONVENCIONAL.....	76
4.2 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA BAJO CONDICIONES DE MAXIMO OVERCLOCKING CON REFRIGERACION CONVENCIONAL..	77
4.3 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA BAJO CONDICIONES DE MAXIMO OVERCLOCKING CON REFRIGERACION LIQUIDA.....	79
4.4 ANALISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO DEL PROCESADOR CON OVERCLOCK A 2380 MHZ Y PROCESADORES COMUNES EN EL MERCADO.....	81
4.4.1 MANEJO ARITMETICO Y PUNTO FLOTANTE.....	81
4.4.2 TEST MULTIMEDIA.....	83
4.4.3 TEST CPU QUEEN.....	84
4.5 RESULTADOS TESTEO DE LA TARJETA DE VIDEO.....	85

<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>92</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Disipador de calor convencional.....	18
Figura 2. Esquema de refrigeración líquida aplicada a computadores.....	20
Figura 3. Bloque De Simple Recorrido.....	21
Figura 4. Bomba en línea.....	22
Figura 5. Bomba sumergible.....	23
Figura 6. Radiador.....	24
Figura 7. Manguera.....	24
Figura 8. Racores.....	25
Figura 9. Esquema de funcionamiento de la refrigeración líquida.....	26
Figura 10. Esquema simplificado de la refrigeración convencional procesador.....	31
Figura 11. Esquema simplificado de la refrigeración convencional chipset board.....	31
Figura 12. Esquema del banco de aletas.....	32
Figura 13. Planteamiento del modelo físico.....	33
Figura 14. Comportamiento del $Q_{\max} [W]$ con la variación de $h [W / m^2 K]$ ...	37
Figura 15. Comportamiento del $Q_{p,máx}$ contra la longitud de la aleta.....	40
Figura 16. Variación de la transferencia de calor máxima con la variación del área de la aleta.....	43
Figura 17. Variación de la transferencia de calor máxima con la variación del material de la aleta.....	43
Figura 18. Esquema simplificado del sistema hidráulico.....	46
Figura 19. Curva de demanda del sistema.....	50
Figura 20. Curva de desempeño de la bomba centrífuga.....	51
Figura 21. Punto de operación del sistema hidráulico.....	51
Figura 22. Punto de operación del sistema hidráulico (Detalle).....	52
Figura 23. Esquema simplificado del sistema de refrigeración alternativo con base en agua.....	54
Figura 24. Detalle del bloque intercambiador de calor.....	56
Figura 25. Detalle del bloque intercambiador del procesador.....	57
Figura 26. Modelo de transferencia de calor.....	57
Figura 27. Detalle del bloque intercambiador del chipset de la board.....	63
Figura 28. Detalle del bloque intercambiador del chipset de la tarjeta de Video.....	63
Figura 29. Esquema del intercambiador de calor del sistema.....	64

Figura 30.	Modelo de transferencia de calor simplificado.....	65
Figura 31.	Dimensionamiento del intercambiador de calor del sistema.....	70
Figura 32.	Retiro del sistema convencional de refrigeración.....	73
Figura 33.	Disipadores sistema de refrigeración convencional.....	73
Figura 34.	Aplicación de la resina térmica.....	74
Figura 35.	Montaje de los bloques de cobre.....	74
Figura 36.	Conexión de las mangueras.....	75
Figura 37.	Llenado del sistema.....	75
Figura 38.	Sistema montado y en régimen de operación.....	76
Figura 39.	Parámetros del computador sin overclocking.....	77
Figura 40.	Características con overclocking de 1723 MHz.....	78
Figura 41.	Temperatura del procesador y el chipset de la board a 1723 MHz.....	79
Figura 42.	Características del computador con overclocking de 2380 MHz.....	80
Figura 43.	Prueba de manejo aritmético y punto flotante.....	82
Figura 44.	Prueba de manejo multimedia.....	83
Figura 45.	Prueba de las reinas.....	84
Figura 46.	Testeo tarjeta de video GEFORCE FX 5200 (128MB) sin Overclocking.....	85
Figura 47.	Tarjeta de video con overclock y refrigeración líquida.....	86
Figura 48.	Resultado 3D Mark máximo overclocking y refrigeración líquida..	87

## ANEXOS

Figura A1.	Generación del volumen de malla.....	93
Figura A2.	Definición de variables.....	93
Figura A3.	Solución del modelo.....	94
Figura A4.	Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador de calor (DETALLE 1).....	94
Figura A5.	Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador de calor (DETALLE 2).....	95
Figura A6.	Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador de calor (DETALLE 3).....	95
Figura A7.	Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador de calor (DETALLE 4).....	96
Figura A8.	Calculo de la caída de presión a través del bloque intercambiador.....	96
Figura B1.	Generación del volumen de malla.....	97
Figura B2.	Definición de variables y solución del modelo.....	97

Figura B3. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 1).....	98
Figura B4. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 2).....	98
Figura B5. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 3).....	99
Figura B6. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 4).....	99
Figura B7. Cálculo de la caída de presión a través del bloque intercambiador.....	100
Figura C1. Definiciones de las condiciones iniciales y cargas.....	101
Figura C2. Definición del material (Cobre electrolítico).....	101
Figura C3. Generación de la malla.....	102
Figura C4. Dirección del flujo de calor (GLOBAL).....	102
Figura C5. Dirección del flujo de calor (DETALLE 1).....	103
Figura C6. Dirección del flujo de calor (DETALLE 2).....	103
Figura C7. Detalle distribución de temperatura (PLANO INTERNO).....	104
Figura C8. Detalle de las temperaturas por ISOSURFACES.....	104
Figura D1. Racor.....	105
Figura D2. Base bloque intercambiador de calor para el procesador.....	105
Figura D3. Tapa bloque intercambiador de calor para el procesador.....	106
Figura D4. Bloque intercambiador de calor para el procesador.....	106
Figura D5. Base bloque intercambiador de calor para el chipset de la board y de la tarjeta de video.....	107
Figura D6. Tapa bloque intercambiador de calor para el chipset de la board y de la tarjeta de video.....	107
Figura D7. Bloque intercambiador de calor para el chipset de la board y de la tarjeta de video.....	108
Figura E1. Propiedades térmicas del cobre.....	108
Figura E2. Valores típicos de $h$ [ $W/m^2 \cdot K$ ].....	109

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de bloques.....	21
Tabla 2. Parámetros funcionamiento de los elementos significativos del computador.....	28
Tabla 3. Parámetros de calculo del modelo.....	33
Tabla 4. Efecto de la variación del coeficiente de convección en la transferencia de calor (resumen).....	37
Tabla 5. Efecto de la variación de la longitud de la aleta en el calor disipado.....	39
Tabla 6. Comportamiento del calor disipado con respecto al ancho de aleta.....	42
Tabla 7. Parámetros de diseño hidráulico.....	46
Tabla 8. Resumen de las perdidas mayores y menores a través del bloque del procesador.....	49
Tabla 9. Resumen: Diseño de los bloques del chipset de la board y el chipset de la tarjeta de video.....	62
Tabla 10. Resultados iteración dimensionamiento del intercambiador de calor.....	70
Tabla 11. Comparación sistema convencional vs sistema alternativo.....	88



## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO A.</b>	SIMULACION HIDRAULICA DEL BLOQUE DEL PROCESADOR.....	93
<b>ANEXO B.</b>	SIMULACION HIDRAULICA DEL BLOQUE DEL CHIPSET DE LA BOARD Y DEL CHIPSET DE LA TARJETA DE VIDEO.....	97
<b>ANEXO C.</b>	SIMULACION TERMICA DE LOS BLOQUES INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	100
<b>ANEXO D.</b>	PLANOS.....	105
<b>ANEXO E.</b>	PARAMETROS Y REFERENCIAS DE DISEÑO.....	108

## NOMENCLATURA O GLOSARIO

### NOTACIÓN

A	Área, m <sup>2</sup> .
C <sub>p</sub>	Calor específico a presión constante, Jul/Kg.°K.
D	Diámetro, m.
D <sub>h</sub>	Diámetro hidráulico, m.
E	Potencia emisiva, W/m <sup>2</sup> .
E <sub>c</sub>	Número de Eckert.
Δx	Espesor, m.
F	Factor de corrección en intercambiadores de calor.
F <sub>o</sub>	Número de Fourier.
F	Factor de fricción.
G <sub>r</sub>	Número de Grashof.
G <sub>z</sub>	Número de Graetz.
g	Aceleración gravitacional, m/s <sup>2</sup> .

### LETRAS GRIEGAS

δ <sub>h</sub>	Espesor de capa límite hidrodinámica, m.
δ <sub>t</sub>	Espesor de capa límite térmica, m.
ε	Emisividad. Efectividad de un intercambiador de calor.
η <sub>a</sub>	Eficiencia de una aleta.
η <sub>sup</sub>	Eficiencia superficial.
θ	Ángulo, grados o radianes.
λ	Longitud de onda, μm.
μ	Viscosidad dinámica, Kg.m/s.

## **SUBÍNDICES**

1,2,.. Se refiere al cuerpo que se está analizando.

c Fría.

e Externo.

h Caliente.

i Interno.

s Superficial.

w De pared.

## RESUMEN

### **TÍTULO:**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION LIQUIDA APLICADA A LOS COMPUTADORES COMO UNA ALTERNATIVA A LA REFRIGERACION CONVENCIONAL\***

### **AUTORES:**

Jorge Andrés Ardila Figueroa.  
Cristian David Espinel Ramírez. \*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

Rendimiento en PC's, overclocking, refrigeración convencional y alternativa.

### **DESCRIPCIÓN:**

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de refrigeración alternativo en base a agua como una alternativa a la refrigeración convencional, que supla los requerimientos de calor y que disminuya (o en su defecto mantenga constante) los niveles de ruido del computador consecuencia del overclock (Aumento de la velocidad del procesador).

Cuando un usuario avanzado de pc intenta mejorar aspectos como la estabilidad y rendimiento de su computador, se enfrenta a un gran problema: el calor, para el cual no esta diseñado el sistema de refrigeración convencional. Una alternativa es la refrigeración líquida, la cual consiste de una serie de bloques huecos de un metal buen conductor el cual entra en contacto por medio de una de sus caras con el elemento a refrigerar y que en su interior transporta agua o una solución de agua y refrigerante, impulsada por una bomba y que es refrigerada en un “radiador”, todo estratégicamente ubicados en la caja de la CPU.

El resultado de estas mejoras puede ser apreciado cuantificadamente por medio de software (benchmarking) especialmente diseñado para probar el computador y el rendimiento de cada uno de los campos que hacen parte de su funcionamiento, esto permite tener una dimensión de la magnitud de la conveniencia del cambio de la refrigeración convencional a la alternativa líquida.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gélvez.

## SUMMARY

### **TITLE:**

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF WATER-BASED COOLING SYSTEM APPLIED TO COMPUTERS AREA AS AN ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL COOLING SYSTEM\***

### **AUTHORS:**

Jorge Andrés Ardila Figueroa.

Cristian David Espinel Ramirez. \*\*

### **KEY WORDS:**

Pc's performance, overclocking, conventional and alternative cooling system.

### **DESCRIPTION:**

The aim of this project is to develop a water-based cooling system as an alternative to conventional cooling system, which supplies heat requirements and reduces (Or at least keep it constant) computers' noise levels, both of them after-effects of overclock (to increase processor speed).

When a geek tries to get better aspects such as computers' stability and performance, he has to face a big problem: heat, which conventional cooling system is not designed for. A choice is water-based cooling system, which consists in hollow good heat-transferor metal blocks; contact is between one block's face and electronic device to chill out. Inside block transports water or water-cooling fluid solution, pumped by a small centrifugal pump; water has to flow through a "radiator" all of them placed strategically at computer's box.

Results of these improvements can be noticed and assessed by software (benchmarking) which is designed specially to test computers and performance of every single process that conforms computer's work, this leads us to get a magnitude about to change conventional cooling system to alternative one.

---

\* Degree Work.

\*\* Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Omar Gélvez.

## INTRODUCCIÓN

Como es de conocimiento general, los requerimientos del campo de la computación, exigen día a día una capacidad en las maquinas más alta a la actual, un uso constante y confiable. Desde el punto de vista del hardware donde los componentes de un computador están en constante uso, se presenta el problema del sobrecalentamiento, actualmente mitigado con refrigeración basada en bancos de aletas y ventiladores; sin embargo este sistema no satisface por completo las nuevas exigencias del medio, ya que actualmente se desarrollan procesadores con mayor velocidad y capacidad de procesamiento de datos que generen más calor; las tarjetas de video poseen un microprocesador el cual requiere de refrigeración, los discos duros con mayor capacidad de almacenamiento de datos giran a mayores revoluciones generando calor y a su vez requieren refrigeración mas eficiente, como estos elementos existen otros con las mismas necesidades; los adelantos tecnológicos exigen nuevos sistemas de refrigeración. Los computadores son imprescindibles hoy en día, en todas las esferas de la sociedad; desde el manejo de datos hasta la producción de televisión pasando por el análisis de ingeniería, encontramos la necesidad de maquinas con un mayor poder de cálculo, capacidad de trabajo y por ende: procesadores, discos duros, tarjetas madres trabajando a mayores frecuencias (mayores velocidades) y como consecuencia aumentando los niveles de calor generado. Es en este punto donde entra la refrigeración liquida como una alternativa a los sistemas de refrigeración convencionales en base a aletas.

## 1. REFRIGERACION DE LOS COMPUTADORES

La refrigeración en los componentes electrónicos se requirió a medida que la electrónica fue evolucionando, al principio solo se utilizaba una refrigeración sencilla constituida de pequeños disipadores de temperatura para los radios, y televisores, después esta incursión en la refrigeración de los elementos electrónicos de los computadores los cuales requerían de refrigeración ya que se sobrecalentaban. El calor se puede generar de diversas formas, pero en un computador se reducen básicamente a dos: calor por rozamiento (elementos móviles, discos duros unidades de cd) y calor en los semiconductores (ley de Ohm). También hay una pequeña parte de calor que se produce en los cables y componentes pasivos, pero es despreciable frente a los mencionados anteriormente. El calor por rozamiento se produce únicamente en los componentes con partes móviles, es decir, en los medios de almacenamiento masivo, (discos duros).

Por otra parte, el calor producido en los semiconductores, cuantificable por medio de la ley de Ohm,  $Q=R*I$ , comenzó a hacerse notar con los 486 debido al incremento de I. Estos fueron los primeros microprocesadores en los que se aconsejaba el uso de un disipador y un ventilador que mantuviesen una temperatura adecuada. En los procesadores actuales estos medios de enfriamiento se han vuelto absolutamente imprescindibles, además, de haber incrementado notablemente su potencia refrigeradora. Pero no son los microprocesadores los únicos semiconductores que generan calor. Ya en los XT, los transistores de la fuente de alimentación se calentaban notablemente, y de ahí que las fuentes utilicen un ventilador. También algunas placas como tarjetas de sonido, de vídeo o controladoras SCSI alcanzan elevadas temperaturas, debido a la creciente potencia de sus componentes.

Las consecuencias de calor no serían ningún problema de no ser porque el funcionamiento de los semiconductores está íntimamente ligado con la temperatura. Cuando ésta se eleva por encima de determinados límites, su comportamiento deja de seguir el patrón para el que fueron diseñados y los fallos comienzan a sucederse (como por ejemplo cuelgues, errores en dispositivos de hardware y ralentización del funcionamiento del sistema - principalmente por el elevado calor del disco rígido y microprocesador). Si la elevación de temperatura es pequeña, cuando ésta vuelva a sus niveles normales, el semiconductor volverá a funcionar correctamente. Si la elevación es demasiada, el daño será irreversible y el componente se habrá quemado.

### 1.1 REFRIGERACION CONVENCIONAL

La forma mas común de refrigerar los componentes de un computador es utilizando el concepto de convección forzada. Este método consiste en un sumidero de calor como una superficie aleteada a la cual se incrementa el flujo de aire que circula a través de ella utilizando un ventilador con una alta velocidad en RPM, para incrementar el calor disipado por convección.

Figura 1. Disipador de calor convencional



El calor se disipa principalmente por conducción (transferencia directa del calor desde el punto de origen al disipador) y convección (transferencia desde el disipador hacia el ambiente) y en menor grado por radiación (un objeto caliente emite radiaciones electromagnéticas infrarrojas en relación a su temperatura).

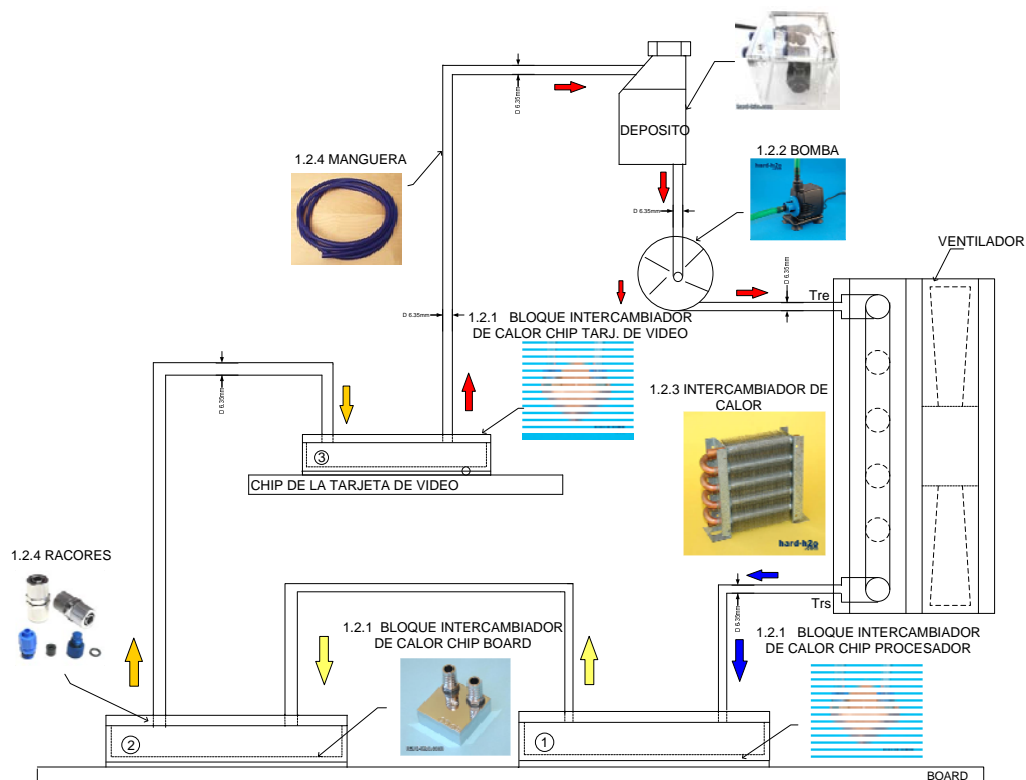
Los disipadores de calor se hacen comúnmente de un conductor térmico bueno tal como el cobre o aluminio. El cobre es apreciablemente más costoso que el aluminio aunque es mejor conductor térmico que este último. Por ello se suele utilizar con más frecuencia el aluminio. La superficie de contacto de un disipador de calor debe ser la más lisa y plana posible para asegurar el mejor contacto térmico con el objeto a ser refrigerado, sin embargo en la realidad esto no ocurre, en cada superficie se encuentran picos y valles los cuales presentan una resistencia a la transferencia de calor. A veces una grasa térmicamente conductiva (conocida bajo el nombre de silicona térmica) se emplea para asegurar el mejor contacto "térmico". Tales grasas a menudo contienen plata coloidal (un mejor conductor térmico constante que el cobre).

## 1.2 SISTEMA DE REFRIGERACION LIQUIDA

El agua es mejor conductor del calor que el aire ( $K_{\text{agua}} > K_{\text{aire}}$ ) con el que trabajan los disipadores de calor de la CPU. Es también capaz de absorber más calor antes de sus propios cambios de temperatura ( $C_{p_{\text{agua}}} = C_{p_{\text{aire}}}$ ). Por estas razones, los sistemas de enfriamiento por agua son alternativas populares que aventajan los sistemas de enfriamiento convencionales. La refrigeración líquida aplicada a los computadores poseen una gran variedad de diseños, pero en general todos los sistemas de refrigeración líquida

disponibles en el mercado poseen los elementos básicos, estos son, los bloques intercambiadores de calor encargados de tomar el calor del procesador y transmitirlo al agua, la bomba que alimenta de caudal al sistema, un deposito que sirva como el tanque de almacenaje para el líquido refrigerador, y un intercambiador de calor de tubos con aletas (radiador), que disipa el calor al aire circundante un ventilador que desplace el calor lejos del radiador además de elementos de unión y transporte del fluido de trabajo, cada uno de estos desempeña un papel importante y necesario en la refrigeración.

Figura 2. Esquema de refrigeración líquida aplicada a computadores



### 1.2.1 BLOQUES INTERCAMBIADORES DE CALOR

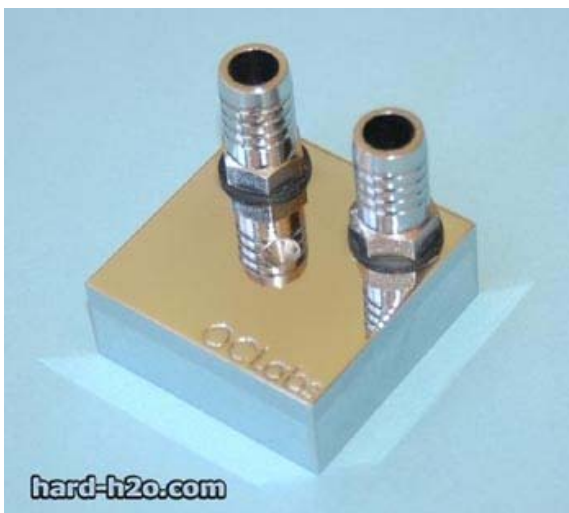
Un bloque intercambiador de calor es un elemento de geometría rectangular fabricado en cobre con dos orificios uno de entrada y otro de salida y son los encargados de transferir el calor de los chips del computador al flujo de trabajo, por tal razón son ubicado sobre estos chips como si fueran simples disipadores, además poseen unas aletas o pequeños canales en su interior para hacer mas eficiente el intercambio de calor. Los hay de muchos tipos y diseños pero se pueden clasificar como:

Tabla1. Tipos de Bloques

Simple recorrido	Un orificio de entrada	Un orificio de salida
Doble recorrido	Un orificio de entrada	Dos de salida
	Mas complejos	

La mayoría están hechos de cobre pero existen variaciones de donde se combina el cobre con acrílico como tapa.

Figura 3. Bloque De Simple Recorrido



Los bloques vienen con los racores adaptados excepto los diseños donde estos vienen montados sobre superficies en acrílico que se adaptan al bloque.

### 1.2.2 BOMBA DEL SISTEMA

Es la encargada de hacer mover el agua a través de los tubos y demás elementos del sistema. Aun que se presenten perdidas en el sistema debidas a la misma tubería y demás componentes la bomba superara estos y alimentara al sistema. Básicamente existen dos tipos de bombas para el sistema de refrigeración líquida: las **sumergibles** y las **“en línea”**.

La diferencia radica en que las primeras requieren un depósito donde se coloca dicha bomba de donde se succiona y bombea el líquido que lo rodea. En línea simplemente succiona el líquido que le proviene de un depósito.

Figura 4. Bomba en línea



Este es un ejemplo típico de una bomba en línea puede trabajar conectada al sistema por medio de la tubería, o si se desea se puede sumergir.

Figura 5. Bomba sumergible



Esta es la bomba sumergible, como se observa en la figura solo tiene el puerto de salida que va conectado a la manguera que alimenta al sistema, y el puerto de entrada está en el mismo cuerpo de la bomba, por donde entra el flujo una vez que esta se encuentre sumergida.

### **1.2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS ALETEADOS (RADIADOR)**

Encargado de enfriar el fluido refrigerante, básicamente el radiador es un intercambiador de calor de tubos con aletas y su funcionamiento consiste en hacerlo circular por sus tubos en espiral el líquido a refrigerar, estos conducen el calor a través de las aletas y estas son refrigeradas por convección forzada producida por un ventilador. Existen compactos, simples complejos y grandes, todo ello en base a lo que se requiere. Los materiales que constituyen a los radiadores suelen ser aluminio y cobre.

Figura 6. Radiador



#### 1.2.4 TUBOS Y ACCESORIOS

Son los encargados de realizar las conexiones entre los elementos bloque, radiador y bomba. Los tubos transportan el fluido refrigerante, están fabricados en plástico y se encuentran de varios diámetros.

Figura 7. Manguera



Los racores son Elementos de unión que se encargan de unir dos piezas tubulares. Se presenta de varias formas.

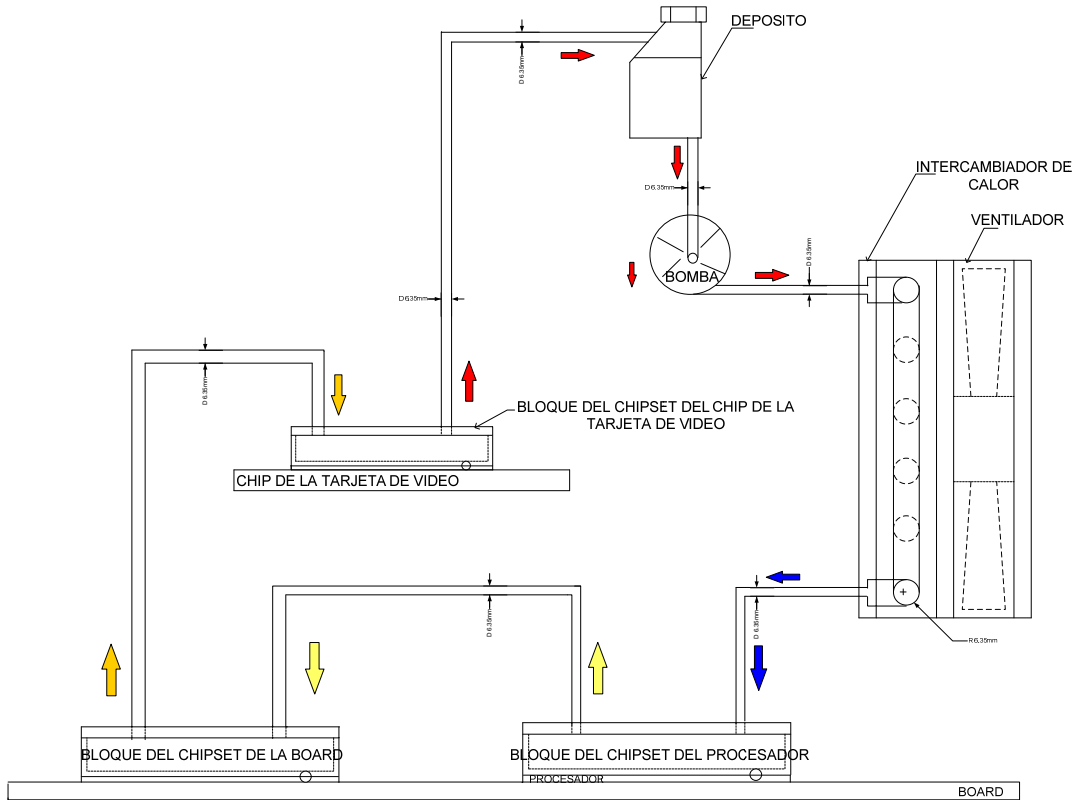
Figura 8. Racores



### **1.3 DINAMICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA REFRIGERACION LIQUIDA EN COMPUTADORES**

La dinámica de funcionamiento del sistema es bastante sencilla, este es un sistema cerrado que utilizando un refrigerante en este caso agua y que aprovecha la alta conductividad térmica del cobre para retirar el calor de desecho de los elementos significativos que conforman el computador (chip del procesador, chip de la board, y chip de la tarjeta de video), para luego retirarlo de la CPU al ambiente por medio de un intercambiador de calor de tubos aleteados de esta forma se mantienen las temperaturas de operación optima para cada elemento del computador.

Figura 9. Esquema de funcionamiento de la refrigeración líquida



El refrigerante (agua) fluye por las mangueras que comunican al sistema y transmiten el fluido, en esta parte el flujo presenta algunas pérdidas debidas a rozamiento, y por el choque del agua con las superficies internas de los bloques. El refrigerante pasa a través de los bloques intercambiadores de calor en donde toman el calor que estos están conduciendo y el cual proviene de los elementos generadores de calor, procesador, chip set de la board, y chip tarjeta de video, como vemos son tres bloques intercambiadores de calor y aunque cada uno tiene la misma función, las condiciones de trabajo cambian debido a las temperaturas de operación de cada elemento, el procesador trabaja con una temperatura de  $T_{procesador}$  [C] en condiciones normales y disipa un calor de  $Q_{procesador}$  [W], parte de este calor es absorbido

por el refrigerante (agua) el cual se desplaza por el sistema con un caudal de  $\dot{V}_{sist.}$  y una altura de  $H_{sist.}$  producido por la bomba, después de que pasa por este bloque, el agua incrementado un poco su temperatura pasa al bloque del chip set de la board el cual opera a una temperatura de  $T_{board}$  [C] y disipa un calor de  $Q_{board}$  [W] en esta parte el agua incrementa un poco mas su temperatura debido a la transferencia de calor de este bloque al agua, sin embargo de ahí el agua pasa por el tercer y ultimo bloque el del chip de la tarjeta de video, este opera a una temperatura de  $T_{tar.video}$  [C] en condiciones normales y disipa un calor de  $Q_{tar.video}$  [W] según indicaciones del fabricante. Una vez el agua sale de este bloque pasa por el deposito donde reposa por un momento para luego regresar a la bomba, la cual la impulsa al sistema para pasar por el intercambiador de calor de tubos aleteados (radiador) el cual presenta una convección forzada producida por un ventilador en este elemento el calor ganado por el agua es transmitido al medio, y así se cumple el ciclo que empieza de nuevo.

Tabla 2. Parámetros de funcionamiento de los elementos significativos del computador

CPU	TEMPERATURAS	CALOR DE DESECHO	CAPACIDAD DEL SISTEMA DE REFRIGERACION CONVENCIONAL	CALOR DE DESECHO BAJO MAXIMO OVERCLOCK
AMD SEMPRON 2800+	BOARD= 41°C PROC.=36°C	BOARD=14 W PROC.=28 W	BOARD=20 W PROC.=34 W	BOARD=30 W PROC.=70 W
AMD SEMPRON 3400+	BOARD= 43°C PROC.=38.5°C	BOARD=30 W PROC.=70 W	BOARD=35 W PROC.=75 W	BOARD=45 W PROC.=114 W
TARJETA DE VIDEO	GPU= 38°C	GPU=14 W	GPU=30 W	GPU=30 W

## 1.4 TEORIA DEL OVERCLOCKING

### 1.4.1 QUE ES EL OVERCLOCKING

El overlocking consiste en forzar los componentes de un computador para que den un mayor rendimiento. Normalmente se suele forzar el microprocesador del computador aunque también se pueden forzar otros componentes como las tarjetas gráficas, las memorias, el bus (con todos sus dispositivos conectados) PCI, el AGP.

La forma más común y sencilla es hacer es poner el componente a trabajar a mayor velocidad de la que el fabricante nos dice. Por ejemplo si tenemos un AMD Sempron 2800+ que da una frecuencia neta de 1600 MHz, lo

podríamos llevar a trabajar a 2400 MHz teóricamente. El resto de componentes se suelen forzar con el bus con el que se conectar a la placa base (como una consecuencia del overclock del procesador), subiendo la frecuencia interna y de comunicación de los componentes. Los procesadores de las tarjetas gráficas también se suelen forzar, pero normalmente por programas especializados.

Overclocking viene del inglés over --> sobre y clock --> reloj, quiere decir que subimos la frecuencia del reloj interno del componente. Los famosos Mhz son unos impulsos que da una especie de "reloj" que llevan los componentes y se encargan de que todo vaya sincronizado.

#### **1.4.2 PORQUE SE PUEDE REALIZAR EL OVERCLOCKING**

Para saber por qué se pueden forzar los componentes electrónicos tenemos que remontarnos a su fabricación. Después de estar diseñado un procesador mediante cálculos de voltaje, disipación de calor... solo se llega a saber a que frecuencia real puede trabajar el procesador cuando esta construido y se monta en un banco de pruebas. Poniendo un ejemplo supongamos que se van a fabricar Pentium Celeron a 500 MHz Pero, claro, no todos los procesadores salen igual: hay algunos en los que las interconexiones están mejor que en otros y así mil cosas más. Por lo que ponen a trabajar todos los procesadores a 500 MHz Pongamos que los procesadores funcionan de manera estable hasta 60° C, pues bien, como los fabricantes no se pueden arriesgar para pasar la prueba no pueden pasar de 50° C. Así los que funcionando a 500 MHz mantienen una temperatura por debajo de los 50° C serán marcados para ser vendidos a esa velocidad y los que se caliente por encima de los 50° C serán

puestos a trabajar a 466 MHz Los que aún así sigan superando los 50° C los bajaran a 433 MHz y así continuamente hasta que se encuentre la velocidad a la que no se sobrecalienta y los que no pasen ninguna prueba se vuelven a fundir.

Esto implica que hay procesadores que pasan la prueba con 49,9° C y los hay que la superan con 35° C. Claramente, el procesador que solo se ha calentado a 35° C lo podremos poner a trabajar a bastante mayor velocidad que el otro. Dependiendo de como sea nuestro procesador lo podremos forzar más menos o nada.

## 1.5 ANALISIS DE LA REFRIGERACION CONVENCIONAL

A continuación analizaremos el sistema de refrigeración convencional por aletas con el fin de averiguar las prestaciones máximas de disipación de calor, y desvirtuar la posibilidad de que la refrigeración por aletas supla las necesidades de disipación del computador en condiciones de overclocking.

Figura 10. Esquema simplificado de la refrigeración convencional procesador

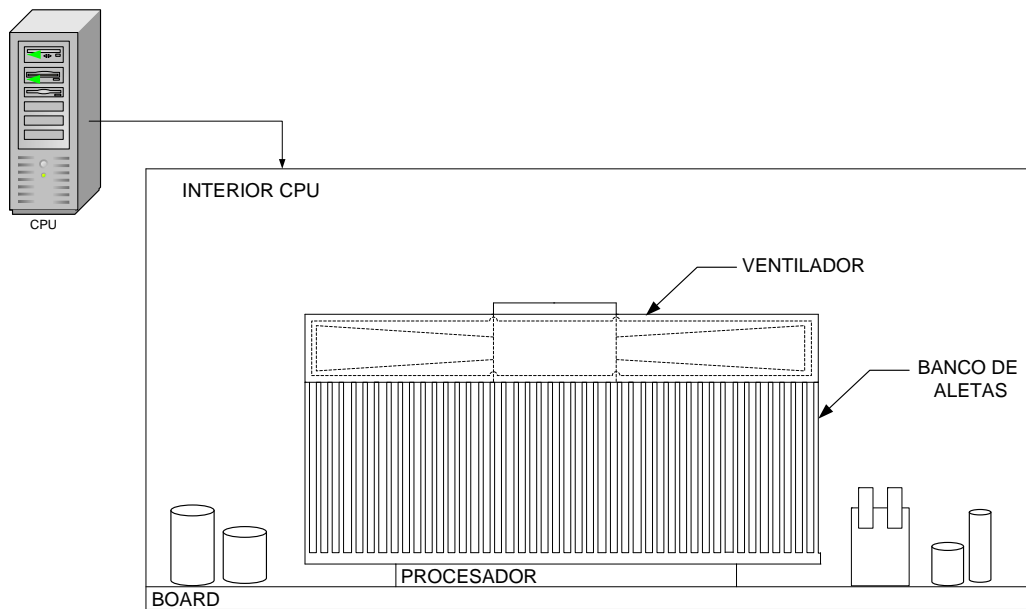
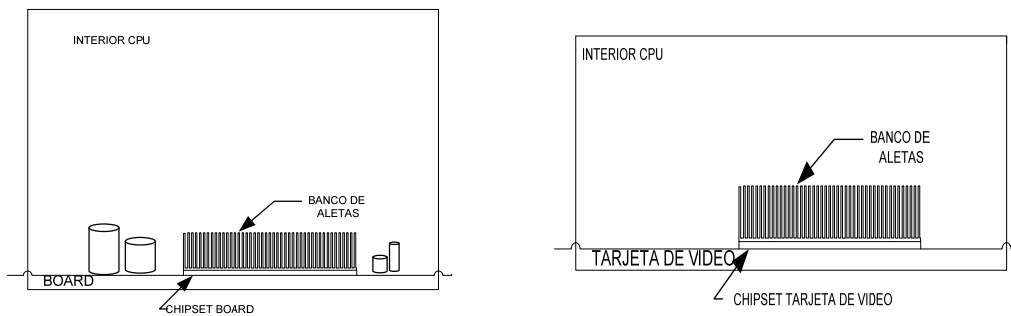


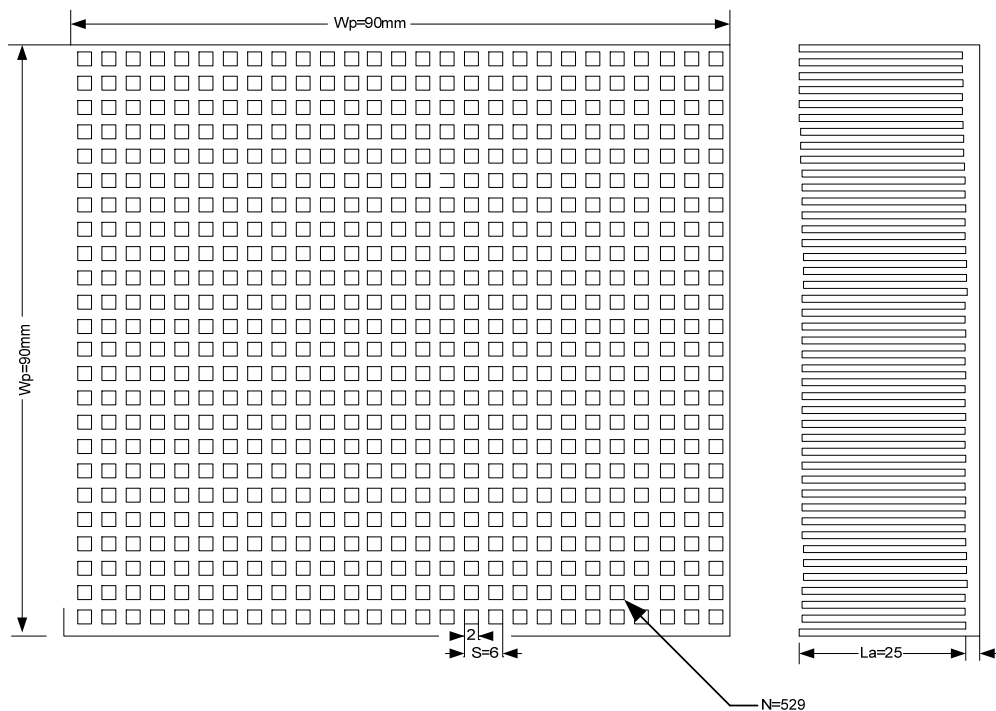
Figura 11. Esquema simplificado de la refrigeración convencional chipset board



## PLANTEAMIENTO DEL MODELO

A continuación se analiza el comportamiento del sistema convencional que poseen todos los computadores personales en el comercio.

Figura 12. Esquema del banco de aletas



## DATOS DEL MODELO

Para analizar de manera simple el modelo se hacen algunas suposiciones que no implican un gran error y que permiten obtener los resultados necesarios para cuantificar la efectividad del sistema.

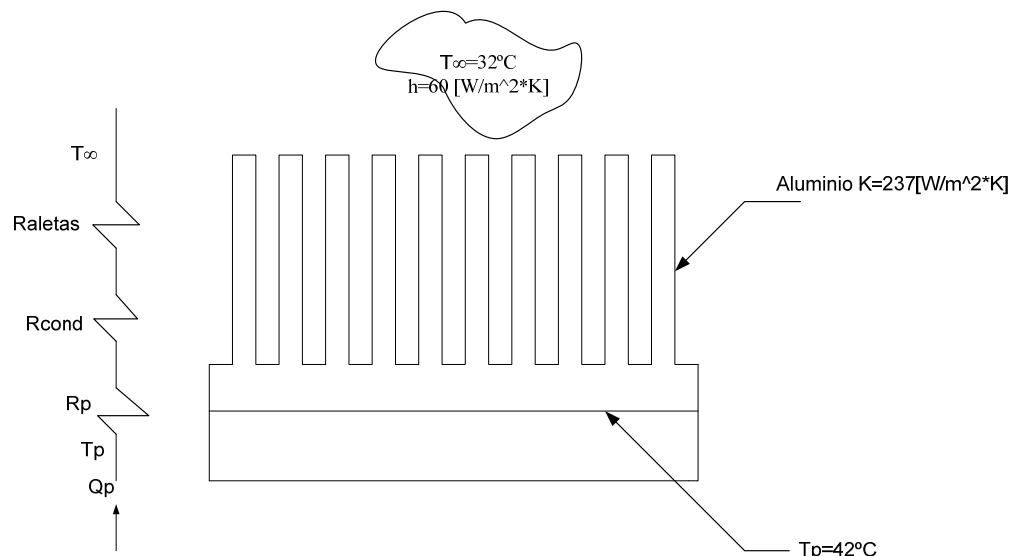
Suponemos, pues, condiciones de estado estable, propiedades constantes, intercambio de radiación insignificante con los alrededores y coeficiente de convección uniforme sobre la superficie externa.

Tabla 3. Parámetros para el cálculo del modelo

PROPIEDADES GEOMETRICAS	TEMPERATURAS	PROPIEDADES FISICAS
Numero de aletas: $N=529$ Ancho de aleta (cuadrada): $W_a=2$ [mm] (Parámetro) Ancho del banco: $W_p=90$ [mm] Longitud de aleta: $L_a=25$ [mm] (Parámetro) Ancho de la base del banco: $\delta =5$ [mm]	Temperatura en la placa del procesador: $T_p=42^\circ\text{C}$ Temperatura del ambiente dentro de la CPU: $T_\infty =32^\circ\text{C}$	Conductividad térmica del aluminio: $K_{aluminio} =237$ [W / m * K] (Parámetro) Resistencia térmica de la placa del procesador: $R''_p = 4.68 \times 10^{-6}$ [m <sup>2</sup> * K / W] $h=60$ [W / m <sup>2</sup> * K]

### 1.5.1 CALCULO DEL CALOR MAXIMO DISIPADO POR EL SISTEMA CONVENCIONAL

Figura 13. Planteamiento del modelo físico



## CALCULO DE LA GEOMETRIA

1. Calculo del área total de la base:

$$A_{tb} = W_p^2 = 0.09^2 \Rightarrow A_{TB} = 0.0081[m^2]$$

2. Calculo del área de una aleta:

$$A_a = W_a^2 + 4W_a * L_a$$

$$A_a = [2 \times 10^{-3}]^2 + 4 * 2 \times 10^{-3} * 0.025$$

$$A_a = 0.0022[m^2]$$

3. Calculo del área de la superficie aleteada total:

$$A_{sta} = N(4 * W_a * L_a) + (W_p - N W_a^2)$$

$$A_{sta} = 529(4 * 0.002 * 0.025) + (0.09^2 - 529 * 0.002^2)$$

$$A_{sta} = 0.111[m^2]$$

## ANALISIS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Del análisis del fenómeno de transferencia de calor obtenemos que la transferencia de calor máxima del sistema es:

$$Q_{p,máx} = \frac{T_p - T_\infty}{R_p + R_{cond} + R_{aletas}}$$

1. Calculando la resistencia asociada a la placa que cubre el chip del procesador:

$$R_p = \frac{R_p''}{A_{tb}} = \frac{4.68 \times 10^{-6} [m^2 K / W]}{0.0081 [m^2]} \Rightarrow R_p = 5.78 \times 10^{-4} [K / W]$$

2. Calculando la resistencia asociada a la base de la superficie aleteada:

$$R_{cond.} = \frac{\delta}{K * A_{tb}} = \frac{0.005[m]}{237[W / m * K] * 0.0081[m^2]} \Rightarrow R_{cond.} = 2.63 \times 10^{-3} [K / W]$$

3. Calculo de la resistencia asociada al banco de aletas:

$$R_a = \frac{1}{\eta_0 * h * A_{sat}}$$

Pero,

$$\eta_0 = 1 - \frac{N * A_a}{A_{sat}} * (1 - \eta_f)$$

Donde,

$$\eta_f = \frac{\tanh(\beta L_a)}{\beta L_a} \quad \text{pero} \quad \beta = \sqrt{\frac{2 * h}{K * W_a}}$$

Calculando  $\beta$ :

$$\beta = \sqrt{\frac{2 * 60[W / m^2 * K]}{237[W / m * K] * 0.002[m]}}$$

$$\beta = 15.9[m^{-1}]$$

Calculando  $\eta_f$

$$\eta_f = \frac{\tanh(15.91 * 0.025)}{15.91 * 0.025} \Rightarrow \eta_f = 0.95$$

Calculando  $\eta_0$

$$\eta_0 = 1 - \frac{529 * 0.0022}{0.111} (1 - 0.95) \Rightarrow \eta_0 = 0.484$$

Entonces  $R_a$  es:

$$R_a = \frac{1}{0.478 * 60 [W / m^2 * K] * 0.111 [m^2]} \Rightarrow R_a = 0.314 [K / W]$$

4. Calculo de la transferencia de calor máxima para este arreglo de aletas y las condiciones dadas:

$$Q_{p,m\acute{a}x} = \frac{42 - 32}{5.78 \times 10^{-4} + 2.6 \times 10^{-3} + 0.314} \Rightarrow Q_{p,m\acute{a}x} = 31.4 [W]$$

Luego el calor que disipa el sistema de refrigeración convencional con base a aletas alcanza un valor máximo, en las condiciones dadas, y éste es 31 [W], cuando el calor que se requiere disipar en condiciones de overclocking es 70 [W], de esta forma llegamos a la conclusión de que el sistema de refrigeración convencional disipa menos de la mitad del calor que genera el procesador al aumentar su frecuencia a 2400 MH (desde 1600MH que es la frecuencia original de fabrica).

A continuación revisaremos el efecto de la variación de algunos parámetros del diseño original del sistema convencional, y observaremos la influencia sobre la disipación máxima.

### 1.5.2 EFECTO DE LA VARIACION DEL COEFICIENTE DE CONVECCION SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MAXIMA

$$Q_{p,m\acute{a}x} = \frac{T_p - T_\infty}{R_p + R_{cond} + R_{aletas}}$$

Pero,

$$R_p = 5.78 \times 10^{-4} [K/W] \quad \text{y}, \quad R_{cond.} = 2.63 \times 10^{-3} [K/W]$$

Si se parametriza el valor de h de:

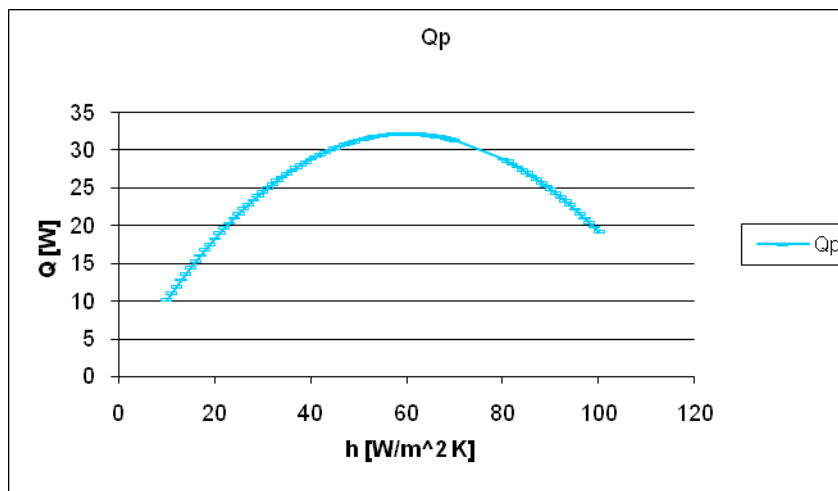
$$R_a = \frac{1}{\eta_0 * h * A_{sat}}$$

Obtenemos una la relación entre el coeficiente de convección y el calor.

Tabla 4. Efecto de la variación del coeficiente de convección en la transferencia de calor (resumen)

h [W / m <sup>2</sup> * K ]	$\beta$	$\eta_f$	$\eta_0$	$R_a$ [ K / W ]	$Q_p$ [W]
10	6.49	0.99130215	0.90945534	0.98364633	10.1335261
11	6.81241514	0.99044233	0.90050469	0.90311216	11.034006
12	7.11533555	0.98958431	0.89157268	0.83614646	11.9143578
13	7.40587605	0.98872807	0.88265925	0.77962171	12.7746762
14	7.68544078	0.98787362	0.87376434	0.73130409	13.6150545
15	7.95518699	0.98702093	0.8648879	0.68955558	14.435585
16	8.21608179	0.98617001	0.85602985	0.65314779	15.2363588
17	8.46894326	0.98532086	0.84719016	0.62114148	16.017466
18	8.71447072	0.98447346	0.83836875	0.59280624	16.7789952
19	8.95326756	0.98362782	0.82956557	0.56756556	17.5210343
20	9.1858587	0.98278392	0.82078056	0.54495833	18.2436699

Figura 14. Comportamiento del  $Q_{max}$  [W] con la variación de h [W / m<sup>2</sup> K ]



La opción de aumentar el coeficiente de convección (cambiar el ventilador por uno superior), tiene un efecto negativo en la cantidad de calor disipado.

A continuación revisaremos la influencia de algunos cambios geométricos en la configuración del banco de aletas.

Debido a la configuración física y montaje de los elementos del computador, la única posibilidad de alterar el banco de aletas es variar la longitud de las mismas.

### 1.5.3 EFECTO DE LA LONGITUD DE LAS ALETAS SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Re-calculando las áreas de interés,

1. Calculo del área total de la base:

$$A_b = 0.0081[m^2]$$

2. Calculo del área de una aleta:

$$A_a = 0.002 + 0.008L_a$$

3. Calculo del área de la superficie aleteada total:

$$A_{sta} = 4.232L_a + 0.005984$$

4. Calculando la resistencia asociada al banco de aletas cuando la longitud de estas varia,

$\beta$  es:

$$\beta = 15.9[m^{-1}]$$

Calculando  $\eta_f$

$$\eta_f = \frac{\tanh(15.91 * L_a)}{15.91 * L_a}$$

Calculando  $\eta_0$

$$\eta_0 = 1 - \frac{529 * (0.002 + 0.008L_a)}{4.232L_a + 0.005984} (1 - \eta_f)$$

$$\eta_0 = 1 - \frac{1.058 + 4.232L_a}{4.232L_a + 0.005984} (1 - \eta_f)$$

Entonces  $R_a$  es:

$$R_a = \frac{1}{\eta_0 * 60 * (4.232L_a + 0.005984)}$$

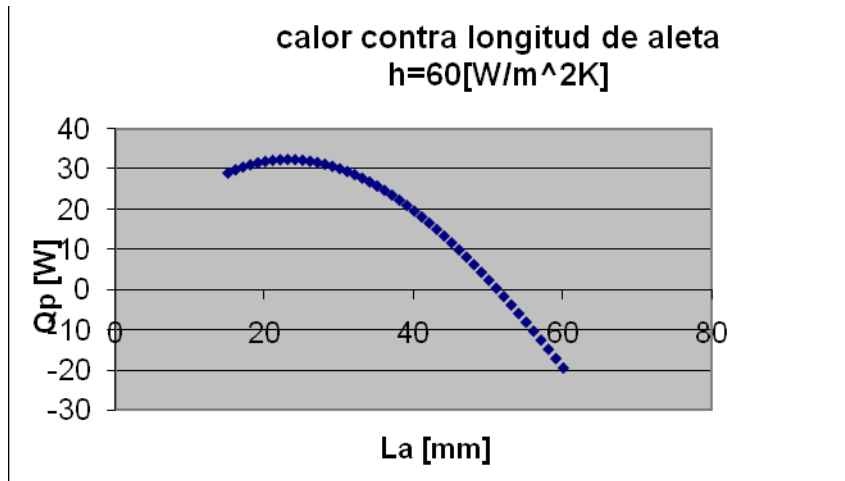
Parametrizando obtenemos,

Tabla 5. Efecto de la variación de la longitud de la aleta  $L_a$  en el calor disipado

$Q_p$  [W] (resumen).

$L_a$ [mm]	$\eta_f$	$\eta_0$	$R_a$ [K / W]	$Q_p$ [W]
15	0.98143553	0.70028101	0.34262308	28.9183598
16	0.97894236	0.67834289	0.33339229	29.7114753
17	0.97630503	0.65642653	0.32581351	30.3959209
18	0.97352649	0.63454697	0.31968668	30.9727282
19	0.97060982	0.61271852	0.31485762	31.4430185
20	0.96755819	0.59095487	0.31120833	31.8079992
21	0.96437492	0.56926915	0.30865001	32.0689604
22	0.9610634	0.54767399	0.30711821	32.2272708
23	0.95762711	0.52618153	0.30656937	32.2843745
24	0.95406963	0.50480342	0.30697851	32.241787
25	0.95039462	0.4835509	0.3083379	32.1010907
26	0.94660577	0.46243475	0.31065647	31.8639316
27	0.94270686	0.4414653	0.31395999	31.5320152
28	0.93870172	0.42065247	0.318292	31.1071016
29	0.9345942	0.40000573	0.3237155	30.5910027
30	0.93038819	0.37953413	0.33031567	29.9855768
31	0.9260876	0.35924628	0.33820368	29.2927255

Figura 15. Comportamiento del  $Q_{p,máx}$  contra la longitud de la aleta



#### 1.5.4 EFECTO DEL AREA DE LAS ALETAS SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Calculo de la geometría del banco de aletas cuando el área de las aletas varía

1. Calculo del área total de la base

$$A_{tb} = W_p^2 = 0.09^2 \Rightarrow A_{tb} = 0.0081 [m^2]$$

2. Calculo del área de una aleta

$$A_a = W_a^2 + 4 * W_a * L_a$$

3. Calculo del área de la superficie aleteada total

$$A_{sat} = N(0.1 * W_a) + (0.0081 - N * W_a)$$

4. Calculo de N en función de  $W_a$  (Aletas cuadradas)

$$S = 2 * W_a$$

$$W_p = (\sqrt{N} - 1) * S + W_a$$

$$\frac{W_p - W_a}{S} + 1 = \sqrt{N}$$

$$\text{Pero } S = 3 * W_a \Rightarrow N = \left( \frac{0.0081 - W_a}{2W_a} + 1 \right)^2$$

Analizando la transferencia de calor

1. Calculando la resistencia asociada a la placa del chip del procesador

$$R_p = \frac{R_p''}{A_{tb}} = \frac{4.68 \times 10^{-6} [m^2 K / W]}{0.0081 [m^2]} \Rightarrow R_p = 5.78 \times 10^{-4} [K / W]$$

2. Calculando la resistencia asociada a la base de la superficie aleteada

$$R_{cond.} = \frac{\delta}{K * A_{tb}} = \frac{0.005 [m]}{237 [W / m * K] * 0.0081 [m^2]} \Rightarrow R_{cond.} = 2.63 \times 10^{-3} [K / W]$$

3. Calculo de la resistencia asociada al banco de aletas

$$R_a = \frac{1}{\eta_0 * h * A_{sat}}$$

Donde,

$$\beta = \sqrt{\frac{2 * 60}{237 * W_a}} \quad \text{entonces,} \quad \beta = \sqrt{\frac{0.506}{W_a}}$$

Calculando  $\eta_f$

$$\eta_f = \frac{\tanh(\beta L_a)}{\beta L_a} \Rightarrow \eta_f = \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{0.506}{W_a}} * 0.025\right)}{\left(\sqrt{\frac{0.506}{W_a}} * 0.025\right)}$$

$$\text{Pero, } \eta_0 = 1 - \frac{N * A_a}{A_{sat}} * (1 - \eta_f)$$

Donde

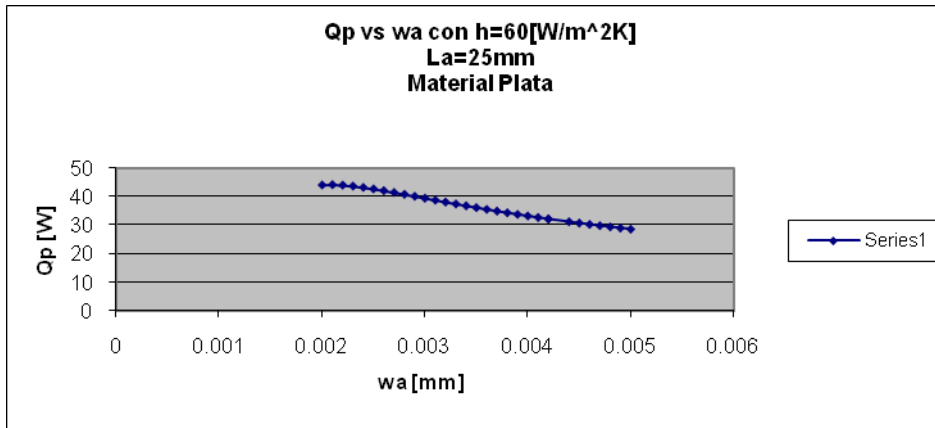
$$N = \left( \frac{0.0081 - W_a}{2W_a} + 1 \right)^2, A_a = W_a^2 + 4 * W_a * L_a,$$

$$A_{sat} = N(0.1 * W_a) + (0.0081 - N * W_a)$$

Tabla 6. Comportamiento de  $Q_p[W]$  con respecto a  $W_a[m]$

$W_a[m]$	$A_{cara}[m^2]$	$N_{red.}$	$A_a[m^2]$	$A_{sat}[m^2]$	$Q_p[W]$
0.002	0.000004	529	0.002504	0.111784	44.1947925
0.0021	0.00000441	480.6122449	0.00250441	0.10696047	44.2926374
0.0022	0.00000484	438.8429752	0.00250484	0.10257524	44.1382524
0.0023	0.00000529	402.1996837	0.00250529	0.09857116	43.8168754
0.0024	0.00000576	370.5	0.00250576	0.09490056	43.3542455
0.0025	0.00000625	342	0.00250625	0.09152344	42.8247638
0.0026	0.00000676	316.8639053	0.00250676	0.08840593	42.2300023
0.0027	0.00000729	294.4444444	0.00250729	0.08551918	41.5967303
0.0028	0.00000784	274.3622449	0.00250784	0.08283847	40.9399886
0.0029	0.00000841	256.3020214	0.00250841	0.08034248	40.2709862
0.003	0.000009	240	0.002509	0.07801275	39.5980693
0.0031	0.00000961	225.2341311	0.00250961	0.07583318	38.9274319
0.0032	0.00001024	211.8164063	0.00251024	0.07378969	38.2636421
0.0033	0.00001089	199.5867769	0.00251089	0.07186991	37.6100344
0.0034	0.00001156	188.4083045	0.00251156	0.07006293	36.9690039
0.0035	0.00001225	178.1632653	0.00251225	0.06835908	36.3422297
0.0036	0.00001296	168.75	0.00251296	0.06674976	35.7308433
0.0037	0.00001369	160.0803506	0.00251369	0.06522731	35.1355587
0.0038	0.00001444	152.0775623	0.00251444	0.06378486	34.5567709
0.0039	0.00001521	144.6745562	0.00251521	0.06241627	33.9946327
0.004	0.000016	137.8125	0.002516	0.061116	33.4491137
0.0041	0.00001681	131.4396193	0.00251681	0.05987904	32.9200456
0.0042	0.00001764	125.5102041	0.00251764	0.05870088	32.4071582

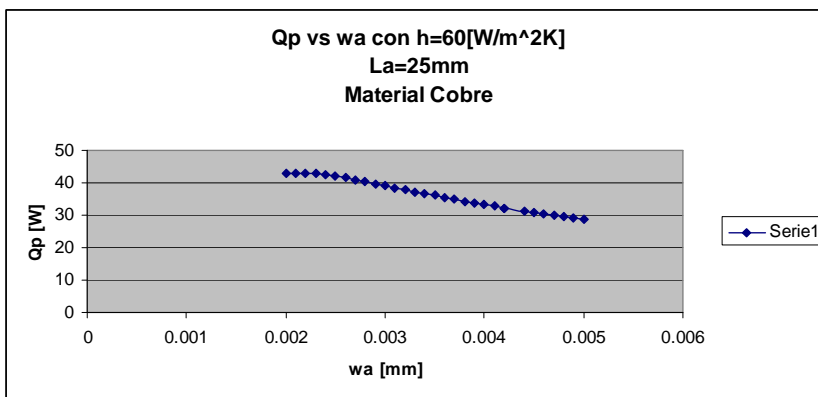
Figura 16. Variación de la transferencia de calor máxima con la variación del área de la aleta



### 1.5.5 EFECTO DEL MATERIAL DE LAS ALETAS SOBRE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Otra posibilidad de alterar el diseño del banco de aletas sería cambiar el material de aluminio a cobre y observar el resultado en la transferencia de calor.

Figura 17. Variación de la transferencia de calor máxima con la variación del material de la aleta



Del análisis del sistema de refrigeración convencional sobresalen los siguientes hechos.

- el calor que disipa el sistema de refrigeración convencional alcanza un valor máximo, en condiciones dadas (parámetros de fabrica), de 31 [W], cuando el calor a disipar en condiciones de overclocking es 70 [W], es decir, el sistema de refrigeración convencional disipa menos de la mitad del calor que genera el procesador al aumentar su frecuencia a 2400 MH (desde 1600MH que es la frecuencia original de fabrica).
- La opción de aumentar el coeficiente de convección (cambiar el ventilador por uno superior), o aumentar la longitud de las aletas en el disipador tiene un efecto negativo en la cantidad de calor disipado, porque el sistema de refrigeración tiene un solo punto de operación, (la alteración de cualquier parámetro de fabrica altera de forma negativa el desempeño del sistema). Lo mismo al variar el área en las aletas.
- La única variación en el sistema convencional que repercute de manera positiva en desempeño del sistema es el cambio del material, sin embargo los únicos materiales con mejor conductividad térmica que el aluminio son, el cobre y la plata pero aun estos solo incrementan la transferencia de calor de 31.4 [W] a 41 y 42 [W] respectivamente.

De esta manera queda descartada la posibilidad que un rediseño del sistema convencional de refrigeración en base aletas supla las necesidades de disipación del computador bajo régimen de overclocking (70 [W]).

A continuación se plantea el diseño del sistema de refrigeración alternativo con base a agua que disipe la cantidad de calor generada en exceso, como consecuencia del proceso de overclocking del procesador.

## **2. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION ALTERNATIVO**

A continuación procedemos a realizar el diseño por fluidos y térmico de cada uno de los elementos que conforman el sistema de refrigeración alternativo.

### **2.1 DEFINICION DE LAS VARIABLES DEL MODELO DE MECANICA DE FLUIDOS**

De un análisis preliminar llegamos a la conclusión de que la mejor forma de hacer el diseño del sistema de refrigeración alternativo es, realizar primero el dimensionamiento de la red hidráulica ya que estamos sujetos a las opciones de bombas que el mercado ofrece, en este caso sirven las bombas de acuarios que debido a sus características de tamaño, caudal presión y altura son las mas adecuadas para que el sistema funcione, luego con estos valores hacer el análisis por transferencia de calor, así garantizamos que el caudal que suple las necesidades del modelo de fluidos cumpla con las demandas de transferencia de calor, y se evitan extensos cálculos de transferencia de calor que den resultados de caudal que disipan el calor requerido pero que no cumplen con la demanda del sistema hidráulico.

A continuación se definen las variables involucradas en el modelo del sistema hidráulico.

Figura 18. Esquema simplificado del sistema hidráulico (sin alturas) <sup>1</sup>

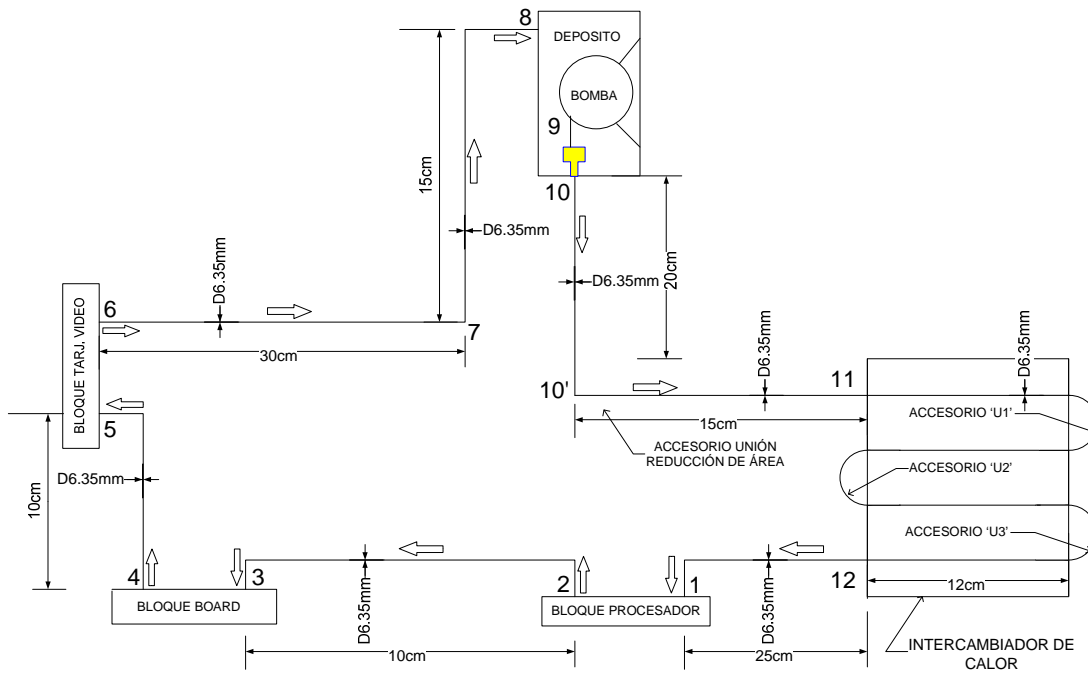


Tabla 7. Parámetros de diseño hidráulico.

NODOS	TUBERIA	MATERIAL	LONGITUD [cm]	DIAMETRO [mm]	$\Delta H [cm]$ <sup>1</sup>	ACCESORIOS
12-1	121	PLASTICO	25	6.35	0	----
1-2	----	COBRE	----	----	0	Bloque proc.
2-3	34	PLASTICO	10	6.35	0	----
3-4	----	COBRE	----	----	0	Bloque board
4-5	56	PLASTICO	10	6.35	0	----
5-6	----	COBRE	----	----	0	Bloque de la Tar. video
6-7	78	PLASTICO	30	6.35	0	----
7-8	89	PLASTICO	15	6.35	0	----
8-9	----	PLASTICO	----	----	-10	Aumento de área
9-10	1011	COBRE	----	----	0	Reducción de área

<sup>1</sup> Diferencia de altura con respecto al nivel cero de la bomba.

10-10'	1112	PLASTICO	20	6.35	0	
10'-11	10'11	PLASTICO	15	6.35	+10	
11-12	----	COBRE	12X4tuberias	6.35	0	Accesorios U

Del análisis de tuberías en serie tenemos que

$$H_{Sistema} + \Delta H = \left[ \sum_{i=1}^N \left( R_i + \frac{\sum K}{2 * g * A} \right) \right] * Q^2 + \Delta H$$

Como el sistema es cerrado la altura que se gana por la elevación del tanque se pierde porque la bomba debe subirla al tanque.

El termino  $R_i$  esta asociada a las pérdidas de carga por las tuberías y el término  $\sum K/2 * g * A$  al cual nos referiremos de aquí en adelante como  $r_i$  esta asociado con las perdidas menores debidas a accesorios y ensanchamientos o contracciones repentinas, de esta forma tenemos que

$$H_{Sistema} = \left[ \sum_{i=1}^N (R_i + r_i) \right] * Q^2 \quad [\text{Ecuación 1}]$$

La ecuación 1 es representa la demanda del sistema, la cual al ser superpuesta con la curva de la bomba nos da el punto de funcionamiento del sistema.

Además para la ecuación 1 tenemos que

$$R = 1.07 * \left( \frac{L}{g * D^5} \right) \left\{ \ln \left[ 0.27 * \left( \frac{e}{D} \right) + 5.74 \left( \frac{A * \nu}{Q * D} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2}$$

Esta expresión será la que nos dará la resistencia asociada a las perdidas por carga del sistema, mientras que la resistencia de las perdidas menores, dependerá del caso específico.

Ahora empezamos a analizar el cada uno de los elementos en que se ha subdividido el sistema hidráulico en la tabla 6, teniendo en cuenta algunas suposiciones que simplifican el modelo pero que no implican grandes errores

en los resultados finales como, flujo completamente desarrollado y propiedades constantes.

## 2.2 ANALISIS DE CADA UNO DE LOS TRAMOS QUE COMPONEN EL SISTEMA HIDRAULICO

De la suposición de propiedades constantes tenemos que  $\nu = 0.804 \times 10^{-6} [m^2 / s^2]$ , además la rugosidad de la manguera plástica es 0.0015 [mm]. Calculando el área de la manguera (que se necesitara de aquí en adelante), obtenemos que

$$A = \frac{\pi (0.00635)^2}{4} \Rightarrow A = 3.167 \times 10^{-5} [m^2]$$

### Línea 121

Perdidas de carga:

$$R_{121} = 1.07 * \left( \frac{0.25}{9.8 * 0.00635^5} \right) \left\{ \ln \left[ 0.27 * \left( \frac{0.0015}{6.35} \right) + 5.74 \left( \frac{3.167 \times 10^{-5} * 0.804 \times 10^{-6}}{Q * 0.00635} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2}$$

$$R_{121} = 2643802958.3 \left\{ \ln \left[ 6.378 \times 10^{-5} + 5.74 \left( \frac{4 \times 10^{-9}}{Q} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2}$$

Perdidas menores:

$$r_{121} = 0$$

### Línea 1-2

Debido a la complejidad del modelamiento de los bloques, se emplean software de simulación de fluidos (Ansys CFX) para estimar las perdidas de carga y menores a través del bloque del procesador.

Tabla 7. Resumen de las pérdidas mayores y menores a través del bloque del procesador ANEXO A.

$Q[l/h]$	$(H_{may.} + h_{men.})_{proces.} [m]$
70	0.004821
75	0.004841
80	0.004861
85	0.004881
90	0.004901
95	0.004921
100	0.004941
105	0.004961
110	0.004981
115	0.005001
120	0.005021
125	0.005041
130	0.005061
135	0.005081
140	0.005101
145	0.005121
150	0.005141
155	0.005161

De esta manera analizamos cada uno de los tramos; obtenemos las expresiones en función del caudal que representan las pérdidas mayores y las pérdidas menores, que combinados con el análisis de cada uno de los bloques por medio de la simulación computacional (Ansys CFX).

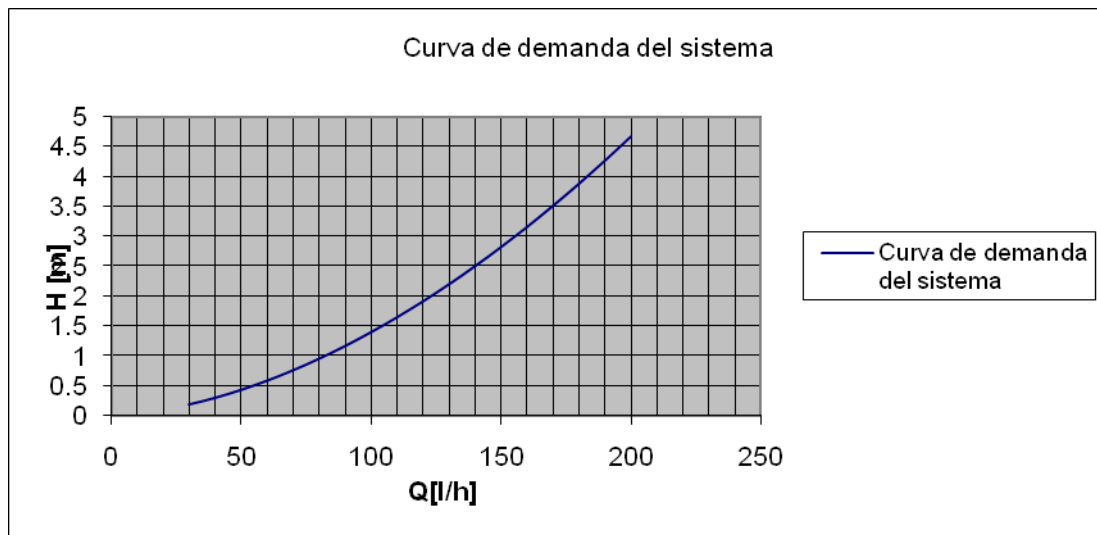
Por lo tanto la ecuación de demanda del sistema es:

$$\begin{aligned}
 H_{Sistema} = & (R_{121} + R_{23} + R_{45} + R_{67} + \dots \\
 & + R_{78} + r_{89} + r_{910} + R_{1010'} + R_{10'11} + R_{1112} + \dots \\
 & + r_{1112}) * Q^2 + (H_{may.} + h_{men.})_{proces.} + (H_{may.} + h_{men.})_{board} + \dots \\
 & + (H_{may.} + h_{men.})_{taj.vid.}
 \end{aligned}$$

A continuación y ayudados por una hoja de calculo se resuelve y grafica la curva de demanda del sistema.

La figura 19 ilustra la curva de demanda del sistema hidráulico, la cual al ser superpuesta con la curva de desempeño de la bomba nos da el punto de funcionamiento.

Figura 19. Curva de demanda del sistema.

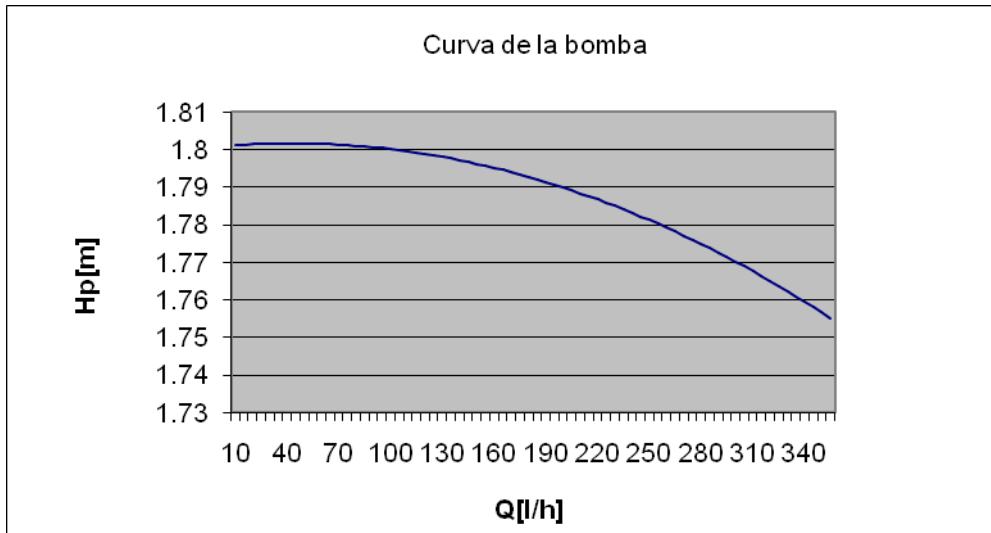


### 2.3 CALCULO DEL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRAULICO

Al superponer las curvas de demanda del sistema con la curva de desempeño de la bomba obtenemos el punto de funcionamiento del sistema hidráulico.

La bomba de la cual se dispone es una bomba centrífuga con motor a 110V, cuya función original esta en el campo de las peceras decorativas, pero que por sus características de tamaño y de prestaciones se adecua perfectamente a las necesidades del proyecto y puede ser adaptada con un mínimo de recursos.

Figura 20. Curva de desempeño de la bomba centrífuga.



Por lo tanto el punto de funcionamiento del sistema hidráulico analizando la superposición de la curvas es  $Q_{sist.} = 120[l/h]$  y  $H_{sist.} = 1.75[m]$ .

Figura 21. Punto de operación del sistema hidráulico.

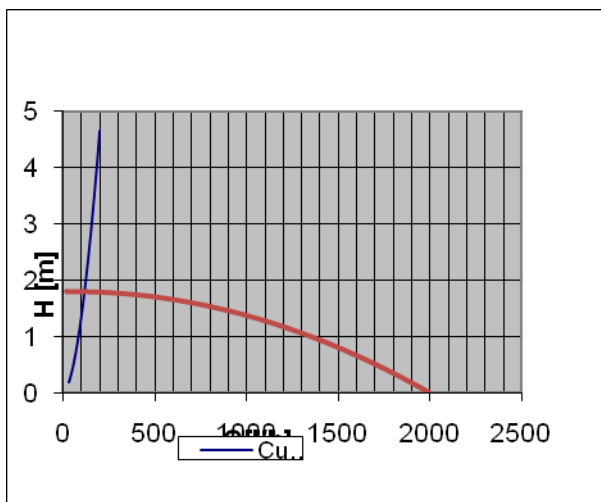
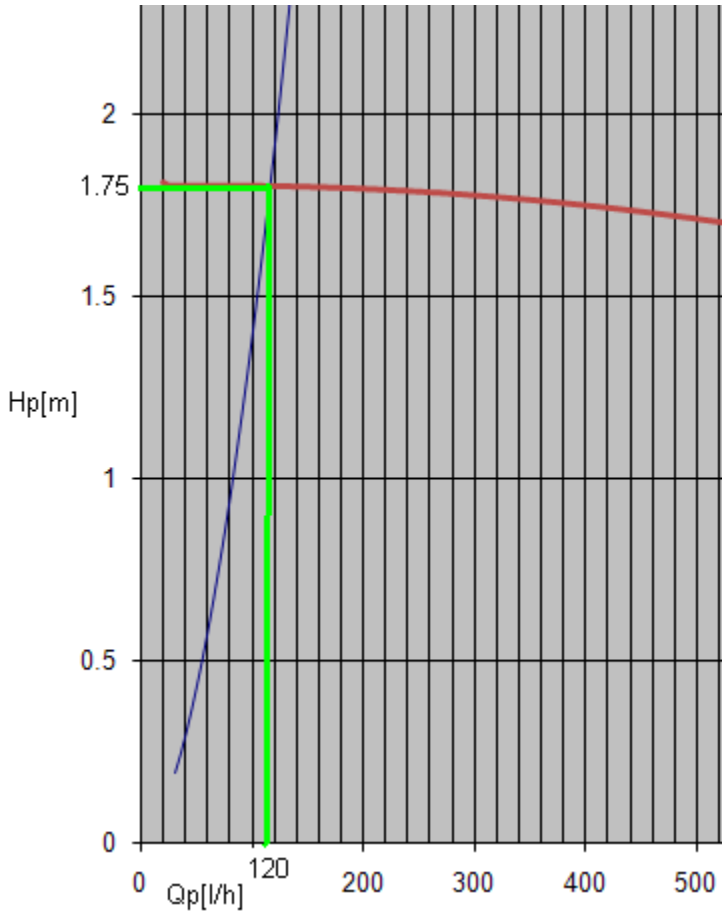


Figura 22. Punto de operación del sistema hidráulico (Detalle).



De esta manera procedemos a analizar la transferencia de calor del sistema, con el caudal de operación calculado, que garantiza el funcionamiento desde el punto de vista hidráulico del sistema.

## 2.4 DEFINICION DE LAS VARIABLES DEL MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En la figura 23 se presenta un modelo simplificado del sistema de refrigeración alternativo en el cual se ilustran las diferentes variables implicadas en el modelo.

### DEFINICION DE VARIABLES

#### 2.4.1 PROCESADOR (1)

$T_p$  = Temperatura del procesador (42°C según el fabricante para funcionamiento estable).

Condiciones de overclocking:

Frecuencia del procesador: 2400MH (@ 1600MH de fabrica)

M/B °T: 42°C

CPU fan speed: Máximo de 3035 rmp.

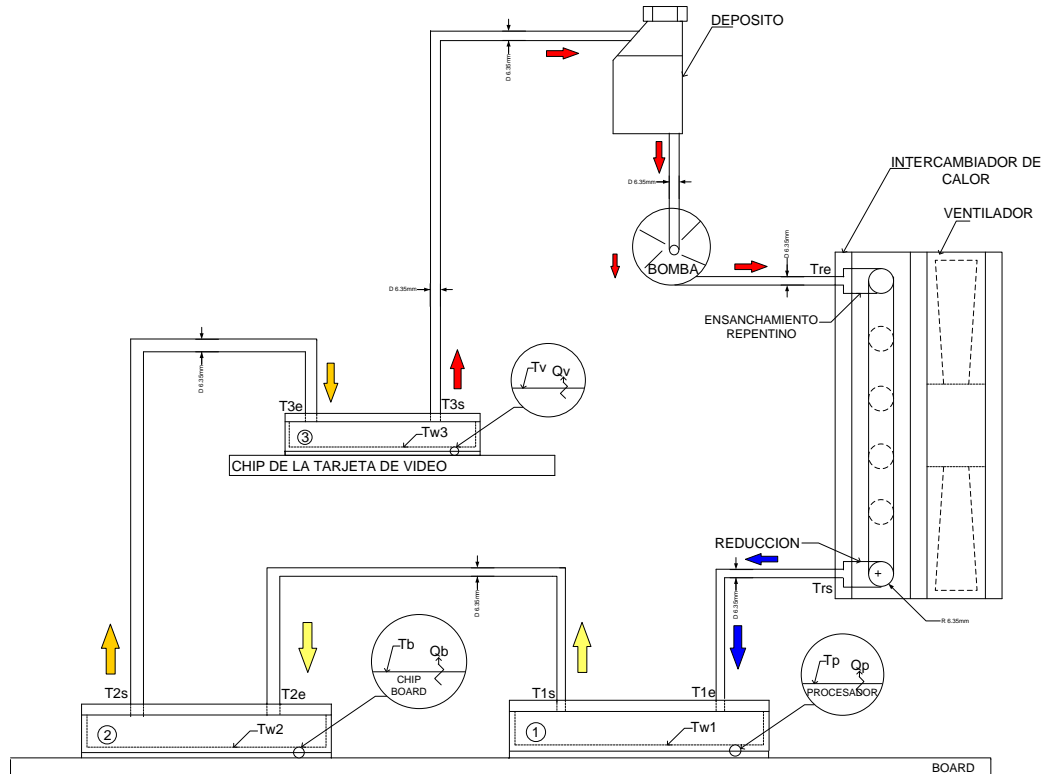
$Q_p$  = Calor a disipar bajo condiciones de overclocking (70 [W]).

$T_{w1}$  = Temperatura de la cara interior del bloque intercambiador del procesador.

$T_{le}$  = Temperatura del agua a la entrada del bloque intercambiador.

$T_{ls}$  = Temperatura del agua a la salida del bloque intercambiador.

Figura 23. Esquema simplificado del sistema de refrigeración alternativo con base en agua.



#### 2.4.2 CHIPSET DE LA BOARD (2)

$T_b$  = Temperatura del chipset de la board (38°C según el fabricante para funcionamiento estable).

$Q_b$  = Calor a disipar bajo condiciones de overclocking (30 [W]).

$T_{w2}$  = Temperatura de la cara interior del bloque intercambiador del chipset de la board.

$T_{2e}$  = Temperatura del agua a la entrada del bloque intercambiador del chipset de la board.

$T_{2s}$  = Temperatura del agua a la salida del bloque intercambiador del chipset de la board.

### **2.4.3 CHIPSET DE LA TARJETA DE VIDEO (3)**

$T_v$  = Temperatura del chipset de la tarjeta de video (38°C según el fabricante para funcionamiento estable).

$Q_v$  = Calor a disipar bajo condiciones de overclocking del chipset de la tarjeta de video (30 [W]).

$T_{w3}$  = Temperatura de la cara interior del bloque intercambiador del chipset de la tarjeta de video.

$T_{3e}$  = Temperatura del agua a la entrada del bloque intercambiador del chipset de la tarjeta de video.

$T_{3s}$  = Temperatura del agua a la salida del bloque intercambiador del chipset de la tarjeta de video.

### **2.4.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR**

$T_{re}$  = Temperatura del agua a la entrada intercambiador de calor del sistema.

$T_{rs}$  = Temperatura del agua a la salida del intercambiador de calor del sistema (24°C decisión de diseño).

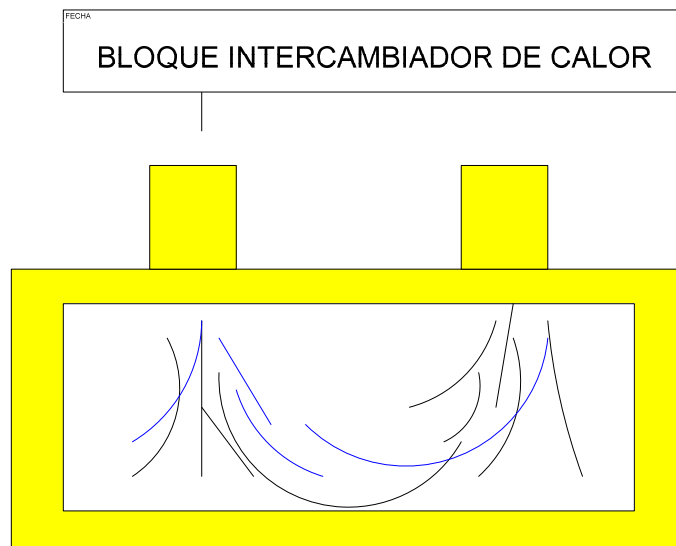
## **2.5 DISEÑO DEL BLOQUE INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL PROCESADOR**

Los bloques intercambiadores de calor del sistema de refrigeración líquida, tuvieron, varias consideraciones antes de su diseño final, una de ellas fue la transferencia de calor por convección que se presenta en el interior del bloque, la cual debe ser grande, ya que es flujo forzado en condiciones normales de trabajo como se sabe en transferencia de calor una vez que flujo es más turbulento la transferencia de calor mejora lo que nos lleva al número

de  $Re$  que gobierna estas consideraciones, cuando se posee un sistema que va a tomar calor por medio de ductos rectangulares cerrados se presentan dos consideraciones; flujo paralelo a la placa de calor ó transferencia de calor por choque contra la placa de calor.

La transferencia de calor por choque normal contra una superficie da resultados mas satisfactorios a la hora de lograr coeficientes aumentados para calentamiento enfriamiento o secado por convección.

Figura 24. Detalle del bloque intercambiador de calor.



A continuación se diseña el bloque intercambiador de calor para el procesador utilizando las correlaciones de transferencia de calor por choque de flujo.

## 2.5.1 CALCULO DEL CALOR MAXIMO DISIPADO POR EL BLOQUE

Figura 25. Detalle del bloque intercambiador del procesador.

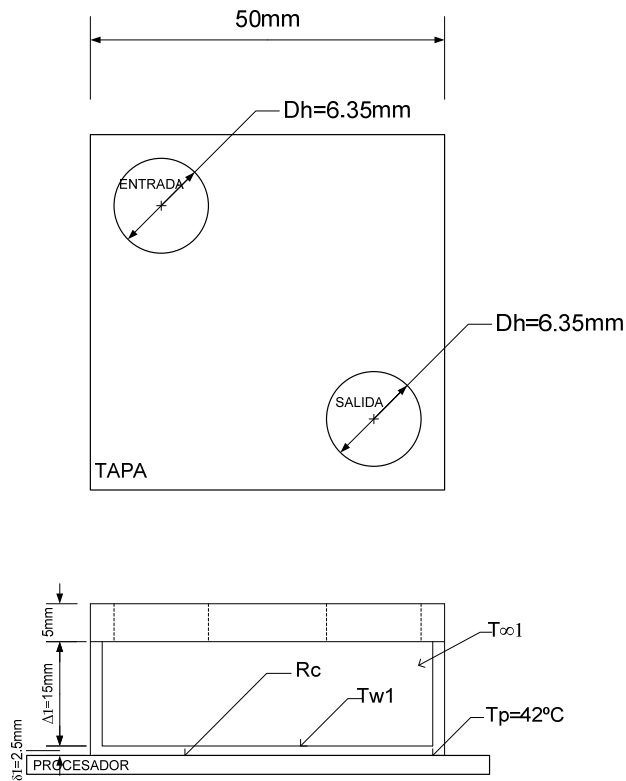
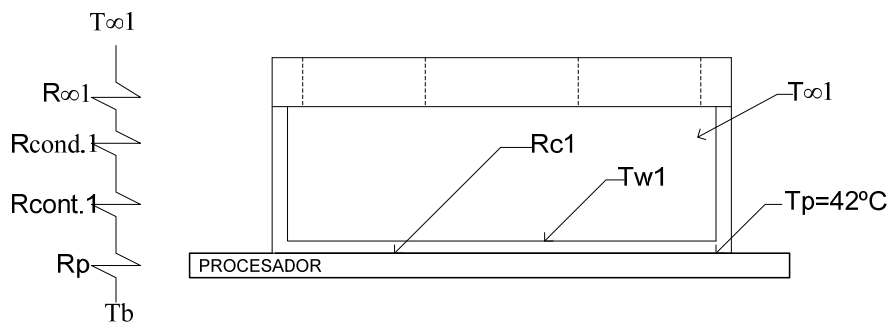


Figura 26. Modelo de transferencia de calor.



La transferencia de calor es,

$$Q_p = \frac{T_p - T_{w1}}{R_p + R_{cont.1} + R_{cond.1}}$$

La resistencia asociada a la placa del chip del procesador es

$$R_p = \frac{R_p''}{A_{tb}} = \frac{4.68 \times 10^{-6} [m^2 K / W]}{(0.05)^2 [m^2]} \Rightarrow R_p = 1.87 \times 10^{-3} [K / W]$$

La resistencia asociada a la resina térmica

$$R_{cont.1} = \frac{R_{cont.}''}{A_{cont.}} = \frac{6.56 \times 10^{-6} [m^2 K / W]}{(0.05)^2 [m^2]} \Rightarrow R_{cont.1} = 2.62 \times 10^{-3} [K / W]$$

La resistencia asociada a la pared del bloque en contacto con el procesador

$$R_{cond.1} = \frac{\delta_1}{K_{cobre} * A_{tb}} = \frac{0.0025 [m]}{400 [W / m * K] * (0.05)^2 [m^2]} \Rightarrow R_{cond.1} = 2.5 \times 10^{-3} [K / W]$$

Reemplazando en la ecuación de  $Q_p$

$$Q_p = 70 = \frac{42 - T_{w1}}{1.87 \times 10^{-3} + 2.62 \times 10^{-3} + 2.5 \times 10^{-3} [K / W]} \Rightarrow T_{w1} = 42^\circ C$$

## 2.5.2 MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CHOQUE

Para el cálculo de la transferencia de calor por flujo de choque se requieren algunos parámetros los cuales se listan a continuación:

$T_{e1} = 24^\circ C$ , la cual es la temperatura de salida del intercambiador de calor.

$D_h = 0.00635 [m]$ , diámetro de la manguera plástica.

$V_{sist.} = V_{1e} = \frac{Q_{sist.} (rata\_de\_flujo\_volumetrica\_del\_sistema)}{A_h (Area\_de\_la\_manguera\_plástica)}$ , la cual es la

velocidad promedio a la entrada del bloque intercambiador,

$$A_h = \frac{\pi * (0.00635)^2}{4} \Rightarrow A_h = 3.167 \times 10^{-5} [m^2], \text{ entonces}$$

$$Q_{sist} = 120 \frac{l}{h} * \frac{l[m^3]}{1000[l]} * \frac{l[h]}{3600[s]} \Rightarrow Q_{sist} = 3.33 \times 10^{-5} [m^3 / s], \text{ luego}$$

$$V_{1e} = \frac{Q_{sist}}{A_h} = \frac{3.33 \times 10^{-5} [m^3 / s]}{3.167 \times 10^{-5} [m^2]} \Rightarrow V_{1e} = 1.05 [m / s]$$

Calculo de la temperatura fílmica:

$$T_{f1} = \frac{T_{e1} + T_{w1}}{2} = \frac{24 + 42}{2} \Rightarrow T_{f1} = 33^\circ C$$

Las propiedades del agua a la temperatura fílmica son

$$\rho_1 = 994.86 [Kg / m^3]$$

$$K_1 = 0.6195 [W / m * K]$$

$$Pr_1 = 5.0837$$

$$\nu_1 = 7.56 \times 10^{-7} [m^2 / s^2]$$

$$C_{p1} = 4178 [J / Kg * ^\circ C]$$

Calculo del número de Reynolds

$$Re_1 = \frac{V_{1e} * D_h}{\nu_1} = \frac{1.05 * 0.00635}{7.56 \times 10^{-7}} \Rightarrow Re_1 = 8819.4, \text{ Que está dentro del rango de}$$

$2000 \leq Re \leq 400000$ , por lo cual podemos aplicar las correlaciones para choque.

Calculo de  $\frac{\Delta_1}{D_h}$

$$\frac{\Delta_1}{D_h} = \frac{15 [mm]}{6.35 [mm]} = 2.36$$

Y el rango es  $2 \leq \frac{\Delta}{D_h} \leq 2.5$

Calculo de  $r_1 / D_h$

$r_1$  es el radio promedio del flujo que choca, en nuestro caso particular es 16mm.

$$\frac{r_1}{D_h} = \frac{16[mm]}{6.35[mm]} = 2.51, \text{ y el rango es } 2.5 \leq r / D_h \leq 12$$

Calculo del  $A_r$

$$A_{r1} = \frac{D_h^2}{4 * r_1^2} = \frac{6.35^2[mm^2]}{4 * 16^2[mm^2]} \Rightarrow A_{r1} = 0.0394$$

Ahora calculamos el numero Nusselt en base a la correlación para transferencia de calor por flujo de choque

$$Nu = Pr^{0.42} * 2 * A_r^{1/2} * \left( \frac{1 - 2.2 * A_r^{1/2}}{1 + 0.2 \left( \frac{\Delta}{D_h} - 6 \right) * A_r^{1/2}} \right) * 2 * Re^{1/2} * (1 + 0.005 * Re^{0.55})^{1/2}$$

$$Nu_1 = 5.0837^{0.42} * 2 * 0.0394^{1/2} * \left( \frac{1 - 2.2 * 0.0394^{1/2}}{1 + 0.2 (2.36 - 6) * 0.0394^{1/2}} \right) * 2 * 8819.4^{1/2} * (1 + 0.005 * 8819.4^{0.55})^{1/2}$$

$$Nu_1 = 128.2$$

Pero,

$Nu = \frac{\bar{h} * D_h}{K}$ , donde  $\bar{h}$  es el coeficiente promedio de transferencia de calor por convección y K es la conductividad térmica del agua a la temperatura fílmica.

$$\bar{h}_1 = \frac{Nu_1 * K_1}{D_h} = \frac{128.2 * 0.6195[W / m * K]}{0.00635[m]} \Rightarrow \bar{h}_1 = 12507[W / m^2 * K]$$

Ahora se calcula la transferencia de calor máxima que permite esta configuración:  $Q_{máx} = \bar{h}_1 * A_{transf.1} (T_{w1} - T_{\infty 1})$ , donde  $A_{transf.1}$  es el área de transferencia de calor entre la placa del procesador y el bloque intercambiador  $A_{transf.1} = 25 \times 10^{-4} [m^2]$  y  $T_{\infty 1}$  es igual a la temperatura fílmica.

Entonces,  $Q_{máx1} = 12507 [W / m^2 * ^\circ C] * 25 \times 10^{-4} [m^2] (42 - 33 [^\circ C])$

$Q_{máx1} = 281.4 [W]$ , lo cual es más que suficiente para cubrir la demanda del componente electrónico bajo condiciones de overclocking.

De esta forma comprobamos que la configuración establecida como diseño para este bloque cumple con los requerimientos térmicos y de fluidos.

### 2.5.3 CALCULO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL BLOQUE INTERCAMBIADOR DEL PROCESADOR

Como se sabe  $Q_{sist1} = \dot{m}_1 C_{p1} (\Delta T_{bloque\_procesador})$ , donde  $\dot{m}_1$  es la rata de flujo másico del sistema y  $C_{p1}$  es el calor específico del agua a temperatura fílmica ( $4178 [J / Kg * ^\circ C]$ ).

$$\dot{m}_1 = \rho_{@T_{f1}} * Q_{sist.1} (rata\_de\_flujo\_volumétrica\_del\_sistema)$$

$$\dot{m}_1 = 994.86 [Kg / m^3] * 3.33 \times 10^{-5} [m^3 / s]$$

$$\dot{m}_1 = 0.0331 [Kg / s].$$

$$\text{Entonces } T_{1s} = \frac{Q_{sist1}}{\dot{m}_1 * C_{p1}} + T_{1e} \Rightarrow T_{1s} = \frac{70 [J / s]}{0.0331 [Kg / s] * 4178 [J / Kg * ^\circ C]} + 24^\circ C$$

$$T_{1s} = T_{2e} = 24.5 [^\circ C].$$

A continuación se diseña el bloque intercambiador de calor para el procesador utilizando las correlaciones de transferencia de calor por choque de flujo.

## 2.6 RESUMEN DEL DISEÑO DE LOS BLOQUES INTERCAMBIADORES DE CALOR PARA EL CHIPSET DE LA BOARD Y EL CHIPSET DE LA TARJETA DE VIDEO

A continuación se resume el resultado del proceso de diseño de los bloques intercambiadores de calor para el chipset de la board y el chipset de la tarjeta de video.

Tabla 9. Resumen: Diseño de los bloques del chipset de la board y el chipset de la tarjeta de video

ELEMENTO	$T_w$	$T_{\text{entrada al bloque}}$	$T_{\text{salida del bloque}}$	$h$ [W/m <sup>2</sup> *K]	$Q_{\text{máx.}}$ [W]
BLOQUE CHIPSET DE LA BOARD	37.6°C	24.5°C	24.7°C	12360	114
BLOQUE CHIPSET DE LA TARJETA DE VIDEO	37.4°C	24.7°C	24.8°C	12340	71

## 2.7 RESUMEN DE LA GEOMETRIA OBTENIDA PARA LOS BLOQUES INTERCAMBIADORES DEL CHIPSET DE LA BOARD Y LA TARJETA DE VIDEO

Figura 27. Detalle del bloque intercambiador del chipset de la board.

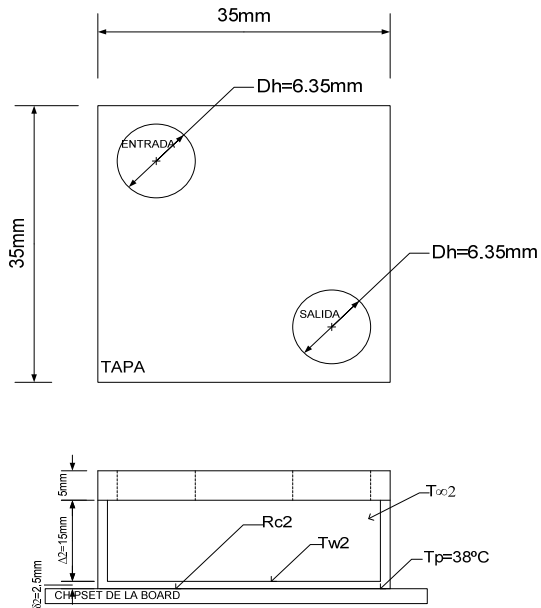
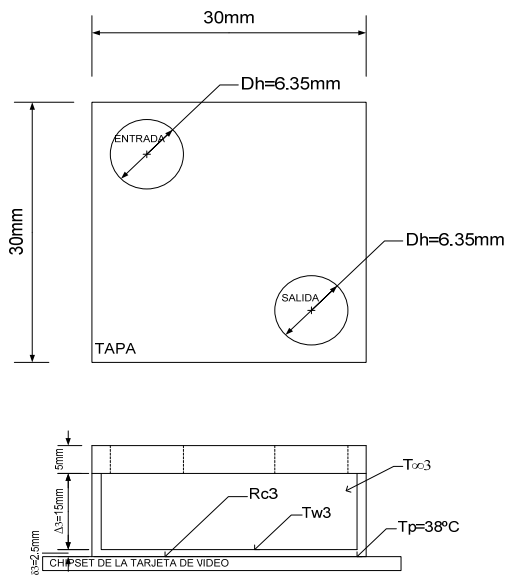


Figura 28. Detalle del bloque intercambiador del chipset tarjeta de video.



## 2.8 DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL SISTEMA

A continuación realizamos el dimensionamiento del intercambiador de calor del sistema, este proceso consiste en calcular el área de la superficie aleteada necesaria para disipar el calor del sistema (130[W]), teniendo en cuenta algunas restricciones espaciales, que presenta la caja de la CPU del computador.

Figura 29. Esquema del intercambiador de calor del sistema.

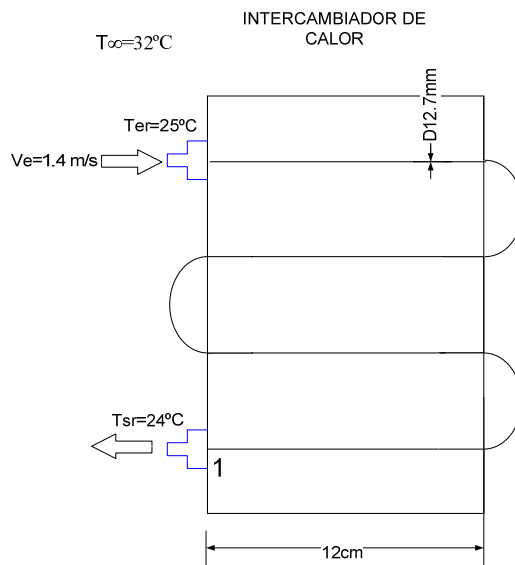
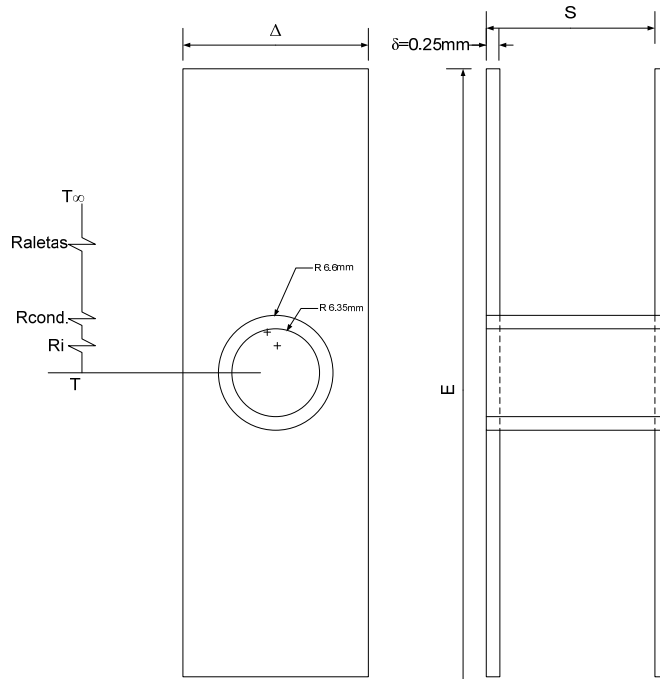


Figura 30. Modelo de transferencia de calor simplificado



### 2.8.1 ANALISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Usando el método de resistencias en serie tenemos que

$Q_{sistema} = -U * A * LMTD$  , Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor y LMTD es la diferencia media logarítmica de temperatura a través del intercambiador.

Pero

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{Ln(r_e / r_i)}{2\pi K L_{tubo}} + \frac{1}{h_e A_{externa} \eta_{aletas}}}$$

Entonces

$$Q_{sistema} = - \frac{LMTD}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{Ln(r_e / r_i)}{2\pi K L_{tubo}} + \frac{1}{h_e A_{externa} \eta_{aletas}}}$$

Donde  $\frac{1}{h_i A_i}$  es la resistencia asociada con la convección dentro del tubo del intercambiador de calor.

$\frac{\ln(r_e / r_i)}{2\pi K L_{tubo}}$  Es la resistencia asociada a la conducción a través del tubo del intercambiador de calor.

$\frac{1}{h_e A_{externa} n_{aletas}}$  Es la resistencia asociada con las aletas.

Calculamos LMTD

$$LMTD = \frac{(T_{sr} - T_{\infty}) - (T_{er} - T_{\infty})}{\ln \left[ \frac{T_{sr} - T_{\infty}}{T_{er} - T_{\infty}} \right]}$$

$$LMTD = 7.593$$

Calculo de la resistencia asociada con la convección dentro del tubo del intercambiador de calor.

De análisis anteriores tenemos que

$$V_{er} = 1.05 [m / s]$$

Si suponemos propiedades constantes (a T=24°C) entonces

$$\nu = 8.937 \times 10^{-7} [m^2 / s^2]$$

$$Pr = 6.14$$

$$K = 0.607 [W / m * K]$$

El número de Reynolds será

$$Re = \frac{V_{er} D_h}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{1.05 * 0.0127}{8.937 \times 10^{-7}} = 14921$$

Si suponemos que es tubería lisa con Re dentro del rango  $10^4 < Re < 10^6$  tenemos

$$f = (0.790 \ln(\text{Re}) - 1.64)^{-2}$$

$$f = (0.790 \ln(19923) - 1.64)^{-2} \Rightarrow f = 0.0262$$

Y con Pr y Re dentro de los rangos

$$0.5 \leq \text{Pr} \leq 2000$$

$$3000 < \text{Re} < 5 \times 10^6$$

Usamos Gnielinski para calcular el número de Nusselt del interior del tubo del intercambiador

$$Nu = \frac{(f/8)(\text{Re}-1000)\text{Pr}}{1+12.7(f/8)^{0.5}(\text{Pr}^{2/3}-1)}$$

$$Nu_i = \frac{(0.0262/8)(14921-1000)6.14}{1+12.7(0.0262/8)^{0.5}(6.14^{2/3}-1)} \Rightarrow Nu_i = 81.4$$

$$\text{Pero } Nu_i = \frac{\bar{h}_i D_h}{K} \Rightarrow \bar{h}_i = \frac{Nu_i K}{D_h} = \frac{81.4 * 0.607}{0.0127} \Rightarrow \bar{h}_i = 3892 [W / m^2 K]$$

El área  $A_i$  es

Como el intercambiador esta compuesto de 4 tubos de cobre de D12.7mm y longitud 12cm (Estas dimensiones son limitadas por el espacio físico de la caja de la CPU)

$$A_i = 4 * 2\pi r_i L_i \Rightarrow A_i = 4 * 2\pi \frac{0.0127}{2} * 0.12 \Rightarrow A_i = 0.0192 [m^2]$$

Luego la resistencia  $R_i$  es

$$R_i = \frac{1}{0.0192 * 3892} \Rightarrow R_i = 1.34 \times 10^{-2} [K / W]$$

Calculo de la resistencia asociada a la conducción a través del tubo del intercambiador de calor.

$$r_i = 0.00635 [m]$$

$$r_e = 0.0066 [m]$$

$L_i = 0.12[m]$  Luego la longitud total es  $L_T = 4L_i \Rightarrow L_T = 4 * 0.12 = 0.48$

$$K_{cobre} = 400[W / m * K]$$

Entonces

$$R_{cond.} = \frac{Ln(r_e / r_i)}{2\pi K_{cobre} L_T} = \frac{Ln(6.6 / 6.35)}{2\pi * 400 * 0.48} \Rightarrow R_{cond.} = 3.2 \times 10^{-5} [K / W]$$

Calculo de  $R_a$

$$Q_{sistema} = 130 = \frac{7.593}{1.34 \times 10^{-2} + 3.2 \times 10^{-5} + \frac{1}{h_e A_{externa} \eta_{aletas}}}$$

$$130 \left( 1.3411 \times 10^{-2} + \frac{1}{h_e A_{externa} \eta_{aletas}} \right) = 7.593$$

$$1.743 + 130 * \frac{1}{h_e A_{externa} \eta_{aletas}} = 7.593$$

$$\frac{1}{h_e A_{externa} \eta_{aletas}} = \frac{7.593 - 1.743}{130}$$

$$\frac{1}{h_e A_{externa} \eta_{aletas}} = 0.045 \text{ Pero } h_e \text{ es aproximadamente } 65 [W / m^2 K]$$

Entonces  $A_{externa} \eta_{aletas} = B = 0.342$

Sabemos que

$$\eta_{aletas} = 1 - \frac{NA_a}{A_{externa}} (1 - \eta_f) , \text{ donde } A_a \text{ es el \u00e1rea de una aleta, } A_{externa} \text{ es el \u00e1rea}$$

total (\u00c1rea de la base mas el \u00e1rea de la superficie aleteada), N es el n\u00famero de aletas y  $\eta_f$  es la eficiencia de la aleta.

Calculando  $A_a$

$$A_a = \Delta * E + 2\delta(\Delta + E) - 4\left(\frac{\pi * 0.0132^2}{4}\right)$$

$$A_a = \Delta * E + 5 \times 10^{-4}(\Delta + E) - 5.473 \times 10^{-4}$$

Calculando  $A_{externa}$

$$A_{externa} = NA_{aleta} + 2\pi r_e L_i - N2\pi r_e \delta$$

$$A_{externa} = NA_{aleta} + 2\pi r_e (L_i - N\delta)$$

$$A_{externa} = NA_{aleta} + 2 * \pi * 0.0066 * (0.12 - 2.5 \times 10^{-4} N)$$

$$A_{externa} = NA_{aleta} + 0.00498 - 1.03 \times 10^{-5} N$$

$$A_{externa} = N(A_{aleta} - 1.03 \times 10^{-5}) + 0.00498$$

Calculando  $\eta_f$

$$\eta_f = \frac{\tanh(\beta L)}{\beta L}, \text{ en este caso para simplificar } L=E$$

$$Y \beta = \sqrt{\frac{2h}{K\delta}} \Rightarrow \beta = \sqrt{\frac{2 * 60 [W / m^2 K]}{237 [W / m * K] * 2.5 \times 10^{-4}}} \Rightarrow \beta = 45$$

$$\text{Entonces } \eta_f = \frac{\tanh(45E)}{45E}$$

Ahora con ayuda de una hoja de cálculo resolvemos el modelo; hallando la combinación más efectiva que cumpla con las restricciones espaciales y con la demanda térmica.

Figura 33. Dimensionamiento del intercambiador de calor del sistema.

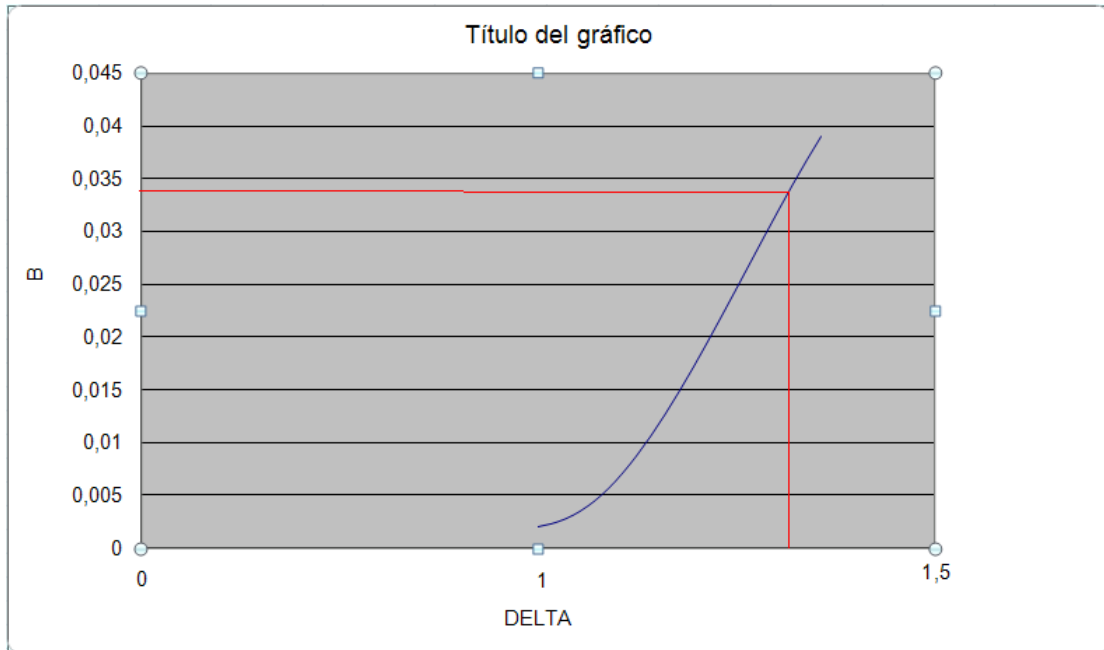


Tabla 10. Resultado de la iteración dimensionamiento del intercambiador de calor.

$\Delta$ [m]	E[m]	N	$A_{aleta}$	$A_{externa}$	$\eta f$	$\eta_0$	$A_{externa} \eta_{aleta}$
0.01285	0.1225	60	0.0010945	0.070032	0.00272213	0.0648384	0.034

De esta forma tenemos que las dimensiones del radiador óptimas son:

$$\Delta = 0.01285 \text{ [m]}$$

$$E = 0.1225 \text{ [m]}$$

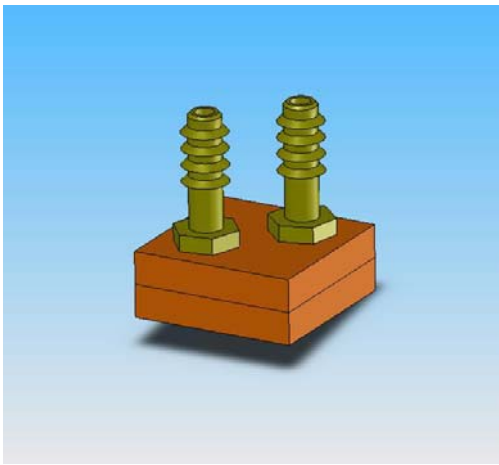

$$N = 60$$

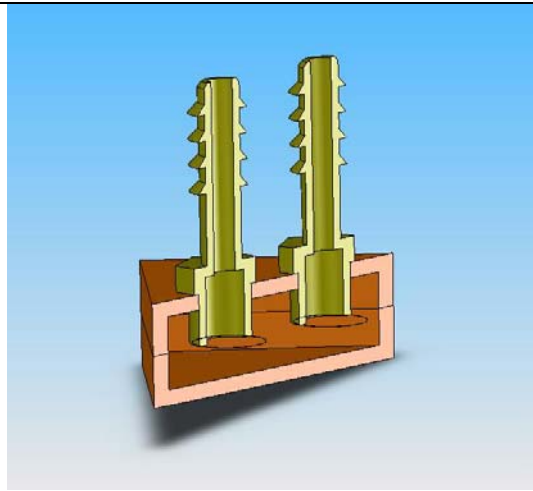
$$L_i = 0.12 \text{ [m]}$$

### 3. CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL SISTEMA DE REFRIGERACION ALTERNATIVO

A continuación se hace un pequeño resumen en el cual se explica el proceso de construcción y montaje del sistema de refrigeración con base en agua.

#### 3.1 FICHA TECNICA CONSTRUCCION DEL BLOQUE DEL PROCESADOR

FICHA TECNICA PARA BLOQUES INTERCAMBIADORES DE CALOR DE COBRE	
No de ficha técnica: 0001	Fecha: Mayo 11/2007
Fabricante: Soluciones Termal-col	
Localidad: Bucaramanga	
Designación del modelo: Bloque CHS PRO-AMDSEM_2.8+	
Designación comercial: Bloque chip set procesador AMD Sempron 2800+	
	Dimensiones (mm): H=18, W=50, L=50
	Peso (g) 213.35
	Material: Cobre electrolítico en platina de 9.525X50.8X50 X dos piezas
	Proceso de manufactura: <b>Fresado:</b> Fresa Sandvik Coromant de acabado D=3-20, Geometría z=4,6,8; Helix 30; $r_E = x$
	 <b>Taladrado tapa superior:</b> Broca Sandvik Corodril® Delta-C E6 de D=6mm



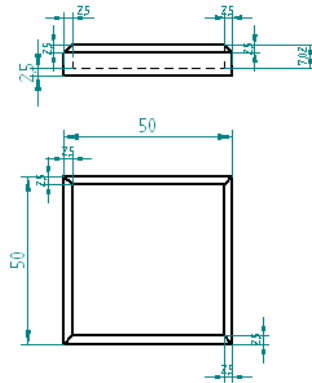
**Roscado:** Macho roscador nacional diámetros M6 a M16 15 mm norma ANSI/ASME longitud 12-100mm, rosca o paso: fino

**Soldadura:** electrodo 3060 cordón en V

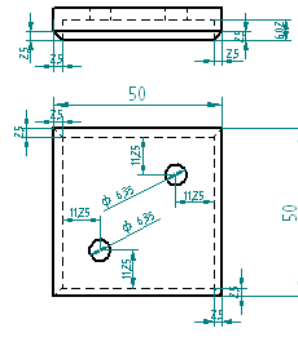
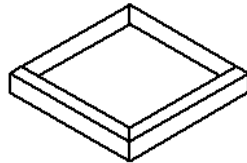
**Notas:**

- Racores de espiga de 6.35 mm NPT
- El acabado superficial de la cara de contacto es TIPO ESPEJO (FINE Ra=1.6 μm)
- Torque de apriete en la prensa durante proceso de maquinado 12 N-m

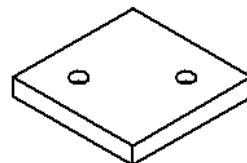
**Tolerancias = +/-0.25mm**



TAPA INFERIOR



TAPA SUPERIOR

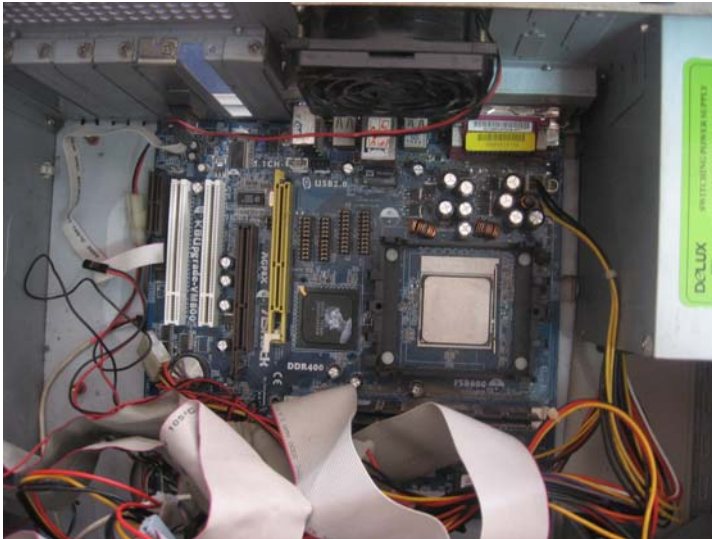


\*Todas las dimensiones en mm a menos que se especifique lo contrario

### 3.2 MONTAJE DEL SISTEMA DE REFRIGERACION ALTERNATIVO


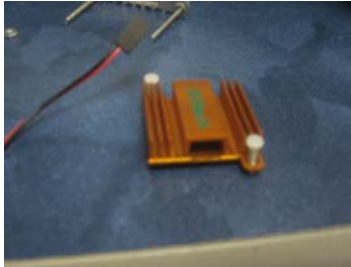

El montaje del sistema alternativo se detalla a continuación de manera grafica

Figura 32. Retiro del sistema convencional de refrigeración.



Inicialmente se retira el bloque de aletas del procesador, y el disipador de calor del chip set de la board, y el disipador de la tarjeta de video, quedando esta lista para insertar los bloques intercambiadores de calor de cobre.

Figura 33. Disipadores del sistema de refrigeración convencional.

Disipador procesador	Disipador chip set board	Disipador de la tarj. video
		


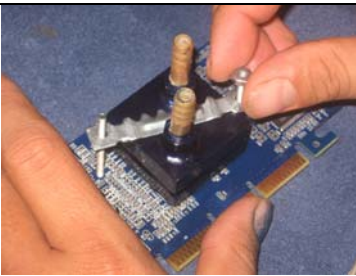

Luego se aplica la resina térmica sobre las superficies de cada uno de los elementos a refrigerar en el computador.

Figura 34. Aplicación de la resina térmica.



Se procede a hacer el montaje de cada uno de los bloques de cobre en su respectivo componente.

Figura 35. Montaje de los bloques de cobre.

Bloque del procesador	Bloque de la tarjeta de video	Bloque del chip-set de la board
		

Una vez montados los bloques se colocan las mangueras y se conectan los bloques y los demás elementos del sistema de refrigeración como son el radiador, la bomba, y su respectivo deposito.

Figura 36. Conexión de las mangueras



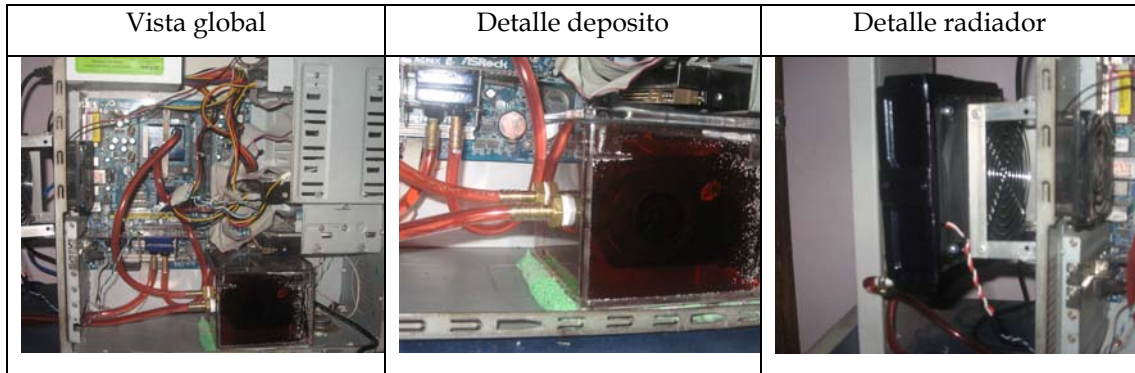
Ahora se llena el sistema de una solución del líquido refrigerante con agua. Una vez esto hecho el sistema ya esta listo para trabajar.

Figura 37. Llenado del sistema



Después de comprobar que no existen fugas, se procede a purgar el sistema, se colocan el depósito en sus respectivos lugares y se procede a realizar las pruebas del rendimiento y máximo overclock posible.

Figura 38. Sistema montado y en régimen de operación.



#### **4. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION**

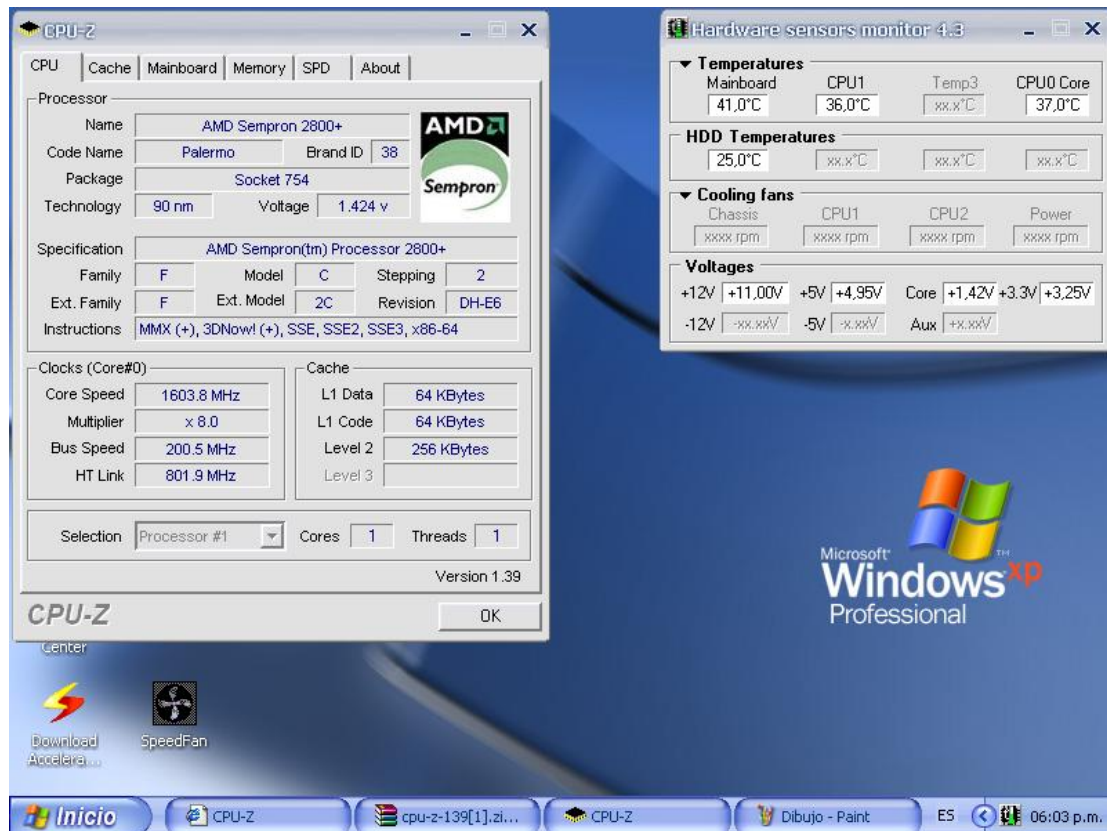
Las pruebas que se realizaron para cada uno de los sistemas de refrigeración fueron, basadas en benchmarking, y estas arrojaron resultados interesantes para nuestra investigación.

##### **4.1 CARACTERISTICA DEL SISTEMA EN RÉGIMEN NORMAL CON REFRIGERACIÓN CONVECCIONAL**

En la figura 41 se pueden apreciar las principales características del sistema, en su funcionamiento normal, dado por el fabricante, en este caso observamos una temperatura de operación del procesador es de 36°C cuando se encuentra trabajando a 1600 MHz, por otra parte se observa al chipset de la board trabajando a una temperatura de operación de 41°C. Estas temperaturas son importantes porque son una referencia de los niveles de temperatura en operación estable del PC.

Además podemos observar algunos parámetros que se alteran durante el proceso de overclocking en su estado básico como la velocidad del BUS de 200.5 MHz.

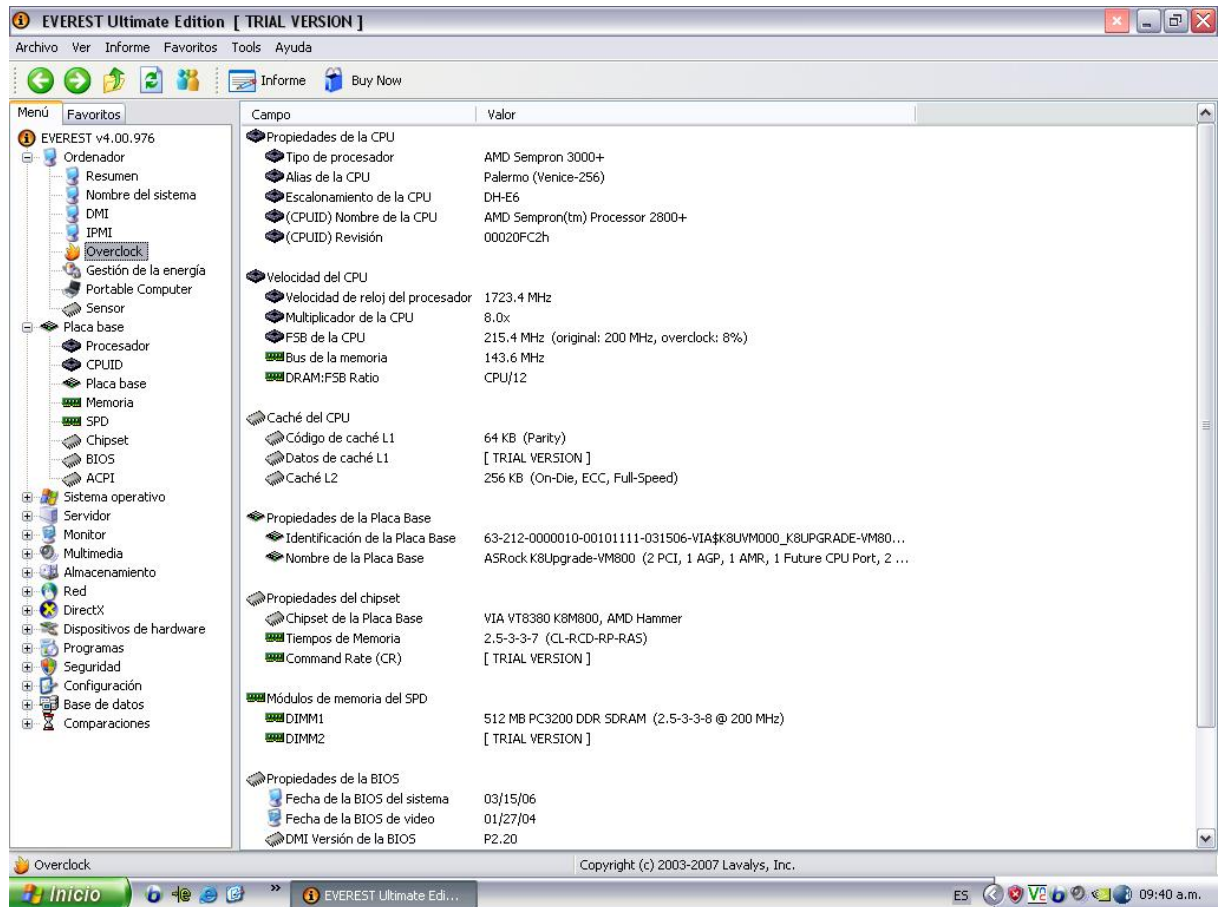
Figura 39. Parámetros del computador sin overclocking.



#### 4.2 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA BAJO CONDICIONES DE MAXIMO OVERCLOCKING CON REFRIGERACION COVENCIONAL

La figura 42 muestra las características computacionales del PC al llevarlo al máximo que permite la refrigeración convencional, es apreciable entre otros, La velocidad de 1723.4 MHz, la velocidad del BUS que es de 215.4 MHz y el porcentaje de overclocking que es de apenas un 8%.

Figura 40. Características con overclock de 1723 MHz



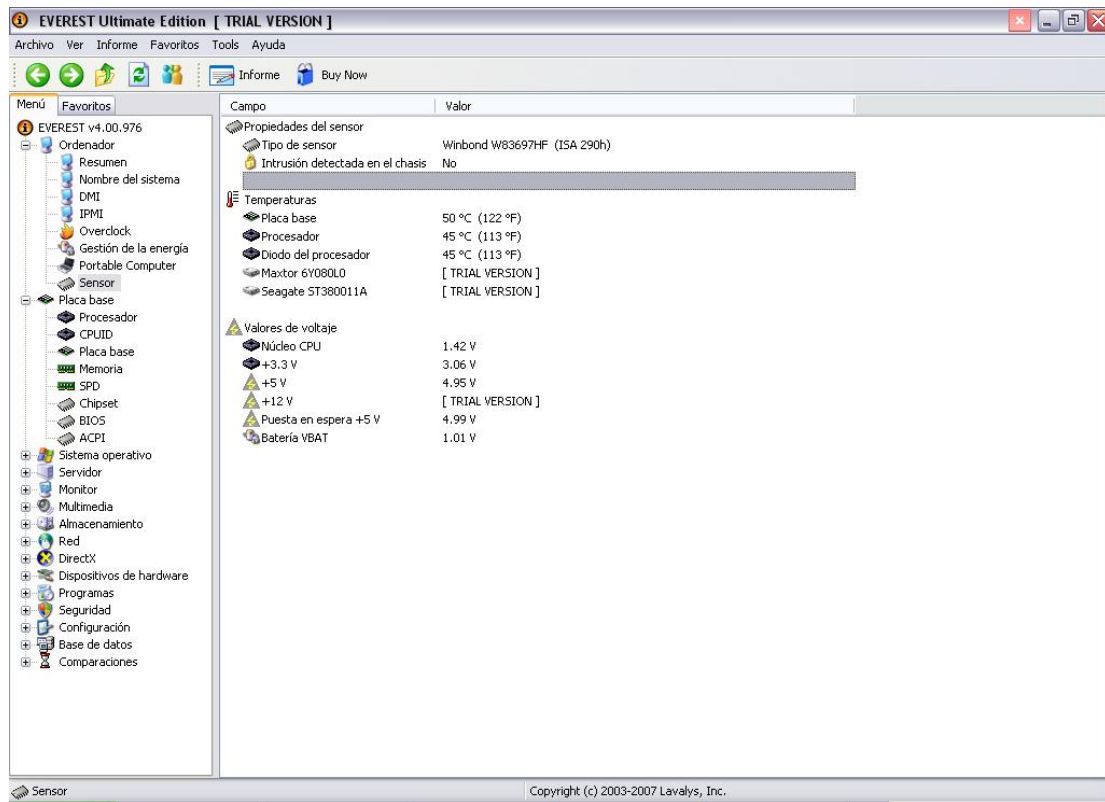
Al analizar las temperaturas del procesador y el chipset de la board encontramos una gran discrepancia entre las temperaturas de referencia (sin overclocking) y las temperaturas que alcanzan estos elementos con un rango de overclocking de apenas 8%, ya que estas ultimas alcanzan valores de 45°C y 50°C para el procesador y el chipset de la board respectivamente.

La figura 43 ilustra un detalle de los resultados de los parámetros físicos (temperatura y voltajes) bajo régimen de overclocking del 8%.

Recordando, las temperaturas sin overclocking son de 37°C y 41°C para el procesador y el chipset de la board. Como se aprecia se presenta un incremento de temperatura de 8° C en el procesador al aplicar el overclock, y

en el chipset de la board de 9° C, estos cambios de temperatura para un overclock tan pequeño indican una limitación para el sistema de refrigeración convencional.

Figura 41. Temperatura del procesador y el chipset de la board a 1723.4 MHz



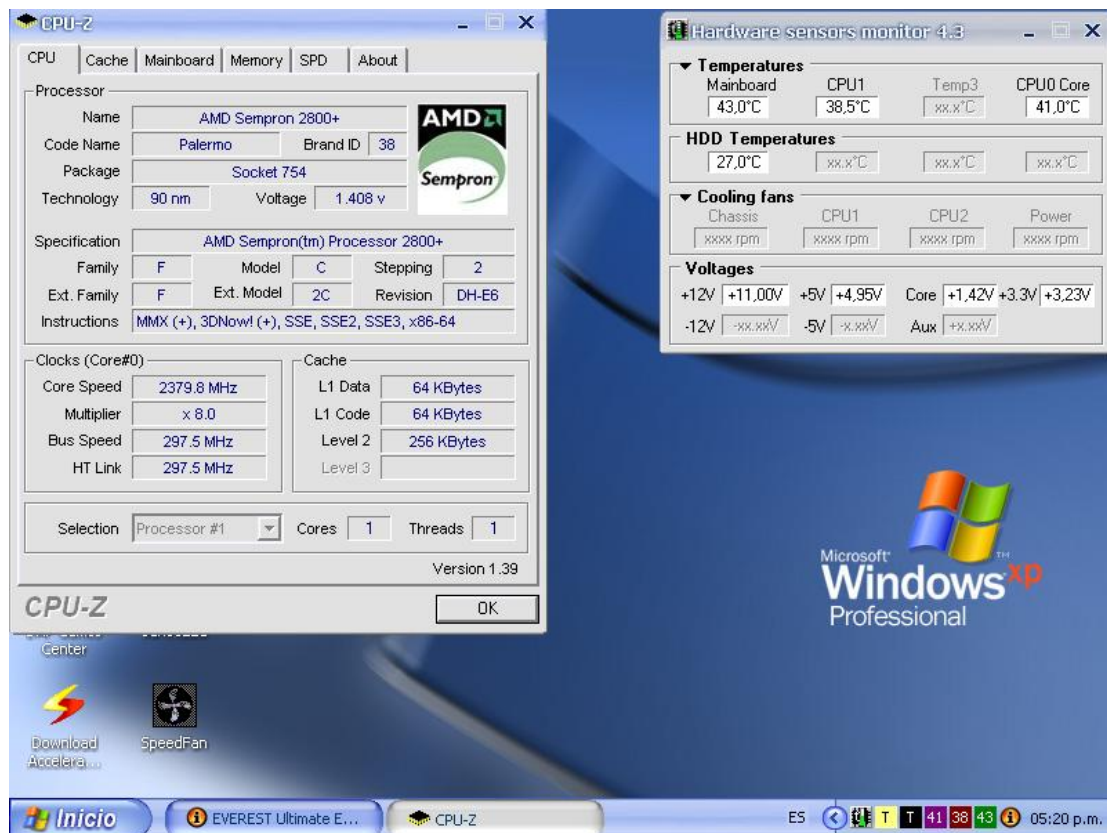
### 4.3 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA BAJO CONDICIONES DE MAXIMO OVERCLOCKING CON REFRIGERACION LIQUIDA

Al implementar el sistema de refrigeración líquida se observan grandes diferencias en cuanto a rango de overclocking (lo cual significa directamente un incremento en el rendimiento) y las máximas temperaturas alcanzadas

por el procesador, el chipset de la board y el chipset de la tarjeta de video (lo cual implica un aumento de la estabilidad).

En la figura 44 se ofrece un resumen de los principales parámetros computacionales y físicos del computador para un **rango de overclocking de 47.5%**.

Figura 42. Características del computador con overclock de 2380 MHz



Como se observa con el sistema de refrigeración líquida la temperatura de operación del procesador es de 38° C la cual es baja teniendo en cuenta que se está trabajando a una velocidad de procesador de 2380 MHz, mientras que para la velocidad normal del procesador de 1600 MHz, este tenía una

temperatura de 37° C. solo se presente un incremento de temperatura de 1°C y se gana casi un 48% mas de velocidad en el procesador.

Por otra parte el chipset de la board, presenta una temperatura de 43° C cuando el procesador esta en operación con overclock de 2380 MHz, mientras que para la velocidad normal de 1600 MHz esta temperatura es de 41° C, se presenta un incremento de 2°C pero se gana mayor velocidad de operación, además, las temperaturas de operación no son tan altas como para el caso del overclock de 8% con refrigeración convencional.

#### **4.4 ANALISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO DEL PROCESADOR CON OVERCLOCK A 2380 MHz Y PROCESADORES COMUNES EN EL MERCADO**

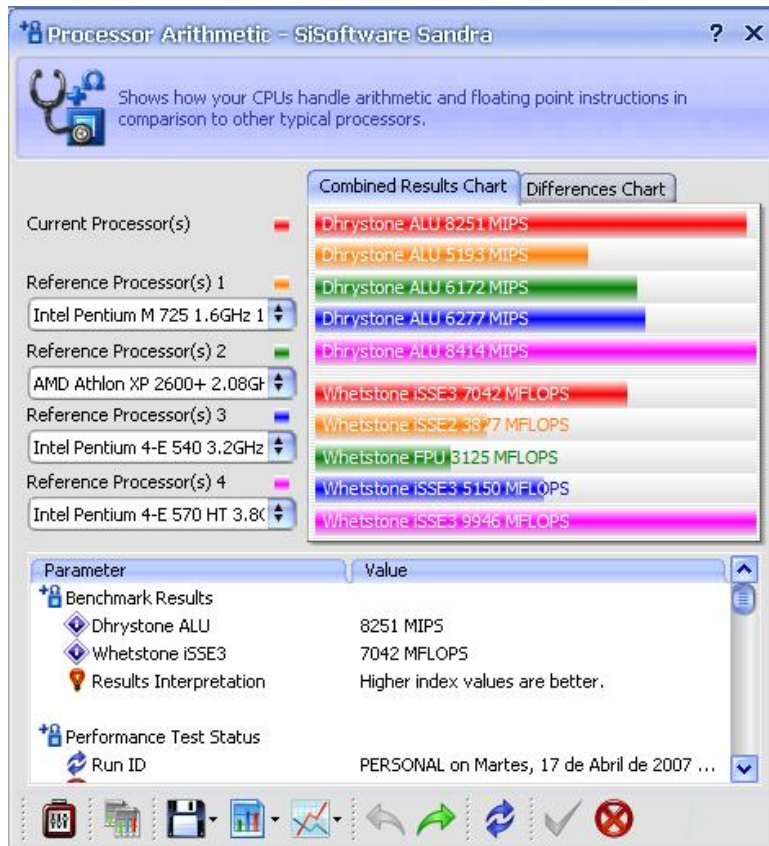
A continuación realizamos un análisis comparativo del rendimiento del procesador con overclock al máximo (@ 2380 MHz) y algunos de los procesadores mas comunes en el mercado actual. Las pruebas se realizan por medio de un software de benchmarking que enfatiza en el rendimiento del procesador frente a tareas tales como procesamiento de texto y calculo, conexión a internet, procesamiento de gráficos y encriptación y desencriptación de audio y video, con lo cual queda cubierto en términos globales el rendimiento del computador.

##### **4.4.1 MANEJO ARITMÉTICO Y DE PUNTO FLOTANTE**

Esta prueba es una medida directa del rendimiento del computador ya que mide la capacidad de realizar operaciones de punto flotante en el tiempo; estas son una medida del poder de calculo del procesador y en algunos casos de su manejo grafico.

En el grafico comparativo de la figura 45 se puede observar comportamiento del procesador frente a procesadores tales como el AMD athlon y aun el Pentium 4.

Figura 43. Prueba de manejo aritmético y punto flotante



Al analizar los resultados de la prueba, inmediatamente se hace notoria la ventaja obtenida al implementar el overclocking en el procesador, ya que el numero de millones de operaciones de punto flotante por segundo es de 7042 MFLOPS, esto esta por encima de los 3877 MFLOPS, 3125 MFLOPS y 5150 MFLOPS del Intel Pentium M 725 1.6 GHz, AMD Athlon XP 2600+ 2.08 GHz y el Intel Pentium 4-E 540 3.2 GHz respectivamente; siendo superado únicamente por el Intel Pentium 4-E 570 HT 3.8 GHz.

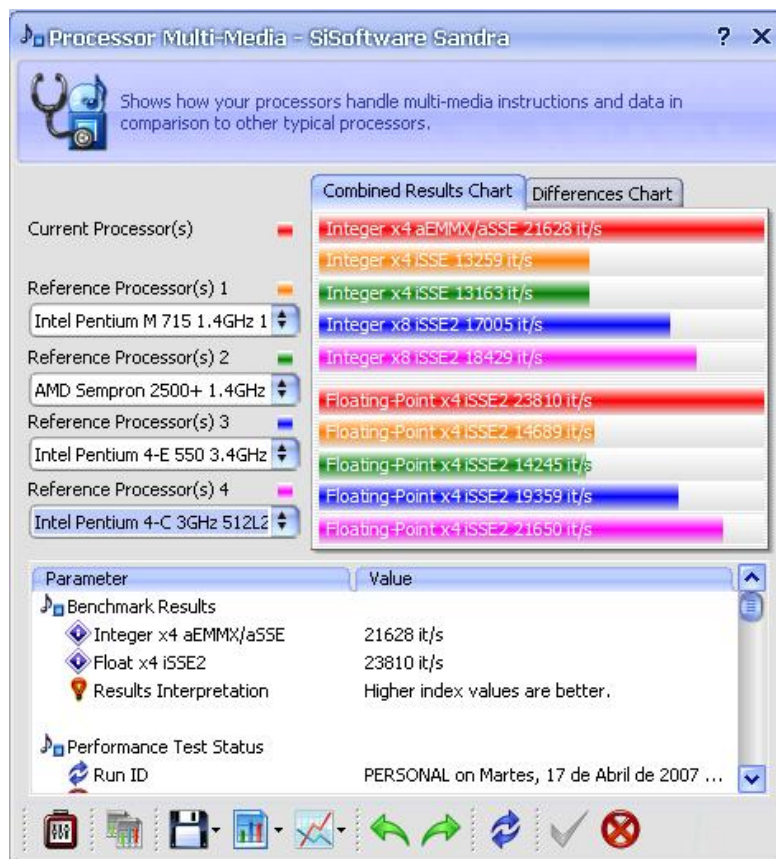
Realmente los resultados obtenidos además de ser una consecuencia del overlocking son consecuencia del diseño y arquitectura interna de la serie de procesadores Sempron (muy superior a la de los athlon y Pentium) a pesar de su bajo costo.

#### 4.4.2 TEST MULTIMEDIA

Esta prueba es una medida de cuan bien un procesador maneja las instrucciones multimedia (todo lo referente a video audio y datos).

En la figura 46 se expone un resumen de los resultados comparativos de esta prueba para nuestro procesador con overlocking (@ 2380 MHz).

Figura 44. Prueba de manejo multi-media



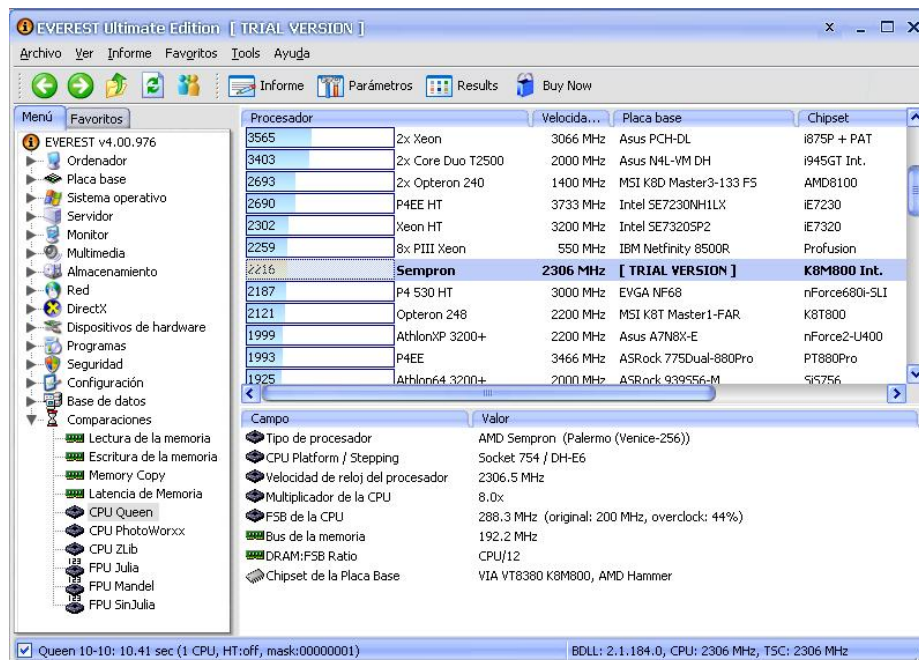
Aquí nuevamente es clara la amplia ventaja del procesador con overclocking comparado con procesadores tales como el Athlon y aun Pentium 4, de mucho más valor económico comparativamente.

#### 4.4.3 TEST CPU QUEEN

Este test es una medida cualitativa del poder de cálculo de un procesador y consiste simplemente en buscar las soluciones al ancestral problema de las “ocho reinas” (aquel en el cual hay que ubicar 8 reinas en un tablero de ajedrez sin que se ataquen entre ellas), para este caso el problema se modifica a ubicar N reinas en un tablero N\*N.

La figura 47 muestra un resumen de los resultados de esta prueba, que son solo un índice comparativo de rendimiento entre distintas clases de procesadores.

Figura 45. Prueba de las reinas



Sigue siendo notoria la ventaja en poder de cálculo obtenida por el procesador con 47% de overclocking frente a procesadores de precios más alto y aun, de supuesto “mayor rendimiento” como el Athlon XP y el Pentium 4.

#### 4.5 RESULTADOS TESTEO DE LA TARJETA DE VIDEO

El intento de “overclockear” la tarjeta de video con la refrigeración convencional no tuvo éxito, cualquier alteración que se realiza en las características de fábrica de la tarjeta en pro de un incremento del rendimiento de la misma torna a la tarjeta inestable debido al incremento del calor a disipar como consecuencia del aumento de la frecuencia de la GPU de la tarjeta (pequeño procesador que se encarga de manipular los gráficos).

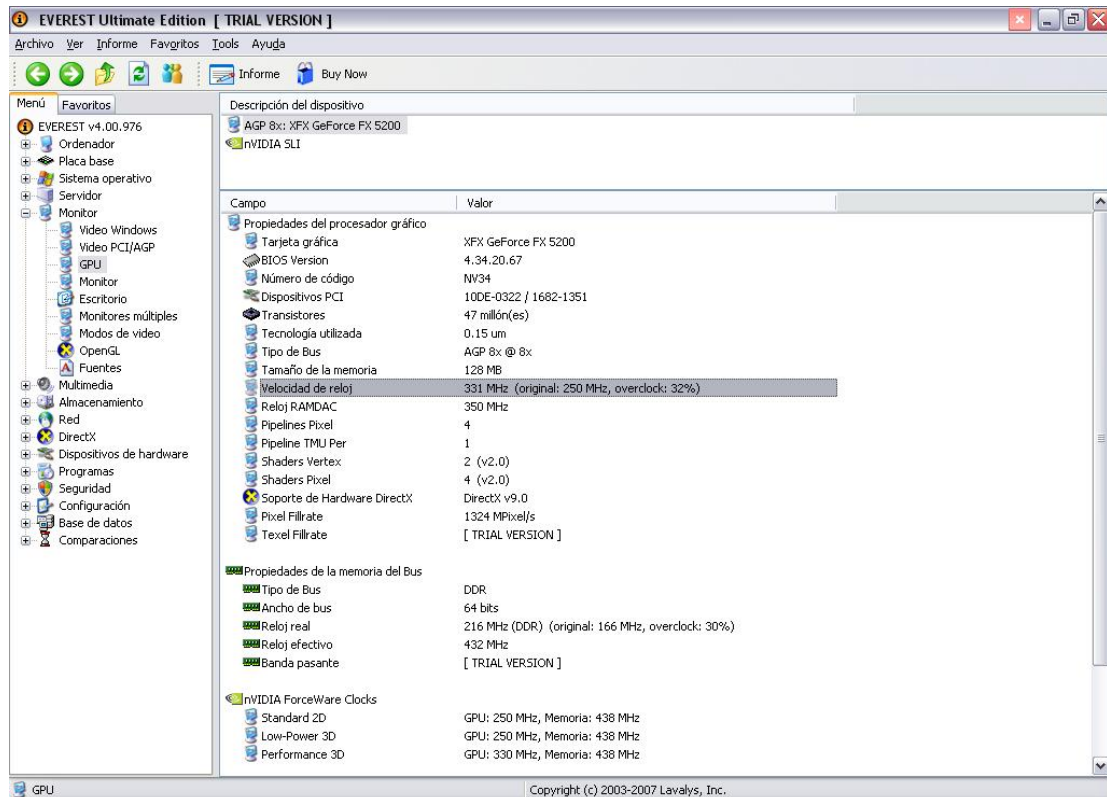
En la figura 48 se muestra el resultado del benchmarking realizado con 3D Mark como viene de fábrica (GPU a 250 MHz y RAM a 330 MHz).

Figura 46. Testeo tarjeta de video GEFORCE FX5200 (128 MB) sin overclocking



Al implementar la refrigeración líquida y un software especial que permite manipular la frecuencia de la GPU y la RAM interna en pequeños incrementos hasta alcanzar el valor máximo al cual trabaja la tarjeta establemente, obtenemos que podemos alcanzar una frecuencia en la GPU de 331 MHz y en la RAM de 350 MHz que comparados con 250 MHz y 330 MHz para la GPU y la RAM respectivamente sin overclocking esto en ultimas significa un rango de overclocking de 32% y un incremento en el rendimiento mas o menos en igual magnitud ya que aumentamos directamente la capacidad de procesamiento de la tarjeta. La figura 49 muestra las características de la tarjeta bajo condiciones máximo overclocking con refrigeración líquida.

Figura 47. Tarjeta de video con overclock y refrigeración líquida



Por ultimo, sometemos la tarjeta a la prueba de rendimiento con el 3D Mark de lo cual obtenemos como resultado que el incremento global en el rendimiento de la tarjeta de video (ponderando los desempeños de la GPU y la RAM) es de aproximadamente 29%.

Cabe recordar que la única forma de alcanzar este incremento en el rendimiento en la tarjeta grafica fue la implementación de la refrigeración liquida, con la refrigeración convencional no es posible variar los parámetros de rendimiento de la tarjeta como para obtener una variación perceptible en éste.

Figura 48. Resultado 3D Mark máximo overclocking y refrigeración liquida



Por ultimo se realiza una tabla a manera de resumen de los principales parámetros computacionales y físicos en todos los estados en los que se trabajo el computador con los dos sistemas de refrigeración.

Tabla 11. Comparación sistema convencional vs sistema alternativo

ESTADO	TEMPERATURAS	CALOR DE DESECHO	CAPACIDAD DEL SISTEMA DE REFRIGERACION	INCREMENTO EN EL RENDIMIENTO (%)
SIN OVERCLOCKING RC*	BOARD= 41°C PROC.=36°C	BOARD=14 W PROC.=28 W	BOARD=20 W PROC.=34 W	0%
OVERCLOCKING @1723 MHz RC	BOARD= 50°C PROC.=45°C	BOARD=16 W PROC.=32 W	BOARD=20 W PROC.=34 W	8%
OVERCLOCKING @2380 MHz RL**	BOARD= 43°C PROC.=38.5°C	BOARD=30 W PROC.=70 W	BOARD=114 W PROC.=281 W	47.25%
TARJETA DE VIDEO (RC)	GPU= 38°C	GPU=15 W	GPU=20 W	0%
TARJETA DE VIDEO (RL)	GPU=40°C	GPU= 30 W	GPU= 71 W	29%

\*REFRIGERACION CONVENCIONAL

\*\*REFRIGERACION LIQUIDA

## 5. CONCLUSIONES

- Queda descartada la posibilidad de disipar el exceso de calor resultante del máximo overclocking con el sistema de refrigeración convencional, sin realizar cambios que impliquen un rediseño completo del sistema convencional (lo cual lo convertiría automáticamente en un sistema alternativo).
- El máximo margen de overclocking obtenido con el sistema de refrigeración convencional fue 8% (de 1600 MHz a 1720 MHz) para el conjunto procesador chipset de la board con un incremento promedio de 9°C en las temperaturas del conjunto y 0% en la tarjeta de video.
- El máximo margen de overclocking obtenido con el sistema de refrigeración líquida fue 47.5% (de 1600 MHz a 2380MHz), límite impuesto por la estructura interna de la board. El incremento neto de temperatura en el conjunto chipset de la board y procesador es de apenas 2°C. El rango máximo de overclocking que se alcanzó con la tarjeta de video fue 32% con un incremento en la temperatura de 2°C.
- Los resultados de las pruebas de rendimiento comparativo del computador (pruebas de manejo aritmético y punto flotante) en condiciones de máximo overclocking con refrigeración líquida ponen nuestro procesador (con 7042 MFLOPS) por encima de procesadores relativamente más costosos y de supuesto alto rendimiento relativo, 3877 MFLOPS, 3125 MFLOPS y 5150 MFLOPS del Intel Pentium M 725 1.6 GHz, AMD Athlon XP 2600+ 2.08 GHz y el Intel Pentium 4-E 540 3.2 GHz

respectivamente; siendo superado únicamente por el Intel Pentium 4-E 570 HT 3.8 GHz.

- Podemos aumentar la transferencia de calor de los bloques al agua al implementar un arreglo de aletas en la superficie interna de los bloques, mejorando el acabado superficial de la superficie de contacto a un super-acabado o dando un baño de un metal con mejores propiedades térmicas (PLATA), con las implicaciones de un aumento en el costo de manufactura.
- La magnitud de la transferencia de calor también se puede aumentar al incrementar el caudal, para ello se debe cambiar la bomba por una de mayor caudal y por consiguiente de mayor tamaño esto incrementa el costo y el consumo de potencia eléctrica de esta.
- La relación beneficio-costos mas alta se obtiene al aumentar el caudal producido por la bomba, es decir cambiar la bomba, pues el sobre costo debido a la compra de la nueva bomba (+/-20000= pesos MC), mas el incremento del consumo de potencia eléctrica (10 W) son mucho menores que el costo que implica la implementación de un arreglo de aletas internas o la obtención de un super-acabado en la cara de contacto o el recubrimiento con plata en la cara de contacto.
- Las temperaturas de operación del sistema se pueden disminuir algunos grados al aumentar el tamaño del radiador, pero esto incrementaría el costo además del espacio que este ocupa en el sistema, siendo este ultimo una variable crítica de diseño. Esta disminución neta de la temperatura no implica una variación perceptible en el rendimiento o la estabilidad del

computador, por esta razón no se justifica llevar a cabo esta alteración en el radiador.

- El potencial de los sistemas de refrigeración con base en agua en el marco de las nuevas tecnologías *Core\_2\_Duo*<sup>®</sup> y *Quad\_Core*<sup>®</sup> y el *Core\_2\_extreme*<sup>®</sup> es muy alto debido al altísimo nivel de rendimiento y amplio rango de overclocking que exhibe esta gama de nuevos procesadores. Por ejemplo un Intel Core 2 Duo<sup>®</sup> E4300 (El procesador mas rápido en esta referencia es el E6600 @2400 MHz) que originalmente corre a 1800 MHz se puede “overclockear” sin refrigeración líquida a 2900 MHz obteniendo un resultado en la prueba de manejo aritmético y punto flotante de 19000 MFLOPS que comparado con el resultado de nuestro AMD Sempron 2800+ (@2400MHz de 7000 MFLOPS ) es mas de 2 veces y media, y esto significa poder de calculo y manejo de graficos de algunas aplicaciones con el software CAE.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

HOLMAN, J. P. Heat Transfer. Singapore: McGraw-Hill 1992. 736 p.

INCROPERA, Frank P. y DeWitt, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall. 1999. 912 p.

CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor. México: McGraw-Hill 2004. 793p.

CRANE<sup>®</sup>, División de ingeniería. McGraw-Hill

POTTER, Merle C. Wigget David C. Hondzo Midhat. Mexico: Prentice Hall 1998. 776 p.

## REFERENCIAS DE INTERNET

[www.hard-h2o.com](http://www.hard-h2o.com) MODDING & HARDWARE

[www.maxoverclocking.com](http://www.maxoverclocking.com) TODO SOBRE OVERCLOCKING

[www.amd.com](http://www.amd.com) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PRODUCTOS

[www.asrock.com](http://www.asrock.com) PLACAS BASE DE ALTO RENDIMIENTO

[www.nvidia.com](http://www.nvidia.com) SOLUCIONES GRAFICAS

[www.softpedia.com](http://www.softpedia.com) DESCARCA DE FREEWARE Y SHAREWARE

## ANEXO A. SIMULACION HIDRAULICA DEL BLOQUE DEL PROCESADOR

Los pasos para desarrollar la simulación hidráulica del bloque en el modulo CFX de ANSYS 10 son de manera grafica los siguientes:

Figura A1. Generación del volumen de malla

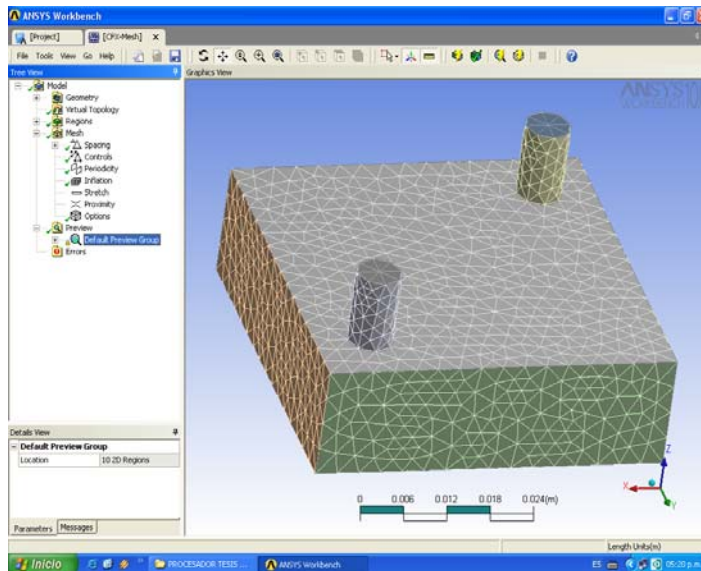


Figura A2. Definición de variables

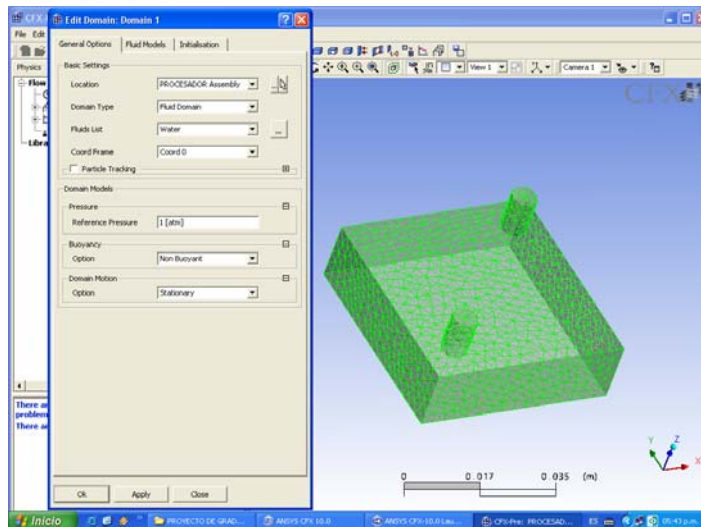
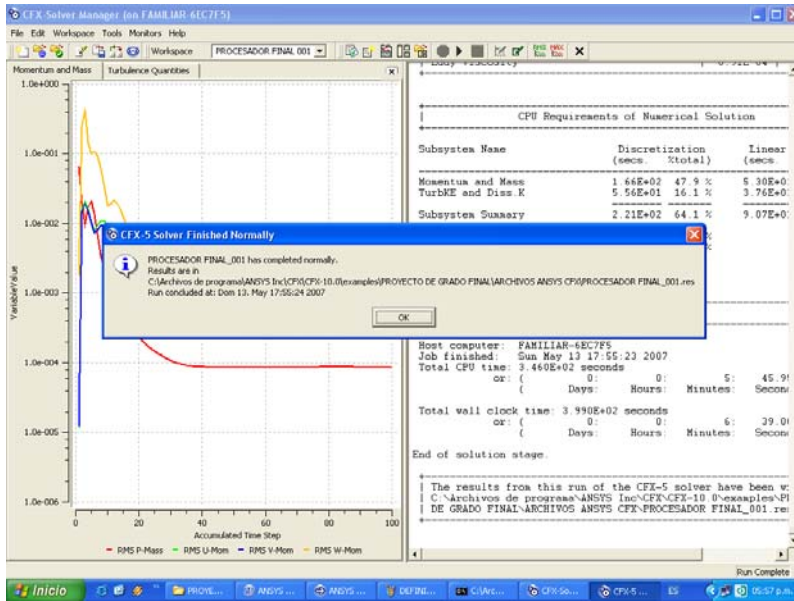


Figura A3. Solución del modelo



Después de resolver el modelo procedemos a analizar los resultados; dentro de los parámetros que nos interesa cuantificar están la velocidad, trayectoria y caída de presión a través del bloque intercambiador de calor.

Figura A4. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (Detalle 1)

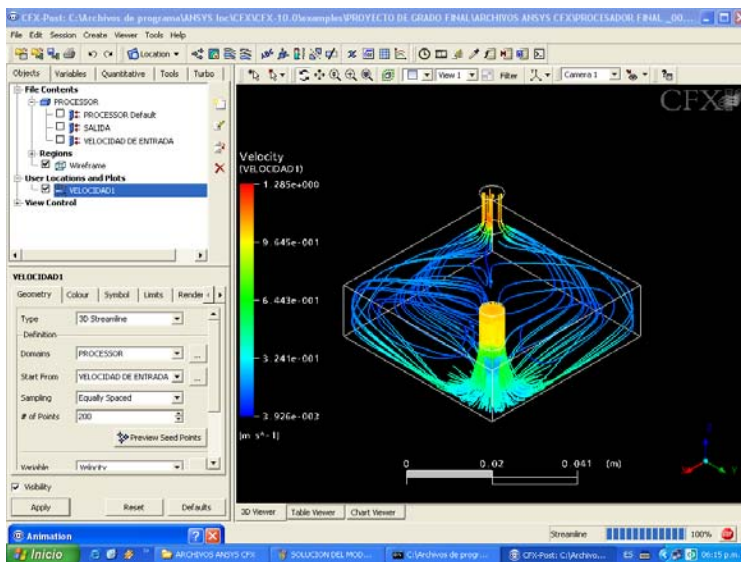


Figura A5. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (Detalle 2)

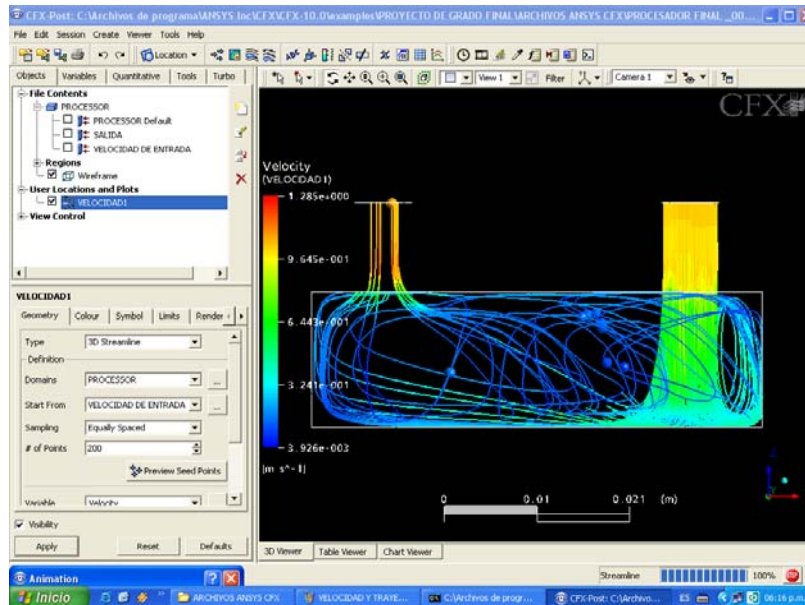


Figura A6. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (Detalle 3)

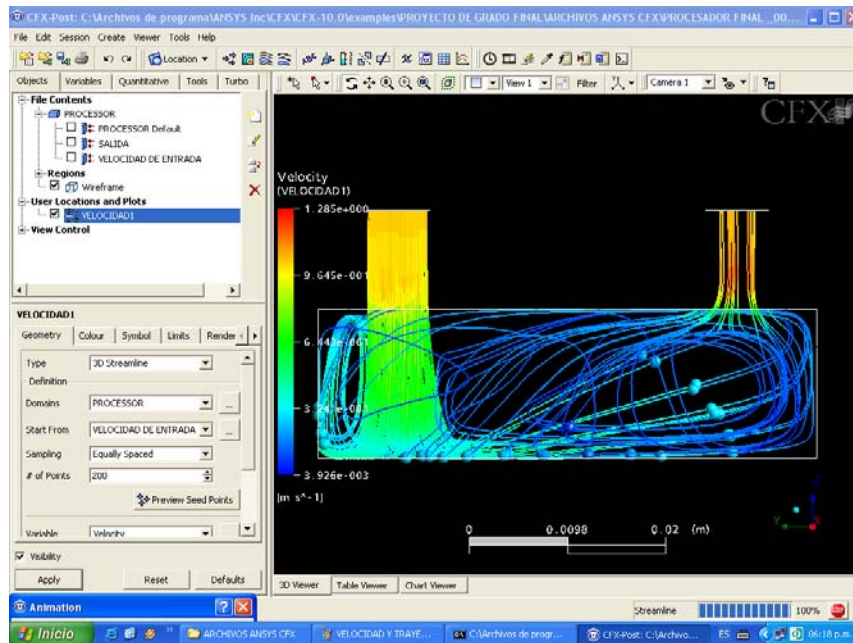


Figura A7. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (Detalle 4)

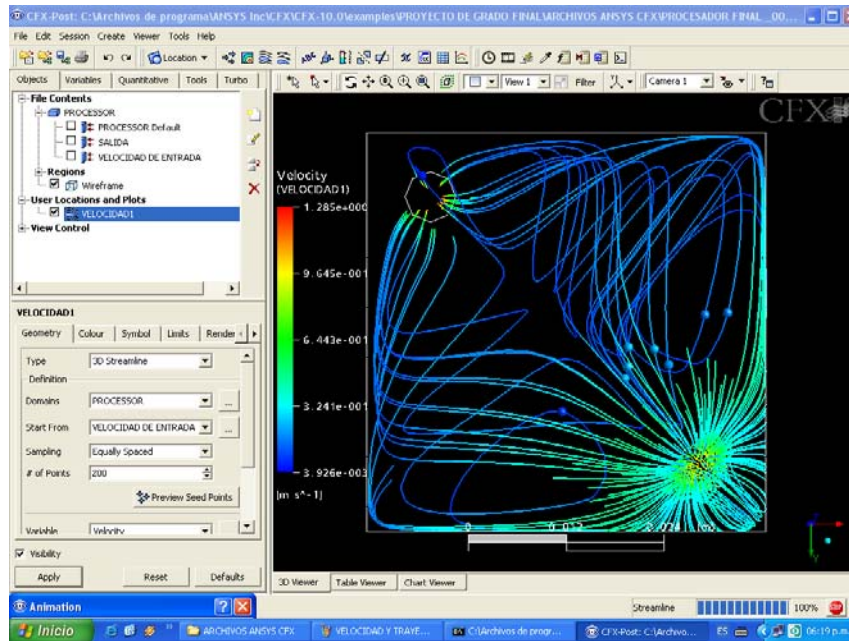
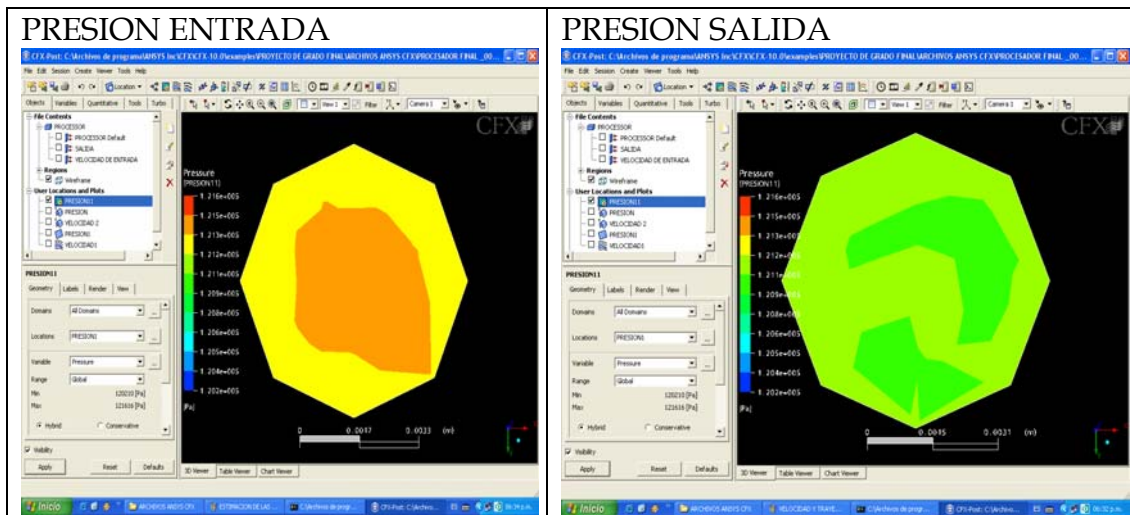


Figura A8. Calculo de la caída de presión a través del bloque intercambiador



En esta forma el software estima la caída de presión total debida al paso del fluido a través del bloque para una velocidad específica (6.14 cm @1.08 m/s).

## ANEXO B. SIMULACION HIDRAULICA DEL BLOQUE DEL CHIPSET DE LA BOARD Y DEL CHIPSET DE LA TARJETA DE VIDEO (IDENTICOS)

Los pasos para desarrollar la simulación hidráulica del bloque del chipset de la board y la tarjeta de video en el modulo CFX de ANSYS 10 son gráficamente los siguientes:

Figura B1. Generación de la malla

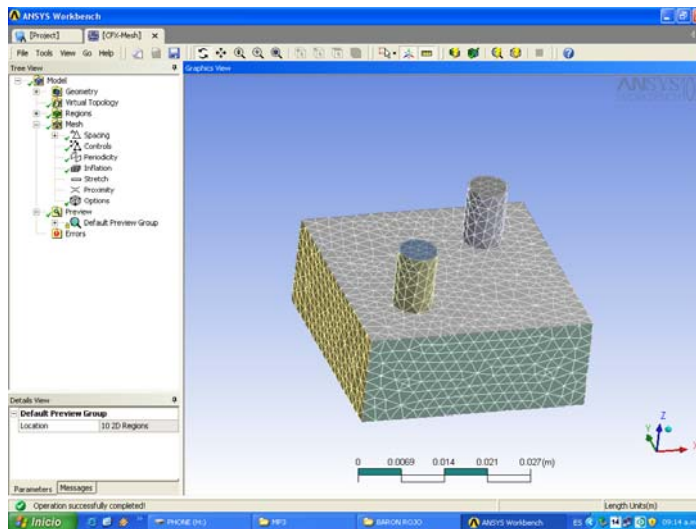


Figura B2. Definición de variables y solución del modelo

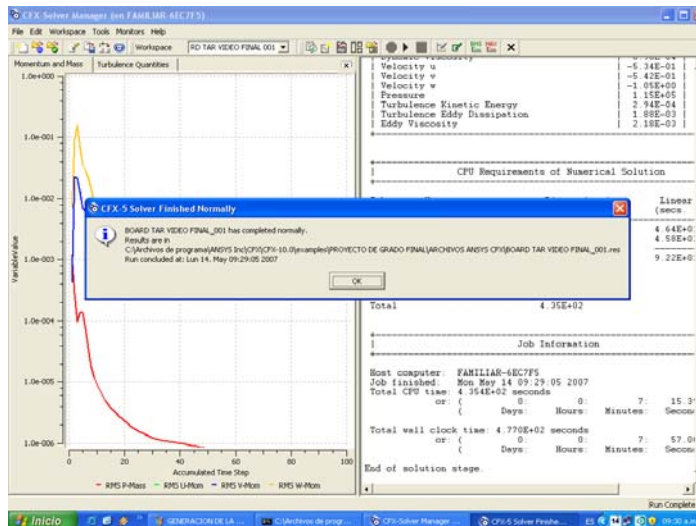


Figura B3. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 1)

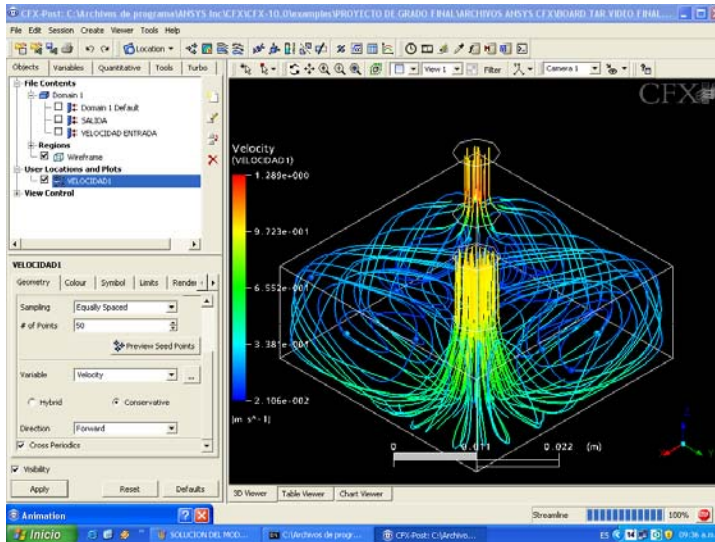


Figura B4. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 2)

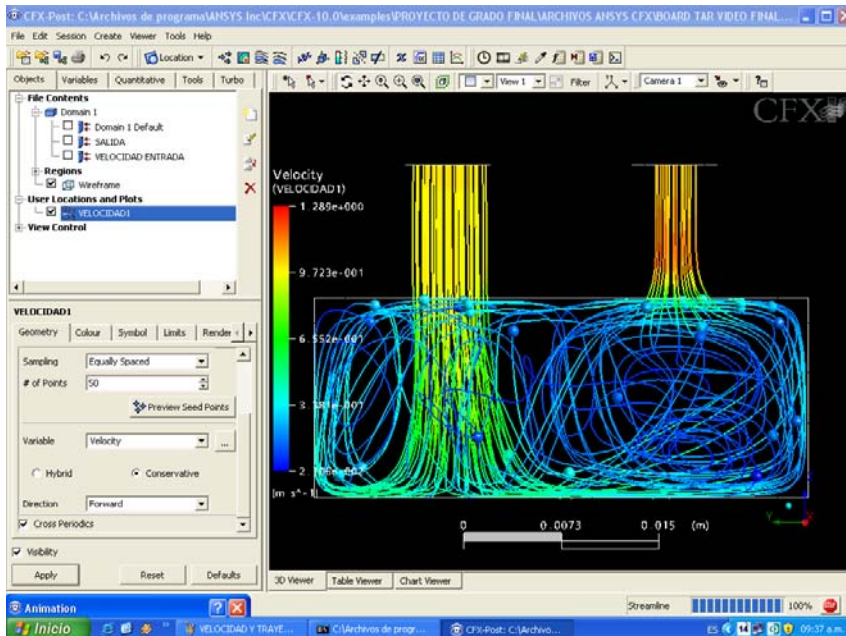


Figura B5. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 3)

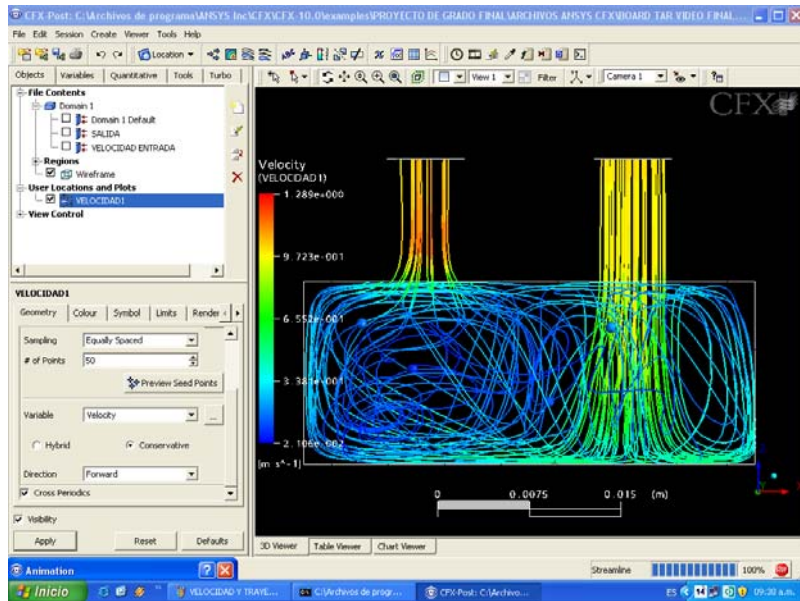


Figura B6. Velocidad y trayectoria del fluido a través del bloque intercambiador (DETALLE 4)

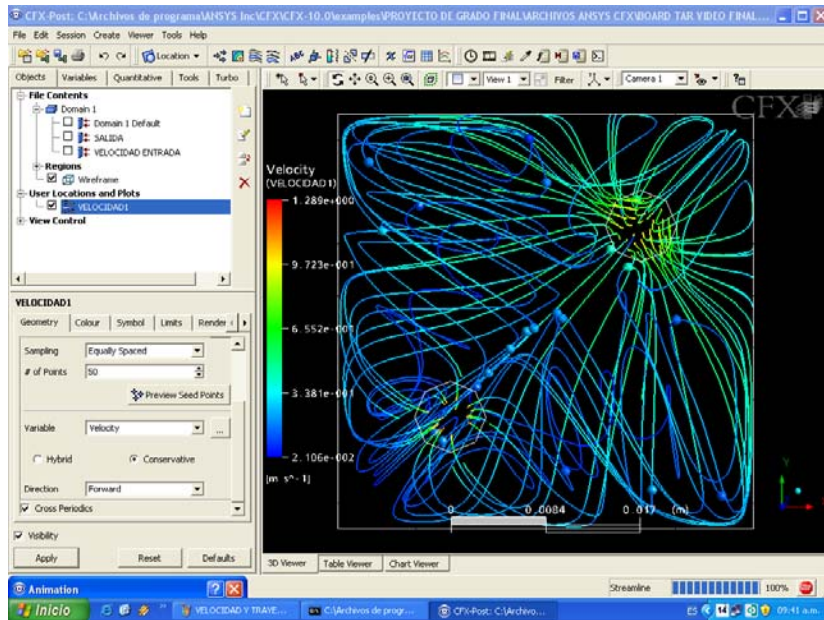
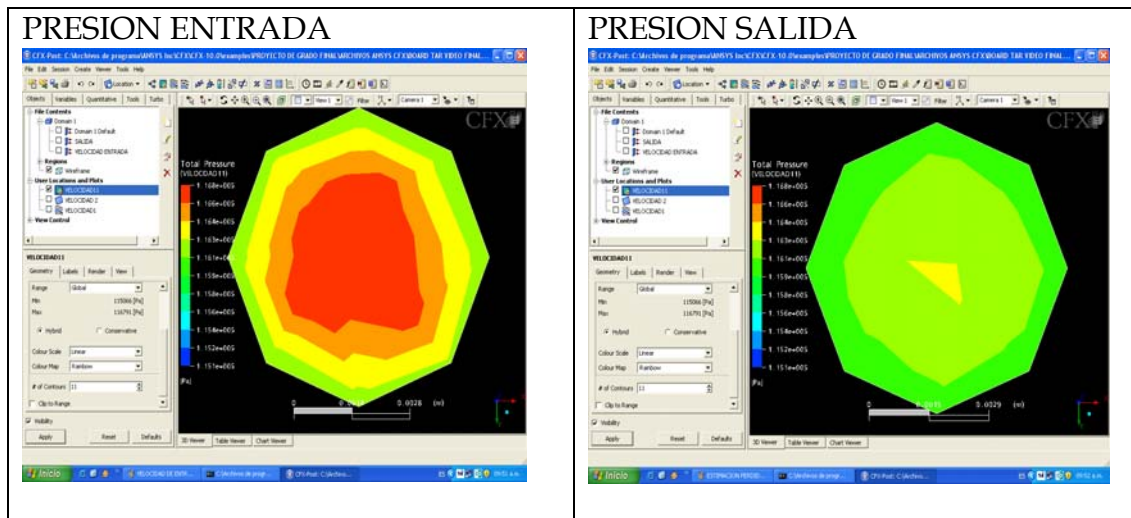


Figura B7. Calculo de la caída de presión a través del bloque intercambiador



En esta forma el software estima la caída de presión total debida al paso del fluido a través del bloque para una velocidad especifica (5.09 cm @1.08 m/s).

## ANEXO C. SIMULACION TERMICA DE LOS BLOQUES INTERCAMBIADORES DE CALOR

La simulación térmica de los bloque intercambiadores para el procesador, chipset de la board y chipset de la tarjeta de video fue realizada con ANSYS WORKBENCH 10; a continuación se muestra gráficamente el proceso de simulación del modelo térmico de los bloques intercambiadores de calor.

El proceso de simulación consta de los siguientes pasos:

- Desarrollo del modelo CAD del bloque.
- Exportación del archivo CAD a el entorno ANSYS
- Definición de las condiciones iniciales y cargas térmicas
- Definición de requerimientos para la solución (distribución de temperaturas, flujo direccional de calor etc.)

- Solución y análisis

Figura C1. Definición de las condiciones iniciales y cargas

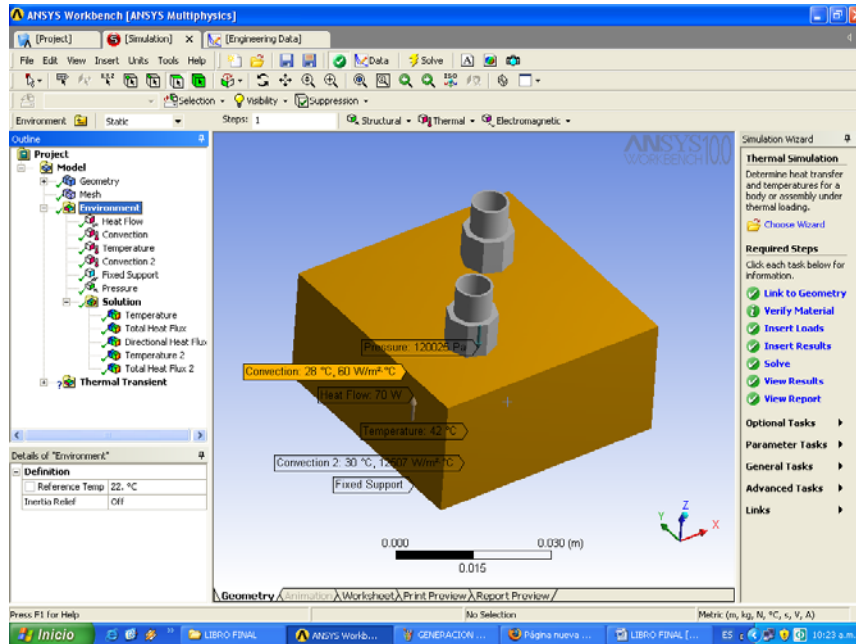


Figura C2. Definición del material (Cobre electrolítico)

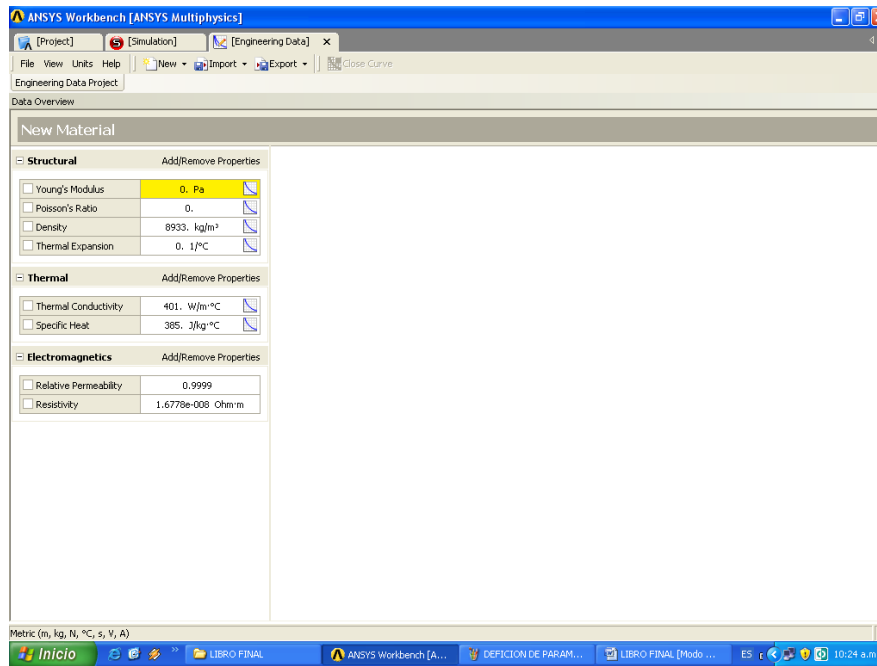


Figura C3. Generación de la malla

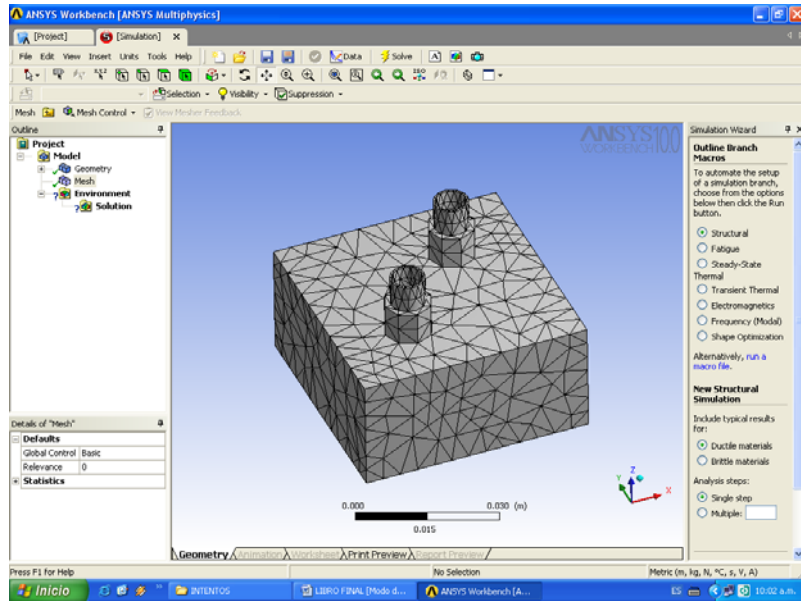


Figura C4. Dirección de flujo de calor (GLOBAL)

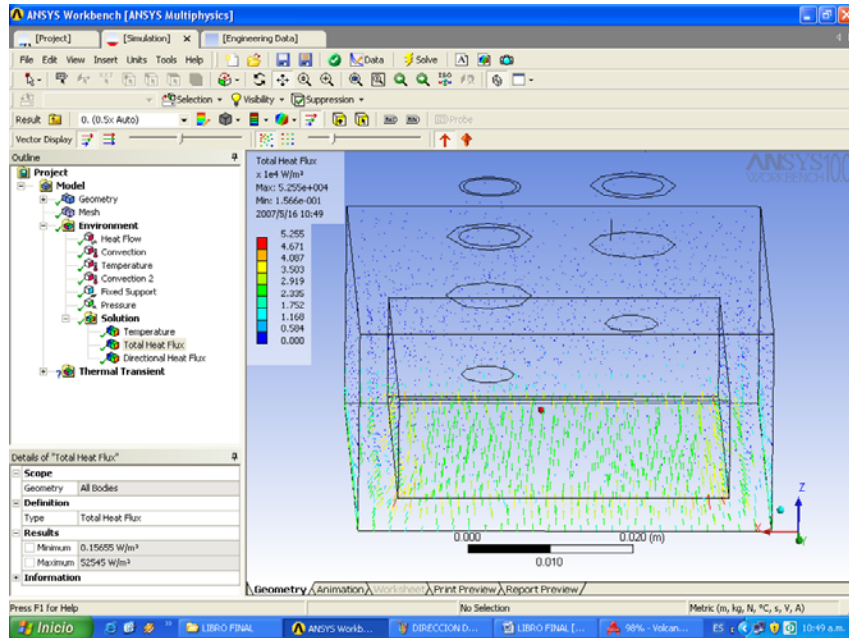


Figura C5. Dirección de flujo de calor (DETALLE 1)

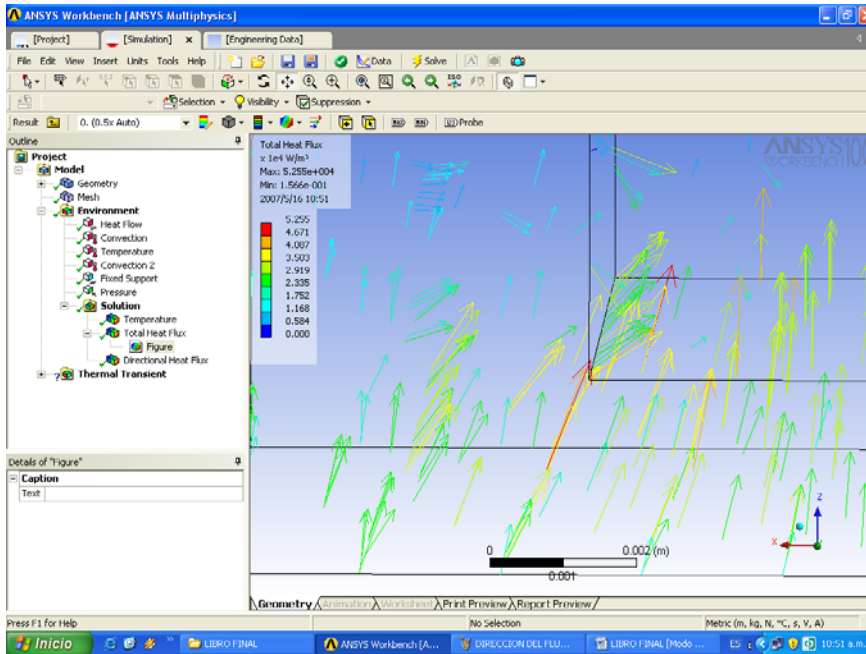


Figura C6. Dirección de flujo de calor (DETALLE 2)

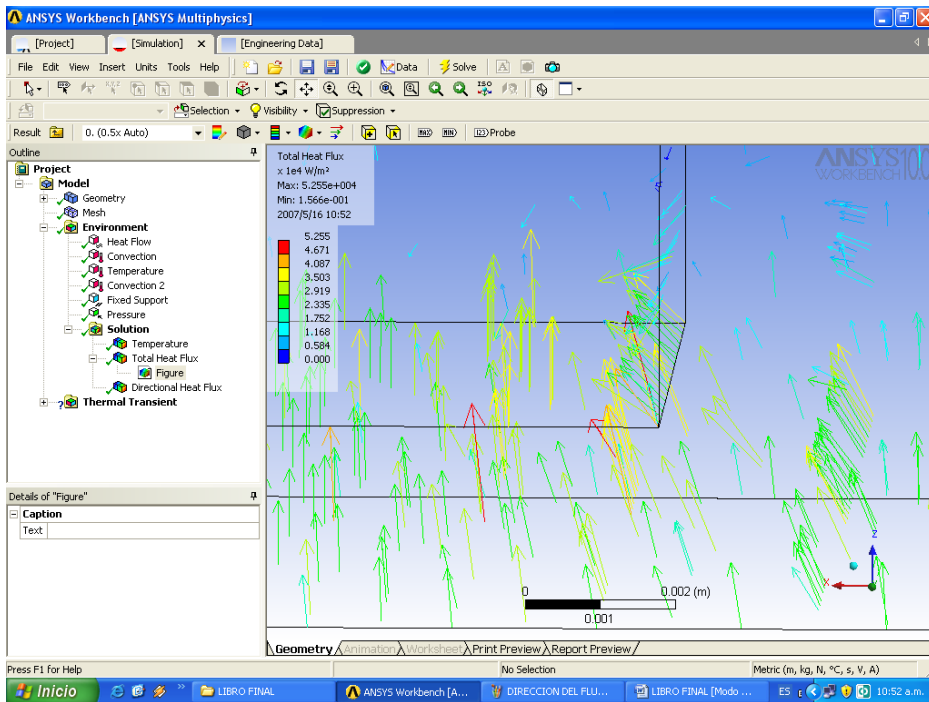


Figura C7. Detalle distribución de temperatura (plano interno)

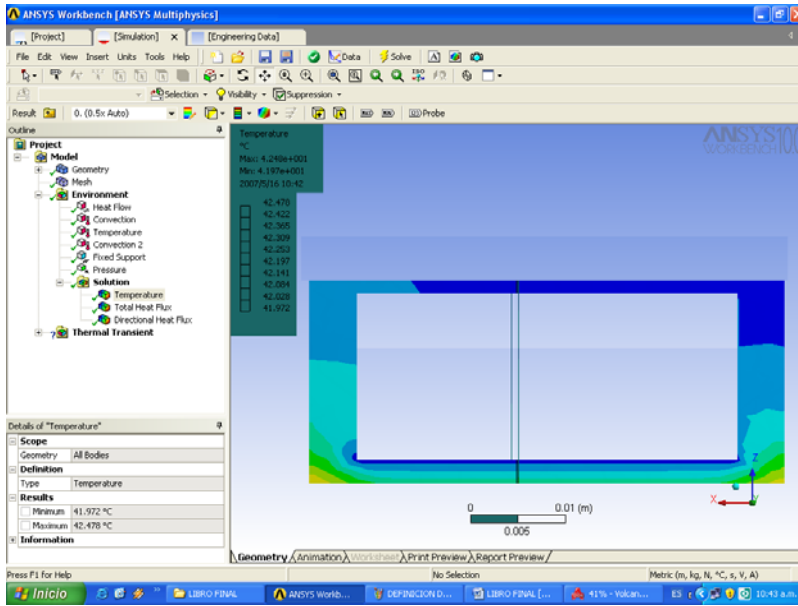


Figura C8. Detalle de temperaturas por ISOSURFACES

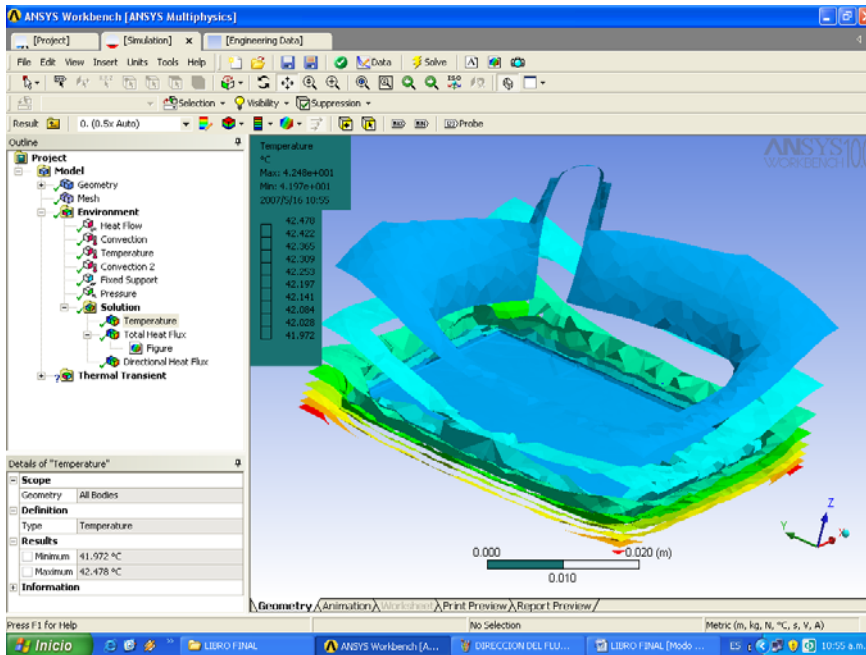
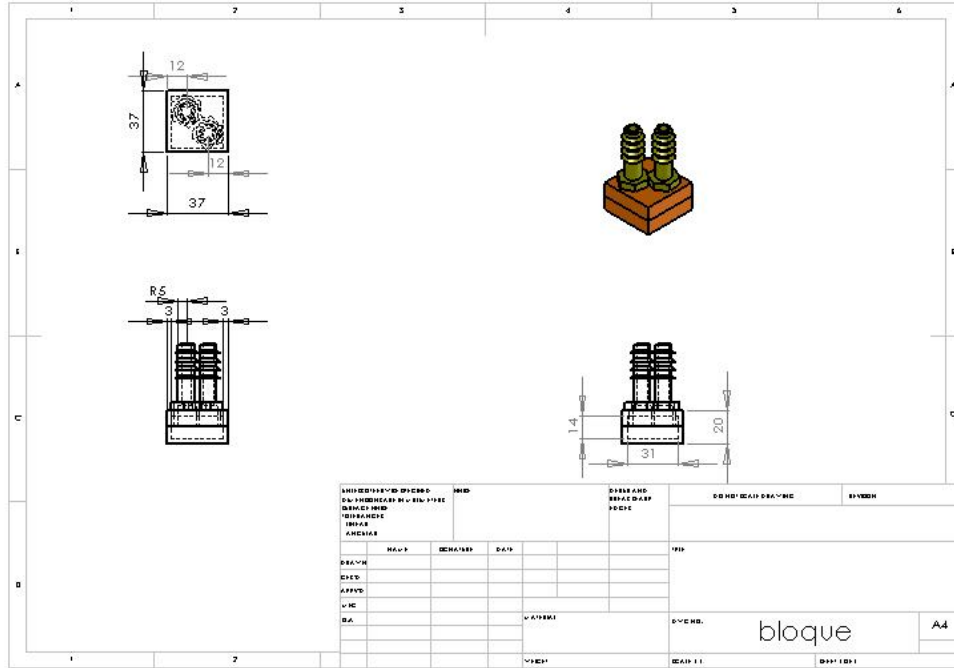








Figura D7. Bloque intercambiador de calor para el chipset de la board y de la tarjeta de video



## ANEXO E. PARAMETROS Y REFERENCIAS DE DISEÑO

Figura E1. Propiedades térmicas del Cobre

ELEMENTO	Conductividad térmica "k" (W/m <sup>2</sup> K), a la temperatura de:							Propiedades a 20°C				
	200°K	273°K	400°K	600°K	800°K	1000°K	1200°K	ρ Kg/m <sup>3</sup>	c <sub>p</sub> kJ/Kg°C	k W/m <sup>2</sup> K	α × 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> /seg	T.fusión °K
Aluminio	237,0	236,0	240,0	232,0	220,0			2702	896	236,0	97,5	933
Antimonio	30,2	25,5	21,2	18,2	16,8			6684	208	24,6	17,7	904
Berilio	301,0	218,0	161,0	126,0	107,0	89,0	73,0	1850	1750	205,0	63,3	1550
Bismuto	9,7	8,2						9780	124	7,9	6,5	545
Boro	52,5	31,7	18,7	11,3	8,1	6,3	5,2	2500	1047	28,6	10,9	2573
Cadmio	99,3	97,5	94,7					8650	231	97,0	48,5	594
Cesio	36,8	36,1						1873	230	36,0	83,6	302
Cromo	111,0	94,8	87,3	80,5	71,3	65,3	62,4	7160	440	91,4	29,0	2118
Cobalto	122,0	104,0	84,8					8862	389	100,0	29,0	1765
Cobre	413,0	401,0	392,0	383,0	371,0	357,0	342,0	8933	383	399,0	116,6	1356

Figura E2. Valores típicos de h [W/m<sup>2</sup>\*K]

$$q = A\bar{h}(T_s - T_f) = \frac{(T_s - T_f)}{R_c}$$

$$R_c = \frac{1}{Ah} \quad \text{Resistencia térmica}$$

$$K_c = \frac{1}{Ah} \quad \text{Conductancia térmica}$$

		Valores típicos de h W/m <sup>2</sup> K	
		Gases	Líquidos
<b>Variante del proceso de Convección</b>	<b>Libre o Natural:</b> El movimiento del fluido se produce por cambios en la densidad.	2-5	50-1000
	<b>Forzada:</b> El movimiento del fluido se produce por un agente externo, bomba, ventilador, gradientes de presión, etc.	25-250	50-20000
	<b>Con cambio de fase:</b> Se produce un cambio de fase en el fluido involucrado.	2500-100000	