

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Programa autónomo de evaluación térmica para procesadores Intel®

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Guillermo Treminio Moreno

Cartago, Junio de 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Pedro Murillo Fuentes

Profesor lector



Dr. Ing. Pablo Alvarado Moya

Profesor lector



Ing. Carlos Badilla Corrales

Profesor asesor



TEC

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 5 de agosto de 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 8 de agosto de 2004

Guillermo Treminio Moreno

Cédula: 1-1110-0808

RESUMEN

Componentes Intel® de Costa Rica se dedica a ensamblar y probar diferentes tipos de productos, en los que se incluyen procesadores. Después del ensamblado, el procesador se somete a una serie de pruebas con el fin de entregar a los clientes un producto confiable y garantizado.

Dentro de las pruebas que se le hacen al procesador se incluyen las pruebas térmicas, siendo la temperatura un factor determinante en el desempeño de cualquier procesador.

Al ser distribuidos a las distintas empresas que se encargan de ensamblar computadoras, por ejemplo DELL, HP, IBM, etc., los productos se ven sometidos a pruebas térmicas elaboradas por dichas entidades, no estando dichas pruebas reguladas por personal de Intel®, lo que ocasiona que componentes en buen estado puedan fallar a diferentes pruebas y sean devueltos a las instalaciones de Intel® para ser revisados. Dicha revisión de procesadores buenos ocasiona pérdidas tanto de tiempo como de recursos por parte de la empresa.

El objetivo del presente proyecto es el de diseñar un software capaz de realizar evaluaciones térmicas a los distintos procesadores desde cualquier computador personal, lo que le permitirá a los distintos clientes de Intel® realizar una prueba térmica validada a los procesadores de Intel® desde sus instalaciones.

Para implementar este proyecto se hizo uso del circuito de protección térmica que poseen los procesadores integrados en el silicio. Este circuito entra en operación cuando la temperatura del procesador alcanza un valor crítico. El software es capaz de hacer operar el procesador en forma extrema, provocando que el mismo se caliente, hasta que este circuito sea activado. El tiempo que transcurra entre el inicio de la prueba y la activación del circuito determinará el desempeño térmico del procesador.

SUMMARY

Intel® Corporation of Costa Rica is dedicated to assembly and test different electronic products, including microprocessors. After the assembly process, the processor is tested for the purpose of giving guaranteed products to the client.

Thermal Tests are included in this set of test that the processor has to pass, being the temperature a determining factor of the performance of any processor.

When the processors are distributed to different companies dedicated to assemble computers, for example DELL, HP, IBM, etc., the processors are tested by them with tests not validated by Intel® and this causes that the processors in good thermal conditions are sent back to Intel's facilities to be reviewed. This revision of good processors means lost of time and resources to the company.

The objective of the present project is to develop a software able to carry out thermal evaluations to different processors from any personal computer, which will allow, to the different clients of Intel®, perform a validated thermal test to the processors from their facilities.

In order to implement this project the Thermal Control Circuit integrated on the surface of the processor will be used. This circuit activates when the temperature of the processor reaches a critical value. The software will be able to call an application that operates the processor in extreme form, causing it to be warmed up until this circuit is activated. The time that lasts between the beginning of the test and the activation of the circuit will determine the thermal performance of the processor.

Keywords: Thermal Control Circuit, thermal performance

DEDICATORIA

*A mis padres,
por ser ejemplo de esfuerzo
y dedicación aún en momentos difíciles.
Gracias, porque sin su apoyo este logro no hubiese sido alcanzado.*

AGRADECIMIENTOS

*Al Ing. José Madriz Calderón,
por su aporte invaluable al desarrollo del presente proyecto,
además de su desinteresada ayuda en mi adaptación a la empresa.*

*Al Ing. Carlos Badilla Corrales,
por su guía en el transcurso de este proyecto,
y su sincera amistad durante todos mis años universitarios.*

*Al Ing. Pedro Murillo Fuentes,
por su constante apoyo desinteresado,
buscando siempre la excelencia del presente trabajo mostrado.*

INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Problemática existente y la importancia de su solución.....	1
1.2 Solución seleccionada	3
1.2.1 Inicialización de variables	5
1.2.2 Aplicación del estrés al procesador.....	5
1.2.3 MSR 19CH = 1	5
1.2.4 $TTT = t$	6
1.2.5 $X \leq N$	6
1.2.6 Determinar estado del procesador	6
1.2.7 Tiempo de enfriamiento	7
1.2.8 Arquitectura del software propuesto.....	7
1.2.9 Sistema complementario de medición por hardware	9
Capítulo 2: Meta y objetivos	10
2.1 Meta.....	10
2.2 Objetivo general	10
2.3 Objetivos específicos.....	10
2.3.1 Objetivos de hardware	10
2.3.2 Objetivos de software.....	10
2.3.3 Objetivos de documentación.....	11
2.3.4 Objetivos de implementación	11
Capítulo 3: Marco teórico	12
3.1 Especificaciones térmicas del microprocesador	12
3.2 Caracterización del rendimiento de disipación de calor de la unidad	15
3.3 Prueba actual de evaluación térmica del procesador	18
3.4 Relación de la potencia con la frecuencia y el voltaje	21
3.5 Mecanismo de control térmico.....	22
3.5.1 Sistema de apagado ante la detección de una catástrofe.....	22
3.5.2 Mecanismo de monitoreo térmico automático.....	23

3.6	Registros del Procesador	27
3.6.1	Registros de uso general	27
3.6.2	Registros de segmento	28
3.7	Anillos de protección en Windows 95 / 98	29
3.7.1	Mapa de memoria de Windows 95 / 98.....	30
3.8	Evaluación estadística	31
3.8.1	La prueba T.....	31
Capítulo 4: Metodología		34
4.1	Reconocimiento y definición del problema	34
4.2	Obtención y análisis de la información	34
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	35
4.4	Implementación de la solución	35
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.....		37
5.1	Descripción del hardware	37
5.2	Descripción del software.....	41
5.2.1	Software del microcontrolador	41
5.2.2	Software de la PC (TST).....	42
Capítulo 6: Análisis de resultados		50
6.1	Caso de consumo de potencia del 50 %	50
6.2	Caso de consumo de potencia del 60 %:	51
6.3	Caso de consumo de potencia del 70 %:	52
6.4	Caso de consumo de potencia del 80%	53
6.5	Caso de consumo de potencia del 90 %	54
6.6	Caso de consumo de potencia del 100%:	55
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones.....		56
7.1	Conclusiones	56
7.2	Recomendaciones.....	57

Bibliografía	58
Apéndice	59
A.1 Glosario y abreviaturas	59
A.2 Información sobre la empresa	59
A.2.1 Descripción de la empresa	60
A.2.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto	61
Anexos	62
B1. Especificación de componentes de la tarjeta madre	62

INDICE DE FIGURAS

Capítulo 1: Introducción	
Figura 1.1 Distribución de respuestas de unidades buenas.....	2
Figura 1.2 Diagrama de flujo de la solución proyectada.....	4
Figura 1.3 Arquitectura de TST.....	7
Figura 1.4 Comparación de los resultados del TST y el hardware.....	9
Capítulo 3: Marco teórico	
Figura 3.1 Relación de potencia y temperatura para las unidades Pentium 4 Extreme Edition y 660.....	13
Figura 3.2 Relación de potencia y temperatura para las unidades 650, 640 y 630.....	14
Figura 3.3 Ilustración de punto en donde se toma el TC.....	14
Figura 3.4 Circuito térmico equivalente del procesador.....	16
Figura 3.5 Relaciones de resistencias térmicas del procesador.....	16
Figura 3.6 Especificaciones de θ_{CA} para procesadores Pentium® 4.....	17
Figura 3.7 Esquema del encapsulado de un procesador.....	19
Figura 3.8 Componentes de un disipador activo.....	20
Figura 3.9 Ilustración de un disipador activo ensamblado.....	21
Figura 3.10 Esquema del circuito de protección térmica del procesador.....	24
Figura 3.11 Ilustración del funcionamiento del reloj del procesador con el TM1 activo.....	26
Figura 3.12 Diagrama base de los registros generales de un procesador.....	27
Figura 3.13 Mapa de memoria de Windows 95/98.....	30
Figura 3.14 Distribuciones para tres casos distintos de variabilidad.....	31

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	
Figura 5.1 Diagrama de bloques del hardware implementado.....	38
Figura 5.2 Circuito acondicionador de señal utilizado para acoplar PROCHOT# al microcontrolador.....	38
Figura 5.3 Conexión del relé con el microcontrolador.....	39
Figura 5.4 Tabla de direcciones del RTC72421.....	40
Figura 5.5 Diagrama de flujo del TST.....	41
Figura 5.6 Diagrama de flujo de la prueba ejecutada por TST.....	43
Figura 5.7 Conversión de ciclos de procesador a segundos.....	45
Figura 5.8 Ilustración de la apariencia del TST al iniciar el programa.....	48
Figura 5.9 Ilustración de la apariencia del TST ejecutando una caracterización.....	49
Capítulo 6: Análisis de resultados	
Figura 6.1 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia de 50%...	50
Figura 6.2 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia de 60%...	51
Figura 6.3 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia de 70%...	52
Figura 6.4 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia del 80%...	53
Figura 6.5 Análisis estadístico para un nivel de consumo de un 90%.....	54
Figura 6.6 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia del 100%.	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Especificaciones de temperatura para el Pentium® 4.....	13
Tabla 3.2	Parámetros del diodo ensamblado en el silicio.....	24

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problemática existente y la importancia de su solución

Conforme avanza la tecnología, los procesadores cada vez son más pequeños y más rápidos, lo que implica que la densidad de transistores por unidad de área aumenta incrementando así la cantidad de potencia que se disipa en forma de calor. Es necesario por ende un control adecuado para asegurar el correcto funcionamiento del procesador en diferentes situaciones.

Una vez que es ensamblado, el procesador de Intel® se somete a ciertas pruebas de calidad para valorar su desempeño. Una de estas pruebas consiste en evaluar el rendimiento del procesador bajo condiciones de uso extremo por parte del usuario para determinar la capacidad de disipación térmica de la unidad.

En ésta prueba el procesador se somete a un estrés¹ térmico bajo condiciones iniciales específicas y se mide el tiempo que tarda su circuito de protección térmica en activarse. Esta respuesta corresponde a un indicador de desempeño térmico, por lo que si la unidad no cumple con los requerimientos mínimos establecidos, el procesador es desechado.

El resultado de esta prueba refleja una distribución normal de respuestas para unidades buenas mostrada en la figura 1.1. El tiempo de respuesta de las unidades malas siempre será inferior al tiempo de respuesta de las unidades buenas, debido a que las unidades malas poseen deficiencias para disipar el calor por lo que tienden a calentarse más rápidamente.

¹ Estrés se refiere a un trabajo que obligue al procesador a elevar su temperatura

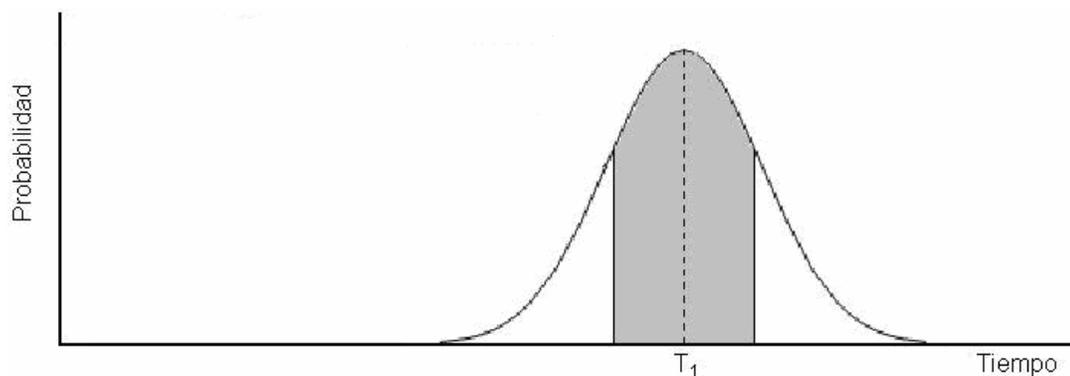


Figura 1.1 Distribución de respuestas de unidades buenas

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y conociendo los rangos de tiempo en donde una unidad se puede clasificar como buena o mala, Intel® asegura a sus clientes unidades de buena calidad.

El problema actual reside en que al ser entregados los procesadores a los distintos clientes, estos se ven sometidos a distintas pruebas de calidad por parte de los mismos, no estando muchas de estas pruebas validadas por Intel®, lo que ocasiona resultados dudosos de las mismas y por ende la devolución de procesadores en buen estado a la planta.

Actualmente en la fábrica se prueban las unidades por medio de un sistema hardware especializado, lo que implicó que no se contaba con un sistema por software para evaluar dicho desempeño.

En síntesis, la empresa requería de un sistema de evaluación térmica por software para los procesadores para ser distribuida a los diferentes clientes, con el fin de garantizar que los mismos realizan pruebas validadas y reguladas por Intel®.

Parte de la misión de Intel® para con sus clientes es de suplir productos competitivos en su desempeño, precio, alta calidad y cuando el cliente los necesite. Con la implementación de este proyecto, Intel® les proporcionará a sus clientes una prueba validada y caracterizada para verificar la calidad de sus productos, a su vez reduciendo al mínimo los costos relacionados con la revisión de unidades devueltas en buen estado.

1.2 Solución seleccionada

La solución proyectada a continuación se elaboró considerando las recomendaciones dadas por la empresa en conjunto con las ideas planteadas por el estudiante. Dicha solución se explica en la figura 2.1 y posteriormente se explicará en detalle cada una de sus etapas.

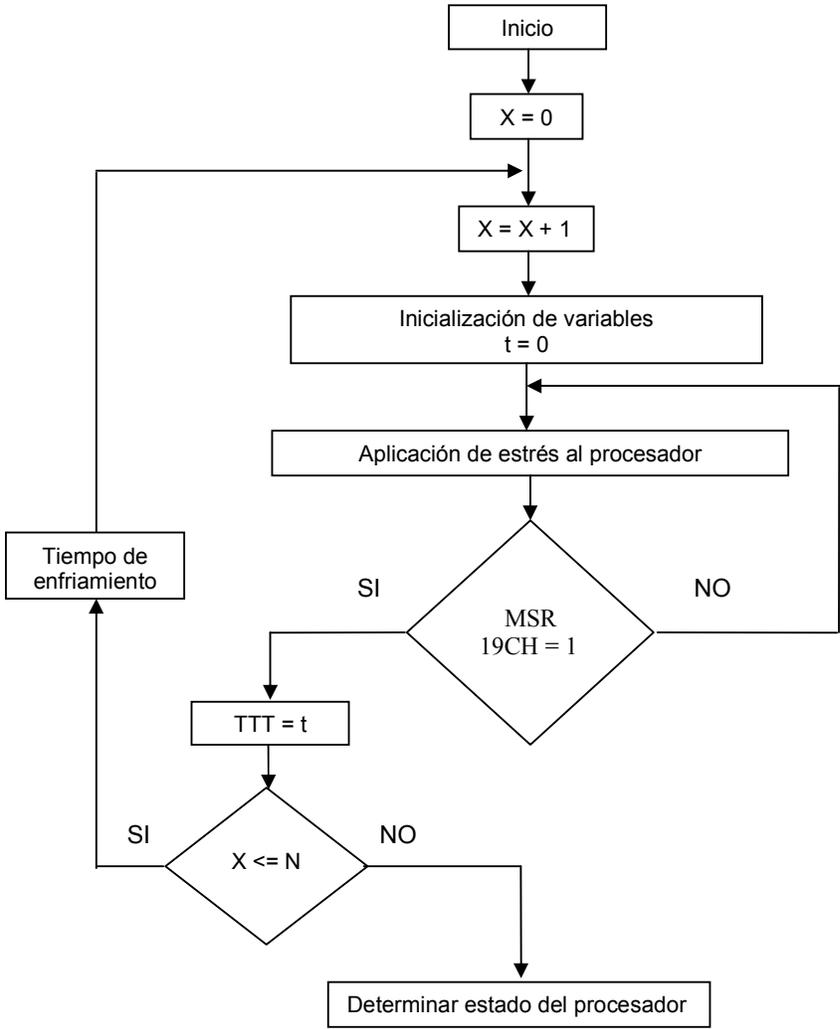


Figura 1.2 Diagrama de flujo de la solución proyectada

1.2.1 Inicialización de variables

Este procedimiento consiste en inicializar el temporizador que tomará el tiempo que tarda el procesador en activar su circuito de protección térmica en presencia de un estrés térmico aplicado. Además tendrá que garantizarse que el bit 3 del MSR² IA32_MISC_ENABLE se encuentre activo para cerciorarse que el TCC³ se encuentra activo.

1.2.2 Aplicación del estrés al procesador

Este procedimiento consiste en hacer trabajar en un modo extremo al procesador. Esta operación fuerza al procesador a consumir una determinada cantidad de potencia, la cual es establecida por la prueba.

Gracias a los resultados obtenidos se determinó cual es el valor de consumo de potencia adecuado para tener resultados favorables, ya que dependiendo del procesador y de su frecuencia de operación estos valores varían significativamente.

1.2.3 MSR 19CH = 1

El procesador cuenta con registros de estado internos los cuales pueden ser manipulados a conveniencia. El control de temperatura se monitorea mediante el MSR 19CH del procesador, el cual se encuentra lógicamente conectado a un circuito comparador integrado en la superficie del procesador. En el momento en que este circuito se dispara indicando que la temperatura es superior a su referencia, el mismo provoca un cambio de estado en el MSR específico y un cambio de estado en la señal PROCHOT# la cual se lee

² MSR por sus siglas en inglés, Model Specific Register, es un registro de función específica del procesador.

³ Por sus siglas en inglés, Thermal Control Circuit, TCC se refiere al circuito de control térmico integrado del procesador.

físicamente de uno de los pines del procesador. Este procedimiento monitoreará constantemente el bit 0 de dicho MSR, cuyo nombre es IA32_THERM_STATUS del procesador. Este bit es el designado para activarse en el momento en que el comparador es activado. Mediante el monitoreo de este bit se logrará determinar el momento en que el circuito de protección térmica es activado.

1.2.4 TTT⁴ = t

En el momento en que el bit respectivo del MSR cambia de estado, el software reportará el tiempo transcurrido por la prueba. Este tiempo será el factor que determinará si una unidad tiene un buen desempeño de disipación térmica.

1.2.5 X <= N

N es la cantidad de veces que se le hará la prueba a un respectivo procesador. Fue necesario realizar un análisis estadístico para determinar que valor de N es el más apropiado para esta prueba. Es necesario aclarar que esta repetición sucesiva se realizó únicamente para caracterizar el comportamiento de la unidad con la finalidad de identificar el rango de tiempo al cual pertenecen las unidades en buen estado. La prueba final que se le entregará al cliente tiene este rango de valores por defecto y se realiza únicamente una vez.

1.2.6 Determinar estado del procesador

Con los datos obtenidos de la etapa anterior se podrá determinar si un procesador se encuentra disipando bien la potencia y por ende determinar si un procesador se encuentra en buen o mal estado. Este procedimiento hará una comparación de dicho resultado con el rango establecido del análisis estadístico y determinará el estado térmico del procesador en estudio.

⁴ TTT por sus siglas en inglés, Time to Throttle, se refiere al tiempo que tarda el circuito de protección térmica en activarse.

1.2.7 Tiempo de enfriamiento

El procesador al finalizar cada una de las pruebas estará caliente, por lo que será necesario un tiempo de enfriamiento antes de reiniciar una nueva prueba, con esto se garantizará que las condiciones iniciales para cada una de las pruebas serán idénticas.

1.2.8 Arquitectura del software propuesto

El software a elaborar tendrá características de modularidad, por lo que se usará una arquitectura como la que se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3 Arquitectura de TST⁵

⁵ TST: Por sus siglas en inglés, Thermal Self Test, se refiere a un autodiagnóstico térmico. Es este el nombre con el que se le conoce a la prueba en Intel®.

La figura 1.3 ilustra el funcionamiento del TST. Dicha estructura consta de una interfaz gráfica de usuario que controla los distintos módulos que realizan tareas específicas. La GUI⁶, la cual se programará haciendo uso del software Microsoft® Visual Basic .NET llamará en primera instancia a una librería de enlace dinámica (DLL) elaborada en C++, cuya función será controlar directamente los registros internos del procesador. La librería hará lecturas y escrituras según corresponda. Se ha escogido Microsoft® Visual Basic .NET para programar la interfaz gráfica, ya que presenta grandes ventajas y facilidades para elaborar ambientes amigables para el usuario, por otra parte la librería se programa en Microsoft® Visual C++ ya que este software es, hoy por hoy, uno de los lenguajes más robustos para trabajar con rutinas de bajo nivel.

La GUI se encargará por otra parte de llamar y ejecutar el programa de estresamiento térmico. Este programa es una aplicación que ya se encuentra creada, por lo que el software será el responsable de brindar los parámetros necesarios para su adecuada ejecución y puesta en marcha. La librería estará en constante monitoreo del MSR específico del procesador y en el momento en que se active el TCC, la librería reportará el tiempo en que transcurrió la prueba.

Una vez que se tenga el tiempo que duró el circuito de protección térmica en activarse, la GUI tendrá programada una rutina que hará los respectivos análisis estadísticos para determinar, como objetivo final, si una unidad se encuentra en buenas o malas condiciones de disipación térmica.

Esta estructura presenta grandes ventajas, en las que se puede mencionar que el software será menos intensivo en memoria, ya que solo las aplicaciones que se ocuparán en determinados momentos se encontrarán activas. Otra ventaja es que este modelo, al ser completamente modular, aumenta la velocidad y efectividad de resolución de problemas, ya que será más sencillo determinar a qué módulo pertenece algún problema específico y por ende aumentará la velocidad para aislar y solucionar el problema.

⁶ GUI, por sus siglas en inglés, Graphical User Interface, se refiere a la interfaz gráfica de usuario.

1.2.9 Sistema complementario de medición por hardware

Para agregarle confiabilidad a los datos obtenidos por medio del software se implementó un sistema de medición independiente por hardware, el cual tendrá la función de realizar la medición del TTT en paralelo al TST. Las respuestas de los dos sistemas para cada una de las pruebas deberán ser idénticas, tal y como se muestra en la figura 1.4.

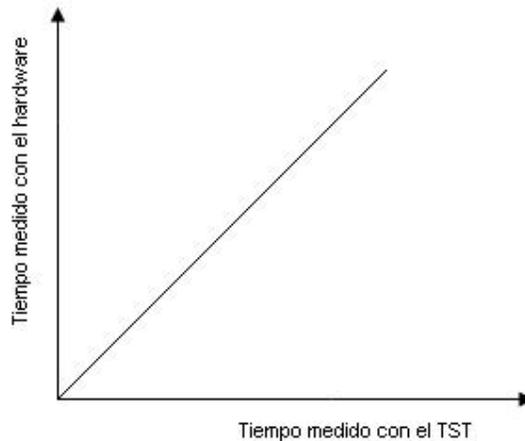


Figura 1.4 Comparación de los resultados del TST y el hardware

Uno de los problemas comunes que presentan las unidades que se calientan rápidamente es el funcionamiento defectuoso por parte del ventilador del disipador de calor del procesador. Para descartar estos mal funcionamientos y enfocarse únicamente al rendimiento térmico de la unidad en sí, se realizarán todas las caracterizaciones con dicho ventilador apagado. Este sistema de hardware permitirá, por medio de un relé, la desactivación y activación de dicho ventilador antes y después de cada una de las pruebas respectivamente.

Este hardware se utilizó únicamente en la etapa de caracterización para dar fe de la veracidad del software. El mismo no se le entregará al cliente pues el objetivo final será el entregar un único paquete software de prueba.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Minimizar las pérdidas económicas ocasionadas a Intel® por procesadores devueltos por sus clientes ensambladores de computadoras.

2.2 Objetivo general

Diseñar un sistema de pruebas térmicas para los procesadores Intel® que pueda ser ejecutado desde cualquier PC convencional.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Objetivos de hardware

- Diseñar un circuito capaz de medir y reportar el TTT a la PC.
- Diseñar un sistema capaz de controlar el ventilador del disipador de calor del procesador.

2.3.2 Objetivos de software

- Crear una rutina que acceda a los registros térmicos del procesador.
- Crear una rutina que controle al software específico⁷ que aplica un sobre esfuerzo determinado al procesador.
- Crear una rutina que calcule tiempos en base a ciclos del procesador
- Crear una rutina que identifique la frecuencia del procesador.
- Crear un DLL con las características requeridas.

⁷ Por razones de confidencialidad no se puede especificar el nombre del software a utilizar

- Crear una rutina que determine, en base a datos estadísticos, la capacidad de disipación térmica de un procesador.
- Crear una rutina que realice la caracterización de unidades de distintas frecuencias.
- Crear una interfaz amigable al usuario que controle las rutinas elaboradas anteriormente.

2.3.3 Objetivos de documentación

- Documentar los resultados obtenidos de las caracterizaciones.
- Crear un manual de usuario para el software elaborado⁸.
- Realizar un informe final que documente los resultados, las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

2.3.4 Objetivos de implementación

- Presentar el proyecto al departamento de Calidad y Confiabilidad de Componentes Intel® de Costa Rica y a la escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

⁸ Por razones de confidencialidad, dicho manual de usuario no se anexa en el presente informe.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Especificaciones térmicas del microprocesador

Para permitir la óptima operación y confiabilidad a largo plazo de los procesadores Intel®, la solución térmica del procesador debe ser diseñada de tal forma que el procesador permanezca dentro de los rangos de mínima y máxima temperatura en operación normal. La tabla 3.1 muestra los valores específicos de temperatura para los procesadores Pentium® 4 660, 650, 640, 630 y Extreme Edition. En esta tabla se muestra el valor de la potencia disipada según la frecuencia. Las soluciones térmicas que no son diseñadas para proporcionar este nivel de capacidad térmica pueden afectar la confiabilidad a largo plazo del sistema.

Las figuras 3.1 y 3.2 muestran la relación de la temperatura respecto a la potencia para los procesadores Pentium® 4 Extreme Edition, 660 y 650, 640, 630 respectivamente. Se puede notar que en ambas gráficas que la temperatura de la cubierta T_C aumenta a medida de que la potencia disipada aumenta.

El procesador Pentium® 4 introduce una nueva metodología para manejar la temperatura del mismo dirigida a reducir el ruido acústico a través del control de la velocidad del ventilador. La selección de la velocidad apropiada del ventilador se realiza por medio de la temperatura que reporta el diodo térmico del procesador. La temperatura de la cubierta se mide en el centro geométrico del IHS⁹ del procesador tal y como se aprecia en la figura 3.3.

Los análisis realizados indican que en aplicaciones reales el procesador no será sometido al consumo máximo de potencia por períodos de tiempo prolongados.

⁹ IHS por sus siglas en inglés, Integrated Heat Spreader, es el disipador que se adhiere directamente al procesador.

Tabla 3.1 Especificaciones de temperatura para el Pentium® 4

Procesador	Frecuencia (GHz)	Potencia disipada (W)	Mínimo T _C (°C)	Máximo T _C (°C)
Extreme Edition	3.73	115	5	Ver figura 3.1
660	3.60	115	5	Ver figura 3.1
650	3.40	84	5	Ver figura 3.2
640	3.20	84	5	Ver figura 3.2
630	3	84	5	Ver figura 3.2

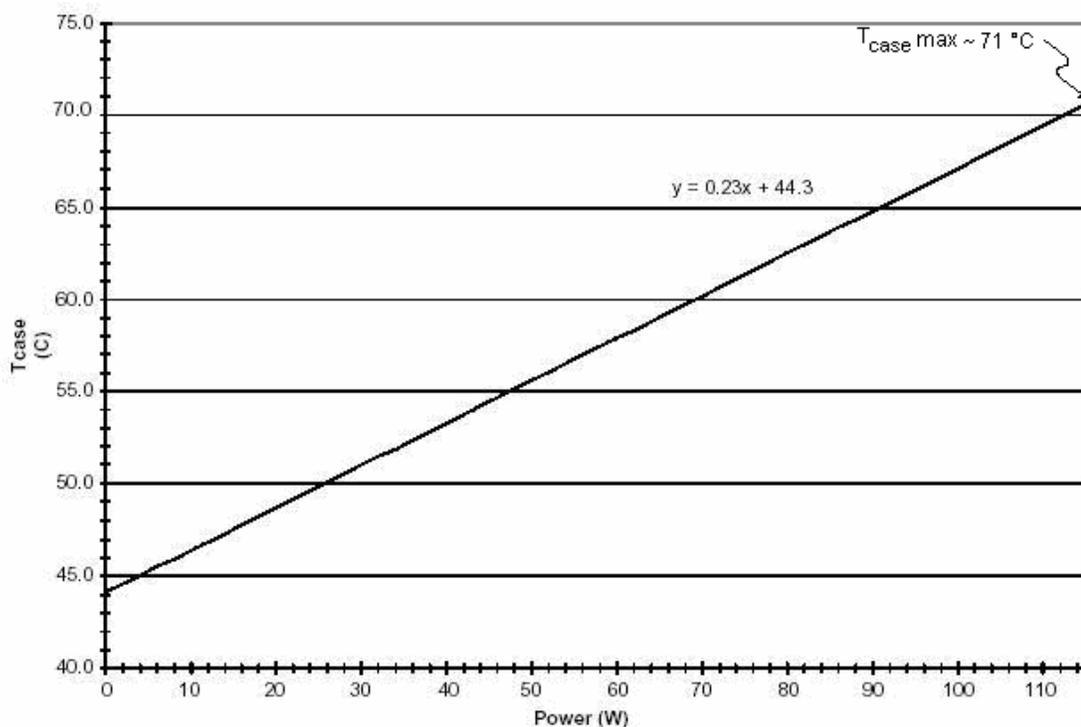


Figura 3.1 Relación de potencia y temperatura para las unidades Extreme Edition y 660 [3]

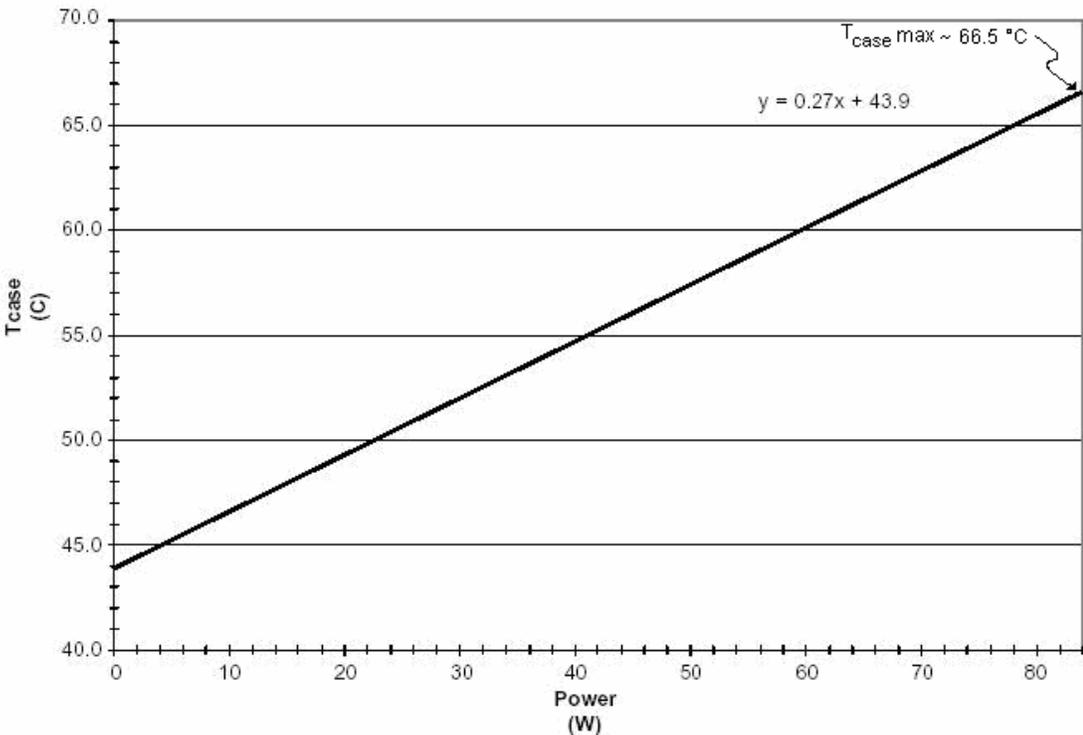


Figura 3.2 Relación de potencia y temperatura para las unidades 650, 640 y 630 [3]

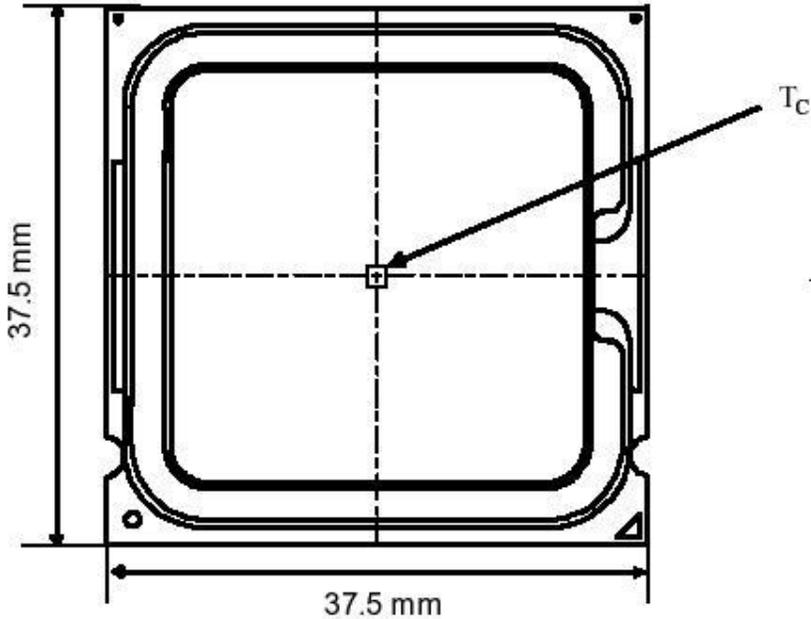


Figura 3.3 Ilustración de punto en donde se toma el T_c [3]

3.2 Caracterización del rendimiento de disipación de calor de la unidad

Es necesario caracterizar la resistencia térmica que se necesita en una solución de enfriamiento para así poder compararla con soluciones en condiciones idénticas. Hay que tener en cuenta, sin embargo, las limitantes que se presentan cuando se trabaja con un modelo real. La transferencia de calor es un fenómeno tridimensional el cual puede ser rara vez medido y modelado con simples valores.

El valor de la resistencia térmica del ambiente al encapsulado (θ_{CA}) se usa para la medición del rendimiento de la solución de enfriamiento en general que se encuentra adherida al paquete del procesador. Se define mediante la ecuación 3.2.1 y sus unidades son de °C/W:

$$\theta_{CA} = \frac{T_C - T_A}{P_D} \quad (3,2,1)$$

en donde:

- θ_{CA} = La resistencia térmica del ambiente al encapsulado (°C/W)
- T_C = Temperatura de la superficie del procesador
- T_A = Temperatura dentro del chasis de la computadora
- P_D = Potencia disipada (W)

La resistencia térmica θ_{CA} es dependiente de θ_{CS} , la cual es la resistencia térmica del TIM¹⁰, y de θ_{SA} , la resistencia térmica del ambiente al disipador tal y como se muestra en la ecuación 3.2.2

$$\theta_{CA} = \theta_{CS} + \theta_{SA} \quad (3,2,2)$$

en donde:

- θ_{CS} = La resistencia térmica del TIM (del encapsulado al disipador)
- θ_{SA} = La resistencia térmica del disipador al ambiente.

¹⁰ TIM por sus siglas en inglés, Thermal Interface Material, es un material con muy baja resistencia térmica que se ubica entre la superficie del silicio y el IHS

Por lo tanto, el circuito térmico equivalente del procesador se puede visualizar como se muestra en la figura 3.4

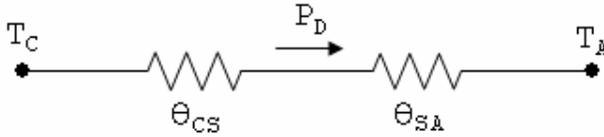


Figura 3.4 Circuito térmico equivalente del procesador

La figura 3.5 ilustra la combinación de los diferentes tipos de resistencias térmicas.

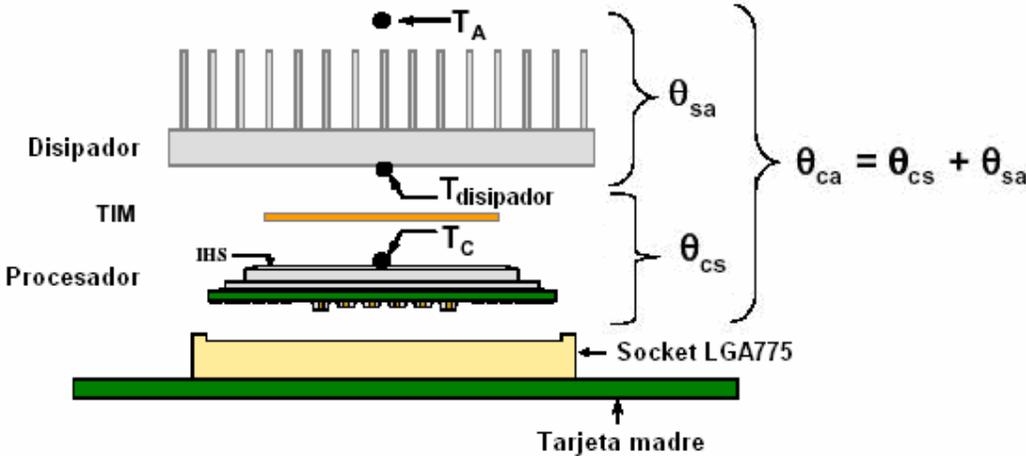


Figura 3.5 Relaciones de resistencias térmicas del procesador

θ_{CS} depende fuertemente de la conductividad térmica y grosor del TIM que se encuentra entre el disipador y el IHS

θ_{SA} es una medida de la resistencia desde la parte inferior del disipador a la temperatura del aire dentro del chasis del computador. θ_{SA} depende del material del que está hecho el disipador, su conductividad térmica y su geometría. Es además fuertemente dependiente de la velocidad del aire que circula a través de las aletas del disipador.

La relación de la resistencia térmica de la solución con el flujo de aire, utilizando TIM del tipo Shin-Etsu* G751, se muestra en la figura 3.6.

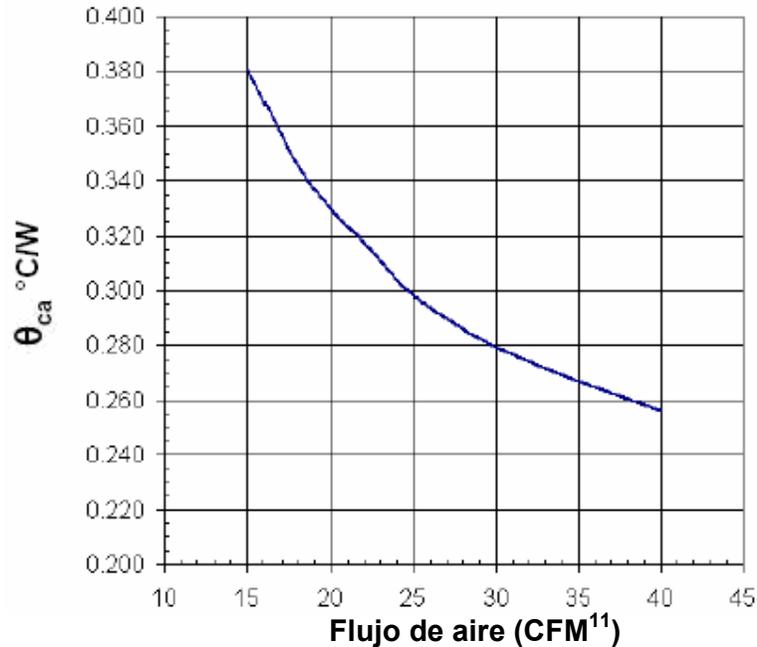


Figura 3.6 Especificaciones de θ_{CA} para procesadores Pentium® 4 [3]

Se aprecia claramente en esta figura que a mayor presencia de flujo de aire menor será la resistencia térmica de la solución.

Los fabricantes de soluciones térmicas deben asegurarse que sus productos cumplen con las especificaciones térmicas que se estipulan en las hojas de datos del procesador y seguir las recomendaciones dadas para los componentes de la tarjeta madre que se muestran en el anexo B.1. Esta guía asegura que el componente no interfiere con los reguladores de voltaje.

¹¹ CFM por sus siglas en inglés, Cubic Feet per Minute, es el volumen de aire, medida en pies cúbicos, que pasa por una abertura en un minuto.

3.3 Prueba actual de evaluación térmica del procesador

Después de ser ensamblado, el procesador debe aprobar una serie de pruebas destinadas a evaluar el desempeño del mismo para asegurar una alta calidad del producto antes de ser lanzado al mercado. Una de las pruebas consiste en evaluar el procesador en su ambiente final de operación.

El equipo utilizado para las pruebas consiste en una computadora con características similares a la de una PC convencional, es decir, cuenta con tarjeta madre, disco duro, memoria RAM, tarjeta de video, etc. Esta computadora de pruebas, también denominada **stand alone**, cuenta con una ranura especial en donde se monta y asegura el procesador a la tarjeta madre y mediante un software especial se hace que se ejecuten diferentes procesos simulando a un usuario en su ambiente final de operación.

Como parte de dicha evaluación de desempeño del procesador se realiza la prueba térmica, la cual consiste en aplicarle un estrés al procesador bajo condiciones específicas y medir su comportamiento ante el mismo. Este estrés antes mencionado consiste en un programa que obliga al procesador a consumir determinada cantidad de potencia. El resultado de esta prueba es el tiempo que tarda en activarse el circuito de protección térmica del procesador, es decir, el tiempo que dura el procesador en alcanzar una temperatura determinada. Si el tiempo es menor al esperado evidencia un mal funcionamiento del disipador integrado de calor IHS, al no tener la capacidad suficiente de extraer el calor generado internamente hacia el exterior. Este tipo de problema puede ser ocasionado por fallas de ensamble. La activación de este circuito incurre en la activación de un registro interno del procesador, el bit 0 del MSR IA32_THERM_STATUS, además de la activación de un pin externo del microprocesador con la tarjeta madre, denominado PROCHOT#. Es gracias a este tiempo medido que se puede determinar si una unidad presenta o no problemas térmicos en el aspecto de adecuada disipación de calor.

La figura 3.7 muestra un esquema de un corte transversal del encapsulado de un microprocesador. El socket y la tarjeta madre se incluyen por referencia y no forman parte del mismo.

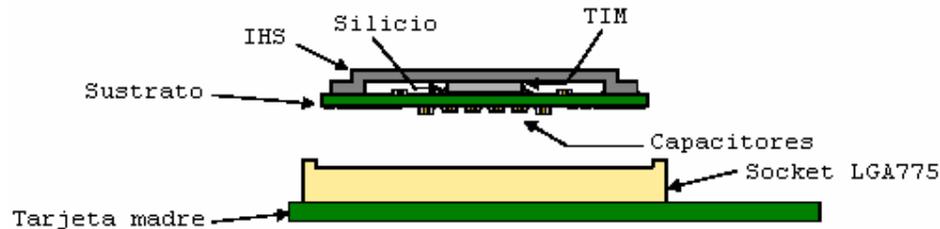


Figura 3.7 Esquema del encapsulado de un procesador

En esta figura se aprecia el IHS, el cual se compone de una capa de cobre recubierta de una pequeña capa de níquel que cumple la función de disipador de calor. La función del TIM es de rellenar los valles presentes por la rugosidad del IHS y por ende facilitar la conducción del calor hacia el disipador. El TIM tiene que cubrir totalmente la superficie del silicio. Se puede apreciar en las figuras 3.8 y 3.9 la ubicación del disipador, el cual se adhiere al IHS por medio de unos clips.

Estos clips tienen que tener la característica de aplicar una presión específica al IHS, a mayor presión mayor rendimiento, además de que deben tener un contacto mínimo con la tarjeta madre para no provocarle daños. Para procesadores con disipadores activos (active heatsinks) se incorpora un ventilador que se encarga de regular la temperatura a mayor velocidad. La ventaja de estos ventiladores activos es que permiten el uso de disipadores más pequeños y más livianos. Los disipadores pasivos se componen únicamente del disipador y dependen del flujo de aire que circula dentro del CPU. Estos disipadores son similares al que se muestra en la figura 3.5.

La figura 3.8 y 3.9 muestran la composición de un disipador activo

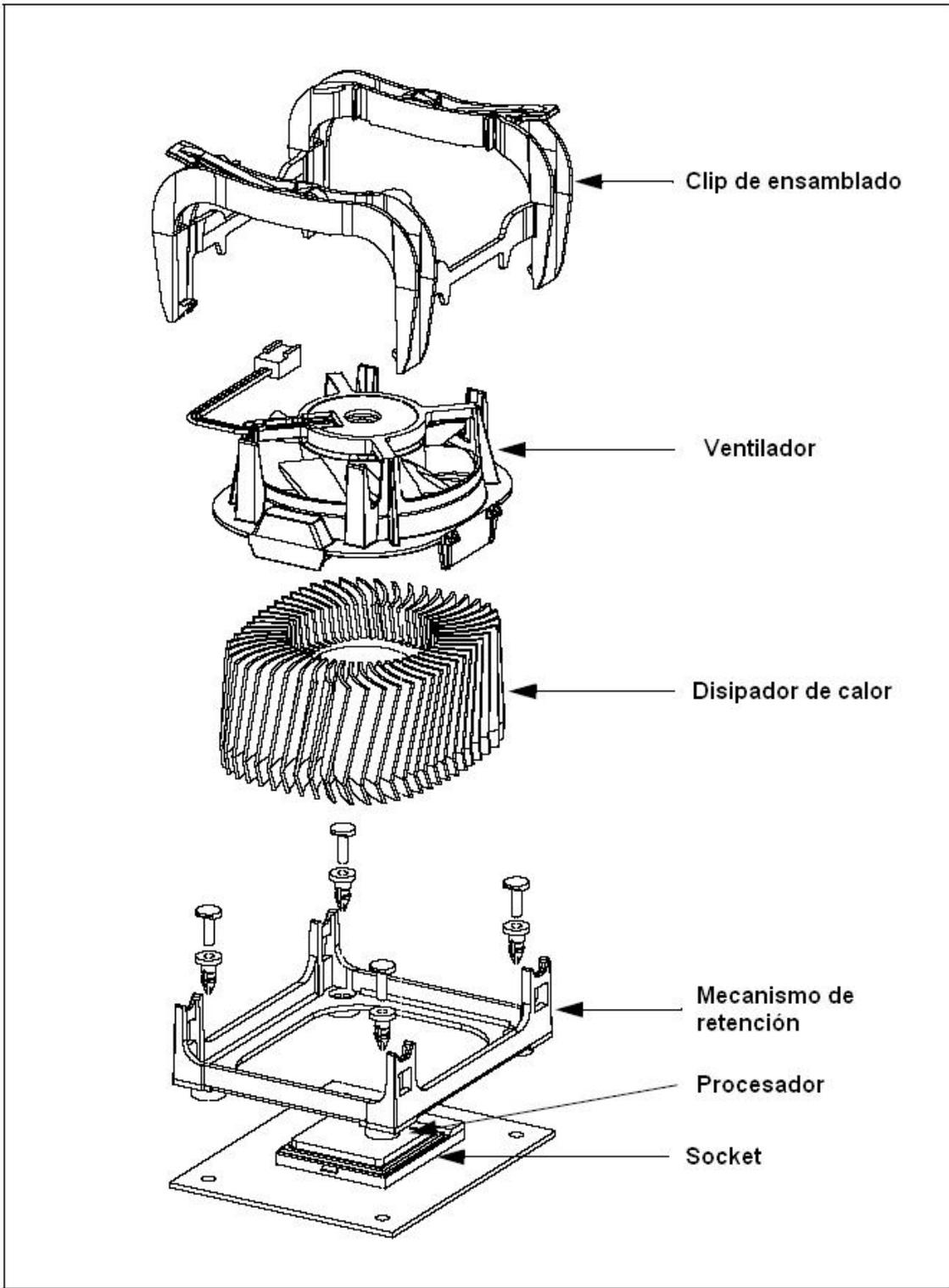


Figura 3.8 Componentes de un disipador activo [3]

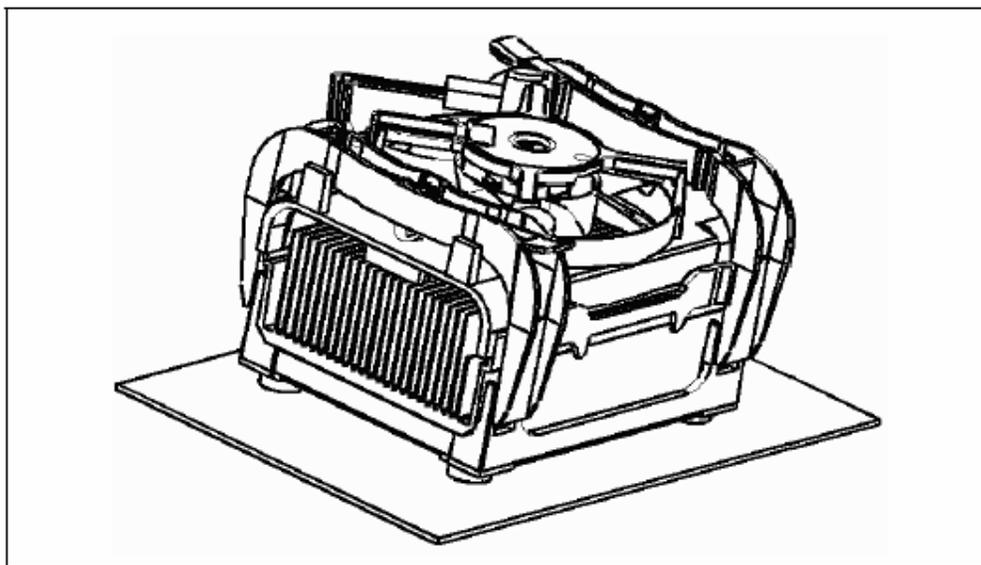


Figura 3.9 Ilustración de un disipador activo ensamblado. [3]

El adecuado desempeño térmico de la unidad depende en gran medida de una baja resistencia térmica del TIM, por lo que conforme menor sea su valor, mejor será el desempeño térmico del procesador. Desempeños térmicos deficientes se darán debido a altas resistencias del TIM provocadas generalmente por fallas en el proceso de ensamble.

3.4 Relación de la potencia con la frecuencia y el voltaje

El incremento de la frecuencia no solo aumenta el rendimiento del sistema, también implica para el procesador un incremento de la potencia disipada en forma de calor. Este hecho se ilustra en la fórmula 3.4.1

$$Q = V^2 \cdot \omega \cdot C \quad (3,4,1)$$

en donde:

- Q = Potencia reactiva disipada por el procesador
- C = Capacitancia equivalente de la unidad
- V = Voltaje de alimentación
- ω = Frecuencia angular del procesador

De la fórmula anterior, es evidente que la potencia reactiva aumenta linealmente con la frecuencia y el cuadrado del voltaje. En ausencia de tecnologías de ahorro de energía, cada incremento de la frecuencia resultaría en procesadores con consumo de potencia de cientos de watts. Afortunadamente hay varias formas de reducir el consumo de potencia del procesador. Disminuyendo el voltaje y el tamaño de los transistores son dos ejemplos. Un tercer ejemplo es disminuyendo la frecuencia de operación modulando en AM la señal de reloj. Este método es usado extensivamente en el diseño de computadores portátiles para ahorro de energía y consiste en disminuir el ciclo de trabajo entre el 30% y el 50%. Por especificaciones, la señal de reloj no será detenida por más de 3 μ s.

3.5 Mecanismo de control térmico

La arquitectura IA-32 de Intel® provee tres mecanismos para el monitoreo de la temperatura y el control del consumo de potencia:

1. Sistema de apagado ante la detección de una catástrofe.
2. Mecanismo de monitoreo térmico automático.
3. Modulación de la señal de reloj controlado por software.

3.5.1 Sistema de apagado ante la detección de una catástrofe

Para este mecanismo, una catástrofe se produce cuando el procesador alcanza la temperatura de los 135 °C. A esta temperatura el silicio puede sufrir un daño permanente. Este sistema es independiente del TM¹² y siempre se encuentra activo. En el momento de detectar una catástrofe, el mecanismo activa la señal THERMTRIP#, la cual provoca que los relojes del procesador se detengan además de interrumpir todas las operaciones que en ese momento se están realizando. Para proteger al procesador, el voltaje de alimentación tiene que ser removido después de que la señal THERMTRIP# ha sido activada.

¹² Por sus siglas en ingles, Thermal Monitor, TM se refiere al sistema de monitoreo térmico del procesador

3.5.2 Mecanismo de monitoreo térmico automático

Existe un segundo sensor de temperatura controlado por el sistema de TM. Este sistema es el encargado de mantener una temperatura adecuada de operación en el procesador. Se compone de los siguientes elementos:

- Circuito de protección térmica del procesador (TCC).
- Una señal que indica cuando el procesador ha alcanzado la temperatura máxima de operación.
- Registros específicos para determinar el estado térmico del procesador.

El TCC¹³ es un sistema que se encuentra implementado en los procesadores Intel® más recientes y consiste en un sistema integrado de protección contra temperaturas críticas, el cual garantiza mantener al procesador siempre trabajando a temperaturas no perjudiciales para el sistema. Para mantener la compatibilidad con generaciones previas de procesadores que no tienen TCC, éste se encuentra desactivado por defecto. Durante el proceso de inicialización del sistema es necesario que el BIOS lo habilite, o mediante un driver que lo haga después de que el sistema ha inicializado. El BIOS enciende el TCC activando el bit 3 del MSR IA32_MISC_ENABLE dir 1A0H.

El TCC se compone de elementos analógicos precisos, de los cuales se puede mencionar un amplificador operacional trabajando como comparador, un diodo que varía sus características con la temperatura y una fuente de corriente como referencia para el comparador. En la figura 3.10 se muestra un esquema del circuito utilizado. En la tabla 3.2 se especifican los parámetros del diodo integrado en el silicio.

¹³ TCC por sus siglas en inglés, Thermal Control Circuit, se refiere al circuito de protección que se encuentra integrado en el silicio

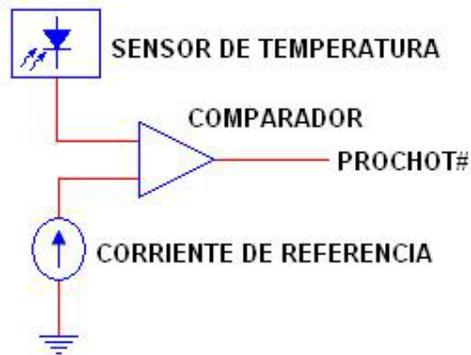


Figura 3.10 Esquema del circuito de protección térmica del procesador (TCC)

Tabla 3.2 Parámetros del diodo ensamblado en el silicio

Símbolo	Parámetro	Min	Typ	Max	Unidad
I_F	Corriente del diodo	11	-	187	μA
n	Factor de idealidad del diodo	1.0083	1.011	1.023	
R_T	Resistencia en serie	3.242	3.33	3.594	Ω

Un voltaje aplicado a través del diodo produce el flujo de una corriente que varía con respecto a la temperatura, tal y como se puede apreciar en la ecuación 3.5.1.

$$I_f = I_s \cdot (e^{qV_D / nkT} - 1) \quad (3.5.1)$$

en donde:

- I_s = Corriente de saturación
- q = carga del electrón
- V_D = Voltaje a través del diodo
- k = Constante de Boltzmann
- T = Temperatura absoluta (Kelvin)
- n = Factor de idealidad del diodo

Al comparar esta corriente con la corriente de referencia, la temperatura del procesador puede ser determinada. La fuente de corriente de referencia corresponde a la corriente del diodo a la máxima temperatura de operación permisible. Cada procesador es calibrado individualmente durante el proceso de ensamblaje para eliminar las variaciones potenciales del proceso de manufactura. Una vez configurada, la temperatura de referencia a la cual el comparador es calibrado no puede ser reconfigurada. Por lo general esta temperatura corresponde a los 75 °C.

En el momento en que la corriente del diodo excede el valor de la corriente establecida, la salida del comparador denominada PROCHOT# se activa indicándole al TM que debe comenzar a trabajar. Dicha señal PROCHOT# se monitorea a través del bit 0 del MSR IA32_THERM_STATUS del procesador, además de estar conectada físicamente a un pin externo del procesador. El bit 1 de este registro informa si se ha activado alguna vez el TCC desde que se dio su inicialización y solo puede ser deshabilitado mediante software o mediante RESET#. Por defecto este bit se encuentra deshabilitado.

El TCC se desactiva cuando la temperatura de la unidad disminuye un grado centígrado (1 °C) por debajo del valor de temperatura máximo establecido, para prevenir transiciones alrededor del punto crítico.

El TM dispone de dos modos de operación: el TM1 y el TM2

El TM1 es el modo más antiguo y consiste en controlar la temperatura del reloj mediante la modulación en amplitud de la señal de reloj del procesador. Este funcionamiento se muestra en la figura 3.11.

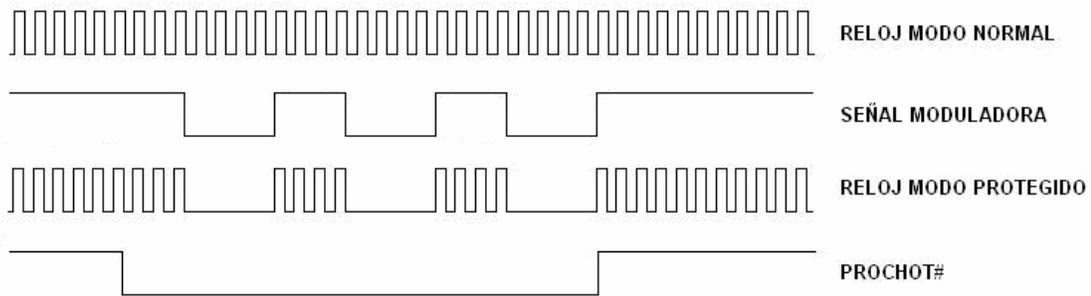


Figura 3.11 Ilustración del funcionamiento del reloj del procesador con el TM1 activo

Mediante la modulación en amplitud de la señal del reloj se logra reducir la velocidad del procesador logrando de esta forma disminuir la temperatura del mismo. El porcentaje de disminución del desempeño del procesador se reduce al 50 % de operación por defecto. Este modo se selecciona activando el bit 3 del MSR IA32_MISC_ENABLE y dejando desactivada la bandera TM_SELECT del MSR MSR_THERM2_CTL (si se cuenta con ella). El BIOS es requerido para activar el bit 3 del MSR IA32_MISC_ENABLE, ya que éste por defecto se desactiva con RESET#.

El TM2 por el contrario se encuentra solo en procesadores Pentium® M o versiones más recientes del Pentium® 4 y controla la temperatura disminuyendo la frecuencia de operación del procesador reduciendo su voltaje de alimentación. El TM2 se activa de la misma forma que el TM1 por medio del TCC. Este modo del TM es el más eficiente y el BIOS lo escogerá por defecto si se cuenta con los dos modos disponibles en el procesador.

Para procesadores Pentium® M este modo se selecciona activando la bandera TM_SELECT (bit 16) del MSR MSR_THERM2_CTL y el bit 3 del MSR IA32_MISC_ENABLE.

Para procesadores Pentium® 4 se selecciona activando el bit 13 del MSR IA32_MISC_ENABLE. El valor de la frecuencia y el voltaje se especifican en los bits 15:0 del MSR MSR_THERM2_CTL.

3.6 Registros del Procesador

El procesador necesita para su funcionamiento de ciertas áreas de almacenamiento, las cuales se denominan registros, y que son de dimensiones limitadas; sin embargo, cuentan con la ventaja de su rapidez. Comparados con los accesos a RAM, los de registro son como mínimo 10 veces más veloces.

El 8088 dispone de catorce registros de 16 bits que se agrupan en cuatro grupos y que reciben nombres especiales (precisamente los que se utilizan para designarlos en lenguaje ensamblador).

3.6.1 Registros de uso general

Existen 4 registros de propósito general, denominados AX, BX, CX y DX, con usos específicos, aunque pueden ser utilizados a discreción para cualquier aplicación. La figura 3.12 muestra un diagrama de los registros generales de un procesador.

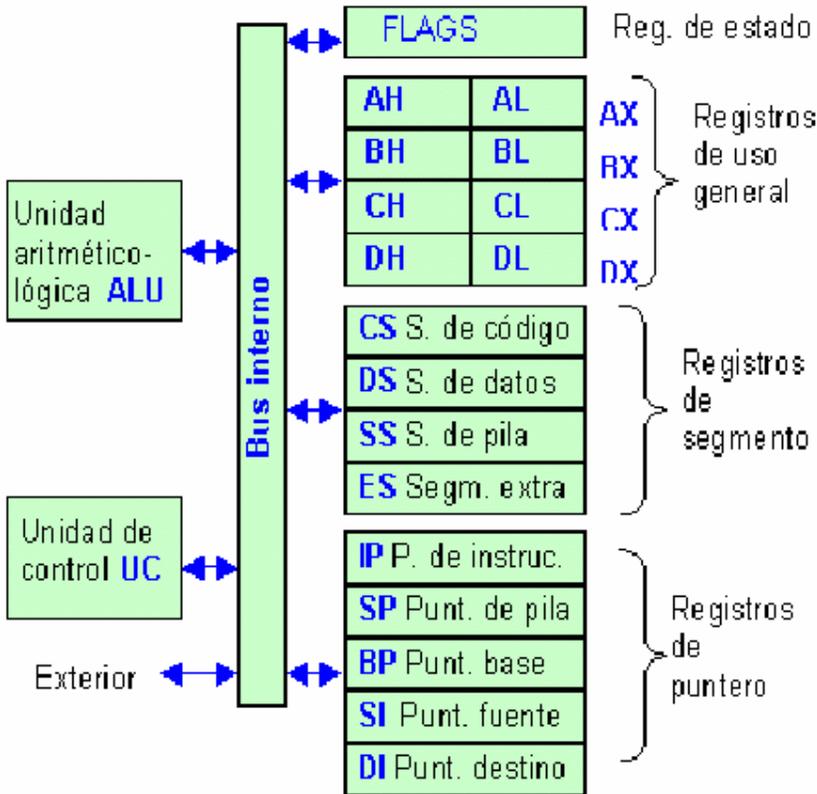


Figura 3.12 Diagrama base de los registros generales de un procesador

AX es denominado acumulador; suele contener uno de los operandos que intervienen en las operaciones aritméticas y lógicas, y suele además almacenar el resultado de la operación. BX es el registro base, suele contener la dirección de inicio de una tabla de valores. CX es denominado contador. Las instrucciones de bucle (LOOP) utilizan este registro como contador. Por último, DX es un registro de datos multiuso. Se utiliza en operaciones de multiplicación y división junto con AX. En operaciones de entrada/salida de puertos IN/OUT, su mitad inferior DL, contiene el número de puerto.

Aunque estos cuatro registros son de 16 bits (como los 10 restantes), en caso necesario pueden ser utilizados en dos mitades "High" y "Low", de 8 bits, por lo que pueden funcionar como 12 registros de uso general (no simultáneos), los anteriores y sus mitades: AH; AL; BH; BL; CH; CL; DH y DL.

3.6.2 Registros de segmento

Se dispone de cuatro registros que contienen las direcciones de otros segmentos (zonas de 64 KB de memoria). Utilizándolos en conjunto con otros registros que señalan las direcciones de memoria, dentro de estos segmentos se puede manejar la totalidad de la memoria direccionable (el bus de direcciones es de 20 bits).

3.6.2.1 Segmento de código CS

Contiene las instrucciones de máquina que son ejecutadas. Por lo común, la primera instrucción ejecutable está en el inicio del segmento, y el sistema operativo enlaza a esa localidad para iniciar la ejecución del programa. Como su nombre indica, el registro del CS direcciona el segmento de código.

3.6.2.2 Segmento de datos DS

El segmento de datos contiene datos, constantes y áreas de trabajo definidos por el programa. El registro del DS direcciona el segmento de datos.

3.6.2.3 Segmento de pila SS

En términos sencillos, la pila contiene los datos y direcciones que se necesita guardar temporalmente o para uso de sus “llamadas” subrutinas. El registro del segmento de pila SS direcciona este segmento.

3.6.2.4 Segmento extra ES

Es un segmento auxiliar a los anteriores, se utiliza para señalar espacio extra en alguno de los segmentos o para almacenar momentáneamente direcciones intermedias.

3.7 Anillos de protección en Windows 95 / 98

Windows 95 / 98, explota la capacidad del procesador 386 (y posteriores) de establecer varios niveles de privilegio.

Los componentes del anillo 0 son en los que normalmente se piensa como el sistema operativo propiamente dicho, incluyendo los niveles más bajos del soporte para la gestión de memoria. El software en este anillo 0, tiene todo poder sobre el sistema: todas las instrucciones del procesador son válidas para él, y el software tiene acceso a todas las estructuras de datos críticas, como por ejemplo, la tabla de páginas del sistema.

Evidentemente, a los diseñadores del sistema les interesa asegurar que el software que se ejecuta en este anillo sea completamente fiable. En su mayor parte (pero no absolutamente, como por ejemplo NT) Windows 95 / 98 asegura estas condiciones. Los controladores que se ejecutan en este anillo se denominan VxD (Virtual Drivers) y si alguno de ellos falla, puede paralizar todo el sistema.

Las aplicaciones Windows y MS-DOS se ejecutan siempre en el anillo 3, por lo que se ven restringidos significativamente en sus privilegios. También en el anillo 3 se ejecutan los componentes centrales del entrono gráfico de Windows: Núcleo, Usuario y GDI.

Una transición de anillos en el 386 de Intel®, es decir, un cambio de control de un nivel de privilegio del procesador a otro diferente, lleva a cabo mucha validación controlada por el procesador y por ende hay una recarga de los registros del mismo, por lo que minimizar tales transiciones representa un gran beneficio para el rendimiento del sistema. Esta es la razón de que la mayoría del código del sistema gráfico de Windows se ejecute en el anillo 3. Requerir una transición de anillo por cada llamada a la API de Windows reduciría el rendimiento del sistema al nivel de Windows 1.01 ejecutándose en un PC XT de IBM.

3.7.1 Mapa de memoria de Windows 95 / 98.

Windows utiliza los 4 GB del espacio virtual de direcciones que proporciona el 386. Dentro de dicho espacio de direcciones, los diferentes componentes y aplicaciones del sistema ocupan regiones con fronteras definidas. La figura 3.13 muestra un mapa gráfico de memoria del sistema:

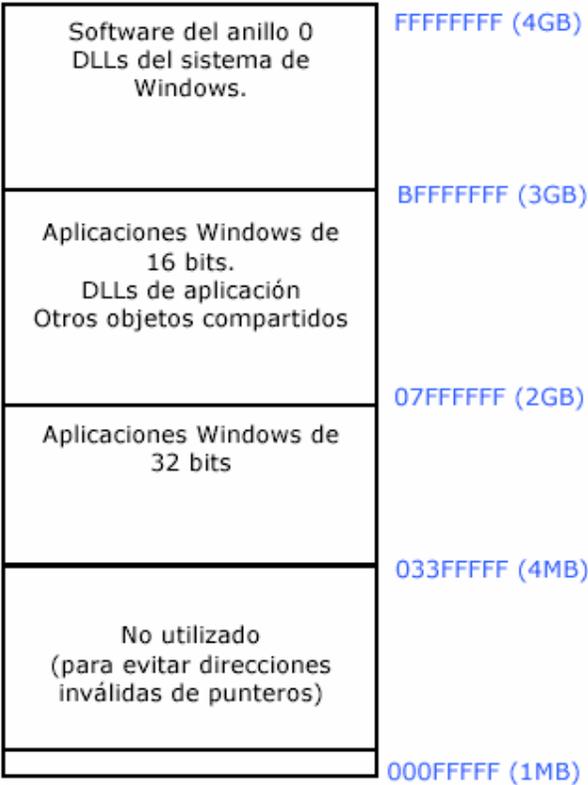


Figura 3.13 Mapa de memoria de Windows 95/98

Una función del Administrador de Máquina Virtual (VMM) es la de proyectar este espacio virtual de direcciones en la memoria física disponible (el sistema operativo base, utiliza dos selectores para código y datos. La base y el límite de los descriptores asociados están fijados a 0 y 4 GB, proporcionando acceso a todo el espacio virtual de direcciones).

3.8 Evaluación estadística

3.8.1 La prueba T

Al final del experimento se obtuvieron 2 grupos de datos, un grupo proveniente del software y otro del hardware que trabajará en paralelo al software. La prueba T determina si dos grupos de datos son estadísticamente diferentes uno del otro. Este análisis es el adecuado cuando se quiere comparar los promedios de dos grupos de datos.

Ahora, ¿a que se refiere el decir que los promedios de dos grupos de datos son estadísticamente diferentes? Para responder esa pregunta se consideraran las tres situaciones mostradas en la figura 3.14.

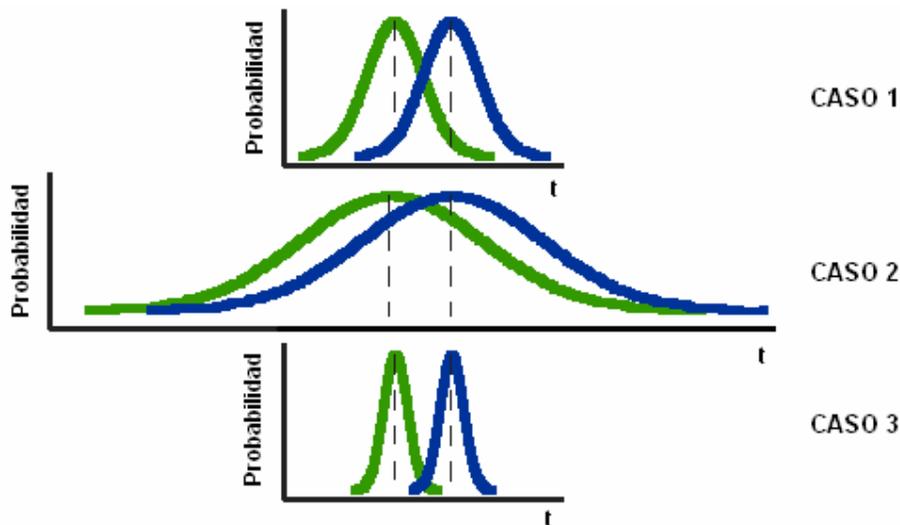


Figura 3.14 Distribuciones para tres casos distintos de variabilidad

De la figura 3.14 se puede apreciar que el promedio de los dos grupos en estudio es el mismo en las tres situaciones, a pesar de que cada una de las situaciones son diferentes entre sí. Claramente se puede concluir que los dos grupos que aparentan ser más distintos son los de la situación del caso 3, ya que las curvas de distribución casi no se traslapan. Para el caso 2 los grupos aparentan ser muy similares debido a que sus curvas de distribución están muy traslapadas. Es por esto que es necesaria una prueba que no evalúe solo la diferencia entre los promedios de los grupos de datos, sino que evalúe también la variabilidad de los mismos para determinar si los grupos son estadísticamente similares o diferentes.

La fórmula de la prueba t es una relación, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\text{señal}}{\text{ruido}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3,8,1)$$

En donde:

$$s^2 = \text{variabilidad} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3,8,2)$$

n_1, n_2 = cantidad de datos de los respectivos grupos

La parte superior de la relación 3,8,1 es simplemente la diferencia de los promedios de ambos grupos de datos. La parte inferior también se le conoce como el error estándar de la diferencia. Para calcularlo, se requiere obtener la varianza de los datos de ambos grupos dividida por la cantidad de datos. La varianza también se puede calcular elevando al cuadrado la desviación estándar.

El valor de t será positivo si el promedio del primer grupo es superior al promedio del segundo y negativo si es inferior. Para evaluar el valor de t se utiliza la “regla del pulgar”, que establece un valor de riesgo, o valor de α , igual a 0.05. Este valor dicta la probabilidad de que en 5 de 100 veces se podría encontrar una diferencia estadística significativa entre los promedios incluso si no hubiera ninguna. Se necesita determinar además el grado de libertad (GL) de la prueba. En la prueba t dicho valor se obtiene mediante la suma de la cantidad de los datos de ambos grupos menos dos, como se muestra en la ecuación 3,8,3.

$$GL = \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{j=1}^m x_j - 2 \quad (3,8,3)$$

Una vez que se tiene el valor de α , el grado de libertad y el valor t , se puede verificar en cualquier tabla de significancia si el valor de t es lo suficientemente grande para ser significativo. Si lo es, se puede concluir entonces que los promedios de los dos grupos son diferentes y por ende, se puede determinar también si son iguales.

Capítulo 4: Metodología

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para poderse conocer el problema fue necesario realizar una serie de entrevistas con el Ing. José Madriz, asesor del proyecto en la empresa, con el fin de conocer los detalles de la problemática existente y los requerimientos a cumplir en el software a implementar.

Para familiarizarse con el equipo disponible en el laboratorio se realizaron una serie de pruebas necesarias para la comprensión del comportamiento del procesador ante la presencia de elevadas temperaturas, en donde se observó por medio de un osciloscopio la activación de la señal PROCHOT#.

La caracterización del TTT se realizó al procesador Pentium® 4 socket T de 3 GHz de frecuencia. La razón de utilizar este procesador es porque es un producto de alto volumen de producción.

4.2 Obtención y análisis de la información

Intel® posee amplia documentación de cada uno de sus productos, por lo que la información requerida se obtendrá de los respectivos manuales disponibles en Internet a través de la página www.intel.com.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

La solución planteada anteriormente surgió de las recomendaciones dadas por el Ing. José Madriz. Dicha solución fue implementada y evaluada por medio de pruebas de laboratorio, en donde se compararon los resultados obtenidos del software con los resultados obtenidos del hardware también implementado. El software se probó tanto en procesadores malos como en procesadores buenos para garantizar que el mismo distingue satisfactoriamente un procesador del otro.

4.4 Implementación de la solución

Para alcanzar el objetivo final, el cual consiste en desarrollar el software con las características antes especificadas, primero se realizó un estudio de las hojas de datos de los procesadores Intel®, en donde se investigó acerca de los mecanismos que tiene el procesador para controlar su temperatura. Fue necesario también el estudio de los manuales de desarrollo de software del procesador para identificar cuales son los registros que tienen que ser accedidos así como sus respectivas direcciones de memoria.

Luego fue necesaria una serie de pruebas de laboratorio para obtener valores caracterizados del TTT. En el laboratorio se cuenta con una computadora de pruebas en donde se realizarón las respectivas mediciones tanto a procesadores buenos como a procesadores malos. Dichos resultados se visualizarón con ayuda de un osciloscopio registrando el momento en que la salida del procesador PROCHOT# es activada.

Una vez que se obtuvieron los tiempos característicos de TTT y fue comprendida y realizada la prueba, se procedió a implementar el programa respectivo con ayuda del software Microsoft Visual Studio .NET 2003. Con este programa se implementaron rutinas de lectura y acceso a los MSR del procesador, además de rutinas capaces de medir el tiempo en que transcurran eventos de prueba, simulando el inicio y finalización de la prueba.

Con cada una de las etapas realizadas se procedió a unir las en un software con interfaz gráfica amigable al usuario.

Una vez concluida la implementación del software fue necesario elaborar un manual de usuario además de realizar una serie de presentaciones a las personas del departamento y demás personas interesadas.

Capítulo 5. Descripción detallada de la solución

5.1 Descripción del hardware

Para validar el tiempo medido por el TST fue necesario diseñar e implementar un sistema de caracterización paralelo con el fin de comparar ambos resultados y asegurar de que ambos valores fueran similares. Este sistema de caracterización se basó en el microcontrolador PIC16F873A elaborado por la empresa Microchip Inc. La razón de la escogencia de este microcontrolador fue por las grandes facilidades que presenta la familia PIC16F87X para su programación además también de contar en la estación de trabajo con un sistema de desarrollo elaborado también por Microchip. La razón de la escogencia del modelo 73A se debió a la disponibilidad del mismo en la planta. Este es un microcontrolador de arquitectura RISC que cuenta con USART, convertidor análogo digital con resolución de 10 bits y 22 pines programables de entrada – salida.

Una causa común de sobrecalentamientos en los procesadores es una mala solución térmica, la cual se compone del disipador de calor y su ventilador. Dicho sistema puede presentar fallas involucradas con el ventilador del procesador (que no funciona o no genera el flujo de aire necesario para enfriar la unidad). Para descartar este defecto y enfocarse únicamente al rendimiento de disipación del procesador en sí, la prueba se realizó con el ventilador del procesador apagado. Es por esto que fue necesario implementar un sistema de control para el ventilador del disipador de calor. En el momento en que inicia la prueba, haciendo uso de un relevador, se apaga el ventilador procediendo a encenderlo de nuevo inmediatamente después de detectarse el disparo del circuito de protección térmica. Como características de este relevador se puede mencionar que su bobina se energiza con 5 V, soporta un voltaje máximo entre sus contactos de 120VAC/30VDC y una corriente máxima de 1A/2A respectivamente. Este relevador es marca SHINMEI modelo RSB-5-S.

El diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 5.1:

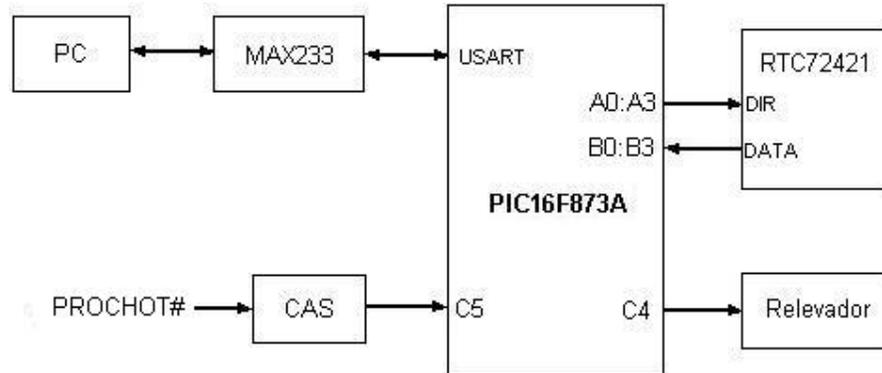


Figura 5.1 Diagrama de bloques del hardware implementado

En la figura anterior se muestran los principales módulos que componen el sistema paralelo de caracterización del TST. Como se puede apreciar el microcontrolador es el componente principal del sistema, siendo los demás módulos circuitos acondicionadores para las señales provenientes tanto de la tarjeta madre como de la PC y un reloj de tiempo real (RTC72421) encargado de tomar el tiempo transcurrido de la prueba.

La señal PROCHOT# tiene como características una magnitud máxima de 1.4 V y se activa en bajo, por lo que el circuito acondicionador de señal se implementó de la siguiente forma:

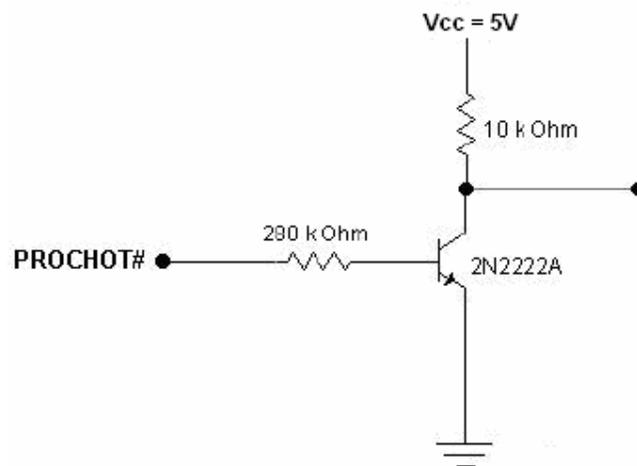


Figura 5.2 Circuito acondicionador de señal utilizado para acoplar PROCHOT# al microcontrolador

La señal PROCHOT# proviene directamente del procesador, por lo que fue necesario que la resistencia conectada a la base del circuito fuera lo suficientemente grande para no representar carga de corriente para el procesador. Tomando en cuenta como voltaje máximo de PROCHOT# de 1.4 V y una tensión base emisor de 0.7 V, se calculó la resistencia para que la corriente de base fuera de 2.5 μA . Dicho valor correspondió a 280 $\text{k}\Omega$.

La resistencia de colector se calculó considerando una ganancia del transistor (β) de 200 y una tensión colector emisor de 0.2 V en saturación. El valor de resistencia correspondió a 10 $\text{k}\Omega$.

La conexión del relevador se realizó como se muestra en la figura 5.3.

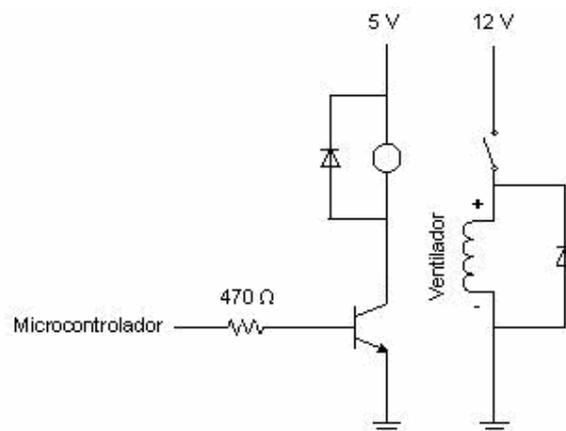


Figura 5.3 Conexión del relé con el microcontrolador

El diodo de protección conectado en paralelo a la bobina del relevador y al embobinado del motor del ventilador fue para evitar picos de corriente cuando se cambia bruscamente el estado de encendido y apagado del mismo.

Por último, se implementó una forma de medición de tiempo por hardware, la cual la suministró el circuito integrado RTC72421. Este circuito posee un oscilador integrado, además de 12 registros de 4 bits cada uno, los cuales utiliza para registrar el tiempo: 1 registro que se incrementa cada segundo, otro que se incrementa cada 10 segundos, otro que se incrementa cada minuto y otro que se incrementa cada 10 minutos. Se sigue esa secuencia hasta poder registrar el día, el mes y el año en curso. Este circuito cuenta además con un bus de direcciones de 4 bits para direccionar el registro a leer y un bus de datos en donde devuelve el valor de tiempo solicitado. La figura 5.4 muestra la tabla de direcciones para cada uno de los registros mencionados:

Address	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀	Register	Data				Count Value	Remarks
						D ₃	D ₂	D ₁	D ₀		
0	0	0	0	0	S ₁	S ₈	S ₄	S ₂	S ₁	0 to 9	1- second digit register
1	0	0	0	1	S ₁₀	*	S ₄₀	S ₂₀	S ₁₀	0 to 5	10- second digit register
2	0	0	1	0	M ₁	m ₁₈	m ₄	m ₂	m ₁	0 to 9	1- minute digit register
3	0	0	1	1	M ₁₀	*	m ₄₀	m ₂₀	m ₁₀	0 to 5	10- minute digit register
4	0	1	0	0	H ₁	h ₈	h ₄	h ₂	h ₁	0 to 9	1- hour digit register
5	0	1	0	1	H ₁₀	*	PM/AM	h ₂₀	h ₁₀	0 to 2 or 0 to 1	PM/AM, 10- hours digit register
6	0	1	1	0	D ₁	d ₈	d ₄	d ₂	d ₁	0 to 9	1- day digit register
7	0	1	1	1	D ₁₀	*	*	d ₂₀	d ₁₀	0 to 3	10- day digit register
8	1	0	0	0	MO ₁	m ₀₈	m ₀₄	m ₀₂	m ₀₁	0 to 9	1- month digit register
9	1	0	0	1	MO ₁₀	*	*	*	m ₀₁₀	0 to 1	10- month digit register
A	1	0	1	0	Y ₁	y ₈	y ₄	y ₂	y ₁	0 to 9	1- year digit register
B	1	0	1	1	Y ₁₀	y ₈₀	y ₄₀	y ₂₀	y ₁₀		10- year digit register
C	1	1	0	0	W	*	w ₄	w ₂	w ₁	0 to 6	Week register
D	1	1	0	1	RegD	30 sec. ADJ	IRQ FLAG	BUSY	HOLD	—	Control Register D
E	1	1	1	0	RegE	t ₁	t ₀	ITRPT /STND	MASK		Control Register E
F	1	1	1	1	RegF	TEST	24/12	STOP	REST		Control Register F

Figura 5.4 Tabla de direcciones del RTC72421 [6]

5.2 Descripción del software

5.2.1 Software del microcontrolador

El programa elaborado para monitorear el estado de la señal PROCHOT# proveniente del procesador y para controlar el sistema de ventilación del procesador se muestra en el diagrama de flujo mostrado en la figura 5.4, y posteriormente se explicará en detalle cada una de sus partes.

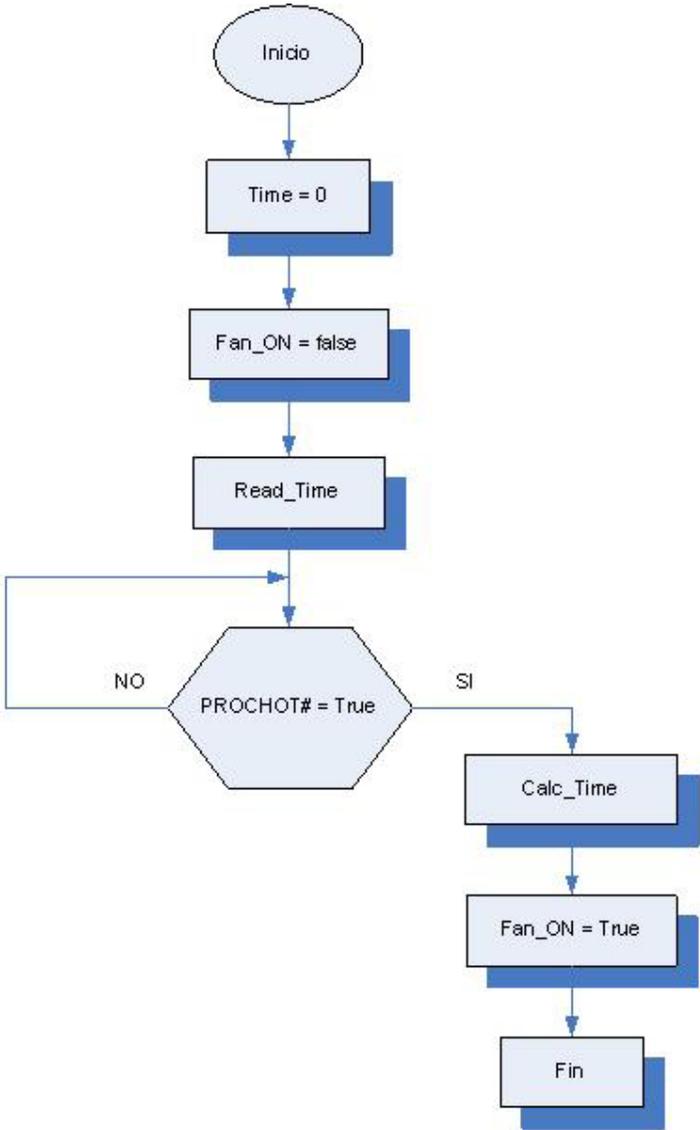


Figura 5.5 Diagrama de flujo del programa ejecutado por el microcontrolador

Como se puede apreciar en la figura anterior, el primer paso que realiza el programa es apagar el ventilador del disipador de calor del microprocesador. Luego se procede a hacer una lectura del tiempo del circuito integrado RTC72421 para registrar el tiempo de inicio de la prueba. Seguidamente el microcontrolador quedará en un estado de espera hasta recibir la señal de activación del TCC por medio del circuito acondicionador de señal diseñado para tal fin. Será en ese momento cuando se le solicitará de nuevo el tiempo al RTC72421 y por medio de la diferencia de los dos valores obtenidos se podrá saber la cantidad de segundos que transcurrió la prueba. Después se envía la señal correspondiente al relé para que encienda de nuevo el ventilador del disipador evitando así posibles daños por sobrecalentamiento de la unidad.

Posteriormente la PC le pedirá el dato calculado al microcontrolador.

5.2.2 Software de la PC (TST)

El software diseñado para la PC es el encargado de administrar el transcurso de toda la prueba; se encarga de controlar los dos sistemas que funcionan en paralelo, tanto el hardware como el software. Al iniciar la prueba se le indica al sistema hardware paralelo que debe inicializar su contador de tiempo y empezar la cuenta, además se le indica también que debe apagar el ventilador del procesador. Es inmediatamente después de esto que llama a la aplicación de estrés térmico, la cual será la encargada de elevar la temperatura de la unidad hasta el punto de **throttle** (temperatura en donde se activa el TCC).

El funcionamiento del software se aprecia mejor en el diagrama de flujo que se muestra en la figura 5.5, y posteriormente se explicará cada módulo en detalle.

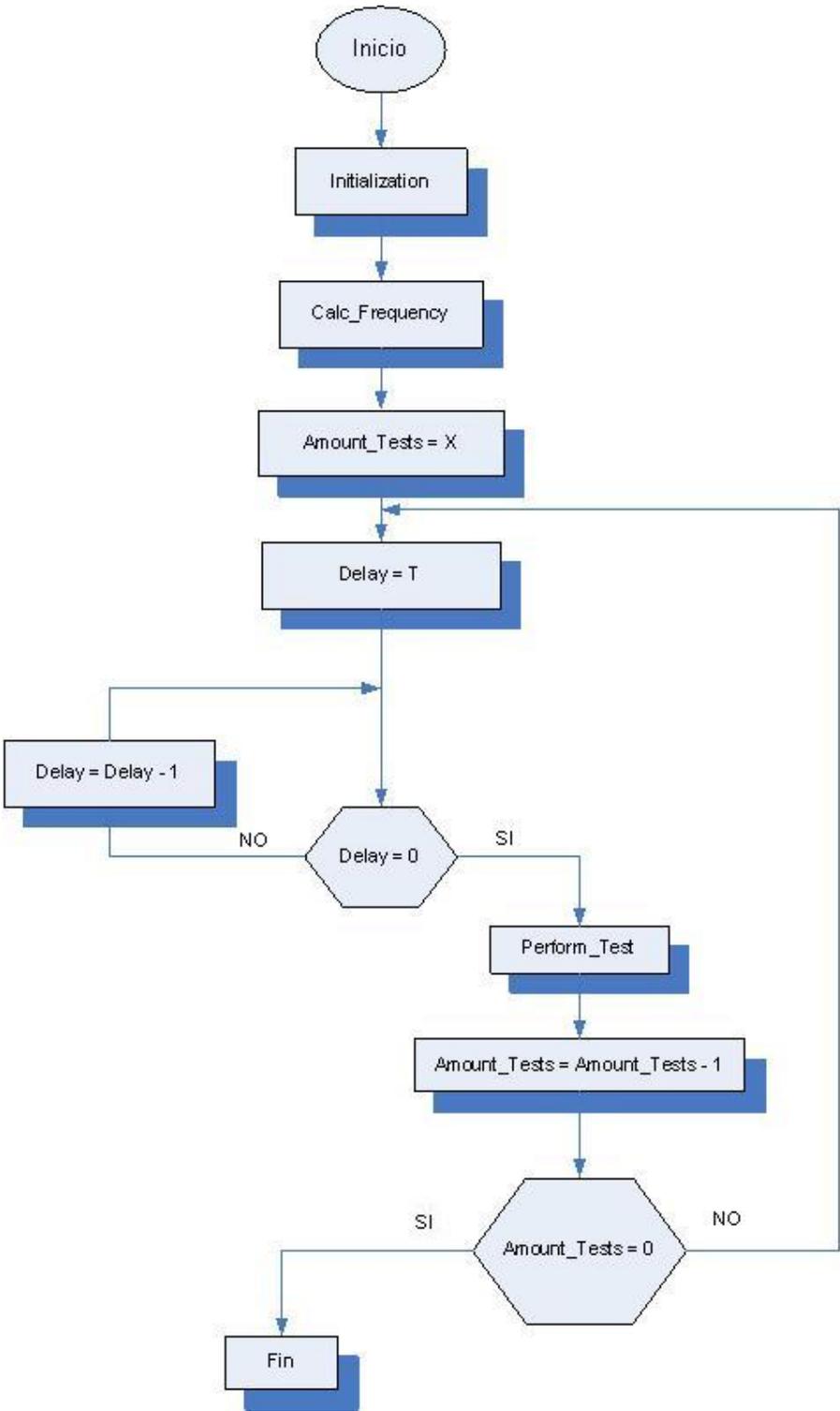


Figura 5.6 Diagrama de flujo del TST

El primer paso que realiza el software al iniciar es verificar que el estado del bit 3 del MSR IA32_MISC_ENABLE con dirección 1A0H se encuentre en 1 debido a que este bit del MSR es el que determina si el TCC se encuentra activado, en caso de que no se encuentre activo el programa se encargará de hacerlo.

El software fue diseñado para caracterizar unidades de distintas frecuencias, es por esto que calcula la frecuencia real de operación del procesador, y esto se logra mediante la lectura del TSC¹⁴. Con el uso del comando QueryPerformanceCounter de C++ como contador de precisión y la lectura del TSC al inicio y 1 segundo después del conteo se puede conocer cuantos flancos positivos del reloj del procesador transcurrieron en ese lapso de tiempo y por ende, conocer la frecuencia real de operación del microprocesador. Este valor de frecuencia presenta un margen de error de ± 3000 Hz, el cual representa un $\pm 1 \times 10^{-4}$ % de error para frecuencias por lo general de 3 Ghz.

Este proceso de cálculo de la frecuencia se realiza por medio de un DLL¹⁵ elaborado en C++. La razón de su utilización es la robustez que el lenguaje presenta en programación de bajo nivel, además de la modularidad que le otorga al sistema. La explicación en detalle del uso de este dato de frecuencia se explicará más adelante cuando se explique el módulo Perform_Test.

El programa fue diseñado además para que tuviera la capacidad de realizar pruebas sucesivas en forma automatizada, es por esto que sucedido el cálculo de la frecuencia del procesador, el programa especifica una cantidad máxima de pruebas a realizar en la variable Amount_Tests. Después de realizar cada una de las pruebas la variable se decrementa en una unidad hasta que su valor sea cero. Será en este momento cuando la prueba habrá finalizado.

¹⁴ Por sus siglas en inglés, Time Stamp Counter, TSC se refiere al contador de 64 bits que se incrementa con cada flanco positivo de reloj del procesador.

¹⁵ Por sus siglas en inglés, Dynamic Link Library, DLL es una librería de enlace dinámica.

Una vez definida la cantidad de veces que la prueba se ejecutará es necesario definir la cantidad de segundos que el programa esperará entre cada prueba. Este tiempo de espera se hace con la finalidad de garantizar que la temperatura del procesador, al inicio de la prueba, sea la mínima y siempre la misma para todas las pruebas. Con esto se asegura que las condiciones iniciales para cada una de las pruebas sean siempre las mismas.

Después de haber transcurrido el tiempo de espera el software procede a ejecutar la prueba (Perform_Test). La forma en que procede la prueba se muestra en la figura 5.6.

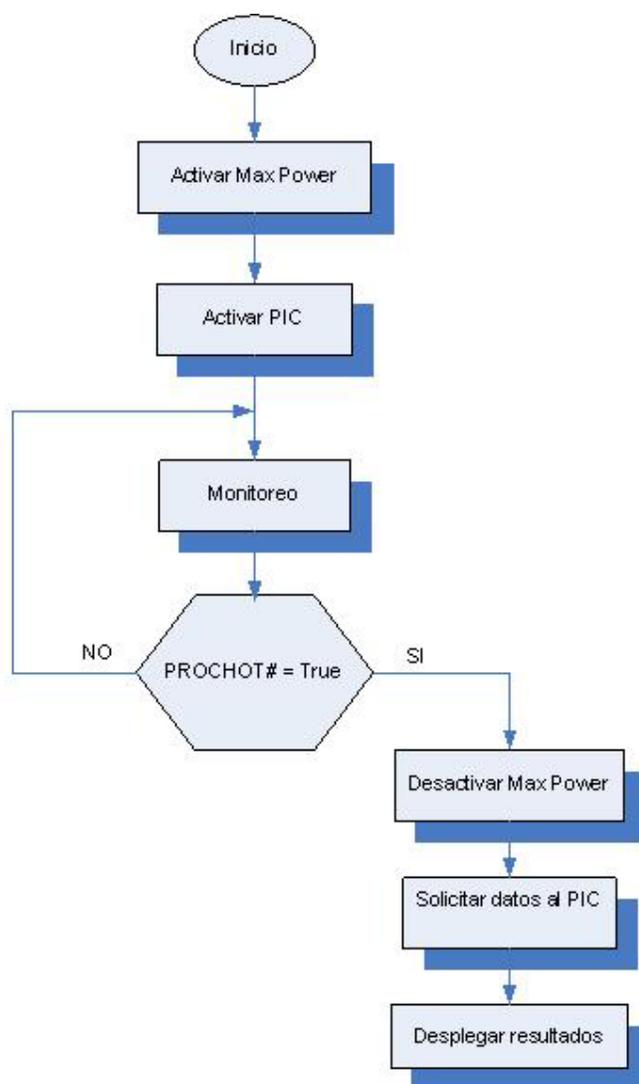


Figura 5.7 Diagrama de flujo de la prueba ejecutada por TST

Como se puede apreciar de la figura anterior, el primer paso de la prueba es llamar al programa de estresamiento, el cual es el encargado de elevar la temperatura del procesador hasta el punto de **throttle**. Inmediatamente después de esto se le indica al microcontrolador que debe inicializar sus contadores y comenzar a tomar el tiempo hasta que se de el disparo del TCC. De la misma manera el programa llama a la función `monitoreo` que reside en el DLL para monitorear el estado del bit 0 del MSR `IA32_THERM_STATUS` que se encuentra en la dirección `19CH`.

Esta función `monitoreo` tiene características propias, en donde cabe mencionar que la computadora la asigna a la clase `REAL_TIME_PRIORITY_CLASS`. A los procesos pertenecientes a esta clase se les da la mayor prioridad posible, siendo más prioritarios que los procesos realizados por el sistema operativo.

Al estar trabajando con procesadores con tecnología **Hyper-Threading** se le tiene que dar una prioridad alta al hilo (**thread**) que está ejecutando la función. Para esta función en especial la computadora le asigna al hilo que ejecuta la prueba la prioridad `THREAD_PRIORITY_TIME_CRITICAL`, la cual, dentro de la clase `REAL_TIME_PRIORITY_CLASS` es la prioridad más alta que se le puede dar a una función en especial. Esta asignación de privilegios se realiza con el objetivo de garantizar que la computadora, mientras se esté ejecutando la prueba, no permita que procesos ajenos a la misma interfieran con el proceso de monitoreo y tenga toda su atención enfocada al disparo del TCC. Se logra garantizar por ende un resultado con un mínimo margen de error. La lectura del MSR se realiza cada 10 ms con el fin de no provocarle un recargo extra al procesador.

Otra característica propia de esta función de monitoreo es la forma en que se obtiene el tiempo. Si bien es cierto, la computadora no posee noción del tiempo, a excepción del que se obtiene del BIOS de la tarjeta madre. Este tiempo obtenido de la tarjeta madre no fue utilizado ya que presenta muchas desventajas por su baja precisión, además de tener como mínima unidad los segundos.

Para usar una mejor referencia de tiempo se utilizó el QueryPerformanceCounter mencionado anteriormente. La prueba hace una lectura de este contador cuando inicia y cuando detecta el disparo del TCC (PROCHOT# = True). Una vez que se tienen los dos valores se hace la diferencia de los mismos y se obtiene el número de flancos positivos transcurridos durante el período de la prueba. Este dato es retornado al programa principal para que, utilizando el dato de frecuencia obtenido mediante el comando QueryPerformanceFrequency al inicio del programa, se realicen restas sucesivas para obtener el número de segundos que tardó el TCC en activarse. El residuo de las restas sucesivas se resta con el valor de la frecuencia entre 1000 y se obtienen también milisegundos. Como se puede apreciar se logra un valor con menos incertidumbre que el valor obtenido del BIOS de la tarjeta madre. El proceso descrito anteriormente se visualiza mejor en la figura 5.7.

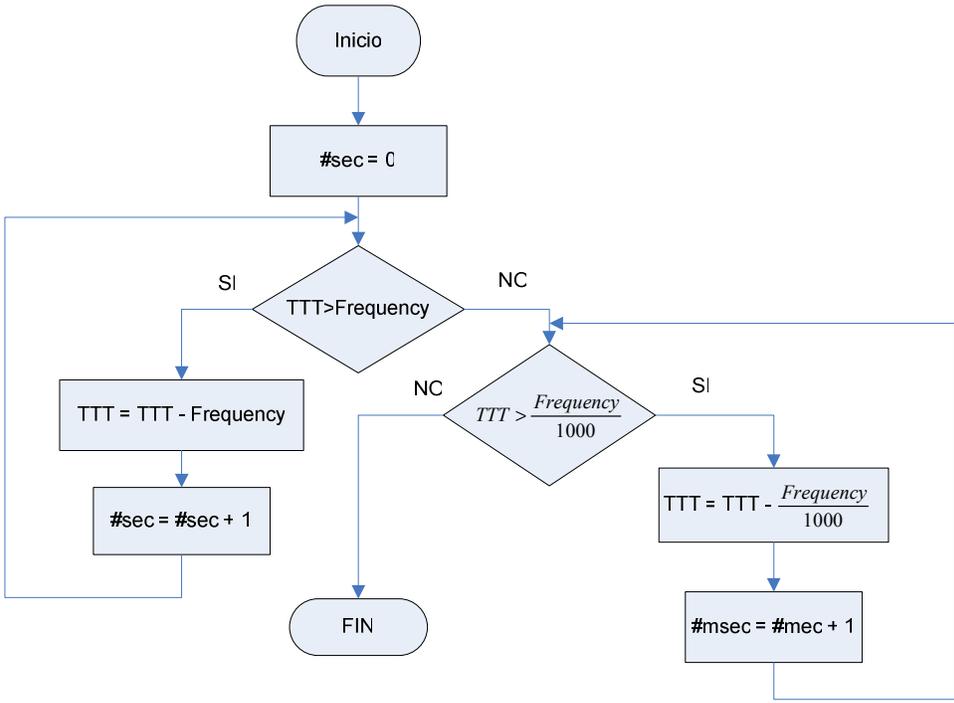


Figura 5.8 Conversión de ciclos de procesador a segundos

Inmediatamente después de detectarse el disparo de TCC se desactiva el programa de estrés térmico, se le solicita el valor de tiempo al microcontrolador y por último se procede a mostrar los resultados en forma de tabla.

Para poder analizar posteriormente los datos en algún software estadístico, al programa se le dotó la capacidad de exportar los resultados mostrados en la tabla a una hoja de cálculo de Microsoft Excel o también exportar a un archivo de texto (.txt).

Cabe mencionar además que el TST le puede indicar a la aplicación de estrés térmico el nivel de potencia con que se va a estresar la unidad. La aplicación permite variaciones de consumo de potencia del 50% al 100% en incrementos de 10%.

Por último, las figuras 5.8 y 5.9 muestran la apariencia final del TST al iniciar el programa y en modo de ejecución de la prueba.

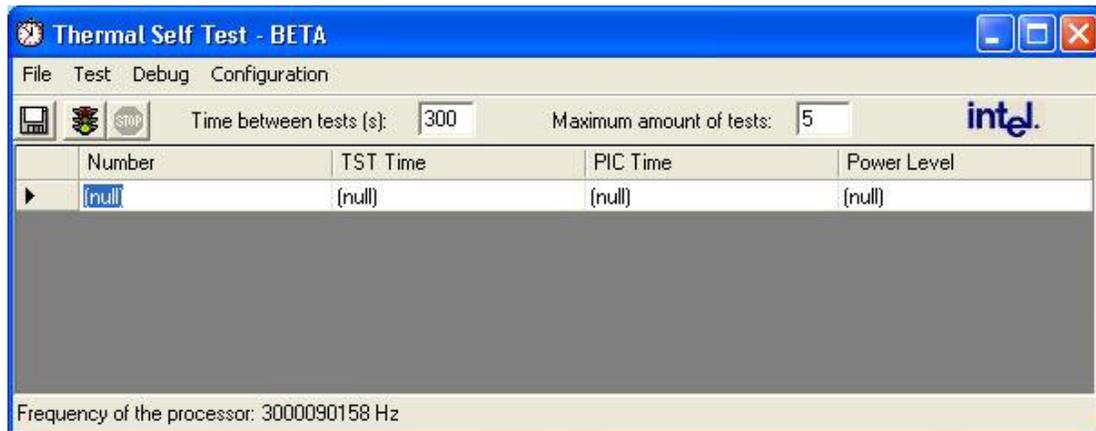


Figura 5.9 Ilustración de la apariencia del TST al iniciar el programa

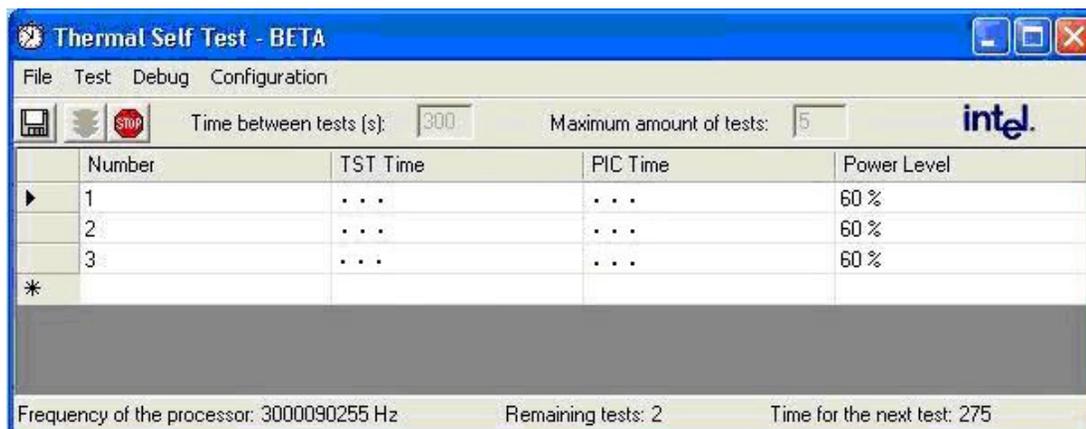


Figura 5.10 Ilustración de la apariencia del TST ejecutando una caracterización

Capítulo 6. Análisis de resultados

La información obtenida de la caracterización es confidencial para la empresa, por lo que las gráficas que se muestran a continuación ilustran únicamente el comportamiento de los datos.

Para obtener un valor de riesgo, o valor de α , igual a 0.05, para ser evaluado posteriormente con la prueba t, fue necesario definir una muestra de 64 unidades pertenecientes a 32 lotes distintos, es decir, dos unidades por lote. A cada una de estas unidades se le ejecutó la prueba con los 6 niveles distintos de consumo de potencia. Para analizar los datos que se muestran a continuación se utilizó el paquete software estadístico JMP 5.1.

6.1 Caso de consumo de potencia del 50 %

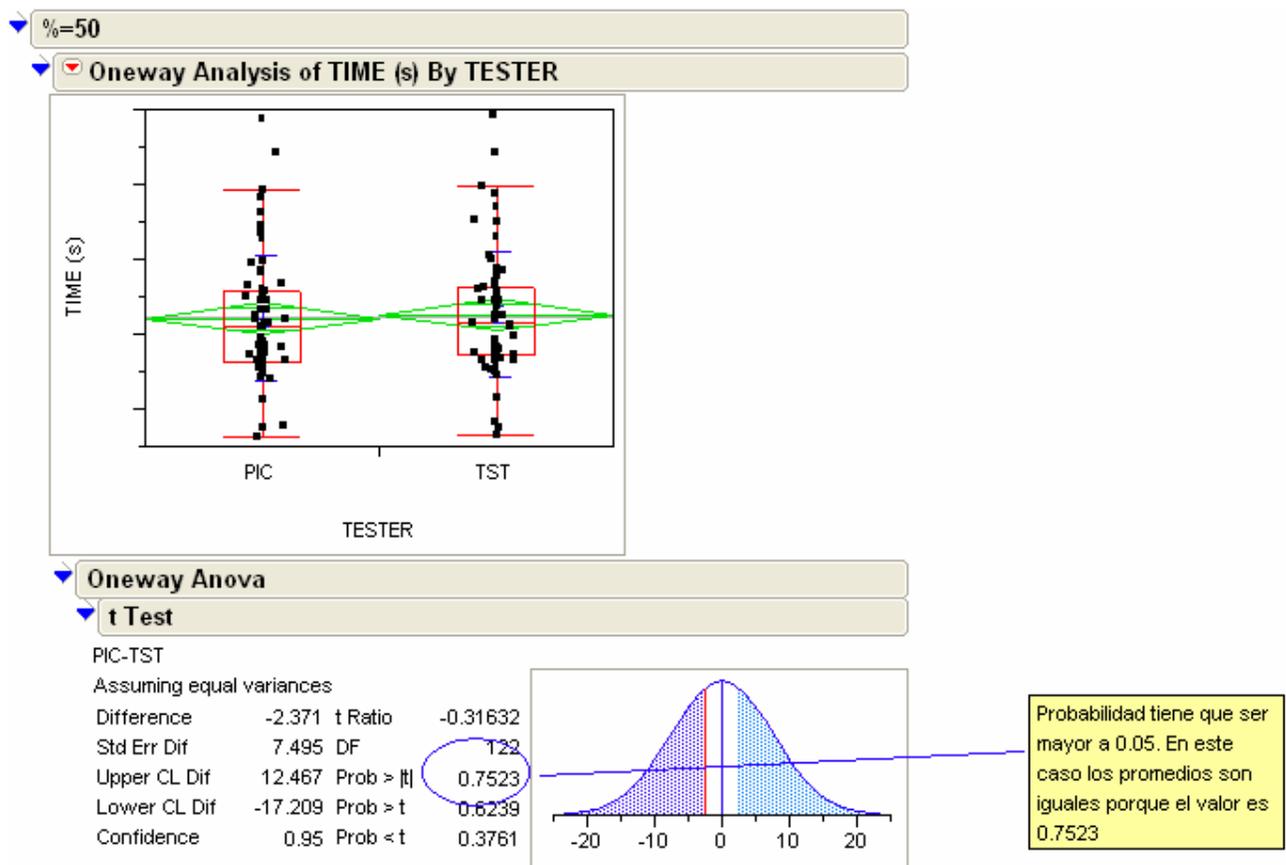


Figura 6.1 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia de 50%

En la figura 6.1 se puede apreciar que el resultado de la prueba t, encerrada en el círculo, al ser mayor que 0.05 garantiza que los promedios para ambos grupos de datos son los mismos, dando credibilidad a las mediciones obtenidas por el TST.

El mismo análisis se hizo para los diferentes niveles de consumo de potencia que se muestran en las figuras 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6.

6.2 Caso de consumo de potencia del 60 %:

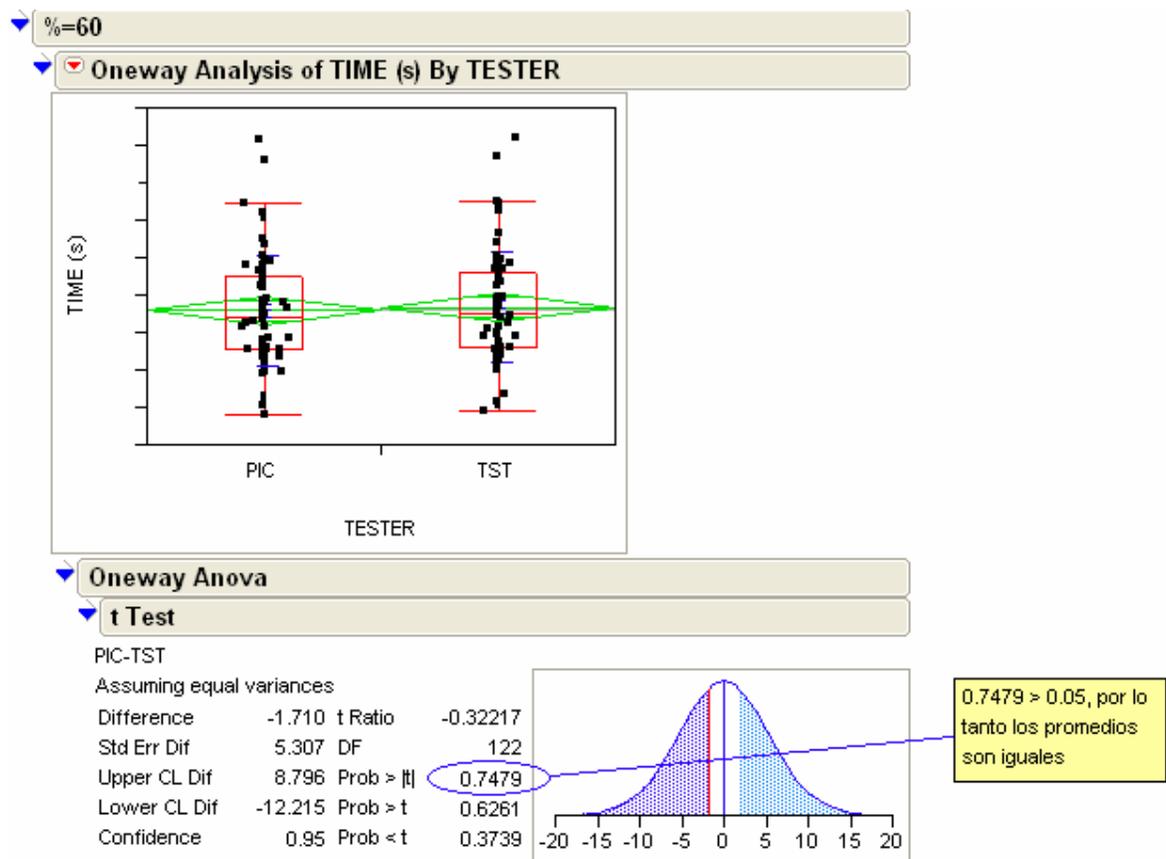


Figura 6.2 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia de 60%

6.3 Caso de consumo de potencia del 70 %:

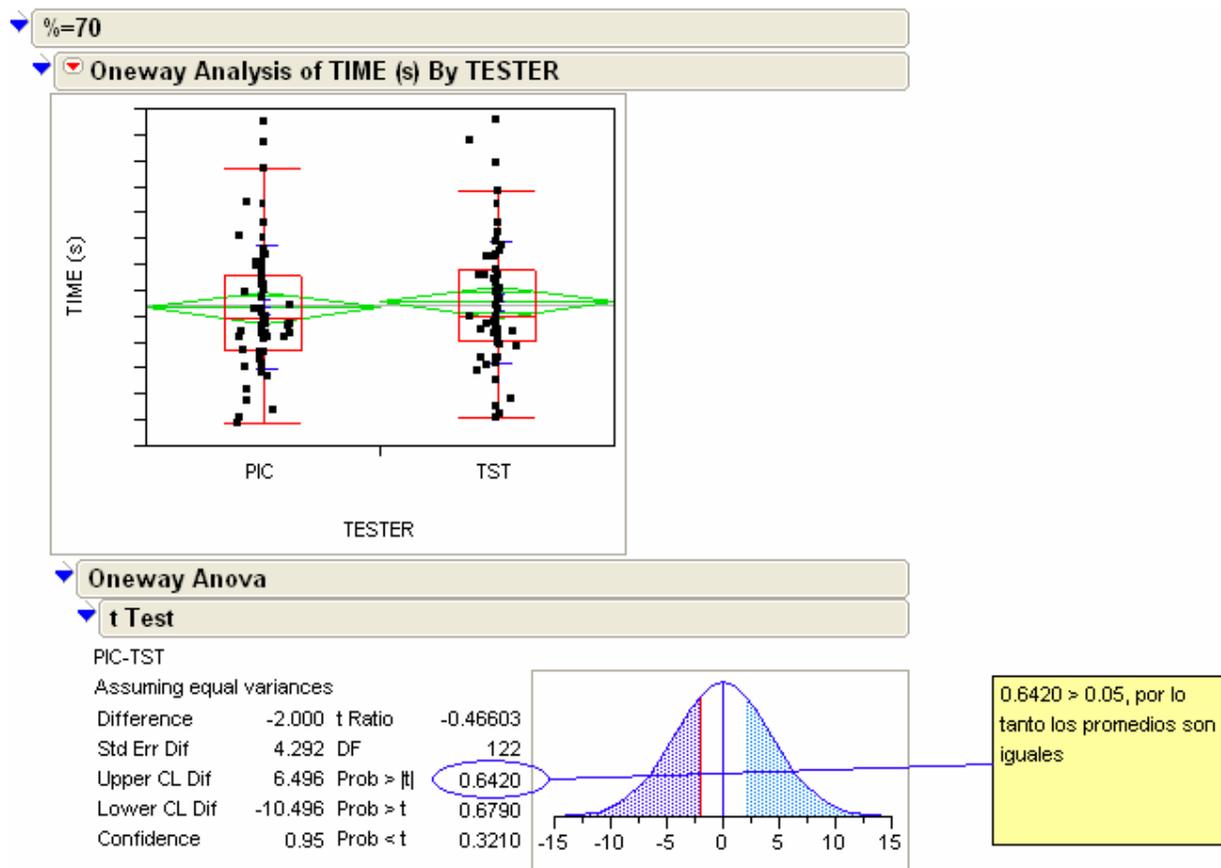


Figura 6.3 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia de 70%

6.4 Caso de consumo de potencia del 80%

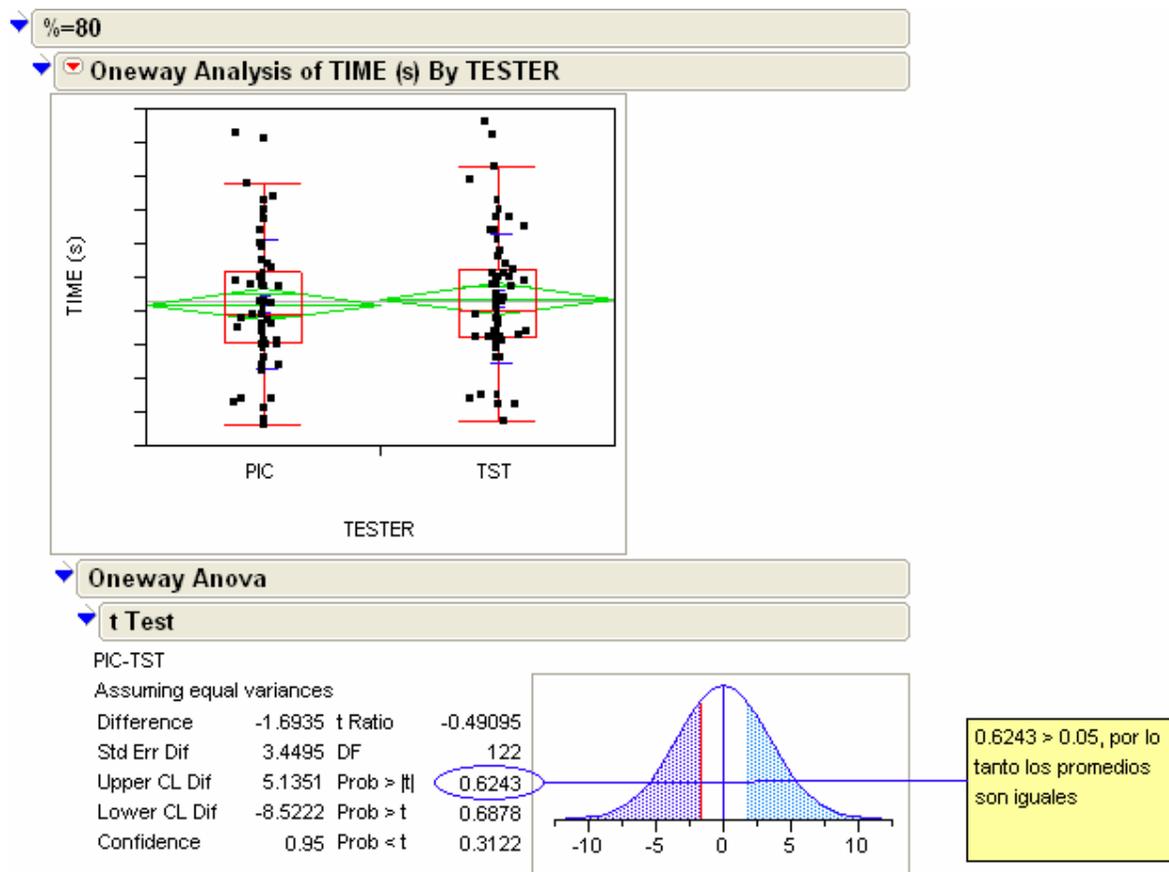


Figura 6.4 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia del 80%

6.5 Caso de consumo de potencia del 90 %

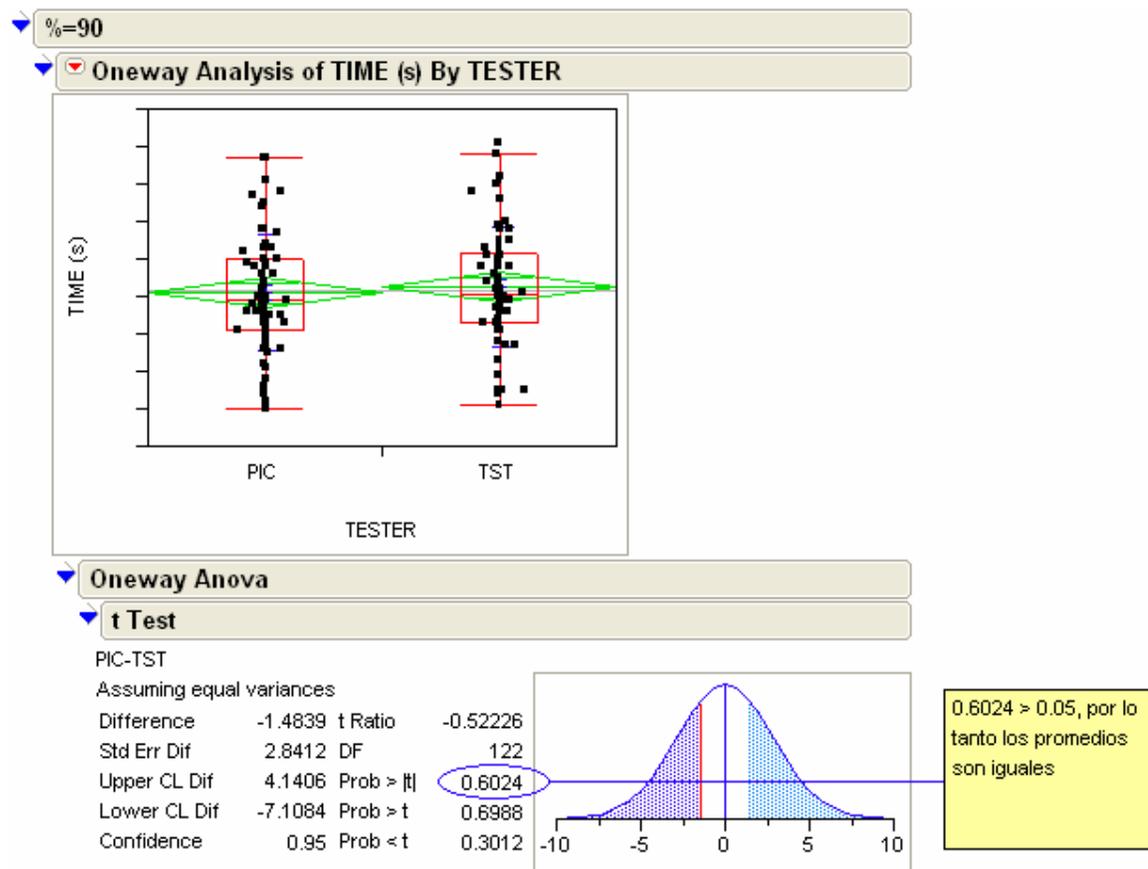


Figura 6.5 Análisis estadístico para un nivel de consumo de un 90%

6.6 Caso de consumo de potencia del 100%:

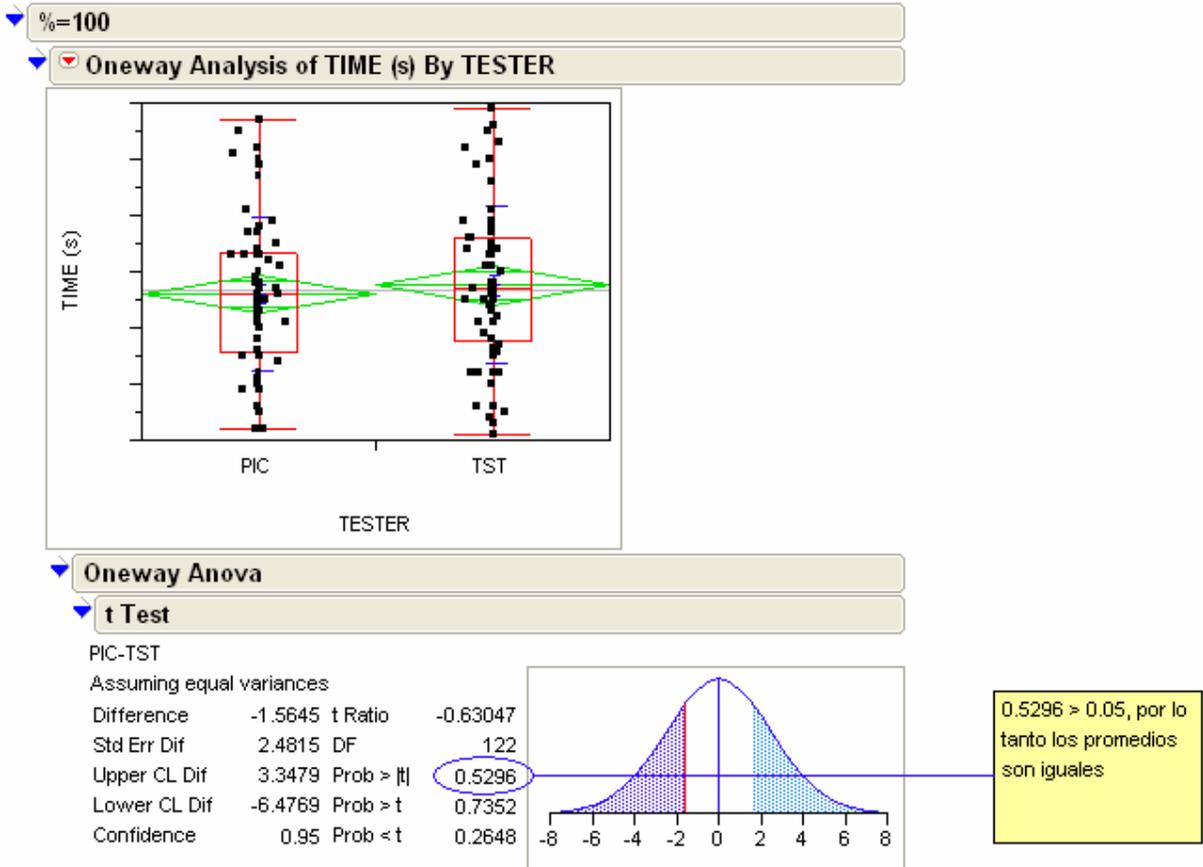


Figura 6.6 Análisis estadístico para un nivel de consumo de potencia del 100%

Se puede apreciar de las 6 figuras anteriores que el nivel de consumo de potencia con el error estándar (Std Err Dif) más bajo es la del 100%, razón por la cual se escogió este valor como el nivel de consumo más apropiado para ser configurado en el TST por defecto.

Esta prueba establece además un nivel de confianza del 95%, que significa que los datos tomados por la prueba estarán el 95% de las veces dentro del rango calculado.

Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

7.1.1 Los procesadores presentaron comportamientos similares cuando fueron sometidos a numerosas pruebas de evaluación térmica siempre que se mantenían las condiciones iniciales.

7.1.2 Se comprobó que una solución térmica en buen estado evita que los procesadores alcancen la temperatura crítica de **throttle** aún estando el procesador consumiendo el 100% de la potencia por largos periodos de tiempo.

7.1.3 Los VxD (**Virtual Drivers**) específicos funcionaron satisfactoriamente para manipular los registros internos del procesador desde rutinas residentes en el anillo de privilegio 3.

7.1.4 La librería de enlace dinámico (DLL) permitió una optimización del uso de la memoria del sistema, además de que permitió el aprovechamiento de las fortalezas de distintos lenguajes de programación en un mismo programa.

7.1.5 El TSC representa el contador más preciso que cuenta el procesador, y es en el cual se basan las aplicaciones de temporización avanzadas.

7.1.6 La capacidad de disipación térmica de un procesador depende del estado del TIM, el cual se encuentra entre el silicio y el IHS y entre el IHS y el disipador.

7.1.7 El TST cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados al inicio del presente informe.

7.2 Recomendaciones

8.1.1 Para obtener datos precisos del TST es necesario tener control sobre el ventilador de la solución térmica del procesador, ya que como se vio antes, el objetivo es evaluar el desempeño de disipación de la unidad en si, por lo que es necesario entregar al cliente no solo el software de prueba, sino también un sistema que este en comunicación con el TST y tenga dominio del ventilador.

8.1.2 Implementar un sistema de detección del disparo del TCC por medio de interrupciones del procesador, para comparar con el sistema presente y evaluar los resultados.

Bibliografía

1. Intel®. **Intel® IA 32 Architecture Software Developer's manual**. Volume 3: System programming guide. 2003.
2. Intel®. **Intel® Pentium® 4 Processor in the 478-Pin Package Thermal Design Guidelines**. 2002.
3. Intel®. **Intel® Pentium® 4 Processor in the 478-Pin Package at 1.4 GHz, 1.5 GHz, 1.6 GHz, 1.7 GHz, 1.8 GHz, 1.9 GHz and 2 GHz Datasheet**. 2002
4. Intel®. **Intel® Pentium® 4 Processor on 90 nm Process in the 775-Land LGA Package for Embedded Applications**. 2004
5. Intel®. **Managing the Impact of Increasing Microprocessor Power Consumption**. 2001
6. Epson. **RTC72421/72423 Datasheet**. 1998
7. Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. **Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales**. Prentice Hall. México, 1999.
8. **<http://www.intel.com>**
En esta dirección se encuentra toda la información referente a los procesadores Intel®.
9. **<http://msdn.microsoft.com>**
En esta página se encuentra toda la información referente al Visual Studio .NET 2003 y la ayuda necesaria para desarrollar en el mismo.

Apéndice

A.1 Glosario y abreviaturas

- CFM por sus siglas en inglés, Cubic Feet per Minute, es el volumen de aire, medida en pies cúbicos, que pasa por una abertura en un minuto.
- DLL por sus siglas en inglés, Dynamic Link Library, es una librería de enlace dinámico.
- Estrés se refiere a un trabajo que obligue al procesador a elevar su temperatura
- GUI, por sus siglas en inglés, Graphical User Interface, se refiere a la interfaz gráfica de usuario.
- IHS por sus siglas en inglés, Integrated Heat Spreader, es el disipador que se adhiere directamente al procesador.
- MSR por sus siglas en inglés, Model Specific Register, es un registro de función específica del procesador.
- TCC por sus siglas en inglés, Thermal Control Circuit, se refiere al circuito de control térmico integrado del procesador.
- TIM por sus siglas en inglés, Thermal Interface Material, es un material con muy baja resistencia térmica que se ubica entre la superficie del silicio y el IHS y entre el IHS y el disipador
- TM por sus siglas en inglés, Thermal Monitor, se refiere al sistema de monitor térmico del procesador
- TSC por sus siglas en inglés, Time Stamp Counter, se refiere al contador de 64 bits que se incrementa con cada flanco positivo de reloj del procesador.
- TST: Por sus siglas en inglés, Thermal Self Test, se refiere a un autodiagnóstico térmico. Es este el nombre con el que se le conoce a la prueba en Intel®.
- TTT por sus siglas en inglés, Time to Throttle, se refiere al tiempo que tarda el circuito de protección térmica en activarse.

A.2 Información sobre la empresa

A.2.1 Descripción de la empresa

Intel® es una empresa líder dedicada al diseño y elaboración de componentes electrónicos a nivel mundial. Fue fundada en 1968 por Robert Noyce y Gordon Moore con el nombre de NM Electronics, por las siglas de los apellidos de sus creadores. Su misión inicial fue el diseñar y fabricar circuitos integrados complejos de silicón.

Intel® hoy cuenta con más de 100000 empleados en más de 50 países alrededor del mundo, cuya misión es de realizar un gran trabajo para sus clientes, empleados y accionistas, siendo el suplidor de la base fundamental preeminente para la economía mundial de Internet.

Componentes Intel® de Costa Rica inició sus operaciones en marzo de 1998 empleando aproximadamente a 4700 empleados. Sus instalaciones se ubican en la Ribera de Belén. Sus principales labores son el ensamblado y prueba de componentes electrónicos.

A.2.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto

El proyecto se llevó a cabo en el departamento de Calidad y Confiabilidad. La función principal de este departamento es garantizar la calidad de los microprocesadores. Este departamento se encuentra dividido a su vez en otras secciones. El departamento específico en donde se desarrolla el proyecto, es el departamento de Calidad y Confiabilidad del paquete. Este departamento es el encargado de controlar la calidad del paquete de los microprocesadores.

El asesor en la empresa fue el Ingeniero Electrónico José Madriz Calderón y el puesto que ocupa en el departamento es el de Ingeniero de Calidad. Su teléfono y correo electrónico son respectivamente: 298-6817 y jose.madriz.calderon@intel.com

