



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes Tecnológicas de la Información y la  
Comunicación

**PROTOTIPO DE CONFIGURACIÓN DE MICROPROCESADORES MULTINÚCLEO,  
PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL AJUSTE DEL  
MULTIPLICADOR DE RELOJ**

**Ing. Pedro Pablo Martínez Valenzuela**

Asesorado por la Inga. M.A. Gabriela María Díaz Domínguez

Guatemala, octubre de 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO DE CONFIGURACIÓN DE MICROPROCESADORES MULTINÚCLEO,  
PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL AJUSTE DEL  
MULTIPLICADOR DE RELOJ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. PEDRO PABLO MARTÍNEZ VALENZUELA**  
ASESORADO POR LA INGA. MA. GABRIELA MARÍA DIAZ DOMÍNGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA  
COMUNICACIÓN**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Sasha Steffanie Palencia Zetina
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PROTOTIPO DE CONFIGURACIÓN DE MICROPROCESADORES MULTINÚCLEO, PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL AJUSTE DEL MULTIPLICADOR DE RELOJ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha noviembre de 2020.

**Ing. Pedro Pablo Martínez Valenzuela**







**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24189101 - 24189102**

DTG. 532.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROTOTIPO DE CONFIGURACIÓN DE MICROPROCESADORES MULTINÚCLEO, PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL AJUSTE DEL MULTIPLICADOR DE RELOJ**, presentado por el **Ingeniero Pedro Pablo Martínez Valenzuela**, estudiante del programa de **Maestría en Artes en Tecnologías de la Información y la Comunicación**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/cc



**Guatemala, octubre de 2021**

LNG.EEP.OI.028.2021

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“PROTOTIPO DE CONFIGURACIÓN DE MICROPROCESADORES MULTINÚCLEO, PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL AJUSTE DEL MULTIPLICADOR DE RELOJ”**

presentado por **Pedro Pablo Martínez Valenzuela** quien se identifica con carné **200819363** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Tecnologías de la información y la comunicación** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 01 de agosto 2020.

**M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

**M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: "PROTOTIPO DE CONFIGURACIÓN DE MICROPROCESADORES MULTINÚCLEO, PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL AJUSTE DEL MULTIPLICADOR DE RELOJ" del estudiante Pedro Pablo Martínez Valenzuela quien se identifica con número de carné 200819363 del programa de **Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**MARLON ANTONIO PEREZ TURK**  
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS  
COLEGIADO No. 4492

**MSc. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk**  
Coordinador

**Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**

Guatemala, 23 de febrero de 2019.

M.A. Ingeniero  
Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Su despacho.

Distinguido Director:

Reciba un cordial y atento saludo, a la vez aprovecho la oportunidad para hacerle de su conocimiento que he revisado y aprobado el protocolo de trabajo de graduación titulado: **"PROTOTIPO DE CONFIGURACIÓN DE MICROPROCESADORES MULTINÚCLEO, PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL AJUSTE DEL MULTIPLICADOR DE RELOJ"** del estudiante **Pedro Pablo Martínez Valenzuela** del Programa de Maestría en Tecnología de la Información y Comunicación, identificado con número de carne: **200819363**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

M.A. Inga. Gabriela María Díaz Domínguez  
Colegiado No. 12204  
Asesor

*Gabriela María Díaz Domínguez*  
Ingeniera en Ciencias y Sistemas  
Colegiado 12204

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
- Mis padres** Pedro Obdulio Martínez (q. e. p. d.) y María Hortencia Valenzuela Galicia. Por su amor que siempre será mi inspiración.
- Mis hermanos** Elda Maritza y Elmer Aníbal Martínez Valenzuela. Dos personas muy importantes en mi vida.
- Mis sobrinos** Yosseline Andrea y Pedro Andrés Hernández Martínez. Por ser dos ángeles en mi vida.
- Mi cuñado** Jorge Aníbal Hernández Bran. Por siempre apoyarme en mi superación personal y profesional.
- Mi abuela** María Chávez. Por apoyarme en todo momento y darme sabias enseñanzas.
- Mi amiga** Mariangel Medina. Por su mágica e invaluable amistad.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el pilar de mi educación superior, en ingeniería y aprendizaje de idiomas.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme dado en grado de licenciatura el título de ingeniero electrónico.
<b>Escuela de Estudios de Postgrado</b>	Por haberme brindado la oportunidad de haber sido estudiante de postgrado.
<b>Inga. Gabriela Díaz</b>	Por su apoyo y asesoría para la elaboración de este trabajo de graduación.





## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XI
OBJETIVOS.....	XV
MARCO METODOLÓGICO .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	7
3. ALCANCES .....	9
3.1. Investigativos.....	9
3.2. Técnicos .....	9
3.3. Resultados.....	10
4. MARCO TEÓRICO.....	11
4.1. Microprocesador.....	11
4.2. Relación de gestión termal en sistemas embebidos.....	12
4.3. Rendimiento térmico de microprocesadores multinúcleo .....	15
4.4. Multiprocesamiento asimétrico .....	16
4.5. Multiprocesamiento simétrico .....	17
4.6. Ley de Amdahl.....	19
4.7. Ley de Gustafson .....	21
4.8. Escalación dinámica de frecuencia .....	23
4.9. Escalación dinámica de voltaje.....	25

4.10.	Estados P .....	27
4.11.	Estados C.....	30
4.12.	Intel <i>SpeedStep</i> ®.....	32
4.13.	Intel Turbo Boost® .....	33
5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	37
5.1.	Arquitectura de la solución .....	37
5.2.	Presentación de datos.....	39
5.2.1.	Datos de las características .....	39
5.2.2.	Datos de comportamiento .....	40
5.3.	Velocidad del microprocesador .....	43
5.4.	Multiplicador de frecuencia.....	44
5.5.	Velocidad de bus frontal.....	45
5.6.	Bus frontal .....	46
5.7.	Temperatura del microprocesador .....	48
5.8.	Potencia del microprocesador.....	50
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	55
6.1.	Análisis y diseño de prototipo.....	55
6.2.	Porcentaje de reducción de energía .....	55
6.3.	Opciones para el ahorro de energía.....	56
6.4.	Disminución del consumo energético.....	57
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	REFERENCIAS .....	63

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Microprocesador sin encapsulado .....	11
2.	Relación entre los requisitos informáticos y síntomas térmicos .....	13
3.	Consumo de energía de 1 núcleo vs 2 núcleos .....	16
4.	Multiprocesamiento asimétrico.....	17
5.	Multiprocesamiento simétrico.....	18
6.	Ley de Amdahl .....	20
7.	Ley de Gustafson.....	22
8.	Comportamiento de la escalación dinámica de frecuencia .....	23
9.	Comportamiento de la escalación dinámica de voltaje .....	25
10.	Estados P sin el uso de Intel Speed Shift®.....	27
11.	Estados P con el uso de Intel Speed Shift® .....	29
12.	Comportamientos de los Estados C.....	31
13.	Configuraciones de Intel <i>SpeedStep</i> ® en BIOS.....	33
14.	Monitor de rendimiento de Turbo Boost® .....	34
15.	Velocidad del microprocesador .....	43
16.	Velocidad promedio del microprocesador .....	44
17.	Multiplicador de frecuencia .....	45
18.	Velocidad del bus.....	46
19.	Bus frontal.....	47
20.	Frecuencias del microprocesador .....	48
21.	Temperatura de cada núcleo del microprocesador .....	49
22.	Temperatura promedio.....	50
23.	Potencia del microprocesador.....	51

24.	Potencia acumulativa en Joules y mWh .....	52
-----	--------------------------------------------	----

## **TABLAS**

I.	Variables y subvariables .....	XVIII
II.	Rangos comunes de temperatura de circuito integrado .....	14
III.	Tabla con pares pre-caracterizados en Intel Pentium® M .....	26
IV.	Datos de temperatura del microprocesador .....	40
V.	Datos de energía del microprocesador .....	42

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CVS</b>	Valores separados por comas
<b>GHz</b>	Gigahercio
<b>MHz</b>	Megahercio
<b>TDP</b>	Potencia de diseño térmico
<b>VID</b>	Identificador de voltaje en el núcleo



## GLOSARIO

<b>ACPI</b>	Interfaz avanzada de configuración y energía.
<b>AMD</b>	Advanced Micro Devices, Inc.
<b>APM</b>	Administración avanzada de energía.
<b>CMOS</b>	Semiconductor complementario de óxido metálico.
<b>GPU</b>	Unidad de procesamiento gráfico.
<b>Milivatios</b>	El milivatio es igual a una milésima parte de un vatio ( $10^{-3}$ W).
<b>Microvatios</b>	El microvatio es igual a una millonésima parte de un vatio ( $10^{-6}$ W).
<b>Vatio</b>	El vatio es una unidad de potencia. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) se define como una unidad derivada de 1 joule por segundo.
<b>x86-x64</b>	x86-x64 (también conocido como x64, x86_64 y AMD64) es la versión de 64 bits del conjunto de instrucciones x86.





## RESUMEN

Este trabajo de investigación es para comprender la informática con conciencia energética, proporcionando metodologías y técnicas de *hardware* y *software* para el ahorro de energía que pueden utilizarse al diseñar soluciones informáticas. A medida que aumentan los requisitos de procesamiento y los tamaños de los dispositivos físicos continúan disminuyendo, se vuelve cada vez más difícil sacar el calor de los sistemas integrados de manera eficiente. Si queremos gestionar el calor de manera efectiva, debemos comprender, clasificar y desarrollar nuevas formas de reducir la energía de manera agresiva.

La configuración se realizó manualmente, ya que no existe un único software para realizar dicha configuración. Por tal motivo, se encontró la necesidad de realizar cambios de forma manual para que se analice y almacene los datos de las mediciones de los cambios realizados en la configuración de energía, para analizar la calidad de la nueva configuración y con esta información tomar las medidas necesarias para reducir el consumo energético en el microprocesador.

Para ello, se diseñó el prototipo de configuración que permite el ingreso, almacenamiento, procesamiento y consulta de la información del comportamiento del microprocesador, activando las opciones de la BIOS tales como Multi Core Support, Intel® *SpeedStep*<sup>™</sup>, C States Control y CPUID Limit, adicionalmente las opciones disponibles en Windows como el estado mínimo o máximo del microprocesador y directiva de refrigeración del sistema para finalmente utilizar el programa de optimización HWMonitor que modifica la velocidad del ventilador, para luego generar los reportes de las configuraciones realizadas mediante los

programas SpeedFan y Intel® Power Gadget 3.5 para que se guarden en archivos CVS.

Con lo que se espera medir cuantitativamente el porcentaje de reducción de energía con una configuración para economizar energía, para detallar las opciones disponibles para el ahorro de energía y sus efectos esto para ajustar apropiadamente el multiplicador de reloj. Para centrar específicamente en la búsqueda y recolección de indicadores del consumo energético del microprocesador, para lograr esto, se realiza un proceso de observación del comportamiento del microprocesador para determinar qué factores deben considerarse en función del consumo energético para encontrar las variables que afectan el consumo energético del microprocesador.

Con esta información se observan las variables que afectan el consumo energético del microprocesador en las que la energía consumida, la temperatura y potencia disipada tienden a descender a comparación de la velocidad del microprocesador aumenta gradualmente. Finalmente, se encontró que con la nueva configuración se logró disminuir el consumo energético en un 33.13 % en comparación a la configuración inicial y pasando a los 8 vatios aproximadamente como la potencia requerida para el funcionamiento del microprocesador. Adicionalmente se forzó que el multiplicador de frecuencia se mantuviera en su punto más alto de x8 a x9.

Con la información recopilada en los archivos CVS, los cuales son indicadores útiles para el análisis del comportamiento del microprocesador y ayudarán a realizar una mejor decisión para reducir el consumo energético en el mismo.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

El consumo energético en los dispositivos electrónicos siempre ha sido una problemática que se ha ido intentando resolver de distintas maneras en la era digital, ya que se desea tener un dispositivo de alto rendimiento con un bajo consumo energético, para resolver este problema, varios desarrolladores de tecnología han intentado reducir el consumo energético del dispositivo al enfocar sus esfuerzos en el microprocesador, ya que este centra el procesamiento del dispositivo y por ende, si se logra una reducción en el consumo energético del microprocesador, se tendrá un dispositivo con mayor duración de tiempo de operación y menor consumo energético, en las computadoras actuales se puede lograr una disminución del consumo energético mediante la optimización de la frecuencia del microprocesador.

La velocidad de operación del microprocesador es dada en GHz de cada núcleo del microprocesador, estos pueden ser de núcleo simple, duales, de cuatro o de ocho núcleos. Empresas han implementado soluciones tecnológicas para la solución de esta problemática, como se puede mencionar la tecnología Intel *SpeedStep*® y la versión actualizada de la misma llamada Intel Turbo Boost®, la empresa desarrolladora de microprocesadores AMD también ha desarrollado AMD Turbo Core®, similar a la tecnología de Intel que ajusta la frecuencia dinámicamente de microprocesador para aumentar el rendimiento y otra dedicada exclusivamente para microprocesadores gráficos AMD PowerTune® que permite el escalado de frecuencia dinámicas incorporadas en algunas GPU el cual permite que el *software* modifique dinámicamente la velocidad del reloj del procesador gráfico.

La tecnología Intel *SpeedStep*<sup>®</sup>, reduce la demanda energética de la computadora disminuyendo los ciclos de reloj del microprocesador mediante una escalación dinámica de frecuencia donde automáticamente el microprocesador ajusta a la necesidad de trabajo en tiempo real. Sin embargo, en ciertas computadoras con esta tecnología disponible para reducir el consumo energético no son configuradas de manera correcta, ya que al haber una alta demanda de trabajo en el microprocesador el multiplicador de reloj disminuye y cuando no se tiene demanda el multiplicador de reloj aumenta, impactando de forma directa el rendimiento de la computadora. Esto se da porque no hay una guía de usuario para ajustar de forma correcta el funcionamiento de las tecnologías para reducir el consumo energético.

Ante tal inconveniente se formula la siguiente pregunta:

¿De qué forma los microprocesadores, podrían mejorar su rendimiento en el control de regulación y balance de energía, frecuencia y temperatura para generar el rendimiento necesario para obtener el mejor balance en el consumo de energía del computador, para así reducir las variaciones de voltaje y optimizar el rendimiento?

Y teniendo en cuenta lo anterior surgen estas interrogantes:

¿Cuál es el diseño de la arquitectura de sistemas del microprocesador que permita el ingreso, procesamiento y retribución de la energía para la optimización de calidad en manejo energético de la computadora?

¿Qué información se recopilará y se almacenará para verificar si se puede apreciar una reducción en el consumo energético mediante el ajuste de multiplicador de frecuencia?

¿Cuál es el diseño para los indicadores de optimización energética en el microprocesador, para así reducir las variaciones de voltaje y frecuencia?



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar el prototipo de configuración mediante el ajuste del multiplicador de frecuencia en microprocesadores y configuraciones recomendadas para reducir el consumo energético.

## Específicos

1. Medir cuantitativamente el porcentaje de reducción de energía cuando exista una configuración para economizar energía.
2. Detallar las opciones disponibles para el ahorro de energía y efectos de los mismos.
3. Ajustar apropiadamente el multiplicador de reloj en un microprocesador para que disminuya el consumo energético.





## MARCO METODOLÓGICO

- Tipo de estudio

La investigación del trabajo de graduación se adecúa al tipo de investigación cuantitativo, ya que se centra específicamente en la búsqueda y recolección de indicadores del consumo energético del microprocesador, para lograr esto, se realiza un proceso como observación del comportamiento del microprocesador para determinar qué factores deben considerarse en función del consumo energético.

- Diseño de estudio

El diseño de la investigación es experimental. El desarrollo del experimento consiste en descubrir mediante el análisis, las respuestas a las variables del estudio para darle solución a las mismas, por medio del multiplicador de frecuencia del microprocesador y por medio de las aplicaciones de monitoreo y análisis para el microprocesador se experimenta si el prototipo es aceptable al momento de realizar cambios en el multiplicador de frecuencia.

- Alcance de estudio

El tipo de estudio de este trabajo de graduación es de tipo correlacional, porque se debe conocer la relación que existe entre las variables que son el número de núcleos, el ventilador y batería de la computadora; estas son correlacionales porque determinan la energía disponible para el funcionamiento del microprocesador y como se administrara para reducir el consumo energético

del microprocesador. En la tabla I, se puede observar las variables y subvariables.

Tabla I. **Variables y subvariables**

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>	<b>Subvariables</b>	<b>Indicadores</b>
Microprocesador	Es un circuito integrado que contiene todas las funciones de una unidad central de procesamiento de una computadora.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia de diseño térmico máxima.</li> <li>• Tecnología de fabricación.</li> <li>• Voltaje de identificación del núcleo.</li> </ul>	La potencia de diseño se medirá en vatios, la tecnología de fabricación es medida en nanómetros y el voltaje de identificación del núcleo es medido en voltios. Estas subvariables se medirán mediante monitoreo en el programa CPU-Z.
Núcleos del Microprocesador	Cada microprocesador contiene un número de núcleos en su interior que determinan su	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de núcleo.</li> <li>• Velocidad de bus.</li> <li>• Velocidad de bus frontal.</li> </ul>	La velocidad de núcleo, de bus y de bus frontal se medirán en GHz a excepción del multiplicador de

Continuación tabla I.

	<p>Eficiencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiplicador de frecuencia.</li> <li>• Temperatura de cada núcleo.</li> </ul>	<p>frecuencia que se medirá en múltiplos de 6 – 9 con el programa CPU-Z y la temperatura en grados centígrados en el programa Core Temp y Intel® Power Gadget 3.5.</p>
Ventilador	<p>El ventilador es un dispositivo diseñado para extraer calor del microprocesador y otros componentes del gabinete.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modulación por ancho de pulsos en porcentaje.</li> </ul>	<p>La modulación por ancho de pulsos del ventilador del microprocesador se medirá en porcentaje de su uso en el programa CPUID HWMonitor.</p>
Batería	<p>Es un componente de <i>hardware</i> que suministra energía a un dispositivo, lo que permite que</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de diseño.</li> <li>• Capacidad de carga completa.</li> </ul>	<p>Las subvariables de capacidad de diseño, capacidad de carga completa y</p>

Continuación tabla I.

	ese dispositivo funcione sin un cable de alimentación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de desgaste.</li> <li>• Nivel de carga.</li> </ul>	nivel se medirán en porcentaje de su uso, y se medirán mediante el programa CPUID HWMonitor.
--	--------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaboración propia.

- Técnicas de recolección de información

Para el desarrollo de la investigación se utilizan distintos instrumentos que ayudan en la recolección de la información necesaria para completar la investigación, entre los instrumentos utilizados están:

- Fuentes primarias

- Recolección de datos de los microprocesadores en tiempo real para realizar pruebas y validar la efectividad de este.

- Fuentes secundarias

- Guías técnicas de microprocesadores.
- Artículos y/o ensayos científicos.
- Trabajo de graduación de universidades.

- Fases del estudio

A continuación, se detallan las fases realizadas para llegar a concretar el desarrollo de la investigación del trabajo de graduación, estas fases describen en

qué consisten y qué instrumentos de recolección de información se utilizan para la investigación:

- Fase I. Revisión documental (1 semana): Se revisaron los documentos que se centran en el consumo energético en los microprocesadores, intentando conocer las posibles soluciones propuestas.
- Fase II. Diseño de la investigación (3 semanas): Se definió de forma conceptual cómo está constituido el prototipo, es decir, definir las tecnologías a utilizar para las pruebas de rendimiento del microprocesador a utilizar, definir la interfaz de usuario y especificar como se realizan las pruebas de rendimiento mediante el ajuste del multiplicador de frecuencia.
  - Esta fase de la investigación se centró en fuentes técnicas, refiriendo a guías, códigos fuentes, libros, tesis, artículos científicos e investigaciones de uso libre para el desarrollo de aplicaciones que enriquezcan la investigación y proveen de mejores prácticas en el desarrollo de *software* para análisis de microprocesadores.
- Fase III. Ejecución de la investigación (4 semanas): Consiste esencialmente en el desarrollo de las actividades que requieran completar dicha investigación.
  - En esta fase de la investigación, se utilizaron tanto fuentes primarias como secundarias.
  - Las fuentes primarias por medio de captura de datos en tiempo real, para validar la efectividad del consumo energético del microprocesador y así arrojar los resultados del desarrollo.
  - La construcción de la propuesta se basó mediante el ajuste del multiplicador de frecuencia desde la BIOS de la computadora para posteriormente analizar los efectos de estos cambios.
  - Las fuentes secundarias consistieron en búsquedas bibliográficas, así como ensayos, trabajo de graduación de universidades con

relación al tema, artículos científicos, tutoriales y videos que aportaron al análisis del microprocesador, que ayudan al desarrollo de la parte teórica del trabajo de investigación.

- Adicional se validó la efectividad de la eficiencia del microprocesador, por medio de la experimentación que consiste en probar el rendimiento teórico con el experimental del microprocesador.
- Fase V. Publicación de la investigación (2 semanas): Divulgar las conclusiones de la investigación.
  - En esta fase de la investigación se utilizaron fuentes secundarias para desarrollar el prototipo.

## INTRODUCCIÓN

Las computadoras han cambiado notablemente hace medio siglo, el tamaño y la memoria representaba una computadora que llenaba una habitación con equipo y costaba millones de dólares, ahora se da por sentado en la parte superior de un escritorio se encuentra una computadora miles de veces más potente. Esta revolución ha sido provocada por la tecnología de circuitos integrados a gran escala. Cada vez más, existen computadoras aún más rápidas y con más funciones. Los microprocesadores permiten, a su vez, una gran cantidad de sistemas complejos avanzados controlados por múltiples núcleos.

El diseño y construcción de los microprocesadores es una disciplina y un arte. Desde la introducción del primer microprocesador en 1971 que contenía 2108 transistores incorporados en el 4004 de Intel, la complejidad del diseño ha aumentado en microprocesadores modernos de múltiples núcleos que contienen más de dos mil millones de transistores. Sin embargo, el diseño de microprocesadores aún está impulsado por la inspiración, la pasión y la visión de las personas involucradas en la industria.

El diseño del microprocesador es una pieza central de la electrónica actual. Actualmente los microprocesadores se encuentran en casi todos los productos, desde productos domésticos hasta data centers con miles de microprocesadores trabajando paralelamente. De una forma u otra, los microprocesadores se han convertido en una parte indispensable de nuestra vida cotidiana, que depende cada vez más de su función sostenida y confiable. En casi todos los escenarios donde se utiliza un microprocesador, la eficiencia energética es una necesidad.

Las técnicas ampliamente utilizadas para la reducción de potencia de los microcontroladores como lo son reducción básica de relojes por instrucción, mecanismos de reloj, longitud de tubería óptima, aceleración de *hardware* con operadores, unidades reconfigurables y técnicas para reducir la potencia de fuga. Por lo que se puede apreciar las compensaciones necesarias entre la flexibilidad y la eficiencia energética. Durante el diseño del microprocesador también se debe considerar que el tamaño del transistor afecta la energía y el retardo de los circuitos digitales, por lo que la búsqueda de nuevas metodologías para el diseño y análisis de circuitos digitales en el espacio de retardo de energía que permite la reducción de energía sin penalización de rendimiento es una búsqueda frecuente.

En el capítulo de los antecedentes se describen la evolución de las tecnologías para tratar de solucionar la problemática del consumo energético en los microprocesadores. Por ejemplo, Intel presento en el año 2000 la tecnología llamada Intel *SpeedStep*®. Esta tecnología introducía modos de ahorro de energía para el microprocesador que consisten en reducir la frecuencia y reducir el voltaje de cada núcleo, de modo que se reduce el consumo total de energía del microprocesador y, por lo tanto, se prolonga la vida útil de la batería.

En la justificación se considera que el consumo energético mejorado aumenta la calidad del dispositivo, la vida útil de las baterías se prolonga significativamente, el desgaste de los componentes electrónicos se reduce porque a menor consumo energético en el dispositivo menos calor se genera. En el tercer capítulo de esta investigación están los alcances, que muestran las diferencias entre las tecnologías disponibles para reducir el consumo energético en los microprocesadores, así como sus ventajas y desventajas mediante el uso con Intel *SpeedStep*® o Intel Turbo Boost® donde se puede configurar la frecuencia y voltaje dinámico del microprocesador.



El capítulo de la presentación de resultados consiste en la implementación de un prototipo de configuración mediante el ajuste del multiplicador de frecuencia en microprocesadores y configuraciones recomendadas para reducir el consumo energético para que se compare el rendimiento real versus el teórico del dispositivo mediante el monitoreo de consumo energético sobre una arquitectura de microprocesador multinúcleo.

En el último capítulo se discuten las variables en función del microprocesador y como los núcleos son afectados directamente al ventilador de microprocesador y la batería de la computadora para determinar el rendimiento real versus el teórico para reducir el consumo energético en el microprocesador.



## 1. ANTECEDENTES

El 18 de enero de 2000, Intel presentó el microprocesador Intel Pentium® III a 600 MHz y con él su nueva tecnología de administración de energía llamada Intel *SpeedStep*®. Esta tecnología proporciona modos de ahorro de energía para el microprocesador que consisten en reducir la frecuencia y el voltaje de cada núcleo, de modo que se reduce el consumo total de energía del microprocesador y, por lo tanto, se prolonga la vida útil de la batería. Intel *SpeedStep*® V1.1, presentada en la segunda generación de microprocesadores Intel Pentium® III de 600 MHz a 1000 MHz, era bastante primitiva, en comparación con los estándares actuales.

Los microprocesadores con Intel *SpeedStep*® son capaces de funcionar en dos modos, el modo de potencia completa y el modo de ahorro de energía. Tan pronto como se elimina la energía de corriente alterna del cargador de la computadora, el microprocesador cambia al modo de ahorro de energía y permanece allí, independientemente de la carga de trabajo del microprocesador. Sin embargo, es posible que el usuario lo vuelva a cambiar al modo de potencia completa manualmente.

Intel *SpeedStep*® V2.1, fue introducido con los microprocesadores Intel Pentium® III, Intel *SpeedStep*® mejorado agregó la capacidad de cambiar indeliberadamente la frecuencia en uso de la carga actual del microprocesador. Por lo tanto, estos microprocesadores pueden operar en tres modos: el modo de ahorro de energía, el modo de rendimiento y el modo automático. Intel llama a esta mejora conmutación basada en la demanda. La versión llamada Intel *SpeedStep*® V2.2 fue la tecnología Intel *SpeedStep*® integrada en los

microprocesadores Intel Pentium® 4 tiene otra característica, llamada modo Deep Alert. Este modo permite que el microprocesador funcione a niveles de tensión aún más bajos, lo que permite ahorrar aún más energía.

Intel *SpeedStep*® 3, la principal mejora es que estos microprocesadores no solo pueden cambiar entre dos frecuencias (alta y baja), sino que pueden cambiar dinámicamente en un rango de frecuencias, generalmente en pasos de 100 MHz. El Intel Pentium® M con 1.5 GHz puede funcionar a frecuencias de 0.6 GHz hasta 1.5 GHz que adicionalmente es además capaz de desconectar momentáneamente las partes innecesarias del microprocesador como la memoria caché, la cual consume mayor energía.

Por esta razón, ha surgido el interés de ampliar la capacidad de energía en los dispositivos, cómo optimizar el consumo mediante mejoras al microprocesador, como lo proponen los autores Efi Rotem, Alon Naveh, Micha fiMoffie y Avi Mendelson en su artículo titulado: *Analysis of Thermal Monitor features of the Intel® Pentium® M Processor* (Rotem, 2004). Donde describe y realiza un análisis estadístico sobre cómo se optimiza el consumo energético en el microprocesador Intel Pentium® M, en donde su abstracto detalla lo siguiente: Los microprocesadores móviles de propósito general presentan dos nuevos desafíos de diseño. El primero es la necesidad de lograr el mejor rendimiento mientras se ajusta en un entorno térmico limitado y el segundo es maximizar la duración de la batería de todo el sistema.

El microprocesador Intel Pentium® M se ha desarrollado específicamente para apuntar al mercado de dispositivos móviles y, por lo tanto, se le dio mucho énfasis a las características móviles avanzadas que incluían una mejor eficiencia energética, mediante una interfaz avanzada de configuración y la tecnología Intel *SpeedStep*®. El documento se centra en la gestión térmica y el aspecto de

manejo de la carga de batería y se describe la nueva tecnología Intel *SpeedStep*®, evalúa su eficiencia en términos de rendimiento y consumo de energía y compara los esquemas de control térmico.

Se identifica que los estudios basados en análisis de control de calidad en microprocesadores, haciendo análisis entre velocidad de microprocesador y consumo energético. Como en el estudio presentado por los autores Rong Ge, Xizhou Feng y Kirk W. Cameron en su artículo titulado *Improvement of Power-Performance Efficiency for High-End Computing* (Rong, 2005). Si no se controla, el impulso fundamental para aumentar el rendimiento máximo utilizando decenas de miles de componentes que consumen mucha energía llevará a costos operativos intolerables. Trabajos recientes han demostrado las características de las aplicaciones de un solo microprocesador, los códigos no interactivos vinculados a la memoria y los servicios web distribuidos e interactivos se pueden aprovechar para conservar la energía con un impacto mínimo en el rendimiento.

El enfoque es explotar las ineficiencias de rendimiento paralelas características de las aplicaciones científicas distribuidas no interactivas, conservando la energía utilizando escalación de voltaje dinámico sin afectar significativamente el tiempo de solución, reduciendo los costos y mejorando la confiabilidad. Presentando *software* para analizar y optimizar el rendimiento de potencia distribuido utilizando escalación dinámica de voltaje implementado en un clúster basado en Intel Centrino® de 16 nodos. Utilizando varias estrategias de escalación dinámica de voltaje, se obtiene un ahorro de energía global del sistema dependiente de la aplicación de hasta un 25 % con un impacto de rendimiento de tan solo el 2 %.

Se proporciona un estudio de los autores Alon Naveh, Efraim Rotem, Avi Mendelson, Simcha Gochman, Rajshree Chabukswar, Karthik Krishnan y Arun

Kumar en su artículo titulado: *Power and Thermal Management in the Intel® Core™ Duo Processor* (Naveh, 2006). Para lograr el rendimiento requerido, se diseñó una microarquitectura basada en registro de comparación para lograr una arquitectura de eficiencia energética, cada mejora del rendimiento se evaluó frente al costo de la energía y verificar en el estudio si solo se implementaron las características de rendimiento de eficiencia energética. Además de eso, verificar si se agregaron mecanismos de *hardware* especiales para controlar mejor el consumo de energía estática y dinámica. Como resultado, se detalla como el microprocesador Intel Core Duo® proporciona un mayor rendimiento en los mismos factores de forma sin necesidad de aumentar la capacidad de enfriamiento.

AMD ha incorporado AMD PowerNow!® en sus microprocesadores, es la tecnología de escalado de frecuencia dinámica y ahorro de energía para microprocesadores de laptops. La tecnología es un concepto similar a la tecnología Intel *SpeedStep*®. La adaptación de AMD PowerNow!® para los microprocesadores de escritorio se llama AMD Cool'n'Quiet®. Como se muestra en la investigación de A. Soto, P. Alou, J.A. Cobos y J. Uceda en su artículo titulado *The future DC-DC converter as an enabler of low energy consumption systems with dynamic voltage scaling* (Soto, 2002). El consumo de energía en portátiles y terminales multimedia limita la autonomía, el alto rendimiento y la reducción de tamaño.

La escalación dinámica de voltaje representa una solución alternativa a las técnicas actuales que reduce drásticamente el consumo de energía en los sistemas digitales. La fuente de alimentación se convierte en una parte muy importante del sistema, ya que permite el escalado de voltaje. Donde se analizan los requisitos y los desafíos para estas fuentes de alimentación, destacando las soluciones interesantes y las tendencias de investigación. La velocidad de reloj y

voltaje de los núcleos del microprocesador se reduce automáticamente cuando la computadora está cargada o inactiva, para ahorrar energía de la batería, reducir el calor y el ruido. La vida útil del microprocesador también se extiende debido a la electromigración reducida, que varía exponencialmente con la temperatura.

AMD también desarrolla tarjetas gráficas, también ha incluido una tecnología de reducción llamada AMD PowerTune® que es una tecnología de escalado de frecuencia dinámicas incorporadas en algunas unidades de procesamiento gráfico y unidad de procesamiento acelerado que permiten que el *software* modifique dinámicamente la velocidad del reloj del microprocesador a diferentes estados P en la investigación de los autores Li Tang y Yiji Zhang en su artículo titulado *Low-power Task Scheduling for GPU Energy Reduction* (Li, 2011). Esto permite que el microprocesador cumpla con las necesidades de rendimiento instantáneas de la operación que se realiza, al tiempo que minimiza el consumo de energía, la generación de calor y el ruido.

AMD PowerTune® tiene como objetivo resolver el poder de diseño térmico y las limitaciones de rendimiento. Además del reducido consumo de energía, AMD PowerTune® ayuda a reducir los niveles de ruido creados por la refrigeración en las computadoras de escritorio, y extiende la vida de la batería en los dispositivos móviles. AMD PowerTune® es el sucesor de AMD PowerPlay®.

Se ha investigado sobre el consumo del poder computacional de las unidades de procesamiento gráfico en el sistema móvil se ha aumentado constantemente para proporcionar una experiencia de usuario de alta calidad relacionada con los gráficos. Además, la arquitectura de las tarjetas gráficas integradas está evolucionando de aceleradores gráficos a microprocesadores

multinúcleo, lo que permite a los programadores utilizar las tarjetas gráficas para procesamiento paralelo. Se exploran las variaciones de la carga de trabajo en las aplicaciones de tarjetas gráficas móviles para descubrir el potencial de la escalación dinámica de voltaje y frecuencia en estos dispositivos. Se considera a las tarjetas gráficas como dispositivos informáticos, no aceleradores gráficos. Los resultados experimentales muestran que una política en la escalación dinámica de un microprocesador convencional puede lograr una reducción de energía de las tarjetas gráficas integradas con una degradación de rendimiento razonable.

Por tanto, se evidencia que estudios previos referidos en esta investigación aportan elementos de análisis de problemas y soluciones anteriores para situaciones presentes y futuras.



## 2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se desarrollará en el área de innovación, mediante la línea de investigación acerca de los dispositivos y sistemas para aumentar la experiencia del usuario a través de tecnología. Tiene como objetivo principal la implementación de configuración energética de microprocesadores por medio del ajuste del multiplicador de reloj para reducir el consumo energético y evitar problemas de calentamiento sin comprometer el rendimiento. Esto puede ser útil para controlar más eficientemente el consumo de energía eléctrica para el funcionamiento de un dispositivo electrónico ya que no existen estudios científicos previos sobre cómo se puede optimizar el consumo energético de una computadora aplicando las distintas configuraciones disponibles o ajustando distintos parámetros que afectan el consumo energético de forma directa.

Las investigaciones relacionadas con el consumo energético no profundizan sobre la reducción del consumo energético de una computadora ni de los ajustes necesarios en las opciones de ahorro de energía (equilibrador y economizador). Tampoco se detallan temas como la interfaz avanzada de configuración y energía o la opción de gestión de energía, comparativa entre los planes equilibrados y economizador que ofrece el sistema operativo de Microsoft, o explicar temas sobre cómo funciona la escalación dinámica de frecuencia y su contraparte escalación dinámica de voltaje, que son temas fundamentales para comprender como un dispositivo administra de una forma muy eficiente la energía disponible para su funcionamiento, inspira a la necesidad de desarrollar este trabajo de graduación.

Actualmente existen libros dedicados al desarrollo de temas sobre ahorro de energía, los cuales en su mayoría están en idioma inglés, lo cual refuerza el compromiso de esta investigación para poder brindar estos temas en idioma español para la población guatemalteca, estos temas son por mencionar algunos: diseño de circuitos de ultra bajo voltaje y análisis en el desempeño energético de circuitos digitales.

Un consumo energético mejorado aumenta la calidad del dispositivo, la vida útil de las baterías se prolonga significativamente, el desgaste de los componentes electrónicos se reduce porque a menor consumo energético en el dispositivo menos calor se genera, monetariamente se tiene un dispositivo más económico ya que las baterías de litio son costosas y son usualmente se deben reemplazar cuando no se tiene un correcto uso energético. Adicionalmente temas como gestión de potencia en circuitos son temas interesantes y necesarios para cubrir este tema de graduación, que no solo se puede aplicar a computadoras si no que a otros dispositivos.

Varios dispositivos que se utilizan en la actualidad deben hacer un uso eficiente la energía que necesita el microprocesador para que tenga un rendimiento apropiado, como celulares, tabletas y relojes inteligentes que en el pasado eran grandes y pesados por razones de diseño debían poseer una gran batería para una autonomía moderada ya que los antiguos microprocesadores no incluían ninguna tecnología para reducir el consumo energético y mantenían una velocidad de operación constante expresada en MHz.

La importancia de esta investigación radica, entonces, en el impacto sobre cómo aplicar las configuraciones para ahorro de energía mediante el ajuste de multiplicador de frecuencia de una computadora, para que se optimice tiempo de operación.

## **3. ALCANCES**

### **3.1. Investigativos**

- Mostrar las diferencias entre las tecnologías disponibles para reducir el consumo energético en los microprocesadores, así como sus ventajas y desventajas.
- Dar a conocer el beneficio de utilizar tecnologías como Intel *SpeedStep*® para la reducción energética interna de los componentes electrónicos implementando una computadora con microprocesador Intel.
- Exponer cómo los componentes electrónicos comparten en conjunto la carga energética disponible para prolongar la vida útil.
- Demostrar cómo se puede ajustar apropiadamente el multiplicador de reloj en un microprocesador para que disminuya el consumo energético.

### **3.2. Técnicos**

- Diseñar e implementar un prototipo basado en reducción de consumo energético utilizando herramientas de uso gratuito como CPU-Z, HWMonitor, Perfmonitor 2, SpeedFan, Core Temp y Intel® Power Gadget 3.5, para la administración y monitoreo de cada núcleo presente en el microprocesador.
- Instalar y configurar un monitor de eventos en cada núcleo del microprocesador para su posterior análisis e interpretación por parte de programas de proyección sobre el comportamiento del multiplicador de frecuencia.

- Definir e implementar los modelos matemáticos, físicos y estadísticos para la interpretación del rendimiento obtenido de los núcleos del microprocesador.
- Desarrollar un modelo dinámico utilizando de Microsoft Excel para el modelado de la línea de tendencia y coeficiente de correlación múltiple para conocer el comportamiento de los resultados.
- Ajustar apropiadamente el multiplicador de reloj en el microprocesador para que disminuya el consumo energético.

### **3.3. Resultados**

El prototipo para el monitoreo de consumo energético sobre una arquitectura de microprocesador de 64 bits. El prototipo contará con las siguientes funcionalidades:

- Identificación del sistema.
- Autenticación en el sistema.
- Recolección de datos.
- Interpretación de los resultados.
- Recomendaciones.

Como resultados de esta implementación se espera:

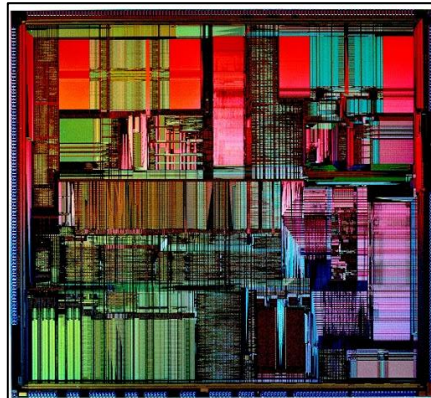
- Prototipo de configuración mediante el ajuste del multiplicador de frecuencia en microprocesadores y configuraciones recomendadas para reducir el consumo energético.
- Sistema de modelado que compare el rendimiento del microprocesador.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Microprocesador

El microprocesador es un componente electrónico que utiliza una computadora para hacer su trabajo. Es una unidad de procesamiento central en un único chip de circuito integrado que contiene millones de componentes muy pequeños, incluidos transistores, resistencias y diodos que funcionan en conjunto (Baer, 2010). En la figura 1 se puede observar cómo es físicamente un microprocesador sin encapsulado:

Figura 1. **Microprocesador sin encapsulado**



Fuente: Pisarski (2018). *An Exploration into the World of Microprocessors*. Consultado en enero de 2020. Recuperado de <http://www2.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr06/alex/index.htm>.

Los microprocesadores realizan funciones tan elementales como realizar cálculos hasta las más complejas como búsquedas especializadas en la web.

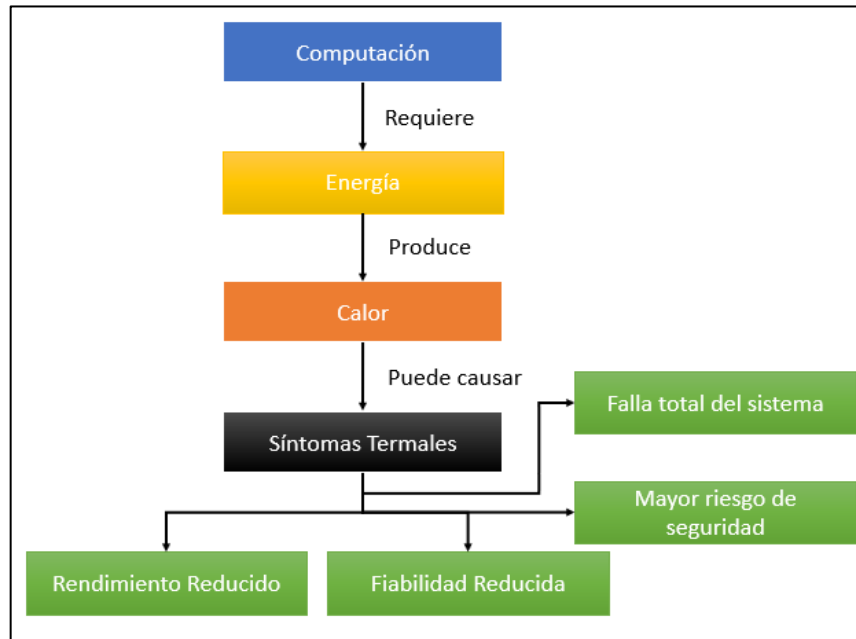
Todo lo que hace una computadora se describe con muchas instrucciones precisas, y los microprocesadores llevan a cabo estas instrucciones a una velocidad increíble, muchas veces a millones de operaciones por segundo. (Santamaria, 1993).

#### **4.2. Relación de gestión termal en sistemas embebidos**

Se requiere una demanda computacional determinada para operar, frecuentemente, son altas cuando determinada aplicación se encuentra en completo funcionamiento. La energía, cuando se consume, se disipa y produce calor como subproducto. El calor, cuando se presenta en grandes cantidades y en áreas enfocadas, por lo que puede causar síntomas térmicos negativos.

Frecuentemente se manifiestan síntomas térmicos por las siguientes razones: a) la reducción en el rendimiento de la batería debido a estar sometida un mayor tiempo a una temperatura mayor a lo normal; b) vulnerabilidad y poca confiabilidad en los componentes al exceder las condiciones térmicas recomendados por el fabricante; c) no se puede garantizar una seguridad de uso de los componentes por sufrir un sobrecalentamiento aún cuando las fallas que manifiestan sean desconocidas; d) el colapso total del sistema debido al sobre esfuerzo que el microprocesador y los componentes han sido sometidos durante un periodo indeterminado de tiempo. En la figura 2 se muestra la relación entre la informática, la potencia, el calor y los síntomas térmicos en los sistemas integrados.

Figura 2. **Relación entre los requisitos informáticos y síntomas térmicos**



Fuente: Benson (2014). *The Art of Software Thermal Management for, Embedded Systems*.

Consultado en enero de 2020. Recuperado de

<https://books.google.com.gt/books?id=Vq68BAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.

Si un circuito integrado opera dentro del rango de temperatura especificado por el fabricante del producto, generalmente no se presentan síntomas térmicos negativos. Sin embargo, cuando se opera en entornos con temperaturas ambiente extremadamente altas, o cuando los microprocesadores deben operar a un alto nivel de cómputo y consumo de energía durante un largo período de tiempo para satisfacer las demandas requeridas, puede convertirse en un problema grave y puede llevar fallas en la confiabilidad del sistema y seguridad. Los circuitos integrados generalmente se fabrican y venden bajo ciertos grados centígrados, que tienen diferentes rangos de temperatura de funcionamiento.

Los grados comerciales e industriales son relativamente fáciles de encontrar al seleccionar componentes electrónicos para un diseño. Sin embargo, las versiones de piezas de grado militar solo se usan en escenarios especiales en proyectos especiales, y dado que el volumen de demanda es menor, significa que las piezas de grado militar son más difíciles de encontrar, o tal vez imposibles si el vendedor no ha elegido crear una versión de grado militar de su parte, los diferentes valores de temperatura para cada versión se pueden observar en la tabla II:

Tabla II. **Rangos comunes de temperatura de circuito integrado**

<b>Versión</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Comercial	0 °C	70 °C
Industrial	-40 °C	85 °C
Militar	-55 °C	125 °C

Fuente: Benson (2014). *The Art of Software Thermal Management for, Embedded Systems*.

Consultado en enero de 2020. Recuperado de

<https://books.google.com.gt/books?id=Vq68BAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.

La ley de potencia dinámica se representa en función de la frecuencia del microprocesador, muestra que a medida que aumenta la frecuencia de un microprocesador, la cantidad de potencia que se requiere para cargar y descargar la carga capacitiva del microprocesador crece a una velocidad exponencial. Debido a que el *software* de administración térmico es el encargado de controlar rendimiento térmico de un sistema, trata de reducir la frecuencia y el voltaje del microprocesador con la mayor frecuencia y tiempo posible para garantizar que la potencia de procesamiento innecesaria y los niveles de voltaje de entrada innecesarios sean minimizados.



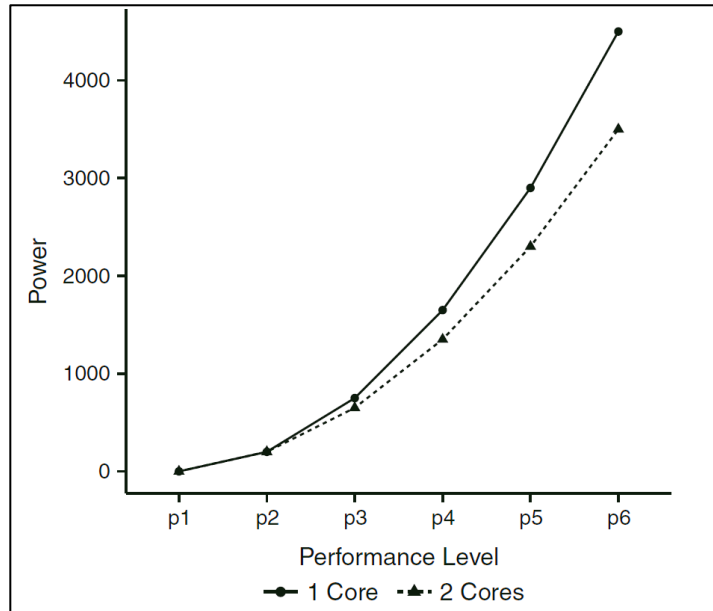
A medida que los microprocesadores se han vuelto más potentes, también han consumido más energía y producido más calor hasta el punto en que la industria ahora se ha movido a soluciones multinúcleo para aplicaciones intensivas en el microprocesador para que cada núcleo pueda funcionar a una frecuencia más baja y como resultado, el microprocesador consumirá significativamente menos energía. La potencia dinámica en los circuitos integrados CMOS es una función no lineal de capacitancia, frecuencia y voltaje al cuadrado. La naturaleza no lineal de esta relación es especialmente importante porque indica que a medida que la frecuencia de conmutación aumenta, la cantidad de energía y el calor aumenta exponencialmente.

#### **4.3. Rendimiento térmico de microprocesadores multinúcleo**

La tendencia hacia el multinúcleo a partir de 2005 fue causada por la pared térmica, con los límites de la velocidad del microprocesador y la disipación de energía. Para masas térmicas cada vez más reducidas, pasar a múltiples núcleos más pequeños en lugar de uno grande tiene una serie de ventajas desde una perspectiva térmica. Como se puede apreciar, un microprocesador de un núcleo siempre consumirá más energía que su equivalente multinúcleo. Este hecho se basa en la ley del poder dinámico, y por lo que se conduce a dos extremos que son reducir la potencia siempre que sea posible, y si tenemos la opción de ejecutar múltiples núcleos en lugar de uno, será mejor ya que se reduce la potencia de procesamiento por unidad consumida. Este beneficio viene con la complejidad adicional de las técnicas de paralelismo de *software*.

Debido a la relación cuadrática entre frecuencia y voltaje, el funcionamiento de dos núcleos a la mitad de la velocidad consume menos energía que un núcleo que funciona a toda velocidad, como se muestra en la figura 3:

Figura 3. **Consumo de energía de 1 núcleo vs 2 núcleos**



Fuente: Benson (2014). *The Art of Software Thermal Management for, Embedded Systems*.

Consultado en enero de 2020. Recuperado de

<https://books.google.com.gt/books?id=Vq68BAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.

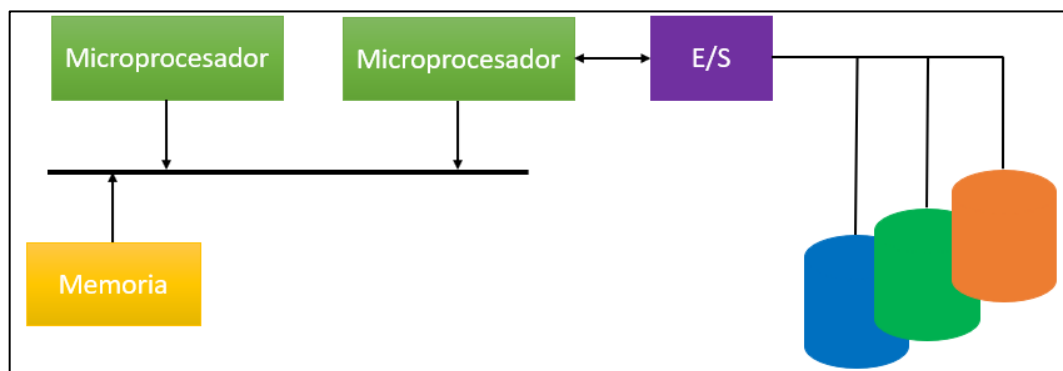
Con los microprocesadores multinúcleo, se obtienen mejoras en la velocidad y la capacidad computacional mientras se reduce la energía y calor a cambio de una mayor complejidad en el paralelismo del *software*. Al analizar el concepto de multinúcleo, es importante señalar que existen dos tipos generales de soluciones multinúcleo que son el multiprocesamiento asimétrico y multiprocesamiento simétrico.

#### 4.4. **Multiprocesamiento asimétrico**

El multiprocesamiento asimétrico es donde no todos los núcleos del microprocesador reciben el mismo trato, es donde solo un núcleo ejecuta el

código del sistema operativo o permite que solo un núcleo realice operaciones de entrada o salida como se puede observar en la figura 4. El multiprocesamiento asimétrico fue el único método para manejar múltiples núcleos de microprocesador antes de que el multiprocesamiento simétrico estuviera disponible.

Figura 4. **Multiprocesamiento asimétrico**



Fuente: Wikipedia (2020). *Asymmetric multiprocessing*. Consultado en febrero de 2020.  
Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric\\_multiprocessing](https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_multiprocessing).

También se ha utilizado para proporcionar opciones menos costosas. Además, se utiliza en aplicaciones dedicadas, como sistemas integrados, cuando los microprocesadores individuales se pueden dedicar a tareas específicas acorde a su diseño.

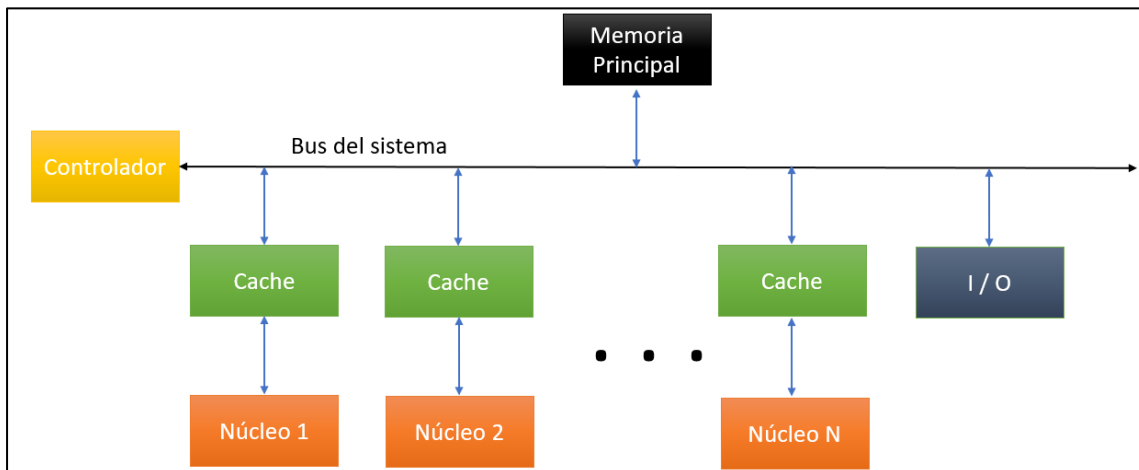
#### 4.5. **Multiprocesamiento simétrico**

El multiprocesamiento simétrico involucra una arquitectura de *hardware* y *software* de computadora multiprocesador donde dos o más núcleos idénticos están conectados a una única memoria principal compartida, tienen acceso completo a todos los dispositivos de entrada o salida, y están controlados por una

sola instancia del sistema operativo con el que trata todos los núcleos por igual, sin reservar ninguno para fines específicos. La mayoría de los sistemas microprocesadores multinúcleo utilizan una arquitectura de multiprocesamiento simétrico que se aplica a los núcleos, tratándolos individualmente.

El microprocesador tiene una memoria compartida donde acceder a una ubicación de memoria es igual para todos los núcleos; es decir, tiene acceso uniforme cuando se ingresa a la memoria. Si la ubicación se almacena en caché, el acceso será más rápido, pero los tiempos de acceso a la memoria caché y los tiempos de acceso a la memoria son los mismos en todos los microprocesadores. Cada microprocesador, que ejecuta diferentes programas y trabaja en diferentes conjuntos de datos, tiene la capacidad de compartir recursos comunes tales como memoria, dispositivo de entrada o salida, sistema de interrupción, etc. Los núcleos están conectados mediante un bus del sistema o una barra transversal. En la figura 5 se puede apreciar el esquema del multiprocesamiento simétrico.

Figura 5. **Multiprocesamiento simétrico**



Fuente: Wikipedia (2020). *Symmetric multiprocessing*. Consultado en febrero de 2020.

Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Symmetric\\_multiprocessing](https://en.wikipedia.org/wiki/Symmetric_multiprocessing).

Los sistemas de multiprocesamiento simétrico son sistemas para multiprocesadores homogéneos estrechamente acoplados que funcionan independientemente uno del otro. Utilizando el multiprocesamiento simétrico se tiene un rendimiento considerablemente mejor que el asimétrico, porque diferentes programas pueden ejecutarse en diferentes núcleos simultáneamente. Dado que el multiprocesamiento asimétrico permite que solo un núcleo ejecute un programa o tarea a la vez ya que es utilizado usualmente para asignar tareas específicas al microprocesador en función de la prioridad y la importancia de completar la tarea.

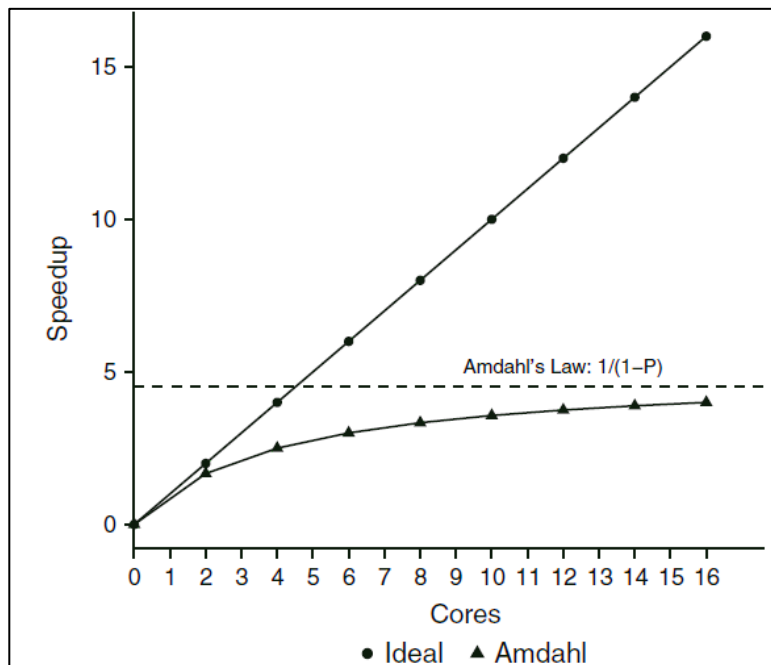
En cuanto al rendimiento térmico, las soluciones multinúcleo en conjunto al multiprocesamiento simétrico ofrecen más rendimiento con menos energía consumida y calor producido.

#### **4.6. Ley de Amdahl**

Proporciona la aceleración teórica en la latencia de la ejecución de una tarea con carga de trabajo fija que se puede esperar de un sistema cuyos recursos se mejoran. Esta ley es utilizada para pronosticar la aceleración de precipitación teórica cuando se usan numerosos microprocesadores. Si determinado software requiere 20 horas usando un núcleo, y una porción del software que demora una hora en cumplirse no es posible paralelizar, en tanto las 19 horas remanentes ( $p = 0,95$ ) del lapso de ejecución se consiguen paralelizar, libremente del número de núcleos de microprocesador se brinden a una realización paralela de este software, el menor lapso de ejecución no puede ser menor a esa hora. Por lo tanto, la aceleración teórica se limita como máximo a 20 veces. Por esta razón, la computación paralela con muchos microprocesadores es útil solo para programas altamente paralelizables.

El principio, puede parecer mejor continuar agregando más núcleos. Si agregar más núcleos nos permite tener más potencia de procesamiento a un nivel equivalente o mejor de consumo de energía y rendimiento térmico. La ley de Amdahl fue formulada para modelar la cantidad de aceleración que recibimos cuando agregamos un nuevo núcleo. En la figura 6 se puede observar como la ley de Amdahl, cuando tiende al límite a medida que aumenta el número de núcleos.

Figura 6. Ley de Amdahl



Fuente: Benson (2014). *The Art of Software Thermal Management for, Embedded Systems*.

Consultado en enero de 2020. Recuperado de

<https://books.google.com.gt/books?id=Vq68BAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.

El modelo se basa en dos principios, el primero es que, al agregar más núcleos, se pueden lograr mayores niveles de cómputo. El segundo principio es

que hay límites respecto a cuanto podemos acelerar nuestro motor computacional ya que la cantidad de aceleración está limitada por la cantidad de nuestro programa de *software* que puede ser paralelizable por lo que la ley de Amdahl puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{(1 - p)}$$

En donde, donde  $p$  es la proporción de un programa que puede hacerse en paralelo. Un programa solo se puede acelerar para que sea tan rápido como su parte más grande de un solo subproceso. Si un programa no puede ser paralelo, arrojar 100 núcleos al problema no acelerará el programa, ni extenderá el cálculo a través de múltiples núcleos, y por lo tanto tampoco extenderá el calor en los microprocesadores.

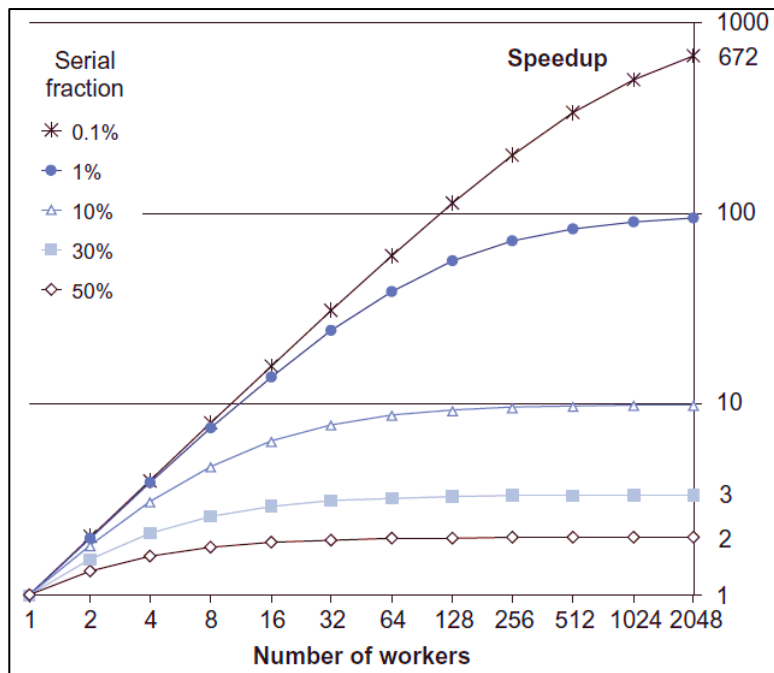
Por lo que poseer múltiples núcleos y correr con un alto grado de paralelismo puede ayudar a los problemas de calor, pero no eliminarlos completamente.

#### **4.7. Ley de Gustafson**

La aceleración teórica en la latencia de la ejecución de una tarea en un tiempo de ejecución fijo que se puede esperar de un sistema cuyos recursos se mejoran. Las dimensiones de los inconvenientes se acrecientan a manera que las computadoras se tornan más eficaces. A medida que aumenta el tamaño del problema, el trabajo requerido para la parte paralela del problema con frecuencia crece mucho más rápido que la parte en serie. Para una aplicación determinada, a medida que aumenta el tamaño del problema, la fracción en serie disminuye y la velocidad mejora.

En la figura 7 se puede apreciar que la porción en serie es constante mientras que la porción paralela crece linealmente con el tamaño del problema. A la izquierda está la aplicación ejecutándose con un núcleo.

Figura 7. **Ley de Gustafson**



Fuente: Benson (2014). *The Art of Software Thermal Management for, Embedded Systems*.

Consultado en enero de 2020. Recuperado de

<https://books.google.com.gt/books?id=Vq68BAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.

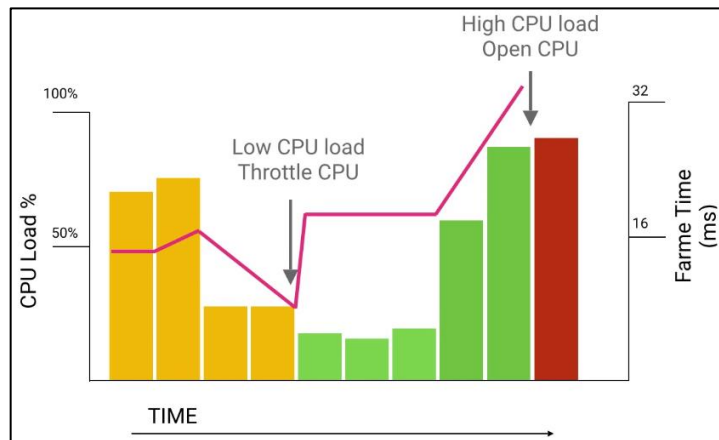
Como se agregan núcleos, la aplicación resuelve problemas más grandes al mismo tiempo, no el mismo problema en menos tiempo. La parte en serie todavía tarda la misma cantidad de tiempo en realizarse, pero disminuye como una fracción del total. Una vez que la porción en serie se vuelve insignificante, la aceleración crece prácticamente al mismo ritmo que el número de núcleos en el microprocesador, logrando así una aceleración lineal.



#### 4.8. Escalación dinámica de frecuencia

Es una técnica en arquitectura computacional donde la frecuencia de un microprocesador puede ser automáticamente ajustado sobre la marcha, ya sea para ahorrar energía o para reducir la cantidad de calor generado por el microprocesador. La escalación dinámica de frecuencia se utiliza comúnmente en ordenadores portátiles y otros móviles, donde la energía proviene de una batería y por lo tanto es limitado. También se utiliza en entornos de computación silenciosa para reducir los costos de energía y refrigeración para, a su vez, evitar que los ventiladores de enfriamiento sean estrangulados, para reducir los niveles de ruido, en la figura 8 se puede observar un ejemplo sobre como es el comportamiento del escalado dinámico de frecuencia. Esta tecnología se utiliza para reducir el calor en sistemas insuficientemente enfriados cuando la temperatura alcanza un determinado umbral, tal como en sistemas de *overclocking* mal enfriados (Henzler, 2007).

Figura 8. Comportamiento de la escalación dinámica de frecuencia



Fuente: YouTube (2016). *CPU Frequency Scaling. (Android Performance Patterns Season 4 ep17)*. Consultado en marzo de 2020. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=c8u3fEM3JG0>.

En la actualidad un microprocesador está habilitado para realizar una escalación dinámica de frecuencia; que puede ser operado en un conjunto de escalaciones en pares de voltaje y velocidad relativa. Cada par es un voltaje de suministro y la velocidad relativa correspondiente. Dado que la sobrecarga de transición de frecuencia de reloj toma una cantidad de tiempo despreciable. El modelo de energía se basa en la ecuación de energía CMOS. La potencia dinámica consumida por el circuito CMOS como usualmente es diseñado un microprocesador, se expresa como:

$$P = AC_{ef}V^2f$$

Donde  $A$  es el número de interruptores por ciclo de reloj,  $C_{ef}$  es la carga de capacitancia total,  $V$  es el voltaje suministrado y  $f$  es la frecuencia correspondiente. Como la velocidad relativa, es proporcional a la frecuencia operativa, la incluimos directamente en nuestro modelo en lugar de la frecuencia para reducir el error y acercarnos lo más posible a los datos proporcionados. La energía final consumida por el sistema se define mediante la siguiente fórmula:

$$E_t = \sum_{j=0}^m \int_0^{C_{max}} P_j(t) dt$$

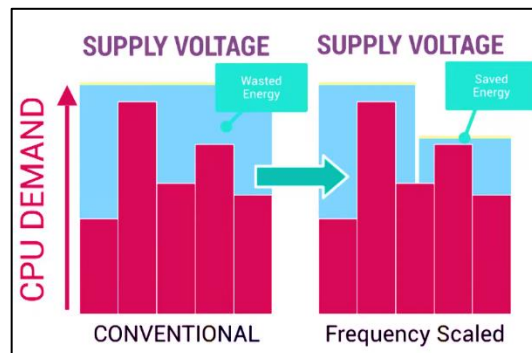
Donde  $P_j(t)$  es una función de la potencia del microprocesador  $j$ , definida como el valor de la función de potencia dado por la primera ecuación en el momento  $t$ . La primera tarea inicia en la ejecución en el momento 0, de modo que la duración de una planificación es el tiempo máximo en que uno de los microprocesadores termina su cálculo. Como la energía es una función convexa de la frecuencia, ejecutar una tarea utilizando una frecuencia más baja resulta en un menor consumo final de energía. Los dos objetivos están en conflicto, por lo que diferentes soluciones plausibles producen concesiones entre los objetivos.

Las implementaciones acerca de la escalación dinámica de frecuencia son como la tecnología de aceleración de Intel *SpeedStep*®, se utiliza en su línea de microprocesadores. Intel *SpeedStep*® es la evolución de la tecnología implementada a algunos microprocesadores de Intel que permite cambiar la frecuencia de reloj del mismo para reducir el consumo y el calor disipado mientras el microprocesador está en reposo o con muy poca actividad. Esta tecnología debe ser reconocida por el sistema operativo en donde el microprocesador se está ejecutando, en Microsoft fue soportado desde el sistema operativo Windows XP (Downs, 2001) y en las versiones libres de Linux, todas reconocen esta tecnología aquellas que posean núcleo 2.6 en adelante. (Berekovic, 2011).

#### 4.9. Escalación dinámica de voltaje

Es una técnica de preservación de energía que se utiliza frecuentemente en conjunto a la técnica utilizada en la frecuencia del microprocesador, dado que la frecuencia de un microprocesador puede trabajar está conexas con la energía de funcionamiento. En la figura 9 se puede apreciar su comportamiento:

Figura 9. Comportamiento de la escalación dinámica de voltaje



Fuente: YouTube (2014). *Game On! - Frequency Scaling*. Consultado en marzo de 2020  
Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=AZ97b2nT-Vo>.

La eficiencia de algunos componentes eléctricos como los reguladores de voltaje, disminuye con el aumento de la temperatura, por lo que el consumo de energía puede aumentar con la temperatura. Dado que el uso creciente de la energía puede aumentar la temperatura, los aumentos en voltaje o frecuencia pueden aumentar las demandas de potencia del sistema (Tokheim, 2000).

Dicha técnica se basa en pares anteriormente caracterizados de frecuencias de operación y voltajes de suministro correspondientes. Esta información se almacena en tablas y se eligen durante el periodo de ejecución en ejercicio de la carga de función o la instancia necesaria de utilidad del microprocesador. Un ejemplo bien conocido es la tecnología Intel *SpeedStep*®, donde el sistema operativo puede activar un cambio de frecuencia/voltaje escribiendo el registro dedicado. En la tabla III se ilustra la tabla de consulta de frecuencia y voltaje para un microprocesador Intel Pentium® M.

Tabla III. **Tabla con pares pre-caracterizados en Intel Pentium® M**

<b>Frecuencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Estado - P</b>
1.6 GHz	1.484 V	P0
1.4 GHz	1.420 V	P1
1.2 GHz	1.276 V	P2
1.0 GHz	1.164 V	P3
800 MHz	1.036 V	P4
600 MHz	0.956 V	P5

Fuente: Wirnshofer (2013). *Variation-Aware Adaptive Voltage Scaling for Digital CMOS Circuits*.

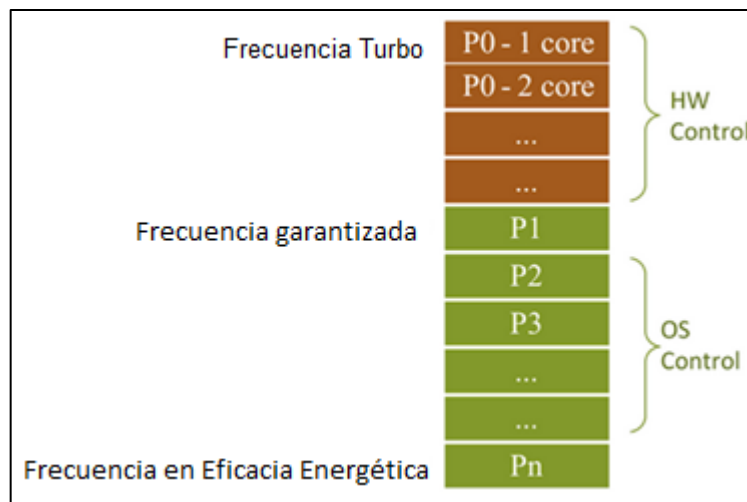
Consultado en marzo de 2020. Recuperado de

[https://books.google.com.gt/books?id=TcNAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=TcNAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

#### 4.10. Estados P

Los estados P denota el nivel de estado de energía, con P0 definido como estado con el rendimiento más rápido, pero, en consecuencia, también el consumo de energía máximo. Cuando la demanda de rendimiento es baja o cuando un portátil funciona con la batería, la frecuencia puede disminuirse y la tensión correspondiente se aplica al mismo tiempo. Dado que esta tecnología fue introducida en los microprocesadores de sexta generación, redefine la interfaz de estados de rendimiento del microprocesador en el sistema operativo. Mientras está activado el Intel Turbo Boost®, el microprocesador es responsable de controlar las frecuencias entre P0 y Pn como se puede observar en la figura 10, el sistema operativo predefine un rango de frecuencia para que el microprocesador administre la frecuencia instantánea en tiempo de ejecución.

Figura 10. Estados P sin el uso de Intel Speed Shift®

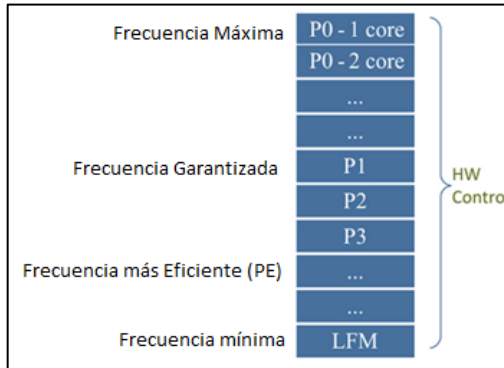


Fuente: Yahya (2018). *Energy Efficient High-Performance Processor*. Consultado en marzo de 2020. Recuperado de [https://books.google.com.gt/books?id=is5SDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=is5SDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

En comparación con Intel Turbo Boost®, la nueva terminología de Intel Speed Shift® cambia las responsabilidades de controlar el estado P al hacer que el sistema operativo transfiera parte o todo el control de los estados P al proceso. Esta característica tiene varias ventajas, ya que es mucho más rápido para el microprocesador en términos *hardware* controlar el aumento y el descenso de la frecuencia, en comparación con el sistema operativo mediante *software* como se puede observar en la figura 11. Además, el microprocesador tiene un control y una visibilidad mucho más eficiente, como por ejemplo acceso rápido a controladores de rendimiento, sensores térmicos, etc. En sus estados, lo que le permite elegir el nivel de rendimiento óptimo para un marco de datos determinado y, por lo tanto, utilizar menos energía como un resultado.

Con Intel Speed Shift®, el tiempo de transición de frecuencia se reduce a alrededor de 1 milisegundos con el microprocesador controlado por Intel Speed Shift® en comparación con 20 - 30 milisegundos en el sistema controlado por el sistema operativo. Además, la transición del estado P0 al estado de rendimiento máximo Pn se puede realizar en aproximadamente 30 - 40 milisegundos, en comparación con aproximadamente 90 - 100 milisegundos. Como se puede observar en la figura 10, tradicionalmente, el sistema operativo controla las frecuencias entre P0 y Pn de acuerdo con las tablas ACPI, el sistema operativo es responsable de la selección explícita del estado P, cuando el sistema operativo selecciona P0 descarga los estados P posibles para el uso del microprocesador en el *hardware* que es el *firmware*, se selecciona la frecuencia de ejecución entre P0 y Pn.

Figura 11. Estados P con el uso de Intel Speed Shift®



Fuente: Yahya (2018). *Energy Efficient High-Performance Processor*. Consultado en marzo de 2020. Recuperado de [https://books.google.com.gt/books?id=is5SDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=is5SDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

La frecuencia de eficiencia energética se definió como la frecuencia Pn, que también fue la frecuencia más baja, la frecuencia más baja se aplicó en condiciones críticas como un evento térmico. Al cambiar a Intel Speed Shift®, la definición del manejo del estado P se cambió como se muestra en la figura 8. La frecuencia más alta todavía se define en el núcleo como P0, mientras que la frecuencia garantizada es configurable. La frecuencia Pn en la definición heredada se marcó como la frecuencia de eficiencia energética, por lo que se debe definir un nuevo punto llamado frecuencia más eficiente con Intel Speed Shift®, esto refleja la frecuencia energéticamente más eficiente a nivel de fuente.

La frecuencia más eficientemente se calcula en el tiempo de ejecución y tiene en cuenta muchos parámetros como temperatura, frecuencia de gráficos, escalabilidad de la carga de trabajo, entre otros. Con Intel Speed Shift®, el sistema operativo tiene la opción de controlar el estado Pn en cualquier punto, mientras que, en la mayoría de los casos, proporciona el control al *hardware* para realizar un control de frecuencia autónomo para todo el rango de frecuencia.

Además, el sistema operativo tiene la opción de establecer el límite inferior y superior de la frecuencia permitida donde funcionará el algoritmo de *hardware*, y un nuevo control.

El voltaje respectivo para cada frecuencia se caracteriza por las bandas de protección en el peor de los casos durante la etapa de diseño por lo que no mejora la eficiencia energética en escenarios de frecuencia fija. Con las tecnologías en contracción de la utilización energética en dispositivos móviles, es transcendental importancia las normas y métodos sobre el consumo energético como APM y ACPI que son normas y métodos sobre el consumo energético de la computadora esto para conocer todo lo relacionado en cuanto tecnologías de optimización en el consumo energético mediante su monitoreo e implementación (Berekovic, 2011).

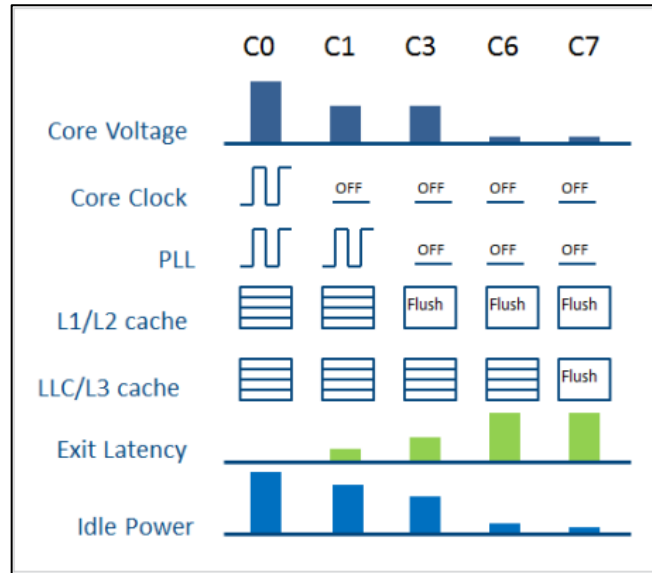
#### **4.11. Estados C**

A diferencia de los estados P, que están diseñados para optimizar la potencia durante la ejecución del código, los estados C se utilizan para optimizar o reducir la potencia en modo inactivo, es decir, cuando el microprocesador no está ejecutando ninguna tarea puede apagar algunos componentes que no estén contribuyendo en el funcionamiento, de manera inmediata.

Los estados C varían de C0 a Cn, a medida que los Estados C se vuelven más profundos, la duración de la latencia de salida se hace más larga (el tiempo de transición a C0) y el ahorro de energía se hace mayor. Los microprocesadores modernos tienen varios estados C que representan el mayor número de componentes que pueden apagarse. En la figura 12 se representa como es el comportamiento de los estados C:



Figura 12. **Comportamientos de los Estados C**



Fuente: Cprogramming (2019). *'Green' Code Development*. Consultado en marzo de 2020.  
 Recuperado de <https://www.cprogramming.com/appup6.html>.

Los estados C del microprocesador corresponden a esta acción, que usualmente apagan determinadas partes que no se encuentran en funcionamiento:

- C0 - Activo: el microprocesador está encendido y en funcionamiento.
- C1 - Detención automática: el reloj central está apagado. El microprocesador no está ejecutando instrucciones, pero puede volver a un estado de ejecución casi instantáneamente. Algunos microprocesadores también admiten un estado C1 mejorado (C1E) para un menor consumo de energía.
- C2 - Stop Clock: los relojes del núcleo y del bus están apagados. El microprocesador mantiene todo el estado visible del software, pero puede tardar más en activarse.

- C3 - Sueño profundo: el generador del reloj está apagado. El microprocesador no necesita mantener coherente su caché, pero mantiene otros estados. Algunos microprocesadores tienen variaciones del estado C3 (Deep Sleep, Deeper Sleep) que difieren según el tiempo que lleva despertar el microprocesador.
- C4/DC4- Sueño más profundo: VCC reducido.
- C5 - Sueño más profundo mejorado: reduce el voltaje de la CPU aún más y apaga la memoria caché.
- C6 - Deep Power Down: reduce el voltaje interno del microprocesador a cualquier valor, incluido voltaje 0.

No hay nada acerca como evitar que un sistema operativo ocupado este esperando un estado inactivo completamente, por tanto, es recomendable mantener el microprocesador en el estado C0.

#### **4.12. Intel *SpeedStep*®**

Es una tecnología de conservación de energía en microprocesadores Intel de computadoras tanto portátil como de escritorio. Está diseñado para extender el rendimiento de determinados componentes en dispositivos móviles, más ordinariamente, para mejorar el rendimiento energético del microprocesador como se puede subrayar en la figura 13. Si en el caso de una computadora portátil está en modo de batería, la frecuencia del reloj se reduce, lo que reduce el consumo de energía. Dado que la conversión de energía depende del cuadrado del voltaje del núcleo del chip, la reducción del voltaje tiene el mayor efecto en el consumo, y a menor consumo de energía se prolonga la vida de la batería.

Figura 13. Configuraciones de Intel SpeedStep® en BIOS



Fuente: HelpadminsRu (2017). *Intel SpeedStep*. Consultado en abril de 2020. Recuperado de <http://helpadmins.ru/intel-speedstep-cto-yeto/>.

Esta tecnología ha sufrido varias generaciones de desarrollo, como en la última generación proporciona una variedad de modos intermedios y admite múltiples configuraciones de frecuencia, velocidad y voltaje, controlados por el mecanismo de ajuste de voltaje del microprocesador, de acuerdo con la intensidad de la carga actual del microprocesador (Godse, 2010).

#### 4.13. Intel Turbo Boost®

La tecnología Intel Turbo Boost® permite automáticamente que los núcleos de los microprocesadores funcionen más rápido que la frecuencia de operación base si está funcionando por debajo de los límites de especificación de potencia, corriente y temperatura.

De modo que aumenta de manera oportunista las frecuencias de los núcleos en los microprocesadores Intel de múltiples núcleos. El *hardware* del

microprocesador controla la activación de Intel Turbo Boost® y el nivel de potenciación depende del número de núcleos activos, el consumo de energía estimado y la temperatura del paquete. Este refuerzo térmico permite que el microprocesador supere temporalmente el punto de diseño térmico utilizando la capacidad térmica del empaquetado del microprocesador.

La activación se realiza cuando el sistema operativo solicita P0, por lo tanto, todos los niveles de frecuencia en el rango entre P0 y P1 son controlados de forma autónoma por el microprocesador cuando el sistema operativo lo solicita. En la figura 14 ilustra los comportamientos del Intel Turbo Boost® a lo largo del tiempo. En la primera fase en el estado C, el microprocesador gana presupuesto térmico mientras duerme; por ejemplo, el estado C del paquete profundo. En la segunda fase C0 / P0, el microprocesador se mueve a Intel Turbo Boost® en la terminología de estado P a raíz de una solicitud de P0 por parte del *software*.

Figura 14. **Monitor de rendimiento de Turbo Boost®**



Fuente: YouTube (2018). *How To Download & Install Intel(R) Turbo Boost Technology Monitor* 2.6. Consultado el abril de 2020. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=T7cMLFRvFvk>.

En esta etapa, el microprocesador comienza a consumir su presupuesto térmico y en una etapa posterior a medida que el microprocesador calienta, el *hardware* del microprocesador comienza a reducir la frecuencia, la temperatura

del microprocesador se acerca a la temperatura máxima permitida. Una vez que se consume la totalidad del presupuesto térmico, la frecuencia del microprocesador normalmente se estabiliza en la frecuencia correspondiente a la frecuencia garantizada P1.

El microprocesador no tiene permitido volver a Intel Turbo Boost® hasta que se acumule un nuevo presupuesto térmico. Intel Turbo Boost® puede ser ineficiente de energía en algunos casos. Para hacer frente a este problema, los microprocesadores modernos ofrecen la capacidad del *software* para controlar la eficiencia energética del microprocesador mediante la configuración del registro.



## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Arquitectura de la solución

Los ajustes necesarios para realizar una reducción en la energía y temperatura consumida por el microprocesador se basan en tres ambientes que son a nivel BIOS, sistema operativo y programas de optimización. En la BIOS podemos configurar los siguientes parámetros para optimizar el consumo sin afectar el rendimiento por lo que se habilitaron las siguientes opciones:

- Multi Core Support: esta opción define si el microprocesador tendrá uno o varios núcleos habilitados. La productividad de algunos programas mejora cuando se trabaja en modo multinúcleo.
- Intel® *SpeedStep*™: en esta opción se puede habilitar o deshabilitar el modo Intel® *SpeedStep*™ en el microprocesador. Cuando está deshabilitado, se coloca el microprocesador rendimiento más alto y el sistema operativo no ajusta el rendimiento. Cuando está habilitada, la CPU habilitada Intel® *SpeedStep*™ puede operar en múltiples estados de rendimiento.
- C States Control: esta opción habilita o deshabilita estados de suspensión adicionales del microprocesador. El sistema operativo puede usarlos opcionalmente para ahorrar energía adicional cuando está inactiva.
- CUID Limit: en esta opción se define el valor que admitirá la CUID estándar del microprocesador. Unos sistemas operativos no admiten que la función CUID sea superior a 3.

A nivel de sistema operativo se utilizó el Windows 10 Pro, versión 1909 en donde las configuraciones disponibles para optimizar el estado mínimo y máximo del microprocesador y la directiva de refrigeración del sistema, las cuales son:

- Estado mínimo y máximo del microprocesador: es donde se determinan los valores de estados P utilizables. Por consecuencia varía la velocidad del microprocesador y, si incluyendo la compatibilidad, el voltaje y FSB. Adicionalmente realiza una serie de cambios en el multiplicador de frecuencia y voltaje de suministro. La velocidad de reloj del microprocesador es la multiplicación de la velocidad de FSB por el multiplicador de frecuencia. Los valores se pueden modificar de 1 % hasta 100 % en saltos de 1 %.
- Directiva de refrigeración del sistema: en donde se pueden seleccionar los valores activo o pasivo, la diferencia entre ambos es que el activo no se apaga o varía su velocidad con respecto a la temperatura del microprocesador, por lo que se mantiene constante a su configuración recomendable, a cambio de pasivo que varía según la temperatura del microprocesador.

Adicionalmente Windows permite deshabilitar un número determinado de núcleos, estas opciones se encuentran en la configuración del sistema en la pestaña de opciones avanzadas, en la ventana emergente hay una opción que activa la casilla para el número de procesadores que en realidad es el número de núcleos que se pueden desactivar. Usualmente se puede optar por deshabilitar un núcleo para realizar pruebas, como configuraciones de rendimiento o pruebas de *overclocking*.

Los programas de optimización como HWMonitor permiten modificar el porcentaje de velocidad del ventilador en su PWM que van 5 % hasta 100 % en



saltos de 5 %. Por lo que los parámetros anteriormente descritos se modificaron para reducir el consumo energético y temperatura sin afectar el rendimiento del microprocesador, la modificación de los mismos fue de activar o desactivar algunas funciones o variar su valor numérico, los cuales se presentan posteriormente.

## **5.2. Presentación de datos**

Todos los datos presentados son extraídos de las características donde se ejecutó el prototipo.

### **5.2.1. Datos de las características**

Los datos de las características del microprocesador son valores de fábrica, los cuales son potencia de diseño térmico máxima, tecnología de fabricación y voltaje de identificación del núcleo dado que se utilizará un microprocesador Intel® Core™2 Quad CPU Q9650 @ 3.00 GHz.

- Max TDP: 95.0 W.
- Technology: 45 nm.
- Core VID: 1.300 V.

Estos datos se obtienen en el programa CPU-Z, estos son constantes ya que no varían en ningún momento cuando el microprocesador se encuentra en funcionamiento. Max TDP anteriormente se ha definido como máxima de calor generada por el microprocesador que en este caso es 95.0 W, Technology es el tamaño de los transistores con los cuales el microprocesador fue fabricado el cual es 45 nm. El Core VID, es el voltaje que la placa base para suministra al microprocesador el cual es 1.300 V.

Aunque estos valores sean constantes son importantes en el comportamiento dinámico de energía y temperatura en el microprocesador, ya que define los valores límites que soporta en ambos parámetros.

### 5.2.2. Datos de comportamiento

La arquitectura de la solución que se presenta en este trabajo de graduación utiliza diferentes programas realizar ajustes en la configuración del microprocesador, la información del comportamiento del microprocesador se almacena en un archivo de texto, para graficar los resultados para su correcta interpretación.

Para recolectar la información de la temperatura del microprocesador y guardarla en un archivo de texto, se utiliza SpeedFan que es una aplicación que lee temperaturas, voltajes y velocidades del microprocesador. Adicionalmente, puede cambiar la velocidad del ventilador de la computadora dependiendo de la demanda. Los datos obtenidos por SpeedFan se pueden apreciar en la tabla IV, prestamos importancia a las temperaturas de cada núcleo del microprocesador, que se presentan individualmente.

Tabla IV. Datos de temperatura del microprocesador

Fecha	Hora	Temperaturas generales	Carga	Velocidad	Temp. mim y max
2/27/2020	07:56:09	44 36 38 38 39 43 51	8	2493	35 40
2/27/2020	07:56:19	46 37 40 40 41 42 51	17	2826	35 40
2/27/2020	07:56:29	47 38 45 43 43 42 51	13	2826	35 45
2/27/2020	07:56:39	43 35 37 38 38 42 51	7	2660	35 45
2/27/2020	07:56:49	43 35 37 37 38 42 51	0	2826	35 45
2/27/2020	07:56:59	42 34 36 36 37 42 51	2	2660	34 45
2/27/2020	07:57:09	43 35 37 37 38 42 51	9	2660	34 45
2/27/2020	07:57:19	42 34 36 36 37 42 51	3	2493	34 45
2/27/2020	07:57:29	41 34 36 35 37 41 51	8	2493	34 45

Continuación tabla IV.

2/27/2020	07:57:39	42	34	36	36	37	41	51	0	2660	34	45
2/27/2020	07:57:49	42	34	36	35	37	41	51	0	2660	34	45
2/27/2020	07:57:59	41	34	35	35	36	41	51	5	2826	34	45
2/27/2020	07:58:09	41	34	35	35	36	41	51	3	2493	33	45
2/27/2020	07:58:19	41	34	36	36	37	40	51	10	2660	33	45
2/27/2020	07:58:29	40	33	34	34	35	40	51	0	2660	33	45
2/27/2020	07:58:39	41	34	35	35	36	40	51	10	2660	33	45
2/27/2020	07:58:49	40	34	35	35	36	40	51	2	2327	33	45
2/27/2020	07:58:59	40	33	34	35	36	40	51	3	2493	33	45
2/27/2020	07:59:09	40	33	35	35	36	40	51	7	2660	32	45
2/27/2020	07:59:19	40	32	34	33	35	40	51	2	2493	32	45
2/27/2020	07:59:29	40	33	35	35	36	40	51	6	2493	32	45
2/27/2020	07:59:39	40	33	34	34	35	40	51	7	2660	32	45
2/27/2020	07:59:49	41	33	34	34	36	40	51	2	2493	32	45
2/27/2020	07:59:59	40	32	33	33	35	40	51	2	2660	32	45
2/27/2020	08:00:09	40	32	33	33	35	40	51	2	2826	32	45
2/27/2020	08:00:19	40	32	33	33	35	40	51	2	2660	32	45
2/27/2020	08:00:29	40	33	35	35	36	40	51	31	2992	32	45
2/27/2020	08:00:39	40	32	33	33	35	40	51	3	2660	32	45
2/27/2020	08:00:49	40	32	33	33	35	40	51	2	2660	31	45
2/27/2020	08:00:59	40	31	33	32	34	40	51	4	2493	31	45

Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

Para la obtención de los datos de consumo energético de la computadora se utiliza Intel Power Gadget® 2.0 es un programa de estimación de potencia basada en un controlador y bibliotecas en donde se presentan los valores obtenidos en la tabla V. Donde se recomienda prestar suficiente atención a las columnas de potencia del paquete en vatios y la energía total en mWh.

Tabla V. **Datos de energía del microprocesador**

<b>Hora</b>	<b>RDTS</b>	<b>Utilización</b>	<b>Frecuencias</b>				<b>Potencia en vatios y joules</b>	
07:56:09	166534505355	72.452	2855	1200	2900	2879	14.087	1.4160
07:56:12	166784030500	61.534	2882	2600	3100	2909	13.123	2.7290
07:56:15	167033587378	42.690	2890	2600	3100	2953	12.037	3.9330
07:56:18	167283116716	61.031	2894	2800	3100	2913	13.734	5.3070
07:56:21	167532885947	74.579	2893	2800	2900	2900	14.344	6.7440
07:56:24	167782576404	73.847	2893	2800	2900	2900	14.585	8.2040
07:56:27	168032415707	69.900	2893	2800	2900	2900	14.348	9.6410
07:56:30	168281941328	74.096	2893	2800	2900	2900	14.498	11.091
07:56:33	168531886782	68.871	2893	2700	2900	2899	14.355	12.530
07:56:36	168781353525	60.772	2893	2700	2900	2900	14.070	13.937
07:56:39	169031909024	57.748	2888	2600	3100	2904	14.885	15.432
07:56:42	169281433816	59.743	2899	2800	3100	2912	13.612	16.794
07:56:45	169530910153	61.680	2891	2700	2900	2907	13.801	18.174
07:56:48	169780425923	51.873	2891	2700	2900	2911	13.276	19.502
07:56:51	170030176398	60.552	2888	2700	2900	2906	14.467	20.951
07:56:54	170279683613	50.814	2893	2800	2900	2915	13.412	22.292
07:56:57	170529549384	70.793	2893	2800	2900	2902	14.196	23.714
07:57:00	170779175668	49.614	2893	2800	2900	2916	13.379	25.053
07:57:03	171028766527	60.037	2893	2800	2900	2906	13.914	26.446
07:57:06	171278644250	48.631	2879	1900	3100	2915	12.957	27.744
07:57:09	171528128526	51.462	2893	2800	2900	2914	13.447	29.089
07:57:12	171777732972	70.334	2893	2800	2900	2904	14.033	30.493
07:57:15	172027248444	58.633	2893	2800	2900	2911	13.683	31.862
07:57:18	172276780144	49.704	2893	2800	2900	2923	13.106	33.173
07:57:21	172526356737	52.429	2886	2700	2900	2913	13.950	34.569
07:57:24	172776237164	68.489	2893	2800	2900	2903	14.045	35.976
07:57:27	173025965075	76.569	2893	2800	2900	2900	14.420	37.419
07:57:30	173275908090	74.006	2893	2800	2900	2900	14.339	38.856
07:57:33	173525712387	69.044	2893	2800	2900	2900	14.265	40.285
07:57:36	173775297134	67.019	2893	2800	2900	2900	14.051	41.691

Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

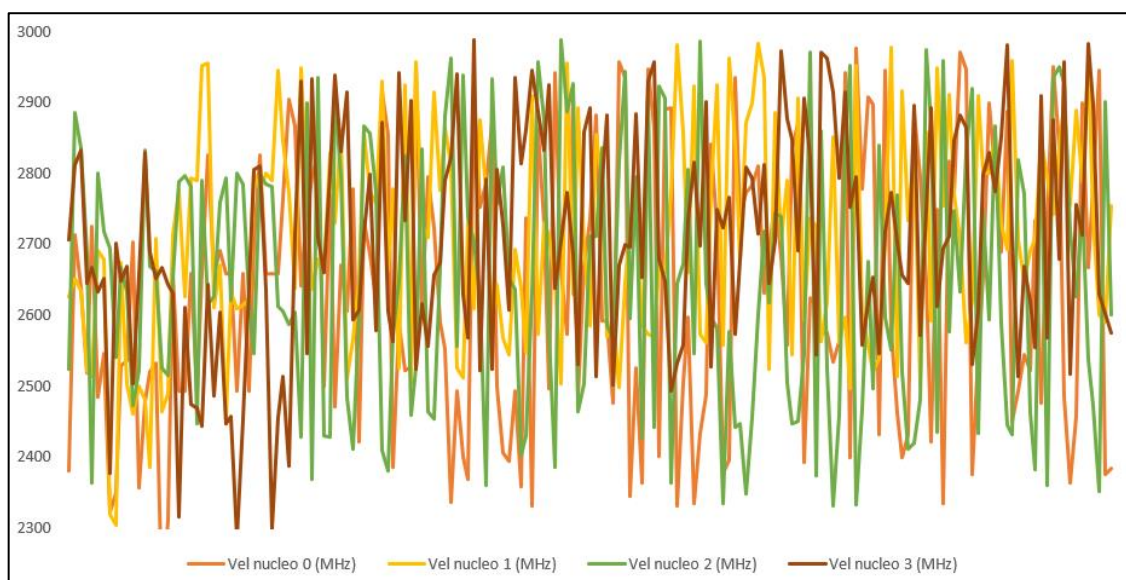
Estos datos originalmente se obtienen en un archivo CVS y se encuentran separados por comas, después de varios arreglos, los datos son acondicionados

para su correcta graficación, la cual facilita en gran medida entender el comportamiento del microprocesador.

### 5.3. Velocidad del microprocesador

Es el número de ciclos por segundo a los que opera en una computadora y determina cuan rápida es capaz de procesar la información. La velocidad del microprocesador utilizado tiene una velocidad de operación inicial de 2.3 GHz a 2.7 GHz para que luego aumenta de 2.4 GHz a 3.0 GHz, ver figura 15.

Figura 15. Velocidad del microprocesador

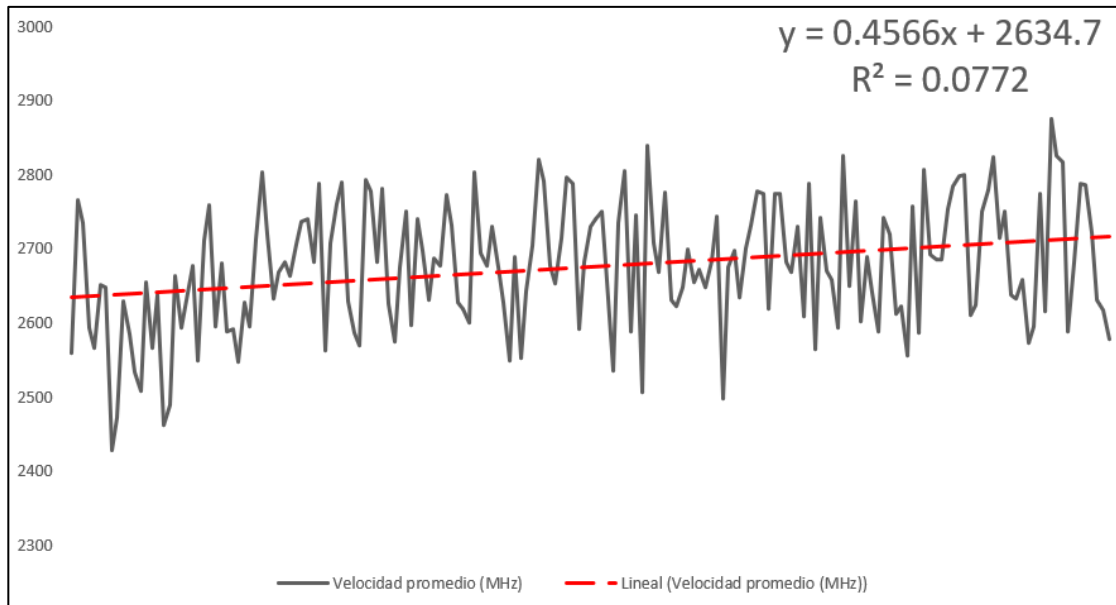


Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

En la figura 16 se puede observar la velocidad promedio del microprocesador. La velocidad promedio incluyendo la desviación estándar fue de  $2676.30 \pm 6.40$  GHz lo que indica que la variación fue relativamente pequeña entre cada lectura en orden ascendente, adicionalmente la pendiente de la

ecuación de la línea de tendencia tiene una pendiente positiva por lo que se puede deducir que esta aumenta consecutivamente.

Figura 16. **Velocidad promedio del microprocesador**



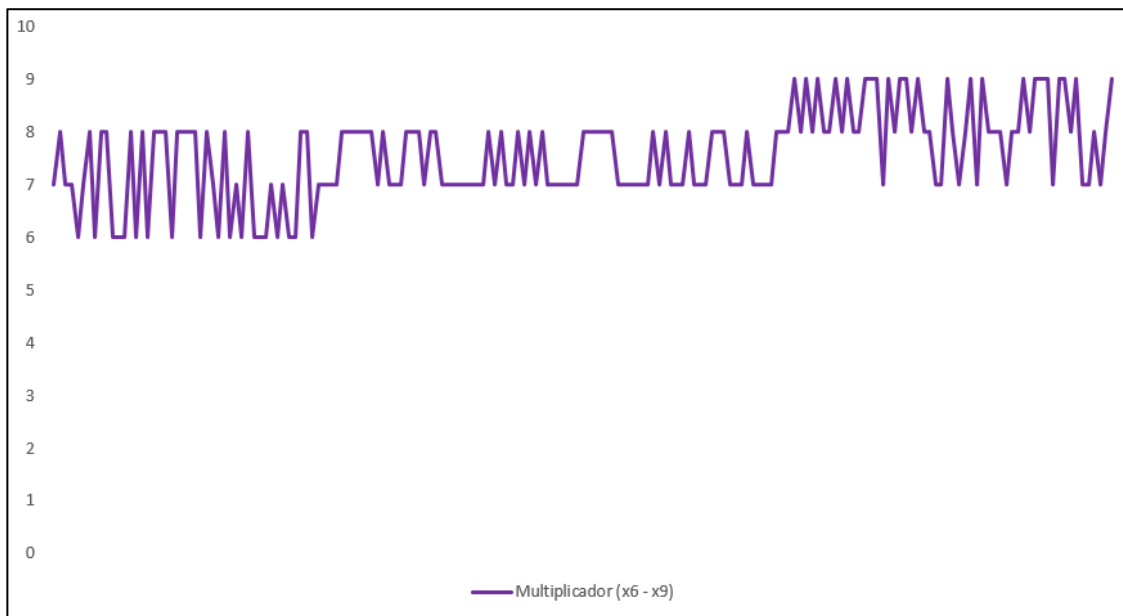
Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

#### 5.4. **Multiplicador de frecuencia**

Multiplicador de frecuencia es donde se establece la relación de una frecuencia de reloj del microprocesador interna al reloj suministrado externamente. Por lo tanto, el microprocesador con valor de multiplicador x10 verá 10 ciclos intrínsecos que son procedentes el circuito multiplicador de frecuencia, en la figura 16 se pueden observar distintos valores del multiplicador de frecuencia, los cuales varían de x6 hasta x9 los cuales son permitidos en este microprocesador.

Se estuvo observando el comportamiento del multiplicador de frecuencia del microprocesador y este se mantuvo mayormente entre x6 hasta los x9, donde pocas veces sobrepasa este rango, se mantuvo entre x7 – x9 cuando se logró una optimización de consumo energético y temperatura.

Figura 17. **Multiplicador de frecuencia**



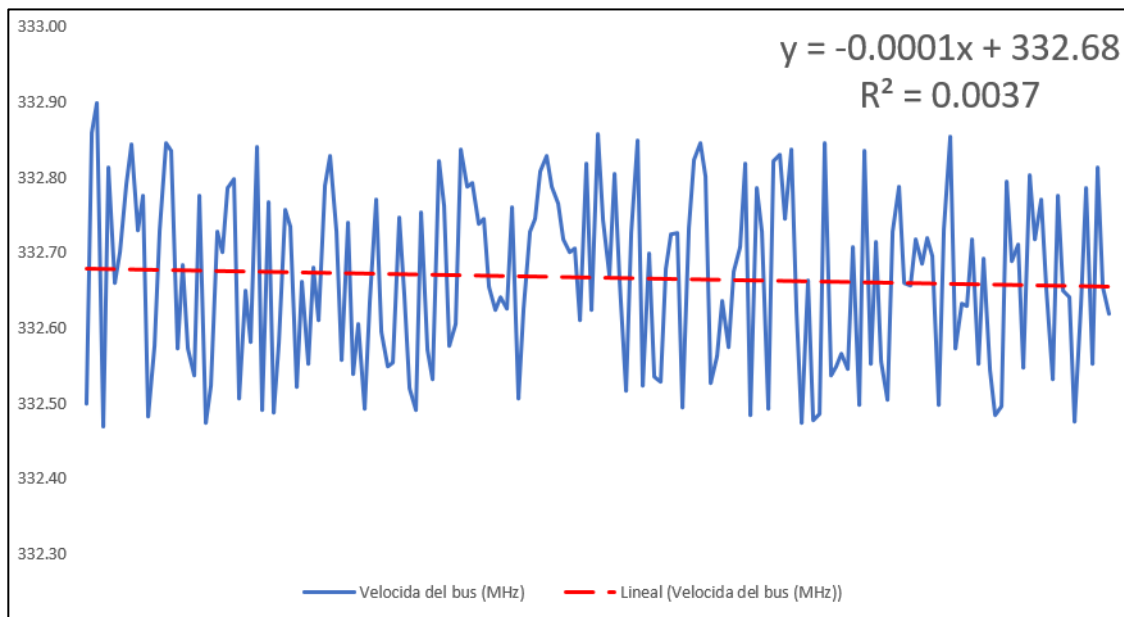
Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

## 5.5. Velocidad de bus frontal

La velocidad de bus frontal generalmente es la que se conecta al microprocesador con el puente norte. Las velocidades del bus frontal pueden variar de 66 MHz a más de 800 MHz. Como el microprocesador alcanza el controlador de memoria a través del puente norte, la velocidad del bus frontal puede afectar drásticamente el rendimiento de una computadora.

Por lo que, si debe modificar al mínimo esta frecuencia en el microprocesador para no afectar su rendimiento, la velocidad de bus frontal incluyendo la desviación estándar fue de  $332.67 \pm 0.01$  MHz lo cual confirma que fue poca su variación tal como se aprecia en la figura 18, en donde adicional la pendiente es casi cero.

Figura 18. **Velocidad del bus**



Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

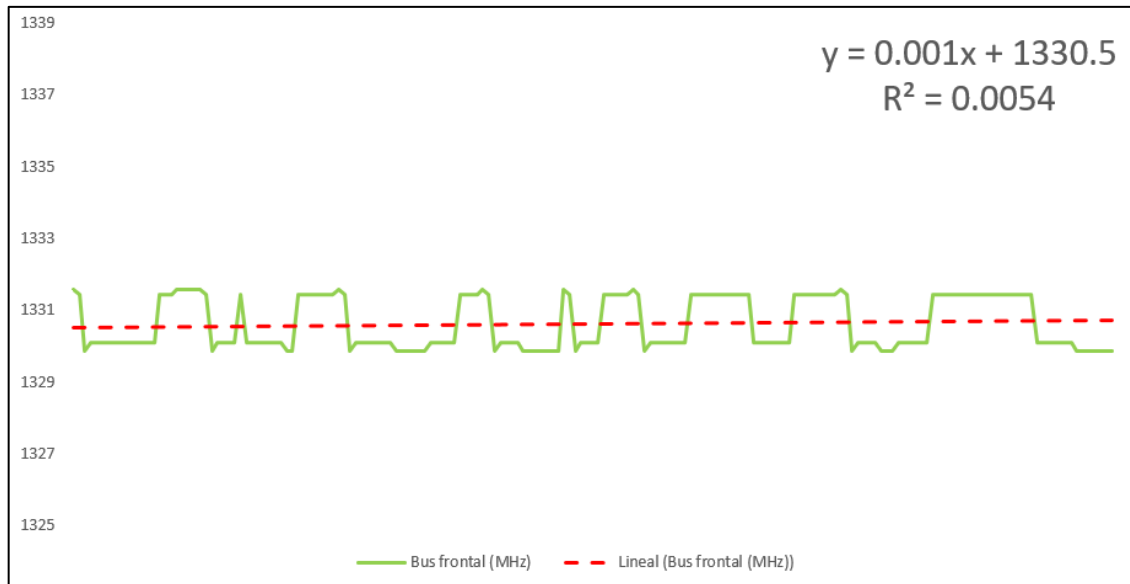
## 5.6. **Bus frontal**

El bus frontal es la interfaz que utiliza el microprocesador para acceder información fuera de su propio paquete. La velocidad del bus frontal es comúnmente referenciada por la tasa de rendimiento y no por la tasa de reloj base. Como se puede observar la variación en la frecuencia del bus frontal es de unos pocos MHz, la velocidad de bus frontal incluyendo la desviación estándar fue de  $1330.62 \pm 0.05$  MHz lo cual demuestra que fue poca su variación como se



puede observar en la figura 19 en donde adicional la pendiente de la ecuación de la línea de tendencia es casi cero.

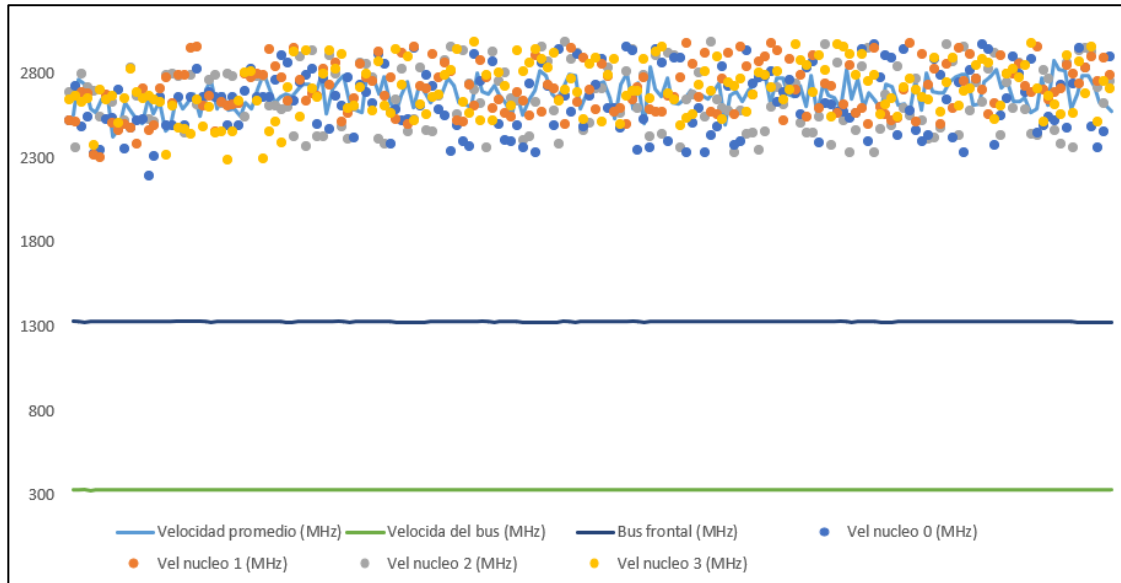
Figura 19. **Bus frontal**



Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

En la figura 20, se encuentran todas las frecuencias importantes del microprocesador en una sola gráfica, como la frecuencia individual de cada núcleo en forma de puntos, la velocidad general promedio del microprocesador que es la línea entre el grupo de puntos en el apartado superior de la gráfica, la frecuencia FSB y de bus en el apartado inferior de la gráfica. Se puede observar que la frecuencia FSB y de bus se mantienen constantes en comparación de la velocidad de cada núcleo y en consecuencia la frecuencia general del microprocesador que tiene una variación notable de varios MHz.

Figura 20. Frecuencias del microprocesador



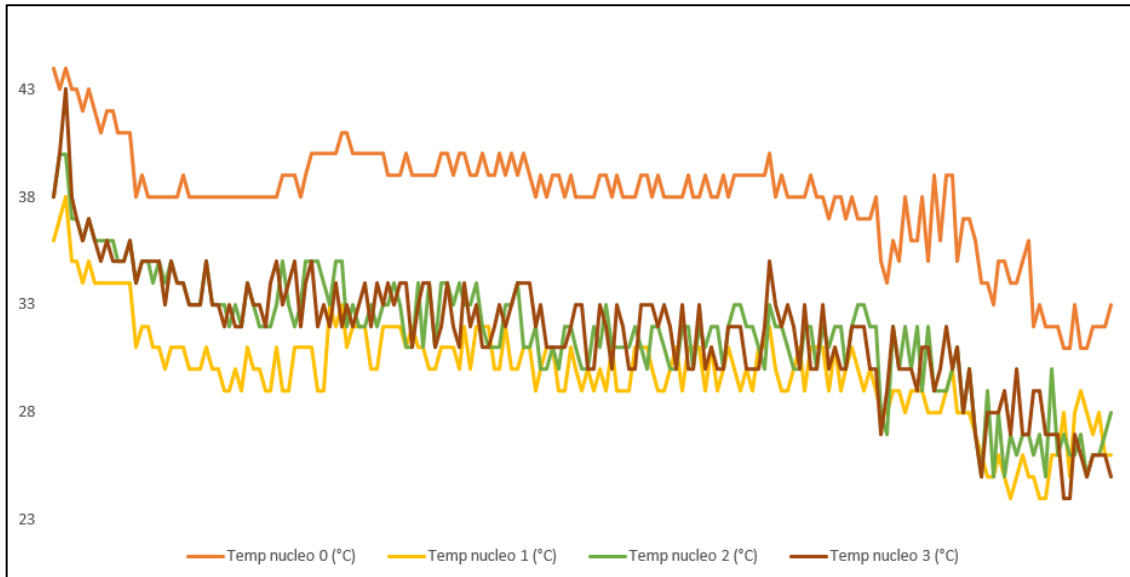
Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

## 5.7. Temperatura del microprocesador

Los microprocesadores, mientras funcionan, exhiben una distribución de temperatura no uniforme y se clasifican según su temperatura máxima de unión. El diseño térmico y los requisitos de enfriamiento del paquete del microprocesador rigen la especificación térmica del producto. La evaluación precisa de la temperatura de la unión es importante para definir las especificaciones térmicas del producto.

Se puede en la figura 21 observar el proceso de evaluación, en donde la gestión térmica del microprocesador y se observa un análisis de sensibilidad que muestra los impactos térmicos cuando se realizan ajustes para reducir el consumo energético y térmico del microprocesador. Donde se puede observar que el núcleo 0 del microprocesador es el que disipa mayor calor a comparación de los núcleos 1, 2 y 3.

Figura 21. **Temperatura de cada núcleo del microprocesador**



Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

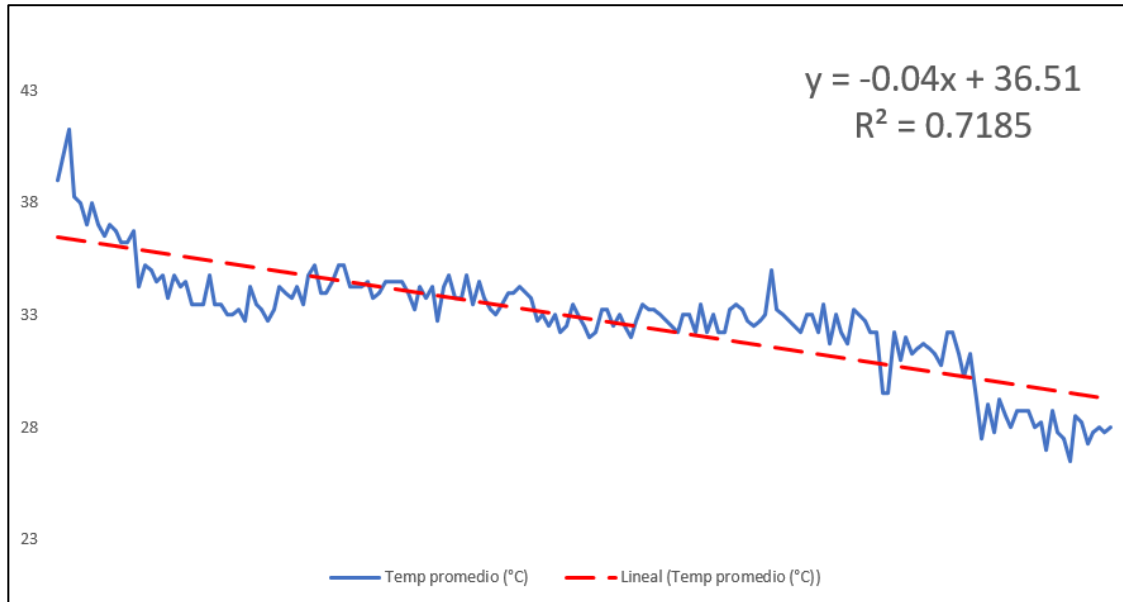
Realizando un cálculo de promedio de las temperaturas de los núcleos del microprocesador se puede observar que el microprocesador tiene un periodo de alta temperatura para posteriormente se mantiene en un rango de 36 °C y 32 °C para finalmente descende en el rango de los 28 °C cuando se aplica la mejor configuración que permite un mejor rendimiento y reducción de consumo energético incluyendo temperatura.

Graficando la temperatura promedio del microprocesador como se puede observar la variación es de orden descendente, la temperatura promedio incluyendo la desviación estándar fue de  $33 \pm 0.18$  °C entre cada lectura, adicionalmente la pendiente de la ecuación de la línea de tendencia es de valor negativo lo cual confirma que la temperatura disminuye al paso del tiempo. La ecuación de regresión lineal simple el cual se representa mediante la ecuación:

$$E(y/x) = \beta_0 + \beta_1 x$$

Donde el coeficiente de determinación  $R^2$  es de 0.7185 en donde esto se traduce que el modelo cuyas apreciaciones se concuerdan a la variable real.

Figura 22. **Temperatura promedio**



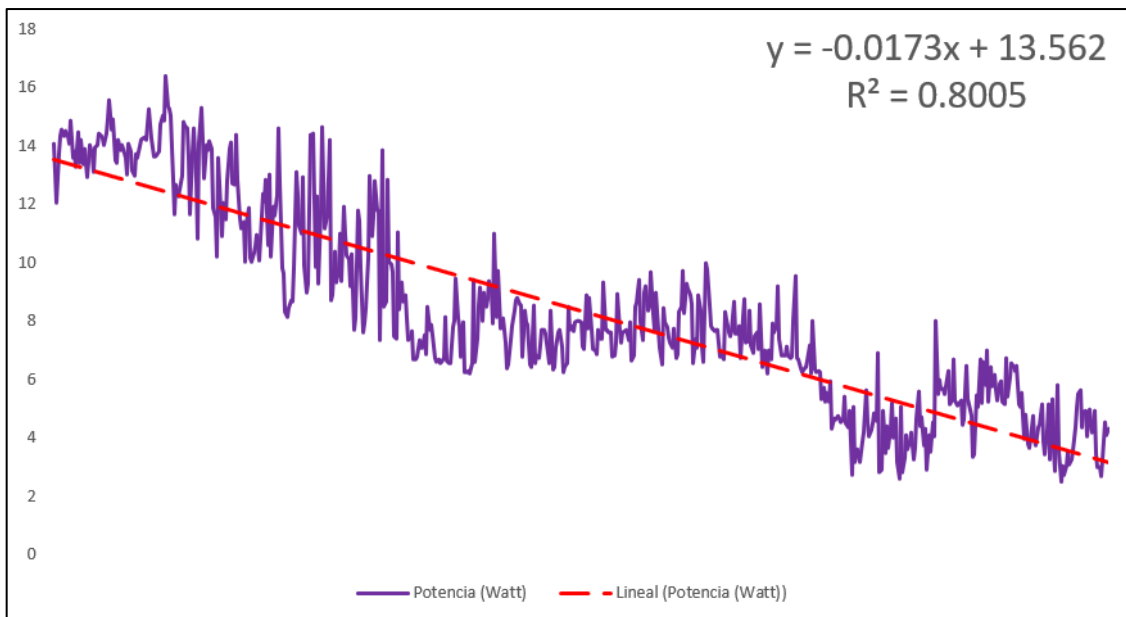
Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

## 5.8. **Potencia del microprocesador**

La potencia de consumo del microprocesador se mide en vatios, este valor depende de la efectividad de fabricación, en número de núcleos y cantidad de procesos. La potencia promedio incluyendo la desviación estándar fue de  $8.35 \pm 0.14$  W entre cada lectura, adicionalmente la pendiente de la ecuación de la línea de tendencia es de valor negativo lo cual confirma que el consumo en vatios disminuye

En su configuración óptima, el microprocesador paso a utilizar un promedio de 12 vatios a tan solamente 5 vatios ocasionalmente, como se aprecia en la figura 23.

Figura 23. **Potencia del microprocesador**



Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

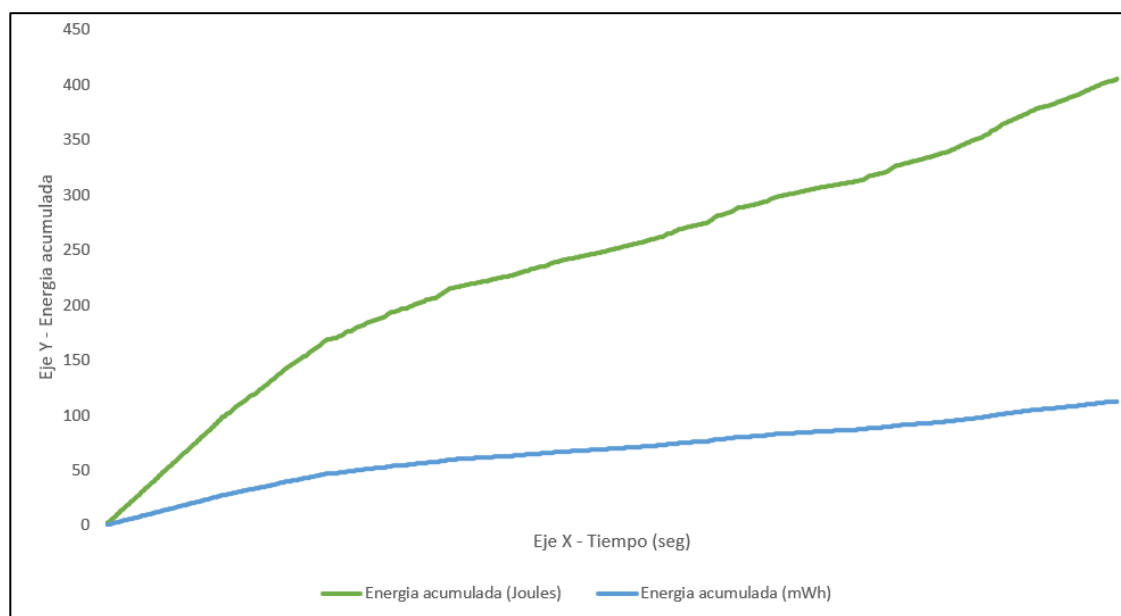
La ecuación de regresión lineal simple el cual se representa mediante la ecuación:

$$E(y/x) = \beta_0 + \beta_1 x$$

Donde el coeficiente de determinación  $R^2$  es de 0.8005 en donde esto se traduce que el modelo cuyas apreciaciones se concuerdan a la variable real, dado que el coeficiente de determinación entre la temperatura y potencia del microprocesador es de 0.082 se interpreta que ambas variables tienen alto grado de confiabilidad ya que las dos se acercan al valor 1.

En la figura 24 se proporciona datos de consumo de energía del microprocesador en función de la potencia acumulativa en Joules y mWh. El consumo de energía de un microprocesador se establece por la frecuencia de operación, que luego se determina por el uso. El uso en este caso se refiere a la demanda de potencia de procesamiento o sea la utilización del microprocesador acumulada expresada en Joules o mWh. En la gráfica se puede observar que inicialmente tiene un comportamiento de incremento rápido para posteriormente se puede observar comportamiento más atenuado donde se observa que hace evidencia a que la potencia acumulativa tiende a ser más lento.

Figura 24. **Potencia acumulativa en Joules y mWh**



Fuente: elaboración propia, utilizado Excel.

Windows consiente 100 cantidades distintas para el estado del microprocesador, por lo que no todos los valores proporcionarán como consecuencia un estado P desigual. En conclusión, cambiar del 95 % al 90 % e inclusive al 85 % no podría proporcionar algún resultado en la frecuencia del

microprocesador. Resultando de qué estados P son concurrentes, la velocidad de reloj puede rezagar cuantiosamente de lo que podría esperarse del porcentaje; la enumeración del 50 % en las opciones de energía de Windows no simboliza precisamente que el microprocesador trabajará a la mitad de la frecuencia.

El microprocesador con una frecuencia de 3.00 GHz, definir el estado del microprocesador a un 50 % no dará una frecuencia 1.50 GHz, como podría esperarse. Windows selecciona el multiplicador mínimo admitido que es x6 en este caso, en consecuencia, se obtiene una frecuencia de 1,997.16 GHz aproximadamente, si se multiplica 332.86 MHz por el multiplicador de frecuencia 6, o sea 66.57 % de la velocidad del microprocesador.

Se ha encontrado que establecer el mínimo y el máximo que puede funcionar el microprocesador sin afectar su rendimiento, lo adecuadamente inferior para obligar el multiplicador más inferior independientemente del microprocesador que sería el 50 % y el 100 % respectivamente ofrecerá excelentes secuelas. Como se analizó anteriormente apagar uno o varios núcleos del microprocesador no es la mejor forma para mejorar el consumo energético. El multiplicador de frecuencia es la mejor opción para para reducir el consumo energético poniendo sus valores al máximo.





## **6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Análisis y diseño de prototipo**

En el capítulo anterior, se presentó el prototipo de configuración de microprocesadores multinúcleo, para optimizar el consumo energético a través del ajuste del multiplicador de reloj diseño, haciendo uso de las varias configuraciones disponibles en Windows para economizar el consumo energético del microprocesador, con el propósito de optimizar el mismo con una solución robusta que sea capaz de brindar alta disponibilidad sin sacrificar el rendimiento. Además de cumplir con criterios en los que se resguarda la seguridad física de la computadora en todo momento ante cualquier problema de sobre calentamiento.

### **6.2. Porcentaje de reducción de energía**

La variación porcentual promedio de la energía del microprocesador incluyendo la desviación estándar fue de  $40 \pm 2$  % tomando en cuenta el consumo inicial al final, esto se debe a que las configuraciones utilizadas demuestran una reducción progresiva hasta llegar al punto más óptimo sin comprometer el rendimiento. Elegir de manera inteligente las opciones de energía de Windows para la reducción de energía, involucra investigar qué estados P admite el microprocesador, el cual decidirá las velocidades de reloj que desean más óptimas a utilizar. En este caso se deseaba maximizar el rendimiento, se optó a mantener a los valores más altos del multiplicador de frecuencia de x6 – x9 para lograr el objetivo de  $40 \pm 2$  % de reducción de energía.

Para lograr dicho objetivo, la configuración que se utilizó fue todas las opciones de reducción de energía en la BIOS estuvieran habilitadas. El estado mínimo y máximo del microprocesador se mantuvo el mínimo a 50 % y el valor máximo en 55 % para forzar al microprocesador a elegir los estados C más influyentes en el ahorro de energía y manteniendo el ventilador en estado pasivo para que solo funcionara al mínimo requerido sin comprometer la integridad física del microprocesador ante un eventual sobrecalentamiento del mismo.

En la configuración del ventilador se optó a ponerlo a funcionar a un 50 % de su capacidad total, este difiere en un 15 % a su configuración predeterminada entonces en ventilador funciona durante la prueba en saltos de 5 % desde un 65 % hasta el valor final de 50 %, el cual tuvo como resultado una reducción significativa en el consumo energético necesario para hacerlo funcionar.

### **6.3. Opciones para el ahorro de energía**

Las opciones para el ahorro de energía disponibles para minimizar el uso energético de un microprocesador se pueden clasificar en 3 grupos que se definen en donde se pueden ser habidas estas opciones:

- Opciones para el ahorro en BIOS:
  - Multi Core Support.
  - Intel® *SpeedStep*™.
  - C States Control.
  - CPUID Limit.

Estas opciones tienen como objetivo habilitar o deshabilitar estas funcionalidades desde la BIOS y principalmente habilitan el soporte multinúcleo en el sistema operativo, los estados P mediante la habilitación del Intel®

*SpeedStep™*, los estados C del microprocesador y CPUID Limit es como su nombre lo indica, es obtener información sobre el microprocesador, cuanto mayor sea el valor que admite, más información se puede obtener del mismo.

- Opciones para el ahorro en Windows:
  - Estado mínimo y máximo del microprocesador.
  - Directiva de refrigeración del sistema.

Estas opciones tienen como objetivo modificar numéricamente los valores de los estados mínimos y máximos del microprocesador los cuales se pueden ajustar a criterio del usuario según crea conveniente, la directiva de refrigeración del sistema establece el ventilador en activo o pasivo, la diferencia entre ambas que el activo mantiene un valor constante y el pasivo varía según la demanda de reducir el calor del microprocesador.

- Opciones para el ahorro en programas especializados:
  - Velocidad del ventilador.
  - Monitoreo de rendimiento y consumo.

Estas opciones tienen como objetivo modificar la velocidad de funcionamiento del ventilador independientemente se encuentre en activo o pasivo, se modifica con base en el porcentaje de funcionamiento del PWM. El monitoreo de rendimiento y consumo es una herramienta adicional que nos proporciona datos del comportamiento en general de la computadora.

#### **6.4. Disminución del consumo energético**

El recalentamiento en el microprocesador es originado por el efecto Joule, la metamorfosis de energía eléctrica en calor. Los semiconductores que se

localizan internamente del microprocesador aumentan su temperatura a causa de la colisión entre electrones y la sección de iones del conductor.

Para reducir este consumo ajustando apropiadamente el multiplicador de reloj en el microprocesador se deben estar habilitados los estados P y estado C del microprocesador, esto llevara a que el multiplicador de reloj se ajuste apropiadamente y se obtenga un mejor desempeño energético sin sacrificar rendimiento.

## CONCLUSIONES

1. Se desarrolló el prototipo de configuración ajustando el multiplicador de frecuencia mediante configuraciones recomendadas para reducir el consumo energético. Se analizó a detalle cada componente para reducir el consumo energético los cuales son, estados P y C, los estados mínimo y máximo del microprocesador, la directiva de refrigeración del sistema y velocidad del ventilador donde se logró reducir en un 33.13 % el consumo energético en comparación a la configuración inicial.
2. Se midió el porcentaje de reducción de energía y por medio de las configuraciones se redujo entre 6 a 8 vatios aproximadamente. Cuando no existía ninguna configuración para ahorrar energía el microprocesador consumía aproximadamente 14 vatios, a partir de este punto se comienzan a realizar cambios en la configuración para lograr una reducción en el consumo, llegando aproximadamente a los 6 vatios.
3. Las opciones disponibles para el ahorro de energía como las opciones de BIOS, Windows o programas específicos, surten efectos en las variables dependientes del comportamiento de voltaje y frecuencia del microprocesador cuando se ajustan de manera inteligente a las necesidades demandadas.
4. Se midió el valor del multiplicador de reloj en el microprocesador activando las opciones Multi Core Support, Intel® *SpeedStep*<sup>™</sup>, C States Control y CPUID Limit. Ajustando las opciones del estado mínimo del microprocesador a 50 % y el estado máximo del microprocesador al 55 %,

la directiva de refrigeración del sistema en pasivo y el ventilador al 50 % de su potencia se logró forzar que el multiplicador de frecuencia se mantuviera entre x8 a x9 en su mejor rendimiento. Cuando no se abordaba ningún tema de rendimiento y consumo energético el multiplicador de frecuencia se establece en un rango de x6 a x9 ya que establece en gran parte la frecuencia final que utilizara la computadora.

## RECOMENDACIONES

1. Trabajar con el multiplicador de frecuencia entre x8 – x9 del microprocesador, ya que estos valores indican que son ideales para la optimización, si se trabaja con multiplicadores de frecuencia menores de x8 se ve comprometido el rendimiento.
2. Establecer el entorno apropiado para la optimización de la configuración con la cual, siempre respetando los límites establecidos por el fabricante, de lo contrario pueden ocasionar un daño o mal funcionamiento del microprocesador.
3. Tener precaución cuando se realizan cambios en la configuración de energía o en el ventilador, evitar en lo posible realizar cambios de configuración bruscos como suministrar al microprocesador el voltaje al límite o dejar el ventilador con pocas revoluciones por minuto.
4. Tomar en cuenta las opciones presentes para economizar energía en el microprocesador dado que la gran versatilidad de modelos disponibles puede afectar en la confiabilidad de los datos e impactar directamente el coeficiente de determinación y ser objetivo de otros trabajos relacionados a este tema.





## REFERENCIAS

1. Baer, Jean-Loup. (2010). *Microprocessor From Simple Pipelines to Chip Multiprocessor Architecture*. Reino Unido: Cambridge University Press.
2. Barry, Peter. (2012). *Modern Embedded Computing: Designing Connected. Pervasive, Media-Rich Systems*. Estados Unidos de América: Elsevier.
3. Benson, Mark. (2014). *The Art of Software Thermal Management for, Embedded Systems*. Estados Unidos de América: Springer. Recuperado de <https://books.google.com.gt/books?id=Vq68BAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.
4. Berekovic, Mladen. (2011). *Architecture of Computing Systems – ARCS 2011*. Italia: Springer.
5. Chen, Wai-Kai. (2007). *The VLSI Handbook*. Estados Unidos de América: CRC Press.
6. Downs, Tim. (2001). *How the Computers Works*. Estados Unidos de América: QUE®.
7. Godse, Atul P. (2010). *Microprocessor and Microcontroller*. India: Technical Publications Pune.

8. Henzler, Stephan. (2007). *Power Management of Digital Circuits in Deep Sub-Micron CMOS Technologies*. República Federal de Alemania: Springer.
9. Lari, Vahid. (2016). *Invasive Tightly Coupled Processor Arrays*. República Federal de Alemania: Springer.
10. Li, Tang. (2011). *Low-power Task Scheduling for GPU Energy Reduction*. Estados Unidos de América: Semantics Scholar. Recuperado de [http://netscale.cse.nd.edu/twiki/pub/Edu/GradOSF11FinalProjects/Low-power\\_Task\\_Scheduling\\_for\\_GPU\\_Energy\\_Reduction\\_LiTang\\_YijiZhang.pdf](http://netscale.cse.nd.edu/twiki/pub/Edu/GradOSF11FinalProjects/Low-power_Task_Scheduling_for_GPU_Energy_Reduction_LiTang_YijiZhang.pdf).
11. Naveh, Alon. (2006). *Power and Thermal Management in the Intel® Core™ Duo Processor*. Estados Unidos de América: Intel® Technology Journal. Recuperado de <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/research/2006-vol10-iss-2-intel-technology-journal.pdf>.
12. Rashid, Muhammad H. (2007). *Power Electronics Handbook Devices, Circuits, and Applications*. Estados Unidos de América: Elsevier.
13. Rong, Ge. (2005). *Improvement of Power-Performance Efficiency for High-End Computing*. Estados Unidos de América: ResearchGate. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/220950805\\_Improvement\\_of\\_Power-Performance\\_Efficiency\\_for\\_High-End\\_Computing](https://www.researchgate.net/publication/220950805_Improvement_of_Power-Performance_Efficiency_for_High-End_Computing).

14. Rotem, Efi. (2004). *Analysis of Thermal Monitor features of the Intel® Pentium® M Processor*. Estados Unidos de América: ResearchGate. Recuperado de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.8764&rep=rep1&type=pdf>.
15. Santamaria, Eduardo. (1993). *Electrónica Digital y Microprocesadores*. España: Biblos Industria Gráfica, S.L.
16. Soto, Andres. (2002). *The future DC-DC converter as an enabler of low energy consumption systems with dynamic voltage scaling*. España: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/1182918>.
17. Tokheim, Roger L. (2000). *Fundamentos de los Microprocesadores*. Estados Unidos Mexicanos: McGraw-Hill.
18. Vahid, Lari. (2016). *Invasive Tightly Coupled Processor Arrays*. Singapur: Springer.
19. Vassighi, Arman. (2006). *Thermal and Power Management of Integrated Circuits*. Canada: Springer.
20. Wang, Weixun. (2013). *Dynamic Reconfiguration in Real-Time Systems Energy, Performance, and Thermal Perspectives*. Estados Unidos de América: Springer.
21. Wirnshofer, Martin. (2013). *Variation-Aware Adaptive Voltage Scaling for Digital CMOS Circuits*. República Federal de Alemania: Springer.

Recuperado de [https://books.google.com.gt/books?id=TcNAAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=TcNAAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

22. Xia, Feng. (2008). *Control and scheduling Codesing Flexible Resource Management in Real-Time Control Systems*. República Popular China: Zhejiang University Press.
23. Yahya, Jawad Haj. (2018). *Energy Efficient High-Performance Processors*. Singapur: Springer. Recuperado de [https://books.google.com.gt/books?id=is5SDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=is5SDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).