

ISSN: 2518-489X



# Revista Utesiana de la Facultad de **ARQUITECTURA E INGENIERÍA**

*Trabajos de Investigación*  
**Volumen III, Número III**

[www.utesa.edu](http://www.utesa.edu)



# REVISTA UTESIANA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

## COMITÉ EDITORIAL

**Director: Francisco Orgaz Agüera**

Vicerrector de Producción e Investigación Científica

Universidad Tecnológica de Santiago (República Dominicana)

E-mail: franorgaz@utesa.edu

## EDITOR TEMÁTICO

**Juan Lora Díaz**, Universidad Tecnológica de Santiago

## CONSEJO CIENTÍFICO ASESOR Y REVISOR

**Raúl Toribio Silverio**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Mario Castellanos Verdugo**, Universidad de Sevilla (España)

**José Luís Álvarez**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Sebastián Geroso García**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Tomás López-Guzmán**, Universidad de Córdoba (España)

**Salvador Moral Cuadra**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Juan Antonio Jimber del Río**, Universidad de Córdoba

**Pablo Cañero Morales**, Universidad de Córdoba

**José Castillo Jáquez**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Atuey Martínez Durán**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Roberto Gómez**, Ministerio de Medio Ambiente (Rep. Dom.)

**Carlos Felipe Cabrera**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Vladimir Rodríguez Núñez**, Universidad Tecnológica de Santiago

**José Díaz Rodríguez**, Universidad Tecnológica de Santiago

**José. F. Domínguez**, Universidad del Caribe (México)

**Edwin Marte**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Reymi Then**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Manuel A. Ribeiro**, Universidad de Surrey (Reino Unido)

**Rafael F. Vargas Martínez**, Universidad Tecnológica de Santiago

**Huáscar Frías Vilorio**, Universidad Tecnológica de Santiago



# REVISTA UTESIANA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

**ISSN: 2518-489X**

**Revista de distribución web (Edición Digital)**

**Edita:**

Vicerrectoría de Producción e Investigación Científica  
Universidad Tecnológica de Santiago (República Dominicana)  
809 582 7156, Ext. 365  
investigaciones@utesa.edu  
www.utesa.edu

**Periodicidad:**

Anual (abril)

**Bases de datos:**

La Revista Utesiana de la Facultad Ciencias de la Salud se encuentra indexada en el Directorio de Latindex y en Google Académico. Actualmente está en evaluación en otras bases de datos.



## GUÍA PARA AUTORES

El contenido de la Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería versará sobre temas de investigación originales vinculados a las siguientes carreras de Ingeniería: Civil, Eléctrica, Electrónica, Sistemas Computacionales, Mecánica e Industrial. También, sobre Arquitectura. La estructura del artículo debe constar, como mínimo, de las siguientes partes: título; nombre, afiliación y correo electrónico de los autores; resumen y palabras clave en español e inglés; introducción; materiales y métodos; resultados y discusión; conclusiones; y bibliografía.

Las comunicaciones enviadas deberán cumplir con las siguientes normas y estructura:

- Extensión del artículo: 5.000 – 7.000 palabras.
- Resumen: no superar las 500 palabras.
- Palabras clave: 5 – 8 palabras.
- No hay máximo de autores.
- Márgenes: 2.5 cm en todos los lados.
- Interlineado: Simple.
- Fuente: Arial, 10 puntos (el título en tamaño 12).
- Títulos de la estructura del texto: Mayúscula y negrita.
- Las tablas, gráficos y figuras deberán ir insertadas en el texto, junto a un título en la parte superior y una fuente en la parte inferior.
- Citas: Modelo APA 2017 (sexta edición) o posteriores.

El incumplimiento de estas normas puede provocar el rechazo del artículo.

Se requiere el compromiso de los autores tanto en la originalidad del artículo como de no enviar el texto, simultáneamente, a otras revistas para su publicación. Los autores serán los únicos responsables de las afirmaciones y declaraciones incluidas en su texto.

Los artículos serán enviados por correo electrónico: **investigaciones@utesa.edu** en formato Word. Los artículos recibidos se someterán a un proceso de revisión por pares anónimos. Los resultados de la evaluación serán remitidos al autor mediante correo electrónico.





## ÍNDICE

- Reflexiones: Las playas de República Dominicana no aguantan más** 10  
Orgaz Agüera, F.
- Diseño de una máquina secadora de café automatizada por medio de microcontroladores** 14  
Beato, L., Toribio, R., Hernández Cruz, A.N., & Tavera Ureña, D.
- Central Termoeléctrica Punta Catalina: impacto económico y regulatorio** 26  
Marmolejos, A.
- Modelo matemático para determinación del punto quiescente en polarizaciones con FET** 32  
Then, R. & Marte, E.
- Caracterización de disipadores térmicos con material desconocido para protección de dispositivos electrónicos** 42  
Marte, E. & Then, R.



**Citar este artículo como:** Orgaz Agüera, F. (2018). Reflexiones: Las playas de República Dominicana no aguantan más. *Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería*, 3(3), 10-12.

## **REFLEXIONES: LAS PLAYAS DE REPÚBLICA DOMINICANA NO AGUANTAN MÁS**

**Francisco Orgaz Agüera<sup>1</sup>**

Universidad Tecnológica de Santiago

Las playas de República Dominicana no aguantan más. Una visita exploratoria por la costa norte del país y, más concretamente, para las zonas del Malecón de Puerto Plata (figura 1) y de Playa Dorada (figura 2), ha evidenciado diversas manifestaciones de contaminación, pudiendo observarse desde residuos sólidos hasta aguas residuales. Y estos contaminantes afectan a nuestra salud de forma directa e indirecta. En primer lugar, nos afecta porque nos movemos, habitualmente, por estas zonas, respirando aire contaminado y bañándonos en una costa con síntomas de polución. En segundo lugar, nos alimentamos de peces que nadan por áreas contaminadas y que ingieren alimentos inadecuados, como plástico y aceites.

Figura 1. Presencia de contaminación de el Malecón de Puerto Plata.



<sup>1</sup> Vicerrector de Producción e Investigación Científica de la Universidad Tecnológica de Santiago. Investigador del Grupo de Investigación en Gestión, Análisis y Modelación de las Ciencias Ambientales (GIGAMCA-UTESA). Autor para correspondencia: franorgaz@utesa.edu

Fuente: elaboración propia.

La Universidad Tecnológica de Santiago (UTESA) acaba de recibir la notificación del Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT) de la República Dominicana, sobre la aprobación del Proyecto de Investigación denominado "**Modelo de manejo de la contaminación en sistemas marino-costeros de la zona norte de República Dominicana**". Con este Proyecto, se pretende describir las características físicas, químicas y microbiológicas de la contaminación de los sistemas costeros-marinos de la costa de Puerto Plata; cuantificar los diversos componentes contaminantes de los sistemas; comparar los niveles de contaminación presentes en los sistemas con los estándares nacionales e internacionales establecidos; diseñar el modelo de manejo de la contaminación en los sistemas marino-costeros; validar el desempeño funcional del modelo propuesto; y, replicar el modelo como herramienta de predicción y corrección de los niveles de contaminación en los sistemas marino-costeros del país.

Figura 2. Aguas residuales vertidas sobre Playa Dorada.



Fuente: elaboración propia.

Este Proyecto de Investigación espera analizar la contaminación de la zona costera de Puerto Plata, y poder replicar el modelo en otras regiones del país, con la finalidad de recuperar las áreas marino-costeras de la República Dominicana. Estas zonas son críticas para el desarrollo del país, debido a que el 80% de la población dominicana vive en las zonas costeras (Steneck y Torres, 2015<sup>2</sup>), situación que afecta a la flora y fauna del océano. Esto ha generado que muchas regiones coralinas de República Dominicana tengan un deterioro grave, por acciones derivadas de la contaminación en la línea costera y mar, por la pesca indiscriminada y por el turismo insostenible. Estas problemáticas llevarán, en caso de no tomar medidas, a la pérdida de las playas y de sus ecosistemas marino-costeros.

Por esta razón, es de vital importancia que la población entienda el valor de prevenir la contaminación, sobre todo, por basura, por la pesca de especies como el pez loro o por la realización de actividades turísticas de forma inadecuada (capacidad de carga inadecuada de la costa). A su vez, es necesaria la articulación de estrategias y acciones publico-privadas, es decir, entre el Gobierno Central y Local, y la población residente, con la finalidad de establecer una armonía entre el hombre y la naturaleza en las zonas costeras, fomentando la sostenibilidad de los recursos naturales y la salud del océano y las personas. Somos nosotros los que debemos asumir la responsabilidad, practicando buenos hábitos en nuestro día a día, educando a las personas que están a nuestro alrededor y fomentando un consumo responsable y una práctica turística sostenible, porque las playas no aguantan más.

***"Nuestro pasado, nuestro presente y lo que queda de nuestro futuro depende absolutamente de lo que hagamos ahora"***

Sylvia Earle

---

<sup>2</sup> Steneck, R.S. & Torres, R.E. (2015). *El estado de los arrecifes de coral de la República Dominicana*. Santo Domingo: Fundación Propa-Gas.



**Citar este artículo como:** Beato, L., Toribio, R., Hernández Cruz, A.N., & Tavera Ureña, D. (2018). Diseño de una máquina secadora de café automatizada por medio de microcontroladores. *Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería*, 3(3), 14-24.

## **DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CAFÉ AUTOMATIZADA POR MEDIO DE MICROCONTROLADORES**

**Luciano Beato**<sup>3a</sup>

Universidad Tecnológica de Santiago

**Raul Toribio**<sup>3</sup>

Universidad Tecnológica de Santiago

**Ana Nikaully Hernández Cruz**<sup>4</sup>

Universidad Tecnológica de Santiago

**Dariana Tavera Ureña**<sup>4</sup>

Universidad Tecnológica de Santiago

**RESUMEN:** El proyecto consiste en una máquina secadora de café programable, con un sistema de telemediciones para el monitoreo de las variables de temperatura, humedad y tiempo, mejorando las características de sabor que se obtienen mediante el secado del grano de forma equilibrada. El prototipo desarrollado puede regular la cantidad de calor suministrada a la máquina y realizar las mediciones de temperatura correspondientes. A través del prototipo diseñado y verificado, se ha podido lograr el control y la estabilidad de la temperatura y la humedad dentro del reservorio de secado; hacer una cinta transportadora que facilitara el transporte de los granos a la máquina; y, controlar el tiempo y la eficiencia del proceso de secado.

**Palabras clave:** calefacción, SSR, regulación.

**ABSTRACT:** The project consists of a programmable coffee drying machine, with a telemetering system for the monitoring of temperature, humidity and time variables. Improving the flavor characteristics obtained by drying the grain in a balanced way. The developed prototype can regulate the amount of heat supplied to the machine and perform the corresponding temperature measurements. Through the purpose designed and verified it has been possible to achieve the control and stability of temperature and humidity inside the drying reservoir; make a conveyor belt that facilitates the transport of the grains to the machine; and, control the time and efficiency of the drying process.

**Key words:** heating, SSR, regulation.

---

<sup>3</sup> Profesor de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Santiago.

<sup>a</sup> Autor para correspondencia: lucianodel@docente.utesa.edu

<sup>4</sup> Estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Santiago.

## **INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este artículo es presentar el diseño de una máquina electrónica secadora de café automatizada, mejorando las características de olor y sabor que se obtienen mediante la uniformidad de secado del grano en una forma equilibrada. En el diseño de esta máquina se manejan variables de temperatura y tiempo, con el propósito de obtener un café de alta calidad y disminuir las pérdidas del mismo.

La justificación para el diseño de este proyecto viene dada porque, el proceso de secamiento del grano de café es decisivo para la composición, forma y estructura del grano. A priori, se demanda un esfuerzo físico previo por parte de los agricultores y, en la actualidad, como las máquinas existentes no son económicamente asequibles, se sigue utilizando el método tradicional de secar los granos de café al sol en patios de cemento, esparciéndolo en tendales con capas de 8 centímetros de espesor, los cuales deben removerse varias veces al día secándolos de esta manera al sol, durante diez o veinte días de forma manual. Estos sistemas requieren un esfuerzo respectivamente grande por parte del agricultor y ocasiona grandes pérdidas en los cultivos, debido a que, en este período, existe carencia de luz solar. De esta manera, en República Dominicana es muy difícil encontrar una máquina capaz de realizar el proceso de secamiento de granos de café. Los existentes, aparte de tener un elevado costo, deben traerse del exterior y no son fáciles de operar por el usuario.

## **PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO**

### **Antecedentes**

En la actualidad el café es una bebida altamente estimulante por el contenido de cafeína que contiene, obteniéndose a partir de las semillas tostadas y molidas de los frutos de la planta del café. Es conocido como una de las bebidas sin alcohol más socializadoras en muchos países. Los granos del café son uno de los principales productos de origen agrícola que se comercializan en los mercados internacionales, y su cultivo está culturalmente ligado a la historia y al progreso de muchos países que lo han producido por más de un siglo. Pero al igual que cada producto, lleva un proceso estricto y delicado para su distribución.

El proceso de secamiento de cualquier material es decisivo para la composición, forma y estructura del grano del cual se pretende reducir la humedad. La forma habitual de secar los granos de café es al sol en patios de cemento, esparciéndolo en tendales con capas de 8 centímetros de espesor, los cuales deben removerse varias veces al día secándolos de esta manera al sol, durante diez o veinte días. Este proceso tiene como objetivo reducir la cantidad de humedad contenida en el grano, aproximadamente a un 11% o



12%, que es lo establecido por las normas vigentes para la comercialización de café (Cortijo, s/f).

La práctica de secamiento tiene por objetivo disminuir el agua del grano de café previamente lavado y escurrido de una forma natural o mecánica, a un punto comercialmente aceptado que reúna las características para almacenarlo, venderlo o trillarlo posteriormente. El mecanismo del secamiento del café es más complicado que el de cualquier otro grano, debido a su alto contenido de humedad (55%), por la volatilización de componentes aromáticos que aparecen si se emplean altas temperaturas y, también, por el efecto que las condiciones de operación puedan causar en el aspecto y, particularmente, en la bebida.

### **Normativas y regulaciones**

Este trabajo cumple con las siguientes regulaciones:

- ISO 13849-1:2006: el prototipo de máquina cumple con los requerimientos de seguridad y orientación sobre los principios del diseño y la integración de sus partes relacionadas con la seguridad de los sistemas de control, incluyendo el diseño de *firmware*.
- Norma J-STD-001: se cumple con este estándar que describe los materiales, métodos y criterios de verificación para producir interconexiones de alta calidad soldada, adaptándonos a los requisitos para la soldadura de montajes eléctricos y electrónicos.
- EN 61508-1-7:2010: la máquina está diseñada y construida bajo los requerimientos de seguridad generales para los dispositivos eléctricos y electrónicos programables, ya que la misma aplica para cualquier sistema de seguridad que esté basado, al menos, en un componente eléctrico, electrónico o electrónico programable.
- Norma RAEE: se aplica esta norma sobre los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, cuidando la sostenibilidad ambiental.
- ISO 22000: se establecen los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión alimentario, asegurando la inocuidad de los alimentos, y manteniendo los estándares de inocuidad de alimentos desde el inicio de su producción hasta el consumidor final.
- IPC-2518: en este trabajo queda contemplada una lista de piezas de todos los dispositivos utilizados para elaboración del producto.
- Decreto No. 528-01, sobre Control de Riesgos en Alimentos y Bebidas en la República Dominicana: se aplica esta norma debido a que la máquina a diseñar será utilizada para tratar alimentos.

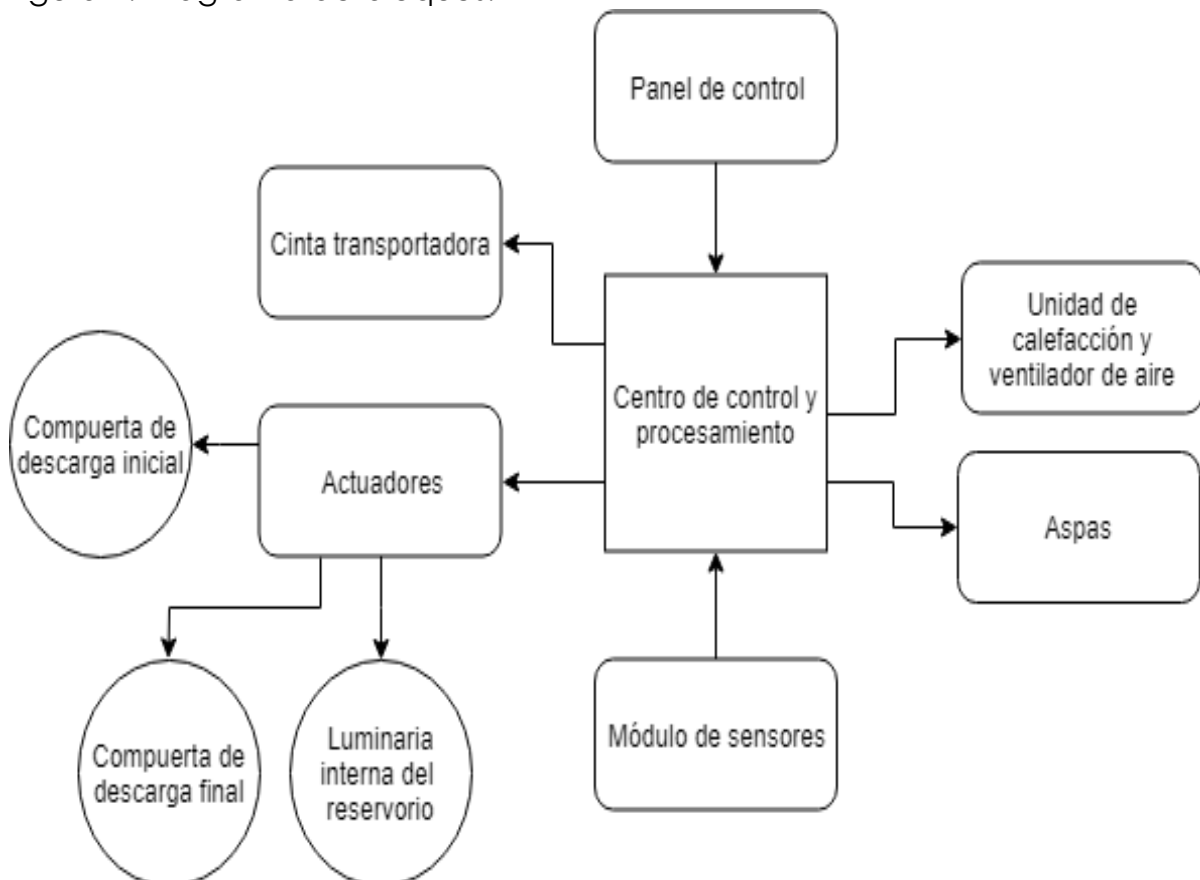
### **Especificaciones de la máquina a diseñar**

- Capacidad de secado 60kg de café pergamino húmedo en 24hrs.
- Grado de humedad final 11-12% bh.
- Conexión de red monofásica 120-240 V a 60Hz.

- Temperatura de operación mínima de 46 °C, máxima 50 °C.
- Microcontrolador ATMEGA16 a 5 V, 16 MHz.
- Panel central con capacidad de visualización de temperatura.
- Botón de inicio del sistema automático.
- Botón de parada de emergencia.
- Botón de rearme para emergencias.
- Indicador luminoso de puesta en marcha.
- Indicador luminoso de emergencia.
- Cinta transportadora de granos hasta orificio de entrada.

### Diagrama de bloques

Figura 1. Diagrama de bloques.



Fuente: elaboración propia.

A continuación se explica el diagrama:

- Centro de control y procesamiento (MCU): es el centro de control y procesamiento de señales de la máquina.
- Control de movimiento: recibe las señales de control del microprocesador hacia el motor y las convierte a señales de tensión que los motores soporten, con una mayor corriente.
- Unidad de calefacción: es el método mediante el cual se aporta calor con el fin de mantener o elevar la temperatura de la máquina.
- Ventilador de aire: es el encargado de la impulsar señales de un ventilador para que circule el aire a través del reservorio.

- Panel de control: es la interface de interacción del usuario con la máquina, en este está contenida la pantalla de visualización, los botones de operación y emergencias, además, está la alarma de alerta por detección de fallas y los indicadores de la máquina (energizada, detección de fallas y procesos).
- Mecanismo actuador: sistemas de accionamiento para abrir la compuerta de entrada y salida del café.
- Módulo de sensores: estos dispositivos tienen la tarea de censar humedad, temperatura y nivel para el correcto funcionamiento de la máquina.

## **CIRCUITO ESQUEMÁTICO**

### **Descripción del circuito**

Se diseñará y construirá el prototipo de una máquina electrónica secadora de café automatizada, mejorando las características de color, olor y sabor, que se obtienen mediante la cocción del grano de forma equilibrada, manejando variables de temperatura y tiempo para lograr obtener un café de alta calidad y disminuir las pérdidas del mismo. Esta máquina constará con un tablero de mando donde el usuario podrá visualizar el funcionamiento y los estados de la máquina (energizada, fallas y procesos), y en este mismo espacio encontrará los botones de encendido, rearme y emergencia.

El proyecto consta de tres módulos principales:

- Unidad de calefacción eléctrica.
- Control de movimiento.
- Módulo de sensores.

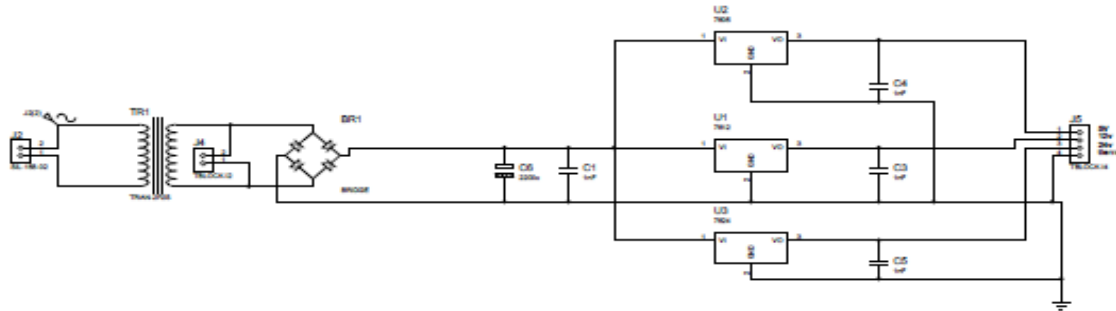
La unidad de calefacción eléctrica es el método mediante el cual se aporta calor con el fin de mantener o elevar la temperatura de la máquina. Esta unidad estará controlada por las variables que maneja el microcontrolador, en conjunto con un ventilador para la expansión de aire.

El control de movimiento recibe las señales del centro de control y procesamiento, convirtiéndolas a señales tensión, con una mayor corriente para manejar los giros del motor y, al mismo tiempo, el esparcir el café a través de la máquina.

La otra parte está formada por el módulo de sensores, y tiene como función captar la señal analógica de los sensores y convertirla mediante comparadores a una señal aceptada por el microprocesador. Tiene la tarea de identificar la temperatura, el nivel y la humedad que está manejando la máquina en el momento.

## Módulo de regulación de voltaje

Figura 2. Módulo de regulació de voltaje.

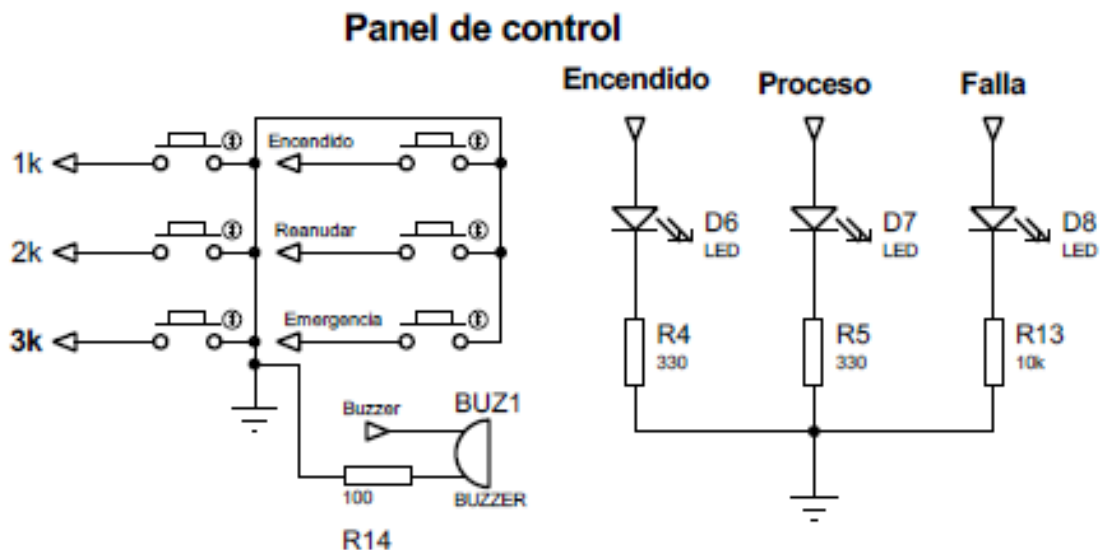


Fuente: elaboración propia.

Esta es la parte destinada a la adecuación de las características y parámetros de energía disponible. Con la finalidad de abastecer la alimentación de los equipos que posee la máquina, dándole un funcionamiento estable y seguro. Los dispositivos empleados en la creación de la secadora manejan corriente directa.

Esta etapa tiene como finalidad, estabilizar los voltajes a través de los reguladores 7805, 7812 y 7824, adecuando la tensión a través del filtrado de las señales por medio de los capacitores eliminando el rizado. El resultado final de este módulo es proporcional voltaje estable DC a 5 voltios, 12 voltios y 24 voltios.

Figura 3. Panel de control.



Fuente: elaboración propia.

El buzzer está como un elemento de seguridad pasiva, utilizado como emisor de alerta en caso de que se detecte algún fallo de operación en la máquina.

Es la señal por medio del cual se informa al usuario que la máquina no está funcionando correctamente o tiene alguna anomalía.

Los indicadores luminosos son diodos semiconductores capaces de emitir luz al ser atravesados por una corriente eléctrica. Esta máquina cuenta con cuatro indicadores: uno rojo indicando al usuario que existen errores de operación, verde para mostrar que la máquina está en un ciclo de trabajo, y naranja y amarillo para indicar advertencias.

### **Pulsadores**

Dentro del panel de control se encuentran seis elementos para el control y manejo de la máquina:

- Botón de encendido, para suministrarle energía a la máquina y ponerla en funcionamiento.
- Botón de emergencias, el cual tendrá como función detener cualquier proceso que la máquina este haciendo en el momento en que se presione.
- Tiene tres pulsadores dedicados a seleccionar el peso que se le va a introducir a la máquina (1kg, 2kg o 3kg).
- El panel cuenta además con una pantalla LCD para la visualización de las opciones de secado, la temperatura y las muestras.

### **Centro de control y procesamiento (MCU)**

El MCU es el circuito de control, alimentado por los 5V que vienen generados del regulador de baja potencia, el dispositivo principal de este circuito es el microcontrolador Arduino Mega, del cual dependen los demás periféricos de control pertenecientes a la máquina. Estos son el módulo de calefacción, el módulo de sensores para identificar la humedad y temperatura de la máquina y el módulo de control de movimiento del motor para controlar y manejar el giro de los motores.

### **Módulo de calefacción y circulación del aire caliente**

Este módulo tiene como objetivo controlar una resistencia eléctrica para emitir el calor que circulará a través de la máquina. Posee como dispositivo actuador un relé de estado sólido (SSR), que es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Posee el optoacoplador MOC3031M que responde a una señal de control. Este dispositivo es un interruptor sin partes mecánicas diseñado para conmutar corriente alterna o continua. Hace la misma función que el relé electromecánico, pero sin partes móviles para alargar la duración del mismo.

## **Medidores de temperatura y humedad**

En esta etapa los sensores DS18B20 tienen la tarea de muestrear el nivel de temperatura de la máquina en ambos extremos, con la finalidad de obtener magnitudes físicas precisas para ser transformadas en variables eléctricas y el resultado sea entendido por el microcontrolador capturando los datos, procesándolos y, con esto, controlar el módulo de calefacción de la máquina. El sensor DHT22 se utiliza para medir la humedad de los granos de café y determinar si se encuentran dentro del rango de un 10% o 12% de humedad. Estos sensores, en conjunto, se colocarán en la máquina con la finalidad de modificar la temperatura dentro del 45-50°C, para que el secado sea eficiente, por medio del equilibrio entre ganancia y pérdida de calor dentro del rango de un 10% o 12% de humedad que es establecido por la asociación de caficultores (Cortijo, s/f).

## **Control de descarga final**

Esta etapa posee una válvula solenoide de descarga que tiene la importante función de controlar la salida de los granos de café que se encuentren en los parámetros establecidos por las normativas de agricultores, listo para almacenarse o exportarse. Una vez que se expulse todo el grano de café, la válvula regresa a su estado inicial obstaculizando el paso de los granos.

## **Control de descarga de tolva**

En esta etapa se visualiza un puente en H realizado con relé; estará conectado al pin digital # de la placa de desarrollo, con este se controlan un motor de corriente continua que al que abrirá la compuerta de descarga de la tolva permitiendo esto que el café pase a la cinta transportadora y de esta, al reservorio. Cuando el café termine de descargarse, el usuario dará un pulso para cerrar la compuerta.

## **Control de la cinta transportadora**

El microcontrolador enviará la señal de activación a un relé conectado al pin 5. Al recibir la señal, el relé energizará un motor CD el cuál está encargado del movimiento de la cinta.

## **Control de velocidad de las aspas**

En este circuito se realiza modulación de ancho de pulso. El mismo está basado en un integrado 555, el cuál genera la modulación necesaria para controlar el transistor que activa el motor DC. La frecuencia de oscilación del circuito estará manejada por los componentes colocados, controlando así la velocidad de movimiento de las aspas.

## VERIFICACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO

### Pruebas y mediciones

- Prueba de unidad de calefacción y sensores de temperatura del prototipo (ver prototipo en figura 4): el objetivo de esta prueba es verificar la cantidad de calor emitida por la resistencia eléctrica y evaluar la posibilidad de controlar y mantener la temperatura dentro de la recámara mediante la lectura obtenida de los sensores.
  - Definición: controlar el flujo de calor emitido a través de la resistencia eléctrica, mediante la comparación de lecturas de los sensores.
  - Escenario o configuración de prueba: conectar los pines de los sensores DS18B20 y el SSR a los pines 08, 33 y 34 del Atmega2560, que corresponden a pines analógicos y digitales del microcontrolador. Inicialmente se enciende la unidad calorífica enviando un pulso al SSR (relé de estado sólido); recibido este, se activa la dicha unidad y se empieza el muestreo de los sensores de temperatura cada 10 segundos.
  - Resultados esperados: se pretende obtener un nivel de lectura de los sensores adecuado y mediante estos, poder modular el ancho de pulso del SSR sin llegar a apagar totalmente la unidad calorífica, manteniendo así un nivel de calor idóneo.
  - Ejecución y resultados reales: luego de conectados y establecidos todos los componentes, en la estación de pruebas se procedió a energizar tomando energía alternar para el SSR, alimentando los sensores y el microcontrolador con 5 volt. Luego esto, se empezó a hacer muestreo de los sensores en el intervalo de tiempo anteriormente mencionado, controlando con un promedio de las lecturas obtenidas el tiempo On y Off de la resistencia eléctrica.
  - Análisis de la prueba: la prueba no fue satisfactoria ya que no se pudo modular completamente el ancho de pulso del SSR. Sin embargo, las pruebas de los sensores fueron exitosas, ya que se pudieron parametrizar las lecturas de temperatura y enviar los pulsos de regulación.
- Prueba de control de aspas mediante motor DC: la finalidad de esta prueba es comprobar si los granos de café son esparcidos uniformemente dentro del equipo.
  - Definición: inspeccionar el movimiento de los granos de café.
  - Escenario o configuración de prueba: conectar las terminales del motor al relé y al microcontrolador en los pines dos y tres del atmega16, que corresponden a pines digitales. Inicialmente para realizar esta prueba se envía un pulso desde la unidad de procesamiento al relé excitando de esta manera al motor para provocar su movimiento.
  - Resultados esperados: obtener un movimiento homogéneo y estable en el motor que maneja las aspas.

- Ejecución y resultados reales: Luego de organizados todos los componentes, se procedió a energizar el motor y el microcontrolador.
- Análisis de la prueba: la prueba no fue exitosa debido a un desperfecto mecánico que provoca que las aspás actuales rocen con la carcasa y se tranque el motor, por consiguiente, no se puede realizar la correcta distribución de los granos.

Figura 4. Prototipo construido.



Fuente: elaboración propia.

- Prueba de módulo de relés y fuente de alimentación: el objetivo de esta prueba es verificar que la fuente utilizada para alimentar la parte electrónica de control del proyecto tiene suficiente potencia para manejar la carga que será instalada.
- Definición: explorar el funcionamiento de la fuente de alimentación.
- Escenario o configuración de prueba: conectar los actuadores al módulo de relés, es decir, conectar las válvulas solenoides y el motor, además de conectar los indicadores para comprobar el funcionamiento.



- Resultados esperados: obtener el correcto funcionamiento de los actuadores, utilizando el módulo de relés como interface entre el microcontrolador y los dispositivos.
- Ejecución y resultados reales: cargarle al microcontrolador el programa prueba para enviar a activar las salidas relacionadas con los actuadores. Luego de esto, se procedió a energizar el módulo de relés y los actuadores.
- Durante la prueba se observó que cuando 3 de los actuadores estaban activados, el nivel de energía bajaba considerablemente hasta el punto de apagarse la fuente.
- Análisis de la prueba: la prueba fue exitosa debido a que pudimos determinar una falla en el sistema de energía propuesto para el proyecto.

## CONCLUSIONES

El proyecto ha logrado muchas de las expectativas propuestas, entre las que se citan:

- Lograr el control y la estabilidad de la temperatura y la humedad dentro del reservorio de secado.
- Hacer una cinta transportadora que facilitara el transporte de los granos a la máquina.
- Controlar el tiempo y la eficiencia del proceso de secado.
- Desarrollar un mecanismo de emergencia que detiene el proceso en su totalidad en caso de fallas.

Para este tipo de secador es mejor utilizar un sistema de combustible a una resistencia eléctrica, debido a que el consumo que presenta este tipo de tecnología es menor. También, es necesario escoger otro tipo de sensores de temperatura que soporten condiciones más hostiles. Como futura línea de investigación, se estará trabajando en la mejora de este prototipo.

## BIBLIOGRAFÍA

Cortijo, J.D. (s/f). *El mundo del café*. España, Homatic Vending.

Decreto No. 528-01, sobre Control de Riesgos en Alimentos y Bebidas en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana.

*Recibido: 31/03/2018*

*Reenviado: 09/04/2018*

*Aceptado: 24/04/2018*

*Sometido a evaluación de pares anónimos*



**Citar este artículo como:** Marmolejos, A. (2018). Central Termoeléctrica Punta Catalina: impacto económico y regulatorio. *Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería*, 3(3), 26-31.

## CENTRAL TERMOELÉCTRICA PUNTA CATALINA: IMPACTO ECONÓMICO Y REGULATORIO

**Alfonso Marmolejos<sup>5</sup>**

Universidad Tecnológica de Santiago

**RESUMEN:** El Estado Dominicano se ha embarcado en la construcción de las Centrales Termoeléctricas de Punta Catalina, proyecto que consiste en la construcción de una Central Termoeléctrica con una capacidad de 720 MW, integrada por 2 unidades de 360 MW, cada una, para la generación de energía, a partir de la quema de carbón mineral pulverizado. El proyecto tiene un costo total de 2,000 millones de dólares de los cuales el Estado aportará, mediante financiamientos con bancos internacionales, el 94% de la deuda, y el resto será aportado por inversionistas privados. Este artículo tiene como objetivo analizar el impacto económico y regulatorio del proyecto.

**Palabras clave:** Central Termoeléctrica, República Dominicana, energía, Punta Catalina.

**ABSTRACT:** The Dominican State has embarked on the project of the Thermoelectric Power Plants of Punta Catalina. It consists of the construction of a Thermoelectric Power Plant with a capacity of 720 MW, consisting of 2 units of 360 MW each, for the generation of energy from the burning of pulverized coal. The project has a total cost of 2,000 million dollars, of which the State will contribute 94% of the debt through financing with international banks and the rest will be contributed by private investors. This article aims to analyze the economic and regulatory impact of the project.

**Key words:** Thermoelectric Power Plant, Dominican Republic, energy, Punta Catalina.

---

<sup>5</sup> Profesor de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Santiago, Recinto Santo Domingo. Autor para correspondencia: [alfonsomarmolejos@docente.utesa.edu](mailto:alfonsomarmolejos@docente.utesa.edu)

## **INTRODUCCIÓN**

El proyecto Punta Catalina consiste en la construcción de una Central Termoeléctrica con una capacidad de 720 MW, integrada por 2 unidades de 360 MW, cada una, para la generación de energía, a partir de la quema de carbón mineral pulverizado. El lugar está ubicado en Punta Catalina, Baní, en la costa sur de la República Dominicana. Se encuentra al sur de la Carretera 2 en Punta Catalina, Baní. La mayor parte del lugar está en tierras de cultivo.

La planta consistirá en una isla de potencia constituida por: (I) dos conjuntos de generadores de vapor a carbón pulverizado (calderas), (II) dos conjuntos de turbinas de vapor de alta presión con dos generadores eléctricos, con una capacidad de 360 MW cada una, (III) dos trenes de tratamiento de gases de combustión, (IV) una subestación de 345 kV, (V) una subestación de 138 kV, (VI) una Línea de Transmisión de 138 kV, (VII) un terminal portuario de recepción de carbón y diesel y (VIII) otros equipos auxiliares como: sistemas de diesel combustible para la partida, patio cubierto de almacenamiento de carbón y equipos de correas transportadoras de carbón a los silos de la caldera, equipo de manejo de cenizas de fondo y cenizas volantes, patio de cenizas para un año de capacidad, tratamiento de agua, toma y descarga de agua de mar, inyección de químicos, aire comprimido, circuito cerrado del ciclo de agua de enfriamiento, tratamiento de efluentes, sistema de combate contra incendios, entre otros.

El agua circulante de enfriamiento para los condensadores de superficie de las turbinas de vapor y para el sistema cerrado de agua de enfriamiento y los intercambiadores de calor, serán suministrados con agua de mar por la bomba de circulación de agua, instalada en la orilla, en ciclo abierto.

La planta está diseñada tomando en consideración la importancia, tanto de la eficiencia de esta, como del cumplimiento con los más altos estándares internacionales exigidos por instituciones financieras como el World Bank, IFC etc., en materia ambiental, a fin de asegurar la protección y preservación, tanto de la salud como de los ecosistemas existentes, garantizando la correcta gestión y desempeño ambiental.

## **IMPACTO ECONÓMICO**

El costo del proyecto de la Central Termoeléctrica Punta Catalina ronda alrededor de los 2,000 millones de dólares estadounidenses. Para cubrir esta enorme cifra, el Estado Dominicano ha financiado con diversas instituciones bancarias internacionales y se comenta que con algunas nacionales.

El Estado Dominicano aportaría el 35% del monto de la obra (700 US\$MM), el banco de Alemania Deutsche Bank aportaría el 27% (550 US\$MM), al igual que el Banco de Desenvolvimento Económico y Social de Brasil. La Compañía

Italiana de Crédito a la Exportación otorgaría un préstamo por 83 US\$MM para un 04% del monto total y el porcentaje restante (06%), unos 117 US\$MM. La CDEEE (2015) ha mencionado que está abierto para posibles inversionistas locales interesados en el proyecto. De esto, se puede deducir que el 94% del costo de la obra será asumido por el pueblo dominicano, pasando a ser una deuda pública.

Otro impacto económico de las centrales de Punta Catalina se vería reflejado en los Costos Marginales de Energía del Sistema. Con los precios de combustibles y con la demanda gestionada por las Empresas Distribuidoras de Electricidad (EDEs), el precio marginal de energía ronda por los 0.8 centsUS\$/kWh, equivalente al costo de producción de una central de motores de combustión interna operando con Fuel Oil.

Según el Programa de Largo Plazo 2016-2019, publicado por el Organismo Coordinador para el año 2018, ya estando en funcionamiento las centrales de carbón de Punta Catalina (720 MW), Proyecto Eólico Larimar (50 MW) de EGEHAINA y el cierre de ciclo de las centrales Los Minas (100 MW), el costo marginal de energía (sin techo) sería igual a 0.65 centsUS\$/kWh, para una reducción del 18%.

No obstante, esta reducción en el precio marginal de energía dependerá del crecimiento natural de la demanda y de la liberalización de la demanda, como ha anunciado el Gobierno, una vez entren en operación las plantas a carbón.

El gobierno ha mencionado que estas centrales tendrán contrato con las tres empresas distribuidoras de electricidad, y que el precio promedio de compra por contrato rondaría los 8 – 9 centavos de dólar el kilo-wattt hora. Bajo las condiciones actuales, el precio promedio de compra de las EDEs, ronda los 12 centavos de dólar por kilo-watts hora.

Esta reducción en el precio de compra por contrato, según el Gobierno, causaría un ahorro para las EDEs, que sería utilizado en las inversiones en las redes de distribución y control de pérdidas.

¿Qué señales económicas da el Estado a inversionistas privados con este proyecto? Al Estado invertir directamente en generación eléctrica, y realizar un proyecto de tanta magnitud (720 MW, cuando la demanda máxima medida del sistema es 2150 MW), arroja una mala señal para las inversiones privadas recién realizadas o que estaban en carpeta.

El impacto directo en la reducción de los precios del mercado Spot y en la repartición del pago por Potencia Firme, producto de la entrada de las centrales de Punta Catalina, provoca que las inversiones realizadas recientemente en generación por parte del sector privado obtengan una tasa de retorno mucho menor que la planificada al realizar el proyecto,

provocando pérdidas millonarias o, inclusive, la quiebra de estos proyectos. En cuanto a los proyectos en carpeta, esto provoca realizar nuevamente un análisis financiero para determinar la viabilidad de los mismos, debido al riesgo económico y regulatorio causado.

## **IMPACTO REGULATORIO**

El modelo regulatorio del sistema eléctrico en República Dominicana, implantado en el 2001 mediante la Ley General de Electricidad 125-01 y su Reglamento de Aplicación, rompe la verticalidad institucional que existía en el modelo anterior.

Esta Ley separa las actividades de la siguiente manera: Generación, creando competencia; Transmisión, como monopolio natural; Distribución, monopolio natural en área de concesión; EGEHID, como empresa de generación hidráulica; SIE, como regulador del mercado; CNE, como planificador del sistema; OC-SENI, como operador del mercado, y el CCE, como operador del sistema.

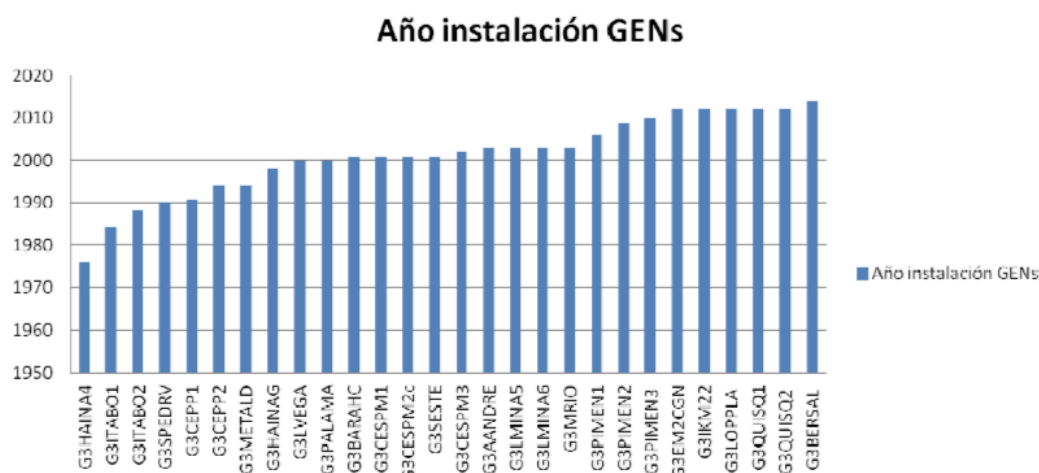
Siendo el Estado propietario de las tres empresas distribuidoras de electricidad, de la empresa de transmisión, de la generación hidráulica y, de manera indirecta, regulador del sector, realizar el proyecto de Punta Catalina pone en cuestionamiento la separación de las actividades del sector.

La historia ha mostrado que el nuevo modelo regulatorio no es del todo perfecto. Los incumplimientos de las obligaciones tanto del sector privado como por parte del Estado han creado lagunas regulatorias, faltas de inversión, faltas de pagos, deficiencias administrativas y otros problemas que afectan la economía del sector.

En países de la región como Venezuela, Bolivia y Ecuador han retornado desde el modelo de desregularización (Integración horizontal), al modelo de nacionalización (Integración vertical), debido al fracaso obtenido al no poder aplicar los principios básicos del modelo y los incumplimientos de ambas partes.

En el caso de República Dominicana, las inversiones privadas en generación, luego de la incorporación del nuevo modelo de regulación y los llamados "Contratos de Madrid", han estado estancadas y su crecimiento es mucho menor del esperado (figura 1).

Figura 1. Año de instalación de Centrales Eléctricas en operación.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 1, se observa que desde el año 2005, con la entrada de las centrales Pimentel 1 & 2, las inversiones en generación fueron nulas, hasta la entrada en el año 2012 de las centrales Quisqueya 1 y 2, Estrella del Mar II, Los Orígenes y el Parque Eólico Los Cocos, siendo en su mayoría centrales que utilizan FUEL OÍL como combustible para la operación. Otras centrales de tamaño pequeño han ingresado como Inca y Bersal. No obstante, otras centrales han salido del sistema como son: San Felipe, Estrella del Mar y Estrella del Norte.

Estas faltas de inversiones por parte del sector privado son motivadas por la falta de pago de parte de las EDES a los generadores ya instalados, la falta de institucionalidad, las grandes pérdidas de las EDES, la incertidumbre del marco regulatorio vigente y la falta de gestión por parte del Estado.

La demanda del Sistema Eléctrico Dominicano presenta un incremento anual de alrededor de un 4%. Con la potencia instaladas, actualmente, apenas se llega a cubrir la demanda recortada por las EDES, por lo que, con la baja inversión en generación por el sector privado, la demanda del sistema no podría ser cubierta en su totalidad, continuando los apagones por varias décadas.

Para cubrir este déficit, el Estado asumió su rol de proveedor de bienestar y se lanzó con el proyecto de Punta Catalina. Para que este proyecto tenga frutos a largo plazo, debe estar enlazado a la integración vertical de las actividades y proyectos adicionales de sanación de las EDES, reducción de pérdidas y mejoras de administración en las empresas de transmisión y EGEHID.

Durante las mesas de discusiones del Pacto Eléctrico, se llegó a debatir varias veces el tema de que el Estado desea crear la Empresa de Generación Dominicana (EGEDOM), donde el Estado crearía un Holding integrado por EGEHID, ETED, CDEEE y las EDES. Esta solución podría utilizarse de manera temporal, hasta que se logren los objetivos de estabilización de los precios del

mercado y control de pérdidas, de manera que el mercado vuelva a ser atractivo para las inversiones privadas.

## **CONCLUSIONES**

El Estado Dominicano se ha embarcado en el proyecto de las Centrales Termoeléctricas de Punta Catalina, que consiste en la construcción de una Central Termoeléctrica con una capacidad de 720 MW, integrada por 2 unidades de 360 MW, cada una, para la generación de energía a partir de la quema de carbón mineral pulverizado. El proyecto tiene un costo total de 2,000 millones de dólares de los cuales el Estado aportará, mediante financiamientos con bancos internacionales, el 94% de la deuda, y el resto será aportado por inversionistas privados.

Con la entrada en operación de estas centrales, se espera que el precio marginal del sistema se reduzca en casi un 20%, provocando un ahorro en las compras de energía de las EDES, y la disminución del subsidio eléctrico por parte del Estado. Este ahorro sería utilizado para mejorar las redes de transmisión y distribución, el control de pérdidas y mejoras en la calidad del servicio.

La intervención del Estado en la generación eléctrica provocaría un cambio regulatorio del sector e incertidumbres dentro del sector privado. Las inversiones realizadas por parte del sector privado en los últimos años se verían afectadas de manera directa por la baja del precio marginal y la reducción del pago por potencia.

En países como Bolivia, Paraguay, Ecuador y Venezuela, el modelo de integración vertical por parte del Estado ha mejorado la calidad del servicio y del suministro, luego de los fallos del nuevo modelo regulatorio. En República Dominicana, podríamos tener este retorno al modelo antiguo, hasta que las condiciones del mercado sean nuevamente atractivas para la participación de empresas privadas en el sector.

## **BIBLIOGRAFÍA**

CDEEE (2015). *Informe de Desempeño*. Santo Domingo, CDEEE.

Ley General de Electricidad 125-01. Santo Domingo, República Dominicana.

*Recibido: 18/01/2018*

*Reenviado: 09/02/2018*

*Aceptado: 21/03/2018*

*Sometido a evaluación de pares anónimos*



**Citar este artículo como:** Then, R. & Marte, E. (2018). Modelo matemático para determinación del punto quiescente en polarizaciones con FET. *Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería*, 3(3), 32-40.

## MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINACIÓN DEL PUNTO QUIESCENTE EN POLARIZACIONES CON FET

**Reymi Then<sup>6</sup>**

Universidad Tecnológica de Santiago

**Edwin Marte<sup>7</sup>**

Universidad Tecnológica de Santiago

**RESUMEN:** En este artículo se presenta un modelo matemático que permite la determinación del punto quiescente de una polarización dada mediante el uso de artificios matemáticos que, por medio de la utilización de las ecuaciones, que rigen tanto el comportamiento del transistor (FET) como de la polarización utilizada, permite la obtención de los voltajes y corrientes que estarán manejando el transistor bajo esa polarización. En el diseño de amplificadores las polarizaciones permiten distintos modos de interacción entre el transistor y los demás elementos del circuito y la selección del punto quiescente, que es el punto donde converge el comportamiento del transistor con el comportamiento de los demás dispositivos. Es de suma importancia, ya que sin importar la polarización utilizada, el punto Q es lo que permitirá la realización de un buen amplificador. Este método se propone como una herramienta precisa que permita a estudiantes y profesionales de la electrónica realizar cálculos y diseños precisos por medio de procedimientos puramente matemáticos, que contemplan todo el circuito amplificador como una sola ecuación, mediante la cual es posible determinar el punto de operación para cualquier polarización dada.

**Palabras clave:** quiescente, MOSFET, polarización, ecuación, polinomio.

**ABSTRACT:** This article presents a mathematical model that allows the determination of the quiescent point of a given polarization through the use of mathematical devices, which by means of the use of the equations that govern both the behavior of the transistor (FET) and the polarization used, allows obtaining the voltages and currents that the transistor will be handling

---

<sup>6</sup> Profesor de la Universidad Tecnológica de Santiago. Investigador del Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Avanzadas y Control Inteligente (GITECI-UTESA). Autor para correspondencia: reymithen@docente.utesa.edu

<sup>7</sup> Profesor de la Universidad Tecnológica de Santiago e investigador del Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Avanzadas y Control Inteligente (GITECI-UTESA).

under that polarization. In the design of amplifiers the polarizations allow different modes of interaction between the transistor and the other elements of the circuit and the selection of the quiescent point, which is the point where the behavior of the transistor converges with the behavior of the other devices, is of utmost importance since regardless of the polarization used the Q point is that it will allow the realization of a good amplifier. This method is proposed as an accurate tool that allows students and professionals in electronics to perform accurate calculations and designs by means of purely mathematical procedures that contemplate the entire amplifier circuit as a single equation, through which it is possible to determine the point of operation for any given polarization.

**Key words:** quiescent, MOSFET, polarization, equation, polynomial.

## INTRODUCCIÓN

Los transistores son la base de la electrónica moderna y tienen muchas aplicaciones en el diseño de circuitos electrónicos. Una de sus aplicaciones más útil e interesante es como amplificador de pequeñas señales, donde la función de este consiste en tomar a su entrada una señal de baja amplitud y producir a su salida otra señal de mayor amplitud, pero manteniendo la forma y frecuencia de la señal de origen, y se utilizan en casi todos los sistemas electrónicos (Rashid, 2000). Pero para que un amplificador de pequeñas señales pueda tener un funcionamiento correcto se debe colocar el punto Q en una zona conveniente de operación, para que el transistor pueda hacer uso de la corriente y el voltaje y así pueda replicar y aumentar la señal de entrada.

En los métodos más populares para la determinación del punto Q se utilizan procedimientos gráficos que mediante la descripción del comportamiento del transistor (curva de transferencia) y de la polarización (recta de polarización o de carga) permitan identificar donde convergen las gráficas de estos, siendo este lugar el punto Q o punto de operación (Boylestad y Nashelsky, 2009). Cabe destacar que estos métodos gráficos son una determinación aproximada del punto de operación, lo cual para cálculos de diseño de precisión no son los más convenientes. Debido a esto, se requiere la utilización de un método que arroje un resultado preciso que no esté sujeto a la interpretación del diseñador, y para estos fines debemos acudir a un método matemático como el que en este artículo presentamos.

## ANTECEDENTES

El rol de un ingeniero en electrónica es el diseño y desarrollo de dispositivos electrónicos que tengan una funcionalidad adecuada para dar solución a los

problemas y necesidades del mundo actual (Rashid, 2000), razón por la cuál, a la hora de crear una tarjeta electrónica, esta debe ser lo más precisa posible para poder brindar un producto de calidad y con una alta eficiencia operativa. Para ello se requieren procedimientos de diseño sumamente precisos y confiables que permitan la realización de un diseño de calidad. Es común cuando se acude a la literatura sobre temas relacionados, encontrar propuestas gráficas para la determinación del punto de operación. Debido a esto, existen pocas opciones para el estudio de métodos matemáticos que permitan el mismo análisis, por tal razón, con este trabajo se pretende desarrollar un modelo matemático que sirva de referencia a estudiantes e ingenieros interesados en el análisis de las polarizaciones y la determinación del punto quiescente en polarizaciones con FET.

## METODOLOGÍA

El modelo matemático propuesto en este artículo será presentado por medio de un ejemplo, lo que permitirá obtener el punto de operación para dicho circuito. El circuito consistirá en una polarización por división de voltaje con un transistor MOSFET decremental de canal N, como el que se muestra en la figura 1. Partiendo de este circuito, se puede determinar el voltaje *gate source* de operación ( $V_{GSQ}$ ) y por medio de este, se puede encontrar la corriente *drain* de operación ( $I_{DQ}$ ), para luego calcular el voltaje de operación para la resistencia del *drain* ( $V_{RD}$ ), para la resistencia del *source* ( $V_{RS}$ ) y para el voltaje en los terminales *drain source* ( $V_{DS}$ ) del transistor. Pero para todo esto, primero se debe realizar un análisis matemático de la red de entrada del circuito y obtener la ecuación que controla dicha entrada, de tal modo que aplicando la ley de voltaje de Kirchoff en la entrada del circuito de la figura 1 se pueda obtener  $V_{GSQ}$  (Hayt et al., 2002):

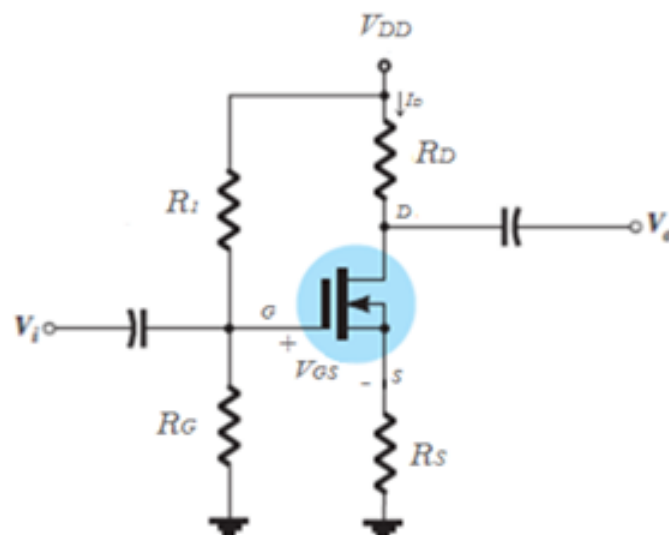


Figura 1

$$-V_{RG} + V_{GSQ} + V_{RS} = 0$$

$$V_{GSQ} = V_{RG} - V_{RS}$$

Utilizando los valores de los dispositivos del circuito de la figura 2 y debido a que la corriente de gate del transistor es cero, se puede asumir que  $R_1$  y  $R_G$  están en serie (Boylestad y Nashelsky, 2009) y, por ende, se puede determinar  $V_{RG}$  como se muestra a continuación:

$$V_{RG} = \frac{V_{DD} \times R_G}{R_G + R_1} = \frac{18V \times 15M\Omega}{15M\Omega + 91M\Omega} = 2.547V$$

El en el caso de  $V_{RS}$  no se puede determinar aún, debido a que depende de la corriente  $I_{DQ}$  y aun no se conoce. Así, se debe dejar este voltaje expresado mediante la ley de Ohm (Hayt et al., 2002).

$$V_{GSQ} = 2.547V - (400\Omega \times I_{DQ})$$

Como se puede evidenciar “esta es una función lineal y la grafica de la función consiste en una línea recta” (Steiner, 2005: 32) y se puede observar la descripción de esta en la gráfica 1.

En este punto parecería que la ecuación posea dos variables ( $V_{GSQ}$  e  $I_{DQ}$ ) y no se puede tener una solución sin conocer una u otra variable, pero aquí es donde se acude a la ecuación del MOSFET (ecuación de William Shockley), la cual rige el comportamiento del transistor (Boylestad y Nashelsky, 2009):

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right)^2$$

Este tipo de ecuación “es una función cuadrática y la gráfica de la función consiste en una curva” (Steiner, 2005: 33). Se puede observar la descripción de esta en la gráfica 1.

Y debido a que “una ecuación es una igualdad entre dos expresiones” (Roblero et al., 2014: 44), se utiliza para sustituir la variable  $I_{DQ}$  por la siguiente:

$$V_{GSQ} = 2.547V - (400\Omega \times (I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right)^2))$$

Ahora existe una ecuación con tres incógnitas, de las cuales dos de ellas son constantes propias del MOSFET y proporcionadas por el fabricante. Entonces, del circuito en análisis se aprecia que  $V_P = -3.5V$  e  $I_{DSS} = 12mA$ . De esta manera, la ecuación queda de la siguiente manera:

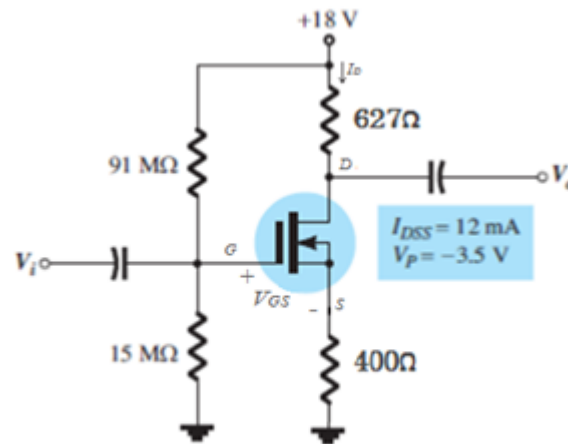


Figura 2

$$V_{GSQ} = 2.547V - (400\Omega \times (12mA(1 - \frac{V_{GSQ}}{-3.5V}))^2)$$

Si resolvemos algunas operaciones, tenemos:

$$V_{GSQ} = 2.547V - (4.8V(1 - (-0.2857V_{GSQ}))^2)$$

$$V_{GSQ} = 2.547V - (4.8V(1 + 0.2857V_{GSQ})^2)$$

Ahora existe un binomio al cuadrado  $(1 + 0.2857 V_{GSQ})^2$  del tipo  $(a+b)^2$  que se debe resolver, donde la solución de este es  $a^2+2ab+b^2$  (Steiner, 2005), de tal modo que aparece lo siguiente:

$$V_{GSQ} = 2.547V - (4.8V(1 + (2 \times 0.2857V_{GSQ}) + 0.0816 V_{GSQ}^2))$$

Al resolver algunas operaciones, se obtiene:

$$V_{GSQ} = 2.547V - (4.8V(1 + 0.5714V_{GSQ} + 0.0816V_{GSQ}^2))$$

Multiplicando y acomodando los términos en paréntesis, se obtiene:

$$V_{GSQ} = 2.547V - 0.39168V_{GSQ}^2 - 2.74272V_{GSQ} - 4.8V$$

Al despejar todo y ordenar, se aprecia lo siguiente:

$$0.39168V_{GSQ}^2 + 2.74272V_{GSQ} + V_{GSQ} + 4.8V - 2.547V = 0$$

$$0.39168V_{GSQ}^2 + 3.74272V_{GSQ} + 2.253V = 0$$

Se observa en la ecuación la presencia de un polinomio de segundo grado  $(0.39168V_{GSQ}^2 + 3.74272V_{GSQ} + 2.253V)$  de la forma  $ax^2+bx+c$  (Roblero et al., 2014), la cuál se resuelve por medio de la formula general:

$$V_{GSQ} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (\text{Roblero et al., 2014})$$

Se sustituye cada variable de la fórmula por su valor correspondiente, quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$V_{GSQ} = \frac{-(3.74272) \pm \sqrt{(3.74272)^2 - 4(0.39168)(2.253)}}{2(0.39168)}$$

El siguiente paso consiste en resolver la raíz y multiplicar el divisor:

$$V_{GSQ} = \frac{-3.74272 \pm \sqrt{10.4677}}{2(0.39168)}$$

$$V_{GSQ} = \frac{-3.74272 \pm 3.2353}{2(0.39168)}$$

$$V_{GSQ} = \frac{-3.74272 \pm 3.2353}{0.7832}$$

Ahora, se procede aplicando el signo más (+) para poder encontrar la solución:

$$V_{GSQ} = \frac{-0.50742}{0.7832}$$

$$V_{GSQ} = -0.6479 \text{ V}$$

Este resultado obtenido corresponde al valor del voltaje en los terminales *gate source* del MOSFET bajo las condiciones presentes en la figura 2 (la polarización) y este valor es el que permitirá determinar los demás voltajes y las corrientes del circuito.

Si se sustituye el valor de  $V_{GSQ}$  en la ecuación de Shockley se obtiene, entonces, la corriente  $I_{DQ}$  del circuito y con esta los voltajes de las resistencias y el voltaje *drain source* de operación ( $V_{DSQ}$ ) del transistor:

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right)^2$$

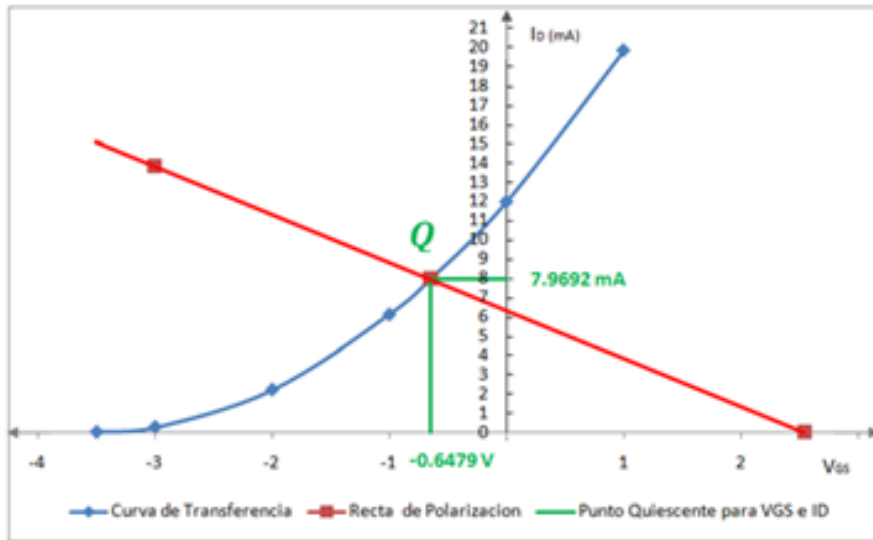
$$I_{DQ} = 12 \text{ mA} \left(1 - \frac{-0.6479 \text{ V}}{-3.5 \text{ V}}\right)^2$$

$$I_{DQ} = 7.9684 \text{ mA}$$

“El punto donde las dos curvas se cortan es la solución común de la configuración, comúnmente conocido como punto de operación o *quiescente*” (Boylestad y Nashelsky, 2009: 414), de tal modo que el voltaje  $V_{GSQ}$  e  $I_{DQ}$  son los valores correspondientes a la solución del circuito.

La gráfica 1 es el resultado de un análisis de la polarización en la entrada, mediante la cual se muestra geoméricamente el punto Q y los valores de  $V_{GSQ}$  e  $I_{DQ}$  resultantes de la polarización analizada. La curva de transferencia la describe el comportamiento del MOSFET decremental y la línea recta la

describe la recta de polarización, siendo el lugar de convergencia de estas dos graficas el punto quiescente de dicha polarización.



**Grafica 1**

Utilizando la corriente  $I_{DQ}$  se puede calcular el voltaje de la resistencia de *drain* ( $V_{RD}$ ) que será igual a:

$$V_{RD} = 7.9684\text{mA} \times 627\Omega$$

$$V_{RD} = 4.99 \text{ V}$$

Como la corriente  $I_s$  es la misma que  $I_D$  (Boylestad y Nashelsky, 2009), el voltaje de la resistencia del source ( $V_{RS}$ ) será igual a:

$$V_{RS} = 7.9684\text{mA} \times 400\Omega$$

$$V_{RS} = 3.187 \text{ V}$$

El voltaje *drain source* de operación ( $V_{DSQ}$ ) del transistor se determina aplicando la ley de voltaje de Kirchoff en su salida:

$$-V_{DD} + V_{RD} + V_{DSQ} + V_{RS} = 0$$

Al despejar  $V_{DSQ}$  queda:

$$V_{DSQ} = V_{DD} - V_{RD} - V_{RS}$$

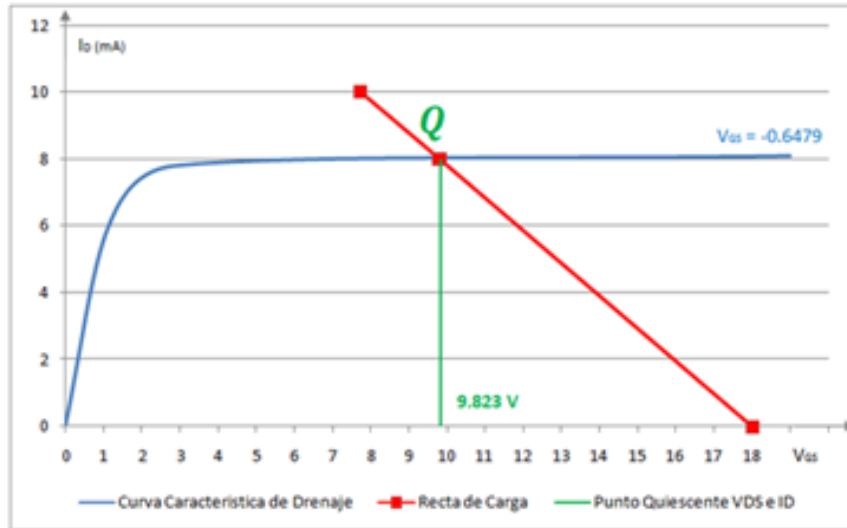
Luego de sustituir cada variable por su valor correspondiente, se obtiene:

$$V_{DSQ} = 18 \text{ V} - 4.99 \text{ V} - 3.187 \text{ V}$$

$$V_{DSQ} = 9.823 \text{ V}$$

La gráfica 2 es el resultado de un análisis de la polarización en la salida, mediante la cuál se muestra geoméricamente el punto Q y los valores de

$V_{GSQ}$ ,  $V_{DSQ}$  e  $I_{DQ}$  resultantes de la polarización analizada. La curva característica de drenaje la describe el comportamiento del MOSFET decremental y la línea recta de carga la describe la polarización, siendo el lugar de convergencia de estas dos gráficas el punto quiescente de dicha polarización.



**Grafica 2**

## RESULTADOS

La determinación del punto Q utilizando el método propuesto en este artículo ha evidenciado la eficiencia y precisión que brinda a la hora de determinar las condiciones de operación para un transistor bajo una polarización dada. En las gráficas 1 y 2 se muestran las soluciones gráficas del circuito analizado (punto Q) y se puede observar que este no arroja un valor preciso, si no que el valor resultante dependerá en gran medida de la calidad y calibración de la gráfica, así como de la apreciación del diseñador, por lo cual “se enfatizan las aproximaciones gráficas como una ayuda conceptual en la solución de problemas de análisis y diseño” (Schilling y Belove, 1993: 273) y, debido a que “el diseño implica un reto puesto que se debe seleccionar la mejor respuesta a partir de una amplia gama de respuestas aceptables” (Rashid, 2000: 19), los resultados obtenidos mediante el método matemático (valores de la gráfica en verde) son la mejor respuesta para la solución del circuito, ya que son de manera precisa los valores requeridos.

## CONCLUSIONES

Luego de analizadas las ecuaciones propias del comportamiento del transistor y de la polarización utilizada, se pudo obtener una ecuación matemática que en su cuerpo integrara estos dos comportamientos totalmente distintos, que en el caso del transistor corresponde a una ecuación cuadrática (curva azul



en la gráfica 1 y 2) y en el caso de la polarización a una ecuación lineal (línea roja en a gráfica 1 y 2), quedando como resultado una única ecuación que contempla ambos comportamientos, la cuál luego de su proceso de reducción mediante factorización y otros artificios matemáticos, ha proporcionado un resultado específico para la determinación del punto quiescente, el cuál es el lugar geométrico que permite conocer los valores de corriente y voltaje (valor en verde de la gráfica 1 y 2), bajo los cuales se encuentra operando todo el circuito para esa polarización.

## **BIBLIOGRAFIA**

Boylestad, R. y Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*, México: Pearson.

Hayt, W., Kemmerly, J. y Durbin, S. (2002). *Análisis de Circuitos en Ingeniería*, México: McGraw-Hill.

Rashid, M. (2000). *Circuitos Microelectrónicas: Análisis y Diseño*, México: Thomson.

Robledo, V., Aguilar, A. y Martínez, L. (2014). *Introducción a las Matemáticas: Ejercicios y Problemas*, México: Patria.

Steiner, E. (2005). *Matemáticas para las Ciencias Aplicadas*. España: Reverte.

Schilling, D. y Belove, C. (1993). *Circuitos Electrónicos: Discretos e Integrados*, España: McGraw-Hill.

Recibido: 15/04/2018

Reenviado: 17/04/2018

Aceptado: 23/04/2018

Sometido a evaluación de pares anónimo



**Citar este artículo como:** Marte, E. & Then, R. (2018). Caracterización de disipadores térmicos con material desconocido para protección de dispositivos electrónicos. *Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería*, 3(3), 42-53.

## **CARACTERIZACIÓN DE DISIPADORES TÉRMICOS CON MATERIAL DESCONOCIDO PARA PROTECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS**

**Edwin Marte<sup>8</sup>**

Universidad Tecnológica de Santiago

**Reymi Then<sup>9</sup>**

Universidad Tecnológica de Santiago

**RESUMEN:** En el desarrollo, tanto de componentes electrónicos como de circuitos electrónicos, es responsabilidad del diseñador, proteger estos dispositivos y mantenerlos dentro de un rango de operación aceptable. Uno de los parámetros más críticos es disipar el calor que se genera en su interior. Para disipar el calentamiento se pueden colocar materiales que funcionen como disipadores de calor. En República Dominicana, en las aulas, se puede teorizar con mucha eficacia los cálculos para el disipador de calor óptimo. En la práctica se dificulta conseguir disipadores con parámetros conocidos que cumplan con los requerimientos de diseño, quedando al diseñador solo la opción de importar disipadores con datos conocidos de un fabricante externo. El presente trabajo presenta la base teórica para modelar y obtener de un material de parámetros térmicos desconocidos, por medio de mediciones experimentales, la data necesaria para así poder proteger correctamente los dispositivos bajo prueba.

**Palabras clave:** electrónica, potencia, disipador, temperatura, resistencia, modelado.

**ABSTRACT:** In the development of both electronic components and electronic circuits it is the responsibility of the designer to protect these devices and keep them within an acceptable range of operation. One of the most critical parameters is to dissipate the heat that is generated inside them. To dissipate

---

<sup>8</sup> Profesor de la Universidad Tecnológica de Santiago. Investigador del Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Avanzadas y Control Inteligente (GITECI-UTESA). Autor para correspondencia: edwinmarte@docente.utesa.edu

<sup>9</sup> Profesor de la Universidad Tecnológica de Santiago e investigador del Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Avanzadas y Control Inteligente (GITECI-UTESA).

the heating, materials can be used so they can work as heat sinks. In the Dominican Republic, in the classrooms, we can theorize with great efficiency the calculations for the optimal heat sink. In practice it is difficult to get heatsinks with known parameters that meet the design requirements, leaving the designer only the option to import heatsinks with known data from an external manufacturer. This paper presents the theoretical basis of how to model and obtain from a material of unknown thermal parameters, by means of experimental measurements, the necessary data to be able to protect correctly the devices under test.

**Key words:** electronics, power, heatsink, temperature, resistance, modeling.

## INTRODUCCIÓN

El estudio térmico de los dispositivos de potencia es fundamental para un rendimiento óptimo de los mismos. Esto es debido a que, en todo semiconductor, el flujo de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor. Debido al tamaño, relativamente reducido de los transistores y otros semiconductores de potencia, en general no son capaces de disipar toda la potencia que producen sin calentarse excesivamente, con el consiguiente riesgo de destrucción. Por este motivo es necesario acompañarlos de algún elemento que facilite la eliminación de esa potencia. Tal es la función del disipador (*heat sink*).

El disipador de calor, en los circuitos electrónicos, es una pieza clave, sobre todo, si se trata de electrónica de potencia, donde las elevadas corrientes por los semiconductores pueden causar su destrucción. Tanto así, que, en muchas aplicaciones, la potencia máxima de un circuito de potencia está limitada por el diseño térmico del Sistema.

Es por ello que la evacuación del calor generado en el semiconductor es una cuestión de gran importancia para asegurar el correcto funcionamiento y duración del dispositivo. Hay una gran variedad de disipadores de calor en cuanto a su geometría. Dependiendo de las prestaciones que se le exijan, puede estar formado por un solo metal o una aleación de varios de ellos, aunque, en general, los más comunes son de aluminio, por su elevada conductividad, facilidad de fabricación y un coste relativamente bajo.

En este trabajo se realiza un experimento para caracterizar los disipadores de calor y su resistencia térmica bajo condiciones de convección natural. Se han utilizado pedazos de perfiles de aluminio de diferentes longitudes que se consiguen fácilmente en tiendas y ferreterías. Por medio del experimento, se consiguió, a la vez de identificar características de semiconductores de potencia, avalar el funcionamiento térmico de los semiconductores de potencia.

## MARCO TEÓRICO

La capacidad de evacuación del calor al medio ambiente podrá variar según el tipo de cápsula, pero en cualquier caso será demasiado pequeña, por lo que necesita una ayuda adicional para transferir el calor disipado mediante un dispositivo de mayor volumen y superficie, conocido como disipador de calor, el cuál hace de puente para evacuar el calor de la cápsula al medio ambiente.

En electrónica de potencia, la refrigeración juega un papel muy importante en la optimización del funcionamiento y vida útil del semiconductor de potencia. La experiencia demuestra que el calor producido por un foco calorífico se propaga por todo el espacio que lo rodea. Esta transmisión del calor puede producirse de tres formas (Martínez, 2014; Roldán, 2016):

- **Conducción:** es el principal medio de transferencia de calor. Se realiza por la transferencia de energía cinética entre moléculas, es decir, se transmite por el interior del cuerpo estableciéndose una circulación de calor. La máxima cantidad de calor que atravesará dicho cuerpo será aquella para la cuál se consigue una temperatura estable en todos los puntos del cuerpo.
- **Convección:** el calor de un sólido se transmite mediante la circulación de un fluido que le rodea y este lo transporta a otro lugar; a este proceso se le llama convección natural. Si la circulación del fluido está provocada por un medio externo, se denomina convección forzada.
- **Radiación:** el calor se transfiere mediante emisiones electromagnéticas que son irradiadas por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor a cero grados Kelvin. El estado de la superficie influye en gran medida en la cantidad de calor radiado. Las superficies mates son más favorables que las pulidas y los cuerpos negros son los de mayor poder de radiación. Por este motivo, se efectúa un ennegrecimiento de la superficie radiante. La transferencia de calor por radiación no se tiene en cuenta puesto que a las temperaturas a que se trabaja, ésta es despreciable.

Varios estudios se han realizado en el área con diferentes aplicaciones como el de Saldaña *et al.* (2017), donde midieron la transferencia de calor enfriando con líquidos. Comprobaron que, en el estado más crítico, siendo el caso de un disipador de calor sin aletas, sometidos a condiciones máximas de flujo de calor, es capaz de mantener condiciones de trabajo por debajo de las permisibles. Esto, en un disipador de calor por aire, no será posible ya que en éstos, el fluido refrigerante tiene una capacidad de absorción de calor mil veces menor a la del agua.

También se puede mencionar el trabajo de Cahue y Camacho (2014), donde se diseñó un disipador de calor para aplicaciones de iluminación LED. Se desarrolló y se resolvió numéricamente un modelo matemático para

representar, lo más general posible, todos los fenómenos de transporte que ocurren en lámparas LED de bulbo durante su operación. Se utilizó el método de Ashby para seleccionar los materiales óptimos para constituir el disipador de calor. Se demostró que el modelo matemático es predictivo al comparar los resultados teóricos con resultados experimentales y puede ser utilizado como una herramienta útil en el diseño y análisis de nuevas fuentes de iluminación de estado sólido, reduciendo de este modo el trabajo de ensayo y error, muy utilizado hoy en día en el diseño de este tipo de dispositivos.

En el caso de Saavedra *et al.* (2015), realizaron un estudio donde se muestra la realización de un modelo matemático que permite determinar la eficiencia de un disipador de calor formado por aletas que, aunque es una propuesta más compleja y diferente a la presentada en esta investigación, utiliza la misma base teórica.

Lo más importante a resaltar de todos los trabajos e investigaciones, que tienen que ver con disipación aplicados a la generación o consumo de potencia, es que en los dispositivos electrónicos, el paso de la corriente eléctrica produce un aumento de la temperatura de la unión ( $T_j$ ). Si ésta se quiere mantener a un nivel seguro, se debe evacuar al exterior la energía calorífica generada por la unión. Para que se produzca un flujo de energía calorífica de un punto a otro, debe existir una diferencia de temperatura. El calor pasará del punto más caliente al más frío, pero aparecen factores que dificultan este paso. A estos factores se les denomina resistencias térmicas. Para que un semiconductor disipe la potencia adecuada, se debe mantener la temperatura de la unión por debajo del máximo indicado por el fabricante.

## **METODOLOGÍA**

Para obtener los resultados se ha diseñado un experimento de tres partes:

- Caracterización de parámetros térmicos de un regulador de voltaje lineal.
- Caracterización de un disipador de un material de características térmicas desconocida.
- Prueba y predicción de resultados en otro disipador de dimensiones diferentes.

### **Caracterización de parámetros térmicos de un regulador de voltaje lineal**

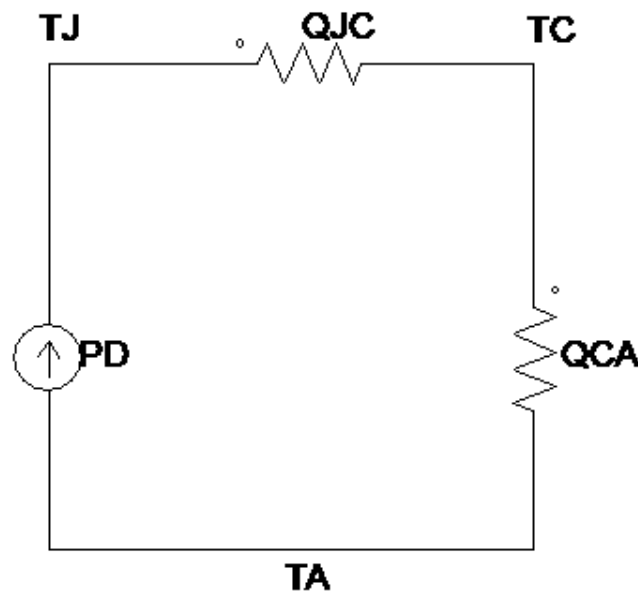
En esta parte se diseña un circuito electrónico que disipa una cantidad de potencia conocida y controlada que, además, produce una cantidad de calor específica bajo las condiciones de medida. En este experimento no se utiliza ningún tipo de disipador de calor. Este circuito bajo prueba se utiliza para caracterizar de forma experimental los parámetros térmicos del dispositivo bajo prueba, que son relevantes para las pruebas posteriores.

El circuito diseñado, por su facilidad, es un regulador de voltaje lineal con circuito integrado 7812. El 7812 es un circuito integrado regulador de 12V y de corriente máxima de 1Amp a su salida. El encapsulado es del tipo TO220. A este circuito se le ha colocado una carga resistiva de 25 ohm fija. En las hojas de datos genéricas se han obtenido los parámetros de resistencias térmica para realizar los cálculos iniciales y comparar con los experimentales.

Este circuito es medido sin disipador y se puede modelar como el circuito de la figura 1 y figura 2, que son los que modelan los parámetros térmicos básicos suministrados por los fabricantes. De estas figuras se puede inferir los siguientes parámetros:

- $T_J$  = Temperatura de la unión del Dispositivo
- $T_A$  = Temperatura ambiente
- $T_C$  = Temperatura de Encapsulado
- $\theta_{JC}$  = Resistencia Térmica Unión Encapsulado
- $\theta_{JA}$  = Resistencia Térmica Unión Ambiente
- $\theta_{CA}$  = Resistencia Térmica Encapsulado Ambiente

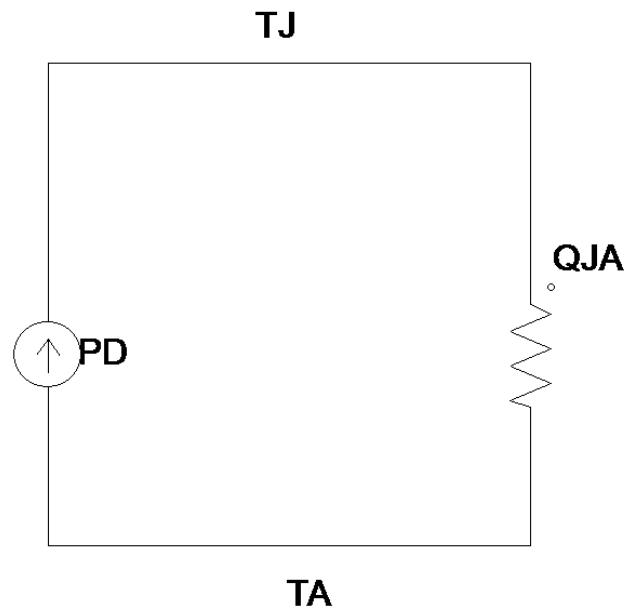
Figura 1. Modelo de Circuito térmico sin disipador



Fuente: Elaboración propia.

Aplicando teoría de circuitos fácilmente se puede obtener las relaciones entre los diferentes parámetros y, a la vez, encontrar el valor de la temperatura máxima de la unión del dispositivo bajo prueba, como se indica en las ecuaciones 1, 2 y 3 (Miyara, 2006; Pérez, 2014).

Figura 2. Modelo de Circuito térmico sin disipador



Fuente: Elaboración propia.

$$\bullet \quad T_J = PD (\theta_{JC} + \theta_{JA}) + T_A \quad (1)$$

$$\bullet \quad T_J = PD \theta_{JC} + T_C \quad (2)$$

$$\bullet \quad T_J = PD \theta_{JA} + T_A \quad (3)$$

Esto genera un sistema de tres ecuaciones con varias variables, y resolviendo se obtiene el resultado en la ecuación 4, que es un valor fiable de la temperatura de la unión actual del dispositivo bajo prueba dependiente de todos los parámetros térmicos del circuito.

$$\bullet \quad T_J = (2 \theta_{JC} + \theta_{CA} + \theta_{JA}) PD/3 + 2/3 T_A + 1/3 T_C \quad (4)$$

$$\bullet \quad \theta_{JA} = (T_J - T_A) / PD \quad (5)$$

$$\bullet \quad \theta_{JC} = (T_J - T_C) / PD \quad (6)$$

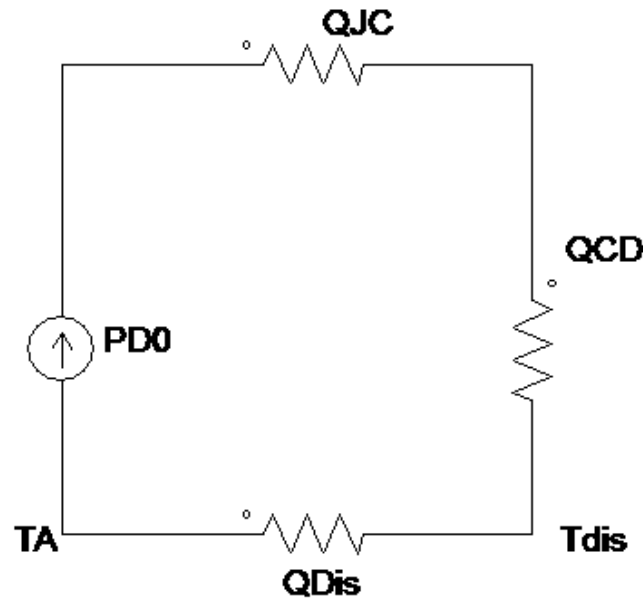
$$\bullet \quad \theta_{CA} = (T_C - T_A) / PD \quad (7)$$

### **Caracterización de un disipador de un material de características térmicas desconocida**

En esta fase del experimento se coloca el dispositivo en el circuito de la primera parte, en las mismas condiciones de prueba, con un trozo de material o disipador desconocido. Aquí, se comparan los resultados de la primera parte utilizando los valores de caracterización del dispositivo y esto sirve para caracterizar el material utilizado como disipador.



Figura 3. Modelo de Circuito térmico con disipador



Fuente: Elaboración propia.

El modelo que representa este circuito se presenta en la figura 3, donde:

- $\theta_{CD}$  Resistencia Térmica entre Encapsulado y Disipador
- $\theta_{dis}$  Resistencia térmica del Disipador
- $\theta_{CA} = (TC - TA) / PD$

Reorganizando las ecuaciones del modelo eléctrico de la figura 3, luego de medidos los diferentes parámetros, se puede encontrar la resistencia térmica del disipador que se ha utilizado en este experimento, para la longitud dada en 8 (Miyara, 2006).

$$\bullet \theta_{dis} = [(TC - TA) / PD] - \theta_{CD} \quad (8)$$

### Prueba y predicción de resultados en otro disipador de dimensiones diferentes

Aquí se utiliza un pedazo del mismo material, de una longitud diferente a la utilizada en la segunda parte. Este último experimento repite las condiciones de laboratorio y de polarización anteriores, con la diferencia que ahora realizamos los cálculos para predecir los valores de temperatura del dispositivo utilizando este nuevo disipador. Se comparan los resultados por mediciones prácticas.

$$\bullet \theta_{dis} (\text{Nuevo}) = (\theta_{dis} \text{ Lref} ) / \text{Lnuevo} \quad (9)$$

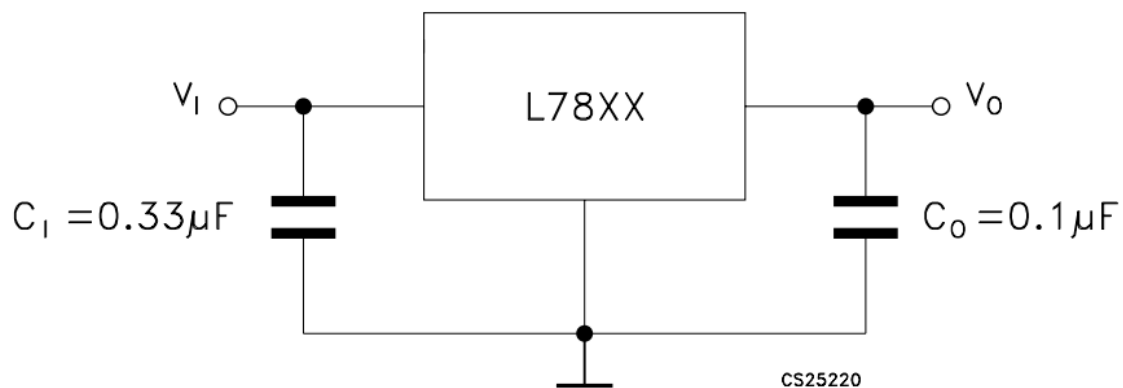
Para comparar los resultados, lo primero que se debe realizar es estimar los parámetros de resistencia térmica del disipador nuevo, como en 9, donde se utilizará el valor encontrado en 8 y los valores de longitudes del disipador caracterizado previamente (Lref.) y el del nuevo (Lnuevo).

## RESULTADOS

### Pruebas de dispositivo sin disipador

Se diseñó el regulador de voltaje lineal con circuito integrado 7812 con una carga resistiva de 25 ohm fija. Se obtienen parámetros de resistencias térmicas de hoja de datos (STMicroelectronics, 2003), para realizar los cálculos iniciales y comparar con los experimentales.

Figura 4. Circuito básico de conexión de reguladores lineales



Fuente: Hoja de Datos del Fabricante ST

El circuito ensamblado se asemeja al de la figura 4. Los valores de la hoja de datos para  $\theta_{JC}$  y  $\theta_{JA}$  son de  $50 \text{ }^\circ\text{C/W}$  y  $3 \text{ }^\circ\text{C/W}$  respectivamente (STMicroelectronics, 2003). Las condiciones de prueba del circuito son  $V_i$  es 15V, la Resistencia de carga  $R$ , 25 Ohm y la temperatura ambiente  $T_A$ ,  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Se obtuvo el valor de potencia de disipación del dispositivo (PD), luego de haber medido todos los parámetros de forma experimental, en 1.25 W y se midió la temperatura del encapsulado ( $T_C$ ) en  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Luego, utilizando las ecuaciones 4, 5 y 6, se puede obtener los parámetros de operación y resistencias térmicas del dispositivo:

- $T_J = 77.3 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\theta_{JA} = 44.27 \text{ }^\circ\text{C/W}$
- $\theta_{JC} = 5.86 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Para comprobar estos valores de la figura 3, se puede obtener la ecuación 10, donde se puede encontrar el valor de temperatura del encapsulado y contrastar con el medido.

- $T_C = T_J - PD \theta_{JC} \quad (10)$

Utilizando la ecuación 9,  $T_C = 77.3 - 1.25 (5.86) = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , que nos genera un valor igual al medido de forma experimental.

## Pruebas con Disipador desconocido

En esta etapa del trabajo, se montó el mismo circuito bajo las mismas condiciones de operación anteriores, añadiéndole un trozo de metal de características térmicas desconocidas que servirá como disipador. El modelo que representa este circuito se muestra en la figura 3.

### Condiciones de experimento

- $T_{ref}$  = Trozo de Aluminio de Longitud de 6.8 cm
- $T_C = 46 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_A = 22 \text{ }^\circ\text{C}$
- $P_D = 1.25 \text{ W}$
- $\theta_{JC} = 5.86 \text{ }^\circ\text{C/W}$
- $\theta_{JA} = 44.27 \text{ }^\circ\text{C/W}$

### caracterización del disipador

Utilizando las ecuaciones 7 y 8, se genera  $\theta_{CA}$  y  $\theta_{dis}$ , donde  $\theta_{CA} = (46 - 22) / 1.25 = 38.4 \text{ }^\circ\text{C/W}$  y  $\theta_{dis} = [(46-22)/1.25] - 1 = 18.2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . El valor para  $\theta_{CD}$  se ha fijado en  $1 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , partiendo de la tabla en LCADABA (2008). Este valor usualmente es utilizado por los diseñadores de entre  $0.5$  y  $1.5 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , según sea el tipo de encapsulado utilizado.

### Comprobando los valores obtenidos

De la figura 3, se puede encontrar la ecuación 11 para la temperatura de la unión del dispositivo. Donde  $T_J = (5.86+1+18.2)+ 22 = 53.3 \text{ }^\circ\text{C}$  y luego  $T_C$ , utilizando la ecuación 10,  $T_C = 53.3 - 1.25 \cdot 5.86 = 46 \text{ }^\circ\text{C}$  que corresponde al valor medido.

$$\bullet \quad T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CD} + \theta_{DIS}) + T_A \quad (11)$$

### Prueba y predicción de resultados en otro disipador de dimensiones diferentes

Experimento con un trozo de longitud diferente del material caracterizado. En esta parte se ha utilizado un material igual que el utilizado en la segunda parte, pero ahora con una longitud de 13.1 cm ( $L_{nuevo}$ ). Utilizando 9 se puede, entonces, estimar el valor de la resistencia térmica del nuevo disipador.

$$\bullet \quad \theta_{dis} (Nuevo) = (18.2 * 6.8) / 12.1 = 10.2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Ahora, los valores calculados del sistema utilizando las ecuaciones 10 y 12 son  $T_J = 1.25 (5.86 + 10.2) + 22 = 43.3 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $T_C = 43.3 - 1.25 (5.86) = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ . Este último valor es un valor de predicción teórico, al realizar el experimento el valor medido fue igual de  $36 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En la tabla 1 se muestra el resumen de los experimentos con medidas y cálculos. Se puede observar que los resultados que trasciende son los de TC, que es una variable que podemos medir. Los resultados para TC, la temperatura del encapsulado, concuerdan los valores medidos y calculados para todos los casos.

Tabla 1. Resultados de medidas y cálculos: (a) Medidas sin Disipador, (b) Caracterización de Disipador, y (c) Prueba y Predicción de Resultados

	Medidos	Calculado		Medidos	Calculado		Medidos	Calculado
TA	22 °C		TA	22 °C		TA	22 °C	
TC	70 °C	70 °C	TC	46 °C	46 °C	TC	36 °C	36 °C
TJ		77.3 °C	TJ		53.3 °C	TJ		43.3.3 °C
PD	1.25 W		PD	1.25 W		PD	1.25 W	
$\theta_{JA}$	44.27 °C/W		$\theta_{Dis}$	18.2 °C/W		$\theta_{Dis}$		10.2 °C/W
$\theta_{JC}$	5.86 °C/W		Ldis	6.8 cm		Lnuevo	13.1 cm	
$\theta_{CA}$	38.4 °C/W							

(a)  
Fuente: Elaboración propia.

(b)

(c)

## CONCLUSIONES

Partiendo de una necesidad para la República Dominicana, en el área de disipación calorífica, ya sea para dispositivos electrónicos u otras aplicaciones, donde de por si es muy difícil encontrar partes o disipadores con especificaciones técnicas o resistencias térmicas conocidas, se ha desarrollado esta investigación limitando su aplicación a los disipadores de calor utilizados en dispositivos electrónicos bajo la convección natural.

Se ha desarrollado una ecuación para encontrar el valor de la temperatura de unión estimada en un dispositivo electrónico que está sometido a una corriente eléctrica, que genera calor por consumo de potencia, partiendo de un set de ecuaciones del modelo térmico del dispositivo. Esta ecuación promete ser muy útil para la utilización con otros dispositivos semiconductores, no solo los reguladores de voltaje.

Este trabajo ha sido implementado en disipadores de aluminio, pero la teoría puede ser aplicada a cualquier otro tipo de material, ya que en base al experimento se pudo demostrar que este modelo responde satisfactoriamente con valores muy próximos a los esperados. Las pruebas se generaron en un regulador de voltaje lineal sin disipador, donde se caracterizaron sus parámetros. Luego se repitió el experimento, pero utilizando un disipador con características no conocidas. Al final se utiliza un disipador

de longitud diferente, pero del mismo tipo, que ha sido caracterizado para poder comprobar los resultados. Este trabajo abre las puertas a realizar otras investigaciones con otros materiales y bajo otras circunstancias como la convección forzada.

## BIBLIOGRAFÍA

Cahue Díaz, D., & Camacho Arriaga, J. C. (2014). Diseño óptimo de un disipador de calor para luminaria LED mediante moderación modelación computacional. *ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática Biomédica y Electrónica*, (1).

LCADABA (2008). *Disipadores Termicos*. Recuperado de: <http://www.lcardaba.com/articles/heatsinks/heatsinks.htm> Accesible el: 15/03/2018

Martínez Nicolás, I. A. (2014). *Instrumentación y caracterización de disipadores térmicos*. Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4483/tfg367.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Accesible el: 15/03/2018

Miyara, F. (2006). *Disipación de potencia, apuntes y monografías de la catedra de electrónica III*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de: <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/disipa.pdf> Accesible el: 15/03/2018

Pérez Asiain, J. (2014). *Estudio experimental de la resistencia térmica en función de la relación entre el área de módulos Peltier y el área de la base de un heat pipe*. Trabajo de Fin de grado de la Universidad Pública de Navarra (España).

Roldán Meroño, P. (2016). *Caracterización de disipadores de calor, "Heat Sinks" formados por aletas rectas rectangulares bajo condiciones de convección y radiación mediante simulación numérica*. Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6677/pfc-rol-car.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Accesible el: 15/03/2018

Saavedra Balderas, F.A., Ortega Herrera, F. J., Torres Jiménez, J., González Ponce, M. , Lozano Luna, A., & Rodríguez Moreno, R. A., (2015). *Efecto de la sección transversal en la eficiencia de los disipadores de calor formados por aletas*. En: XII Encuentro participación de la mujer en la ciencia. Recuperado de: [http://congresos.cio.mx/memorias\\_congreso\\_mujer/archivos/extensos/sesion4/S4-ING11.pdf](http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion4/S4-ING11.pdf) Accesible el: 15/03/2018

Saldaña Sánchez, E. M. X., Luviano-Ortiz, J. L., & Muñoz Chávez, L. E., (2017), Medición experimental de transferencia de calor en dispositivos de enfriamiento líquido con patrón no convencional. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 2144-2148.

STMicroelectronics (2003). *Hoja de Datos del L7800*. Recuperado de: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/2143.pdf>  
Accesible el: 15/03/2018

*Recibido: 19/04/2018*

*Reenviado: 24/04/2018*

*Aceptado: 26/04/2018*

*Sometido a evaluación de pares anónimos*