

Implementación de un algoritmo de morfogénesis para el diseño de disipadores de calor

Implementation of a morphogenesis algorithm for heatsinks design

Juan C. Amado H.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
jcamadoh@correo.udistrital.edu.co

Cristhian E. Garay G.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
cegarayg@correo.udistrital.edu.co

Fernando Martínez S.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
fmartinezs@udistrital.edu.co

Este artículo presenta el resultado de un trabajo de investigación que pretende realizar el diseño de un disipador de calor, optimizado para las proporciones del empaquetado para transistores TO-220, por medio de un algoritmo de morfogénesis realizado en Matlab. Este algoritmo toma como base la lógica de los sistemas Lindenmayer con el fin de crear formas en dos dimensiones para ser optimizadas a través de un algoritmo genético. Posteriormente se evidencian los diversos comportamientos de dichas formas en cuanto a la disipación de calor, por medio de simulaciones térmicas en el toolbox PDEtool de Matlab.

Palabras clave: Algoritmo genético, disipador de calor, Matlab, morfogénesis, sistemas Lindenmayer

This paper, presents the results of a research project that aims to develop the design of a heat sink, optimized for the proportions of the package for transistors TO-220, through an algorithm morphogenesis performed in Matlab. This algorithm builds on the logic of Lindenmayer systems in order to create shapes in two dimensional for to be optimized through genetic algorithms. Subsequently allows to show various behaviors of such forms to the head transfer, through thermal simulations in Matlab PDEtool toolbox.

Keywords: Genetic algorithm, heat sinks, Lindenmayer systems, Matlab, morphogenesis

Tipología del artículo: Investigación

Fecha recepción del manuscrito: Mayo 2, 2016

Fecha aceptación del manuscrito: Junio 6, 2016

Investigación financiada por: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Edición digital: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tekhne/issue/view/756>

Cómo citar: Amado, J., Garay, C. y Martínez, F. (2016). *Implementación de un algoritmo de morfogénesis para el diseño de disipadores de calor*. Revista Tekhnê, 13(1), 31-40.

Introducción

La morfogénesis, es un proceso biológico por medio del cual los seres vivos u organismos desarrollan su forma física en un proceso de crecimiento o evolución (Roudavski, 2009). Un ejemplo de las funciones o resultados de la morfogénesis en seres vivos es la creación de patrones para la pigmentación, desarrollo de extremidades, distribución de ramificaciones del sistema nervioso, entre otras. Es así como basados en este proceso se realizan adaptaciones de tipo computacional para poder obtener una estructura mecánica que sea objeto de análisis para esta investigación.

Los algoritmos genéticos, o bio-inspirados en genética, consisten en un método de ajuste por el cual se busca optimizar y resolver diferentes situaciones o problemas. Basta con conocer su nombre para identificar que el método de operación de estos algoritmos está basado o inspirado en procesos genéticos reales de los seres vivos (Gómez y Maldonado, 2011). Al modelar los individuos y la población en el algoritmo, por medio del principio de selección natural y supervivencia de Darwin (Fraile, 2011), serán los individuos más fuertes los que sobrevivan más tiempo y tengan mayor posibilidad de reproducción, asegurando mejores individuos en cada etapa del proceso. Esto se refleja en mejores soluciones para el problema que se esté solucionando, ya que cada individuo representa una posible solución y es el algoritmo el que optimizará la mejor de ellas. Por estas razones es que se hace posible realizar un algoritmo de morfogénesis combinándolo con las herramientas de los algoritmos genéticos.

Es así como se realizó el diseño de la estructura y base del algoritmo de morfogénesis a través de un sistema L o sistema Lindenmayer, enmarcado en la estructura de los fractales. Esto se realizó dado que el sistema L trabaja la estructura y creación de formar, lo que es un buen punto de partida para el algoritmo. Así mismo, este sistema brinda la facilidad en su codificación de reproducirlo por medio de un genoma o código genético, establecido en el algoritmo genético (Martínez, Martínez, y Montiel, 2016).

Existen diversas posibilidades para aplicar un algoritmo de morfogénesis. Sin embargo, cuando se realiza un enfoque en la rama de la electricidad, dichas posibilidades se reducen por múltiples razones. La principal recae en que los algoritmos de morfogénesis son ideales para trabajarlos en diseños de componentes mecánicos o estructuras, es así como en su mayoría ya están estandarizados y optimizados, por lo que se creería que no habría un diseño diferente del ya existente.

Algunos de los componentes mecánicos en la electricidad que podrían ser diseñados por un algoritmo de morfogénesis son los disipadores de calor, los núcleos de transformadores, las estructuras de los motores jaula de ardilla, entre otros.

Teniendo en cuenta los parámetros referentes a un motor jaula de ardilla, se hace complejo abordar este componente,

ya que se deben manejar las tres dimensiones frente al plano cartesiano (x - y - z), diferentes materiales, etc. En cuanto al núcleo del transformador, es un componente de uso frecuente en la industria de la electricidad, y se previó una solución no muy distante de los diseños ya existentes, debido a que ya se encuentran normalizados y optimizados.

Considerando los aspectos anteriores, el disipador de calor es un componente con el que se puede asociar un algoritmo de morfogénesis, sin generar traumatismos, en cuanto a resultados y procesos del algoritmo, ya que se puede modelar en dos dimensiones del plano cartesiano facilitando así los procesos del algoritmo de morfogénesis, permitiendo trabajar con menos datos de los usualmente requeridos, y a su vez facilita la simulación de formas frente a la reacción del calor, gracias al toolbox PDEtool de MatLab.

La configuración interna establecida en diferentes dispositivos electrónicos que conforman otro tipo de aparatos tecnológicos, ha llevado a concentrar cantidades altas de temperatura en estos artefactos, un ejemplo son los circuitos integrados en procesadores de computadores, y por ejemplo, en el caso particular del transistor con encapsulado TO-220.

La necesidad de reducir tamaños de los componentes y aumentar cantidades de procesamiento y eficiencia de las máquinas ha llevado a acumular un gran número de transistores y otros elementos en circuitos integrados, esto en áreas muy pequeñas. La ley empírica de Moore es una predicción que describe muy bien este fenómeno (Garro et al., 2012), dado que esta establece que en un intervalo de tiempo aproximado de cada dos años se presentará una duplicación en la cantidad de transistores en un circuito integrado.

Teniendo en cuenta la construcción y funcionamiento de los transistores, estos dispositivos electrónicos permiten el paso de corriente por su estructura, ya que soporta una ganancia en intensidades de corriente alta y debido a su resistencia interna (esto dependiendo de su configuración y el tipo de transistor) tiene que disipar una potencia considerable. Gracias al efecto Joule (Edminister, 1998) si esto sucede en diversos transistores, en una misma superficie se acumula suficiente temperatura, capaz de averiar los circuitos integrados y el funcionamiento de los dispositivos de los que estos hagan parte. Con base en este tipo de situaciones, se ha enfocado esta investigación en la creación de un algoritmo que diseñe posibles disipadores de calor que puedan contribuir a la solución de este problema en los transistores, dada la importancia de los elementos tecnológicos en la actualidad.

Los disipadores de calor se diseñan partiendo de las fuentes de temperatura y la cantidad calor a disipar. Es así como se debe tener en cuenta el método de disipación, por ejemplo, contacto con aire o fluidos. También se debe tener en consideración el material con el que se va a fabricar el disipador, ya que un buen disipador de calor depende del

material de fabricación y las dimensiones geométricas con las que se construye. La disipación térmica por convección es la más común en este tipo de casos, ya que permite que el calor pase de la fuente a través de un material conductor de calor y se disipe por medio de un fluido de enfriamiento, generalmente aire. Teniendo en cuenta este tipo de disipación, el disipador de calor cuenta con unas aletas que aumentan el contacto con este fluido.

Para optimizar el diseño de disipadores de calor son considerados principalmente factores como la longitud, ancho, altura, espesor y número de aletas que tendrá el dispositivo. En (Garro et al., 2012) se establece que las dimensiones de mayor importancia en un dispositivo de transferencia de calor estándar (rectangular compacto con aletas rectangulares rectas de sección uniforme) son la variación de la longitud (21,87 %), de la altura (27,58 %) y del ancho (27,53 %).

Para suplir esta necesidad de transferir el calor de los dispositivos al exterior, se emplean usualmente tres métodos de disipación térmica tales como:

- La conducción, la cual se enfatiza en la capacidad de calor que el dispositivo es capaz de transmitir naturalmente desde la fuente de calor hasta el exterior.
- La convección, entendida como la transferencia de calor empleando los *microcanales por los cuales se hace pasar un fluido a través de canales con diámetros hidráulicos entre 10 a 200 (µm)*. Tuckerman y Peases desarrollaron trabajos experimentales con estos dispositivos, obteniendo un coeficiente convectivo haciendo pasar agua en flujo laminar dentro de estos dispositivos (León, Rubio, Hernández, y Rubio, 2007).
- Radiación, básicamente busca la transmisión de calor a través de ondas electromagnéticas, las cuales son emitidas por estos cuerpos calientes. *El calor se transfiere mediante emisiones electromagnéticas que son irradiadas por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 (°K)* (Rashid, 1999).

Parámetros para el cálculo de disipadores de calor

Los parámetros relevantes para el cálculo son:

- La resistencia térmica entre la cápsula y el disipador ($RTHchs$).
- La resistencia térmica interna entre la unión y la cápsula ($RTHjc$).
- La pérdida de potencia en el semiconductor (W).
- La resistencia térmica entre disipador y ambiente ($RTHhsa$)

El concepto de dichos valores puede representarse de forma similar a la asociación de resistencias, como se indica en la Fig. 1.

Dónde:

- W hace referencia a la potencia disipada
- Tj a la temperatura en la unión

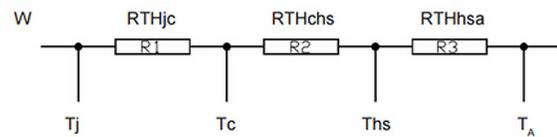


Figura 1. Modelamiento eléctrico de un disipador de calor.

- Tc a la temperatura de la cápsula
- Ths a la temperatura del disipador, y por último
- TA hace referencia a la temperatura ambiente.

El incremento de temperatura de la unión esta expresado por la ecu. 1.

$$\Delta Tj = W \times (RTHjc + RTHchs + RTHhsa) \quad (1)$$

La temperatura de la unión se expresa en la ecu. 2 como:

$$Tj = TA + \Delta Tj \quad Tj = W \times (RTHjc + RTHchs + RTHhsa) + TAc \quad (2)$$

En el cálculo inverso, la resistencia térmica del disipador a utilizar ($RTHhsa$) será (ecu. 3):

$$RTHhsa = \left(\frac{Tj - TA}{W} \right) - (RTHjc + RTHchs) \quad (3)$$

Para el cálculo de disipación de los semiconductores pueden utilizarse las expresiones indicadas a continuación. Para el caso de transistores se emplea la ecu. 4:

$$W = VCE \times ICE \quad (4)$$

Para transistores de potencia se emplea la ecu. 5:

$$W = VCE \times ICE + VBE \times IBE \quad (5)$$

Donde W es la potencia disipada, VCE es la caída de tensión en el transistor e ICE es la corriente de trabajo. En el caso de transistores de potencia también se tiene en cuenta la tensión base-emisor (VBE) y la corriente base-emisor (IBE).

Para realizar el cálculo en diodos y tiristores se emplea la ecu. 6:

$$W = V0 \times I + I2 \times FF2 \times r0 \quad (6)$$

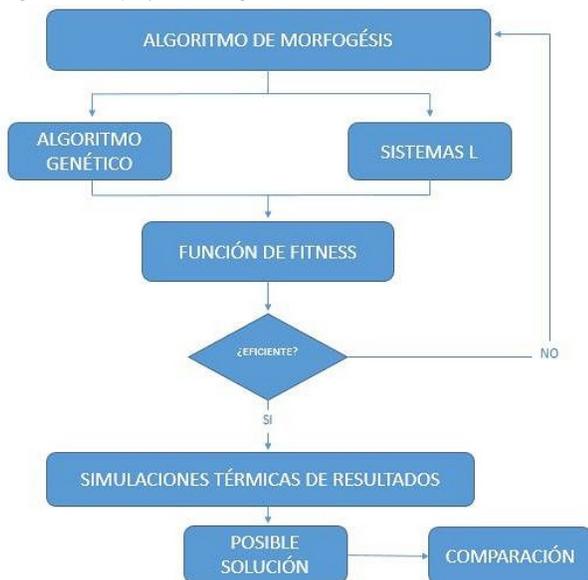
Donde W es la potencia disipada en vatios, $V0$ es el valor de cálculo (indicado por el fabricante) en voltios, I es la corriente de trabajo en A, FF es el factor de forma de la onda (depende del circuito de aplicación) y $r0$ es la resistencia equivalente (indicada por el fabricante) en Ohmios (Miraya, 2006).

Metodología

La elaboración de este algoritmo de morfogénesis se realizó con la herramienta computacional MatLab, a través de la implementación de los algoritmos genéticos, los cuales tienen la función de interactuar en conjunto con el algoritmo encargado de realizar los modelos y gráficos, implementando así el método de sistemas Lindenmayer. Con este método se crean cadenas, axiomas y reglas iniciales las cuales empiezan a interactuar dentro del algoritmo genético creando para cada iteración un modelo o una forma, esto con la ayuda de Gatool, que es el Toolbox de MatLab para trabajar con algoritmos genéticos. Posteriormente estos diseños son evaluados en términos de disipación de calor, para lo cual se hace uso del Toolbox de Elementos Finitos con el que cuenta MatLab, PDEtool. Dadas las propiedades de esta herramienta y las características de diseños del disipador de calor, MatLab se presenta como la opción más viable para realizar este algoritmo por tener todas las herramientas necesarias y requeridas por dicha aplicación.

Los resultados del Toolbox de Elementos Finitos son comparados con una simulación de un modelo estándar de un disipador de calor convencional, permitiendo evidenciar si las formas obtenidas realizaron algún tipo de progreso, retroceso o por el contrario se mantuvieron estáticas en comparación al modelo estándar. La tabla 1 muestra un diagrama de flujo del algoritmo.

Tabla 1
Diagrama de flujo del algoritmo.



Sistemas Lindenmayer

El concepto de sistema de Lindenmayer fue concebido por el biólogo y botánico teórico húngaro Aristid Lindenmayer

de la Universidad de Utrecht, en 1968, sin embargo, fueron dos de sus estudiantes Ben Hesper y Pauline Hogeweg los primeros en darse cuenta del potencial de los sistemas Lindenmayer para representar plantas (en un principio). En 1970, Hesper y Hogeweg en dos semanas crearon el primer programa que, a partir de una secuencia de 5.000 caracteres generados por un sistema Lindenmayer, imprimió algo que se parecía mucho a una hoja vegetal (Campos, 2011).

Básicamente los sistemas Lindenmayer o sistemas L son un tipo de lenguaje gramatical que consta de un conjunto de reglas y símbolos. Estos sistemas fueron utilizados inicialmente para modelar los procesos de crecimientos en los árboles y plantas, aunque con el pasar de los años se contempló que este método fuese apropiado para desarrollar y modelar cualquier tipo de morfología para diferentes organismos u objetos.

El principio fundamental de los sistemas Lindenmayer es la sobre escritura, la cual consiste en reemplazar partes sucesivamente de una forma u objeto simple, con una serie de reglas de remplazo.

Los sistemas Lindenmayer están definidos por la expresión (ecu. 7):

$$G = \{V, S, w, P\} \quad (7)$$

Dónde:

- V : Es el conjunto de símbolos los cuales pueden ser reemplazados, siendo empleados para componer cadenas.
- S : Es el conjunto de símbolos que son constantes.
- w : Corresponde al axioma la cual hace referencia a la cadena inicial del sistema.
- P : Reglas de que se le aplican sucesivamente al sistema (Cervantes, Rodríguez, y Landois, 2002).

Para la implementación de este algoritmo de morfogénesis se adoptó este método por la facilidad con la cual el algoritmo genético interactúa con los sistemas Lindenmayer creando formas mediante una cierta cantidad de iteraciones. El axioma seleccionado para este algoritmo fue $F-F++F-F$ (Fig. 2).



Figura 2. Representación axioma inicial.

Para entender más específicamente el funcionamiento básico de este sistema se puede observar el siguiente ejemplo. Cuando al algoritmo se le asigna una regla la cual corresponde a reemplazar cada carácter F por la cadena $F-F++F-F$, se obtiene la Fig. 3.

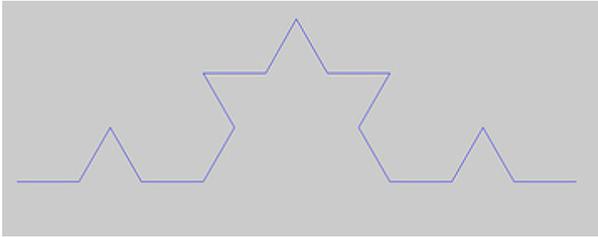


Figura 3. Representación axioma segunda iteración.

Y al realizar una siguiente iteración se obtiene la siguiente forma (Fig. 4):

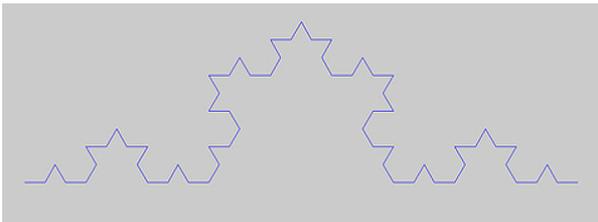


Figura 4. Representación axioma tercera iteración.

Para este algoritmo de morfogénesis se ha utilizado como base para el diseño primario de formas un código de MatLab expuesto en (Land, 2006), en el cual los autores desarrollaron un algoritmo para observar, graficar y proyectar el crecimiento de árboles y plantas. Este código está compuesto por dos fases. La primera fase calcula las sustituciones de cadenas, y la segunda realiza la interpretación geométrica. Todo este proceso está fundamentado en los sistemas Lindenmayer.

Para poder dar el enfoque deseado, se realizaron algunas modificaciones al código. Una de ellas fue el trabajar con axiomas y reglas, que arrojaran una figura de proporciones simétricas para así poder controlar que la forma deseada iniciara y finalizara en un mismo valor para Y en un sistema coordenado. Se realizó un dimensionamiento de un valor unitario en el eje X para así adecuar la figura al tamaño real en centímetros del empaquetado TO-220. Arrojando resultados o formas iniciales ilustrados en las siguientes figuras (Figs. 5, 6, 7 y 8).

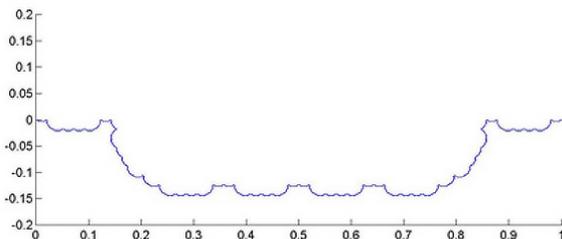


Figura 5. Ilustración primeros resultados en sistemas coordenados.

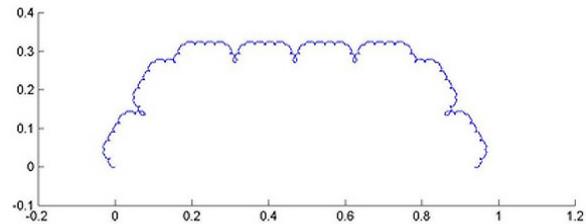


Figura 6. Ilustración primeros resultados en sistemas coordenados.

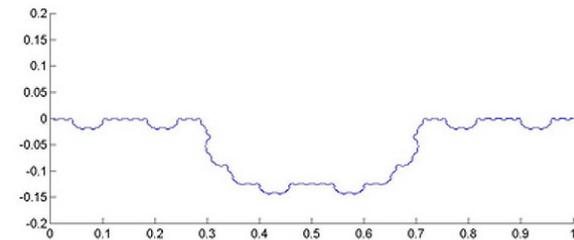


Figura 7. Ilustración primeros resultados en sistemas coordenados.

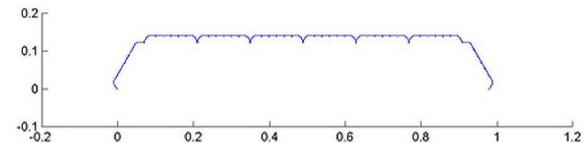


Figura 8. Ilustración primeros resultados en sistemas coordenados.

Algoritmos genéticos

Los algoritmos bio-inspirados usan analogía directa con el comportamiento natural. Trabajan con una población de individuos, de los cuales cada uno representan una solución factible a un problema dado. A cada individuo se le da una calificación que evalúe la validez de dicha solución, cuanto mayor sea la adaptación del individuo al problema, mayor será la probabilidad de ser seleccionado para reproducirse cruzando su material genético con otro individuo igualmente seleccionado. De esta manera se produce una nueva generación de posibles soluciones las cuales entrarán a reemplazar a las antiguas soluciones, así asegurando siempre que los mejores individuos sean los que tengan la posibilidad de cruzarse avanzando en la solución del problema (Dartnell, 2008).

Para este algoritmo genético se cuenta con una función de creación que se denominó *Caracteres_creacion*, la cual

es la encargada de crear cadenas o axiomas con un número de 20 caracteres. Estas cadenas son creadas partiendo de un vector de números enteros aleatorios del 0 al 2, los cuales son cambiados después por los caracteres *F*, *+* y *-* respectivamente.

Mutación. Consiste en la alteración de un bit esta alteración lo puede cambiar de 0 a 1 o viceversa, el propósito de este operador de mutación es la creación de un individuo ligeramente distinto alterando levemente su genotipo, este individuo tendrá muy pocas variaciones comparándolo con su progenitor (Holland, 1992).

En esta función denominada *Caracteres_mutacion* dentro del algoritmo genético es la encargada de determinar mediante condiciones y parámetros de diseño cual debe ser el carácter o gen para ser transformado creando una cadena o axioma totalmente distinto.

Recombinación. Es considerado el operador principal de los algoritmos genéticos. Su intención es la combinación de dos o más individuos progenitores. La ventaja de este operador es la interacción de sub-cualidades de los individuos, para así ir creando a la misma vez individuos con cualidades diferentes pero favorables para la población. Este operador es controlado o se rige por un parámetro conocido como tasa de cruce. Los operadores de recombinación más conocidos son de un punto, dos puntos y puntos múltiples (Holland, 1992).

Cruce. Esta función denominada *Caracteres_cruce* en este algoritmo es la encargada de determinar el punto por el cual se realiza el cruce, garantizando a su vez la creación de un nuevo axioma a partir de dos axiomas padres, una vez el algoritmo genético ha corrido todas estas funciones creando axiomas los cuales serán enviados a una misma función del algoritmo genético, que toma estas formas y las evalúa a fin de entregar las mejores soluciones posibles.

Una vez se ha obtenido una posible solución o modelo, este es tratado mediante un procesamiento de imágenes con la finalidad de garantizar ciertas condiciones. Se inicia por agregar tres líneas, las cuales corresponden a la base y los dos extremos del modelo, esto para que sea una única pieza. Luego se procede a pasarlo por una función para volverlo un sólido y así eliminar los posibles puntos de cruce si llegasen a existir. Asimismo, se le realizan dilataciones para garantizar un mínimo de altura con respecto a la base. Por último se procede a volverla lo más fina posible (Figs. 9, 10 y 11).

Este último paso se realizó pensando en obtener información relevante de la imagen, descartando puntos innecesarios que pudieran afectar el buen desarrollo del proceso. Una vez obtenida la mejor imagen posible se procede a determinar los puntos en un plano coordenado y así poder llevarlo al Toolbox Elementos Finitos PDE, en el cual se realizarán las simulaciones térmicas de estas posibles soluciones. Esta simulación muestra la manera en que esta solución disipa el calor.

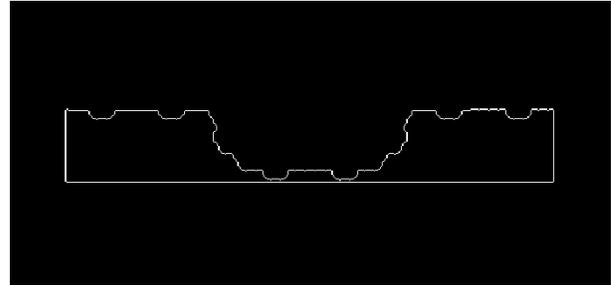


Figura 9. Ilustración resultados después de ser tratados por el algoritmo de tratamiento de imágenes.

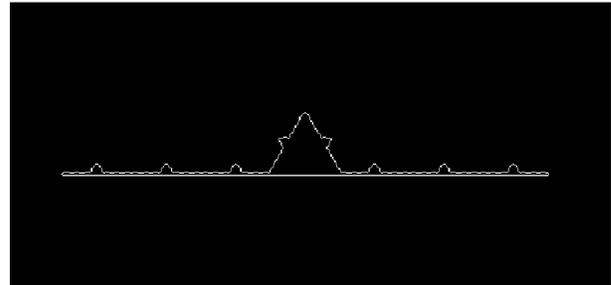


Figura 10. Ilustración resultados después de ser tratados por el algoritmo de tratamiento de imágenes.



Figura 11. Ilustración resultados después de ser tratados por el algoritmo de tratamiento de imágenes.

Función de fitness y parámetros del algoritmo de morfogénesis. La función de fitness es la que se encarga dentro del algoritmo genético de determinar cuándo una posible solución es buena o no lo es, teniendo en consideración múltiples parámetros. Para el algoritmos que atañe a este artículo, dicha está construida a partir de la relación temperatura - longitud, y la penalización a las figuras con más de cuatro puntos de cruce en su estructura. Dicha función es (ecu. 8):

$$f(x) = \sum \sqrt{(X_i - X_{(i+1)})^2 + (Y_i - Y_{(i+1)})^2} + k \times p \quad (8)$$

Donde *k* es la constante de penalización y *p* es el número de puntos de cruce hallados mediante procesamiento de imágenes.

Los parámetros con que se construyó este algoritmo son:

- Tamaño de la población: 50
- Algoritmo de selección estocástico uniforme
- Contador de élite $0.05 \times$ tamaño población
- Porcentaje de cruce: 80 %
- Porcentaje de mutación: 2 %

En el Toolbox de elementos finitos de MatLab se seleccionó la modalidad de transferencia de calor (*Heat transfer*), para trabajar el PDEtool en concordancia con los requerimientos de este proyecto. Esta modalidad expone las siguientes ecuaciones diferenciales de calor:

- Tipo elíptico (estado estacionario, ecu. 9):

$$- \operatorname{div} (k \cdot \operatorname{grad}(T)) = Q + h \cdot (T - T_{\infty}) \quad (9)$$

El valor de h siendo nulo en el PDEtool.

- Tipo parabólico (estado no estacionario, ecu. 9):

$$\rho \cdot C_p \cdot T - \operatorname{div} (k \cdot \operatorname{grad}(T)) = Q + h \cdot (T_{\infty} - T) \quad (10)$$

El valor de h siendo nulo en el PDEtool (Whitley, 1993).

Diseño propuesto. Para efectos de la simulación térmica se emplearan los datos de coeficiente térmico de materiales que son normalmente utilizados por los actuales fabricantes de disipadores de calor. Se propone realizar las correspondientes simulaciones con los valores proporcionados por la tabla 2 tomada de (Ziman, 2005), en la cual se brindan los datos relacionados con las propiedades térmicas de una serie de materiales. Para la aplicación específica, se emplearan los datos del aluminio ya que es uno de los materiales usualmente más utilizados por la industria.

Resultados

Se realizó un análisis de la relación entre la longitud de todo el borde de las figuras arrojadas por el algoritmo de morfogénesis con la temperatura que disipan. Para obtener estos diseños se trabajó con un ángulo fijo de 90 grados en las condiciones del algoritmo de Lindenmayer. Este análisis se hizo tomando cuatro figuras básicas y estándar relacionadas en las Figs. 12, 13, 14 y 15.

Posteriormente a simular dichas figuras, se realizó un promedio de la temperatura almacenada en los bordes de las mismas para así poder determinar una relación entre la longitud del diseño y su nivel de temperatura. De allí se obtiene que:

- La Fig. 12 cuenta con una temperatura promedio de 42.10673°C y una longitud de borde de 5.6 cm.
- La Fig. 13 cuenta con una temperatura promedio de 63.4521°C y una longitud de borde de 3.1 cm.
- La Fig. 14 cuenta con una temperatura promedio de 71.6024°C y una longitud de borde de 2 cm.
- La Fig. 15 cuenta con una temperatura promedio de 52.1998°C y una longitud de borde de 3.8 cm.

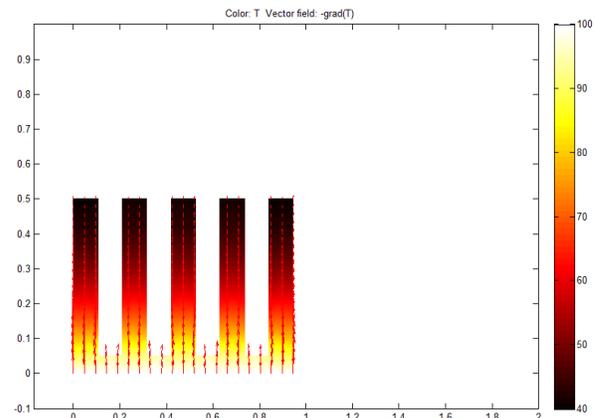


Figura 12. Simulación térmica de un disipador de calor estándar.

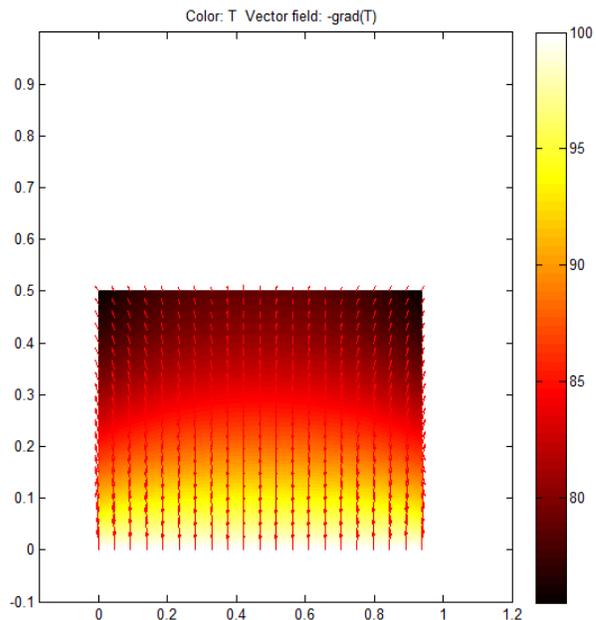


Figura 13. Simulación térmica de un disipador de calor macizo.

Obtenidos estos resultados se dedujo la función en la Fig. 16, con la que se comprueban los resultados de las simulaciones térmicas de las figuras arrojadas por el algoritmo genético.

A continuación se muestran las simulaciones realizadas para las figuras entregadas por el algoritmo de morfogénesis, en las cuales se entrega el valor de temperatura promedio y longitud, para ser relacionados en este análisis.

La Fig. 17 cuenta con una temperatura promedio de 39.8547°C y una longitud de borde de 6.16 cm, con una mejoría respecto al disipador de calor estándar de 5,35 %.

Tabla 2

Propiedades térmicas en metales comunes.

Metal	Specific Heat - c_p		
	(kJ/kg K)	(kcal/kg ^o C)	(Btu/lb _m ^o F)
Aluminum	0.91	0.22	0.22
Antimony	0.21	0.05	0.05
Barium	0.20	0.048	0.048
Beryllium	1.83	0.436	0.436
Bismuth	0.13	0.03	0.03
Cadmium	0.23	0.055	0.055
Caesium	0.63	0.15	0.15
Carbon Steel	0.49	0.12	0.12
Cast Iron	0.46	0.11	0.11
Cesium	0.24	0.057	0.057

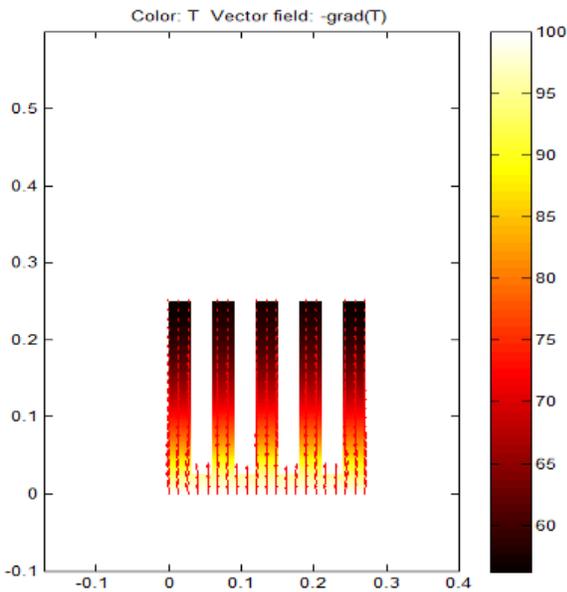


Figura 14. Simulación térmica de un disipador de calor con poca altura.

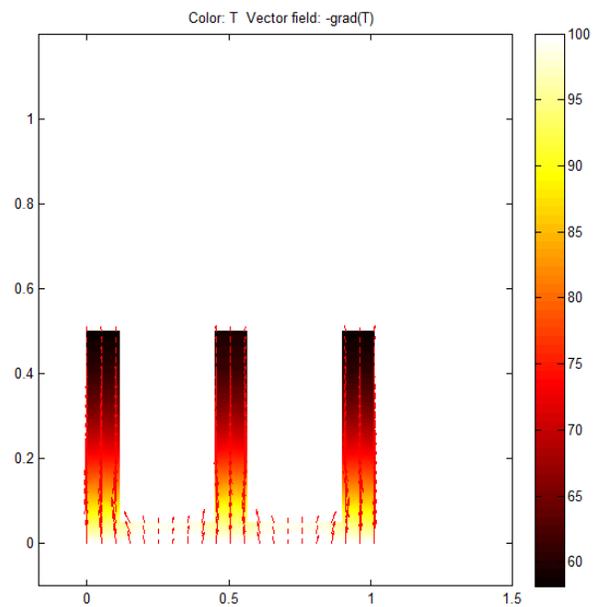


Figura 15. Simulación térmica de un disipador de calor con mayor espacio.

La Fig. 18 cuenta con una temperatura promedio de 37.6785^oC y una longitud de borde de 7.36 cm con una mejoría respecto al disipador de calor estándar de 10,51 %.

La Fig. 19 cuenta con una temperatura promedio de 43.3568^oC y una longitud de borde de 5.36 cm, empeorando respecto al disipador de calor estándar un 2,97 %.

La Fig. 20 cuenta con una temperatura promedio de 41.5689^oC y una longitud de borde de 5.68 cm, con una mejoría respecto al disipador de calor estándar de 1,27 %.

Utilizando el método comparativo de análisis, se determinó que estas son soluciones óptimas ya que dos de estas se encuentran con temperaturas por debajo del promedio, y las otras dos con temperaturas que están muy cerca al valor más bajo de este promedio.

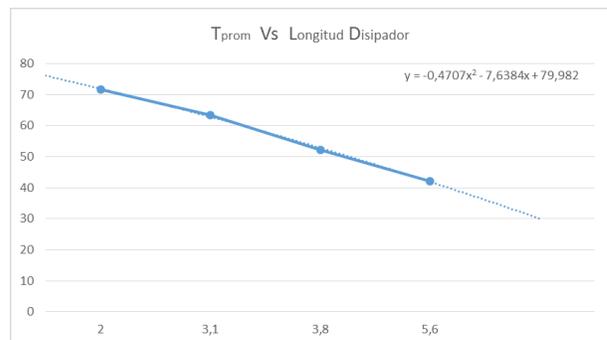


Figura 16. Tprom vs Longitud.

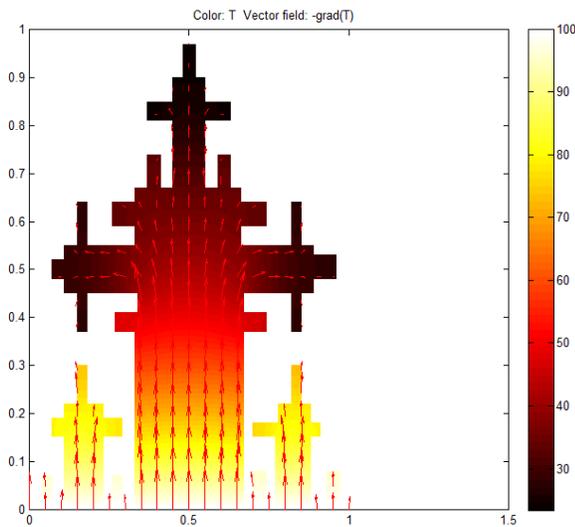


Figura 17. Simulación térmica de un diseño entregado por el algoritmo genético.

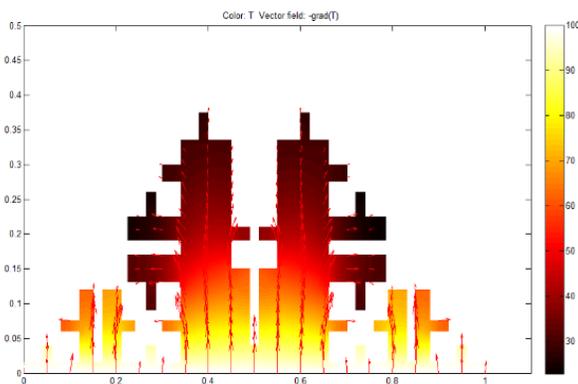


Figura 18. Simulación térmica de un diseño entregado por el algoritmo genético.

Trabajo futuro

Realizar el mejoramiento de la función de Fitness del algoritmo de morfogénesis para incluir el proceso de minimizar el área de los diseños entregados por este algoritmo.

Dada la forma poco convencional de los diseños entregado por el algoritmo de morfogénesis, realizar un estudio económico para determinar la viabilidad de la construcción de estos diseños.

Conclusiones

La longitud del corte axial de las figuras entregadas por el algoritmo de morfogénesis tiene una relación proporcional a la capacidad de disipación de calor. Muestra de ello son las mejoras en 5,35 % y 10,51 % de los diseños registrados en las Figs. (17) y (18).

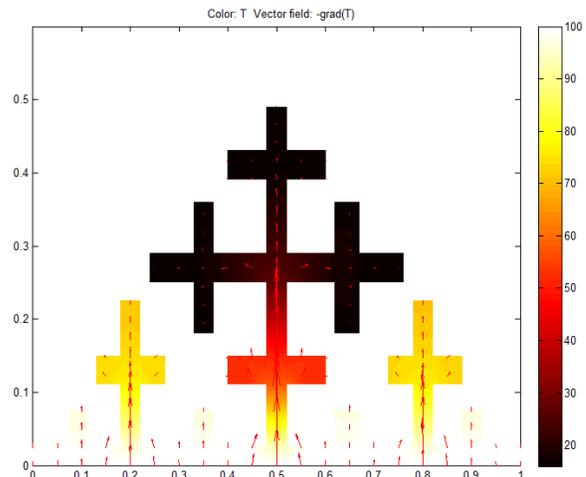


Figura 19. Simulación térmica de un diseño entregado por el algoritmo genético.

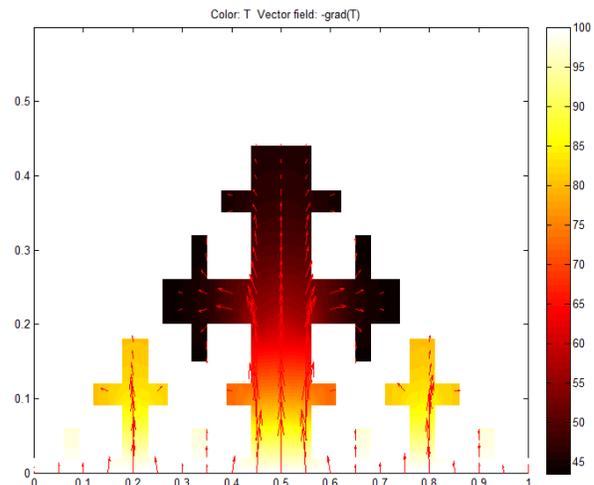


Figura 20. Simulación térmica de un diseño entregado por el algoritmo genético.

De los resultados obtenidos en varias de las simulaciones térmicas realizadas se evidencia que no solo se debe maximizar la longitud del corte axial de la figura sino que también hay un buen resultado cuando el área de la figura es la menor posible.

Se evidencia que es viable la construcción de un algoritmo de morfogénesis, soportado en el uso de los sistemas Lindenmayer y los algoritmos genéticos.

Referencias

- Campos, D. (2011). *Introducción a los sistemas de lindenmayer: fractales, autómatas celulares y aplicaciones*. (Universidad Autónoma de Puebla - México)

- Cervantes, A., Rodríguez, Y., y Landois, L. (2002). LINSIS: Sistema lindenmayer y gramáticas formales, una opción para modelar formas vegetales. *Comunicaciones en Socioeconomía Estadística e Informática*, 6(2), 51-135.
- Dartnell, L. (2008, March). *Matrix: Simulating the world part ii: cellular automata*. On line. Descargado de <https://plus.maths.org/content/>
- Edminister, J. (1998). *Circuitos eléctricos*. McGraw-Hill Companies.
- Fraile, M. (2011). *Morfogénesis digital. la creación de un paradigma sostenible*. (Universidad de Buenos Aires)
- Garro, S., Díaz, L., Jian, L., Martínez, F., Meneses, W., Ortega, H., y cols. (2012). Modelación y simulación de disipadores de calor para procesadores de computadora en comsol multiphysics. *Tecnología en Marcha*, 25(3), 70-80.
- Gómez, N., y Maldonado, C. (2011). Sistemas bio-inspirados: Un marco teórico para la ingeniería de sistemas complejos. *Documentos de investigación*, 112(1), 6-17. (Universidad del Rosario)
- Holland, J. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems. an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. The MIT Press.
- Land, B. (2006, December). *Bionb 441 - computing for neurobiology*. On line. Descargado de <https://courses.cit.cornell.edu/bionb441/>
- León, J., Rubio, C., Hernández, A., y Rubio, J. (2007). Disipación de calor en microcanales de tipo trapezoidal con diferentes razones de aspecto. *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, 2(5), 169-176.
- Martínez, F., Martínez, F., y Montiel, H. (2016). Automatic design of heat sink using genetic algorithms, lindenmayer systems and digital image processing. *Proc. SPIE 10033 Eighth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2016)*, 1-6. (doi:10.1117/12.2246540)
- Miraya, F. (2006). *Disipación de potencia*. (Universidad Nacional de Rosario - Argentina)
- Rashid, M. (1999). *Electrónica de potencia - circuitos, dispositivos*. Prentice Hall.
- Roudavski, S. (2009). Towards morphogenesis in architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 7(3), 345-374.
- Whitley, D. (1993). *Foundations of genetic algorithms* (Vol. 2). Elsevier.
- Ziman, J. (2005). The thermal properties of materials. *Scientific American*, 217(3), 271-284.

