

Arquitectura y Electricidad Bajo los **Patrones Fractales**



Dra. Mariana Mávarez Profesora de la Escuela de Ingeniería Eléctrica LUZ. Ingeniera Electricista, LUZ 1998. Magister Scintiarum en Gerencia de Empresa Mención Gerencia de Operaciones 2009. Doctora en Arquitectura 2017. Ingeniero de Mantenimiento PDVSA. Coordinadora del Departamento de Construcción de Obras, Áreas Electricidad e Instrumentación, Z&P Construction Co.S.A.



Dr. César Álvarez. Ingeniero Electrónico, Doctor en Automática y Robótica. Ingeniero de Mantenimiento y Proyectos en Intevep, S.A. Profesor en las áreas de Electrónica, Sistemas de Control, Instrumentación, Física, Matemática y Herramientas Computacionales.



Dr. Eduardo Pineda. Arquitecto LUZ 1966. Integrante del equipo de arquitectos del Banco Obrero. Caracas 1967-1972. Integrante del proyecto Ven 11 Región Zuliana 1973-1974. Convenio LUZ-OEA-NNUU. Gerente General del Banco Obrero y después INAVI en Zulia 1974-1979. Comisionado del Gobernador de Zulia 1984-1989. Profesor de LUZ desde 1968. Doctorado en arquitectura LUZ 2009. Posdoctorado en arquitectura 2014.

Arquitectura y Electricidad Bajo los Patrones Fractales

RESUMEN

Esta investigación tiene como propósito estudiar la relación existente entre arquitectura e ingeniería eléctrica a través de los fractales para la recreación de luz natural en edificaciones sustentables. El trabajo presentado es de tipo documental, y como metodología, se consideró el carácter transversal, multidimensional y contextualista de la relación entre la electricidad, la arquitectura y los fractales. Para ello, se hace un estudio de la captación de la energía solar, en donde se considera la arquitectura como elemento de belleza estructural en edificaciones y la ingeniería eléctrica como elemento de manejo óptimo de la energía, donde la geometría fractal capta eficientemente la luz solar en este tipo de edificaciones armoniosamente sustentables. Mediante el uso de ecuaciones matemáticas, se puede crear una arquitectura basada en ciertos principios que manejan orden, escala y proporción; elementos necesarios para una arquitectura racional, tomando en cuenta los principios básicos del orden que rigen en la naturaleza.

Palabras claves: Arquitectura, Energía Renovable, Patrones Fractales, Naturaleza

Architecture and Electricity Under the Fractal Patterns

ABSTRACT

The purpose of the research was to study the relationship among architecture and electric engineering

through fractals for the recreation of natural light in sustainable buildings. The research was mainly documentary and it was considered the transversal, multidimensional and contextualist type of relationship between electricity, architecture and fractals. In order to fulfill the goal, a study of solar energy capture was done, in which architecture was considered as a structural beauty aspect in buildings and electric engineering as an element of optimal energy management, where fractal geometry efficiently captures solar light in this type of harmoniously sustainable buildings. According to mathematical equations usage, an architecture based on certain principles that manage order, scale and proportion can be created, which are necessary elements for a rational architecture taking into consideration the basic principles of order that rule nature.

Key words: architecture, renewable energy, fractals, nature

Architettura ed elettricità sotto i modelli frattali

RIASSUNTO

Questa ricerca ha avuto come proposito studiare la relazione tra l'architettura e l'ingegneria elettrica attraverso i frattali per la ricreazione della luce naturale in palazzi sustentabili. La ricerca è stata di tipo documentale, e come metodologia si è considerato il carattere trasversale, multidimensionale e contestualista della relazione tra l'elettricità, l'architettura ed i frattali. Cosicché, si è fatto uno studio della cattura dell'energia solare, in cui l'architettura viene considerata come un elemento di bellezza strutturale nei palazzi e l'ingegneria elettrica come aspetto di gestione ottima

dell'energia, nella quale la geometria frattale cattura efficientemente la luce del sole in questo tipo di palazzi armoniosamente sustentabili. Tramite l'uso di equazioni matematiche si può creare un'architettura basata in certi principi che gestiscono l'ordine, la scala e la proporzione; elementi necessari per un'architettura razionale, teniendo in conto i principi basici dell'ordine che governa la natura.

Parole chiave: architettura, energia renovable, modelli frattali, natura

Introducción

Hoy en día la arquitectura está basada en la búsqueda de la sostenibilidad y para esto se debe apoyar en el comportamiento de la naturaleza, como consecuencia de esto, traería consigo el desorden y el caos en el diseño de construcciones que serían mucho más complejas. A veces es necesario simplificar la realidad para poder hacer cálculos con ella. Según Mejías (2014), la geometría clásica o geometría euclidiana, es útil en muchos campos del conocimiento y en las matemáticas. Sin embargo, las ideas de Euclides hacen una abstracción de la realidad; por ejemplo, suponen que un punto no tiene tamaño, que una línea es un conjunto de puntos que no tiene ancho ni grueso, solo longitud, que una superficie no tiene altura, etc.

En ocasiones, esto no es suficiente para describir la realidad más compleja. Para Mandelbrot (2013), hay elementos de la naturaleza que presentan irregularidades con un cierto orden, como por ejemplo, el contorno de una costa o un paisaje montañoso, los cuales no se pueden describir con la geometría clásica. La naturaleza parece que tiene un comportamiento caótico pero, entre el dominio del caos incontrolado y el

orden excesivo de Euclides, hay, a partir de ahora, una nueva zona de orden fractal. Para Cazorla (2012), "un fractal es un objeto cuya estructura se repite a diferentes escalas. Es decir, por mucho que haya un acercamiento o un alejamiento del objeto, se observa siempre la misma estructura. De hecho, es difícil afirmar a qué distancia se encuentra el objeto, ya que siempre se ve de la misma forma". Se puede definir un Fractal, como el objeto geométrico o figura que se repite con las mismas características en diferentes escalas; es decir, si en un aumento se ve una figura como un triángulo, con una secuencia de aumentos o alejamientos se tiene que ver la misma figura. El caos va a ser sector o punto en que un sistema se sale de lo habitual, de su normal funcionamiento para entrar en una zona crítica en donde no se puede predecir que va a suceder con el sistema, es un punto al cual se llega después de haber pasado los límites de dicho sistema. Un ejemplo propuesto por Eliezer fue una costa marítima, la cual se ve la línea costera desde una altura X, y al "acercarse" o "alejarse", se ve la misma figura, puesto que el conjunto de segmentos que sigue la línea, al aumentarse se va dividiendo en pedazos más pequeños formando así la misma curva divisada desde la altura X.

Según Raya, et al (2011), Las efímeras y autorreferentes formaciones que hacen los relámpagos en el cielo son difíciles de captar. Matemáticamente los relámpagos pueden considerarse figuras de Lichtenberg en 3D, las cuales se forman en la bifurcación de descargas eléctricas. Estas figuras también son llamados "árboles eléctricos" por su parecido al crecimiento de ciertas ramas y son consideradas estructuras fractales. Algunas personas que han recibido el impacto de un rayo exhiben figuras de Lichtenberg, que en ese caso son poéticamente llamadas "flores de relámpago".

Para Xhemary (2012), los fractales son como la propaganda subversiva que tiene el universo para hacer ver

que en cada parte está oculta la totalidad, reflejos de una unidad cósmica que se proyecta a sí misma a través del espacio infinito, que cada copia de la divinidad inmanente mantiene la misma forma: la huella de un mismo génesis energético y matemático. Los fractales no están limitados a una sola área del conocimiento; desde el descubrimiento de los fractales se han hecho varios estudios en diversas disciplinas. Llegando a las siguientes interrogantes:

- 1.- ¿La geometría fractal y la geometría euclidiana tienen los mismos patrones?
- 2.- ¿Los patrones fractales pueden utilizarse en la arquitectura y en la electricidad?
- 3.- ¿Los patrones fractales pueden “dialogar” con la electricidad y la arquitectura simultáneamente para lograr edificaciones sustentables? En el presente trabajo se responderán estas interrogantes dando una visión de los fractales, enfocado en las áreas de estudio como de la arquitectura y la electricidad; con una base sustentable, se observará que desde hace mucho tiempo estas disciplinas del conocimiento ya han sido estudiadas desde los patrones fractales, de manera de lograr, con esta investigación, una relación entre Electricidad y Arquitectura a través de los fractales. El propósito de este tipo de trabajo es fomentar al diseño e instalación de sistemas de energías renovables que aproveche la luz natural para las edificaciones arquitectónicas que trabajen a base de energías limpias e instalados bajo la geometría fractal.

Desarrollo

Ciencia sin Fractales

Según Braum (2011), el matemático griego Euclides, que vivió alrededor del año 300 a. C., escribió “los Ele-

mentos”, una de las obras más conocidas de la literatura mundial. En ella se presenta de manera formal el estudio de las propiedades de líneas y planos, círculos y esferas, triángulos y conos, etc.; es decir, de las formas regulares.

En ese mismo orden de ideas, Iturriaga y Jovanovich (2011), explican que, desde los primeros años de educación matemática se aprende que un punto tiene dimensión 0, que una línea tiene dimensión 1, que las figuras planas tienen dimensión 2 y que las espaciales tienen dimensión 3. Estas dimensiones que corresponden a números enteros y son invariantes ante homeomorfismos, son conocidos con el nombre de dimensión topológica y refiere precisamente al concepto habitual de dimensión que se tiene incorporado. Recuérdese que, si x e y son espacios topológicos y f una función de x a y , f es un homeomorfismo si se cumple que:

- f es una biyección.
- f es continua.
- la inversa de f es continua.

La dimensión topológica no es la única que existe. Tomando un cuadrado, el mismo puede ser dividido en cuatro cuadrados congruentes y decir que el factor de ampliación es 2, o de manera similar, si se descompone en nueve cuadrados congruentes al cuadrado inicial, se dice que el factor de ampliación es 3. Como generalidad se puede expresar que el cuadrado se puede descomponer en n^2 copias de sí mismo. Si se hace un razonamiento análogo a partir de un cubo, el mismo se puede descomponer en n^3 partes iguales. De manera que se puede generalizar en la fórmula:

$$nD = N \quad (1)$$

Si se aplican propiedades de logaritmos, se obtendrá:

$$D = (\ln N) / (\ln n) \quad (2)$$

Donde:

D: dimensión

N: número de copias semejantes a la figura original.

n: factor de ampliación que se debe aplicar para obtener la figura original. Se conoce como dimensión fractal y es una simplificación del concepto de dimensión de Hausdorff.

Para Gómez (2012), el origen de los fractales y las técnicas para generarlos son dos temas que vienen de la mano. El primer método para generarlos es el sistema de las funciones iteradas consistente en reemplazar recursivamente un mismo sistema de aplicaciones sobre las imágenes que se van obteniendo. Así, los casos más conocidos de estos son: el triángulo de Sierpinski o el cubo de Menger. El primero es obtenido a partir de un triángulo cualquiera mediante la aplicación reiterada de homotecias de razón un medio sobre sus vértices. Esto producirá nuevos triángulos sobre los cuales se sigue efectuando la misma aplicación afín. Con la producción de esta figura Sierpinski se había hallado algo para lo que la geometría euclidiana no tenía solución: figuras de perímetro infinito y área finita. Era de esperar que hiciera falta una nueva forma de entender la geometría.

De igual forma Iturriaga y Jovanovich (2011), indican que, Siguiendo la relación con la esponja de Menger se puede establecer que la alfombra tendrá una superficie que tiende a cero cuando se incrementen las iteraciones y una longitud que tiende a infinito. La misma resulta útil para el tratamiento de relaciones lleno-vacío dentro de la estructura general de las ciudades, morfologías básicas, patios de parcela y manzana, circulaciones interiores y aperturas de fachada o estructuras de máxima envergadura y mínimo peso, característico de las formas arquitectónicas y urbanas. Melero y Acosta (2010) exponen que, la geometría eu-

clidiana ha simplificado las irregularidades. En concreto a linealizado las leyes, ha hecho una aproximación de la ley real y ha regularizado las formas geométricas, es decir, suponer suaves o lisas líneas o superficies que en rigor no lo son. La geometría euclidiana ha simplificado las irregularidades. Sin embargo Recientemente se ha descubierto que la naturaleza es caótica, sus leyes a veces se comportan de una manera determinista y caótica de manera que un ligero aumento de temperatura en un lugar de la Tierra puede tener consecuencias previsibles pero indeterminadas. La naturaleza es irregular. Mandelbrot ideó los fractales para describir y medir esas irregularidades.

Diferencias Fundamentales Entre La Geometría Euclidiana Y La Geometría Fractal:

Geometría Euclidiana:

- Tradicional más de 2000 años.
- Dimensión entera
- Trata los objetos hechos por el hombre
- Descripción por fórmulas

Geometría Fractal:

- Moderna, término acuñado en 1975
- Dimensión fractal
- Apropia para las formas naturales
- Algoritmo recursivo (iteración) repetición.

Por ese motivo surgió lo que hoy se conoce como geometría fractal, una parte de la matemática que se encarga de encontrar un orden y una regla en ese caos natural.

Fractales

El término fractal fue propuesto por el matemático Benoît Mandelbrot en 1975, y según Mandelbrot (2013), el término fractal proviene de la palabra latina “frac-

tus”, entendida como parte o fracción y de “rangere” que significa romper. Se relaciona con la dimensión fraccionaria. Los fractales son curvas infinitas contenidas en una superficie finita, por lo tanto se expresan como número de dimensiones no entero o fragmentario.

Iturriaga y Jovanovich (2011), indican que, como generalidad se acuerda en no definir un fractal, aunque es posible enumerar sus características:

- Los fractales son demasiado irregulares para ser descritos con la geometría tradicional de Euclides.
- Los fractales tienen una cierta forma de auto semejanza, quizás aproximada o estadística.
- Por lo general, la dimensión fractal es mayor que la dimensión topológica.
- En muchos casos, el fractal se define en forma muy simple, por lo general, recursiva.

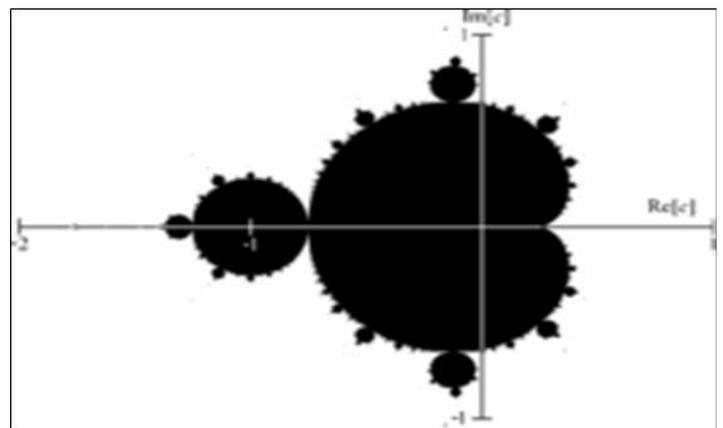
Cazorla (2012), expone que, la estrategia más sencilla para conseguir un fractal, es coger una figura y reproducirla en versiones más pequeñas. Sin embargo, se pueden conseguir objetos muchos más complejos. Es de saber la existencia de varios fractales que son ya famosos por sus características, el más famoso de ellos es el conjunto de Mandelbrot, propuesto en los años setenta, siglo XX. Pero no fue hasta una década más tarde cuando pudo representarse gráficamente con un ordenador. Este conjunto se define a partir de un número “c” cualquiera. La fórmula que describe al conjunto de Mandelbrot es:

$$Z_{nuevo} = Z_{viejo} + c \quad (3)$$

Donde z es un número complejo (Ej. $9+3i$) y c es una constante (Ej. $-0,122 + 0,745i$).

La pregunta a contestar es si después de un cierto número de iteraciones dada la constante c, el resultado

tendrá a infinito o no. Si el resultado es infinito, entonces en el plano complejo se colorea esta constante de algún color. En cambio, si el resultado tiende a un valor, se colorea de otro. También, según el número de iteraciones antes de llegar a un resultado no infinito se puede escoger un color. Al final, el plano complejo queda como la figura 1.



Gráfica 1. Plano Complejo

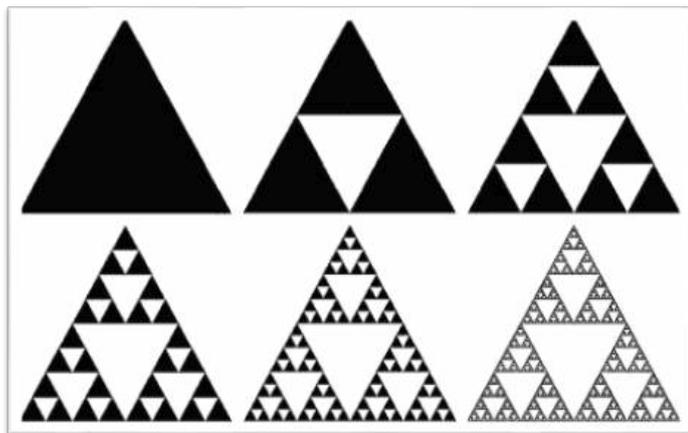
Fuente: Carzola (2012)

Según Mandelbrot (2013), en la actualidad se puede decir que existe una concepción y una geometría fractal de la naturaleza. Estas se basan, en esencia, en el concepto de autosimilitud, una propiedad exhibida por aquellos sistemas cuyas estructuras permanecen constantes al variar la escala de observación; en otras palabras: cuando las partes, por pequeñas que estas sean, se parecen al todo.

Igualmente Iturriaga y Jovanovich (2014), explican que, en el intento de una definición de fractales hay que considerar dos propiedades: la autosimilitud y la dimensión extraña. El término autosimilitud o autosemejanza está relacionado a la propiedad de un objeto de mostrar en sus partes la misma forma o estructura que presenta el todo, aunque pueden encontrarse a diferentes escalas y ligeramente deformadas en algunos casos.

Se pueden mencionar tres tipos diferentes de autosimilitud:

- Autosimilitud exacta: es el tipo más restrictivo y exige que el fractal parezca idéntico a diferentes escalas, un sistema de funciones iteradas. Ejemplo: conjunto de Cantor, triángulo de Sierpinski, copo de nieve de Von Koch y otros.



Gráfica 2. Triángulo de Sierpinski

Fuente: Iturriaga y Jovanovich (2014)

- Cuasiautosimilitud: la identidad del fractal a diferentes escalas es aproximada (fractales definidos por rela-

ciones de recurrencia). Matemáticamente, Dennis Sullivan definió el concepto de conjunto cuasiautosimilar a partir del concepto de cuasi-isometría.

- Autosimilitud estadística: es el tipo más débil y exige que el fractal tenga medidas numéricas o estadísticas que se preserven con el cambio de escala (fractales aleatorios). Ejemplo: el vuelo de Levy, paisajes fractales, árboles brownianos y otros.

La importancia de los fractales puede radicar en que conociendo una pequeña parte de ellos, es posible reconstruir toda su estructura, pues se trata de un patrón autosemejante que se repite a diferentes escalas. Debido a esto, si un problema presenta estructura fractal y es posible encontrar solución para uno de sus niveles de detalle, entonces la misma solución funcionará para cualquier otro nivel de detalle.

Sucesión de Fibonacci; Es la sucesión en donde cada término siguiente es la suma de sus dos predecesores. Leonardo Pisano (Fibonacci) la usó para intentar modelar el crecimiento poblacional de parejas de conejos para determinado instante de tiempo k . Se escriben los términos de la sucesión de Fibonacci 0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89 ... de otra forma, se ob-

| Recursos Naturales | Características del Diseño | Impacto (+) |
|--------------------|---|-------------|
| Agua | Reutilización de Agua de Lluvia y Sistema Eficiente | 0.5 |
| Fauna | Sistema Inteligente de Asistencia a la Fauna Urbana | 0.7 |
| Vegetación | Incorporación en los elementos Arquitectónicos | Espacio*0.9 |
| Suelo | Bio-Remediación a través de compostaje | Espacio*0.1 |
| Aire | Cobertura Vegetal y Arboles en el espacio | Espacio*0.9 |
| - | Reutilización de Componentes Electrónicos | 0.85 |

Gráfica 3. Tabla Sucesión de Fibonacci

Fuente: Mavares, Álvarez y Pineda.

serva: 0,1, (0 + 1), (1 + 1), (1 + 2), (2 + 3), (3 + 5), (5 + 8), (8 + 13), (13 + 21), (21 + 34), (34 + 55) ... Los números de la derecha de cada paréntesis forman una nueva sucesión de Fibonacci, igual ocurriría con los de la izquierda. Mostrando así que la sucesión de Fibonacci está formada por sucesiones de Fibonacci a diferentes escalas, evidenciando autosemejanza. La cadena fractal de Fibonacci es una concatenación infinita de ceros y unos en una secuencia específica. Dicha cadena puede llegar a generar una curva fractal si se asigna a cada uno de sus dígitos una regla simple para su gráfica. Es interesante observar como el número de dígitos de cada f_k es igual a los números de la sucesión de Fibonacci: (Ver Gráfico 3).

Para la construcción de la cadena fractal de Fibonacci se tomará el n -ésimo dígito de una cadena f_k . Inicialmente se dibuja un segmento de recta hacia adelante. Si el n -ésimo dígito de f_k es un cero, entonces: Se gira hacia la izquierda si la posición en la cual se encuentra es par. Si se encuentra en una posición impar, se gira hacia la derecha. Si el n -ésimo dígito de f_k es un uno, se continúa el trazo anterior. Después de varias iteraciones se obtendrá un fractal. Rivera y López (2012)



Gráfica 4. Cadena Fractal de Fibonacci
Fuente: Rivera y López (2012)

exponen que, de una curva comenzará a emerger un patrón de comportamiento; un patrón de autosemejanza a diferentes escalas, el cual se logrará evidenciar fácilmente si se aumenta el número de iteraciones, obteniéndose así una curva fractal; la Cadena Fractal de Fibonacci, mostrada en la Gráfica 4.

Los campos de los Fractales

Desde su nacimiento, las aplicaciones de los fractales han crecido exponencialmente expandiéndose a diferentes ramas de las artes y las ciencias. Según Iturriaga y Jovanovich (2011) hay teorías basadas en fractales que regulan el enorme tráfico de las comunicaciones, comprimen las señales de audio y vídeo, explican el crecimiento de determinados tejidos biológicos, analizan el comportamiento de las ondas sísmicas, los movimientos bursátiles, de mercado y más. Son ampliamente conocidas las pinturas de fractales e incluso hay música surgida de ellos. Todos los fractales tienen algo en común, ya que todos son el producto de la iteración, repetición, de un proceso geométrico elemental que da lugar a una estructura final de una complicación extraordinaria.

Según Ettinger (2015), en la arquitectura contemporánea hay numerosos ejemplos de diseños que retoman el concepto de fractal con la intención de hacer réplica de una forma a diferentes escalas. Christopher Alexander con varios colegas ha estudiado los patrones en objetos artísticos y edificios para argumentar a favor de su recuperación en la arquitectura. Sus seguidores retoman las arquitecturas tradicionales para crear conjuntos que consideran más adecuados al gusto humano.

Adicionalmente Braum (2011) expone que, las des-

cargas eléctricas y el nivel de las crecidas de los ríos son otro ejemplo de fractales. Resulta que estas cantidades, tomadas anualmente, tienen valores muy persistentes. Se ha intentado dar, infructuosamente, diversas explicaciones a este hecho. Aparentemente la única explicación que tiene visos de conformarse con los resultados experimentales es que estas cantidades se comportan como fractales. Los fractales abarcan temas amplios con aplicaciones en distintas áreas, a continuación se describe su apoyo en el campo de la arquitectura y de la electricidad.

Fractales en la Arquitectura

De acuerdo a Ettinger (2015), un ejemplo de la aplicación de los fractales en la arquitectura es el conjunto diseñado por Rob Krier para Alessandria en Italia y otro el conjunto de Poundsbury en Inglaterra que arremeda la arquitectura vernácula de la región. Pero no todas las propuestas “fractales” son tradicionales. Algunos proyectos como la controvertida propuesta de Daniel Libeskind para la ampliación del Museo Albert y Victoria en Londres y el Museo Judío el Berlín se ha descrito como arquitectura fractal. El diseño parte de la idea de replicar una misma forma en distintas escalas pero con formas geométricas agresivas que el mismo arquitecto cree reflejan teorías complejas.

Braum (2011), expone que, las empaquetaduras de Sierpinski, tanto en dos como en tres dimensiones, son modelos de muchas estructuras construidas por el hombre, así como de varios fenómenos naturales. Un caso interesante se dio cuando Gustave Eiffel construyó su famosa torre en París, Francia, en 1889. Esta obra de 335 m de altura tiene cuatro lados y cada lado tiene la forma de una letra A. Los cuerpos de cada parte de la A no están contruidos con vigas sólidas, lle-

nas, sino con armaduras gigantescas. Si se fija con detalle en cada una de estas armaduras, se dará cuenta de que están formadas, a su vez, de otras armaduras; Obteniendo una estructura autosimilar que forma un fractal. Si se compara una armadura y una viga cilíndrica llena con la misma capacidad de carga, la armadura resultará muchísimo más ligera que la viga. Eiffel sabía que las armaduras, son todavía más ligeras. Así, se ve que la Torre Eiffel es una aproximación a la empaquetadura de Sierpinski en tres dimensiones.

Adicionalmente Braum (2011) explica que, mientras más puntos ramales tengan una estructura, mayor será la resistencia que pueda soportar. Resulta que la Torre Eiffel cuenta con muchos puntos ramales. El arquitecto estadounidense Buckminster Fuller, diseñador de los domos geodésicos populares en la década 1960-1970, sabía que la capacidad de carga reside no en la masa total de la estructura sino en los puntos ramales que tenga. Entre más puntos ramales se cuenten más se acercará al ideal de una empaquetadura de Sierpinski y mayor será la carga que pueda soportar. De esta forma se pueden lograr estructuras ligeras que son capaces de soportar cargas muy grandes.

De igual manera Iturriaga y Jovanovich (2011), explican que, el concepto de fractal, arquitectónicamente, puede apreciarse en estilos como el gótico, donde el arco apuntado era el elemento determinante; son ejemplos, las catedrales góticas, las cuales aún se conservan, como las de Reims, Colonia, Amiens y otras. En el Castillo del Monte, contemporáneo con las catedrales, manifiesta un estilo fractal basado en octógonos. También se puede establecer un paralelismo entre la empaquetadura de Sierpinski y la famosa Torre Eiffel construida muchos siglos a posteriori de castillos y catedrales góticas. Existen en la arquitectura otras aplicaciones de fractales. Serapio Nono, arquitecto de prestigio y amante de las matemáticas, diseñó una

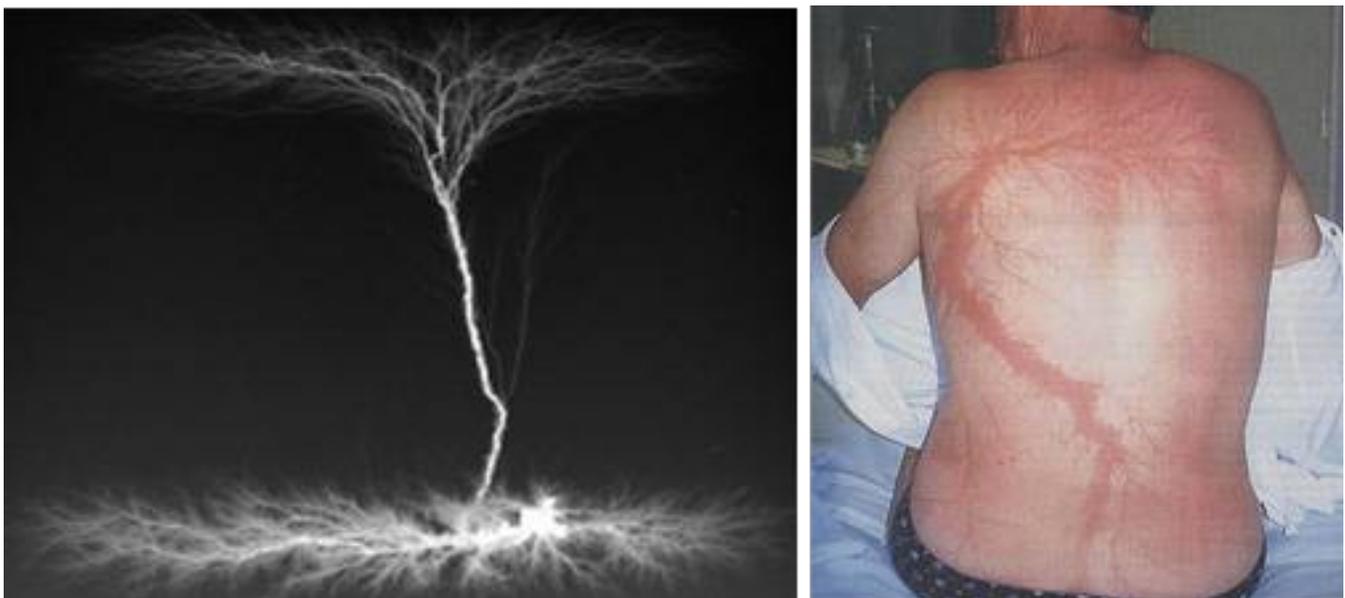
amplia urbanización de viviendas siguiendo la curva de Hilbert. Para Pineda (2009), la geometría fractal tiene una afinidad particular con el urbanismo, estableciendo una relación entre los enfoques, analítico y propositivo, de una manera atractiva y sugerente. Las ciudades, en sus diferentes tamaños, presentan una clara autosimilitud a diferentes escalas, barrios, manzanas, casas, la cual primero fue advertida de forma intuitiva y de una manera teórica y más profunda después.

Fractales en la Electricidad

Un fractal representa el poder de disminuir o aumentar a escala sin perder la proporción. La mente puede utilizar fractales para analogía de números entre diferentes escalas o dimensiones según un código matemático. La electricidad cósmica está basada en la onda encantada. La onda encantada es un fractal dinámico auto circulante; como fractal cósmico, la onda encantada es universalmente ajustable y auto generativa.

Argüelles (2006).

Georg Christoph Lichtenberg, fue una de las figuras más notables del siglo XVIII en Europa. Dedicó su vida a indagar en tantas áreas de conocimiento como su curiosidad lo impulsara. Según Raya et al (2011), uno de los descubrimientos más notables son las llamadas “figuras de Lichtenberg”, patrón fractálicos nacidos del instante en que una descarga eléctrica es congelada para siempre entre los límites de un material aislante, descubiertas por Lichtenberg mientras realizaba otro tipo de experimento con la corriente eléctrica en placas cubiertas de resina. Sin que lo notara, sobre esta resina se había acumulado una delgada capa de polvo que bastó para que por efecto de la electricidad se formaran esos extraños dibujos tan similares a los rayos de una buena noche de tormenta y encontró que la electricidad, en tanto no atravesara el aislante, se bifurcaba en regiones de carga positiva y negativa, efecto que se volvía completamente visible esparciendo polvo de sulfuro y óxido de plomo (minio) sobre la superficie (figura 5).



Gráfica 5. Figuras de Lichtenberg

Fuente: Raya et al. (2011)

Según Raya et al. (2011), una figura de Lichtenberg no se dibuja únicamente en un acrílico, si se tiene la desgracia de ser golpeado por un rayo pero la fortuna de sobrevivir a su impacto, puede ser que en el mismo cuerpo se grave uno de estos diseños (figura 6) un tatuaje completamente natural adquirido en condiciones inigualables. Estas figuras se consideran fractales porque si bien en su aspecto superficial parece que carecen de las características que distinguen a estos, se cree que los patrones de ramificación provocados por la ruptura dieléctrica iteran y se extienden hasta un nivel molecular.

Por otra parte Matematicalia (2011) expone que, algunos descubrimientos trascendentales para la ciencia tienen lugar de forma casual. Quizás la historia de Newton, la manzana que cae y el descubrimiento de la forma en que funciona la gravedad sea apócrifa, pero el descubrimiento de Aidan Dwyer es absolutamente real. Este estudiante, paseando por un bosque, notó que las ramas desnudas de los árboles no estaban orientadas al azar y después de investigar un poco descubrió algo de lo que ya se ha hablado anteriormente, la pauta de distribución de las hojas en las ramas y de las ramas en el tronco de muchos árboles siguen la denominada Sucesión de Fibonacci.

Descubrió que si se orientan las celdas fotovoltaicas respecto del Sol de una determinada manera, su rendimiento puede mejorar entre un 20% y un 50%. Es decir, que la disposición de las ramas de los árboles, relacionada con la serie de números descrita en el siglo XIII por el matemático italiano Leonardo de Pisa (Fibonacci) no es causal, y permite maximizar el aprovechamiento de la energía solar. Esta distribución puede observarse en la Gráfico 6.

Según Lituus (2011), un proyecto de investigación titulado El secreto de la sucesión de Fibonacci en los ár-



Gráfica 6. Distribución de celdas solares con sucesión de Fibonacci y de forma fija

Fuente: Lituus (2011)

boles (The Secret of the Fibonacci Sequence in Trees) muestra dos aspectos: 1) Verifica que la pauta de distribución de las hojas en las ramas y de las ramas en el tronco de muchos árboles sigue la sucesión de Fibonacci. 2) Verifica que la fotosíntesis en los árboles y plantas es más eficiente que los fotovoltaica fijos aunque estén completamente orientados al sur a la hora de captar energía solar todo el año. En dos épocas distintas del año se presenta un aumento en la captación de la energía solar: para invierno el método tradicional alcanza 8 h y el método tipo árbol hasta 12 h y media equivalente a un incremento del 50 % y en octubre de 11 h aumenta a 13 h y media aproximadamente un 20%.

Fractales de energía renovable en envolventes arquitectónicas

Al hacer arquitectura fractal no se trata de crear edificios sacados de la gráfica de una curva fractal, sino de emplear los principios de los fractales para crear un or-

den en los diseños arquitectónicos y en los urbanos. Ya que para diseñar se tiene la necesidad de basarse en un orden, y ese orden podría ser el que se encuentra presente en la naturaleza. Por lo tanto es posible desarrollar una dialéctica entre las energías renovables y las envolventes arquitectónicas. A continuación se dan unos ejemplos de estos casos usando patrones fractales. Para iniciar se tiene La Estación de Servicio Fractal (Gráfica 7).

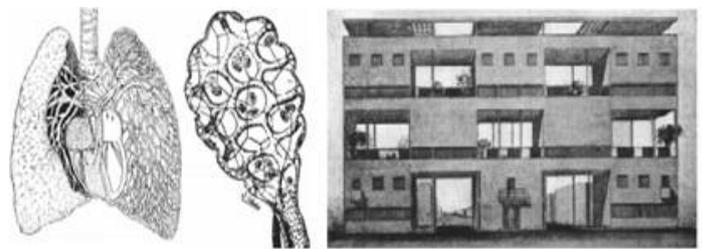
Sánchez (2012) explica que, en esta gasolinera ubicada en Los Ángeles, California, cargar combustible se convierte en una experiencia matemáticamente regocijante. Como se aprecia en la foto, la idea que da sentido a la construcción es la del fractal - una forma geométrica fragmentada que se divide en varias partes, pero cada uno de esos componentes es solo una copia de menor tamaño de la forma general-, cuenta con 90 paneles solares que alimentan la estación.



Gráfica 7. Estación de servicio Fractal
 Fuente: Sánchez (2012)

Por otra parte Jacobo (2008) expone que, en 1922 presentó Le Corbusier por primera vez su concepto de villas. Su idea era desarrollar una tipología habitacional para la construcción en altura en los centros urbanos, que debía tener el mismo confort que una villa aislada, con un máximo de luz y aire, aunque sea una construc-

ción densa, por esto, incorporó jardines colgantes en cada vivienda de dos niveles: Cada vivienda es una villa de dos niveles, con jardines, sin importar en qué altura y posición se encuentre. Es un volumen horadado, como un panel, de 6 m de altura, 9 m de ancho y 7 m de profundidad. Todo ventilado por medio de un pozo de 15 m de diámetro. Este panel es un pulmón, la vivienda es igual a una esponja gigante, que aspira aire. La Gráfica 8, muestra el pulmón humano conformado por millones de alveolos y su analogía diseñada por Le Corbusier.



GEOMETRÍA FRACTAL EN LA NATURALEZA Y EL DISEÑO: el pulmón humano conformado por millones de alveolos y su analogía diseñada por Le Corbusier para más luz y aire en los espacios interiores de los edificios

Gráfica 8. Concepto de Villas por Le Corbusier
 Fuente: Jacobo (2008)

Propuesta de fractales de energía renovable luz natural en envolventes arquitectónicas

Esta propuesta consiste en aprovechar la luz natural a través de la energía solar mediante el diseño de un modelo de recreación de energía renovable – luz natural a través de la envolvente arquitectónica permitiendo visualizar la factibilidad del uso de la geometría fractal para crear un captador solar y recrear la luz natural en los espacios arquitectónicos internos con

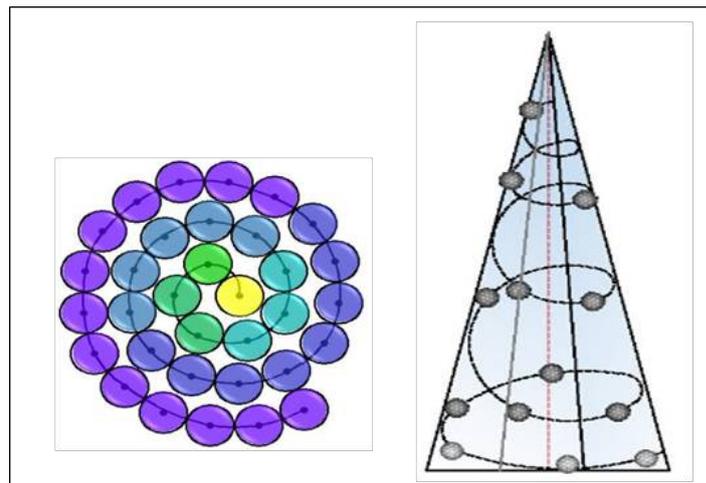
tecnología de fibra óptica. La intención del mismo es demostrar que con la geometría fractal y la tecnología de fibra óptica se puede aprovechar la energía renovable- luz natural requerida en espacios arquitectónicos, limitado al diseño del captador según los requerimientos teóricos normativos de iluminancia de cada área y a la transmisión de la luz por fibra óptica en la edificación; esta propuesta permite que la energía renovable a través de las envolventes arquitectónicas con enfoque fractal - tecnología fibra óptica, logre obtener arquitecturas ambientalmente sostenibles.

El diseño del sistema de iluminación pasivo responde a varios criterios; la cúpula o colector que se encuentra expuesto es fijo y es capaz de recoger la luz tanto como sea posible en un día normal soleado y soportar casi todo tipo de condiciones meteorológicas para cumplir con las normas de iluminación interna en edificaciones. Para optimizar su captación solar, los colectores estarán dispuestos bajo la geometría fractal, utilizando la sucesión de Fibonacci para su distribución.

Es importante resaltar que se debe realizar un cálculo de la cantidad de tramos de fibra óptica a utilizar en el proyecto mediante estudio previo de iluminación, para el espacio arquitectónico a iluminar, con la ayuda de los cálculos de la sucesión de Fibonacci y por la cantidad de colectores se crea un diseño partiendo de la geometría fractal que optimice la captación de energía solar – luz natural en un sistema que no requiera de motor de seguimiento al sol, cuya distribución de los colectores en el árbol sigue la forma de espiral de los árboles manteniendo la connotación fractal.

Se considera que cada captador es circular se coloca uno al lado del otro de la rama del espiral, en esta rama se dispondrá los colectores de forma central y comenzando un diámetro externo que sigue las etapas de la sucesión de Fibonacci, tanto en horizontal como

en vertical, ver Grafica 9. Para la distribución vertical se estima un aumento por cada captador de tal forma que entre las etapas tendrán un incremento según la cantidad de colectores presentes en la disposición de cada uno, y así evitar la superposición entre estos provocando la pérdida de luz natural.



Gráfica 9. Distribución horizontal y vertical en espiral de Captadores tipo Árbol Solar

Fuente: Elaboración Propia (2017)

En otras palabras se busca minimizar las pérdidas de luz dentro del colector y aumentar el flujo luminoso que entra en las fibras ópticas. En las edificaciones arquitectónicas se debe colocar un sistema para controlar la iluminación solar en el día que se emita al área mediante la fibra óptica, esto para tener un control total de la iluminación en caso de requerir el área con poca iluminación para alguna actividad.

La iluminación natural con fibra óptica representa una tecnología alternativa renovable que tiene el potencial para reducir el consumo energético de los edificios debido a la iluminación. Se recuerda que el 19% del total de la energía eléctrica consumida en el mundo

se debe al alumbrado. Partiendo del hecho que Venezuela encabeza la lista de los países latinoamericanos con mayor consumo per cápita de energía eléctrica, intensidad energética de 1.4. OLADE (2016). El sistema de iluminación natural proporciona una reducción significativa de la demanda y consumo energético del país y principalmente del estado Zulia. Por lo que los gobiernos locales deben enfocarse en fomentar este tipo de proyectos que buscan arquitecturas ambientalmente sostenibles.

Conclusiones

Se concluye que; las imágenes asociadas a las geometrías no euclidianas, son una vía para la aprehensión y apropiación de la complejidad, que permite ampliar la comprensión de los procesos de morfogénesis y la cultura sistémica del diseñador. Por ello, la comprensión de las nuevas geometrías, en particular la Geometría Fractal, permite observar de otra manera la realidad existente y de ese modo parecería que tiene la capacidad de ampliar los recursos disponibles para el diseño. En la electricidad se encuentran varios patrones fractales encontrándose las llamadas “figuras de Lichtenberg”, patrón fractales nacidos del instante en que una descarga eléctrica es congelado para siempre entre los límites de un material aislante y que la disposición de las celdas solares en una ramificación fractal, es decir, siguiendo la orientación de las hojas de un árbol cualquiera, tiene un rendimiento mayor en carga eléctrica, a lo largo de las horas solares, mayor que si se disponen en forma frontal; o sea el árbol aprovecha mejor la luz solar, siempre considerando las horas de luz solar. En esta investigación quedó demostrado que los patrones fractales se encuentran en las distintas disciplinas y una vez que se desarrolla el ojo matemático de fractales, se ve en todas partes, cada cosa que

se ve está descrita como una referencia de sí misma o de otra cosa. La importancia de los fractales puede radicar en que conociendo una pequeña parte de ellos, es posible reconstruir toda su estructura, pues se trata de un patrón autosemejante que se repite a diferentes escalas. Debido a esto, si un problema presenta estructura fractal y es posible encontrar solución para uno de sus niveles de detalle, entonces la misma solución funcionará para cualquier otro nivel de detalle.

Con respecto a la dialéctica entre arquitectura y electricidad se concluye que, al unir estas áreas del conocimiento y bajo los patrones fractales, se pueden desarrollar edificaciones que permitan simplificar las construcciones de tal forma de optimizar recursos, partiendo del comportamiento de la naturaleza, aprovechando energía renovable a través de las envolventes arquitectónicas en pro de un urbanismo adecuado. Con ecuaciones matemáticas se puede crear arquitectura basada en ciertos principios que manejan orden, escala y proporción, elementos necesarios para una arquitectura racional tomando en cuenta los principios básicos de orden que rigen en la naturaleza. Al aplicar la geometría fractal se facilita la absorción de la energía renovable – luz natural desde su complejidad en las arquitecturas, con tecnología de fibra óptica, obteniendo una reducción de consumo energético, que equivale a un menor costo de electricidad y a la reducción de gases de efecto invernadero, además de proveer un mejor confort visual para las personas y una iluminación eficiente, cambiando el paradigma a ciudad alimentada con energía renovable.

Referencias Bibliográficas

Argüelles, J. (2006); La sonda de Arcturus, Editorial Brujas, Córdoba.

Braum, E (2011); *Caos, fractales y cosas raras*, Editorial S.L. Fondo de Cultura Económica de España 2011.

Cazorla, C. (2012) *Que son los Fractales y como se construyen*; tomado en <http://www.xatakaciencia.com/matematicas/que-son-los-fractales-y-como-se-construyen>.

Ettinger, C. (2015); *¿Arquitectura Fractal? Relación entre la Nueva Ciencia y el Diseño*. Revista de la Facultad de Arquitectura Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo <http://www.sabermas.umich.mx/archivo/secciones-anteriores/articulos/75-numero10/152-iar-quitectura-fractal-la-relacion-entre-la-nueva-ciencia-y-el-diseno.html>.

Gómez, J. (2012); *Arquitectura fractal*, tomado en: http://innovacioneducativa.upm.es/sandbox/pensamiento/chip_geometrico/arquitectura_fractal.pdf.

Iturriaga, R. y Jovanovich, C. (2014); *Fractales, Economía y Empresas; Fractals, Economics and Business*, Argentina Trim Unne.

Iturriaga, R. y Jovanovich, C. (2011), *Fractales en Arquitectura*, revista digital semestral nº 6, año 3. Universidad Nacional del Nordeste Facultad de Ingeniería instituto de matemática ciencias básicas en ing. <http://ing.unne.edu.ar/imate/revista/R6A3.pdf>.

Jacobo, G. (2008); *La volumetría como Generadora de Arquitectura Bioclimática*. En: <http://arq.unne.edu.ar/publicaciones/comunicaciones/PONENCIAS%202004/046-Jacobo.pdf>

Lituus (2011); *El secreto de la Serie Fibonacci*, Publicado Agosto 2011 en: <http://luisletosa.blogspot.com/2011/08/el-secreto-de-la-serie-de-fibonacci-en.html>.

Mandelbrot, B. (2013); *Los Objetos Fractales*, editorial Tusquets Barcelona.

Matematicalia (2011); *Revista Digital de Divulgación Matemática, Proyecto Consolider Ingenio Matemática, Fibonacci y la energía solar*; tomado de http://www.matematicalia.net/index.php?option=com_content&task=view&id=3452&Itemid=58 en Agosto 2011.

Mejías, G. (2014); *Fractales*. Artículo tomado en: <http://personal.us.es/bcliment/images/articulos/Fractales.pdf>.

Melero, A. y Acosta, M. (2010), *La Ciencia De La Complejidad -La Teoría Del Caos.- Geometría Fractal*. tomado en <http://fractalesphinito.blogspot.com/2010/06/la-ciencia-de-la-complejidad-la-teoria.html>.

OLADE (2016) – Organización Latinoamericana de Energía, Sistema de Información Económica Energética.

Pineda, E. (2009). *“Plan Urbano, Morfología y Fractales” Tesis Doctoral, Doctorado en Arquitectura, Universidad del Zulia, Venezuela.*

Raya, J.; Ferrant, M.; Pacheco, M. y Erostarbe, F. (2011), *Relámpagos cristalizados: secreta fractalidad de la naturaleza* tomado en <http://pijamasurf.com/2011/10/relampagos-cristalizados-secreta-fractalidad-de-la-naturaleza/>.

Rivera, E. y López, R. (2012), *Scientia et Technica* Año XVII, No 52. ISSN 0122-1701 122 Evidencia de propiedades fractales en la sucesión de Fibonacci usando wavelets. Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. erh@utp.edu.co, tomado en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84925149026>

Sánchez, C. (2012), 10 sorprendentes edificios inspirados en las Matemáticas, El Universal de 10.mx México, tomado en: <http://archivo.de10.com.mx/viajes/2012/10-sorprendentes-edificios-inspirados-en-las-matematicas-15153.html>.

Xhemary, Dj. (2012), Omniverso Fractal España tomado en: <https://djsxemary.wordpress.com/tag/dios-fractal/>