

# Tecnologías de Fabricación y su Influencia en el Diseño Industrial

Manufacturing Technologies and their Influence in Industrial Design

Jácome P. <sup>1</sup>; Valverde C. <sup>2</sup>

1 Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Carrera de Ingeniería en Diseño Industrial, Quito, Ecuador

e-mail: epjacomem@uce.edu.ec

2 Universidad de Las Américas, Facultad de Arquitectura, Escuela de Diseño de Producto, Quito, Ecuador

e-mail: maria.valverde@udla.edu.ec

Información del artículo

Recibido: febrero 2020

Aceptado: abril 2020

## RESUMEN

La Teoría de la Autopoiesis de Patrik Schumacher, desarrollada para el Diseño Arquitectónico puede ser plasmada a través de la aplicación interdisciplinaria del diseño y de varias disciplinas de Ingeniería: Civil, Estructural, Mecánica y de Manufactura. En este ensayo se hace una extrapolación de esa teoría con el objetivo que sea el fundamento teórico y conceptual que sustente el diseño de productos para ser manufacturados en serie a nivel industrial. De esta manera se pretende difundir en Ecuador una metodología de diseño paramétrico de productos.

Como elemento que guía el diseño conceptual del objeto tomado como caso de estudio, se escogió el símbolo tri dimensional del infinito debido a su validez universal para distintas culturas alrededor del mundo. Así se plantea nuevos modelos de superficies para estructuras, a partir de superficies canónicas basadas, por ejemplo, en el círculo o en la elipse. Aquí se presenta una metodología de diseño y de propuesta de forma que puede adaptarse para resolver el diseño de producto de joyas, envases y griferías, por ejemplo, o estructuras como esculturas, puentes, estadios y coliseos

**Palabras clave:** *Diseño Industrial, Diseño de Producto, Diseño Paramétrico, Autopoiesis, Ingeniería de Manufactura.*

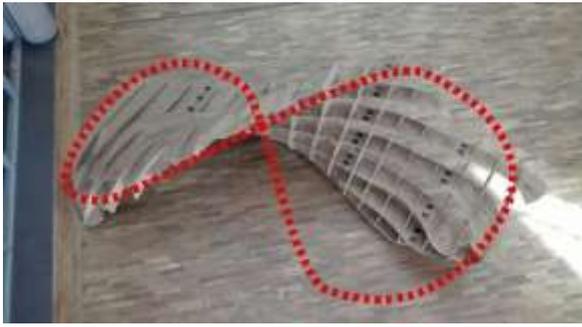
## ABSTRACT

Patrik Schumacher's Theory of Autopoiesis, developed for Architectural Design can be embodied through the interdisciplinary application of design and various Engineering disciplines: Civil, Structural, Mechanical and Manufacturing. In this essay the objective of extrapolation of this theory is to turn it into the theoretical and conceptual basis that supports the design of products to be manufactured in series at the industrial level. In this way, it is intended to disseminate a parametric product design methodology in Ecuador.

As an element that guides the conceptual design of the product taken as a case study, the three-dimensional infinity symbol has been chosen due to its universal validity for different cultures around the world. Thus, new models of surfaces for structures are proposed, based on canonical surfaces based, for example, on the circle or on the ellipse. Here we present a design and proposal methodology so that it can be adapted to solve the product design of jewels, containers and faucets, for example, or structures such as sculptures, bridges, stadiums and coliseums

**Keywords:** *Industrial Design, Product Design, Parametric Design, Autopoiesis, Manufacturing Engineering.*

## 1. Introducción



**Figura 1** Vista superior de la estructura basada en la banda de Moebius

### 1.1. ¿Qué es el diseño paramétrico?

Con el objetivo de comprender el concepto de diseño paramétrico se realizará una breve descripción de hitos históricos que permitan formar un criterio intuitivo de lo que esa metodología de diseño constituye. A partir del desarrollo de la segunda revolución industrial se alcanzó la estandarización de los procesos de producción en serie buscando el objetivo de disminuir los tiempos de producción regidos en un marco de trabajo donde se buscaba la optimización de los recursos, siempre escasos en el planeta Tierra. Esa estandarización se lee y se interpreta a través de la normativa técnica, mayormente regida en los tiempos actuales por la International Standardization of Organization (ISO). Dicha estandarización se evidencia básicamente a través de dimensiones y tolerancias geométricas, aunque con menor aplicación de las tolerancias geométricas, si se considera el nivel de industrialización del Ecuador. Con este marco técnico aplicado a la producción se consigue la intercambiabilidad de objetos entre diversos sistemas de productos y también la complementariedad entre productos. Por esta razón se tiene repuestos, por un lado, y por otro, los accesorios.

Continuando con este ejercicio descriptivo, se llega a la tercera revolución industrial, donde ya era evidente otro resultado de la estandarización: el diseño de la familia de objetos o de productos y su posterior producción.

Peró no se puede ubicar en ninguno de esos dos estadios del desarrollo de la sociedad humana de producción el origen del diseño paramétrico, pues su origen es anterior. Para ensayar una hipótesis sobre su posible su origen, se puede iniciar escribiendo que cuando los primeros humanos conoci-

dos como *homo sapiens* empezaron a repartir sus recursos [1], empezaron a hacer un trabajo basado en lo paramétrico, si se hace una abstracción de la necesidad de establecer medidas estandarizadas para procurar el racionamiento equitativo para los integrantes del clan y luego de la tribu. Siguiendo el paso de la historia humana, es necesario dar un salto a la sociedad de la Grecia clásica donde destacaron los geómetras y los astrónomos, con sus sistematizadas actividades para proyectar los contornos de la Tierra y sus múltiples texturas orográficas. La tarea de esos primeros científicos se ordenó a través de la parametrización y es innegable la influencia mutua entre los griegos y las sociedades de medio y de extremo oriente [1].

Y a pesar de que las evidencias actuales no muestran la parametrización de los pueblos ancestrales de América, se puede leer en distintos vestigios los niveles de parametrización necesarios para obtener las réplicas cerámicas y rupestres de objetos diseñados y producidos en distintos puntos del continente llamado nuevo por la visión etnocéntrica [2].

Y superando el rezago de la Edad Media, el Renacimiento muestra en las ciudades estado de Europa los diseños parametrizados de ciudades y de sus edificios, así como en sus productos de uso diario. Pero así también en el incipiente renacimiento de la ciencia aplicada, de cuyos indicios de aplicación paramétrica se tienen los bocetos de Leonardo da Vinci, así como en sus dibujos, pinturas y retratos, singular tarea de simbiosis entre el creador (léase diseñador), el técnico y el científico [3].

Toda esta simiente de la ciencia tenía un carácter axiomático, para su autoconstrucción, y paramétrico, para su explicación y su aplicación. Estas características posibilitaron la expansión, profundización y trascendencia de conocimientos dentro de la Astronomía, la Física, la Matemática y el desarrollo organizado de la ciencia aplicada a través de la Arquitectura y de la Ingeniería.

Por otra parte, aproximadamente por el siglo XVII, René Descartes propone las mediciones basadas en coordenadas, sistema de referencia imprescindible en el modelamiento digital y para la programación de los robots y máquinas de la Cuarta Revolución Industrial.

Ya en el siglo XX se registra metodologías de parametrización basadas en la proporción del cuerpo del ser humano como en el caso de los textos del arquitecto francés Le Corbusier (*Le Modulor*). Posteriormente, se tienen los proyectos de superficies obtenidos a partir de burbujas de jabón, según el proceso generado por otro arquitecto: Frei Otto. Casi a finales del siglo XX la obra arquitectónica de Zaha Hadid enarbola a nivel mundial el emblema de diseño paramétrico. La concepción teórica del diseño paramétrico fue realizada por Patrik Schumacher a través de dos volúmenes denominados *la Autopoiesis de la Arquitectura I y II*, respectivamente. Es esta monumental obra teórica en la que se sustentó el caso de estudio que se presenta al final de este ensayo. Si bien el título de esta obra es totalmente orientado hacia la arquitectura, Patrik Schumacher deja la puerta abierta para sustentar el diseño de producto. Esta libertad permitió ejecutar el diseño de un producto adaptado a la realidad del Ecuador como es la estructura de exhibición realizada en madera

## 2. Material y métodos

### 2.1. Diseño parametricista

En una actitud simplificadora planteada de manera didáctica se puede manifestar que el diseño parametricista tiene sus herramientas en las que presenta el diseño paramétrico.

Para lograr la eficaz construcción de los proyectos parametricistas se debe recurrir a las ciencias aplicadas de la ingeniería, según es analizada por Patrik Schumacher [3]. Dentro de la irrupción tecnológica que se vive en el siglo XXI son evidentes las herramientas de simulación de ingeniería conocidas dentro del lenguaje técnico como CAE (Computer Aided Engineering), cuya aplicación es sostenida por la teoría matemática de los elementos finitos y por los sucesivos procesos para análisis conocidos como la modelación de elementos finitos y en el análisis de elementos finitos.

Se debe manifestar aquí que la correcta aplicación del CAE implica la interpretación, en la definición más ajustada de este término, del modelo o prototipo digital. Esto es, para ampliar este entendimiento, se debe tomar las partes del sistema digitalizado que den información relevante para la simulación y por ende para el análisis [4]. Es decir, a pesar,

de la relación que existe entre un modelo CAE y un modelo CAD (Computer Aided Design) no necesariamente el modelo CAE debe tener todos los detalles que se necesita en un modelo CAD para la manufactura, esta afirmación es notable cuando se trata de la producción de series de productos a través de la manufactura de moldes.

Para aclarar estos asertos, se ahondará en explicaciones que tienen una base fuertemente empírica. En el modelo CAD se archivan los registros geométricos y de dimensión de elementos digitales tipo sólido (se diría la data en el argot técnico de la minería de datos). Aquí cabe otra aclaración para diferenciar entre softwares, según las características que tienen en su arquitectura manifiesta: paramétricos en contraposición con los que no lo son. Sin embargo, se debe decir que con la metodología apropiada sustentada en los conocimientos básicos imprescindibles de la geometría y del álgebra lineal, se puede modelar un objeto o producto de manera paramétrica, aunque el software no lo sea. Se debe recordar lo que se expuso en los párrafos del tema ¿Qué es el diseño paramétrico? y la abundancia de evidencias de diseño paramétrico, en circunstancias que no existía atisbos siquiera de software o incluso la presunción de que se podría elaborar tal tecnología.

Continuando con la aclaración planteada, para obtener el archivo CAD se puede diseñar una metodología para su uso o simplemente empezar su operación. Si se necesita hacer un diseño paramétrico usando un software cuyos algoritmos de modelado no son paramétricos es imprescindible una estructura de modelado que sea basada en el dibujo técnico y por ende en la geometría plana con el objetivo de establecer ciertas dimensiones básicas (parámetros) que permitan la obtención del producto final. Otra forma de obtener un producto paramétrico utilizando un software que no lo es, es a través del uso de fotografías escaneadas de prototipos físico fotografiados o en su defecto escaneados.

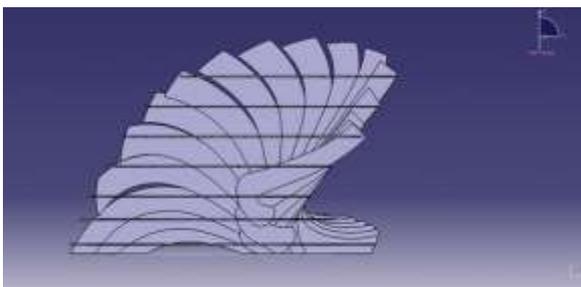
Sin embargo, en cualquiera de los dos últimos casos no se podrá obtener una familia de productos a partir de los cambios dimensionales y/o geométricos realizados sobre parámetros que se actualicen manualmente, es decir a través de la actualización de las variables independientes, o por actualización de las variables dependientes dentro de una ecua-

ción matemática. Sin embargo, para cualquiera de las dos situaciones, es decir, modelado digital con software de tipo no paramétrico en contraposición con el modelado en software de tipo paramétrico, se obtiene un archivo digital parametrizado.

A partir del modelo CAD la utilización de otros softwares dependerá de los criterios profesionales necesarios y de los objetivos de cada proyecto. Esto es, aparte de la aplicación directa que en este ensayo se mostrará con el CAE, se podrá interaccionar con un software de interface CAM (Computer Aided Manufacturing) - CNC (Computer Numerical Control) con fines de manufactura sustractiva o aditiva para el caso de impresión 3D [5]. Además, cabe decir, se podrá interactuar con un software CMM (Coordinate Measurement Machines) con fines de verificación de dimensiones del mencionado molde ya fabricado.

Este tipo de interacciones usando un solo archivo digital o variaciones paramétricas de uno básico, permite realizar estudios conceptuales con el nivel de rigurosidad que el producto y su proyecto albergador lo necesiten. Estos estudios conceptuales pueden profundizarse en función de los niveles de experticia disponibles dentro del recurso humano. O en función del costo-beneficio involucrado en un desarrollo. Los fines siempre buscarán la optimización de recursos: uso de categorías de materiales, cantidad de material, tiempo de desarrollo y tiempo de mano de obra.

## 2.2. Caso de estudio



**Figura 2** Vista lateral de la estructura. Modelado en CATIA [3]

## 2.3 Explicación del modelado digital

Se tomó como punto de partida el modelo digital creado con superficies en Rhinoceros. A esas superficies se les hizo extrusiones en el módulo Part Design de CATIAV5R21 [6].

La estructura está realizada una malla (mesh o surface) compuesta de tetraedros generada automáticamente por el software según los parámetros pre establecidos por el analista de elementos finitos

## 3. Resultados y discusión

Con el esfuerzo de Von Mises se sintetiza en una ecuación la combinación de esfuerzos principales, es decir los relevantes, que actúan sobre el sistema definido exactamente. Dentro de esta ecuación se define un factor de seguridad, el cual está estandarizado por normas técnicas de construcción en función de la seguridad de la estructura misma y también de las personas que con ella interactúan.

### 3.1. Descripción del modelo matemático

Describir todos los escenarios posibles a los que puede, o debe según el caso, enfrentarse una estructura, o en su forma más general: un objeto o un sistema, puede llegar a ser una actividad sumamente compleja debido, sobre todo, a la cantidad de variables interactuantes y generadas sobre el sistema [3].

Por ello la primera acción tiene que ver con la definición precisa del sistema. Aquí es de suma importancia la teoría de campos del álgebra vectorial, pues permite definir los límites de frontera y las condiciones para esa frontera, mismas que tienen que ver con las características de los materiales utilizados: densidad de la madera, espesor de la sección transversal y las características de la resistencia mecánica. Estas dos primeras variables permiten determinar la resistencia de la madera, así como también dirigen el análisis para optimizar el espesor de los tablones. Este análisis, a su vez, señalará los rangos de espesor de la madera sin que la estructura presente riesgos, incluso desde sus inicios de corte, en su transporte, durante su armado y durante su exposición, y finalmente para su bodegaje o destino final.

A continuación, se establecerán las variables sobre el mismo producto: condiciones de los grados de libertad y sistema de cargas externo. Estas variables introducen cada una por separado y en sus múltiples interacciones entre sí, otros niveles de complejidad.

El sistema de cargas que se define en un sistema tiene que ver con la primera ley de Newton, es decir la suma de fuerzas es cero para un sistema estático.

### 3.1.1. Sistema de cargas

Los materiales que dan cuerpo a la estructura tienen densidad, propiedad física que establecerá el peso de la estructura. Dentro de la Ingeniería Estructural este peso se considera dentro de las cargas llamadas muertas. Debido al carácter expositivo de la estructura, otras cargas que no se consideran para el análisis, por no existir son: carga de lluvia, nieve y granizo. Y otras cargas son irrelevantes por situarse la estructura dentro de sitios cerrados: carga de viento, carga por dilatación térmica debido a la influencia del sol o del calor del medio ambiente.

### 3.1.2. Grados de libertad

La estructura expositiva está diseñada para ser soportada por un piso. No se coloca ninguna otra restricción a sus grados de libertad.

Para el caso de estudio del volteo se supone que solo uno de sus soportes estará en contacto con el piso. Esto sucederá cuando se le aplique una carga de tipo vertical en sentido de abajo hacia arriba y será aplicada en el punto más externo de la estructura respecto al punto de apoyo final. Además de ser el punto que provoque el momento más alto sobre la estructura se considerará una altura que sea pertinente con el análisis ergonómico para una persona que aplica una carga de levantamiento.

## 3.2. Descripción del modelado digital

### 3.2.1. Modelo CAD

El modelo CAD inició como una superficie plana rectangular teniendo como únicos parámetros explícitos sus dimensiones de largo y ancho. Esta superficie se modeló en el software Rhinoceros. Posteriormente se le aplicó la herramienta llamada torsión, tomando como referencia el concepto de la banda de Moebius.

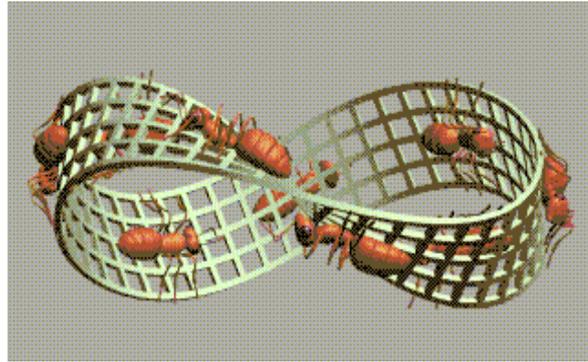


Figura 3. Banda de Moebius [6]

La tensión de borde en cada una de las curvas isoparamétricas es cero, puesto que no es necesario que las curvas generatrices sean tangentes a alguna curva externa o paralela a alguna recta debido a que es una estructura abierta.

### 3.2.2. Ingeniería de manufactura

Si bien al aplicar el dibujo técnico para el diseño de productos y con él para el diseño industrial, se brinda tolerancias a las dimensiones de toda la geometría, se debe además considerar otras tolerancias que tienen que ver con los procesos de manufactura, sean estos para producción en serie o para producción individual. Por ejemplo, se tiene la cantidad de sobrematerial para mecanizados posteriores, los porcentajes de contracción y expansión de los materiales tanto durante su producción como durante su operación, los niveles de desgaste de los elementos mecánicos de las máquinas y los ensambles, o las condiciones de ciclo de vida del producto que se presentan en las herramientas de arranque de viruta.

Cuando se realiza modelamiento digital se debe considerar además las tolerancias del objeto a diseñarse, siendo las de mayor exactitud las superficies de clase A según se usan en la industria automotriz [7].

### 3.2.3. Topología

La topología es una parte de la Matemática que estudia la calidad de las superficies elaboradas en el espacio [8].

Considerando la aplicación práctica del sistema teórico topología se tiene que, dentro de los softwares para modelado de objetos, la máxima

calidad de una superficie se denomina superficie clase A, tal como se escribió en el párrafo anterior, y el mejor referente de aplicación se encuentra dentro de la industria automotriz debido a la necesidad de continuidad de la superficie metálica de la carrocería de un auto luego de la aplicación de las sucesivas capas de pintura automotriz [9]. Para el caso de estudio es innecesaria tan elevada precisión, aún más si se considera que la construcción de la estructura contempla el uso de planos seriados, es decir no estamos ante una estructura tipo skin (es decir piel o escribiendo con mayor propiedad: superficie).

### 3.2.4. Pasos esenciales de la metodología

Como se ha escrito en un párrafo anterior el resultado de la investigación funcional puede ser una metodología, para el caso de estudio, donde se utiliza herramientas digitales de tipo paramétrico, se sugieren los siguientes pasos esenciales:

- Bocetar a lápiz el primer concepto
- Exploración de la forma
- Sistema de decisiones de Diseño
- Exploración formal a través del Diseño Paramétrico
- Diseño físico y optimización de la estructura paramétrica: Un estudio de elementos finitos

Resumiendo, y ampliando la explicación hasta estas líneas, la estructura paramétrica estudiada fue creada dentro de un trabajo de taller aprender haciendo con treinta estudiantes de diseño de la Universidad de Las Américas, a partir del uso de la herramienta llamada torsión de superficies del software Rhinoceros. Esto con el fin de crear una estructura basada en los manifiestos teóricos del parametricismo, y que sirva como exhibidor de muestras temporales.



Figura No.4 Estructura en exhibición

A este modelo digital se le realizó la simulación del caso estático en el software CATIA V5R21, ubicándole restricciones de cero grados de libertad en su base y sometiendo a cargas distribuidas de manera uniforme sobre las superficies de la estructura [10]. El software generó la malla para el análisis de elementos finitos. En la simulación del caso estático, se aplicó el análisis de esfuerzo según el criterio de falla de Von Mises en N/m<sup>2</sup>. Además, se analizó la deformación de la malla en milímetros. En base a esta primera optimización se construyó el objeto en madera enchapada. El material escogido dentro de la base de datos de CATIA V5R21 es *walnut*, una madera con características de material isotrópico, cuya densidad es 609 kg/m<sup>3</sup> y el módulo de Young es 1,16E10 N/m<sup>2</sup> [11]. Se usó tablones de espesor 15 mm y de dimensiones 1,20 x 2,40 metros cortados a la forma final en una máquina CNC de dos ejes. En ese estudio se determinó la relación esfuerzo-deformación en los puntos críticos de la estructura.

### 3.3. Discusión

#### 3.3.1. Posibilidades de aplicación de la ingeniería

Usando el software de simulación de ingeniería CATIA (*computer-aided three dimensional interactive application*) se estableció un sistema de cargas externa que reprodujo escenarios de reacciones extremas sobre la estructura.

Las reacciones en la estructura susceptibles de estudio son: desplazamientos, dilataciones térmicas, sistemas de vibraciones, esfuerzos, y la ubicación de estos parámetros en los puntos de análisis crítico.

Para el caso de la estructura expositiva sometida a análisis se tiene que está sometida a un sistema de fuerzas combinadas que generan un sistema de esfuerzos combinados: tracción, flexión, pandeo y fatiga. Para el caso de la fatiga se ampliará el alcance del proyecto con el fin de realizar estudios de comportamiento dinámico. Este comportamiento dinámico es totalmente factible de transmitir sus señales a través de Arduino con el fin de realizar demostraciones académicas en tiempo real y extrapolar el análisis de materiales en cuanto a su respuesta bajo escenarios controlados [11].

### 3.3.2. Variables para la simulación de ingeniería

El uso de los criterios de parametrización desde los puntos de vista de la ingeniería permite la optimización de sistemas complejos. Son sistemas complejos desde varias categorías de análisis: Sistemas de cargas complejos, sistemas de esfuerzos complejos de reacción, sistemas complejos de interacción geométrica.

Permitir una sección transversal variable de los elementos tipo viga y tipo columna con los que se produce el volumen de la estructura.

Comparar la estructura de doble curvatura finalmente obtenida con una estructura conceptual de una sola curvatura. La estructura de doble curvatura es el resultado de la interacción de dos curvas ubicadas en sus respectivos planos que son ortogonales entre sí. La estructura de simple curvatura se producirá a raíz de la simplificación de la superficie de la estructura final.

### 3.4. Teoría y Método

Dentro de CATIA V5R21 se usa el módulo de simulación de Ingeniería denominado *Static Case Solution* donde se analiza el esfuerzo de Von Mises, *Deformed mesh*, *Estimated local error* y *Translational displacement vector*. Entre los resultados obtenidos están en porcentaje el *Global Error Rate*.

#### 3.4.1. Suposiciones para la simulación

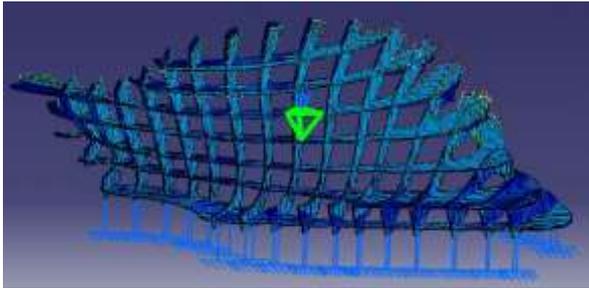
Para la obtención de los resultados que validaron la construcción de la estructura se debe establecer un escenario virtual. En todos los casos que se establezca, el modelo CAD no mostrará la unión entre los tableros que se realiza con perfiles de acero. En estos dos escenarios básicos se supone que las planchas de madera son continuas. En la estructura real por disponibilidad de tamaños de tableros estándares se les incorporó chapas de acero en ángulo y con el fin de producir su ensamble en una forma rápida.



Figura 5. Ensamble de los módulos de la estructura

Para el primer escenario virtual, entre las condiciones de borde (se remite al lector a profundizar en la lectura de Teoría de Campos según se estudia en Matemática y a Teoría de Sistemas en Sociología) se simulará que la estructura está anclada al piso. Considerar este caso extremo permite determinar los nodos críticos de la estructura. La suposición asumida es compatible con la situación real donde la única carga actuante es el peso propio de la estructura. Esta restricción se definirá en el campo llamado *Restraints*. Así se determinará los nodos críticos de la estructura en este escenario extremo [4].

Dentro de la pantalla de interface aparece un tetraedro en pantone verde que señala el centro de gravedad de la estructura, mismo que coincide con el centro de momentos.



**Figura 6.** Resultados del análisis de elementos finitos

La estructura que se está estudiando está diseñada para ser un objeto expositivo de carácter efímero, por ello su material es la madera y por facilidades de manufactura es de madera prensada o enchapada.

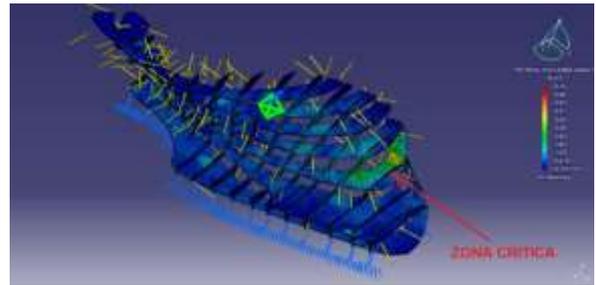
Para completar este escenario se establecerá la carga como densidad de peso para cada tablón usado en la construcción de la estructura. Esta densidad se manifiesta de manera adimensional como unidades de masa en relación al área. El área que aquí se considera es el área proyectada de la cara superior de cada tablón. El valor de la última columna es el que se denomina *Pressure* dentro de CATIA-V5R21.

**Tabla No. 1** Determinación de la densidad de los tableros de la estructura

HORIZONTALES				
Tablero	Masa	Área total	Área cara superior aproximada	Densidad de carga aproximada
	kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	25,29	5,863	2,9315	8,62698277
2	25,405	5,915	2,9575	8,59002536
3	14,334	3,407	1,7035	8,41444086
4	13,78	3,266	1,633	8,43845683
5	11,256	2,695	1,3475	8,35324675
6	7,07	1,704	0,852	8,29812207
7	5,278	1,274	0,637	8,28571429

La densidad de carga calculada se ubica en el campo *Loads* como una carga de tipo *Pressure*. Como son siete niveles de tableros se tiene siete cargas del tipo *pressure*.

Las soluciones que el software brinda son apreciables en un mapa de colores como el del gráfico siguiente, donde se ha tomado como ejemplo el esfuerzo combinado de Von Mises. En la parte de derecha se encuentra la banda de colores que explica la distribución de esfuerzos para el modelo planteado. Esta banda varía entre al azul y el rojo. El azul muestra la combinación de esfuerzos menos crítica para la estructura analizada. El rojo muestra las zonas más críticas.



**Figura No. 7** Resultados del análisis de elementos finitos

El segundo escenario considerará un caso de volteo de la estructura, en el momento justo previo al volteo. Así se determinará la carga máxima que puede soportar antes de que se produzca el evento.

Como se ha dejado entrever en un párrafo anterior las posibilidades de análisis estático pueden extenderse al análisis de comportamiento dinámico lo cual se hará en el futuro incorporando un transitorio para analizar las vibraciones de la estructura [23].



**Figura No. 8** Pérdida de continuidad

#### 4. Conclusiones

Una vez presentados a modo de ensayo, los componentes de ingeniería del proyecto de investigación llamado: "Elaboración de una metodología de aplicación de conceptos de diseño y arquitectura contemporáneos, mediante el uso de herramientas de tecnología digital pertinentes", estos son: el modelo teórico basado en la Autopoiesis planteado por Schumacher y sus respectivos antecedentes, las disciplinas científicas y técnicas que de manera transversal permitirán la validación experimental del producto estudiado, la descripción básica del modelo de simulación matemática en software y el resultado que se espera de parte del Proyecto, queda realizar las pruebas experimentales escogidas [8] para compararlas con los resultados que el software produzca, y en base al Análisis de Valor Agregado sustentar el modelo teórico de metodología que permita una creación recurrente de diseño de objetos de manera paramétrica y parametricista.

Se debe enfatizar que el diseño de producto involucra la interacción de varias disciplinas profesionales, debido a lo cual es necesario elaborar un plan estratégico que defina las tareas y las operaciones que permitan su realización. Además, es necesario definir explícitamente los recursos que serán utilizados. Aquí, el tiempo es el recurso más difícil de estimar dentro de la planeación, con el fin de medirlo durante la realización del proyecto y estimar su cuantificación en valor económico. En el Ecuador, generalmente, el costo del tiempo es subestimado en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se puede mostrar esta situación cuando se aplica la curva de aprendizaje acelerada que se produce cuando la transferencia de tecnología es implantada para enseñar software en actividades específicas.

Para las tareas de análisis de ensamble estructural, existen protocolos específicos definidos por academias y gremios profesionales, asociaciones técnicas y regulaciones gubernamentales. Sin embargo, no hay protocolos que integren tareas interdisciplinarias y que asocien cada uno de los resultados obtenidos por cada disciplina de ingeniería aplicada, y en el caso de este ensayo con el diseño.

Las tareas interdisciplinarias se vuelven más complicadas de integrar cuando se decide el uso de interfaces de herramientas digitales, ya que están di-

señadas de acuerdo con sus usuarios potenciales y los resultados que desean obtener de su aplicación. Por lo tanto, es necesaria una visión holística de los procesos y partes del proyecto para combinar las diferentes visiones profesionales, los objetivos individuales de cada diseñador y las herramientas digitales aplicables a cada modelo involucrado en el estudio.

Debido a la irrupción tecnológica contemporánea, los niveles de transferencia de tecnología desde los centros de desarrollo a sus sociedades periféricas son bajos. Esto se explica en el sentido de que la pendiente de la curva de aprendizaje para las personas aumenta.

Del mismo modo, se reduce la vida útil de los productos, principalmente el hardware que soporta el software. A pesar de la relevancia de Internet, los conceptos básicos y fundamentales que sustentan la ciencia y, por lo tanto, la tecnología y la tecnología que se derivan de ella, no se consideran la fuente necesaria para la aplicación creativa e innovadora de poderosas herramientas digitales y tecnológicas.

Al mejorar el análisis basado en los resultados ya obtenidos, se observó que en un sistema complejo armado con ensamblajes auto rígidos y en el que existe la posibilidad de sistemas de carga múltiple, la intuición de los criterios para incorporar el producto analizado no es suficiente.

Por lo tanto, el primer experimento digital permitió guiar el uso de la estructura de la exposición. Incluso su funcionamiento podría validarse mientras se analiza en el software.

Tampoco la mera aplicación de estándares de construcción permite una predicción precisa para casos como el analizado en este artículo. Esto se debe a que están desarrollados para sistemas modulares estáticos que responden a disposiciones de cuadrícula rectangular. Es decir, no se implantan de acuerdo con un ritmo de acoplamiento dinámico. Además, esos sistemas, debido a sus características estáticas, no tienen pronósticos para análisis armónicos como los que se enviarán al objeto construido en un corto período de tiempo. Nuestros resultados demuestran que la inferencia de la simulación digital no es suficiente para el caso de los sistemas que presentan altos niveles de complejidad. Lo cual se puede analizar en otro artículo.

## Referencias

- [1] J. Trujillo y J. Cadena, El pensamiento mitológico como sistema cognitivo de las etnociencias, Quito : Revista Anales, 2015.
- [2] V.L. Duc, «Viollet-Le-Duc y la visión europea de la Arqueología maya en el siglo XIX,» 09 06 1980. [En línea]. Available: <http://www.danielschavelzon.com.ar/?p=2519>. [Último acceso: 25 05 2019].
- [3] Jácome-Monar, E. P. a. Rojas y M. C. Valverde, «La Autopoiesis de la Arquitectura como Marco Teórico para Sustentar el Uso Eficaz de la Tecnología en el Diseño de Producto,» *TECNOLOGÍA & DISEÑO*, 2018.
- [4] Rodríguez y M. a. Torres, «Autopoiesis, la unidad de una diferencia: Luhmann y Maturana,» *Sociologías*, pp. 106--140, 2003.
- [5] Engineering, «engineering.com,» 27 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/14609/3D-Printed-Device-Changes-Color-in-Response-to-Mechanical-Stresses.aspx?ENGCOM=>. [Último acceso: 2019].
- [6] J. A. V. Angulo, Análisis y Diseño de Piezas con Catia V5 2a Ed.: Método de elementos finitos, Marcombo, 2011.
- [7] P. A. Miguel, «Escher y la banda de Moebius. Antonio Córdoba.,» Madrid Blogs, 15 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.madrimasd.org/blogs/CienciayPoesia/author/pedroalonso>. [Último acceso: 2019].
- [8] M. P. Bendsøe y S. Ole, «Esquemas de interpolación de materiales en optimización de topología.,» *Archivo de mecánica aplicada*, n° 69, pp. 635-654, 1999.
- [9] M. P. Bendsøe y O. Sigmund, Optimización de topología: teoría, métodos y aplicaciones., Springer Science & Business Media, 2013.
- [10] J. L. Medina Pasaje, Metodología y Herramientas UML para el Modelado y Análisis de Sistemas de Tiempo Real Orientados a Objetos, Santander: Universidad de Cantabria, 2006.
- [11] S. Ahlquist y A. Menges, «Metodologías de diseño computacional basadas en el comportamiento: procesos integradores para forzar estructuras materiales definidas,» *CUMINCAD*, 2011.
- [12] M. A. Anido, R. López y H. E. Rubio Scola, «Las supersuperficies en el aprendizaje de la geometría,» *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, vol. 9, n° 3, pp. 335-360, 2006.
- [13] A. Ermakova, «Elementos finitos adicionales y cargas adicionales para el análisis de sistemas con varias propiedades no lineales.,» *Procedia Engineering*, vol. 150, pp. 1817-1823, 2016.