



Imagen: Gilberto Perez Robles

Diseño paramétrico: aplicación conceptual de la autopoiesis y diagramas de Voronoi a partir de la implementación del método adaptado de función de calidad

Parametric design: conceptual application of autopoiesis and Voronoi diagrams using the adapted quality function method

Michelle Vanessa Flores Jurado*

Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial

Mario Javier Caiza Simbaña**

Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial

Edgar Patricio Jácome Monar***

Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería Industrial

Roberto Moya Jiménez****

Diseñador Industrial, Magíster en Innovación en Diseño

Mario Augusto Rivera Valenzuela*****

Ingeniero Mecánico

Resumen

La creatividad puede ser potenciada con la aplicación de tecnología, con el fin de suscitar ideas ingeniosas que provoquen conceptos de diseños disruptivos originados desde la forma, seguidos de la selección y aplicación de materiales y de sus respectivos procesos de manufactura, orientados a penetrar en un mercado desatendido. En el entorno actual de desarrollo tecnológico, las empresas de manufactura requieren implementar estos cambios en sus procesos. La industria 4.0 y el diseño industrial son parte de esta transformación que coadyuva a crear sistemas de manufactura que permiten optimizar procesos de fabricación y la utilización óptima de recursos para generar una propuesta de valor que satisfaga las necesidades y expectativas de los clientes, y que permita responder de forma apropiada a los objetivos de competitividad del mercado. Por ello, en este artículo, a partir de conceptos de autopoiesis se exploraron las posibilidades creativas a través de Grasshopper, *plug-in* del CAD Rhinoceros, para generar superficies con módulos teselables a partir de la aplicación de diagramas de Voronoi en una fuente de inspiración poco explotada: las muestras metalográficas obtenidas por barrido de microscopio electrónico. Se ha recurrido al procedimiento Quality Function Deployment (QFD), que se adapta a las percepciones del cliente, a la tecnología y a los recursos existentes en la industria metalmecánica ecuatoriana, y permite concluir en perspectivas e implicaciones futuras y transversales de esta metodología.

Palabras clave: Diseño de productos, QFD, diagramas de Voronoi.

Abstract

Creativity can be empowered by the application of technology, in order to arouse ingenious ideas that produce disruptive design concepts originated from the shape, followed by the selection and application of materials and their respective manufacturing processes, aimed at introducing them into an unattended market. In the current environment of technological development, manufacturing companies need to implement these changes in their processes. Industry 4.0 and industrial design are part of this transformation that helps to create manufacturing systems that allow the optimization of manufacturing processes and the use of the necessary resources to generate a value proposal that satisfies the needs and expectations of the customers, and that allows to respond appropriately to the competitiveness objectives of the target. In this article, based on autopoiesis concepts, we explored the creative possibilities through the Grasshopper, a plug-in of Rhinoceros CAD, to generate surfaces with tessellable modules from the application of Voronoi diagrams in a barely exploited source of inspiration: the metallographic samples obtained by electronic microscope scanning. We have used the Quality Fluid Deployment (QFD) methodology, which is adapted to the client's perceptions, technology and existing resources in the ecuadorian metalworking industry, and allows us to conclude on future and transversal perspectives and implications of this methodology.

Keywords: Product design, QFD, Voronoi diagrams.

1. Introducción

La industria 4.0 aplica herramientas digitales en los procesos de diseño y desarrollo de productos (Lasi *et al.*, 2014), lo cual ha revolucionado los intereses y gustos de los consumidores, y esto, a su vez, ha derivado en la apertura de nuevos espacios para la exploración en el diseño, reformulando la relación entre la concepción y la producción de la forma (Schmidt *et al.*, 2015).

De acuerdo con datos del BID (2017), en Latinoamérica y el Caribe aún no se aprovecha del todo la tecnología, y países como Ecuador requieren de acciones para hacer frente a los retos de la sociedad digital global (Véliz *et al.*, 2018). Además, el país no presenta una cultura de diseño difundida entre su población, lo cual es una oportunidad de mercado que puede ser ex-

plotada. Asimismo, con el trabajo conjugado entre el sector del diseño y la industria metalmecánica, se presenta una coyuntura especial en el año 2020 de depresión económica: la necesidad de fabricar productos donde se optimice el uso de materiales y energía, y que satisfagan los requerimientos de los clientes.

El perfil de las empresas metalmecánicas ecuatorianas, según Cercado (2018), ha sufrido varias transformaciones que le han permitido cobrar importancia para la economía de la región. Sin embargo, lo más relevante es que requieren de estrategias de competitividad y de incremento de valor agregado (Quezada *et al.*, 2018), y por esta razón el diseño y la planeación estratégica conllevan a esta industria a seguir mejorando de manera continua.

Para transformar y habilitar las capacidades básicas de manufactura, las empresas deben comenzar a cambiar la manera de crear sus productos, por lo que es necesario incluir en sus actividades, tanto de investigación como de diseño, desarrollo y producción, tecnologías que permitan obtener datos, procesarlos y transmitirlos de manera que todos los actores del sector tengan la posibilidad de sobresalir.

Por esta misma razón se debe enfatizar en el protagonismo de las personas dentro de la industria 4.0, y para lograrlo, en la metodología se emplea el procedimiento QFD. Esta herramienta cualitativa y cuantitativa traduce la voz del cliente a términos técnicos y de operación en la planta productiva de manera controlada, por medio de valoraciones obtenidas de los requerimientos de los clientes, consiguiendo así un producto con alto grado de aceptación (Taguchi, 1993).

Ahora también es pertinente introducir algunos conceptos basados en el modelo teórico de Patrik Schumacher y de su obra *La autopoiesis de la Arquitectura*, que permiten proponer un resultado estructurado dentro de estos sistemas que encajan con disciplinas proyectuales, como es el diseño industrial (Schumacher, 2012; Jácome & Valverde, 2020) y son la motivación del proyecto para que las industrias de la región se potencien.

El proyecto inicia en una imagen del análisis microestructural de un acero para finalizar en el desarrollo de un producto. La aplicación del modelado paramétrico facilita la tarea de creación digital a partir de la inspiración (Ahlquist *et al.*, 2013) de formas obtenidas de la metalografía con el fin de implantar las formas resultantes en el objeto concreto de diseño. Esta búsqueda de la forma se basa en la geometría y se activa mediante la interacción dinámica de parámetros mientras se ejecuta el algoritmo en el software sin afectar las bases tipológicas y topológicas consideradas.

Con definiciones de la geometría fractal, desarrollada por Mandelbrot (1975), se redondea esta investigación, donde el diseñador comienza por establecer las relaciones entre las

superficies, construye su diseño a partir de estas relaciones y las modifica en base a la evaluación y selección de los resultados obtenidos (Navarrete, 2014). Siguiendo esta dirección, se usan como herramienta de diseño los diagramas de Voronoi.

Con el sustento teórico del pensamiento complejo se busca que, durante la definición del diseño, las ideas no se conviertan en una repetición de técnicas, sino que permitan introducir procesos creativos y definiciones que aumenten la capacidad de innovación¹ (Morin & Pakman, 1994). Teniendo en cuenta la complejidad de diseñar productos ajustados a los fundamentos de la industria 4.0, se requiere de una metodología flexible para resolver el diseño, así como de una actitud prolija para encontrar las intenciones del diseño e iterar sobre geometrías complejas. De modo que, la metodología pretende mostrar el desarrollo de una propuesta de diseño ordenada y enfocada en la realidad ecuatoriana considerando el comportamiento de la sociedad y los recursos tecnológicos de manufactura existentes.

2. Materiales y método

La aplicación de la herramienta QFD, esquematizada en la Casa de la Calidad, permitió establecer los determinantes del diseño para precisar el enfoque hacia la búsqueda de la forma que se sintoniza con los deseos sociales y técnicos requeridos por el cliente, para sumar características y factores de relevancia dentro del proceso de diseño (Akao, 1990) y sin olvidar la motivación de la investigación, es decir, las nociones a las que hace referencia el concepto de autopoiesis (León, 2018; Jácome & Valverde, 2020).

El producto obtenido es una silla creada a partir del concepto de diseño paramétrico y de la autopoiesis, establecida en función del estudio morfológico de una imagen microestructural del acero, para la creación de diagramas Voronoi que conforman la estructura del producto.

2.1. Requerimientos del cliente

Según Krajewski y Ritzman (2000), los clientes externos son las personas o empresas que compran el producto o servicio, mientras que los clientes internos forman parte de una organización dedicada a la manufactura de productos. La información sobre las necesidades del cliente externo permite identificar las expectativas que tienen los consumidores y entenderlas en los parámetros de diseño que son precisos conocer para transmitirlos a las empresas metalmecánicas. En la tabla 1 se diferencian los distintos tipos de clientes:

Tabla 1: Identificación de clientes externos					
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE EXTERNO	Cliente directo		Empresas metalmecánicas: Mirlo, Metalbosco, Metaltronic, INDIMA		
	Cliente indirecto		Empresas de arquitectura, diseño u otros interesados: Adriana Hoyos, Arkilit, Arq. Christian Viteri, Proyecto In Design		
	Cliente experto		Jóvenes y adultos entre 18 a 30 años		
	Distribuidores y Competidores	Competidores		Productos similares	Activistas de la forma (Dra. Fernanda Arias)
				Diferenciación frente a otros productos	Polímeros: PICA, CHEMPRO, Plásticos THOR
		Distribuidores		Novacero, Kubiec, Cedal (Aluminio), Sedemi	Import Aceros, Geroneto, MG

Fuente: elaboración propia, 2020.

En el sector metalmecánico se encuentran diversas empresas (Osterwalder & Pigneur, 2011), las cuales importan, distribuyen y también comercializan los productos elaborados y semielaborados provenientes del extranjero. Por ejemplo, la organización Mirlo, además de la manufactura de sus propios diseños, provee de productos a Adriana Hoyos. Otros, como Metalbosco, Metaltronic e Indima, proveen de motocicletas, bicicletas y prototipos mecánicos a Ecuador. Es necesario mencionar que el sector es considerado dentro del país como uno de los sectores primarios para el desarrollo y de carácter transversal por su influencia en otras áreas industriales y

productivas (Proecuador, 2013). Es por esto que su análisis es trascendente, dado que su participación en el mercado actual augura pronósticos excelentes para el futuro.

Los clientes directos tienen una presencia fuerte dentro del sector metalmecánico del Ecuador y se encuentran operando en el DM de Quito. En relación a los clientes indirectos, estos corresponden a empresas que dan servicios de diseño de interiores y de mobiliario (Adriana Hoyos) y otras dedicadas a la aplicación de diseño arquitectónico (ARKILIT). Por otro lado, organizaciones como la del Arq. Christian Viteri y el Proyecto In Design han irrumpido en el mercado ecuatoriano bajo la

2.2. Prioridades y evaluación del cliente

dirección de profesionales influenciados por el estilo de diseño paramétrico y orientados en su desempeño a la arquitectura y al diseño de interiores.

Dentro del estudio de mercado, además de la competencia indirecta se encontró un proyecto de competencia directa debido a la similitud tipológica de los conceptos de inspiración de tipo geométrico. Se trata del proyecto Activistas de la Forma.

Para el ítem de diferenciación de producto se analizó un sector de la industria ecuatoriana que está tomando nuevos bríos desde el 2018. Estos clientes se encuentran en el puerto de Guayaquil y todos corresponden al procesamiento de polímeros. Finalmente, se tienen empresas de distribución y procesamiento de preformas en cuanto a perfiles y láminas de metal, que aseguran la sostenibilidad de materia prima para la elaboración de la silla.

Se realizó un proceso de estadística descriptiva para medir las necesidades de diseño de un grupo específico, estos datos se obtuvieron de una muestra constituida por jóvenes y adultos de entre 18 y 30 años. Ellos son quienes proporcionan los conocimientos y la comprensión necesaria del entorno, es decir permiten conocer parámetros como: formas de pensamiento, emociones, percepciones de producto, niveles de satisfacción y modelos de consumo, entre otros.

De la muestra se escogió a personas relacionadas con el diseño de producto a través de una de las siguientes categorías: a) estudiantes universitarios, y b) profesionales con primer empleo, todos ellos habitantes del DM de Quito y con acceso directo e indirecto a tecnología de la Industria 4.0. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos, este grupo se clasifica dentro del grupo socioeconómico B y C+, representando el 34% de la población ecuatoriana. A continuación se detallan los datos recolectados de un total de 98 encuestas.

Tabla 2: Medidas de tendencia central de los datos

Ítem	Medidas de tendencia central				
	Media	Mediana	Moda	Desv. estándar	Varianza
Edad (años)	21,92	21	20	2,33	5,42
Pregunta de selección según importancia					
Que la empresa encargada de la manufactura esté comprometida con el ahorro de energía	3,50	3	3	1,45	2,11
Que el producto sea ecuatoriano	3,04	3	3	1,39	1,94
Que el proceso de manufactura se ajuste al modelo de la industria 4.0	3,31	3	3	1,4	1,96
Que se optimice el uso de la materia prima para su elaboración	4,1	5	5	1,42	2,01
Que sea tendencia de diseño de producto	3,08	3	3	1,51	2,27
La percepción de resistencia del material	4,69	5	5	0,89	0,79
La creatividad reflejada en la silla	4,42	5	5	1,12	1,26
El proceso de manufactura	3,56	3	5	1,44	2,08
Que se pueda personalizar	3,44	3	3	1,4	1,95
Que presenten innovación	4,13	5	5	1,19	1,42
Calidad vs. Precio	4,46	5	5	1,07	1,14
Precio (USD-estadounidense)	57,17	50,00	50,00	32,47	1054,60

Fuente: elaboración propia, 2020.

Uno de los requisitos primordiales de los clientes fue la percepción de resistencia del material, por ello la selección de materiales es fundamental para la fabricación de la silla. Además, la mayoría está dispuesta a pagar un precio que oscila alrededor de los 50 USD.

Tabla 3: Porcentajes de evaluación de tres sillas referenciales

Pregunta	Frecuencia (%)			Ninguna de las sillas
	Silla 1	Silla 2	Silla 3	
				
¿Con cuál de las tres sillas se identifica mejor?	20	42	26	8
Teniendo en cuenta la comodidad como algo primordial ¿qué silla es de su preferencia?	22	20	54	-
¿Conoce empresas o estudios de diseño en Ecuador que oferten este tipo de sillas?	Sí	No		
	32	64		
¿Le parece que las sillas son innovadoras?	Poco innovadoras	Innovadoras	Muy innovadoras	
	8	65	23	

Fuente: elaboración propia, 2020.

Con esto se señalan los aspectos sobresalientes acordes a la importancia de cada elemento en el momento de adquisición de una silla en el mercado.

Tabla 4: Prioridades y evaluación del cliente

Ítem	Aspectos evaluados	1	3	5
1	Compromiso con el ahorro de energía		◆	★
2	Producto ecuatoriano	◆	★	
3	Ajuste al modelo de la industria 4.0		◆ ★	
4	Optimización de materia prima		◆	★
5	Tendencia de diseño de producto		◆ ★	
6	Resistencia del material			◆ ★
7	Creatividad	◆		★
8	Proceso de manufactura			★
9	Personalización		★	
10	Innovación		◆	★
11	Calidad vs. Precio		◆	★

★	Nosotros
◆	Competidores
Nivel de importancia	Escala
Alta	5
Media	3
Baja	1

Fuente: elaboración propia, 2020.

2.3. Requerimientos técnicos-matriz de evaluación

En este segmento se excluyeron algunos criterios con el fin de reducir la complejidad para la construcción de la Casa de la Calidad, se seleccionaron sólo los requerimientos funcionales y que pueden ser respondidos para traducirlos en atributos.

Tabla 5: Requerimientos técnicos

		Requerimientos técnicos					
		Durabilidad	Diseño	Geometrización	Aspecto	Materiales	Precio
Requerimientos técnicos	Resistencia	▲					
	Creatividad		▬				
	Optimización			▲			
	Innovación				▬		
	Calidad					▲	
	Precio asequible						●

Fuente: elaboración propia, 2020.

2.4. Evaluación de importancia

En la siguiente tabla se observa cómo la clarificación de las características técnicas en la anterior fase no sólo facilita el diseño del objeto para que responda a los requerimientos del cliente, sino que favorece la detección de ventajas competitivas que merezcan ser explotadas, esto también fomenta la innovación en el diseño.

Símbolo	Fortaleza	Escala
▲	Fuerte	9
▬	Medio	3
●	Débil	1

Tabla 6: Evaluación de importancia

		Aspectos	Resistencia	Calidad del producto	Optimización	Innovación	Precio
EVALUACIÓN COMPARATIVA	NOSOTROS		5	5	5	3	1
	COMPETENCIA		5	5	3	3	1

Fortaleza	Escala
Fuerte	5
Medio	3
Débil	1

2.5. Evaluación de ingeniería

La matriz de ingeniería ofrece una apreciación equilibrada de todas las relaciones que hacen al diseño del producto, e indica a cada sector o área de la empresa las acciones que debe realizar, abriendo así la posibilidad de un debate técnico sobre alternativas y prioridades (Harrington, 1993).

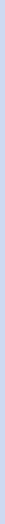
Tabla 7: Evaluación de ingeniería

	Durabilidad (a)	Diseño (b)	Geometrización (c)	Aspecto (d)	Materiales (e)	Precio (f)
Nosotros	+	→	+	→	+	→
Competencia	+	→	+	→	→	▼
TOTAL	10	6	8	6	10	4

Símbolo	Prioridad	Escala
+	Fuerte	5
→	Medio	3
▼	Débil	1

2.6. Matriz de correlación

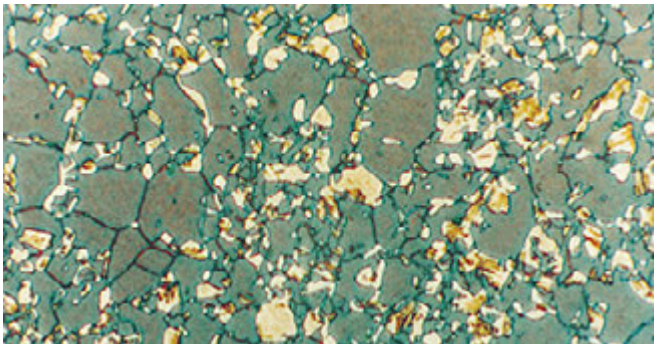
Como fase final de la metodología, se estableció la matriz de correlación que integra a la Casa de la Calidad, la cual pondera cualitativamente los atributos técnicos y su relación unos frente a otros; finalmente, se calculó la importancia de cada una de las características técnicas, y de este modo se obtiene un valor de ponderación total alto de 98 y 84, que sugiere que la mayor atención se centre en los materiales (e) y, en el diseño y geometrización (b y c) del producto, respectivamente, involucrando los demás aspectos que también son la clave para la aceptación y satisfacción del cliente.



¿Que atributos debe reunir una silla?		- +0 0+ + - + + + +						Evaluación comparativa (1-5)	
	Importancia para el cliente (1-5)	a	b	c	d	e	f	★	◆
Material resistente	5	5	3	2	3	5	4	4	3
Creatividad	3	1	5	4	5	2	1	5	3
Optimización de materia prima	4	3	4	5	3	5	3	5	1
Innovación	4	2	5	5	4	3	1	4	3
Calidad	4	5	2	3	2	5	4	4	4
Asequible	5	1	2	2	2	3	5	2	2
Peso de la columna		17	21	21	19	23	18		
Importancia		73	84	84	76	98	80		

2.7. Análisis

- Aspectos positivos: los clientes buscan sillas que presenten cierto grado de innovación y les interesa la identidad ecuatoriana. Se presta especial atención al diseño considerando la geometrización y la optimización del material.
- Aspectos negativos: se requieren materiales de calidad, por lo tanto, es difícil reducir el precio del producto, aun así, el precio sigue siendo competitivo en el mercado y puede llegar a ser aceptado por el cliente.
- Trazabilidad: a) Explotar la búsqueda de la forma a través de herramientas digitales, presentando una nueva combinación de conceptos, formas y el mejoramiento de otros aspectos que hagan al objeto más atractivo; b) Utilizar potencialmente las herramientas tecnológicas que se tengan al alcance para el proceso de diseño y de manufactura, que son imprescindibles para estar inmersos en la industria 4.0 y alcanzar a mayor parte de los objetivos de la empresa², y c) considerar la búsqueda de otros metales para la elaboración del producto.



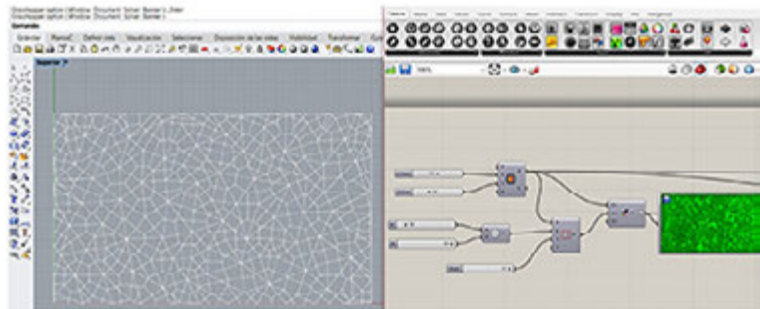
A

3. Resultados

La metodología aplicada otorgó los atributos que se deben plantear como índices paramétricos para la flexibilidad del proceso de diseño, parámetros que, a su vez, corresponden a los aspectos esenciales del modelo autopoiético. A partir de aquí se establecen las fases del diseño que condujeron al resultado de un prototipo digital del objeto deseado y que se pretende cumpla con todos los requerimientos de los clientes de la industria 4.0.

a) Geometrización

En este apartado se muestran los resultados de un análisis metalográfico existente. Se trata de la selección de una metalografía que muestra el tamaño de grano de austenita en aceros microaleados y templados. En dicha selección se ha optado por el más significativo para una correcta comprensión del trabajo, de manera que se puedan identificar los patrones y establecer el módulo base para la teselación.



B

Figura 1: A) Micrografía óptica de luz de acero templado. Fuente: Girault *et al.*, 1998;
B) Representación diagrama de Voronoi. Fuente: elaboración propia, 2020.

Inicialmente, se abordó el análisis de la microestructura a partir de secciones 2D que se obtuvieron gracias al componente Voronoi del plug-in Grasshopper de Rhinoceros. La información visual que ofrece el software permite representar el diagrama B en la figura 1, que se asemeja a una típica imagen de Voronoi, también denominada teselación de Dirichlet, en la que se observan segmentaciones como células, que se aproximan unas a otras formando un patrón poligonal (Shamos & Hoey, 1975). Lo que procede es aprovechar las propiedades del Voronoi y aplicarlas para obtener el módulo base que será indispensable para la trama que conformará la estructura de la silla.

Para garantizar la convergencia hacia los casos elementales que permitan generar una malla estructurada, se emplearon preceptos de autopoiesis que hacen referencia a un sistema más pequeño que es capaz de producir más copias de sí mismas de manera controlada; desde esta perspectiva se obtuvieron las regiones puntuales de análisis.

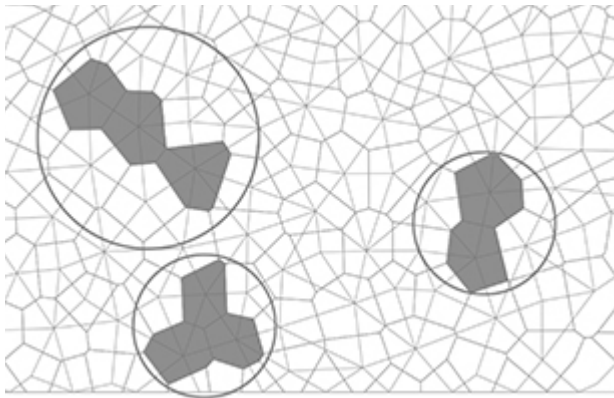


Figura 2. Regiones de análisis. Fuente: elaboración propia, 2020.

De manera que, al calcular la cadena divisoria de cada subcampo, se combinaron las soluciones y se eliminaron las líneas que no forman parte de la cadena. Así se obtuvo lo siguiente:

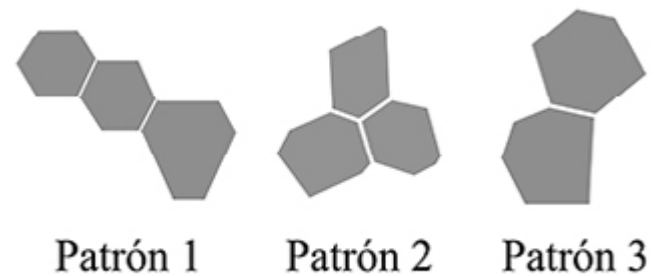


Figura 3. Modelos de patrones Voronoi. Fuente: elaboración propia, 2020.

Dado que el enfoque de la investigación deriva de la búsqueda de la forma, a partir de los tres casos de la figura 3, las teselaciones se pueden definir o resolver a través de la intuición del diseñador para asignar las condiciones topológicas iniciales basándose en la geometría más deseable. Así, se trabajó uno de los patrones para establecer la forma base y el cuerpo de la silla a partir de la programación en nodos, que posteriormente se establecieron como Nurbs. Estas superficies se basan en curvas Bézier o splines (Xie & Qin, 2001). Por lo tanto, parámetros como el grado, los puntos de ajuste, los vértices de control, el peso y la parametrización de nudos son importantes a la hora de definir el Nurb.

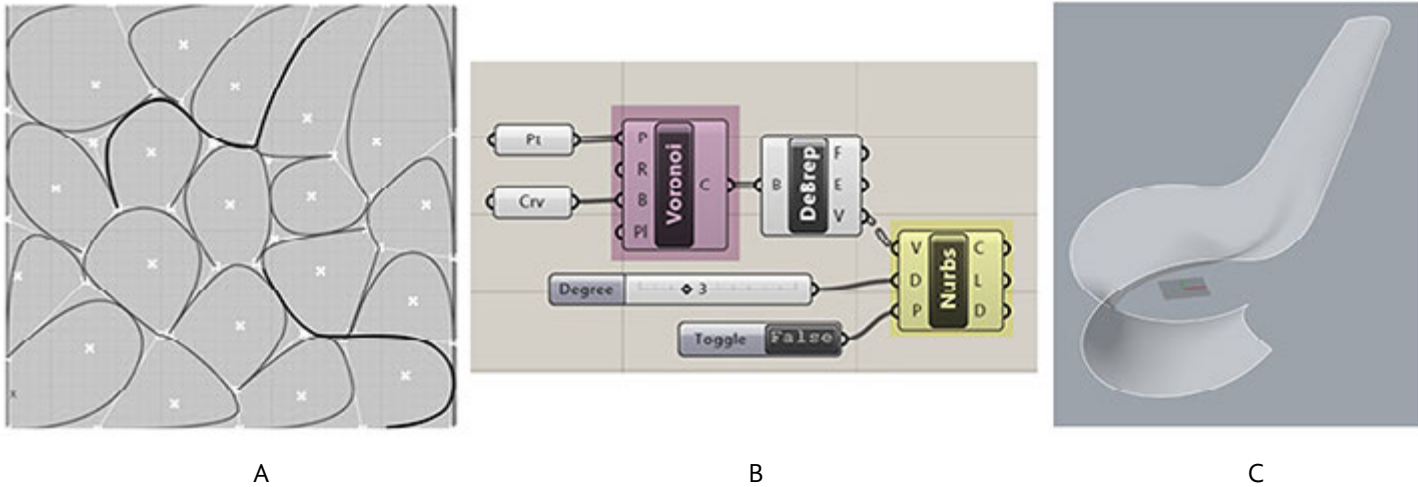


Figura 4. A) Configuración de puntos, B) Parámetros esenciales, y C) Generación superficie. Fuente: elaboración propia, 2020.

Primero se establecieron los centros de los módulos y el límite de extensión del diagrama para replicar los patrones; con la herramienta Voronoi se generó el diagrama para la colección de dichos centros, y con el operador Nurbs se crearon curvas a partir de puntos de control en el diagrama establecido, de modo que modelen una silueta en forma de “s”.³ Finalmente, se procedió a establecer el Nurb básico en el sketch y se emplearon barridos sobre las líneas.

b) De la representación 2D a 3D

Para la fase de exploraciones de la geometría con la superficie, haciendo uso del algoritmo del software, se empezó asignando restricciones geométricas y dimensionales faltantes a las curvas, y entre estas acciones se buscó la optimización

topológica de dicha superficie por motivos de requerimientos iniciales (Hoppe, 1993).

La herramienta BBOX permitió unir la representación de límites Voronoi y los límites obtenidos de la operación *loft* de las curvas Nurbs. Con el operador Disc se garantizó que no existan discontinuidades a lo largo de la curva, y el cajetín Scale permitió escalar los módulos y generar marcos controlados por el Slider a 0.75 puntos.

Diseño paramétrico: aplicación conceptual de la autopoiesis y diagramas de Voronoi a partir de la implementación del método adaptado de función de calidad

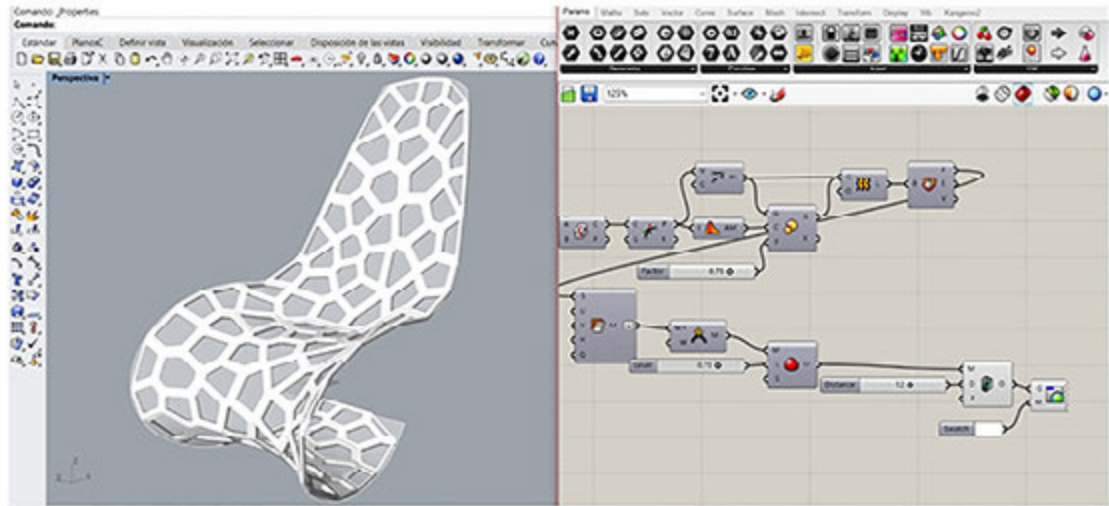


Figura 5. Aplicación de la teselación en la superficie. Fuente: elaboración propia, 2020.

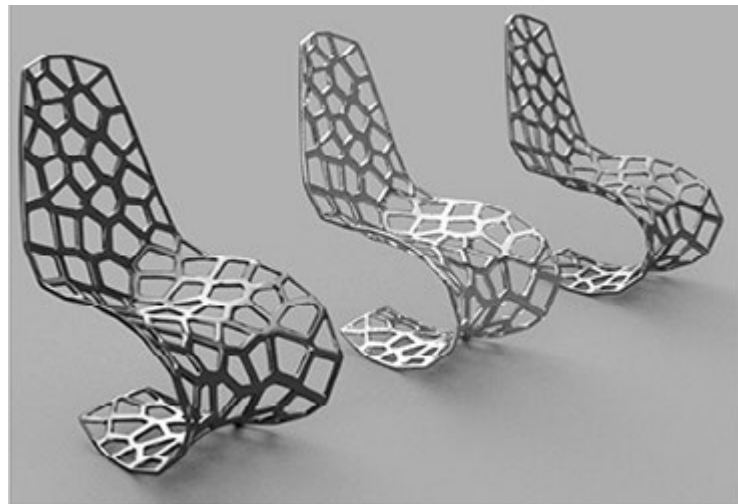


Figura 6. Modelo digital del producto final. Fuente: elaboración propia, 2020.

En última instancia, se procedió a la aplicación de la trama de patrones Voronoi que fue establecida en la fase anterior de diseño 2D, y con el modelo definido sólo resta analizar el área de manufactura y estimar el proceso de construcción para el prototipo físico, sentando las bases de la ponderación objetiva que se obtuvo en la matriz QFD. No obstante, este análisis no es parte de la presente investigación, debido a que la esencia del proyecto era establecer el diseño con la búsqueda de la forma y que pueda ser de alto impacto en la industria mobiliaria para que resulte de provecho para las empresas metalmecánicas interesadas en los lineamientos de la industria 4.0.

4. Discusión y conclusiones

El proceso de exploración y diseño llevado a cabo permitió desarrollar la silla a través de un proceso causa-efecto controlado a través de un algoritmo, utilizando diagramas de Voronoi, e iniciando en la organización de datos de cliente y contexto determinados. No obstante, la configuración espacial obtenida al final del proceso no debe ser entendida como un evento aislado, sino, más bien, como la conjugación de una serie de etapas de exploración y ajuste de las herramientas de diseño.

Desde el punto de vista digital, el proceso consiguió nuevas lógicas a partir del algoritmo base. Y desde el punto de vista físico es necesario investigar una relación directa entre la forma generada y el cómo construirla, esto formará parte de una futura investigación, donde se analizará la manufacturabilidad (Groover, 2007) del producto, ya que es fundamental estudiar cuáles son los parámetros que sería posible programar para obtener una estructura coherente, cuya composición responda a la fluidez de la configuración general.

Se ha cumplido el objetivo de diseñar una silla empleando teoría fundamental de los sistemas autopoieticos de Schumacher, y los patrones de Voronoi que se obtuvieron a través de una exhaustiva búsqueda de formas desde las microestructuras del acero. En relación al estudio de la geometría, las células de Voronoi fueron entendidas desde el principio como la unidad básica del objeto creado, por tanto, su diferenciación y su influencia en el atractivo del producto fue considerado como un punto esencial dentro de las estrategias de diseño.

Por otro lado, el enfoque de las teselaciones centradas en la topología se adaptó mejor a las rutinas de modelado exploratorio, facilitando la tarea de inspirarse en los patrones obtenidos del acero para plasmarlas al diseño concreto de la silla. Uno de los avances más importantes de la fase de exploración fue entender la correlación entre los datos cualitativos y cuantitativos de la investigación, es decir, los atributos que debe poseer la silla, que fueron determinados por el propio cliente, y los resultados formales del algoritmo para generar el modelo.

Además del diseño de la silla, que fue una de las motivaciones principales de la investigación, se logró articular una metodología completa de diseño industrial, que puede ser aplicada en Ecuador para aumentar la competitividad de sus empresas metalmecánicas, convirtiéndolas en empresas que sondan la voz del cliente y, a la vez, vinculadas con las aplicaciones tecnológicas de la industria 4.0 (Bryden, 2014). Asimismo, el avance tecnológico creciente, el diseño interconectado con la ingeniería y la gestión de información, entre otros, dan cuenta de que la Industria 4.0 puede plasmarse en realidad y permiten generar un producto icónico que puede ser demandado por distintos tipos de clientes en Latinoamérica.

Notas

- 1 Dicha innovación puede oscilar entre un mínimo giro en la forma de un producto ya existente (rediseño), y una innovación drástica que introduce no sólo un cambio formal, sino un cambio de fondo (funcional, tecnológico) que modifica sustancialmente al producto.
- 2 Para escribir respecto a la manufacturabilidad es necesario ampliar el alcance de este artículo.
- 3 Esta silueta es similar a la silla icónica Pantón de uno de los diseñadores de gran influencia en la evolución del diseño mobiliario de los años sesenta y setenta (Verner Pantón, 1967).

Referencias

- Ahlquist, S., Lienhard, J., Knippers, J., & Menges, A. (2013). "Physical and numerical prototyping for integrated bending and form-active textile hybrid structures". *Rethinking Prototyping: Proceeding of the Design Modelling Symposium* (pp. 1-14). Berlin.
- Akao, J. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*, Translated by Glenn H. Mazur and Japan Business Consultants, Ltd. Cambridge, Massachusetts.
- Bryden, D. (2014). *CAD y prototipado rápido en el diseño de producto*. Promopress.
- Cercado, M. E. J., & Pilacúa, M. A. N. (2018). "Perfil ecuatoriano de las empresas metalmeccánicas". *Dominio de las Ciencias* (pp. 585-602), 4(1).
- Girault, E., Jacques, P., Harlet, P., Mols, K., Van Humbeeck, J., Aernoudt, E., & Delannay, F. (1998). "Metallographic methods for revealing the multiphase microstructure of TRIP-assisted steels". *Materials Characterization* (pp. 111-118), 40(2).
- Groover, M. P., & Automation, P. (2007). *Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*.
- Harrington, H. J. (1993). "Mejoramiento de los procesos de la empresa". *Mejoramiento de los Procesos de la Empresa*.
- Hoppe, H., De Rose, T., Duchamp, T., McDonald, J., & Stuetzle, W. (1993). "Mesh optimization". *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. *Ecuador en cifras*. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/> (Fecha de consulta: 30 de octubre de 2020).
- Jácome, P., & Valverde, M. (2020). "Tecnologías de fabricación y su influencia en el Diseño Industrial". *INGENIO* (pp. 27-36), 3(1).
- Krajewsky, L., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. Editorial Pearson Prentice Hall.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). "Industry 4.0". *Business & Information Systems Engineering* (pp. 239-242), 6(4).
- León Andrade, V. M., & Meneses Camacho, M. E. (2018). *Propuesta de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2018).
- Mandelbrot, B. B. (1975). *Les objets fractals: forme, hasard et dimension*.
- Morin, E., & Pakman, M. (1994). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.
- Navarrete, S. (2014). "Diseño paramétrico: El gran desafío del siglo XXI". *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos* (pp. 63-72), (49).
- Osterwalder, A., Pigneur, Y. (2011). *Generación de modelos de negocio. Un manual para visionarios, revolucionarios y retadores*. Barcelona: Deusto.
- Proecuador. (2013). *Análisis del Sector Metalmeccánico*. Instituto de Promoción de Exportación e Inversiones, Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. Quito: Proecuador.
- Quezada-Torres, W. D., Hernández-Pérez, G. D., González-Suárez, E., Comas-Rodríguez, R., Quezada-Moreno, W. F., & Molina-Borja, F. (2018). "Gestión de la tecnología y su proceso de transferencia en Pequeñas y Medianas Empresas metalmeccánicas del Ecuador". *Ingeniería Industrial* (pp. 303-314), 39(3).
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinovic, P. (2015). "Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results". *International Conference on Business Information Systems* (pp. 16-27). Springer, Cham.
- Schumacher, P. S. (2012). *Autopoiesis of Architecture: Vol. 2: A New Agenda for Architecture*.
- Shamos, M. I., & Hoey, D. (1975). "Closest-point problems". *16th Annual Symposium on Foundations of Computer Science* (pp. 151-162). IEEE.
- Taguchi, G., & Ciriapa, V. (1993). Taguchi on robust technology development.
- Véliz, M. A., Velasteguí, A. M. Y., & Pérez, V. C. (2018). "Perspectivas de la economía digital en Latinoamérica: Caso Ecuador". *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico* (pp. 28-43), 7(3).
- Xie, H., & Qin, H. (2001). "Automatic knot determination of NURBS for interactive geometric design". *Proceedings International Conference on Shape Modeling and Applications* (pp. 267-276). IEEE.