



FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARAMÉTRICO  
COMO APOORTE INNOVADOR PARA EL PROCESO DE DISEÑO DE  
PRODUCTOS

AUTORAS

VALERIA MARGARITA LEÓN ANDRADE

MICHELLE ELIZABETH MENESES CAMACHO

AÑO

2018



FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARAMÉTRICO COMO  
APORTE INNOVADOR PARA EL PROCESO DE DISEÑO DE PRODUCTOS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos  
establecidos para optar por el título de  
Licenciadas en Diseño Gráfico e Industrial

Profesor Guía

Ing. Edgar Patricio Jácome Monar

Autoras

Valeria Margarita León Andrade

Michelle Elizabeth Meneses Camacho

Año

2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido el trabajo, Propuesta de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos, a través de reuniones periódicas, con las estudiantes Valeria Margarita León Andrade y Michelle Elizabeth Meneses Camacho, en el semestre 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Edgar Patricio Jácome Monar  
Magíster en Ingeniería Industrial  
C.C.: 171089319-7

## **DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR**

"Declaro haber revisado este trabajo, Propuesta de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos, de las estudiantes Valeria Margarita León Andrade y Michelle Elizabeth Meneses Camacho, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

María Claudia Valverde Rojas  
Master en Diseño Industrial para Arquitectura  
C.C.: 1713092011

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”.

---

Valeria Margarita León Andrade

CC: 100394069-7

---

Michelle Elizabeth Meneses Camacho

CC: 100296226-2

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a mi compañera de tesis Michelle Meneses quien ha sabido cubrir el papel de amiga y compañera durante el último año de carrera, gracias por tu entrega y dedicación en este proyecto que emprendimos juntas.

Quiero agradecer a mis padres Daniel y Margarita quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida. Me han apoyado incondicionalmente en todas las decisiones que he tomado, y han sabido respetar siempre mis elecciones. Gracias por su inmenso amor.

***Valeria***

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Valeria León por compartir conmigo esta etapa final como estudiante. Te convertiste en alguien importante y especial para mí. Agradecer a los profesores Claudia y Patricio por confiar en nosotras y apoyarnos para culminar la carrera con un tema complejo como meta. Gracias Cristina por ser mi soporte incondicional. Soledad, Monen y Estefanía os convertisteis en verdaderas amigas dentro y fuera de la universidad. Chelo, simplemente agradecerte por ser tú.

***Michelle***

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo de titulación a una persona especial en mi vida, mi abuelito Galo. De quién siempre he recibido el mejor ejemplo de trabajo, constancia y tenacidad. Él es quien me ha motivado a enfrentar toda adversidad, a nunca desistir, a estar consciente de que los sueños y metas son posibles de alcanzar...

***Valeria***



## **DEDICATORIA**

Me gustaría dedicar la tesis a mis padres Laura y Leonardo por el amor, trabajo y sacrificio incondicional que pusieron en mí durante mis 23 años para formarme como la persona que soy hoy en día.

Gracias a mi hermano Juan por apoyarme y ser un ejemplo de inspiración como persona. Sigue siendo esa persona humilde y risueña. Te esperan cosas muy buenas en tu vida.

***Michelle***

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad crear una proto-metodología la cual se aplique en el desarrollo de productos mediante la fabricación digital a partir del uso de herramientas paramétricas. Para la validación de este proyecto se escogió como caso de estudio una grifería realizada por las estudiantes en la materia de Proyecto Industrial II para la empresa de Fv. Esta grifería se rediseñará bajo la metodología planteada para comparar resultados en cuanto optimización de tiempo, resultados, nivel de detalle, tecnología utilizada, entre otros. Así mismo, para poder entender conceptos relacionados con el parametricismo se va a tomar como bases de estudio la Teoría de la Autopoiesis de las Arquitectura planteada por Patrick Schumacher.

## **ABSTRACT**

This project is intended to create a proto-methology to be applied to products development, from digital construction using parametric tools. In this project as validation, a case of study was chosen from Industrial Design II that was creating a faucet for FV. This faucet is going to redesign using the methology explained, to compare results as for time, level of detail, technology, among other things. In the same way to understand concepts related to Parametricism is going to take bases the theory of Patrick Schumacher: The Autopoiesis of Architecture.

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Formulación del problema .....	1
1.2	Justificación.....	3
1.3	Objetivos .....	4
1.3.1	Objetivo General.....	4
1.3.2	Objetivos Específicos.....	5
2	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1	Antecedentes.....	5
2.1.1	El diseño como proceso.....	5
2.1.2	Métodos de diseño.....	7
2.1.2.1	Antecedentes históricos del diseño aplicado bajo una metodología.....	8
2.1.2.2	La práctica del diseño profesional con enfoque metodológico.....	9
2.1.2.3	Las metodologías de diseño y la gestión empresarial .....	9
2.1.2.4	Estado actual de los métodos de diseño.....	10
2.1.3	Donde el proceso se encuentra con el método.....	10
2.1.4	Tipos de metodologías aplicadas en el proceso de diseño .....	11
2.1.4.1	Modelo de secuencia lineal aplicado al proceso de diseño.....	12
2.1.4.2	Modelo de árbol de navidad aplicado al proceso de diseño.....	12
2.2	Aspectos Conceptuales.....	16
2.2.1	Patrones regulares de comunicación del diseño .....	17
2.2.1.1	El diseño como proceso .....	17
2.2.2	Medios .....	20
2.2.2.1	Conceptos Geométricos primitivos del diseño .....	21
2.2.2.2	Aplicaciones contemporáneas de los conceptos geométricos del diseño .....	24
2.2.3	Valores y códigos del diseño .....	34
2.3	Aspectos Teóricos .....	35
2.3.1	Paradigma paramétrico y la formación de un nuevo estilo .....	35
2.3.2	Componentes de la heurística del Parametricismo.....	38
2.3.3	Épocas sociales utilizadas para alinear a los estilos arquitectónicos y de diseño .....	39

2.3.4	El diseño concurrente como esfuerzo sistemático establecido bajo la teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura.....	40
2.4	Aspectos de Referencia .....	41
2.5	Proceso histórico del diseño paramétrico .....	41
2.5.1	Línea del tiempo de eventos e inventos que han contribuido al desarrollo del parametricismo.....	44
2.5.2	Referentes .....	45
2.5.2.1	Frei Otto .....	46
2.5.2.2	Antonio Gaudí .....	46
<b>3</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>48</b>
3.1	Tipo de investigación .....	49
3.2	Población .....	49
<b>4</b>	<b>INVESTIGACIÓN Y DIAGNÓSTICO .....</b>	<b>49</b>
4.1	Metodología de diseño basada en el modelo lineal aplicado dentro de la Universidad de Las Américas .....	49
4.1.1	Fases de la metodología de diseño aplicada dentro de la carrera de diseño gráfico e industrial de la UDLA.....	50
4.1.2	Descripción de las fases de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e industrial de la UDLA.....	50
<b>5</b>	<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>53</b>
5.1	Concepto de la metodología de diseño propuesta .....	53
5.2	Determinantes para la formulación de la propuesta de metodología de diseño .....	54
5.3	Propuesta .....	54
5.4	Desarrollo de la propuesta .....	55
5.4.1	Descripción general de las fases y componentes que abarcan la metodología de diseño que utilice herramientas paramétricas .....	56
5.4.2	Herramientas formuladas como soporte para la correcta aplicación y seguimiento de la proto-metodología .....	56
5.5	Herramienta de simulación del comportamiento de partículas físicas .....	61
5.6	Herramienta de simulación de materialidad a través de renderizado.....	62

6	VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA .....	63
6.1	Validación de la fase de investigación (Fase 1) con la herramienta “Tabla de especificación de diseño” .....	65
6.2	Validación de la fase de generación de alternativas (Fase 2) con la herramienta “GrassHopper de Rhinoceros” .....	66
6.3	Validación de la fase de desarrollo de alternativas (Fase 3).....	70
6.3.1	Validación de la fase de selección de alternativa (Fase 4) con la herramienta “CATIA V5” .....	71
6.3.2	Explicación del Diseño Paramétrico aplicado a los picos del Proyecto de Titulación bajo análisis.....	76
6.4	Validación de la fase de validación (Fase 5).....	83
6.4.1	Validación mediante herramienta de simulación del comportamiento de partículas físicas.....	83
6.4.2	Validación mediante herramienta de simulación de materialidad a través del renderizado .....	86
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
7.1	Conclusiones .....	90
7.2	Recomendaciones.....	91
	REFERENCIAS .....	93
	ANEXOS .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de metodología proyectual .....	6
Figura 2: Silla estilo victoriano perteneciente al período gótico previo a la revolución industrial .....	11
Figura 3: Silla N°14 también conocida como silla Thonet fabricada con tecnología de doblado al vapor, producto de la revolución industrial .....	12
Figura 4: Modelo de árbol de Navidad aplicado al proceso de diseño .....	13
Figura 5: Método proyectual Bruno Munari.....	14
Figura 6: Design Thinking.....	14
Figura 7: Diseño generalizador Victor Papanek .....	15
Figura 8: Esquema Berns Löebach .....	15
Figura 9: Modelo general del proceso de diseño de la UAM .....	16
Figura 10: Punto, recta y plano.....	21
Figura 11: Uso del software CAD .....	26
Figura 12: Uso del software CAE .....	26
Figura 13: Uso del software CAM.....	27
Figura 14: CNC router .....	27
Figura 15: Museo Guggenheim, Bilbao, Arquitecto canadiense.....	28
Figura 16: “Sobre crecimiento y forma” .....	33
Figura 17: Sistema de Administración de la información.....	41
Figura 18: Comparación del proceso proyectual con el diseño generativo.....	43
Figura 19: Línea del tiempo de eventos e inventos que han contribuido al desarrollo del parametricismo.....	45
Figura 20: Experimento de Frei Otto con una película de jabón colgada. ....	46
Figura 21: Modelo de cadena colgante de Gaudí.....	47
Figura 22: Comparativo entre maqueta polifoncular de Antoni Gaudi para la Cripta de la Colonia Guell y un modelo paramétrico en Grasshopper.....	48
Figura 23: Pasos diseño metodológico.....	48

Figura 24: Fases de la metodología de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.....	50
Figura 25: Grifería URA.....	52
Figura 26: Árbol lógico de Catia V5.....	54
Figura 27: Proto-metodología lineal.....	55
Figura 28: Propuesta definitiva proto-metodología .....	55
Figura 29: Logo Rhinoceros.....	58
Figura 30: Algoritmo Grasshopper.....	59
Figura 31: Logo Catia.....	61
Figura 32: Ficha técnica de Houdini Fx.....	62
Figura 33: Logo 3D MAX.....	63
Figura 34: Grifería “Crystal” .....	64
Figura 35: Pico de la grifería Crystal .....	64
Figura 36: Validación del parámetro N°1 .....	65
Figura 37: Validación de los parámetros N°2 y N°3.....	65
Figura 38: Algoritmo recursivo proporcionado por la Arq. Ma. Claudia Valverde .....	66
Figura 39: Aplicación del algoritmo recursivo en el pico de la grifería.....	66
Figura 40: Cajetín verde que transforma los grados de un ángulo en radianes.....	67
Figura 41: Rango de grados .....	67
Figura 42: Familia de productos a partir de la modificación del slide degrees .....	68
Figura 43: Evidencia de bocetaje mano alzada.....	69
Figura 44: Alternativas generadas de manera digital .....	69
Figura 45: Prototipo hecho en cartón del pico Crystal .....	70
Figura 46: Impresión 3D con resina.....	70
Figura 47: Aplicación de la herramienta DRAFT al molde del pico Crystal.....	71
Figura 48: Pico torsionado en Catia V5.....	72
Figura 49: Pico torsionado al que se le añade isoparamétricas para mejorar la visualización .....	73



Figura 50: Molde pico Eureka.....	73
Figura 51: Molde Eureka aplicado el análisis Draft de Catia V5.....	74
Figura 52: Fundición de aluminio.....	75
Figura 53: Molde para fundición pico Eureka .....	75
Figura 54: Análisis de desmolde.....	75
Figura 55: Parametrización del perfil cuadrangular .....	76
Figura 56: Especificaciones del eje longitudinal .....	77
Figura 57: Inclinación pico .....	77
Figura 58: Eje del pico.....	78
Figura 59: Extrusión del pico Crystal .....	78
Figura 60: Esquinas redondeadas del pico Crystal .....	79
Figura 61: Sustracción en la sección transversal .....	79
Figura 62: Sección en el sketch 4.....	80
Figura 63: Torsión en el pico Eureka.....	80
Figura 64: Análisis de producción digital de acuerdo al Closing Point.....	81
Figura 65: Error en la extrusión del vértice .....	82
Figura 66: Error en la torsión al transformarse el sólido en punto .....	82
Figura 67: Simulación con agua .....	84
Figura 68: Simulación con agua .....	85
Figura 69: Herramienta para asignar material de renderizado VRAY 3DMAX.....	86
Figura 70: Aplicación de material al pico Eureka.....	87
Figura 71: Aplicación de material al pico Eureka.....	88
Figura 72: Detalle aplicación de material al pico Eureka .....	88
Figura 73: Simulación de materialidad del pico Eureka hecho en 3dsmax.....	89
Figura 74: Simulación de comportamiento de partículas del pico Eureka hecho en Houdini.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Conclusiones de modeladores Nurbs.....	30
Tabla 2:	Tipos de Superficies .....	30
Tabla 3:	Conclusiones de modeladores de malla poligonal .....	31
Tabla 4:	Conclusiones de modeladores paramétricos.....	32
Tabla 5:	Heurística funcional y formal del Parametricismo.....	38
Tabla 6:	Proceso histórico del diseño paramétrico.....	42
Tabla 7:	Fase N°1 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.....	50
Tabla 8:	Fase N°2 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.....	50
Tabla 9:	Fase N°3 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.....	51
Tabla 10:	Fase N°4 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.....	51
Tabla 11:	Descripción general de las fases y componentes que abarcan la metodología de diseño que utilice herramientas paramétricas.....	56
Tabla 12:	Guía para las especificaciones de diseño .....	57
Tabla 13:	Ejemplo de aplicación de la tabla de especificación de diseño .....	57
Tabla 14:	Extensiones de importación e exportación compatibles entre los softwares involucrados en la proto-metodología.....	60
Tabla 15:	Especificaciones de diseño del pico de la grifería .....	65
Tabla 16:	Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°2 de la proto-metodología.....	69
Tabla 17:	Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°3 de la proto-metodología.....	70

Tabla 18: Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°4 de la proto-metodología.....	75
Tabla 19: Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°5 de la proto-metodología.....	89

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Formulación del problema

Existe en nuestro contexto la falta de una teoría escrita sistematizada en la cual el proceso de diseño esté estructurado y la información sea transmisible en esta disciplina. El olvido de la teoría del diseño tiene consecuencias que radican en el desconocimiento de la capacidad del diseño como generador de innovación. Esta es una de las causas de la subutilización de los recursos tecnológicos existentes a nivel nacional.

El ejercicio de diseño como actividad creativa tiene la función de dar forma y significado a los objetos; "Algo debe tener forma para ver, pero debe tener sentido para ser comprendido y utilizado" (Krippendorff, 2006, pág. 39). El significado que acompaña a la forma debe ser estudiado previo a su materialización, pues existen factores de valor semiótico y cultural de acuerdo al contexto de diseño que influyen sobre el entendimiento y la interacción entre el objeto y el usuario, de modo que un proceso de diseño requiere de una metodología que haga evidencia del acercamiento con el usuario, su contexto social y costumbres en congruencia de los medios tecnológicos propios del momento histórico.

Para el desarrollo de este trabajo de titulación se creará un marco teórico del parametricismo, término el cual será explicado con detalle en el capítulo de Aspectos de Referencia. La aplicación del parametricismo como herramienta para generar objetos y productos exige del Diseñador el conocimiento y la aplicación rigurosa de axiomas, principios y el marco teórico de varias disciplinas estructuradas desde la Ciencia Matemática: Geometría Plana y del Espacio, Geometría Analítica, Dibujo Técnico, Metrología. Por otro lado existen otras ciencias que se deben aplicar, tales como la Ciencia de Materiales, Ingeniería de Manufactura e Ingeniería de Producción. Por este motivo, siempre se corre el riesgo de hacer un uso incompleto o producir resultados no deseados cuando se

usan herramientas paramétricas digitales como: software, impresoras 3D, escáneres y máquinas CNC.

Posiblemente, una de las razones sea la incorrecta transferencia tecnológica y de conocimiento, que se producen por varias causas planteadas a continuación:

- Inadecuada adquisición de experticia de manejo de tecnología u oficio, si se hace una analogía con el sistema de producción artesanal.
- Determinación inadecuada del grado de costo-beneficio de una aplicación de software.
- Cálculo erróneo sobre el tiempo de ejecución estimado para el desarrollo de un objeto.
- Inapropiada aplicación de conocimientos teóricos, de técnicas manuales de construcción y ensamble, y del trabajo interdisciplinario colaborativo, para el diseño y desarrollo de productos.
- Desaprovechamiento del uso de herramientas de diseño paramétrico, cuando sus beneficios no se manifiestan en función de la satisfacción de las necesidades del usuario.

Estas causas se reflejan en varias particularidades que a modo de ejemplo se señalará exclusivamente para el trabajo con superficies (en párrafos posteriores se explicará las definiciones inherentes a los que es una superficie) cuando se hace modelado digital:

- Superficies discontinuas.
- Falta o exceso de intersección entre superficies.
- Falta o exceso de tolerancia en la creación de las superficies.
- Falta de restricciones dimensionales y geométricas en el trabajo bidimensional y tridimensional.

Ahora bien, estas particularidades a su vez producen:

- Desperdicio de material en la fabricación digital.
- Error en la estimación de material para un objeto.
- Error del peso de un objeto.
- Error en el cálculo de costos de un objeto, y lo que es peor en la estimación del presupuesto para un proyecto.
- Aplicación de la tecnología de la Cuarta Revolución Industrial que no está siendo usada en todo su potencial ni en todas las operaciones en que se puede aplicar.
- Existe en Ecuador talleres de impresión 3D los cuales hacen poco uso de estas tecnologías en el desarrollo de nuevos productos industriales, validaciones digitales, análisis de materiales.

Debido al carácter del proceso de diseño, el uso de métodos y herramientas estructuradas podrían ayudar a atender varias partes de este problema.

En la mayoría de los casos puede suceder que los usuarios perciben y por ende utilizan las herramientas de diseño paramétrico para cumplir uno de sus únicos objetivos, el cual es de asegurar la satisfacción visual de los clientes.

Por otro lado una metodología escrita actualizada y sustentada en una base teórica estructurada que guíe los procesos y garantice el uso pertinente de recursos como son las herramientas paramétricas en Ecuador no se han trabajado a profundidad, por ende el diseño paramétrico no es usado en todo su potencial en el país por lo que se desconoce las ventajas que este ofrece para el desarrollo y elaboración de productos.

## **1.2 Justificación**

La importancia de herramientas de diseño generativo y paramétricas ponen en manifiesto el por qué el parametricismo se ha convertido en un proceso

necesario en la generación de proyectos en esta última década, siendo el eje principal de innovación en la arquitectura contemporánea y en el diseño, el uso de la tecnología, combinación de nuevos materiales y fabricación digital. Esto hace que puedan ser resueltas problemáticas cada vez más complejas tanto en su concepción como en su ejecución. Este proyecto de titulación va a tomar como bases de estudio la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura la cual fue escrita por Patrick Schumacher. La arquitectura es una de las disciplinas proyectuales, se utiliza en este proyecto porque es un registro teórico estructurado del sistema social llamado diseño que trata de forma sistémica todo lo que se está desarrollando dentro de la profesión. Hay que tener en cuenta que la misma teoría de Schumacher dice que la única diferencia entre la arquitectura y las otras disciplinas de diseño es la facilidad que tienen las últimas de hacer modelos y prototipos para testeado antes de la producción, por lo demás son el mismo sistema social.

En Ecuador, como en algunas partes del mundo, existe tecnología avanzada que no está siendo empleada en todo su potencial de capacidad, ni en todas las operaciones en las que se puede aplicar.

Por lo tanto, el uso de una correcta metodología que utiliza herramientas paramétricas permitiría optimizar el proceso de diseño a través de la modificación de información y forma del producto/sistema en cualquier momento del proceso de modelado, ahorrando tiempos de diseño y desarrollo, reduciendo el margen de error en el proceso de fabricación.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar una proto-metodología experimental de diseño que se base en la correcta utilización de software y herramientas paramétricas, para el diseño y producción de objetos, productos y/o sistemas funcionales.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

#### Objetivo específico 1

**Identificar** el modelo de metodología de diseño que se utiliza actualmente dentro de la carrera de diseño gráfico e industrial de la UDLA y verificar los resultados obtenidos mediante la aplicación de esta metodología.

#### Objetivo específico 2

**Proponer** una metodología de diseño que involucre el uso de herramientas de diseño paramétrico en sus etapas de desarrollo con el objetivo de promover el concepto de reversibilidad del diseño de productos.

#### Objetivo específico 3

**Validar** la metodología de diseño propuesta mediante el rediseño bajo conceptos paramétricos de un caso de experimentación.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 El diseño como proceso

En orden de entender al diseño como proceso es necesario afirmar que un proceso como tal es una secuencia de pasos dispuestos bajo una lógica que se enfoca en obtener un resultado específico. Los procesos se identifican como mecanismos de comportamiento pensados y diseñados por el hombre para ponerlos a su servicio y utilizarlos para mejorar la productividad y resolver problemas con mayor eficiencia.

Con el fin de esclarecer el concepto de proceso planteado en la introducción de este capítulo es necesario mencionar al método proyectual de Bruno Munari aplicado al diseño, puesto que este método presenta un orden lineal y lógico que



tiene como objetivo conseguir un máximo de resultados con un mínimo de esfuerzo. El planteamiento del método proyectual consta de pasos tales como el planteamiento de un problema, su definición, la identificación de los elementos que conforman al problema, recopilación de información, el análisis de los datos recopilados, la creatividad, los materiales empleados, la experimentación con dichos materiales, el desarrollo de modelos, su verificación (validación) y finalmente el planteamiento de una solución posible.

Para lograr una mayor comprensión del método proyectual se ha colocado el siguiente esquema explicando el orden lógico de la secuencia de pasos a seguir.



*Figura 1.* Modelo de metodología proyectual  
Tomado de (Munari, 1983, p. 64)

De acuerdo con el arquitecto ecuatoriano Marlon Valdiviezo (2014), a medida que la tecnología avanza, se han ido sumando al método proyectual una serie

de procesos de diseño que van complementándose con nuevos pasos con el fin de fortalecer e innovar el resultado final.

El objetivo de este trabajo de titulación es lograr integrar herramientas de diseño paramétrico al proceso de diseño como un aporte innovador al ejercicio del diseño industrial.

### **2.1.2 Métodos de diseño**

Si bien es cierto, en el año 2014, Marlon Valdiviezo, en su trabajo de titulación afirmó que un proceso es una secuencia de pasos enfocados a obtener un resultado específico. Por otro lado, un método es un conjunto de estrategias y herramientas utilizadas durante el desarrollo de un proceso para alcanzar un objetivo propuesto (Valdiviezo, 2014, p. 9).

En su libro “Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos”, Nigel Cross sostiene que los métodos de diseño son un área amplia centrada en la divergencia, convergencia, sostenibilidad y articulación. El papel de los métodos de diseño es apoyar al trabajo de diseño para obtener soluciones de tipo más holístico que representen una mejora en la experiencia de interacción del usuario con un producto, servicio o sistema (Cross & Wiley, 2000).

La divergencia se enfoca en explorar las posibilidades y limitaciones de la situación en cuestión aplicando un análisis objetivo a partir de los hechos para formular un juicio (pensamiento crítico). Esta exploración se realiza a través de métodos de investigación cualitativos y cuantitativos que permitan una comprensión del contexto problemático. La etapa de transformación busca redefinir las especificaciones que se han dado a las soluciones de diseño que pueden conducir a mejoras o al hallazgo de una respuesta multidisciplinaria. Una vez redefinidas las especificaciones de las soluciones de diseño se da paso a la etapa de convergencia en la cual se desarrolla prototipos de escenarios posibles para soluciones óptimas que mejoren la situación expuesta en cuestión. Ya que

se ha planteado una exploración, una redefinición y un desarrollo de prototipos, la sostenibilidad pretender gestionar la viabilidad del resultado de estas etapas con el fin de que se planteen soluciones a largo plazo. Finalmente la articulación permite que todos estos procesos realizados se perciban como un todo mediante la relación visual entre las partes (Cross & Wiley, 2000).

### **2.1.2.1 Antecedentes históricos del diseño aplicado bajo una metodología**

Los avances industriales y tecnológicos ocurridos a finales del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX crearon situaciones complejas dentro del ámbito social y económico lo cual provocó que disciplinas tales como la arquitectura, la ingeniería y el desarrollo de productos empiecen a abordar nuevos tipos de resoluciones de problemas que requerían de enfoques más informados y metódicos para el diseño. Es a partir de este contexto histórico que se empieza a establecer una relación entre ciencia y diseño acorde con las necesidades del momento histórico.

El surgimiento de los métodos de diseño ocurre simultáneamente en Alemania e Inglaterra, donde se identifica a Horst Rittel como el pionero en establecer la relación ciencia-diseño. Entre los años 1958 y 1963 en la Escuela de Diseño de Ulm en Alemania, Horst Rittel impartió cursos de métodos de diseño como lo son la cibernética, el análisis operacional y la teoría de la comunicación, los cuales fueron planteados a partir de los principios necesarios para abordar las limitaciones de los procesos de diseño basados en la visión racional de la ciencia del siglo XX. Por otro lado, en Inglaterra en el año 1962 los métodos de diseño se basaron en una conferencia organizada por el diseñador galés John Chris Jones y Peter Stann, la cual fue capaz de derrumbar la creencia de que un solo diseñador artesanal que produce soluciones de diseño no era compatible con abordar la complejidad en evolución de las sociedades postindustriales y por ende se inculcó en el gremio la necesidad de que el diseñador trabaje en equipos interdisciplinarios con el fin de encontrar soluciones de diseño más eficientes utilizando al diseño como un marco para la exploración y mejora.

### **2.1.2.2 La práctica del diseño profesional con enfoque metodológico**

John Chris Jones a través de su libro “Diseño de diseño” afirma que una vez expuesto el alcance de los métodos de diseño, cada practicante los abordó de distintas maneras puesto a no existían métodos establecidos, por ende cada profesional comenzó a desarrollar marcos y lenguajes para describir una nueva forma de diseñar que se acople a las necesidades latentes tanto del diseñador como del usuario, por lo que esta situación generó una diversificación dentro de los términos de diseño. Una forma de entender la manera de abordar a los métodos de diseño dependiendo del contexto en el que se encontraba el diseñador es el contraste que se hace entre el diseño en Estados Unidos e Inglaterra; Por un lado los diseñadores estadounidenses se encontraban vinculados a sistemas económicos que respaldaban la práctica del diseño y se enfocaban en la manera de gestionar al diseño como una extensión del negocio y por el contrario, el enfoque que los diseñadores europeos otorgaron a los métodos de diseño fue basado en transformación de la ingeniería por diseño (Jones,1991).

### **2.1.2.3 Las metodologías de diseño y la gestión empresarial**

Si bien es cierto los métodos de diseño para mediados del siglo XX se habían centrado en cómo el diseño podría integrarse en la ingeniería y de igual manera se desarrollaron para reconocer el origen multidisciplinario de la solución a la complejidad contemporánea en todos sus ámbitos, y gracias a su alcance y desarrollo es que se logra concebir a las metodologías de diseño como herramientas de gestión empresarial, por ende al ser herramienta se enfoca en cómo definir el diseño como una función comercial y en proporcionar tanto un método como un lenguaje para lograr una gestión eficaz. De esta forma se pone fin a la manera tradicional de apreciar el diseño únicamente como una función expresiva y de producción, más que como un activo estratégico dentro de una corporación (Jones, 1991)

#### **2.1.2.4 Estado actual de los métodos de diseño**

Las mejoras de los métodos de diseño llevadas a cabo después del año 1962 se enfocan en desarrollar una serie de procedimientos y técnicas capaces de resolver problemas respecto al factor humano y su desempeño, es decir que las mejoras se enfocan en reducir errores y descuidos que puedan afectar de manera negativa a la solución de diseño.

En el entorno del diseño actual son cuatro los principios planteados en la metodología de diseño del siglo XIX que se han conservado y han sido integrados a los métodos de diseño contemporáneo. Estos principios son dar énfasis al papel del usuario, utilizar métodos básicos de investigación con el fin de validar convicciones con hechos, utilizar medios tales como la lluvia de ideas que sirvan para romper los patrones mentales ya establecidos y finalmente la aceptación de la naturaleza interdisciplinaria del diseño.

Sin embargo, actualmente el desafío para los métodos de diseño es transformar las experiencias, los marcos y las perspectivas individuales en un área de conocimiento compartida, comprensible y a su vez transmisible. Victor Margolin<sup>1</sup> sostiene que se trata de una tarea difícil debido a que el conocimiento de dominio como tal es resultado de la mezcla entre disciplina e interés, esta mezcla da paso a la creación de definiciones híbridas que degradan al conocimiento compartido por falta de una terminología unificada.

#### **2.1.3 Donde el proceso se encuentra con el método**

Como se ha mencionado en el apéndice 1.1 de este capítulo, un proceso es una secuencia de pasos organizados bajo un orden lógico que se enfoca en obtener un resultado específico. El proceso se conforma de métodos, los métodos como tal son un conjunto de herramientas y estrategias que se aplican de una manera sistemática y ordenada para alcanzar el objetivo formulado por el proceso.

---

<sup>1</sup> Profesor Emérito de Historia del Diseño en la Universidad de Illinois, Chicago

#### 2.1.4 Tipos de metodologías aplicadas en el proceso de diseño

En el libro titulado Fundamentos del diseño de productos, Richard Morris, su autor, afirma que la revolución Industrial fue un evento que cambió por completo la naturaleza del ejercicio del diseño debido a que el enfoque de producción pasó de ser la creación de artefactos diseñados para usuarios cercanos al diseñador, a ser la producción de objetos en masa destinados a mercados más extensos donde el usuario es desconocido. Dentro de este contexto, la tarea del diseñador es entender un medio complejo y masivo para así poder crear un producto útil que satisfaga las necesidades del usuario localizado en el medio. Por esta razón es necesario establecer una metodología de diseño que permita al diseñador conocer el contexto donde se desarrolla el usuario, las tendencias que sigue, sus necesidades y los aspectos que lo caracterizan, ya que el trabajo basado únicamente en la tradición no es más sostenible en este escenario planteado, por ende la teoría sustituye a la tradición.



*Figura 2.* Silla estilo victoriano perteneciente al período gótico previo a la revolución industrial  
Tomado de (Wordpress, 2015)



*Figura 3.* Silla N°14 también conocida como silla Thonet fabricada con tecnología de doblado al vapor, producto de la revolución industrial

Tomado de (Wordpress, 2015)

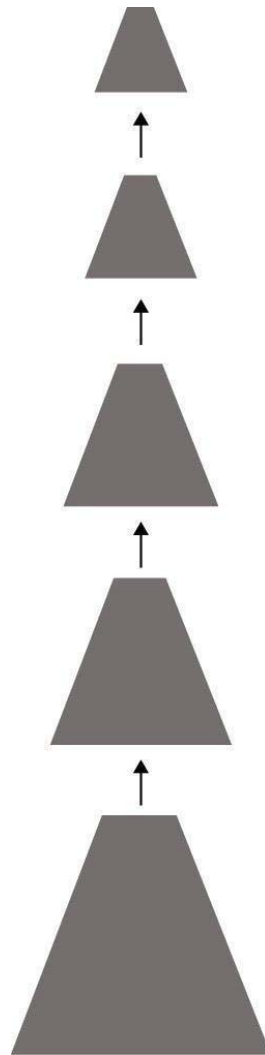
#### 2.1.4.1 Modelo de secuencia lineal aplicado al proceso de diseño

El modelo de secuencia lineal sigue un esquema sencillo que empieza con la investigación del problema, luego procede a plantear conceptos capaces de solucionar el problema planteado. De ahí que el producto resultante es fabricado, lanzado al mercado y colocado en percha. Para Richard Morris, el modelo lineal sencillo es fácil de entender puesto a que leyendo su estructura de principio a fin es posible obtener una visión holística del proceso de diseño.



#### 2.1.4.2 Modelo de árbol de navidad aplicado al proceso de diseño

El modelo de árbol de navidad sugiere que cada etapa del proceso requiere de un pensamiento más amplio al inicio antes de que empiece a enfocarse en la idea principal, es por esta razón que el proceso se asemeja a un árbol de navidad.



*Figura 4.* Modelo de árbol de Navidad aplicado al proceso de diseño

Una vez explicados estos dos modelos de metodología aplicados al proceso de diseño se puede acotar que la estructura general de estos se derivan de varias metodologías como:



## Bruno Munari (método proyectual)

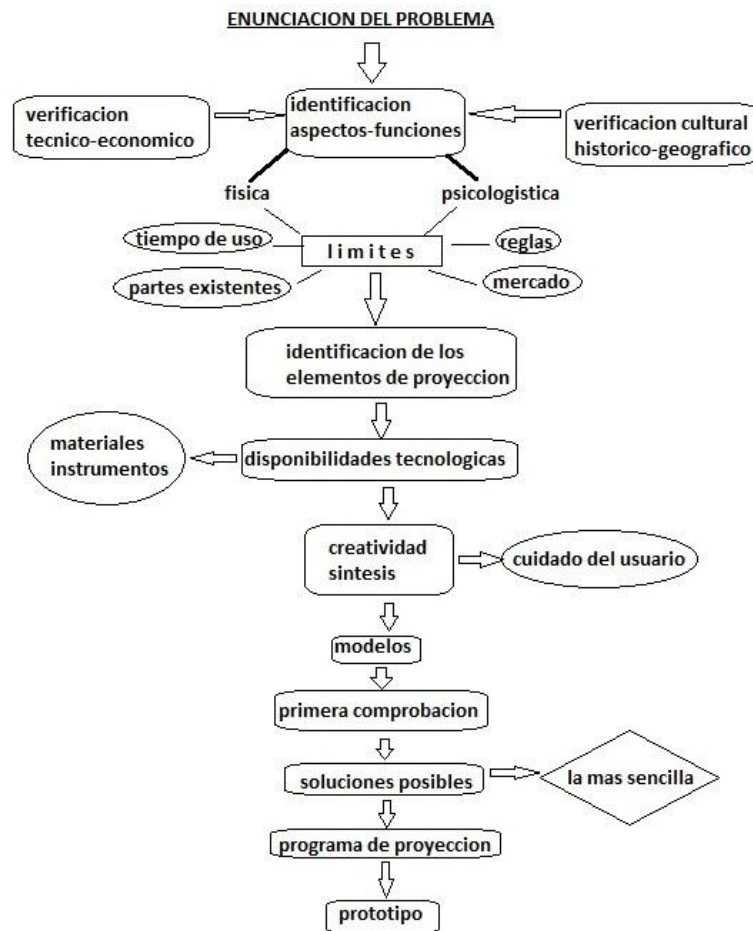


Figura 5. Método proyectual Bruno Munari  
Tomado de (Wordpress, 2012)

## Design Thinking

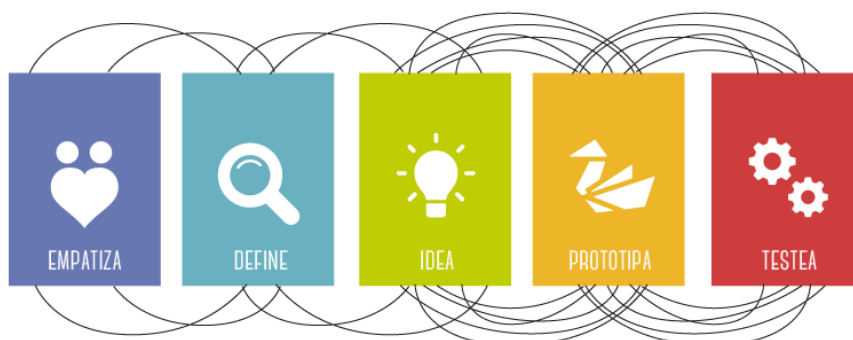


Figura 6. Design Thinking  
Tomado de (Wordpress, 2012)

## Víctor Papanek (diseño generalizador)

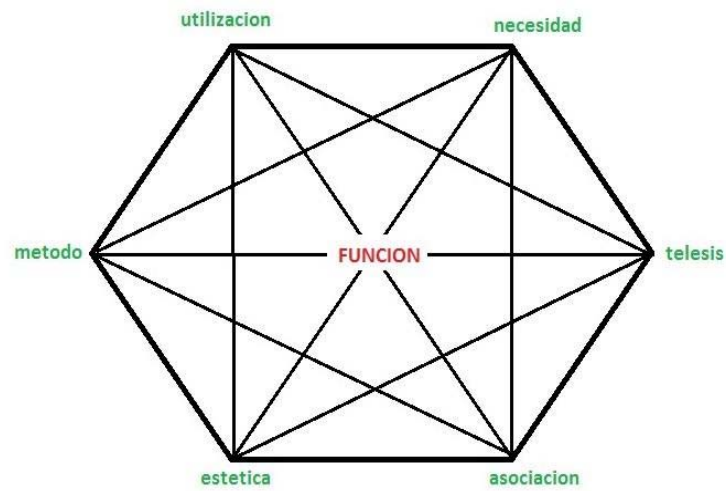


Figura 7. Diseño generalizador Victor Papanek  
Tomado de (Wordpress, 2012)

## Berns Löbach

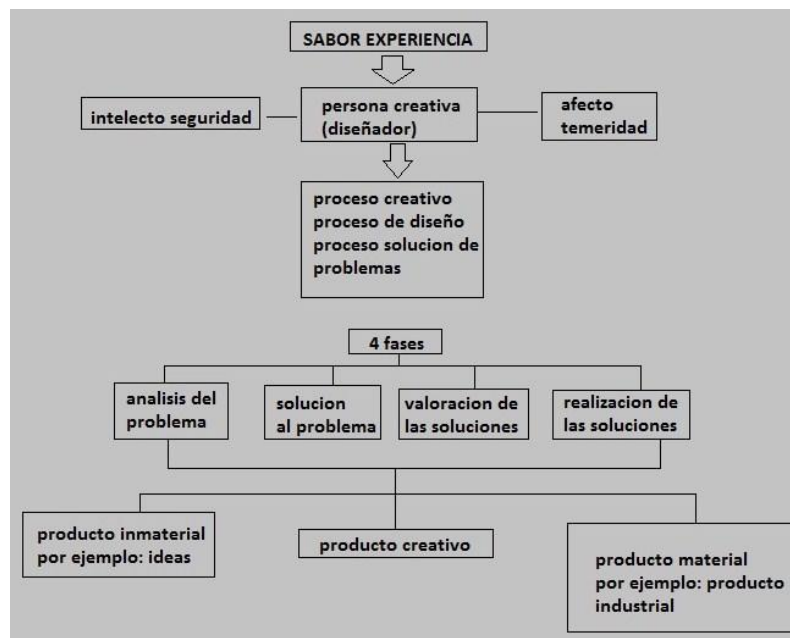


Figura 8. Esquema Berns Löbach  
Tomado de (Wordpress, 2012)

## Modelo general del proceso de diseño (UAM AZC)

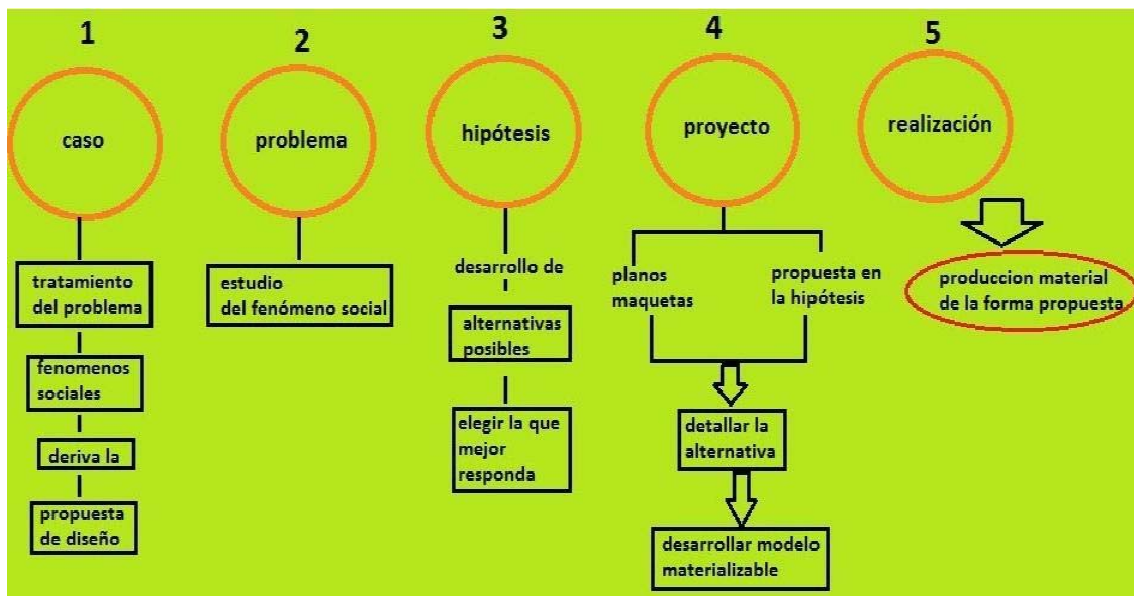


Figura 9. Modelo general del proceso de diseño de la UAM  
Tomado de (Wordpress, 2012)

## 2.2 Aspectos Conceptuales

Como se enuncia en la justificación del problema, este proyecto de titulación se va a basar en gran medida al estudio de la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura escrita por Patrick Schumacher (2011). A pesar de que esta teoría pertenece a otra disciplina entra dentro de las disciplinas proyectuales y es el único marco teórico que contempla un espectro amplio de la fenomenología del diseño como disciplina, el cual ha evolucionado en los últimos años y trata de manera sistémica todo lo que se está desarrollando dentro de la profesión. La teoría insiste en la autonomía disciplinaria y plantea una discusión para el arte, ingeniería, ciencia y el diseño como sistema social mediante el tratamiento sistemático de estructuras conceptuales, patrones regulares, criterios de evaluación, valores, códigos, medios y operaciones elementales. Algunos de estos ítems se desarrollarán a lo largo de este capítulo debido a que son relevantes para la metodología.

## **2.2.1 Patrones regulares de comunicación del diseño**

### **2.2.1.1 El diseño como proceso**

Para hablar acerca del proceso de diseño tenemos que tener claro qué es un proceso. Un proceso según la RAE es un conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial, es decir, llevándolo al ámbito del diseño industrial un proceso se denominaría como una sucesión de fases organizadas de una forma lógica que tiene como fin lograr un resultado específico.

En el caso de la Teoría del proceso de diseño se tiene que retomar un discurso que ha estado en inactividad alrededor de 40 años. Para ello se recopiló material en el cual se nombrará componentes de la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura desarrollada por Patrick Schumacher (2011) y que más adelante en el capítulo 4.3 de aspectos de referencia se profundizará. Con este fin, a continuación se propone un marco conceptual, descripciones iniciales del proceso de diseño, definiciones de método y procesos.

#### **1. Contexto contemporáneo y objetivos de la teoría del proceso de diseño**

El proceso de diseño es un proceso de selección y toma de decisiones que se ha fundamentado en la cantidad de información que puede asimilar. Schumacher afirma en la Tesis 35 de la Autopoiesis de la Arquitectura “es momento de hacer un cambio en la teoría del proceso de diseño con el objetivo de evolucionar en la metodología de diseño contemporánea bajo la contribución del Parametricismo” (Schumacher, 2011, p. 254). Este proceso transforma la complejidad estructural- performativa de un problema en la complejidad temporal reducida de un proceso en cada etapa o paso de dicho proceso, es decir, la lógica del aparato final se analiza y se capta solo durante el proceso de diseño. Así mismo, solo en la etapa del proceso de diseño es donde se deciden las distintas alternativas, evaluaciones y mejoras de diseño.

Según Schumacher (2011) es necesario investigar procesos de diseño contemporáneos en la actualidad dado que la complejidad del diseño se manifiesta y se ve desafiada con la creciente complejidad de las tareas de diseño como en la innovación continua, por lo que cada tarea de diseño es nueva y compleja. Así mismo investigar el Parametricismo como proceso de diseño, debido a que hoy en día hay una evolución constante en la oferta y en el desarrollo de herramientas y técnicas digitales que deben ser exploradas y estudiadas. Por consiguiente hay que cuestionarse el hecho de hasta qué punto la práctica del diseño contemporáneo, puede mantener un concepto convincente de la racionalidad del proceso de diseño.

## **2. Proceso de Diseño Contemporáneo y Metodología de Diseño**

El proceso de diseño debe teorizarse como un proceso de comunicación según menciona la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura. Por lo tanto el tipo básico de operación comunicativa que caracteriza a la Autopoiesis de la arquitectura, y a las ciencias proyectuales, es la decisión de diseño. El proceso de diseño se define como un proceso de comunicación que se desarrolla a través de decisiones de diseño. Analizando las secuencias de toma de decisiones de diseño se tiene que tomar en cuenta: los medios que lo involucran, patrones, cómo se construye la complejidad, función. De la misma manera se debe analizar la construcción de episodios como un método.

## **3. Método VS Proceso**

Como dice Schumacher (2011) el método se refiere a las decisiones lógicas y racionales dentro del proceso de diseño, mientras que proceso se refiere a mecanismos de progresión del proceso de decisión en el diseño. Estos dos términos pueden ser conceptualizados por separado. Hay que tener en cuenta que un proceso puede involucrar varios métodos de diseño. Así mismo, un proyecto de diseño debe seguir un conjunto integrado y coherente

de métodos los cuales no están garantizados en la práctica. Esto implica que los métodos y procesos, aunque se interrelacionan, varían independientemente en el proyecto de diseño, por lo que hay proyectos de diseño que comparten el mismo método pero difieren en el proceso. La relación entre método y proceso se puede expresar como: el proceso de diseño ejecuta el método de diseño. Por lo tanto estos términos se resumen como:

- Método de diseño: estructura lógica del proyecto de diseño.
- Proceso de diseño: estructura temporal del proyecto de diseño.

A continuación se definen los términos de teoría informativa y teoría normativa:

- Teoría informativa: descripción y explicación de la práctica real del diseño.
- Teoría normativa: formulación de normas o recomendaciones acerca de cómo debe llevarse a cabo el diseño.

A partir de estos términos se plantean investigaciones empíricas de los métodos de diseño que guían los proyectos de diseño reales llevando a una teoría informativa de los métodos de diseño. Por otro lado, se debe construir una teoría normativa que realice estos principios mediante la elaboración de procedimientos de diseño.

Para la teoría de diseño arquitectónica, la importancia de trabajar en métodos inferidos facilita la transición de una teoría informativa a una normativa del proyecto de diseño. La teoría podría proceder con la elaboración de una metodología de diseño normativo y finalmente proceder con recomendaciones de procesos de diseño específicos.

#### **4. Proceso de diseño como proceso de resolución de problemas**

Un proceso de diseño es un proceso de comunicación especializado y puede ser catalogado como un tipo de proceso para resolver problemas según la Tesis 37 de la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura. La resolución de problemas se teoriza como un sistema de comunicación, sin embargo los procesos de comunicación solo pueden tener lugar dentro de los sistemas de comunicación social. Los sistemas de comunicación locales pueden formarse como subsistemas dentro de sistemas de comunicación más grandes. Por lo tanto un proyecto de diseño puede considerarse como un sistema de comunicación integrado en la Autopoiesis de la Arquitectura. En otras palabras, el proyecto de diseño tiene dos niveles de significado: como proceso y como sistema social de comunicación según el contexto. Una comunicación implica tres momentos constitutivos: impartición, información y entendimiento. Por lo tanto, el proceso de resolución de problemas puede conceptualizarse como una búsqueda de una solución dentro de un espacio problemático.

#### **5. Proceso de diseño como proceso de procesamiento de información**

Herbert Simon y Allen Newel introdujeron un marco teórico para analizar la teoría del procesamiento de la información de la cognición, es decir, analizar los procesos cognitivos involucrados en el comportamiento de resolución de problemas. Su hipótesis se basa en que los procesos de pensamiento del ser humano, principalmente los de resolución de problemas, pueden ser investigados y analizados a partir de simulaciones en computadora.

##### **2.2.2 Medios**

Los medios en el ámbito del diseño, se encuentran en un cambio permanente, son propios de la sociedad y de sus momentos históricos. Los medios hacen referencia a las herramientas comunicacionales y productivas que posee cada sistema de sociedad. “Cada sistema social tiene su medio especializado, mismo

que se reinventa y permite que los sistemas se auto regeneren a lo largo del tiempo” (Schumacher, 2011, p. 229). Para entender mejor el medio en un momento histórico se puede poner como ejemplo al dibujo como el medio más representativo de las disciplinas proyectuales. Este ha retroalimentando a las disciplinas proyectuales lo largo de la historia para mejorar como herramienta proyectual: perspectiva en el Renacimiento, proyecciones geométricas en el Barroco, axonometría de composiciones espaciales en el Modernismo.

Hay que tener presente que el medio es forma y es sustrato, es decir, el medio es forma cuando se lo representa en un sistema de comunicación en el ámbito social y es sustrato cuando es el generador de las soluciones de diseño.

“Los límites de nuestro lenguaje de diseño, son límites de nuestro pensamiento de diseño...El medio como universo de posibilidades, revela y concilia los aspectos de la realidad. En términos de resultados de diseño, abre y delimita el universo de posibilidades [...]” (Schumacher, 2011, p. 330). Es importante decir que una de las herramientas que han utilizado los medios de diseño desde su invención son los conceptos geométricos, esta abstracción de la realidad ha permitido la creación de medios de representación y generación de diseño como la perspectiva... Algo así, sino volvemos a botar temas sin conexión.

### 2.2.2.1 Conceptos Geométricos primitivos del diseño

Todos los elementos que se diseñan mediante medios de diseño se basan en las definiciones llamadas primitivas de punto, línea, plano. A continuación vamos a hacer un análisis de estos conceptos que nos permitirá más adelante comprender la lógica de cómo la interacción de estas formas del ambiente construido hace que se conviertan en geometrías responsivas.



Figura 10. Punto, recta y plano  
Tomado de (Corredor, 2014)



## 1. Concepción del punto desde la composición de un objeto

Desde la visión de las artes plásticas, el punto como tal no es objetivo, esto además, quiere decir que el punto como figura geométrica no es un objeto físico ya que no ocupa una dimensión en el espacio, sin embargo, pese a no ocupar un espacio físico es capaz de describir una posición determinada en el mismo espacio, misma que se puede describir como una coordenada. De acuerdo con el precursor de la abstracción en la pintura, Vasili Kandinsky “El punto geométrico es invisible (...) Si se piensa en él materialmente, el punto se asemeja a un cero” (Kandinsky, 2003, p. 21) se concuerda con esta afirmación a que el punto por sí solo no representa un valor, sin embargo la unión de puntos sucesivos genera una línea, a partir de los axiomas de Euclides, la misma que también se puede extrapolar al plano. Es exactamente lo que sucede con el cero, no representa un valor por sí solo, sin embargo tiene la función de juntarse a los otros números e incrementar la serie numérica hasta el infinito, tanto en positivo y como en negativo.

Para que el punto subjetivo que se ha descrito, previamente sea considerado como un elemento plástico de composición es necesario que esté presente cualidades como forma, dimensión y color; pese a que geoméricamente hablando, el punto no representa una noción gráfica por sí solo, sus cualidades de elemento plástico le permiten expresarse por sí solo dentro de la composición.

Una vez identificado el papel del punto dentro de la composición, se concluye que el atributo más importante de este elemento trasciende a la materia y se enfoca netamente en su naturaleza dinámica, la cual se hace evidente al colocar al punto sobre el espacio de representación obteniendo como resultado diferentes tensiones visuales que varían de acuerdo a la ubicación del punto con respecto al plano compositivo.

Así mismo, esta abstracción del punto también se aplica en el análisis de los elementos finitos, porque, básicamente un punto dentro de una malla, tiene todas las características de la malla mismo, una vez más: el color, textura, saturación, contraste, brillo, tiene su propio peso, densidad, las resistencias del material (flexión, compresión y/o torsión), temperatura.

## **2. Concepción de la línea desde la composición de un objeto**

Se considera a la línea como a la antítesis del punto debido a sus propiedades dinámicas. El punto es estático, como se ha mencionado con anterioridad, este describe una posición en el espacio, se lo cataloga incluso como una coordenada, según el planteamiento de Renato Descartes. Se interpreta a la dinámica de la línea como el estado en el cual se rompe la propiedad estática del punto para formar a la línea, es decir aparece el movimiento el cual se identifica sobre la estructura propuesta como “tensión”. El cambio de la propiedad estática por dinámica sobre el punto ocurre bajo la influencia de la primera ley de Newton la cual sostiene que todo objeto, en este caso el punto estático, se mantendrá en reposo a menos que una fuerza externa o tensión lo obligue a cambiar, de esta manera se entiende que la anulación del reposo del punto da paso a la línea pues existe una fuerza externa que desplaza al punto hacia una dirección cualquiera, dicha dirección se mantiene invariable mientras la línea va prolongándose indefinidamente. Esta interpretación, una vez más se direcciona al análisis mediante Elementos Finitos, sustento teórico que es importante en las validaciones de objetos que se hacen dentro de softwares de modelado digital.

El significado plástico de la línea le permite cumplir ciertas funciones dentro de la composición planificada para la grifería. Por ejemplo, la dinamicidad de una estructura se logra percibir gracias a la capacidad que tiene la línea para mostrar vectores de dirección que se relacionan con los demás elementos de la estructura (composición) y a la vez condiciona el direccionamiento de la lectura de la misma. Otro de los aportes de la línea como elemento plástico

es la fuerza con la que cuenta, que le permite ser el medio que define las características estructurales tales como forma o proporción, que a la vez permite conservar la identidad visual de la estructura conformada, ya que mediante las funciones de la línea es posible dar direccionamiento y delimitación a una estructura en cuestión debido a que desde el enfoque morfológico la línea constituye la propia materialidad de una estructura.

### **3. Concepción del plano desde la composición de un objeto**

Una vez descritos los elementos compositivos esenciales (punto y línea) es posible explicar cómo estos elementos son capaces de componer un plano. Geométricamente hablando, un plano se forma en el espacio a partir de la unión de tres puntos siempre y cuando estos no se encuentren posicionados en línea recta, además, otra forma de definir un plano es mediante la presencia de una recta y un punto que no pertenezca a ella.

Desde una conceptualización morfológica el plano presenta atributos de superficie y bidimensionalidad, es gracias a estos atributos que la propiedad más destacable del plano es posible explicar mediante el aforismo cubista que consiste en la descomposición de la realidad material para abstraerla en figuras geométricas es decir “ver en planos”. Para el autor Justo Villafañe, el cubismo explica al plano gracias a la capacidad que este presenta de codificar de forma bidimensional las características de forma y tamaño de un objeto. Villafañe sostiene: “Gracias a este elemento es posible la representación múltiple de la realidad”.

#### **2.2.2.2 Aplicaciones contemporáneas de los conceptos geométricos del diseño**

Utilizando el medio de diseño digital propio del momento histórico, la computadora, los conceptos geométricos tratados en el punto anterior empiezan

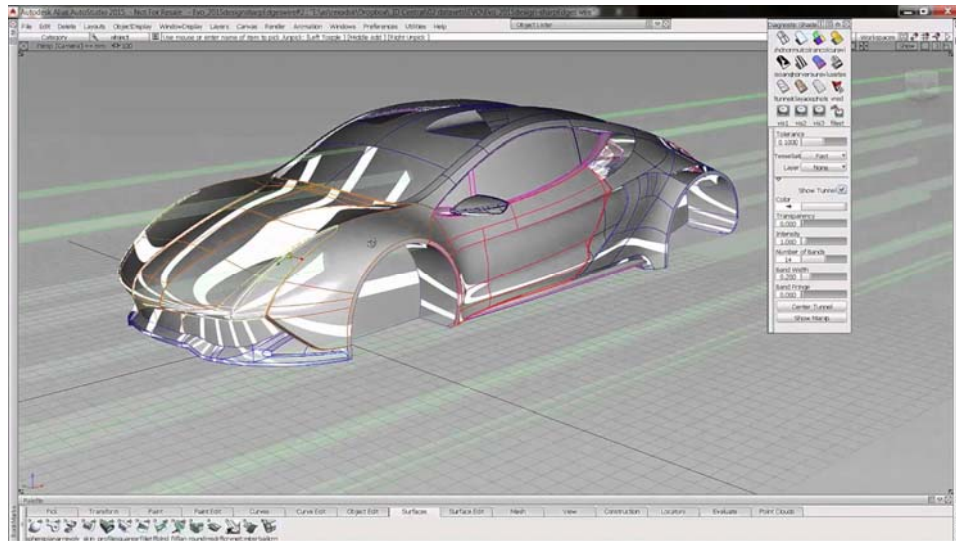
a tener distintas aplicaciones relacionadas con los términos de diseño para fabricación digital en CAD, CAE, CAM.

### **1. Fabricación digital:**

Conjunto de procesos integrados mediante los cuales se elabora un producto a partir del diseño y modelado del objeto en softwares CAD (Diseño Asistido por Computadora), el análisis del mismo en un programa CAE (Ingeniería Asistida por Computadora), la simulación del proceso de fabricación en paquetes CAM (Fabricación Asistida por Computadora) y la manufactura del producto por medio de algún equipo (Méndez, 2017).

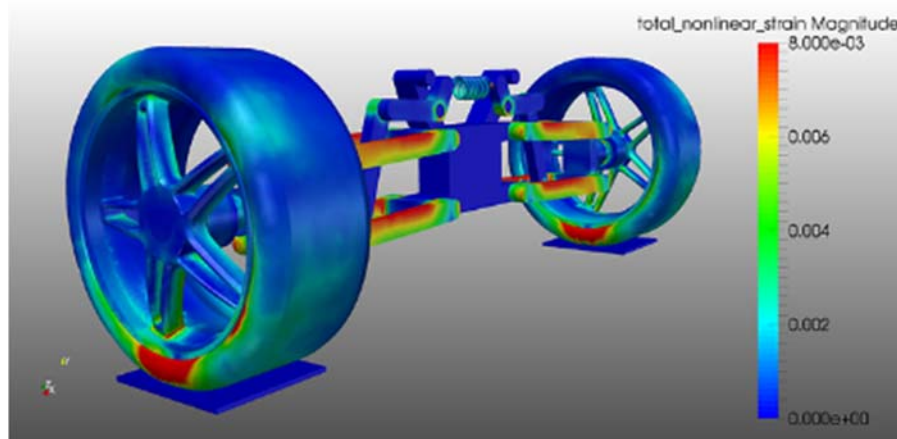
- Los softwares CAD son usados para elaborar el diseño geométrico del objeto. Según se requiera pueden generarse modelos en 2D o 3D. Esta es la base para el proceso de fabricación digital ya que una vez que se crea el modelo se puede mejorar y modificar.

Como paso previo debemos entender cuál es la diferencia entre el CAD de diseño asistido por ordenador tradicional y el CAD de diseño Asistido por Ordenador Paramétrico. Un dibujo técnico realizado por CAD tradicional, no es más que una forma geométrica de dimensiones concretas que en el proceso de edición a lo sumo puede alterar su forma mediante operaciones de escala, donde las guras antes y después de la escalada son semejantes entre sí. Y no se puede hablar de alternativas de diseño sino de distintos tamaños de diseño.” “El CAD paramétrico posee leyes no lineales, funciona con ecuaciones de cualquier tipo y establece relaciones geométricas de ligaduras entre formas, de tal manera que podemos ensayar un modelo de diseño en base a diferentes valores del parámetro que nos conduce a un óptimo funcional o económico, otorgando por lo tanto un nuevo valor añadido al trabajo del diseñador (Valdiviezo, 2014)



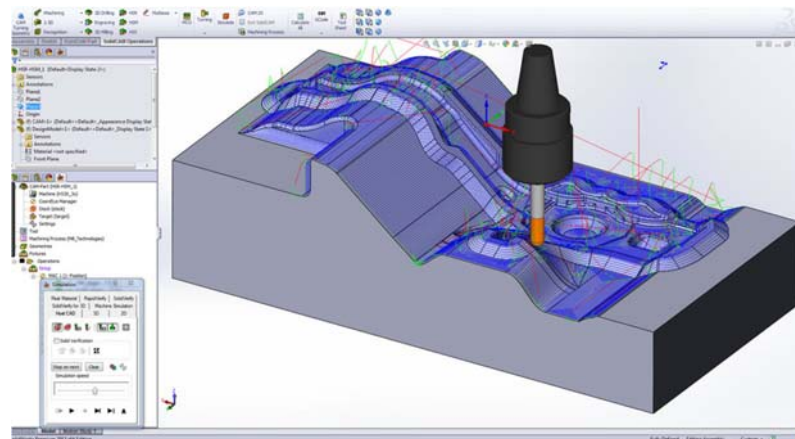
*Figura 11.* Uso del software CAD  
Tomado de (Hedstrom, 2015)

- El uso de softwares CAE es el paso posterior a la creación del modelo a partir del programa CAD. Este software es empleado para el análisis del objeto modelado bajo simulaciones de distintos parámetros como: simulación aplicada, temperatura, presión, interacción con otras piezas...A partir de esta simulación se puede tener información acerca del comportamiento y desempeño de las piezas para sacar conclusiones y tomar la decisión de modificar la pieza antes de que pase a la siguiente etapa de simulación de fabricación.



*Figura 12.* Uso del software CAE  
Tomado de (Uber Cloud, 2017)

- Uso de softwares CAM se utiliza para la simulación de la elaboración de una pieza partir de la selección de materiales, herramientas de maquinado, velocidad de procesos y restricciones de fabricación. Algunos softwares de este campo sirven también para la asistencia de las líneas de producción y ensamblaje para obtener un resultado del proceso más óptimo. Esta es la última fase antes de la fabricación física de la pieza y la penúltima del proceso de fabricación digital.



*Figura 13. Uso del software CAM*  
Tomado de (Solid Cam, 2017)

- Como fase final se tiene que tomar en cuenta el uso de las tecnologías de fabricación digital (máquinas con los que se puede elaborar las piezas modeladas) como: CNC (tornos, fresadoras, routers), cortadoras láser, impresoras 3D...

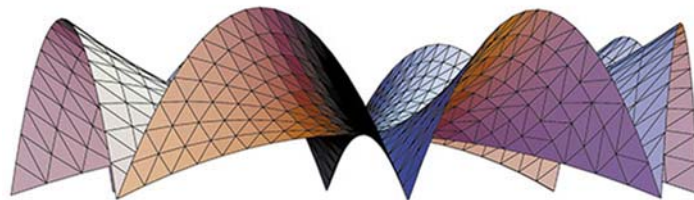


*Figura 14. CNC router*  
Tomado de (Kraft, 2014)

Para tener clara la parte del funcionamiento del software CAD (Diseño Asistido por Computadora) a continuación se presentará información relevante para profundizar en este término el cual es parte importante de este Proyecto de Titulación.

### Modelos de superficie

Reconocidos por ser objetos huecos cuya cobertura o capa no presenta un espesor ya que su espesor es de cero. Esta técnica es utilizada para la construcción de superficies complejas, formas libres y curvas. De acuerdo con el artículo "Arquitectura y Matemáticas" de la revista de diseño e investigación "*Métode*", las ventajas de diseñar en base a superficies mínimas es que permite más grados de libertad; Sin embargo existen restricciones dadas por una frontera existente, lo que hace que la superficie sea determinada por una variable como el espacio (frontera), pero aun así no es definida por un algoritmo predeterminado dado en el CAD. Es decir que se diseña en base a la frontera la frontera y se espera que la superficie resultante presente la forma deseada.



*Figura 15.* Museo Guggenheim, Bilbao, Arquitecto canadiense Tomado de (Gehry, 2011)

## Modelos de sólido

Para el proyecto de titulación se usará una metodología de diseño capaz de validar el uso de las herramientas paramétricas dentro del proceso de diseño y fabricación de productos, por lo que fusionar el modelado CAD involucra la identificación de su orden de diseño, pues los programas actuales de modelado se dividen en modeladores de superficies y modeladores de sólidos, por ende lo que se busca es encontrar un híbrido que fusiona las capacidades y atributos de moldeo de las dos vertientes. Aplicando la teoría mencionada a la grifería, que es el producto que se tiene como caso de estudio para la validación de este proyecto. Se utilizará el modelado de superficies para dar a la grifería una torsión en el pico. La cuál no deberá afectar a la caída del agua sobre él y su utilidad como tal, mientras que el modelado de sólidos se aplicará con el fin de darle a la grifería el atributo de objeto de producción en línea, es decir la fabricación de moldes y métodos de producción.

## Tipos de programas de modelado CAD

Modeladores NURBS:

Un Nurb es una geometría basada en una expresión matemática que define curvas, superficies y sólidos (esto hace que difiera de las mallas las cuales se explicarán más adelante). Abarca a todos los programas de software con modeladores *B-splines* racionales no uniformes (NURBS) que se basan en splines (líneas) que no tienen espesor, es por esta razón que pueden ser construidos a la vez en un plano 2D y ser importados desde programas de dibujo vectorial a un espacio 3D.



Tabla 1.  
Conclusiones de modeladores Nurbs.

Principios de Modelado	Lógica de Software	Contribución al diseño paramétrico
Curvas matemáticamente definidas. Se define la forma gracias a los puntos de control presentes en la superficie.	Se modifica la forma de curvas y superficies ajustando la posición de los puntos de control presentes.	Es capaz de generar manipulaciones específicas de acuerdo al aumento de puntos de control. Presenta la opción de edición de superficies llamada Manipulación Directa la cual hace posible suavizar la deformación obtenida por manipulación si se configura el parámetro "grado de la curva o superficie" su lógica consiste en: a mayor valor de grado, deformación más suave.

Adaptado de: (Bryden, 2014)

### Tipos de superficie

Las superficies y polisuperficies se construyen en base a splines, tomando en cuenta que las polisuperficies se constituyen de la unión de dos o más superficies, de acuerdo con el libro de "CAD y Prototipado rápido en el Diseño de Producto" del diseñador Douglas Bryden las clasifica de la siguiente manera (Bryden, 2014, pág. 16).

Tabla 2.  
Tipos de Superficies

Tipo de superficie	Características
Superficies abiertas	-Grosor igual a 0 -Edición por medio de puntos de control
Polisuperficies abiertas	-Grosor igual a 0
Superficies cerrada	-Puede presentar espesor y volumen -Puede llegar a conformar un sólido -Edición por medio de puntos de control
Polisuperficies cerradas	-Puede presentar espesor -Puede generar un sólido

Adaptado de: (Bryden, 2014)

## Modeladores de malla poligonal

Este tipo de modelador no representa un aporte dentro del diseño paramétrico enfocado hacia el área industrial pues el software modelador para diseño de productos exige que las superficies en 3D se encuentren definidas matemáticamente (uso de Nurbs) más no intuitivamente como como sucede en este tipo de modelador de malla.

Tabla 3.  
Conclusiones de modeladores de malla poligonal

Principios de Modelado	Lógica de Software	Contribución al diseño paramétrico
Permite esculpir intuitivamente, facilita un renderizado rápido de los fotogramas y la visualización en tiempo real.	Constituido por un grupo de polígonos de 3 o 4 lados conectados entre sí para formar un elemento. La malla puede subdividirse en modelos más refinados gracias al proceso de "subdivisión", este método hace posible representar superficies lisas y suaves a partir de una malla poligonal más sencilla, es decir que en la malla más sencilla cada cara poligonal se subdivide en otras más pequeñas.	Contribuye a la creación de prototipos físicos, más no es utilizado dentro del diseño de productos.

Adaptado de: (Bryden, 2014)

Existen herramientas de edición que permiten la traducción entre mallas poligonales y superficies NURBS, lo cual permite el trabajo simultáneo entre dos softwares.

## Modeladores paramétricos

Un modelador paramétrico se caracteriza por el hecho que los modelos se generan necesariamente en base a dimensiones y parámetros.

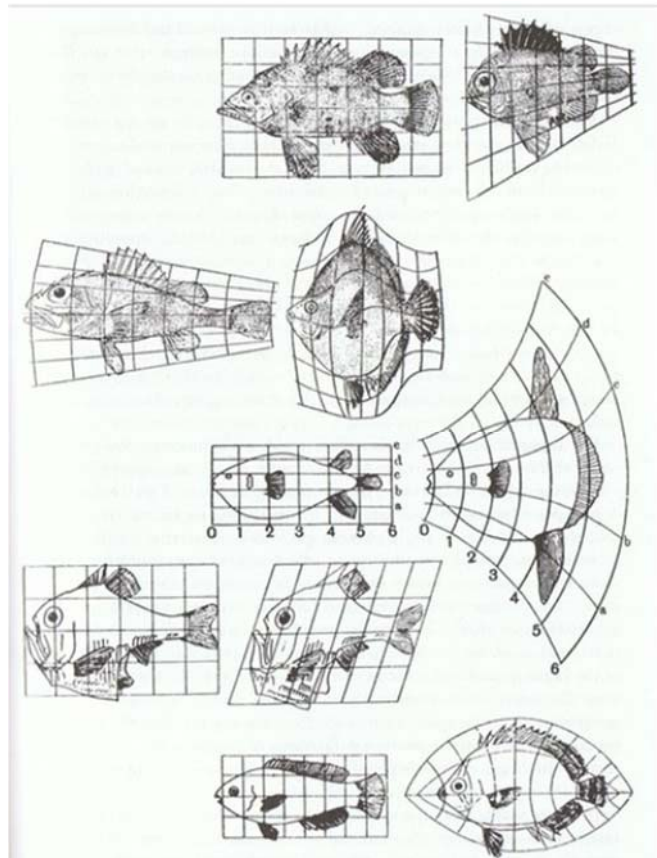
Tabla 4.  
Conclusiones de modeladores paramétricos.

Principios de Modelado	Lógica de Software	Contribución al diseño paramétrico
El proceso de diseño se registra en un historial (árbol de diseño) que establece un orden de operaciones realizadas sobre el modelo.	Las modificaciones hechas dentro de una pieza se transmiten automáticamente a todos los componentes del modelo, por lo cual este tipo de modelador requiere de un enfoque lógico y planificado pues no se enfoca en la exploración de formas libres.	El historial de diseño permite realizar cambios respecto a forma y dimensión del modelo en cualquier momento del proceso de diseño, lo cual en términos comerciales representa un ahorro de tiempo y recursos invertidos en el producto y por ende una óptima calidad en el desarrollo y producción del mismo pues gracias al software paramétrico es posible hacer ajustes continuos en el diseño.

Adaptado de: (Bryden, 2014)

## 2. Topología

Se utiliza para identificar a un área de la matemática que estudia la continuidad y otros conceptos originados a partir de ella. Se trata de una especialización vinculada a las propiedades y características que poseen los cuerpos geométricos y que se mantienen sin alteraciones gracias a cambios continuos, con independencia de su tamaño o apariencia. Es importante mencionar que las deformaciones responsivas se basan en topología por lo cual se usan Nurbs.



*Figura 16: "Sobre crecimiento y forma"*  
Tomado de (Thompson, 2003)

### 3. Computación

Procesamiento de información para obtener una respuesta. La computación proporciona un marco para negociar e influir en la interrelación de estos conjuntos de datos de información, con la capacidad de generar formas y estructuras complejas de órdenes (Achim & Ahlquist, 2011, pág. 13).

Como afirman Sean Ahlquist y Achim Menges en su libro *Pensamiento de diseño computacional* escrito en el 2011, la computación como metodología de diseño consiste en formular los procesos específicos donde los procesos asistidos por computadora comienzan con los específicos y terminan con los procesos computacionales de objetos comienzan con propiedades elementales y reglas generativas para terminar con la información que deriva la forma como un sistema dinámico.

Por otro lado, la computarización es el análisis de la información a través de los procesos que llevan a cabo un computador.

#### **4. Diseño paramétrico**

Como afirma Wassim en su libro *Diseño paramétrico para arquitectura*, el diseño paramétrico es un proceso basado en el pensamiento algorítmico y el diseño de un algoritmo que permite la expresión de parámetros y reglas que juntos definen, codifican y aclaran la relación entre la intención de diseño y la respuesta de diseño (Wassim, 2013)

El término 'paramétrico' se origina a partir de la matemática (ecuación paramétrica) y se refiere al uso de ciertos parámetros o variables que pueden ser editados para manipular o alterar el resultado final de una ecuación o sistema. El diseño paramétrico ofrece un nuevo paradigma en el campo del diseño asistido por computadora. Un paradigma centrado en el potencial para el procesamiento de información compleja y acumulada, que luego genera como resultado formas responsivas a dichos parámetros.

El diseño paramétrico considera desde la aplicación de curvas paramétricas hasta la relación de propiedades generales y utiliza programación gráfica y/o software de análisis. En general, el diseño paramétrico se refiere a la vinculación entre aspectos formales del proyecto, que se pueden modificar durante su desarrollo (Woodbury, 2010, pág. 11) lo que implica nuevos recursos instrumentales y actividades en el diseño.

##### **2.2.3 Valores y códigos del diseño**

Dentro de la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura se establece que todos los sistemas sociales, entre estos el diseño, se manejan por dobles códigos. Estos dobles códigos ayudan a demarcar un sistema dentro de la sociedad. Los códigos que maneja el diseño como disciplina, a cualquier

escala, son el código de la belleza y el código de la utilidad, llamados en otros momentos como forma y función. Estos códigos guardan una estrecha relación con los valores con los que se aprecia un producto dentro de un sistema social, en este caso un producto de diseño.

## **2.3 Aspectos Teóricos**

### **2.3.1 Paradigma paramétrico y la formación de un nuevo estilo**

Como introducción a este capítulo de aspectos teóricos es necesario recalcar que se denomina Parametricismo a la tendencia vanguardista contemporánea, la cual no es una moda sino que es un evento de la época.

La posmodernidad y el deconstructivismo fueron episodios transicionales que dieron inicio a la consolidación de este nuevo estilo unificado que surge después de Modernismo. El Parametricismo se desarrolla y surge como una respuesta frente a la crisis que se originó tras la desaparición del Modernismo. Esta crisis marcó el comienzo de una era de pluralismo estilístico que tuvo como consecuencia la búsqueda de un estilo unificado como lo es el Parametricismo. De acuerdo con Patrick Schumacher (2011) la característica externa más conspicua del Parametricismo es la curvilinealidad compleja y dinámica acentuada por la proliferación en forma de enjambre de componentes continuamente diferenciados.

El anuncio del Parametricismo implica el desarrollo simultáneo de dos movimientos discursivos, por un lado la presentación de un nuevo movimiento arquitectónico y de diseño y por otro la reafirmación del concepto de estilo, desechando la idea de que se defina al estilo como un concepto de apariencia. Para Schumacher, el Parametricismo es un estilo, y los estilos son programas de investigación de diseño que a su vez permiten realizar una serie sistemática de experimentos debido a que los estilos se componen de elementos y sistemas que son paraméricamente maleables para intensificar las correlaciones internas

y externas (Schumacher, 2008, p. 618). En su libro *La Autopoiesis de la Arquitectura Vol. 2*, Patrick Schumacher sostiene que la innovación dentro de la arquitectura avanza de acuerdo al progreso que alcanza un estilo y de igual manera cuando existe progreso de un estilo a otro, puesto a que los estilos son ciclos de innovación que reúnen los esfuerzos individuales en un movimiento colectivo.

De acuerdo con el Volumen 1 del libro *La autopoiesis de la Arquitectura* se establece una distinción entre los estilos epocales, subsidiarios y de transición. Dentro del surgimiento del Parametricismo Schumacher (2008) identifica como estilos de transición al posmodernismo y al deconstructivismo pues surgieron en un período de transición bajo una pluralidad de estilos similares y competitivos entre sí, que dieron paso a un estilo unificado. A la vez identifica a los estilos subsidiarios, como aquellos que surgen bajo los estilos de época, son variaciones paralelas que alimentan al estilo epocal vigente. Finalmente identifica al Parametricismo como un estilo epocal debido a que sigue a los esquemas de periodización.

Los esquemas de periodización se caracterizan por asumir que la sociedad se desarrolla por etapas y no por un proceso continuo, a la vez contempla a la sociedad como entidad donde los elementos y subsistemas están funcionalmente integrados, esto los hace mutuamente dependientes donde una variación individual está restringida, por consiguiente, si un elemento logra salir del sistema y cambia es probable que los demás subsistemas se vean afectados y sean obligados a cambiar. Es a partir de esta explicación que se puede afirmar que el Parametricismo es un estilo epocal debido a que se basa en esquemas de periodización conformados por sistemas y subsistemas correlacionados entre sí.

Una vez explicado el funcionamiento de los esquemas de periodización es posible establecer una relación entre la historia y el diseño a partir de la periodización donde la historia mundial se identifica como un sistema que se

articula por etapas es decir se periodiza, la historia de cada sociedad se reconoce como un subsistema, de igual manera sucede con el diseño donde sus subsistemas son los estilos.

Para Patrick Schumacher (2008), el Parametricismo tiene la capacidad de recuperar y mejorar la capacidad de orden para absorber diversidad dentro de un orden generando, así sistemas y subsistemas correlacionados entre sí. Por el contrario el Modernismo se basa en la separación de subsistemas especializados y en la repetición dentro de cada subsistema.

Con el objetivo de lograr una comprensión del origen de la teoría de la autopoiesis del orden que plantea el Parametricismo en base a sistemas y subsistemas correlacionados; Patrick Schumacher realiza una extrapolación donde relaciona a los estilos arquitectónicos con los modelos de sociedad planteados por Luhmann y Marx. Schumacher afirma “La transición de una sociedad estratificada a una sociedad funcionalmente diferenciada, es al mismo tiempo, la transición del feudalismo al capitalismo” (Schumacher, 2008). La teoría de la autopoiesis de la arquitectura que alimenta al estilo del Parametricismo se basa en la teoría de la sociedad de Niklas Luhmann<sup>2</sup>, la cual sostiene que no existe una jerarquía que ordene la interacción entre los sistemas de funciones autónomas; la teoría de Luhmann se alimenta de la autopoiesis de la filosofía de los biólogos de origen chileno Humberto Maturana y Francisco Varela, formulada en el año 1972, la cual contempla al término autopoiesis como un neologismo<sup>3</sup> con el cual se denomina a la cualidad de un sistema capaz de reproducirse y mantenerse por sí mismo. Se basa en los principios de biología que explican la química de auto-mantenimiento de las células vivas. En la obra escrita por Maturana y Varela, *De Máquinas y Seres Vivos* publicada (1973) 1973, los biólogos mencionan la definición del concepto de autopoiesis en donde la teoría es extrapolada al funcionamiento de las máquinas que sostiene: “Una

---

<sup>2</sup> Luhmann: Sociólogo alemán reconocido por la formulación de la teoría general de los sistemas sociales constituidos, no tanto por individuos sino por comunicación, se diferencia en subsistemas funcionales cerrados a través de códigos especializados.

<sup>3</sup> Neologismo: Inclusión de un significado nuevo en una palabra ya existente o en una palabra procedente de otra lengua.



máquina autopoietica es una máquina organizada (definida como una unidad) como una red de procesos de producción (transformación y destrucción) de componentes que a través de sus interacciones y transformaciones continuamente regeneran y realizan la red de procesos que los han producido, y la constituyen como una unidad concreta en el espacio en el que los componentes existen especificando el dominio topológico de su realización como tal de una red” (p. 78).

### 2.3.2 Componentes de la heurística del Parametricismo

De acuerdo con Patrick Schumacher la definición operacional de Parametricismo debe comprender una heurística tanto funcional como formal.

Tabla 5.  
Heurística funcional y formal del Parametricismo

Heurística <b>funcional</b> del Parametricismo	
Principios negativos (taboos):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar los estereotipos funcionales rígidos.</li> <li>- Evitar la zonificación funcional segregativa.</li> </ul>
Principios positivos (dogmas):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas las funciones son actividades paramétricas/ evento escenario</li> <li>- Todos los espacios, actividades y eventos se comunican entre sí.</li> </ul>
Heurística <b>formal</b> del Parametricismo	
Principios negativos (taboos):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar formas rígidas (carencia de maleabilidad).</li> <li>- Evitar las repeticiones simples (carencia de variación).</li> <li>- Evitar parches a manera de collage aislado, evitar los elementos que no se relacionen entre sí (carencia de orden).</li> </ul>
Principios positivos (dogmas):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas las formas deben ser suaves (inteligente: deformación = formación).</li> <li>- Evitar las repeticiones simples (carencia de variación).</li> <li>- Todos los sistemas deben ser diferenciados (gradientes, umbrales, singularidades).</li> <li>- Todos los sistemas deben ser interdependientes (correlaciones).</li> </ul>

Adaptado de (Schumacher, 2008)

### **2.3.3 Épocas sociales utilizadas para alinear a los estilos arquitectónicos y de diseño**

Si bien es cierto, en el apéndice 3.1 de este capítulo se menciona a la teoría de la sociedad de Luhmann, la cual asegura la ausencia una jerarquía que ordene a los sistemas que conforman una sociedad, sin embargo, pese a que Marx señala lo opuesto a la teoría de Luhmann es necesario citarlo dentro de este capítulo, debido a que por extrapolación es posible integrar ciertos conceptos de procedencia marxista, que nos permiten comprender el desarrollo del Parametricismo paralelamente con un momento histórico y los estilos pertinentes de la época.

Los conceptos útiles de procedencia marxista son el Fordismo y Posfordismo. De acuerdo con Patrick Schumacher, se identifica como Fordismo al modo de producción en serie impuesto por el empresario de automóviles Henry Ford en el siglo XX en el año 1908. El modo de producción fordista consistía en la división del trabajo en donde se segmentaba al máximo la producción en cuestión, esto quiere decir que un obrero debía hacerse cargo de manera repetida de una misma tarea asignada. Así se popularizó la llamada cadena de montaje, ya que todo objeto o elemento producido bajo el Fordismo se realizaba por etapas, contribuyendo a la producción masiva con recorte de costos. Por otro lado el Posfordismo es un sistema contrapuesto al Fordismo que nace como el período posterior al gran auge del Fordismo. Se plantea que estos dos sistemas son opuestos ya que, si el Fordismo se enfoca en la producción en masa por cadena de montaje, el Posfordismo se enfoca hacia diversificación y flexibilización obtenida de la producción en red que maneja una empresa descentralizada.

El discurso Posfordista sostiene que la producción en masa desarrollada en el Fordismo no satisface las necesidades de todos los tipos de usuarios, de esta manera hace énfasis en nuevas tendencias que el Parametricismo conoce y responde. Es por esta razón que el autor del libro *La Autopoiesis de la Arquitectura Vol. 2* afirma: “La premisa de la teoría de la Autopoiesis de la

arquitectura sostiene que la sociedad de red Posfordista es aún una versión o subperíodo de la sociedad funcionalmente diferenciada” (Schumacher, 2008, p. 626). Como conclusión es posible afirmar que el Posfordismo y el Parametricismo persiguen un mismo enfoque dentro del saber satisfacer diferentes necesidades, ser responsivos, saber adaptarse a los cambios ejercidos por la alteración de parámetros.

#### **2.3.4 El diseño concurrente como esfuerzo sistemático establecido bajo la teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura**

En la introducción a este capítulo de aspectos teóricos, en el apéndice 3.1 se reconoce a la máquina autopoietica como una red de procesos de producción y componentes cuyas interacciones y transformaciones continuamente regeneran y realizan la red de procesos que los han producido. En un intento por extrapolar la teoría de la Autopoiesis hacia el ejercicio del diseño, ha sido necesario mencionar y explicar el funcionamiento del proceso del diseño concurrente puesto a que este se ve estrechamente relacionado con la teoría de la autopoiesis.

El objetivo del diseño concurrente como tal es seguir un sistema de administración de información en el que todos los elementos y procesos que componen un producto final sean tomados en cuenta desde las etapas más tempranas del desarrollo de un diseño hasta su resultado final. Todas las actividades de diseño que se realizan dentro de este sistema deben ocurrir simultáneamente en el proceso, pues este proceso abarca a todos los departamentos con el objetivo de que los actantes involucrados, en cada fase, se relacionan entre sí para tomar decisiones y resolver problemas en conjunto, facilitando el flujo e intercambio de información entre el grupo de diseño, tal y como sucede con la teoría de la autopoiesis que alimenta a los sistemas y subsistemas del parametricismo correlacionados entre sí.

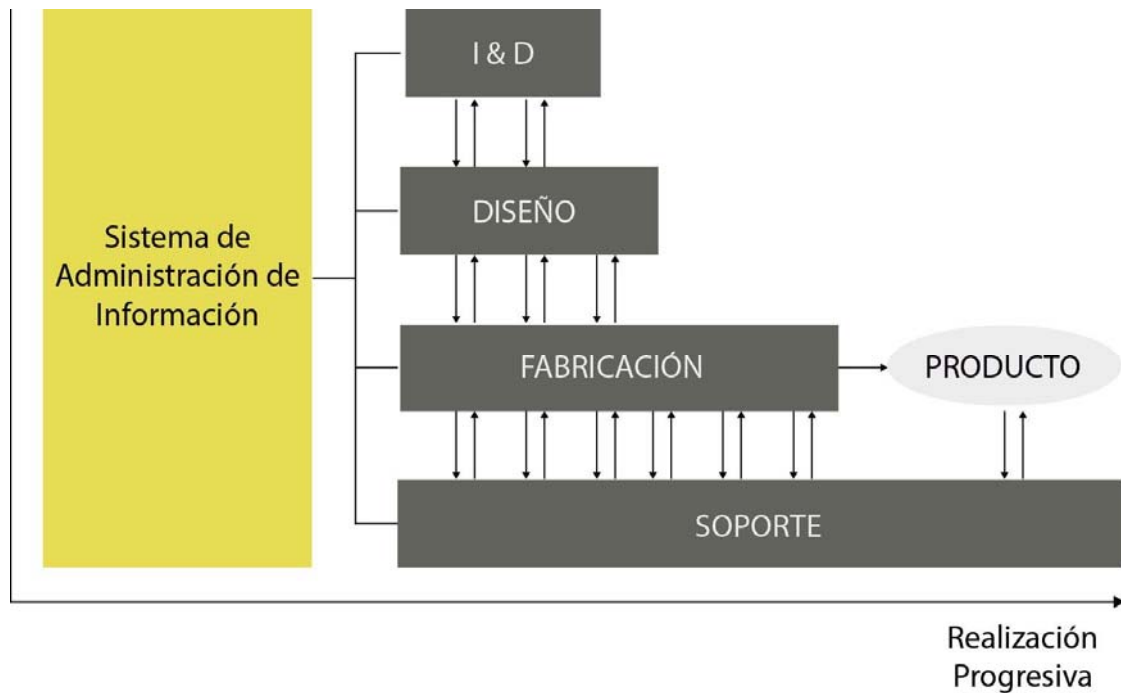


Figura 17. Sistema de Administración de la información.

## 2.4 Aspectos de Referencia

## 2.5 Proceso histórico del diseño paramétrico

La tecnología tiene un desarrollo constante en la actualidad por lo que es necesario adaptarse a los medios pertenecientes al momento histórico actual para lograr un óptimo proceso de diseño. A partir de esta aclaración se puede considerar que a medida que avanza la tecnología se suman nuevas herramientas y pasos a los procesos de diseño del método proyectual con el fin de fortalecer e innovar en el resultado final. La herramienta principal de la época es la computadora con la cual a través de softwares paramétricos avanzados se puede optimizar el tiempo de diseño, costos, materiales... al programar el trabajo a partir de algoritmos que generan una gran variedad de diseños, de una mayor complejidad y al establecer parámetros de diseño.

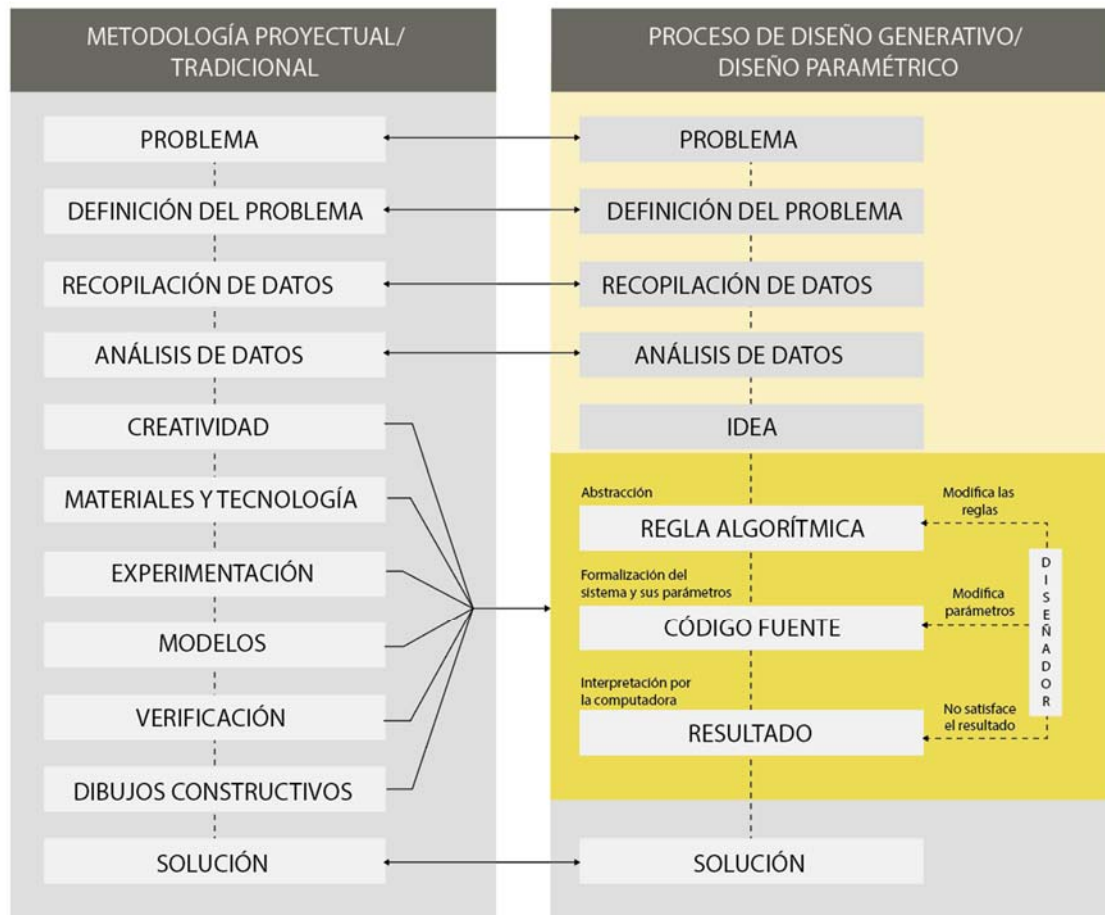
En la tabla 6 se presenta un breve resumen del proceso histórico del diseño paramétrico.

Tabla 6.  
Proceso histórico del diseño paramétrico



Adaptado de (Davis, 2013)

El diseño generativo es un proceso de búsqueda de formas que puede imitar la naturaleza el enfoque evolutivo de la naturaleza para el diseño. Puede empezar a partir de objetos de diseño a los cuales se explora las infinitas posibles permutaciones de una solución para identificar la mejor opción. Una vez aclarado este concepto si se realiza una comparación de la metodología tradicional de Bruno Munari mencionada en el apartado 4.1.1 con la metodología planteada en el libro Diseño Generativo escrito Bohnacker, Gross, Laub, Lazzeroni, & Frohling (2012) se destaca lo siguiente:








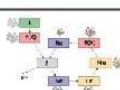




*Figura 18.* Comparación del proceso proyectual con el diseño generativo  
Adaptada de (Bohnacker, Gross, Laub, Lazzeroni, & Frohling, 2012)

Geisberg tiene dos puntos destacables. El primero es que el modelado paramétrico debería permitir a los diseñadores explorar "una variedad de diseños" (Teresko, 1993, pág. 28). Su segundo punto es que los modelos paramétricos permiten tomar decisiones "más adelante" en el proceso de diseño.

“Nuestra época nos exige pasar por la programación, no solo dentro del mundo del diseño, es el nuevo lenguaje, es el lenguaje que se comunican las nuevas y diversas tecnologías, es necesario, que los profesionales, cualquiera que sea su rama, aprendan a comunicarse en ese lenguaje” (Valdiviezo, 2014).

## 2.5.1 Línea del tiempo de eventos e inventos que han contribuido al desarrollo del parametricismo

Años a.C	ACTANTES	APORTE	OBRA
	Naturaleza	En la naturaleza siempre han existido parámetros, estos guían los procesos de la vida, tales como: humedad, temperatura.	
1833	Charles Babbage	Creó la primera computadora mecánica.	
1952	Alan Turing	Revela que la computadora además de tratar números, puede tratar otro tipo de información lógica.	
1954	Frei Otto	Estudio de como funcionan los materiales en la naturaleza con un principio de modelado paramétrico.	
1960	Felix Candela, Gaudí, Fuller, Dieste	Trabajaron con técnicas manuales parecidas al diseño paramétrico.	
1963	Ivan Sutherland	Creó el "Sketchpad" donde el usuario y la computadora se comunican gráficamente gracias a su interfaz.	
1965	Industrias aeronáuticas y automovilísticas	Se beneficiaron principalmente de la tecnología digital.	
1960-1970	John Holland	Creación de algoritmos genéticos e inicio de la fabricación digital	
1976		Se comienza con la parametrización matemática, asociadas a sus características funcionales técnicas y estéticas.	
1980		Se utiliza el diseño paramétrico para la industria del movimiento aeroespacial, y la arquitectura.	
1981	Xerox Parc	Creación de una interfaz gráfica del computador.	
1982	B. Mandelbrot y K.J. Falcoinner.	Se inicia la investigación sobre estructuras complejas de la vida orgánica (Morfogénesis). Ocurre a la creación del Auto CAD	



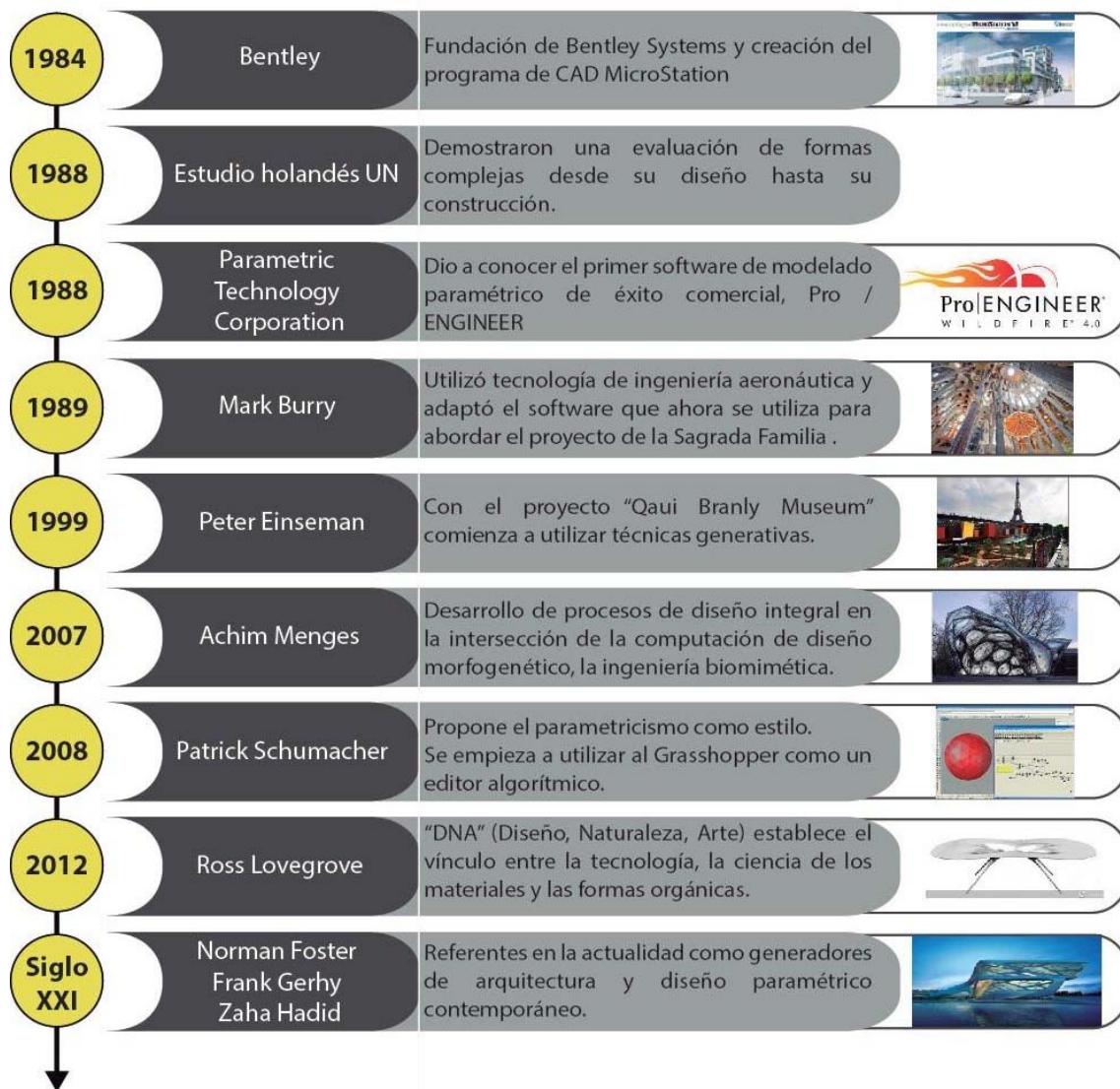


Figura 19. Línea del tiempo de eventos e inventos que han contribuido al desarrollo del parametricismo.  
Adaptada de (Valdiviezo, 2014)

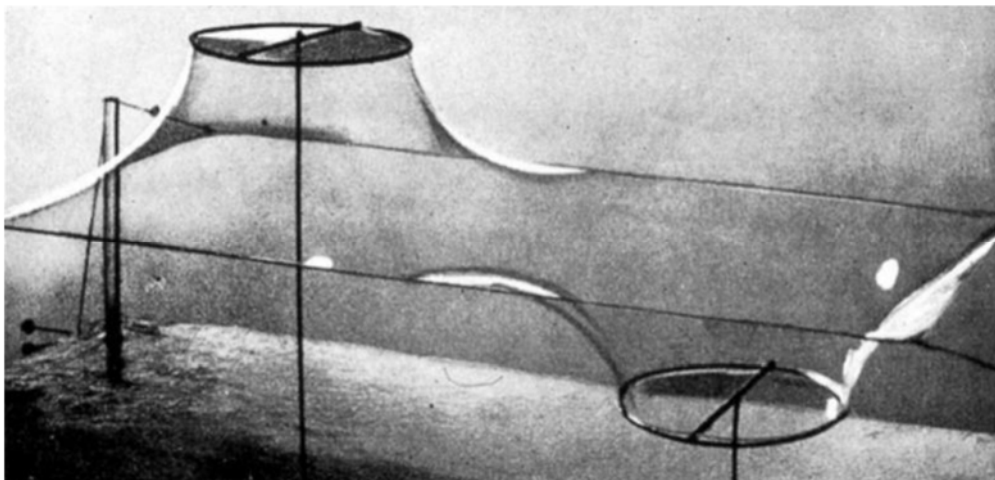
## 2.5.2 Referentes

En este apartado se van a nombrar algunos de los referentes más significativos que se alinean con el diseño contemporáneo y sus bases, en el que se mencionarán algunas de las creaciones de cada exponente las cuales aportaron con las bases y el sustento de la teoría utilizada para el desarrollo de este trabajo de titulación.



### 2.5.2.1 Frei Otto

Frei Otto fue un arquitecto Alemán que destacó por su experiencia en sistemas de construcción y mallas. Utiliza computación análoga, es decir, procesamiento de información por parte de los materiales. En 1961, experimentó con una lámina formada de jabón a la cual se le colgó un hilo. Se procedió a romper la película de jabón que se formó en su interior e instantáneamente apareció un círculo perfecto a partir del cual se inició la experimentación con las superficies generadas. Cualquier forma que se pueda hacer con una burbuja de jabón puede ser reproducida en membrana de neumático (forma cíclica). De esta forma, Otto consiguió llevar a la realidad formas que parecían imposibles para su época y expresó lo siguiente: "Ahora se puede calcular, algo que durante más de cuarenta años fue imposible. Yo no he esperado a que se pudiera calcular para construir las".



*Figura 20.* Experimento de Frei Otto con una película de jabón colgada. Tomado de (Yunis, 2015)

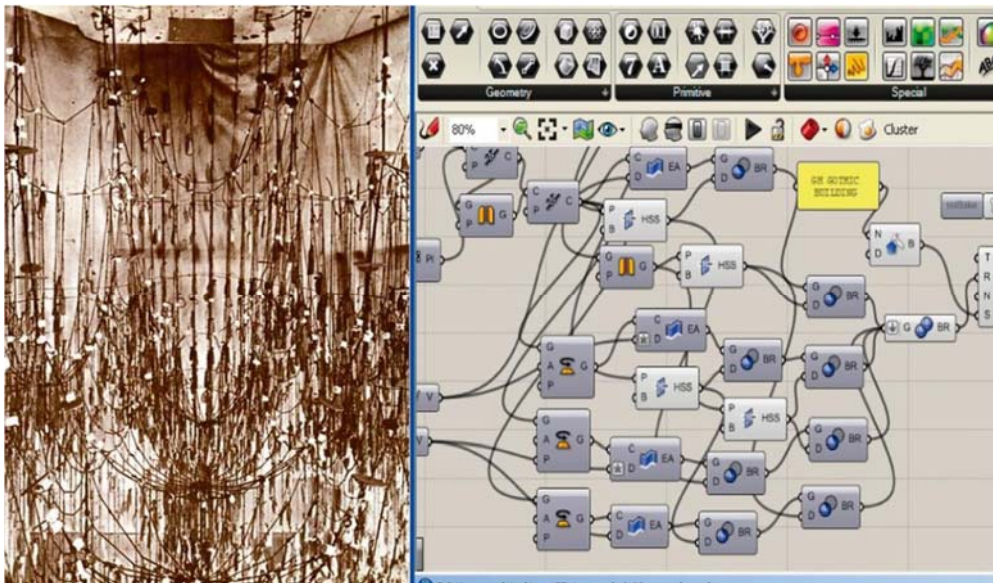
### 2.5.2.2 Antonio Gaudí

Gaudí fue un arquitecto español, considerado como el máximo representante del modernismo catalán. El uso de ecuaciones paramétricas puede verse en muchos aspectos de la arquitectura de Gaudí, pero tal vez se ilustra mejor con su uso del modelo de cadena colgante (Burry, 2011, pág. 152). Hay un conjunto

de parámetros independientes (longitud de la cadena, posición del punto de anclaje, peso de la pata de los pájaros) y hay un conjunto de resultados (los distintos lugares de los vértices de las cadenas) que derivan de los parámetros usando funciones explícitas de movimiento. Al modificar los parámetros independientes de este modelo paramétrico Gaudí podría generar versiones de la Capilla Colònia Güell y asegurarse de que la estructura resultante permaneciera en compresión pura.



*Figura 21.* Modelo de cadena colgante de Gaudí.  
Tomado de (Davis, 2013)

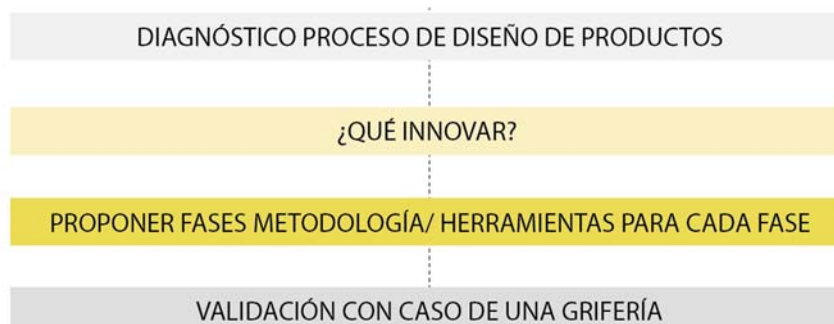


*Figura 22.* Comparativo entre maqueta polifónica de Antoni Gaudí para la Cripta de la Colonia Guell y un modelo paramétrico en Grasshopper. Tomado de: (Almale, 2014)

### 3 DISEÑO METODOLÓGICO

Se investigará toda la información pertinente para la realización de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos. A partir de la información encontrada se hará una recopilación, análisis y síntesis de los datos para comprobar la validez de la metodología propuesta a partir de un caso local de estudio, en este caso, el diseño de una grifería para Fv de la materia de Proyecto Industrial II.

El diseño metodológico para este proyecto de titulación consta de 4 pasos:



*Figura 23.* Pasos diseño metodológico

### **3.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se realizará será mixto. De carácter cualitativo en su mayor parte, y cuantitativo al momento de obtener datos numéricos. Ambos tipos de investigaciones tendrán un fin científico, descriptivo y exploratorio para poder desarrollar el problema planteado.

Las herramientas a utilizar durante la investigación serán: búsquedas a través de internet, búsqueda en libros especializados, uso de softwares paramétricos.

### **3.2 Población**

El proyecto de titulación va dirigido a estudiantes y profesores de la facultad de la carrera de diseño Gráfico como un aporte a un nivel superior al desarrollo convencional de las metodologías.

## **4 INVESTIGACIÓN Y DIAGNÓSTICO**

En este apartado se realizará una búsqueda de información y se hará un análisis comparativo de la metodología utilizada por la UDLA.

### **4.1 Metodología de diseño basada en el modelo lineal aplicado dentro de la Universidad de Las Américas**

Dentro de la carrera de diseño gráfico e industrial de la UDLA, actualmente se utiliza una metodología de diseño basada en el modelo lineal explicado en el apéndice 1.4.1 del capítulo I (Antecedentes) de este proyecto de titulación. La metodología de enseñanza impartida en la carrera se alinea a los Rda's de cada asignatura. A su vez, el uso del modelo lineal para la formulación de una metodología de diseño permite que el estudiante adquiera una visión holística del proceso de diseño que se lleva a cabo y es por esta razón que los docentes optan por este tipo de modelo.

#### 4.1.1 Fases de la metodología de diseño aplicada dentro de la carrera de diseño gráfico e industrial de la UDLA

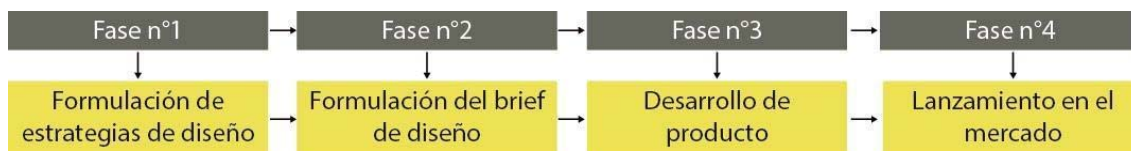


Figura 24. Fases de la metodología de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.

#### 4.1.2 Descripción de las fases de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño gráfico e industrial de la UDLA

Tabla 7.

Fase n°1 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.

FASE	TEMA	SUBTEMA	HERRAMIENTA
Fase N°1	Formulación estrategias de diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antecedentes del diseño.</li> <li>- ¿Qué es Diseño?</li> <li>- Metodología proyectual.</li> <li>- Análisis e identificación de situación estratégica del usuario cliente.</li> <li>- Análisis interno y externo.</li> <li>- Generación, evaluación y selección de áreas de acción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación de campo</li> </ul>

Tabla 8.

Fase n°2 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.

FASE	TEMA	SUBTEMA	HERRAMIENTA
Fase N°2	Formulación del brief de diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planteamiento del problema</li> <li>- Definición de requerimientos y potencialidades del producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Canvas Brief de diseño</li> </ul>

Tabla 9.

Fase n°3 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.

FASE	TEMA	SUBTEMA	HERRAMIENTA
Fase N°3	Desarrollo de producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploración de conceptos e ideas.</li> <li>- Síntesis de propuesta de diseño.</li> <li>- Simulación y validación de propuesta provisional</li> <li>- Iteración y definición de diseño formal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bocetación de ideas con papel y lápiz en bitácora de la asignatura (mínimo 10- máximo 150 por estudiante).</li> <li>- Validación con el usuario mediante prototipos físicos y funcionales de baja fidelidad elaborados en balsa, cartón, etc...</li> </ul>

Tabla 10:

Fase n°4 de la metodología de diseño aplicada actualmente dentro de la carrera de Diseño Gráfico e Industrial de la UDLA.

FASE	TEMA	SUBTEMA	HERRAMIENTA
Fase N°4	Lanzamiento de mercado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detallar la propuesta de diseño: Definir los elementos de fabricación</li> <li>- Establecer la implementación en el nicho de mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos técnicos</li> <li>- Diseño 3D digital</li> <li>- Fabricación manual de modelo de alta fidelidad a escala real con materiales tales como madera fibra de vidrio cerámica, barbotina, cartón entre otros</li> </ul>

### CASO LOCAL: Grifería “URA”

El siguiente caso de estudio se expone dentro del documento con el fin de evidenciar los procesos de diseño paramétricos que se han realizado previo a la realización de nuestro proyecto de titulación. Siguiendo el modelo lineal de la metodología de diseño impartida por la UDLA los estudiantes Roberto Gallo y Nicolás Bahamonde diseñaron la grifería “Ura”, la cual fue diseñada como proyecto de vinculación con la comunidad. La problemática a resolver se enfoca en la dirección que el usuario da al chorro para satisfacer diferentes necesidades, ya que la mayoría de griferías expulsa agua hacia abajo y esto impide que algunas necesidades diarias de los usuarios se lleven a cabo de manera satisfactoria. Se considera que este proyecto entra dentro de los referentes de diseño paramétrico, puesto a que, en la memoria técnica que se muestra a continuación se evidencia que los estudiantes experimentaron con la topología



de la superficie de la grifería, hasta lograr que esta se adapte a las necesidades del usuario, tal y como se plantea el principio del parametricismo.

Otra característica que hace de este proyecto un referente de diseño paramétrico, es que su diseño se enfoca en el estudio de la relación agua-superficie y el comportamiento de la tensión molecular del agua tomando como referencia al escultor en agua William Pye.



Figura 25. Grifería URA  
Tomado de la memoria técnica realizada por Roberto Gallo dentro de la UDLA.

## 5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

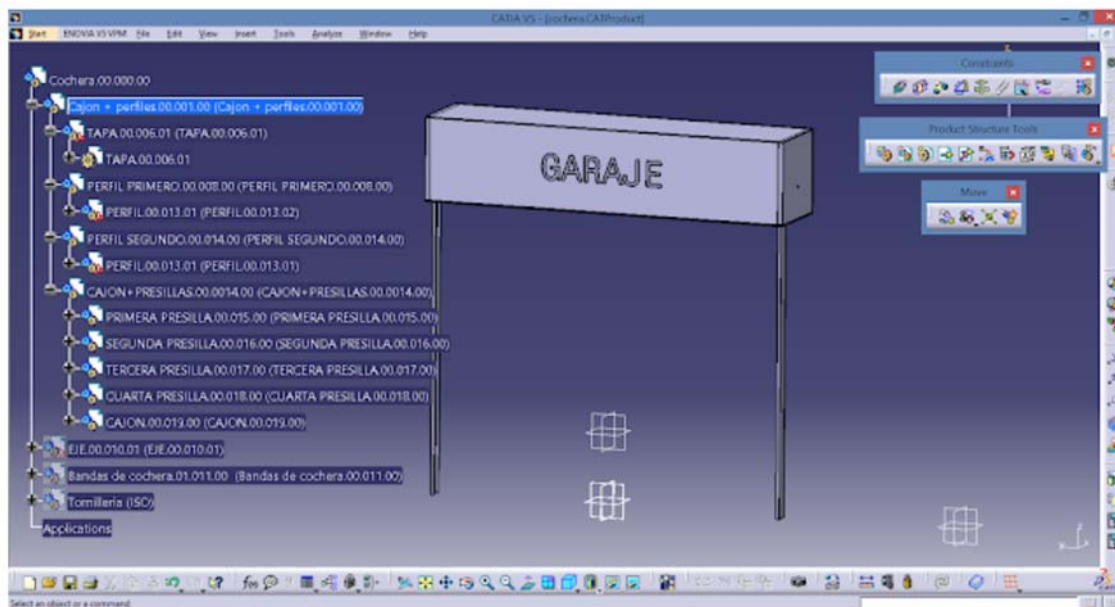
### 5.1 Concepto de la metodología de diseño propuesta

La proto-metodología de diseño que se propone en este trabajo de titulación busca promover el uso de herramientas y softwares paramétricos. Esto es debido a que el diseño paramétrico contemporáneo saca provecho del uso de la simulación digital como una herramienta de diseño que permite la búsqueda de formas abiertas a someterse a la modulación artificial. La ventaja que genera el uso de este tipo de softwares, es el poder de alterar o establecer parámetros capaces de crear una segunda naturaleza artificial, ya que permiten desplazar parámetros fuera de los rangos naturales y definir fuerzas artificiales.

Se habla de una segunda naturaleza artificial conformada de parámetros que pueden asociarse entre sí, establecer correlaciones incluso con los parámetros de cualquier otro objeto. Esta correlación existente produce que la modificación de un subsistema afecte al sistema entero.

Para comprender el concepto que se plantea en esta metodología, ha sido necesario extrapolar conocimientos. Por ende, al diseñar tridimensionalmente un objeto, el sistema como tal, es decir, la esencia del objeto o su representación interna, es el árbol lógico, estructura propia de todo software paramétrico, este árbol lógico se encuentra conformado por elementos como planos, líneas, sólidos, comandos de modificación entre otros (subsistemas) que se encuentran conectados entre sí, por lo que se entiende que si se modifica un parámetro de los elementos que conforman al árbol lógico, todo el objeto que se está diseñando cambiará y se adaptará en función de la modificación realizada. El planteamiento de los componentes de un árbol lógico y su correlación permite hacer énfasis en la capacidad de reversibilidad que adquiere el proceso de diseño al momento en el que se incluyen herramientas paramétricas dentro de su metodología a seguir.





*Figura 26.* Árbol lógico de Catia V5.  
Tomado de (Moreno, 2015)

## 5.2 Determinantes para la formulación de la propuesta de metodología de diseño

Para la formulación de la proto-metodología de diseño es necesario tomar en cuenta que se decidió seguir con un modelo lineal debido a que como se ha mencionado anteriormente, los modelos lineales de las metodologías de diseño permiten que el diseñador perciba una visión holística del proceso, por otro lado es de fácil comprensión porque sugiere pasos seguir. Finalmente la metodología a desarrollar debe satisfacer las necesidades de los estudiantes de diseño y a la vez adaptarse a sus conocimientos adquiridos a los largo de la carrera.

## 5.3 Propuesta

La propuesta de metodología de diseño se basa en conservar la estructura lineal sencilla, junto a las fases que conforman a la metodología tradicional. Sin embargo el grado de innovación que la proto-metodología propuesta alcanza es gracias al uso de herramientas paramétricas que se formulan dentro de cada fase.

## 5.4 Desarrollo de la propuesta

En primera instancia se desarrolló un tipo de proto-metodología que seguía un modelo lineal estricto:



Figura 27. Proto-metodología lineal

Sin embargo durante la validación de este modelo de metodología lineal, fue posible evidenciar que no se estaba aprovechando en su totalidad la capacidad que tienen los softwares paramétricos para alimentar al proceso de diseño con la cualidad de la reversibilidad.

Por ende, bajo el mismo concepto se planteó un nuevo modelo basado en la reversibilidad de diseño y la optimización de recursos.

### Propuesta definitiva

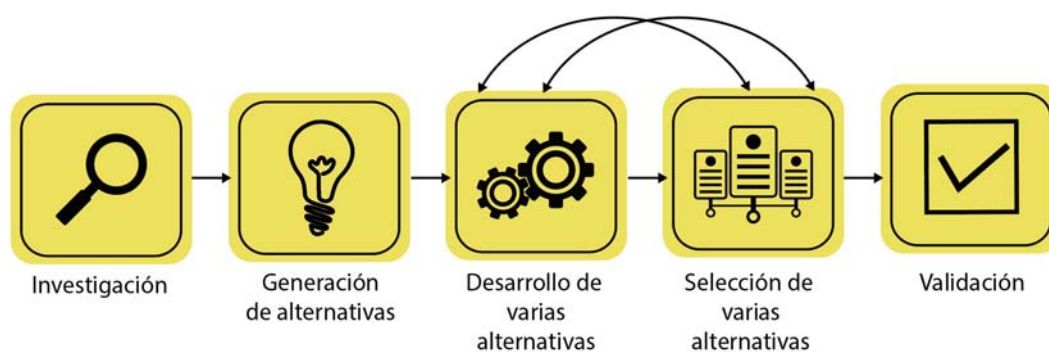


Figura 28. Propuesta definitiva proto-metodología

Pese a que la formulación del orden de la metodología de diseño ha sido estructurada bajo un modelo lineal, existe la posibilidad de intercambiar el orden de dos fases, la de desarrollo de varias alternativas con la de selección de varias alternativas y viceversa. La elección de una alternativa u otra se hace en base a alternativas que tienen un nivel de desarrollo mayor que un boceto.

### 5.4.1 Descripción general de las fases y componentes que abarcan la metodología de diseño que utilice herramientas paramétricas

Tabla 11.

Descripción general de las fases y componentes que abarcan la metodología de diseño que utilice herramientas paramétricas

FASES	PROPÓSITO/ OBJETIVO	HERRAMIENTAS
<b>Investigación</b>	Recopilación de información bibliográfica y de campo	Convertir a los datos recopilados en parámetros geométricos, es decir de cualitativos a cuantitativos mediante la <b>tabla de especificaciones</b> que se adjunta
<b>Generación de alternativas</b>	Desarrollo de una familia de productos basándose en un mismo proceso de diseño	Modificación de los parámetros propuestos en un algoritmo aplicado mediante el plug in <b>Grasshopper</b>
<b>Desarrollo de varias alternativas</b>	Desarrollar varias alternativas con criterios de computación referente a un marco conceptual	Tabla de compatibilidad entre programas de acuerdo al manejo de programación (scripts)
<b>Selección de alternativas</b>	Selección de la alternativa más apta en base a criterios de computación	Prueba de fabricación de viabilidad, informe de producción elaborado en el programa <b>CATIA V5</b>
<b>Validación</b>	Validar el desempeño de la propuesta antes de realizar grandes inversiones (reversibilidad)	Simulaciones virtuales: -Comportamiento de partículas físicas con el software <b>Houdini Fx</b> -Materialidad mediante renderizado utilizando <b>3ds Max</b>

### 5.4.2 Herramientas formuladas como soporte para la correcta aplicación y seguimiento de la proto-metodología

#### 1. Herramienta de la fase 1: Tabla de especificación de diseño

El diseño paramétrico exige que los datos a procesarse sean parámetros cuantitativos, de modo que la tabla de especificación sirve para convertir

información cualitativa en cuantitativa apta para el desarrollo del diseño paramétrico. En la primera columna llamada “Atributo de diseño” se formula en palabras descriptivas las cualidades bajo las cuales se busca diseñar un objeto. En la siguiente columna “Métrica” se coloca aquello que se pretende medir y en qué unidades, es decir, si el atributo es ligereza, su métrica corresponde al peso. Por último en la columna de “Valor” se establece un rango, valor o cantidad cuantitativa acorde al atributo que se menciona.

Tabla 12.  
Guía para las especificaciones de diseño

ATRIBUTO DE DISEÑO	MÉTRICA	VALOR

Tabla 13.  
Ejemplo de aplicación de la tabla de especificación de diseño

ATRIBUTO DE DISEÑO	MÉTRICA	VALOR
Debe ser un producto ligero	Peso (gr)	El objeto debe pesar entre 45 gr (mínimo) y 60 gr (máximo)

Como se puede constatar en este ejemplo planteado, se pasa de un dato cualitativo (ligereza) a uno cuantitativo (45gr-60gr). Para poder hacer uso de estos datos dentro de un software de modelado 3D es necesario introducir en la configuración únicamente el dato cuantitativo obtenido en la columna de “Valor”.

Es necesario recalcar que la herramienta propuesta a continuación debe utilizarse únicamente dentro de la fase de Investigación.

## 2. Herramienta de la fase 2: Rhinoceros + Grasshopper

Software Rhinoceros se ha especializado en el modelado de formas libres y orgánicas originadas a partir de su modelador integrado de superficies tipo NURBS; Es justamente gracias a esta especialización que se ha escogido a

Rhinoceros como la herramienta ideal para desarrollar esta fase de la protometodología propuesta ya que va acorde con la característica de curvilinearidad compleja y dinámica propia de las cualidades externas del Parametricismo. Otra de las razones por las que se utiliza a Rhinoceros en esta fase es debido a que en el proyecto de titulación del arquitecto lojano Marlon Valdivieso, él afirma que la lógica de resolución de problemas de Rhinoceros se basa en la utilización de componentes y variables para controlar la historia del objeto con Grasshopper (Valdivieso, 2014, p. 26).

Por otro lado GrassHopper es un plug in que funciona como un editor de algoritmos genéticos orientado hacia el desarrollo de diseño paramétrico. Marlon Valdivieso afirma que las herramientas de diseño de algoritmos operan con datos y geometrías capaces de encadenar una sucesión de comandos e instrucciones con sus respectivas entradas y salidas. Para Valdivieso existen dos tipos de objetos en Grasshopper, parámetros y componentes. “Los parámetros se utilizan para introducir variables, para luego conectarlos en componentes y dar como resultado datos o geometrías de salida” (Valdivieso, 2014, p. 27).



*Figura 29.* Logo Rhinoceros.  
Tomado de (Mercado Libre, s.f.)

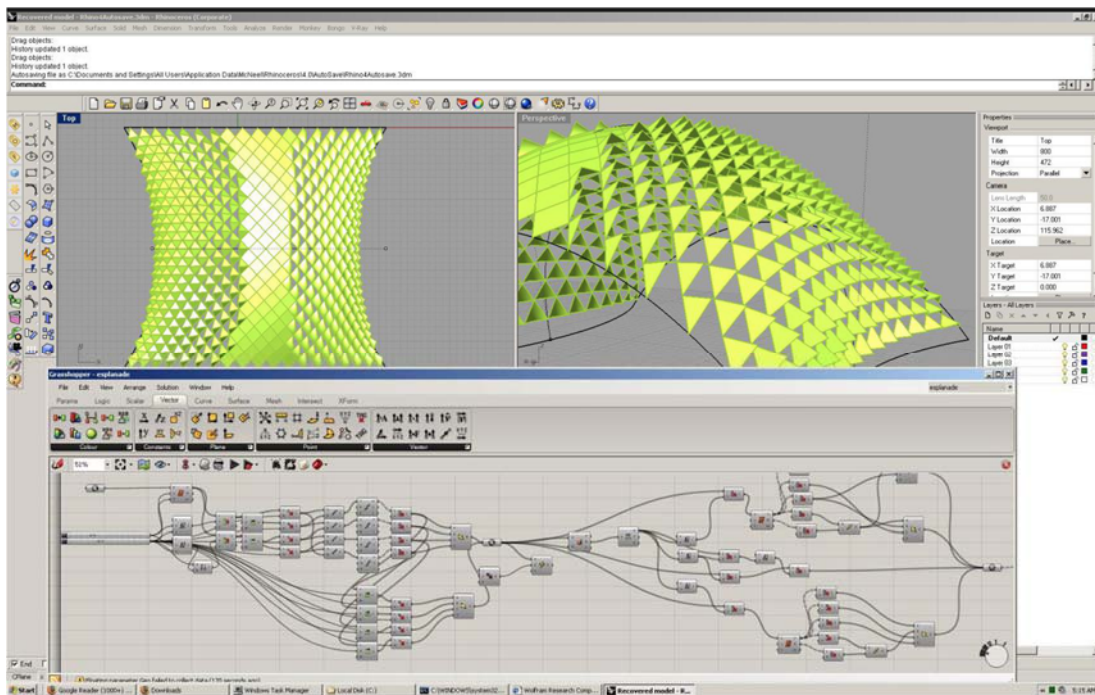


Figura 30. Algoritmo Grasshopper  
Tomado de (Meta Arquitectura, 2012)

### 3. Herramienta de la fase 3: Tabla de extensiones de importación y exportación compatibles entre los softwares involucrados en la protometodología

La herramienta que se va a presentar a continuación tiene la función de facilitar al estudiante el entendimiento y conocimiento de la lógica de las extensiones que se debe utilizar para exportar o importar un modelo, selección o sólido de un programa de modelado 3D a uno de renderizado o a uno de simulación de partículas. Esta herramienta es necesaria debido a que existen varios tipos de programas involucrados en el desarrollo de la protometodología de diseño propuesta y es muy útil establecer un medio de compatibilidad entre ellos, para así alcanzar un grado mayor de modelado y simulación sin dejarse limitar por las características de un solo software.

Tabla 14.

Extensiones de importación y exportación compatibles entre los softwares involucrados en la proto-metodología

Formato actual del archivo	Acción que se desea realizar	Programa al que se desea transferir el archivo	Extensión a utilizar
CATIA Part	Save As (guardar como)	3ds Max	*.stl *.model *.igs
Rhinoceros	Export	CATIA V5	*.stl
Rhinoceros	Save As (guardar como)	3ds Max	*.obj *.3ds *.dwg
Rhinoceros	Import	3ds Max	*.stl *.obj *.dwg
3ds Max scene file	Export	CATIA V5	*.stl
3ds Max scene file	Import	Houdini Fx	*.abc (alembic scene)
3ds Max scene file	Export	Rhinoceros	*.obj
Houdini Fx	Import	3ds Max	*.obj

#### 4. Herramienta de la fase 4: CATIA V5

La fase cuatro consta de la correcta selección de la alternativa de diseño más apta a ser fabricada, por ende para ejecutar esta fase es necesario realizar un análisis de viabilidad en cuanto a producción, el cual es posible llevar a cabo con el software CATIA V5 gracias a la herramienta “*Draft*”.

Se designa a CATIA V5 como el software encargado del desarrollo de esta fase ya que en la página web oficial de *Dassault Systems* (fabricante de CATIA) define a CATIA como un software programado con el lenguaje C++ y VB pensado para proporcionar un soporte tanto a diseñadores como a

ingenieros desde la concepción del diseño hasta su fabricación y análisis de viabilidad.

Al ser CATIA una aplicación interactiva, tridimensional asistida por computador posee diferentes herramientas y funciones paramétricas, una de ellas es la herramienta "DRAFT" la cual es capaz de simular un desmolde del sólido modelado y a la vez permite analizar de forma visual e intuitiva las zonas de retención o el ángulo negativo que impedirá el desmolde de un objeto. Se menciona específicamente a la herramienta Draft debido a que más adelante, en la validación de la proto-metodología será utilizada dentro del análisis de viabilidad del caso de estudio de la grifería en cuestión.



*Figura 31.* Logo Catia.  
Tomado de (CENIFER, 2016)

## **5. Herramientas de la fase 5: Validación**

Como se ha mencionado anteriormente, la fase cinco abarca dos herramientas capaces de desarrollar una simulación de comportamiento de objetos, por un lado se encuentra la simulación del comportamiento de partículas físicas, y por otro existe la simulación de materialidad mediante herramientas de renderizado.

### **5.5 Herramienta de simulación del comportamiento de partículas físicas**

Para la simulación del comportamiento de partículas en base a principios de la física, se ha determinado que el software Houdini Fx es el indicado puesto a que



su programación permite estudiar el comportamiento de un sólido respecto a diferentes factores propios de la naturaleza, tales como el agua, el fuego o el viento. Se presenta a Houdini Fx como una herramienta paramétrica debido a que su herramienta de partículas genera una red de nodos, a dichos nodos se les asignan propiedades, parámetros requeridos para una simulación dependiendo de lo que se pretende validar a través de una simulación.


Houdini Fx		
	Desarrollador	Side Effects Software
	Sistema Operativo	Windows, Mac OS, Linux
	Lenguaje de programación	Phyton
	Tipo de Lenguaje de programación	Programación funcional basado en el uso de funciones matemáticas para generar cambios del estado de las partículas gracias a la mutación de variables.
<p><b>ENTRADA</b> Parámetros</p> <p><b>PROCESO</b> Subrutina o función</p> <p><b>SALIDA</b> Valor de retorno</p>		
Motor de Render	Mantra	
Motor de Render Alternativo	La licencia Houdini Indie admite otros motores como: Renderman, Octane, Arnold.	
Compatibilidad	Importación FBX que soporta NURBS, soporte para Adobe Illustrator	
Principio de Modelado	NURBS, modelado de polígonos.	
Herramientas	Partículas	Permite definir un conjunto de reglas usando una red de nodos que posee agentes como fuerzas, atractores, objetos de colisión.
	Solucionador de elementos finitos	Analiza las tensiones en un objeto.
	Simulaciones	Fuego, humo, fracturas y fluidos.

Figura 32. Ficha técnica de Houdini Fx

## 5.6 Herramienta de simulación de materialidad a través de renderizado

Para la simulación de materialidad de la fase 5 se ha seleccionado al software de modelado 3ds Max desarrollado por *AutoDesk* debido a que este programa cuenta con la herramienta UVWmap, de acuerdo con la página oficial de sus creadores (<https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>), esta herramienta permite que algorítmicamente las coordenadas de textura de

extiendan para dar más cobertura uniforme de la textura subyacente, esto hace que sea más fácil asignar coordenadas de textura específica a las áreas deseadas de la textura.



*Figura 33.* Logo 3D MAX.  
Tomado de (Becas Internacionales, 2016)

## **6 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA**

Como introducción a este capítulo es necesario aclarar que la validación de la proto-metodología propuesta dentro de este trabajo de titulación consta en comparar los resultados del caso de estudio de la “Grifería Crystal” diseñada bajo la proto-metodología de diseño de modelo lineal, propia de la carrera, con los resultados obtenidos a partir del rediseño de la grifería aplicando el uso de herramientas paramétricas.



Figura 34. Grifería “Crystal”

El rediseño de la grifería Crystal bajo la proto-metodología propuesta se aplicó únicamente al pico de la grifería, y al pico resultante de la proto-metodología propuesta se le llamará “Eureka”.

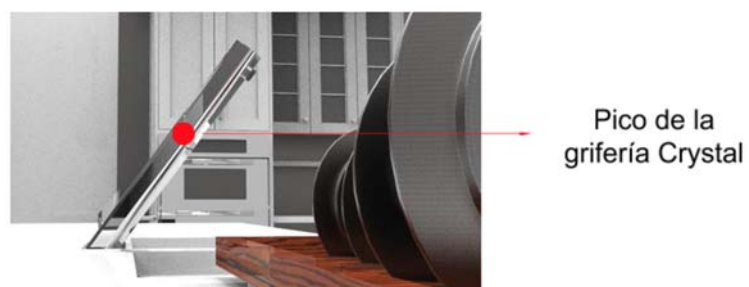
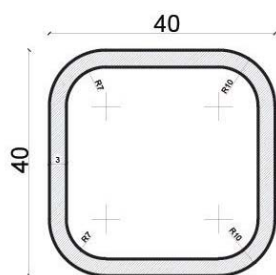


Figura 35. Pico de la grifería Crystal

## 6.1 Validación de la fase de investigación (Fase 1) con la herramienta “Tabla de especificación de diseño”

Tabla 15.  
Especificaciones de diseño del pico de la grifería

N°	ATRIBUTO DE DISEÑO	MÉTRICA	VALOR
1	El ancho del pico debe conservar la estructura cuadrangular	milímetros (mm)	min. 40x40 máx. 50x50
2	El alto total del pico debe permitir el paso de una olla debajo de él	milímetros (mm)	min. 35mm máx. 42mm
3	Debe tener una inclinación para permitir la caída del agua en la canasta	grados	min. 50° máx. 65°



CORTE B-B' CORTE C-C'  
esc: 1/1

Figura 36. Validación del parámetro N°1

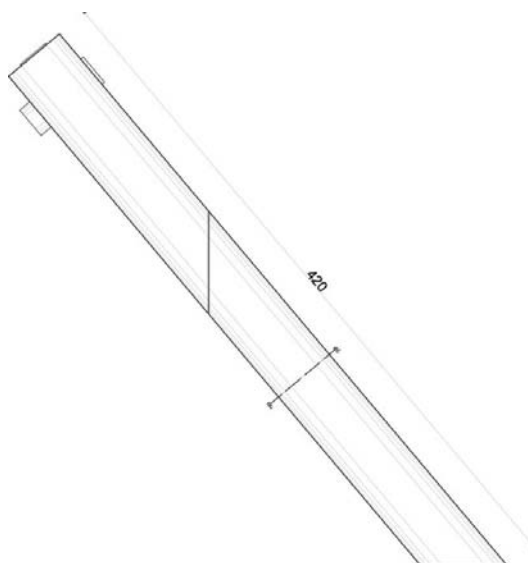


Figura 37. Validación de los parámetros N°2 y N°3

## 6.2 Validación de la fase de generación de alternativas (Fase 2) con la herramienta “GrassHopper de Rhinoceros”

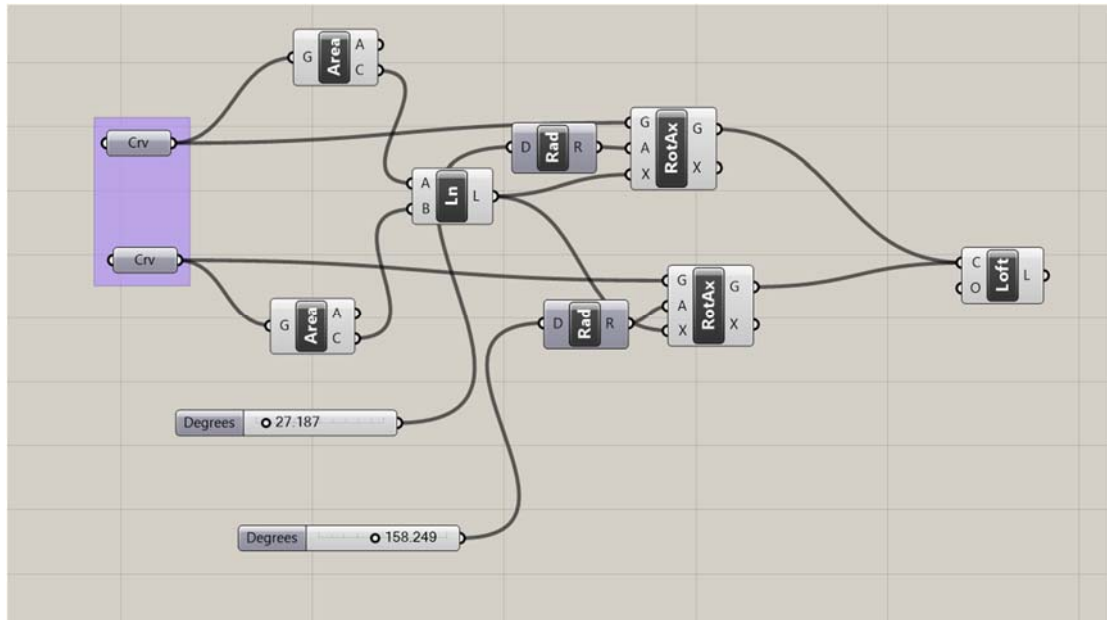


Figura 38. Algoritmo recursivo proporcionado por la Arq. Ma. Claudia Valverde

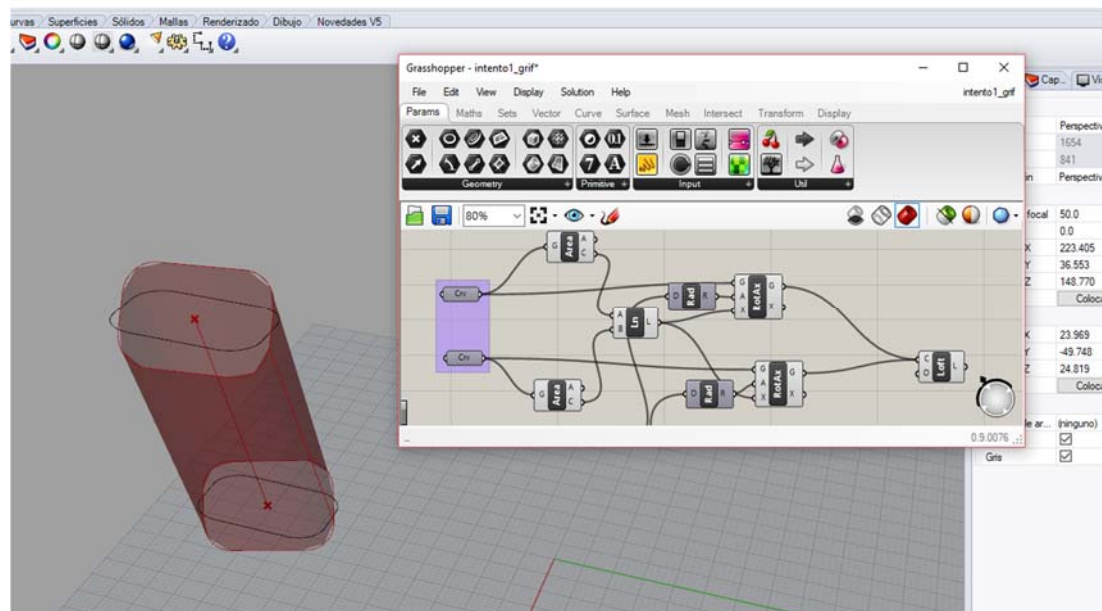


Figura 39. Aplicación del algoritmo recursivo en el pico de la grifería

El cajetín color verde que se observa a continuación corresponde al componente “Radians” (rad) encargado de convertir los grados de un ángulo específico en

radianes, por ende se conecta el *slide* de “Degrees” (grados) al extremo izquierdo del componente Rad.

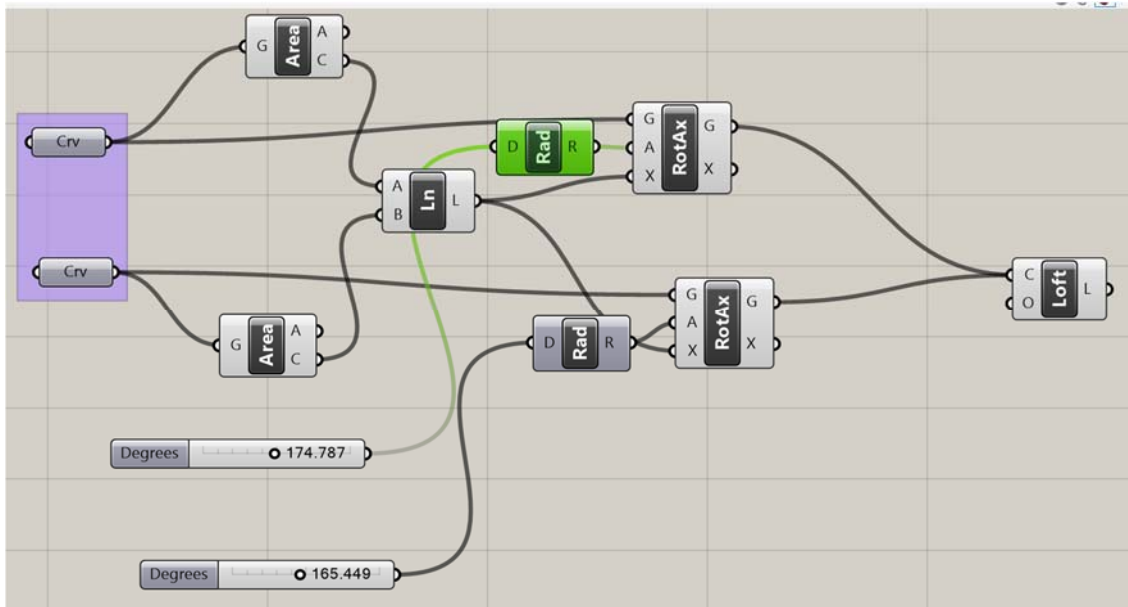


Figura 40. Cajetín verde que transforma los grados de un ángulo en radianes

El *slide* de *degrees* (grados) es un parámetro debido a que es posible definir su configuración, presenta la opción de establecer un mínimo, un máximo o un rango tal y como se observa en la siguiente imagen.

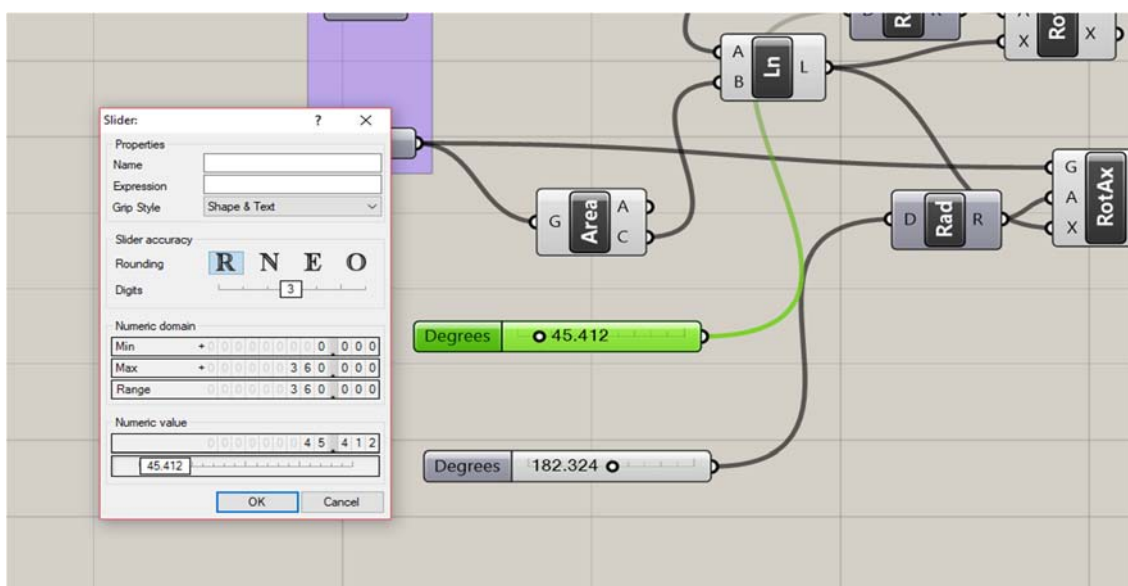


Figura 41. Rango de grados

La alteración del *slide degrees* afecta directamente al sólido modelado en Rhinoceros, y es gracias a esta herramienta paramétrica que es posible crear una familia de productos a partir de un mismo algoritmo a través de la modificación de sus parámetros.

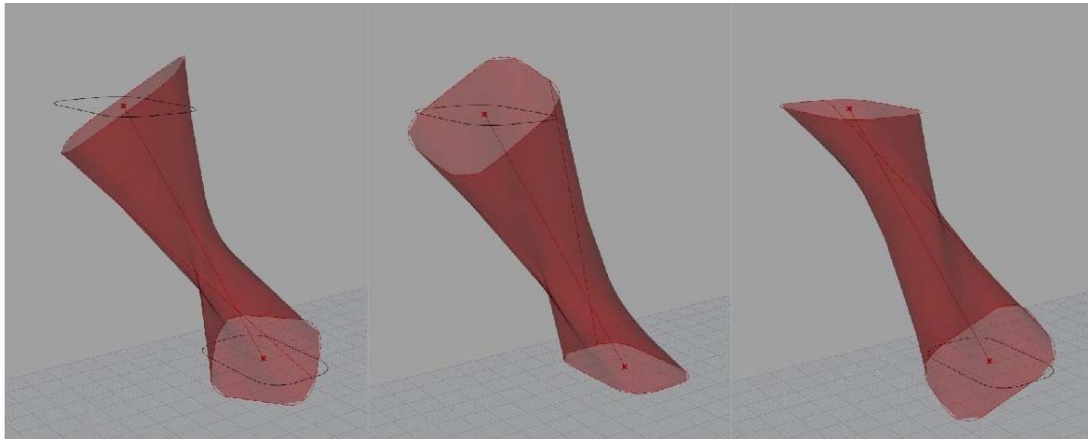
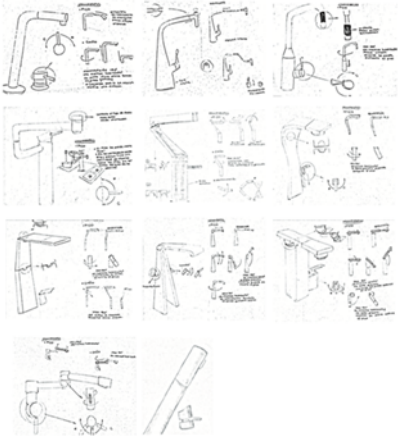
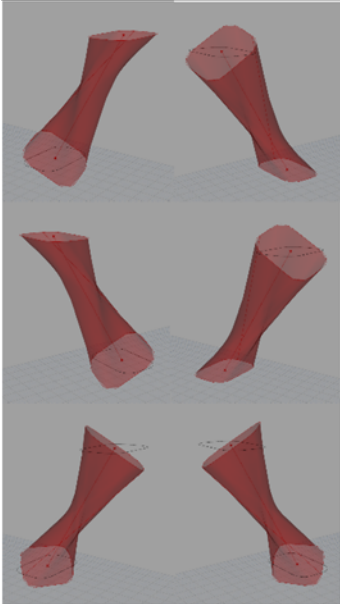


Figura 42. Familia de productos a partir de la modificación del *slide degrees*



Tabla 16.  
Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°2 de la proto-metodología



Fase N°2	METODOLOGÍA TRADICIONAL	METODOLOGÍA PARAMÉTRICA
<b>Objetivo</b>	Desarrollo de una familia de productos basándose en un mismo proceso de diseño.	
<b>Desarrollo/ Evidencia</b>	 <p data-bbox="416 925 858 987">Figura 43: Evidencia de bocetaje mano alzada</p>	 <p data-bbox="866 1059 1358 1115">Figura 44: Alternativas generadas de manera digital</p>
<b>Medio</b>	Papel	Computadora
<b>Herramienta</b>	Lápiz	Algoritmo de GrassHopper
<b>N° de alternativas</b>	Entre 150 y 300 bocetos realizados a mano	Infinidad de alternativas
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite al estudiante llevar un registro físico de los bocetos en su bitácora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es capaz de generar toda una familia tipológica a partir de un solo algoritmo.</li> <li>- Optimiza tiempo hasta en un 90%</li> <li>- Permite establecer parámetros y simularlos en tiempo real para así tener una percepción real del objeto en 3 dimensiones del.</li> <li>- Grado de innovación mayor a la de un bocetaje.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona una visión en dos dimensiones del objeto.</li> <li>- Se obtiene una representación estática del producto deseado.</li> <li>- Demanda mucho tiempo de los estudiantes y genera fatiga.</li> <li>- El uso de papel y lápiz como medio y herramienta para generar alternativas hace que se anule la reversibilidad al momento de la toma de decisiones de diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La programación de un algoritmo más complejo un grado alto de dificultad.</li> </ul>



### 6.3 Validación de la fase de desarrollo de alternativas (Fase 3)

Tabla 17.

Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°3 de la proto-metodología

Fase N°3	METODOLOGÍA TRADICIONAL	METODOLOGÍA PARAMÉTRICA
<b>Objetivo</b>	Prototipar las diferentes alternativas con el objetivo de tener una percepción materializada de ellas. <b>Nota!</b> Es posible intercalar el orden de ejecución de la Fase N°3 y la Fase N°4 puesto a que gracias a la significativa optimización de tiempo y esfuerzo que generan las herramientas y softwares paramétricos, es posible o bien elegir una alternativa y prototiparla o prototipar varias alternativas y elegir una.	
<b>Desarrollo/ Evidencia</b>	 <p data-bbox="448 1093 906 1155"><i>Figura 45: Prototipo hecho en cartón del pico Crystal</i></p>	 <p data-bbox="911 1093 1359 1155"><i>Figura 46: Impresión 3D con resina</i></p>
<b>Medio</b>	Modelo	Computadora
<b>Herramienta</b>	Masking, estilete, pintura	Impresora 3D
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su elaboración con materiales como cartón o balsa es económica.</li> <li>- Es posible prototiparlo con materiales fáciles de adquirir (tijera cartón, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es posible adquirir un prototipo de alta fidelidad, con perfección en cuanto a acabados.</li> <li>- El material de fabricación (plástico o resina) extiende la vida útil del prototipo.</li> <li>- Permite que el prototipo pueda ser manipulado por el usuario desgastarse.</li> <li>- Replica con exactitud la curvilinealidad dinámica que caracteriza a las estructuras paramétricas.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se consigue un modelo de alta fidelidad, por ende no es posible apreciar acabados o texturas preliminares.</li> <li>- No es resistente a ser manipulado, por ende se reduce la capacidad de validación con un usuario.</li> <li>-Sirve únicamente como un modelo de exhibición de baja fidelidad, más no como un modelo de interacción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material de impresión es complicado de conseguir.</li> <li>- El tiempo de prototipado a escala tuvo una duración de 5 hrs</li> </ul>

### 6.3.1 Validación de la fase de selección de alternativa (Fase 4) con la herramienta "CATIA V5"

Para llevar a cabo la validación de la Fase 4 es necesario tomar en cuenta que se trata de la producción y fabricación de un pico de grifería por lo que esto conlleva a la necesidad de un molde de fundición, por ende se debe manifestar las siguientes condiciones:

- Se ha establecido el plano de partición considerando la simetría longitudinal del objeto.
- Para el análisis de desmolde solo es necesaria su forma externa por lo cual se desactiva la opción de shell.
- No se incluyen accesorios para lograr la fundición: canales de alimentación, mazarotas (puntos de absorción de rechupes, poros y gasificación), vertederos, salidas de gases.

En el software CATIA V5 se aplica la herramienta DRAFT, es decir de desmolde, la cual permite analizar de forma visual e intuitiva las zonas de retención o el ángulo negativo que impedirá el desmolde de un objeto. Para el pico CRYSTAL se obtiene la siguiente imagen:

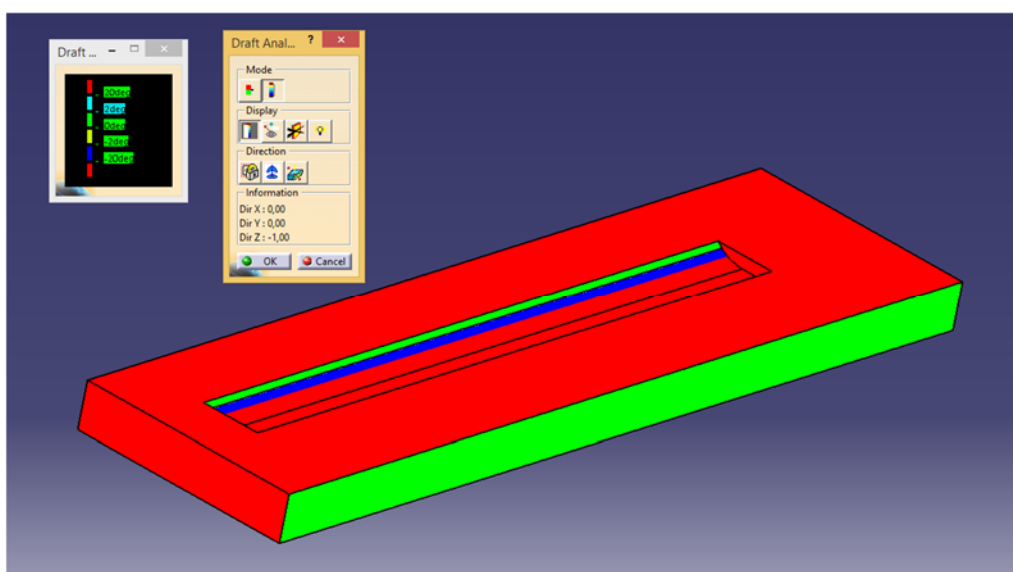
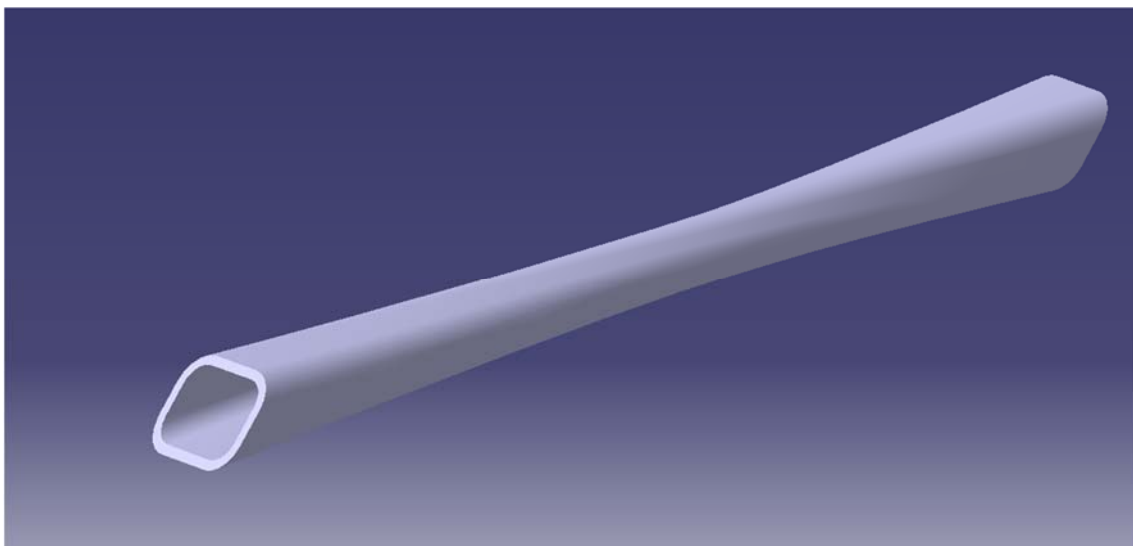


Figura 47. Aplicación de la herramienta DRAFT al molde del pico Crystal.

Se habla de presentación intuitiva puesto que a través de una métrica acompañada de una escala de colores se analiza el desmolde de un objeto. En este caso la métrica presenta valores positivos y negativos para indicar las retenciones positivas y negativas respectivamente.

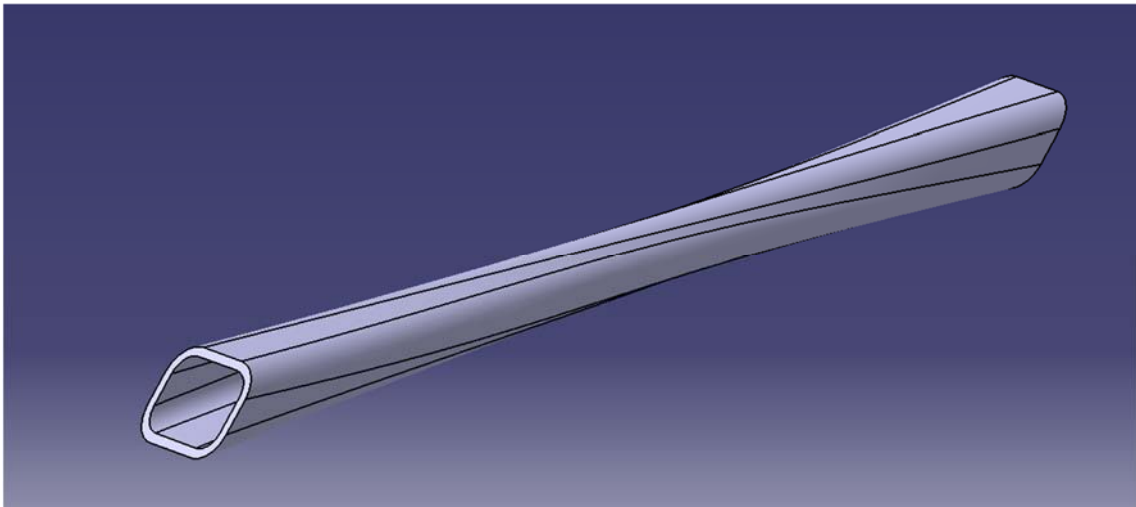
La franja azul y la verde adyacente (dentro de la forma del pico) indican una zona de retención, la cual es previsible a partir del diseño del pico puesto que es perpendicular al plano de partición. Esta situación se resuelve a partir de las recomendaciones de Ingeniería de Manufactura lo cual lleva a agregar un bisel con una inclinación a decidir entre 3 y 5 grados en las dos caras laterales del pico. Una vez fundido el objeto este es mecanizado en una máquina de revolución normal a estas caras con el fin de extraer este material extra y lograr la perpendicularidad entre las cuatro caras del mismo.

Si de manera digital al pico CRYSTAL se le somete a un sistema que incluya una carga de torsión en uno de sus extremos, mientras el otro permanece fijo, o con un anclaje de grado de libertad cero, se obtiene el siguiente grifo torsionado que presenta su estrangulamiento mayor en el plano transversal ubicado en el medio de su eje longitudinal.



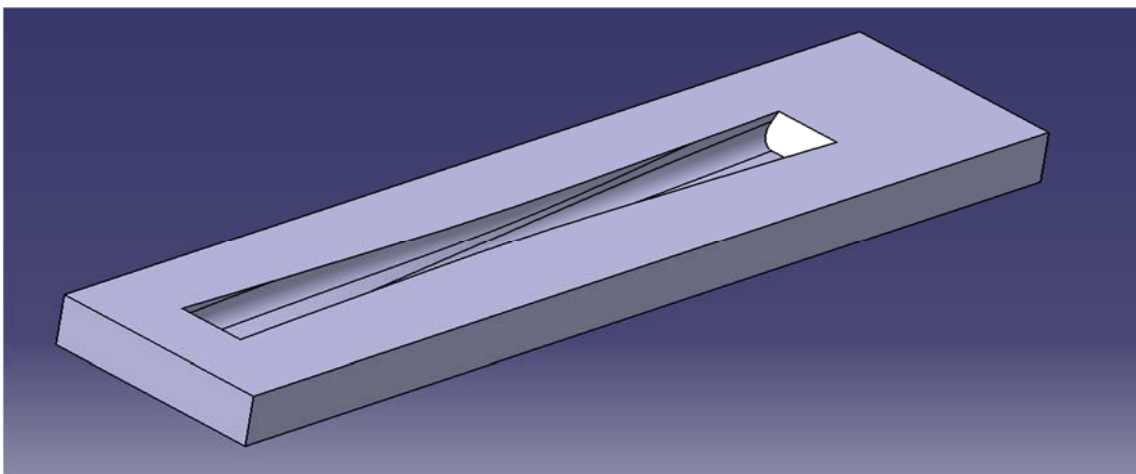
*Figura 48.* Pico torsionado en Catia V5

Por motivos de visualización se le añade algunas isoparamétricas:



*Figura 49.* Pico torsionado al que se le añade isoparamétricas para mejorar la visualización

Bajo las mismas consideraciones que el pico de la grifería CRYSTAL se modela el molde del pico EUREKA (resultante de la proto-metodología):



*Figura 50.* Molde pico Eureka

Si al modelo anterior se le aplica el análisis DRAFT de CATIAv5r21 se obtiene la siguiente imagen:

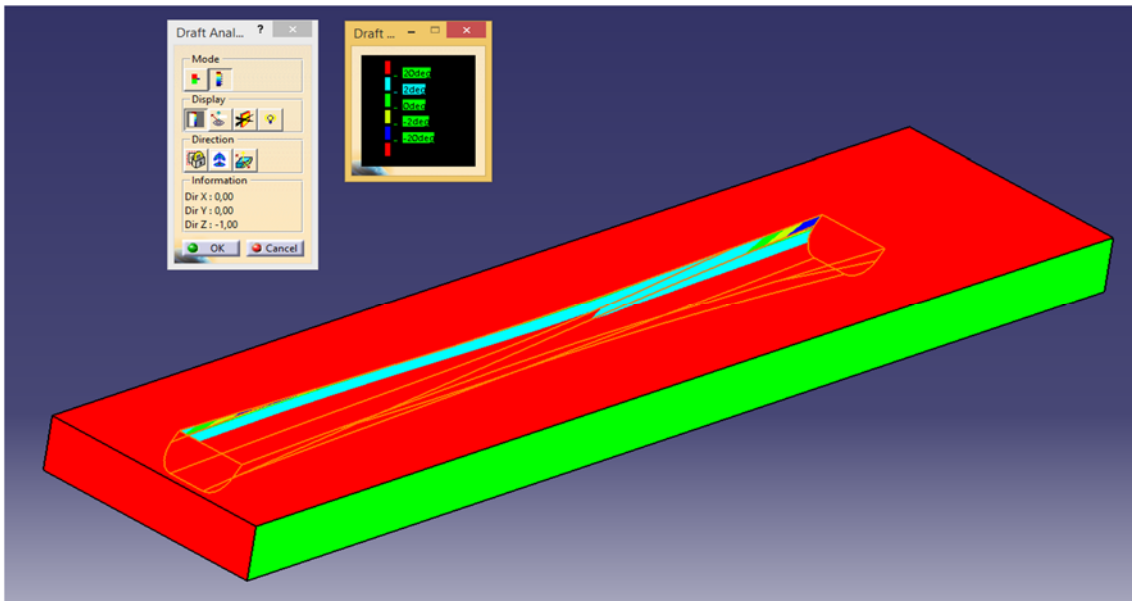

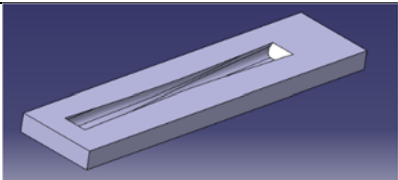
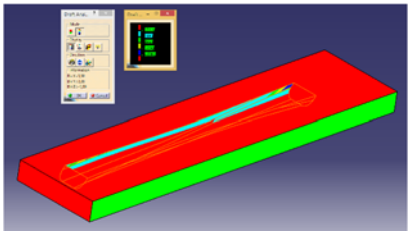


Figura 51. Molde Eureka aplicado el análisis Draft de Catia V5

A continuación el análisis de lo expuesto. La zona de retención se presenta mucho menor y son las pequeñas zonas pintadas de amarillo y azul. Sin embargo su incidencia es mayor porque son retenciones negativas. El valor más alto es para la pequeña franja azul que indica menos 20 grados, y a continuación una banda amarilla de menos dos grados y finalmente una retención neutra señalada con color verde. Igual que para el pico CRYSTAL se puede agregar biseles para compensar estas retenciones y así lograr el desmolde usando un molde rígido (no caucho).

Tabla 18.  
Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°4 de la proto-metodología

Fase N°4	METODOLOGÍA TRADICIONAL	METODOLOGÍA PARAMÉTRICA
<b>Objetivo</b>	<p>Seleccionar la alternativa más viable a fabricación en cuanto a tiempo, costos de producción, acabados de alta fidelidad. Al tratarse de la fabricación de una grifería fundida en latón es necesario realizar un análisis de desmolde en base a herramientas paramétricas <b>Notal:</b> Es posible intercalar el orden de ejecución de la Fase N°3 y la Fase N°4 puesto a que gracias a la significativa optimización de tiempo y esfuerzo que generan las herramientas y softwares paramétricos, es posible o bien elegir una alternativa y prototiparla o prototipar varias alternativas y elegir una.</p>	
<b>Desarrollo/ Evidencia</b>	 <p data-bbox="424 1131 849 1205"><i>Figura 52.</i> Fundición de aluminio</p>	 <p data-bbox="858 808 1359 869"><i>Figura 53:</i> Molde para fundición pico Eureka</p>  <p data-bbox="858 1131 1359 1205"><i>Figura 54.</i> Análisis de desmolde</p>
<b>Medio</b>	Molde de fundición	Computadora
<b>Herramienta</b>	Arena, aluminio, copón	Catia V5
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite tener una percepción clara en cuanto a la ubicación de canales de alimentación del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimiza el tiempo en cuanto a la corrección de errores de retención de material y ángulos de salida previa a su fabricación.</li> <li>- Arroja un análisis de métodos eficientes para fundición.</li> <li>- Representa un ahorro económico al momento de hacer una inversión en material de fundición y obtener un resultado acertado sin necesidad de repetir el procedimiento.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esta práctica se lleva a cabo bajo la experiencia, es decir solo alguien con una vasta experiencia en el campo es capaz de realizar la fundición de un objeto.</li> <li>- Al fundir un objeto resultante del diseño paramétrico no es posible guiarse por el conocimiento tradicional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No presenta análisis en cuanto a canales de alimentación del material.</li> </ul>

### 6.3.2 Explicación del Diseño Paramétrico aplicado a los picos del Proyecto de Titulación bajo análisis

A continuación en la siguiente imagen se muestra la parametrización del perfil cuadrangular que regirá las secciones transversales del pico CRYSTAL:

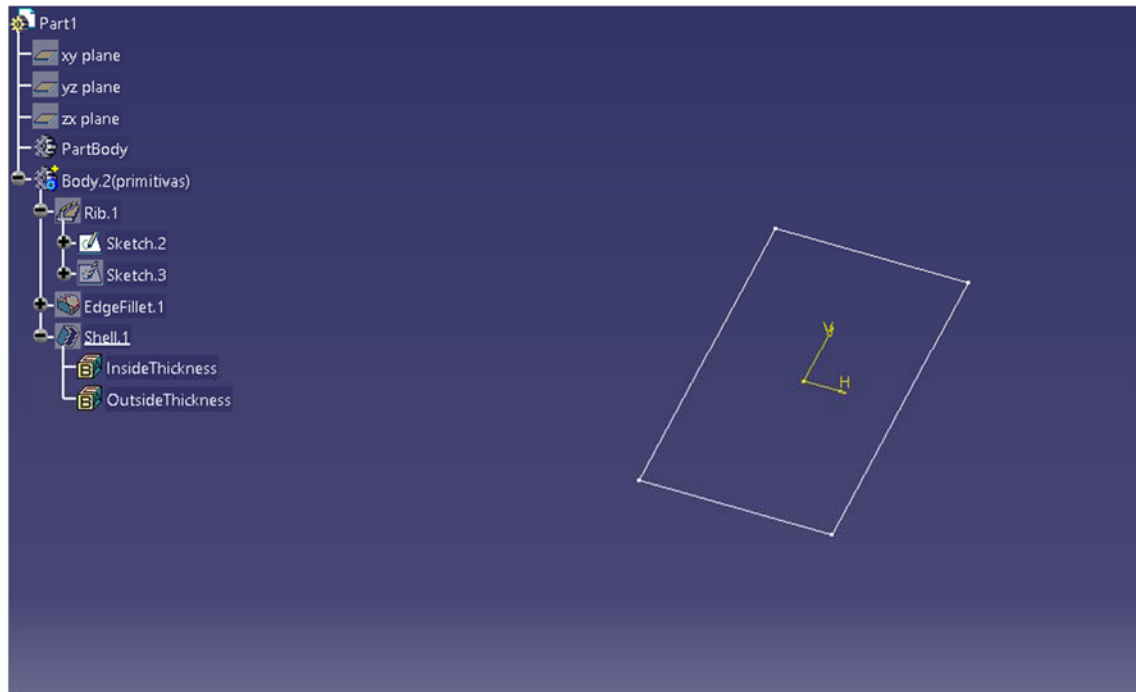


Figura 55. Parametrización del perfil cuadrangular

Aquí se marca las especificaciones del eje longitudinal del pico obtenidas en los datos cualitativos de la Fase 1. Este eje se usará como la espina (*spine*) que regula la proyección (planos seriados según Wucius Wong) de la base cuadrangular (sketch 2)



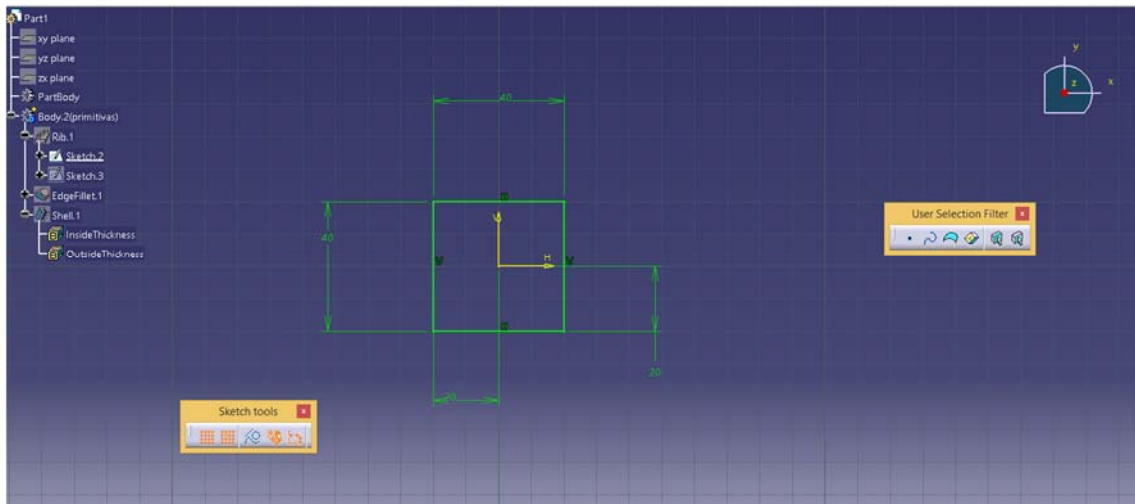


Figura 56. Especificaciones del eje longitudinal

A continuación se muestran las primitivas o *wireframes* (estructura de alambre) y que son fundamentales en los resultados de parametrización que se obtendrán al final de esta metodología.

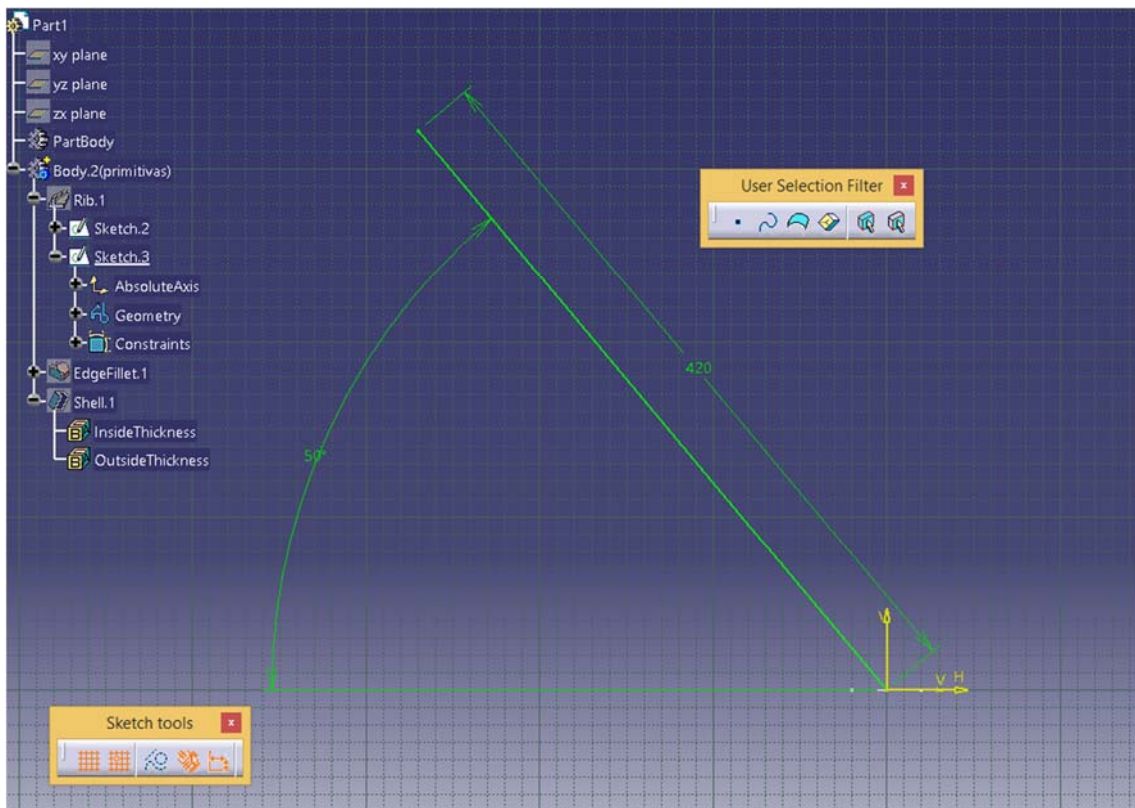


Figura 57. Inclinación pico



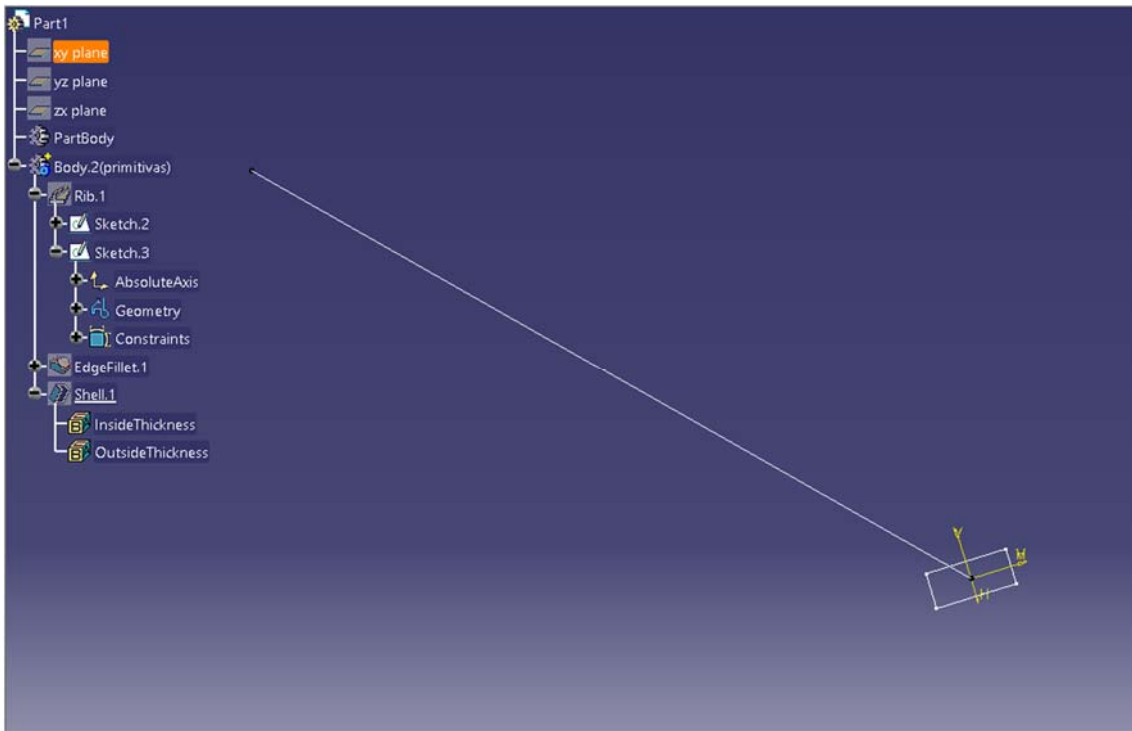


Figura 58. Eje del pico

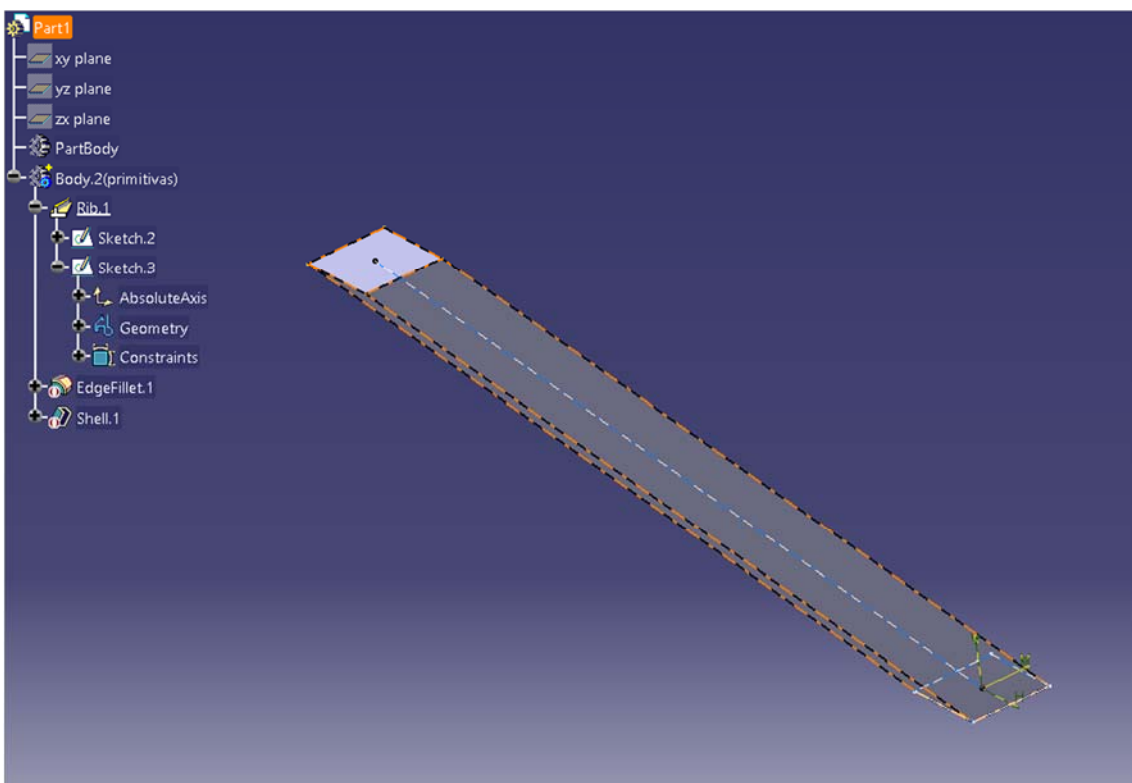


Figura 59. Extrusión del pico Crystal

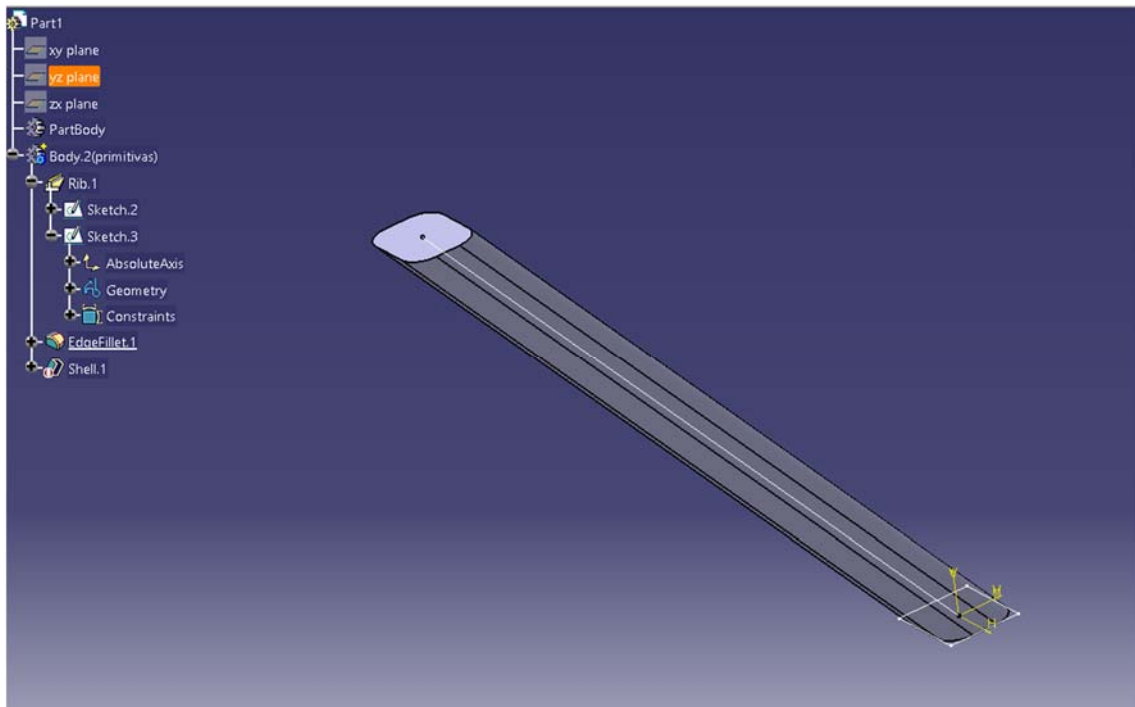


Figura 60. Esquinas redondeadas del pico Crystal

Para hacer una transformación paramétrica se incluye una nueva sección transversal (sketch 4).

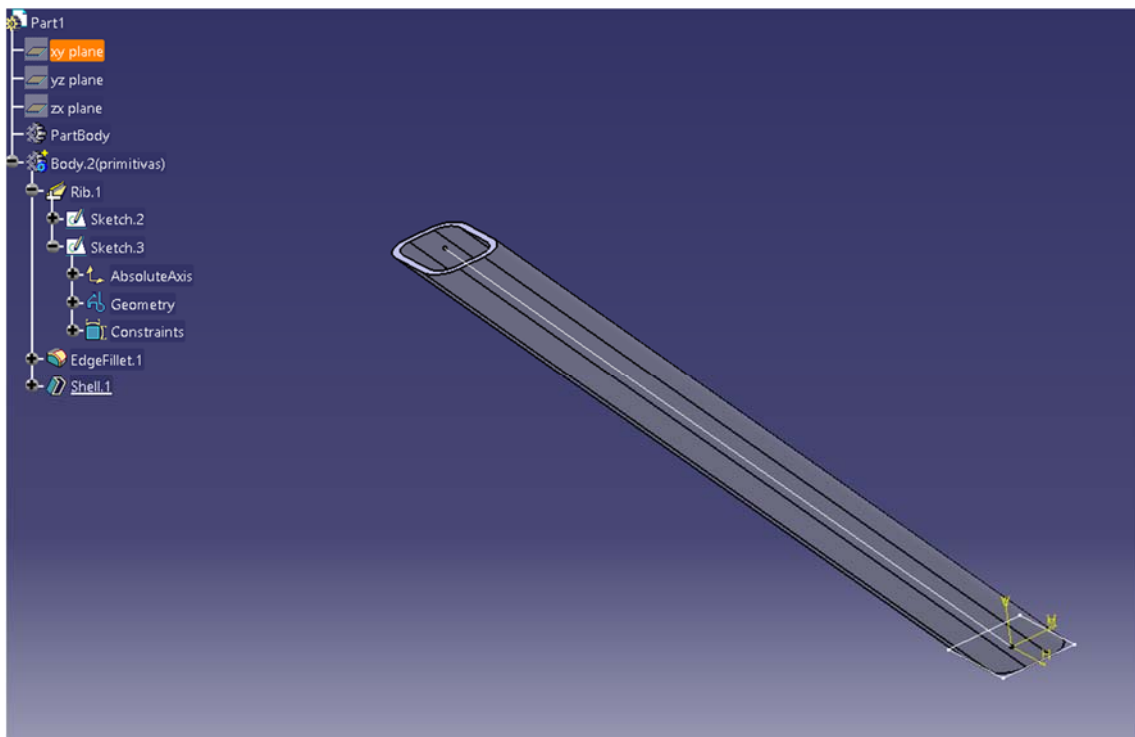


Figura 61. Sustracción en la sección transversal

Además se agrega un punto (punto 3) donde actuará una tensión (en este caso la carga que genera la torsión). Esta tensión se aplica el momento de realizar la herramienta MULTISECTION (*Closing Point* de la SECCIÓN) representada en el *sketch 4*.

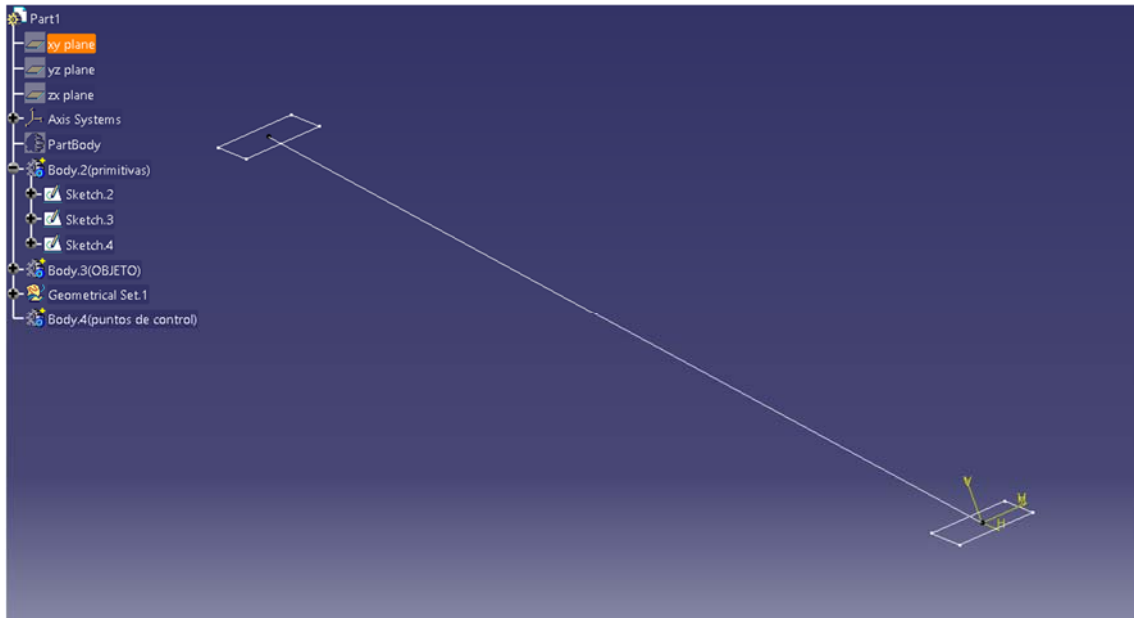


Figura 62. Sección en el sketch 4

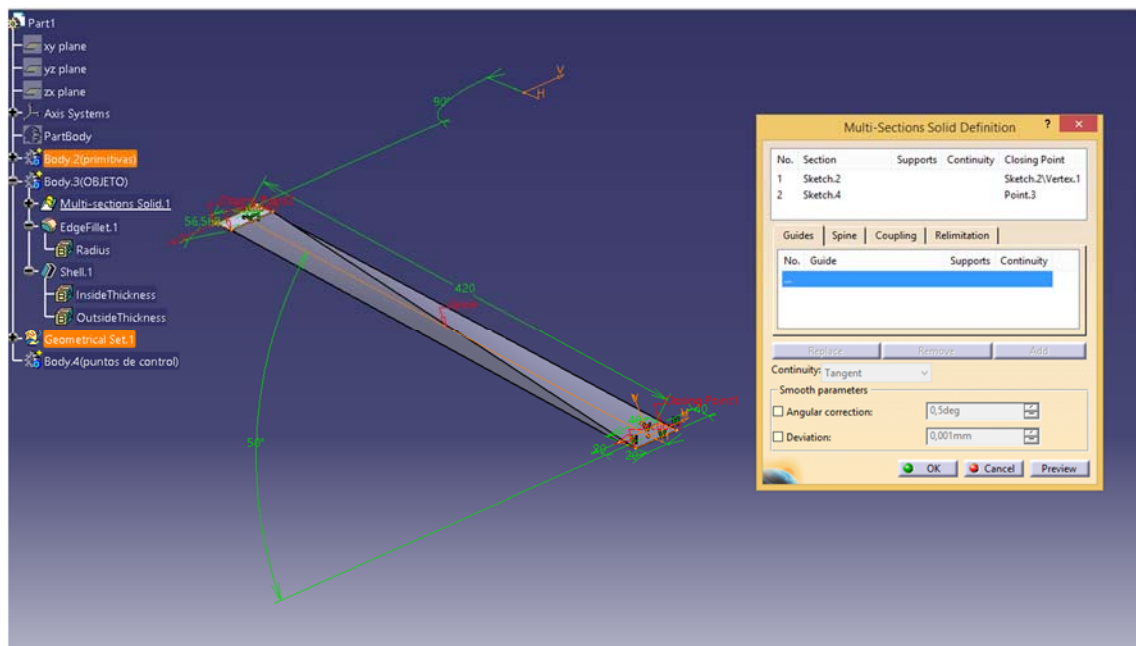


Figura 63. Torsión en el pico Eureka

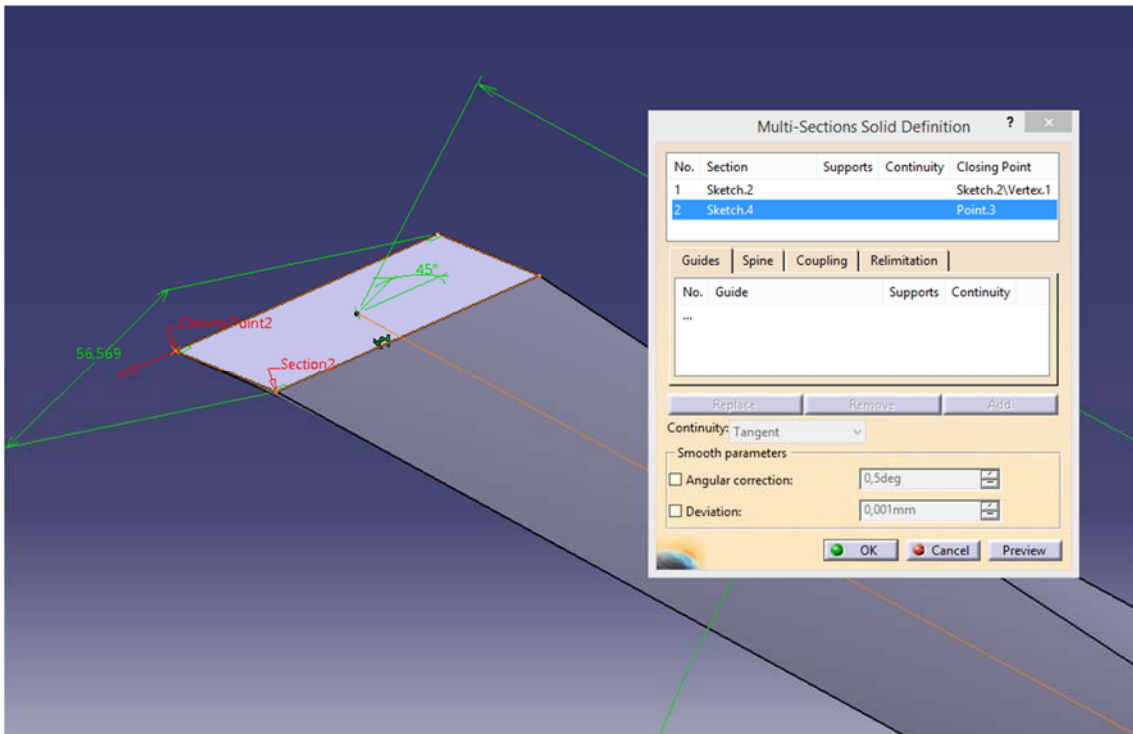


Figura 64. Análisis de producción digital de acuerdo al Closing Point

Se produce la torsión solo por aplicaciones geométricas directamente en el modelado digital. Es parte de la arquitectura de programación del software utilizado para el análisis, mismo que se manifiesta en un algoritmo generado en C++. Este algoritmo lo conocen como script dentro de la jerga del diseño paramétrico.

Si se aplica el *closing point* en el punto inmediato siguiente se obtiene una torsión del pico cuya producción digital se hace imposible:

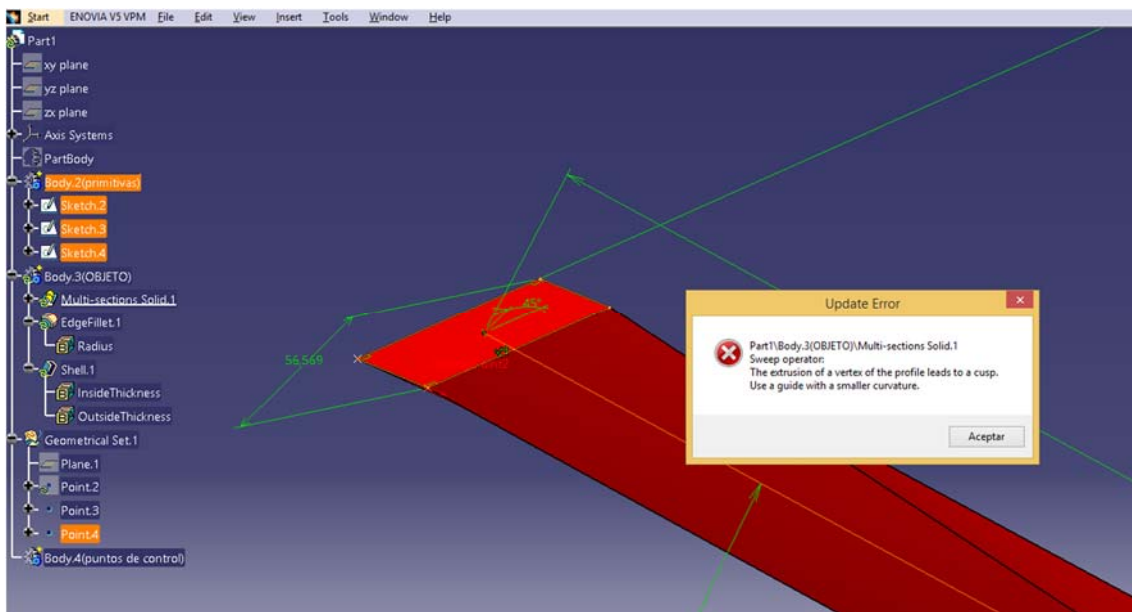


Figura 65. Error en la extrusión del vértice

La topología deseada es imposible desde el punto de vista matemático puesto que la torsión de un sólido no puede ser representada a este nivel de tensión, porque en el plano transversal ubicado en la mitad del eje longitudinal del pico, el sólido se transforma en un punto.

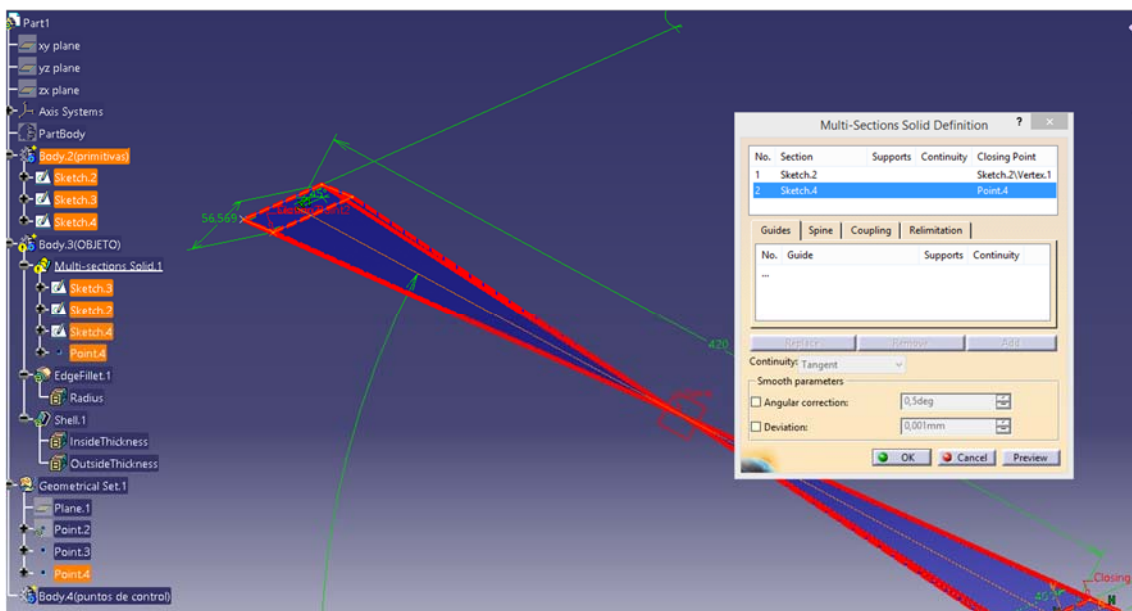


Figura 66. Error en la torsión al transformarse el sólido en punto

## **6.4 Validación de la fase de validación (Fase 5)**

### **6.4.1 Validación mediante herramienta de simulación del comportamiento de partículas físicas**

La simulación del comportamiento de las partículas de agua respecto a la superficie del pico EUREKA, se desarrolló en el software de simulación Houdini Fx gracias a la herramienta de partículas genera una red de nodos, a dichos nodos se les asignan propiedades, parámetros que se requieren para la simulación. Para la validación fue necesario desarrollar una simulación de agua con la herramienta *Particle Fluids*, a las partículas de agua se les asignaron parámetros como la densidad del agua, la cantidad de partículas, el ángulo de la caída del agua y su velocidad. El objetivo de la validación digital es comprobar la interacción del caudal de agua con respecto a la superficie del pico CRYSTAL Y EUREKA.

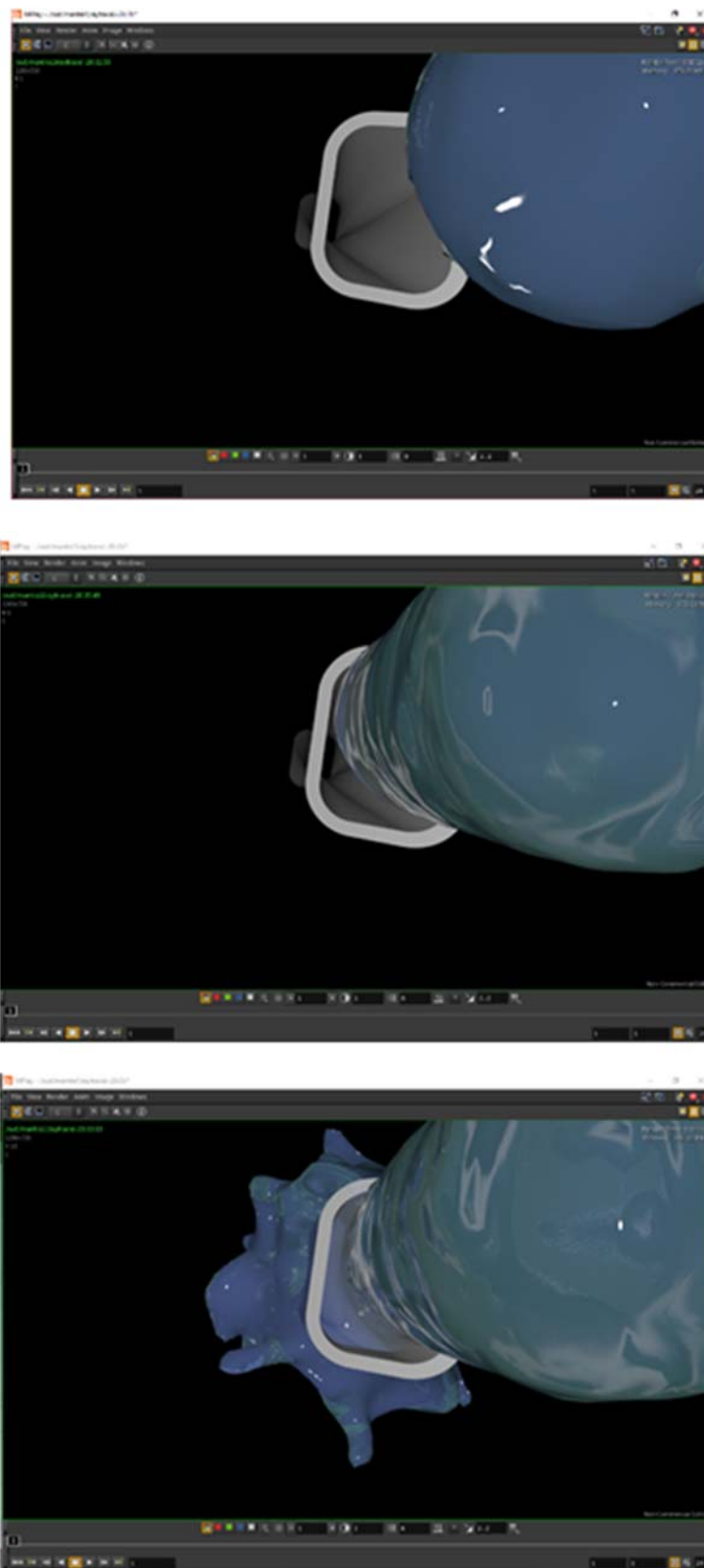


Figura 67. Simulación con agua

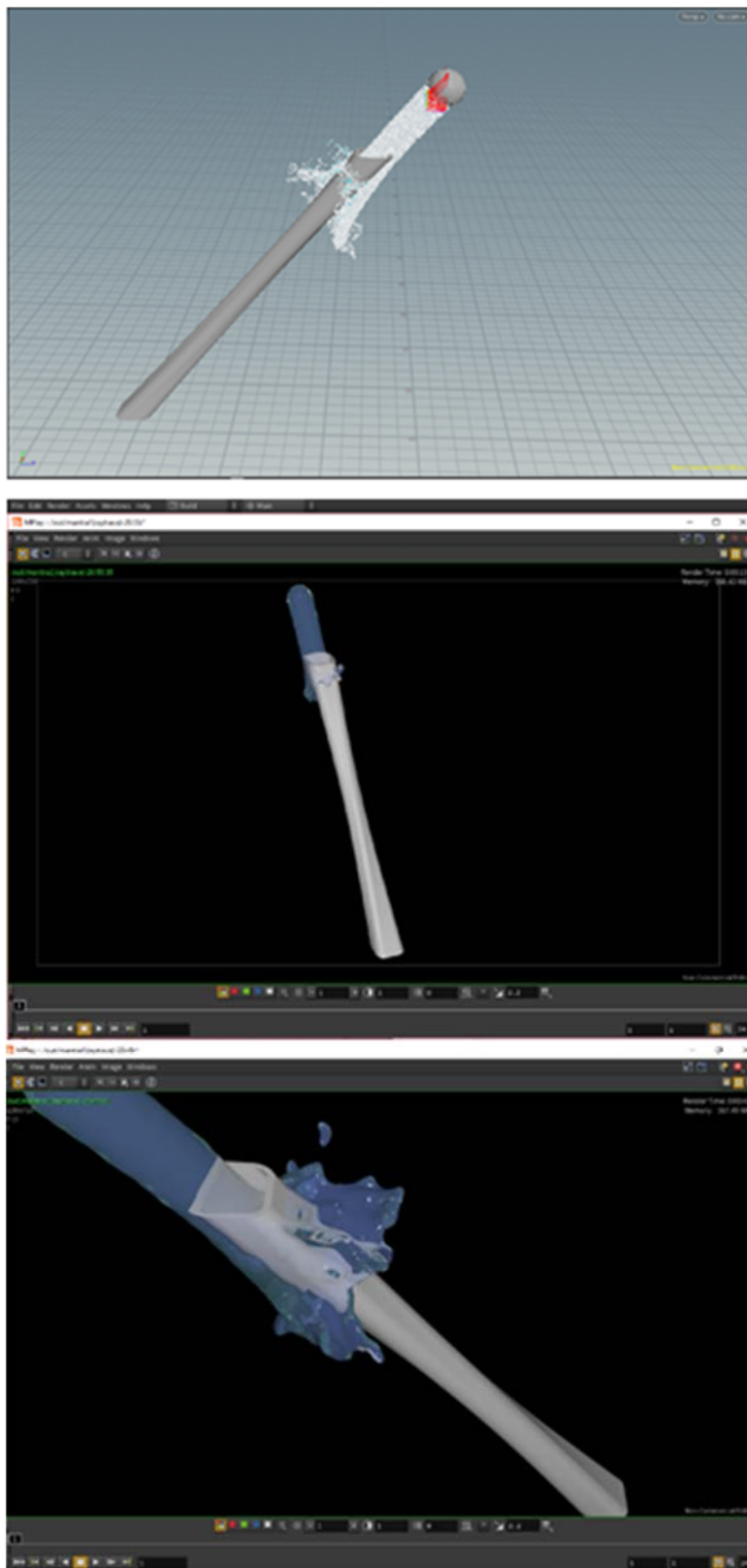


Figura 68. Simulación con agua



### 6.4.2 Validación mediante herramienta de simulación de materialidad a través del renderizado

El programa que se utiliza para llevar a cabo la simulación de materialidad es el software 3ds Max de Autodesk. Se afirma que la simulación de materialidad es una herramienta paramétrica debido a que el software nos permite configurar los parámetros bajo los cuales se proyectará el material designado sobre un sólido. En cuanto a la simulación de materialidad para el pico EUREKA se aplicó UVWmap llamado Architectural proveniente de los *Standar Materials* que vienen por default en la ventana de Slate Material Editor, a la cual se puede acceder con la tecla f10.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, dentro de la configuración del UVWmap Architectural existen parámetros a modificar tales como el color de difusión, el brillo, el grado de transparencia entre otros parámetros que han sido modificados hasta obtener la apariencia del latón cromado (material de fabricación de las griferías).

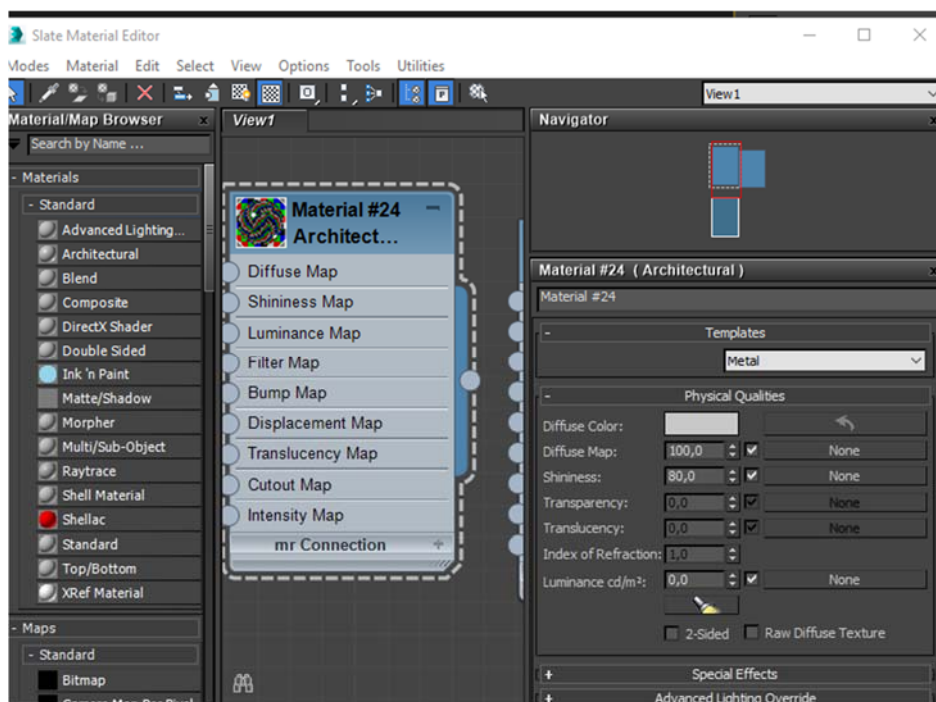
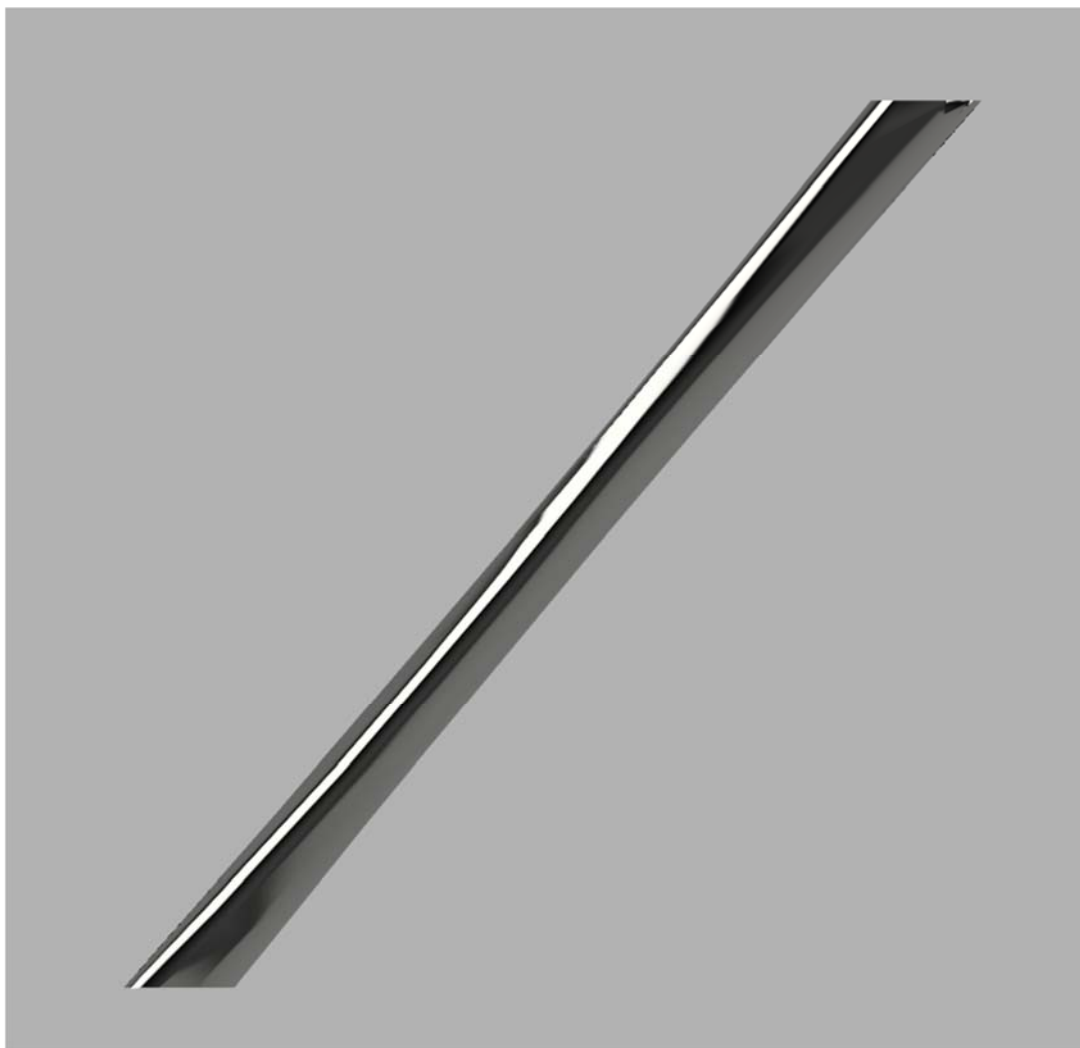


Figura 69. Herramienta para asignar material de renderizado VRAY 3DMAX.

Es necesario recalcar que los parámetros que presenta el UVWmap se encuentran relacionados e interactúan entre sí, es decir que si se altera uno, todo el aspecto del material cambiará. De igual manera los UVWmaps se relacionan con parámetros externos como la luz, y estos también tienen la capacidad de modificar el comportamiento del material en relación a su entorno.



*Figura 70.* Aplicación de material al pico Eureka

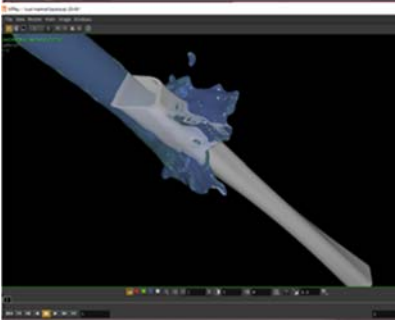


*Figura 71.* Aplicación de material al pico Eureka



*Figura 72.* Detalle aplicación de material al pico Eureka

Tabla 19.  
Conclusiones de la validación comparativa realizada en la Fase N°5 de la proto-metodología

Fase N°5	METODOLOGÍA TRADICIONAL	METODOLOGÍA PARAMÉTRICA
<b>Objetivo</b>	La fase validación pretender demostrar el comportamiento del producto diseñado, tanto su interacción con el usuario como su utilidad dentro del target al que va diseñado.	
<b>Desarrollo/ Evidencia</b>	No es posible realizar simulaciones de este tipo sin la realización de un prototipo	 <p data-bbox="778 882 1361 943"><i>Figura 73: Simulación de materialidad del pico Eureka hecho en 3dsmax</i></p>  <p data-bbox="778 1312 1361 1373"><i>Figura 74: Simulación de comportamiento de partículas del pico Eureka hecho en Houdini</i></p>
<b>Medio</b>		Computadora
<b>Herramienta</b>		3dsMax / Houdini Fx
<b>Ventajas</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimización en material debido a que para la simulación digital no es necesario elaborar un prototipo.</li> <li>- Percepción más acertada en cuanto a la realidad virtual del elemento fabricado.</li> <li>- Se habla de una herramienta paramétrica puesto a que estos simuladores permiten regular parámetros tales como la cantidad de partículas que se utilizan, la angulación del agua necesaria, la fuerza del caudal del fluido entre otros parámetros propios de una validación</li> </ul>
<b>Desventajas</b>		

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir, a continuación se formularán las conclusiones y recomendaciones para este proyecto de titulación.

### 7.1 Conclusiones

Este proyecto aporta un marco teórico con bases en la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura escrito por Patrick Schumacher (2011) el cual permite entender los conceptos relacionados con el parametricismo (referencias y conceptos para comprender de una forma resumida el proceso de diseño).

En el proceso de diseño tradicional se utiliza un método de “receta” en el que se dice que es lo que se va a hacer de una forma preestablecida la cual es sometida a un orden, mientras que en el diseño paramétrico se crea una lógica a partir de parámetros los cuales se pueden ir modificando según los requerimientos sociales y contextuales.

La creación del CAD (Diseño Asistido por Computadora) en el año 1980 supuso una revolución en la forma en la que se dibujaba y diseñaba. Los programas de diseño y cálculo son cada vez más precisos por lo que han generado una nueva forma de ver y entender el diseño. Para ello usan algoritmos complejos y motores de cálculo avanzado por lo que se alcanzan formas más precisas, eficaces y construibles.

Los softwares de diseño paramétrico permiten el modelado de objetos en 3D y posibilitan la revisión del modelo instantáneamente por lo que el diseñador puede modificar parámetros del objeto en cualquier fase del diseño generando que el programa cambie automáticamente las nuevas consideraciones en el diseño, por lo que este método da flexibilidad a los diseñadores de explorar y probar nuevos diseños con una velocidad mayor, optimizando así el recurso tiempo.

El diseño paramétrico tiene un enfoque más allá del mero dibujo o diseño en computadora. Es una herramienta que permite una planeación y gestión de los proyectos de una manera integral y sistémica la cual invita a trabajar de una forma multidisciplinaria de tal forma que involucra a todos los profesionales que intervienen en el proceso de diseño tales como: ingenieros, arquitectos, calculistas, topógrafos, físicos y obviamente diseñadores.

El parametricismo como lo define Juárez (2014) tiene como beneficio acelerar los procesos y explorar nuevos campos de acción que no se podrían obtener con las herramientas convencionales.

En cuanto a la metodología de diseño planteada se ha concluido que para su correcta aplicación en una actividad multidisciplinaria es necesario unificar el lenguaje para así lograr un mayor dominio y comprensión por parte de los profesionales que conforman el equipo de trabajo.

## **7.2 Recomendaciones**

Los diseñadores deben de adaptar su metodología tradicional de enseñanza tomando en cuenta las tecnologías y herramientas de la época a su disposición.

Al ser un proyecto teórico se debe unificar el lenguaje para que pueda ser entendido por personas que no tienen conocimientos sobre este tema.

Es necesario reforzar la investigación y el auto aprendizaje para profundizar los conocimientos del parametricismo y de softwares paramétricos.

Se recomienda incluir en la fase de validación el software paramétrico ecuatoriano creado por Seichi Suzuki.

Divulgar la proto-metodología propuesta en las materias de la carrera de Diseño gráfico e industrial para que pueda ser aplicada por los estudiantes.

Involucrar a profesores y estudiantes para generar proyectos novedosos dentro de la carrera usando la proto-metodología desarrollada en este proyecto de titulación.

## REFERENCIAS

- Achim, M., & Ahlquist, S. (2011). *Computational design thinking*. Chichester UK: John Wiley & Sons.
- Almale. (2014). *El Parque Güell y Gaudí*. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de <https://homenajeaenricmiralles.wordpress.com/2014/02/19/el-parque-guell-y-gaudi/>
- Becas Internacionales. (2016). *Cómo Crear un Logotipo Animado en 3ds Max*. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <https://www.becasinternacionales.net/curso/512-como-crear-un-logotipo-animado-en-3ds-max>
- Bohnacker, H., Gross, B., Laub, J., Lazzeroni, C., & Frohling, M. (2012). *Generative design: Visualize, program, and create with processing*. New York: Princeton Architectural Press.
- Bryden, D. (2014). *CAD y prototipado rápido en el diseño de producto*. (A. M. Jesús De Cos Pinto, Trad.) Barcelona, España: Promopress.
- Burry, M. (2011). *Scripting Cultures*. Chichester: Wiley.
- CENIFER. (2016). *Cursos de Catia V5 y Solidworks*. Recuperado el 1 de febrero de 2018, de Centro de Referencia Nacional en Energías Renovables y Eficiencia Energética: <http://www.cenifer.com/cursos-de-catia-v5-y-solidworks/>
- Corredor, I. (2014). *Diseño Industrial*. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de <http://dpidcn.blogspot.com/2014/08/punto-linea-plano-y-volumen.html>
- Cross, N., & Wiley, J. (2000). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. Chichester: Wiley.
- Davis, D. (2013). *Analogue Parametric: Gaudí*. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>
- Davis, D. (2013). *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*. Estados Unidos: MIT.
- Gehry, F. (2011). *Museo Guggenheim Bilbao*. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de <https://esarq7.wordpress.com/2011/09/10/museo-guggenheim-bilbao-frank-o-gehry/>
- Hedstrom, J. (2015). *3D Modeling Software and CAD for Professionals*. Recuperado el 6 de febrero de 2018, de <https://www.sculpteo.com/blog/2015/10/15/3d-cad-modeling-software-for-professionals/>



- Jones, J. (1991). *Diseñar el Diseño*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Kandinsky, V. (2003). *Kandinsky: Punto y línea sobre el plano*. Buenos Aires: Paidós.
- Kraft, B. (2014). *What is a CNC router? Why use it over other tools?* Recuperado el 12 de febrero de 2018, de <https://www.quora.com/What-is-a-CNC-router-Why-use-it-over-other-tools>
- Krippendorff, K. (2006). *The semantic turn: A new foundation for design*. Boca Ratón: Editorial CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Maturana, H., & Varela, F. (1973). *De máquinas y seres vivos: Una teoría sobre la organización*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Méndez, U. (2017). *¿Qué es la fabricación digital?* Recuperado el 13 de febrero de 2018, de <https://www.330ohms.com/blogs/blog/la-fabricacion-digital-a-que-se-refiere>
- Mercado Libre. (s.f.). *Programa Rhinoceros*. Recuperado el 15 de febrero de 2018, de [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-692610177-programa-rhinoceros-diseno-3d-rhino-windows-10-digital-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-692610177-programa-rhinoceros-diseno-3d-rhino-windows-10-digital-_JM)
- Meta Arquitectura. (2012). *La diferencia entre el parametricismo y la modelación por algoritmos generativos*. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de <https://metaarquitectura.wordpress.com/2012/11/11/la-diferencia-entre-el-parametricismo-y-la-modelacion-por-algoritmos-generativos/>
- Moreno, J. (2015). *Estructura del árbol y parametrización en un Assembly*. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de <http://aprendiendocatiav5.blogspot.com/2015/06/estructura-del-arbol-y-parametrizacion.html>
- Munari, B. (1983). *¿Cómo nacen los objetos?* (C. Artal, Trans.) Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.
- Schumacher, P. (2008). *Parametricism as Style*. Recuperado el 21 de enero de 2018, from <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>
- Schumacher, P. (2011). *The autopoiesis of architecture*. Chichester: Wiley.
- Solid Cam. (2017). *HSM Takes 3D Machining to a Higher Level*. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de <https://www.solidcam.com/en-us/cam-solutions/cam-modules/hsm-3d-high-speed-machining/>
- Teresko, J. (1993). Parametric Technology Corp.: Changing the way Products are Designed. En M. Poole, & M. Shvartzberg, *The Politics of*

*Parametricism: Digital Technologies in Architecture*. Londres: Bloomsbury Publishing.

Thompson, D. (2003). *Source: Fish transformations*. Recuperado el 15 de febrero de 2018, de <https://www.are.na/block/1341102>

Uber Cloud. (2017). *10 Reasons Why Cloud CAE Software is The Better Option*. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de <https://community.theubercloud.com/10-reasons-why-cloud-cae-software-is-the-better-option/>

Valdiviezo, M. (2014). *Parametricismo digital: Proceso de diseño y construcción arquitectónica*. Loja: UTPL.

Wassim, J. (2013). *Parametric design for architecture*. London: Laurence King Publishing.

Woodbury, R. (2010). *Elements of Parametric Design*. New York: Routledge.

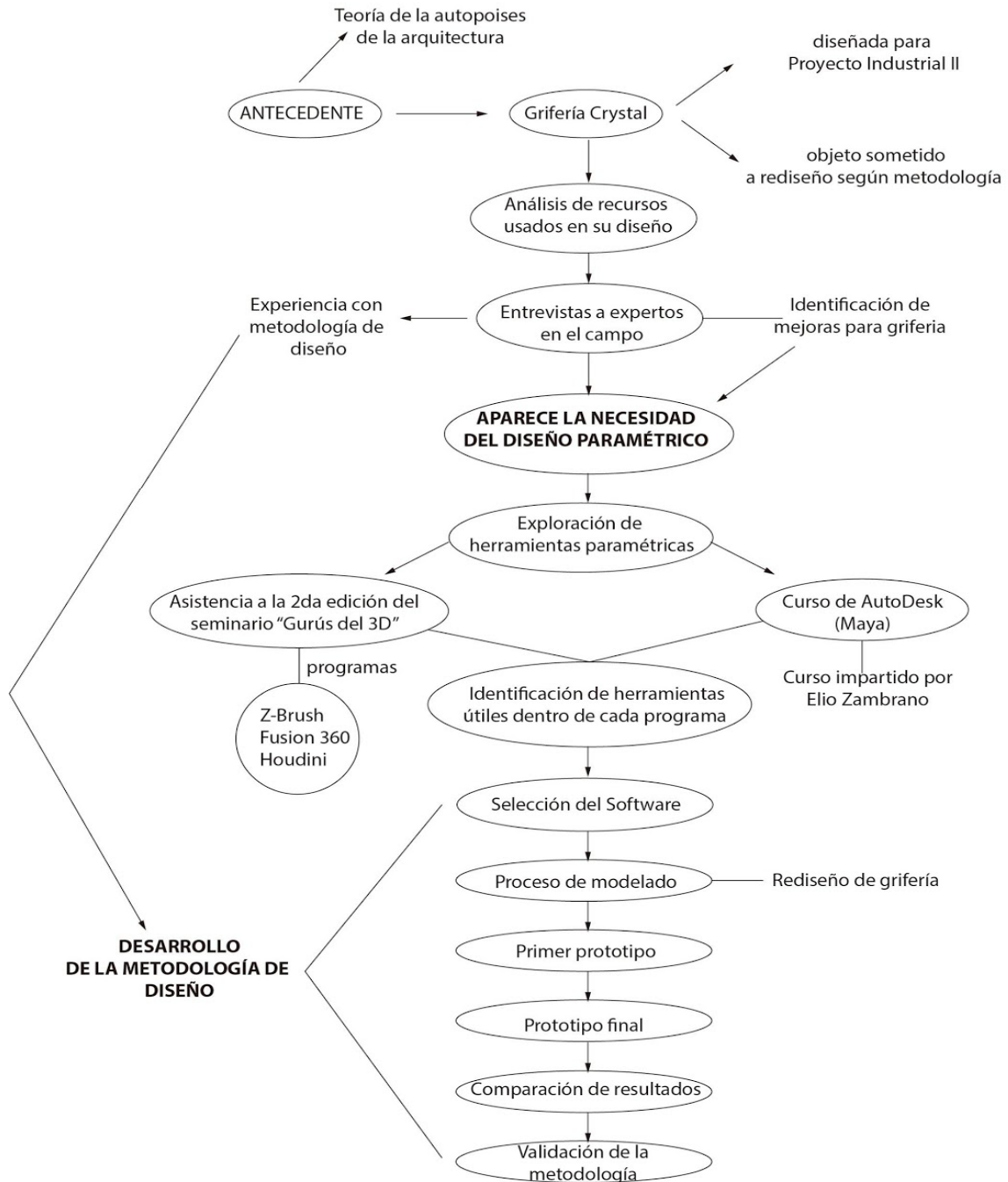
Wordpress.com. (2012). *Metodologías del Diseño*. Recuperado de <https://wiszer.wordpress.com/metodologias-del-diseno/>

Yunis, N. (2015). *Pritzker 2015: Frei Otto y la importancia de la experimentación en la arquitectura*. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/763636/pritzker-2015-frei-otto-y-la-importancia-de-la-experimentacion-en-la-arquitectura>

## **ANEXOS**

# Anexo 1

## “PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO QUE UTILICE HERRAMIENTAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO COMO APOORTE INNOVADOR PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE DISEÑO DE PRODUCTOS”



## Anexo 2

