



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
DEPARTAMENTO DE DISEÑO**

**MANUFACTURA ADITIVA FDM CON FILAMENTO DE MADERA COMO RECURSO
PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PRODUCTOS**

PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PERCEPCIÓN EXPRESIVA Y
EMOCIONAL DE OBJETOS IMPRESOS A TRAVÉS DE LA FORMA Y PROCESOS DE
ACABADO

MAURICIO FRUGONE

**MEMORIA DE INVESTIGACIÓN APLICADA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
DISEÑADOR INDUSTRIAL**

**PROFESOR GUÍA:
RUBÉN JACOB**

**SANTIAGO – CHILE
2017**

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo quiero agradecer a mi familia, a mis hermanos Francisca y Joaquín y a mis padres Francisca y Mauricio, por ser el apoyo que necesité en todo momento, en esos momentos de desesperación, aburrimiento, cansancio y resignación. Gracias por nunca dejarme tirar la toalla y gracias por darme la oportunidad de estudiar.

Al amor que entró en mi vida justo en esta complicada etapa y que no solo me apoyó y me soportó todo este tiempo. Gracias por ser más que nada mi inspiración en este proceso.

Gracias a mis compañeros durante estos años de universidad, sin ustedes no hubiera sido lo mismo. Aunque en este último proceso nos distanciamos por distintos motivos, siempre los recuerdo por el apoyo incondicional y la buena onda. Ustedes siempre fueron los buenos recuerdos para salir adelante en esta última etapa.

A mis amigos de la vida, les debo la vida, gracias por esa incansable paciencia de escuchar mis historias de todos los proyectos y por haber demostrado interés hasta el final en éste, mi último proyecto, contarle y ver que me escuchaban fue la única forma de convencerme a mí mismo y seguir siempre adelante.

Gracias a todos los profesores que me apoyaron durante mis estudios, gracias por entender, por exigir, por despertar las ganas de ser mejor y por demostrar esas intensas ganas de enseñar siempre, porque profesores como ustedes no son muchos.

Por ultimo un especial agradecimiento a mi profesor guía Rubén, por confiar en mi desde el comienzo, por la paciencia, la dedicación, el interés y por ayudarme a encontrar el rumbo como diseñador y el interés por investigar.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
TABLA DE CONTENIDOS	VII
FIGURAS	VII
TABLAS	XV
GRÁFICOS	XVI
RESUMEN	2
EL PROBLEMA	4
1.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN	4
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.3 ALCANCES	9
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	10
1. HIPÓTESIS	10
2. OBJETIVOS	10
2.1 <i>Objetivo General</i>	10
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	10
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	11
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	15
1. LA IMPRESIÓN 3D	17
1.1 <i>Manufactura aditiva (AM – FDM – FFF)</i>	17
1.2 <i>La impresión 3D y una nueva revolución</i>	18
1.3 <i>Complejidad geométrica</i>	19
1.4 <i>Los 10 principios de la impresión 3D</i>	20
1.5 <i>Los Desafíos de la Impresión 3D</i>	23
1.6 <i>Materialidad en la Impresión 3D</i>	23
2. EL FILAMENTO DE MADERA	25
2.1 <i>Cambio de Aspecto en el Proceso de Impresión</i>	26

2.3 <i>Propiedades Mecánicas del Filamento de Madera, Woodfill de ColorFabb</i>	29
3. LA MADERA Y SU ESTRUCTURA MICROSCÓPICA.....	30
3.1 <i>Identificando la madera y su estructura</i>	30
3.2 <i>Las maderas blandas</i>	31
3.3 <i>Las traqueidas o fibras</i>	32
4. BIOMÍMESIS.....	34
4.1 <i>Biomímesis y la innovación en los productos</i>	34
4.2 <i>Biomímesis y diseño sustentable</i>	34
4.3 <i>La metodología de biomímesis y la imitación de la forma “biomorf”</i>	35
5. DISEÑO GENERATIVO	37
5.1 <i>Definiciones de diseño generativo</i>	37
5.2 <i>Sistemas generativos y diseño</i>	38
5.3 <i>La cultura del diseño generativo</i>	39
6. DIAGRAMAS DE VORONOI.....	40
6.1 <i>Voronoi y sus aplicaciones</i>	40
6.2 <i>Como dibujar un diagrama de voronoi</i>	43
7. LA IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES	45
7.1 <i>Productos Finales</i>	45
7.2 <i>El Valor del Producto</i>	46
7.3 <i>La Personalidad del Producto</i>	46
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	49
1. EL ESTUDIO PRELIMINAR	51
1.1 <i>Introducción al estudio</i>	51
1.2 <i>Criterios para la confección de las probetas</i>	51
1.3 <i>Resultados y discusión de las probetas</i>	54
1.4 <i>Discusión y conclusiones</i>	62
2. LA OBSERVACIÓN, EXPLORACIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y BIOMÍMESIS	65
2.1 <i>El infill en el proceso de impresión y la observación</i>	65
2.2 <i>Resumen de la observación de la madera a nivel microscópico para la definición del principio</i>	65
2.3 <i>El principio</i>	67
2.4 <i>La abstracción del principio mediante la experimentación análoga y digital</i>	69
2.5 <i>Primera exploración: Imagen + Autodesk Inventor</i>	69

2.6 Segunda exploración: Referentes de Internet y el primer acercamiento a los diagramas de Voronoi	70
2.7 Tercera exploración: Los diagramas de Voronoi, la comprensión mediante el dibujo.....	72
2.8 Cuarta exploración: Rhino + Grasshopper y Diagramas de Voronoi, impresión de una probeta preliminar	79
3. LA ABSTRACCIÓN Y APLICACIÓN DEL PRINCIPIO MEDIANTE RHINO Y GRASSHOPPER	93
3.1 La definición para grasshopper: “Voronoi centroidal anisotrópico”	93
4. CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DE PROBETAS.....	97
4.1 La tecnología de impresión y factores relevantes: Ultimaker 2+	97
4.2 La morfología: Voronoi dentro de un Voronoi.....	104
4.3 El factor de fuerza aplicado y las dimensiones	108
4.4 Creando un modelo sólido, la propuesta de la herramienta T-Splines de Autodesk	111
4.5 Meshmixer para la manejabilidad de modelos complejos	114
4.6 Las transformaciones mediante rhino: escalado, curvado y la adición de complejidad mediante un diagrama de factor 0	118
4.7 Inclusión de dos probetas de control	128
4.8 El proceso de impresión y el software de impresión Simplify3D.....	129
4.9 Algunos errores desde la preparación hasta el proceso de impresión	141
4.10 El acabado superficial.....	148
5. LAS PROBETAS: RESULTADOS Y RESUMEN DE PARÁMETROS.....	150
6. CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DEL INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN SENSORIAL	157
6.1 Diferencial Semántico.....	157
6.2 Factores a considerar para la elección de los términos apropiados: los 5 sentidos	159
6.3 Factores a considerar para la elección de los términos apropiados: las propiedades perceptivas y afectivas de los materiales.....	160
6.4 Factores a considerar para la elección de los términos apropiados, el concepto de Naturalidad	161
6.5 Factores a considerar para la elección de los términos apropiados, las propiedades perceptivas y afectivas de la madera y su relación con las probetas.....	162
6.6 Conclusiones y elección de los términos para el diferencial semántico.....	166
6.7 Definición de la población de estudio	168
CAPÍTULO 3 CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	171
1. RESULTADOS DE LA PRIMERA EVALUACIÓN.....	173
1.1 Diseñadores.....	173
1.2 Otras profesiones.....	177
2. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES DE RESULTADOS DE UNA PRIMERA EVALUACIÓN.....	185
2.1 Observaciones generales	185

2.2 <i>Análisis estadístico</i>	187
2.3 <i>Análisis estadístico e hipótesis</i>	190
3. REDISEÑO E ITERACIÓN DE LAS PROBETAS	194
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE UNA SEGUNDA EVALUACIÓN.....	197
CAPÍTULO 4 LA PROPUESTA CONCEPTUAL	203
1. JUSTIFICACIÓN	206
1.1 <i>La Búsqueda de naturalidad y el beneficio de la madera en el bienestar</i>	206
1.2 <i>Producción de madera en Chile y de filamento de madera</i>	207
1.3 <i>Revestimiento de madera y su poca utilización y oportunidad</i>	207
2. PROCESO DEL DISEÑO CONCEPTAL.....	208
3. EVALUACIONES.....	213
3.1 <i>Análisis Premo</i>	213
4. EXPLORACIÓN ADICIONAL FORMAL Y DE USO	215
4.1 <i>Propuestas de los encuestados</i>	215
PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA	218
BIBLIOGRAFÍA.....	220

TABLA DE CONTENIDOS

FIGURAS

FIGURA 1. IMPRESIÓN ESTILO VORONOI (HTTP://OW.LY/N79x303TFO6)	18
FIGURA 2. CADENA IMPRESA Y ENSAMBLADA EN UN MISMO PROCESO (HTTP://OW.LY/ZsB7303TFV4)	19
FIGURA 3. PLEGADO PROGRAMADO POR HUMEDAD DE UNA LÁMINA IMPRESA EN FILAMENTO DE MADERA (CORREA, ET AL., 2015)	24
FIGURA 4. PRIMERAS PIEZAS IMPRESAS EN FILAMENTO DE MADERA POR KAI PARTHY (HTTP://WWW.THINGIVERSE.COM/THING:30552)	25
FIGURA 5 “ANILLOS DE MADERA” EL ASPECTO DE LA VETA (HTTP://OW.LY/JWKW303TCRM)	26
FIGURA 6 GRAFICO CÓDIGO G PARA EL CAMBIO DE ASPECTO EN IMPRESIÓN (HTTP://WWW.THINGIVERSE.COM/THING:49276)	26
FIGURA 7 BÚHO IMPRESO EN 3D CON CAMBIO DE ASPECTO MEDIANTE CAMBIO DE CÓDIGO G (HTTP://WWW.THINGIVERSE.COM/THING:49276)	27
FIGURA 8. PARÁMETROS PARA GENERAR CÓDIGO G PARA EL CAMBIO DE ASPECTO EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN (HTTP://OW.LY/PYUG303TGTJ)	28
FIGURA 9. PROCESO PARA GENERAR EL CÓDIGO G (HTTP://OW.LY/PYUG303TGTJ).....	28
FIGURA 10. HOJA TÉCNICA DEL MATERIAL WOODFILL DE COLORFABB (HTTP://OW.LY/OBxZ303TCUU)	29
FIGURA 11. HOJA TÉCNICA DEL MATERIAL WOODFILL DE COLORFABB (HTTP://OW.LY/OBxZ303TCUU)	29
FIGURA 12. ÁRBOL PALO DE ROSA (GOO.GL/HYNYME)	30
FIGURA 13. PINO PERTENECIENTE A LAS CONÍFERAS (GOO.GL/HdIRHz)	30
FIGURA 14. VISTA ILUSTRADA DE LA MICRO ESTRUCTURA EN TRES SECCIONES DE CORTE (GOO.GL/RBCU3M)	31
FIGURA 15. CORTE TANGENCIAL Y VISTA DE LA ESTRUCTURA DE UN TRONCO (GOO.GL/ZJJ2Cr).....	32
FIGURA 16. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE MADERA DE ARAUCARIA (GOO.GL/zBEJwG)	32
FIGURA 17. DETALLE DE LA ZONA LÍMITE ENTRE EL LEÑO TEMPRANO Y EL LEÑO TARDÍO DE UN CORTE TRANSVERSAL DE PINO, MEB, 1500X (GOO.GL/F7oZFA)	33
FIGURA 18. DETALLE DE CORTE TRASVERSAL DE MADERA DE PINO CON MENOR AUMENTO, DEL ANILLO DE CRECIMIENTO Y EL LÍMITE ENTRE ETAPAS. MEB, 800X (GOO.GL/DT3P6Y)	33
FIGURA 19. TRIANGULACIÓN DE DELANUAY Y REGIONES DE VORONOI (GOO.GL/UMV3HS).....	40
FIGURA 20. BURBUJAS Y FORMACIÓN DE DIAGRAMAS DE VORONOI (GOO.GL/Hk2zUS).....	40
FIGURA 21. DIAGRAMA DE VORONOI BASADO EN LA DENSIDAD DE POBLACIÓN (GOO.GL/FCNA3G)	41
FIGURA 22. ALA DE UNA LIBÉLULA Y DIAGRAMAS DE VORONOI (GOO.GL/5k3Q5J).....	41
FIGURA 23. DIAGRAMAS DE VORONOI Y ALGORITMO DE LLOYD EN GRAFICA COMPUTACIONAL (RONG, ET AL., 2011).....	42
FIGURA 24. CÓMO FUNCIONA EL DIAGRAMA DE VORONOI (GOO.GL/vSMZxB).....	43
FIGURA 25. DIBUJANDO UN DIAGRAMA DE VORONOI (ELABORACIÓN PROPIA)	44

FIGURA 26. DETALLE DE LA TRIANGULACIÓN DE DELANUAY Y LAS REGIONES DE VORONOI GENERADAS POR LAS BISECTRICES INTERSECTADAS ENCONTRADAS MEDIANTE COMPÁS (ELABORACIÓN PROPIA)	44
FIGURA 27 VISTAS FRONTAL, LATERAL, DE PLANTA E ISOMÉTRICA DE LA PROBETA (ELABORACIÓN PROPIA).....	53
FIGURA 28 CORTE HORIZONTAL DE LA PROBETA, CON UN INFILL DE 70% Y UN PATRÓN RECTANGULAR (ELABORACIÓN PROPIA).....	56
FIGURA 29. RESULTADO DE LAS PROBETAS (ELABORACIÓN PROPIA)	56
FIGURA 30. SUPERFICIE EN PROCESO DE LIJADO, CONTRASTE ENTRE LA TONALIDAD DE LIJADO Y LO IMPRESO (ELABORACIÓN PROPIA).....	57
FIGURA 31. RESULTADO FINAL DE LIJADO DE PROBETAS 1 Y 2 (ELABORACIÓN PROPIA).....	58
FIGURA 32 RESULTADO FINAL DE LIJADO Y TEÑIDO DE UNA PROBETA ADICIONAL CON CORTE HORIZONTAL (ELABORACIÓN PROPIA).....	59
FIGURA 33. RESULTADO FINAL DE TEÑIDO SIN LIJAR DE UNA PROBETA ADICIONAL CON CORTE HORIZONTAL (ELABORACIÓN PROPIA)	59
FIGURA 34 RESULTADO FINAL SIN ACABADO SUPERFICIAL DE UNA PROBETA ADICIONAL CON CORTE HORIZONTAL (ELABORACIÓN PROPIA).....	60
FIGURA 35 RESULTADO FINAL DE LAS PROBETAS Y SU COMPARACIÓN, PROBETAS ADICIONALES CON CORTE HORIZONTAL (ELABORACIÓN PROPIA)	60
FIGURA 36 RESULTADO FINAL DE PROBETAS (ELABORACIÓN PROPIA)	61
FIGURA 37. CORTE HORIZONTAL DE LA PROBETA, CON UN INFILL DE 70% Y UN PATRÓN RECTANGULAR (FRUGONE, 2016).....	65
FIGURA 38. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA MADERA (HTTP://OW.LY/VwN8303U8DF).....	65
FIGURA 39. DETALLE DE LA ZONA LÍMITE ENTRE EL LEÑO TEMPRANO Y EL LEÑO TARDÍO DE UN CORTE TRANSVERSAL DE PINO, MEB, 1500x (GOO.GL/F7oZFA)	66
FIGURA 40. DETALLE DE CORTE TRASVERSAL DE MADERA DE PINO CON MENOR AUMENTO, DEL ANILLO DE CRECIMIENTO Y EL LÍMITE ENTRE ETAPAS. MEB, 800x (GOO.GL/DT3P6y)	66
FIGURA 41. MUESTRAS EN FORMATO DE LÁMINAS DE CORTE TRANSVERSAL LONGITUDINAL Y RADIAL (GOO.GL/R9Wx9X)	67
FIGURA 42. TALLO DE GIMNOSPERMA (PINO), CORTE EN PARAFINA TEÑIDO CON SAFRANINA / AZUL ALCIÁN (GOO.GL/BCKT6i).....	67
FIGURA 43. COPIANDO LOS CONTORNOS DE LAS TRAQUEIDAS MEDIANTE LA HERRAMIENTA SKETCH DE INVENTOR (ELABORACIÓN PROPIA)	69
FIGURA 44. COPIANDO LOS CONTORNOS DE LAS TRAQUEIDAS MEDIANTE LA HERRAMIENTA SKETCH DE INVENTOR (ELABORACIÓN PROPIA)	69
FIGURA 45. ADAPTACIÓN DE CELDAS A PUNTOS DE FUERZA (NERVOUS SYSTEM, 2012)	70
FIGURA 46. SELECCIÓN DE LA FORMA PARA POSTERIOR ENCARGO (NERVOUS SYSTEM, 2012).....	70
FIGURA 47. DIAGRAMA DE VORONOI INTERACTIVO CON WebGL (BEUTEL, 2016).....	71
FIGURA 48. ALGORITMO DE STEVEN FORTUNE Y DIAGRAMAS DE VORONOI CON JAVASCRIPT (HILL, 2015).....	71
FIGURA 49. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA MADERA (GOO.GL/S6OK14)	79
FIGURA 50. ENTORNO RHINO Y GRASSHOPPER (ELABORACIÓN PROPIA)	80
FIGURA 51. DEFINICIÓN DE VARIOS PUNTOS EN EL ESPACIO (ELABORACIÓN PROPIA).....	81
FIGURA 52. PUNTOS DEFINIDOS EN EL ESPACIO SEGÚN PRINCIPIO (ELABORACIÓN PROPIA).....	81
FIGURA 53. LOS PUNTOS SELECCIONADOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	82
FIGURA 54. PARÁMETRO DE PUNTOS INSERTADO EN EL CANVAS (ELABORACIÓN PROPIA)	82
FIGURA 55. MENÚ DESPLEGADO DEL PARÁMETRO DE PUNTOS (ELABORACIÓN PROPIA)	83

FIGURA 56. COMPONENTE DE VORONOI INTRODUCIDO AL CANVAS (ELABORACIÓN PROPIA)	83
FIGURA 57. CONEXIÓN ENTRE EL PARÁMETRO DE PUNTOS Y EL COMPONENTE DE VORONOI (ELABORACIÓN PROPIA)	84
FIGURA 58. DIAGRAMA DE VORONOI GENERADO EN EL ENTORNO RHINO (ELABORACIÓN PROPIA)	84
FIGURA 59. LOS COMPONENTES Y PARAMETROS PARA LOS PUNTOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	85
FIGURA 60. EL COMPONENTE CAJA Y LA CONEXIÓN CON LOS COMPONENTES DE PUNTO (ELABORACIÓN PROPIA)	85
FIGURA 61. PERÍMETRO DEFINIDO EN VERDE (ELABORACIÓN PROPIA)	85
FIGURA 62. CONECCIÓN DE LA EXTRUSIÓN CON EL COMPONENTE VORONOI (ELABORACIÓN PROPIA)	86
FIGURA 63. CONEXIÓN DE LA DEFINICIÓN CON LOS COMPONENTES DE EXTRUSIÓN	86
FIGURA 64. EXTRUSIÓN RESULTANTE DE LOS CONTORNOS (ELABORACIÓN PROPIA)	86
FIGURA 65. COMPONENTES “CAPHOLES” PARA CERRAR LOS CONTORNOS DEFINIDOS POR EL COMPONENTE DE VORONOI Y EL COMPONENTE DE OFFSET (ELABORACIÓN PROPIA).....	87
FIGURA 66. EXTRUSIÓN COMPLETA SIN DIFERENCIA ENTRE CONTORNO Y ORIFICIO (ELABORACIÓN PROPIA).....	87
FIGURA 67. COMPONENTE DE DIFERENCIA DE SOLIDOS Y EL MENÚ DESPLEGADO PARA CONSOLIDACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	87
FIGURA 68. DEFINICIÓN AGRUPADA (ELABORACIÓN PROPIA) Y LOS COMPONENTES (GOMES, 2013).....	88
FIGURA 69. RESULTADO EN UN SOLIDO EXTRUÍDO (ELABORACION PROPIA).....	89
FIGURA 70. PROCESO DE IMPRESIÓN PROBETA PRELIMINAR (ELABORACIÓN PROPIA)	89
FIGURA 71. RESULTADO PROBETA PRELIMINAR IMPRESA (ELABORACIÓN PROPIA).....	89
FIGURA 72. PROCESO DE IMPRESIÓN DE 4 MÓDULOS REPETIDOS EN UNA PROBETA (ELABORACIÓN PROPIA)	90
FIGURA 73. RESULTADO DE 4 MÓDULOS EN UNO (ELABORACIÓN PROPIA)	90
FIGURA 74. COMPARATIVA ENTRE UN MÓDULO Y EL RESULTADO DE LA REPETICIÓN DE 4 INTEGRADOS (ELABORACIÓN PROPIA)	90
FIGURA 75. EFECTO DE VETA PRODUCIDO POR LA RÉPLICA DEL PRINCIPIO DE LA ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA MADERA (ELABORACIÓN PROPIA)	91
FIGURA 76. MADERA DE ABETO (GOO.GL/FHRNAF)	91
FIGURA 77. SECCIÓN DE LA MADERA DE ABETO Y SU VETA (GOO.GL/FHRNAF)	91
FIGURA 78. ALGORITMO DE LLOYD APLICADO A UN DIAGRAMA DE VORONOI (WILMORE, 2015).....	93
FIGURA 79. LAS DISTINTAS VARIACIONES DE DESPLAZAMIENTO Y EXPANSIÓN SEGÚN EL FACTOR (WILMORE, 2015)	94
FIGURA 80. APLICACIÓN DE ALGUNAS DE LAS VARIACIONES DE DESPLAZAMIENTO Y EXPANSIÓN SEGÚN EL FACTOR (WILMORE, 2015)	94
FIGURA 81. LAS DISTINTAS VARIACIONES DE DESPLAZAMIENTO Y EXPANSIÓN SEGÚN EL FACTOR APLICADO A UNA FORMA IRREGULAR (WILMORE, 2015)	95
FIGURA 82. LA DEFINICIÓN PARA UN DIAGRAMA DE “VORONOI CENTROIDAL ANISOTRÓPICO” EN GRASSHOPPER (WILMORE, 2015)	96
FIGURA 83. ULTIMAKER PARTE FRONTAL Y COMPONENTES (ULTIMAKER, 2017)	97
FIGURA 84. ULTIMAKER PARTE POSTERIOR Y COMPONENTES (ULTIMAKER, 2017)	97
FIGURA 85. DETALLE DEL CABEZAL DE IMPRESIÓN (ULTIMAKER, 2017).....	98
FIGURA 86. DIAGRAMA DEL CABEZAL DE IMPRESIÓN (ULTIMAKER, 2015)	98
FIGURA 87. STRINGING O PROBLEMA DE RESTOS DE HILOS (ULTIMAKER, 2017)	99

FIGURA 88. LAS CUATRO VARIACIONES DE NOZZLE, EL TERMINAL CALIENTE O OSLO BLOCK Y LAS HERRAMIENTAS DE DESMONTAJE (ULTIMAKER, 2015).....	99
FIGURA 89. VARIACIONES DE TIEMPO POR INTERCAMBIO DE NOZZLE (ULTIMAKER, 2015).....	100
FIGURA 90. DIMENSIONES Y VOLUMEN DE IMPRESIÓN (ULTIMAKER, 2017)	101
FIGURA 91. LA BASE DE IMPRESIÓN Y LA POSIBILIDAD DE RETIRARLA (ULTIMAKER, 2017)	101
FIGURA 92. EFECTO "WARPING" O PANDEO (ULTIMAKER, 2017)	102
FIGURA 93. PROCESO DE CALIBRACIÓN (ULTIMAKER, 2017)	102
FIGURA 94. DIFERENCIAS EN LA PRIMERA CAPA SEGÚN CALIBRACIÓN (ULTIMAKER, 2017)	102
FIGURA 95. APLICANDO UNA ALTERNATIVA ADICIONAL DE ADHESIÓN (ULTIMAKER, 2017).....	103
FIGURA 96. VORONOI CENTROIDAL ANISOTRÓPICO EN UN DIAGRAMA DE VORONOI POR PUNTOS ALEATORIOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	104
FIGURA 97. CONJUNTO DE PATRONES INCLUIDOS EN UN DIAGRAMA POR PUNTOS, PRIMER ACERCAMIENTO A UNA PROPUESTA CONCEPTUAL (ELABORACIÓN PROPIA).....	104
FIGURA 98. DIAGRAMA DE 2.3MT X 3.8MT EN RELACIÓN CON LA BASE DE IMPRESIÓN DE 223MM X 223MM (ELABORACIÓN PROPIA)	105
FIGURA 99. EXTRACTO DE LA DEFINICIÓN Y LA CANTIDAD DE PUNTOS QUE POBLARÁN EL ESPACIO (ELABORACIÓN PROPIA)	105
FIGURA 100. CAMBIO A 3000 PUNTOS PARA OBTENER CÉLULAS INSCRITAS EN LA BASE DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	106
FIGURA 101. DIAGRAMA DE 2.3MT X 3.8MT EN RELACIÓN CON LA BASE DE IMPRESIÓN DE 223MM X 223MM (ELABORACIÓN PROPIA)	106
FIGURA 102. POSIBILIDAD DE CONJUNTO DE POLÍGONOS PARA FORMAR UN PATRÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	107
FIGURA 103. POSIBILIDAD DE CONJUNTO DE POLÍGONOS PARA FORMAR UN PATRÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	107
FIGURA 104. PROPUESTA DE CONTORNO FINAL INSCRITO EN BASE DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	107
FIGURA 105. EXPLORANDO Y ALTERANDO EL FACTOR DE FUERZA, COLECCIÓN DE ITERACIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	108
FIGURA 106. SUB DEFINICIÓN DE POST PROCESADO Y PARÁMETRO DEL FACTOR (ELABORACIÓN PROPIA).....	108
FIGURA 107. BASE DE OPERACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	108
FIGURA 108. CONSOLIDACIÓN DEL DIAGRAMA (ELABORACIÓN PROPIA).....	109
FIGURA 109. TRASLADO DEL DIAGRAMA CONSOLIDADO (ELABORACIÓN PROPIA)	109
FIGURA 110. TRASLADO DE UN DIAGRAMA ADICIONAL PARA INCLUIR COMPLEJIDAD AL RESULTANTE (ELABORACIÓN PROPIA).....	109
FIGURA 111. EL CATÁLOGO DE VARIACIONES DEL FACTOR Y LA INTEGRACIÓN DEL FACTOR 0 CON LOS RESULTANTES DE FACTOR DESDE 0.1 A 0.9 (ELABORACIÓN PROPIA).....	110
FIGURA 112. LA CONVERSIÓN DE CURVAS A SEGMENTOS Y LA CANTIDAD TOTAL EN EL PANEL DE COMANDOS (ELABORACIÓN PROPIA)	111
FIGURA 113. LA SELECCIÓN DE DUPLICADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL DIAGRAMA TRASFORMADO A SEGMENTOS (ELABORACIÓN PROPIA)	111
FIGURA 114. EL TRASLADO DE LA SELECCIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	111
FIGURA 115. INTERFAZ DE COMANDO Y LOS PARÁMETROS DE "TSPipe" (ELABORACIÓN PROPIA)	112
FIGURA 116. PREVISUALIZACIÓN DEL COMANDO "TSPipe" (ELABORACIÓN PROPIA)	112
FIGURA 117. VISTA EN PLANTA EN "WIREFRAME" DEL RESULTADO "TSPipe" (ELABORACIÓN PROPIA).....	112
FIGURA 118. VISTA EN PERSPECTIVA EN "WIREFRAME" DEL RESULTADO "TSPipe" (ELABORACIÓN PROPIA).....	113

FIGURA 119. . VISTA EN PERSPECTIVA EN RENDERIZADO DEL RESULTADO “TSPIPE” (ELABORACIÓN PROPIA)	113
FIGURA 120. EXTRACTO DEL MENÚ DESPLEGADO PARA LA CONVERSIÓN DE OBJETO T-SPLINES A OBJETO DE RHINO (ELABORACIÓN PROPIA)	113
FIGURA 121. EXTRACTO DEL ERROR POR FALTA DE MEMORIA RAM (ELABORACIÓN PROPIA)	114
FIGURA 122. EXTRACTO DEL ENTORNO MESHMIXER (ELABORACIÓN PROPIA)	114
FIGURA 123. CANTIDAD DE TRIÁNGULOS MEDIDOS POR MESHMIXER QUE DESCRIBEN LA MALLA DEL OBJETO Y SU COMPOSICIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)....	114
FIGURA 124. SELECCIÓN DEL OBJETO VISTA EN PLANTA (ELABORACIÓN PROPIA)	115
FIGURA 125. EXTRACTO DEL MENÚ DESPLEGADO PARA ACCEDER A LA OPCIÓN “REDUCE” (ELABORACIÓN PROPIA).....	115
FIGURA 126. EXTRACTO DEL PANEL DE REDUCCIÓN DE TRIÁNGULOS (ELABORACIÓN PROPIA)	116
FIGURA 127. SECCIÓN AUMENTADA DE VISTA EN PLANTA DEL OBJETO SIN REDUCCIÓN DE TRIÁNGULOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	116
FIGURA 128. SECCIÓN AUMENTADA DE VISTA EN PLANTA DEL OBJETO TRAS UNA REDUCCIÓN DE TRIÁNGULOS DEL 80% (ELABORACIÓN PROPIA)	116
FIGURA 129. CANTIDAD DE TRIÁNGULOS MEDIDOS POR MESHMIXER QUE DESCRIBEN LA MALLA DEL OBJETO Y SU COMPOSICIÓN TRAS LA REDUCCIÓN DE TRIÁNGULOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	117
FIGURA 130. VISTA AUMENTADA DE VISTA EN PLANTA DE UNA SECCIÓN DEL DIAGRAMA CON REDUCCIÓN DE TRIÁNGULOS (ELABORACIÓN PROPIA)	117
FIGURA 131. EXTRACTO DE HERRAMIENTA DE ESCALA 1-D (ELABORACIÓN PROPIA).....	118
FIGURA 132. VISTA FRONTAL AUMENTADA PARA DEFINIR EL ORIGEN (ELABORACIÓN PROPIA).....	118
FIGURA 133. VISTA FRONTAL AUMENTADA PARA DEFINIR EL SEGUNDO PUNTO DE REFERENCIA (ELABORACIÓN PROPIA)	118
FIGURA 134. VISTA FRONTAL AUMENTADA PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL VECTOR DE ESCALADO (ELABORACIÓN PROPIA)	119
FIGURA 135. OBJETO SIN ESCALAR EN PERSPECTIVA (ELABORACIÓN PROPIA)	119
FIGURA 136. OBJETO ESCALADO A 5.5MM EN PERSPECTIVA (ELABORACIÓN PROPIA)	119
FIGURA 137. HERRAMIENTA DE EDICIÓN DE CAJA O "EDIT CAGE" (ELABORACIÓN PROPIA)	120
FIGURA 138. COMANDO “EDIT CAGE” Y LA CANTIDAD DE PUNTOS DE CONTROL (ELABORACIÓN PROPIA).....	120
FIGURA 139. EDIT CAGE Y LOS PUNTOS DE CONTROL DEFINIDOS EN PERSPECTIVA (ELABORACIÓN PROPIA).....	120
FIGURA 140. VISTA FRONTAL DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS EN EL EJE Z (ELABORACIÓN PROPIA).....	121
FIGURA 141. VISTA EN PLANTA DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS EN AMARILLO EN LA SECCIÓN X, Y (ELABORACIÓN PROPIA).....	121
FIGURA 142. CURVATURA EN PERSPECTIVA (ELABORACIÓN PROPIA).....	122
FIGURA 143. CURVATURA EN VISTA FRONTAL (ELABORACIÓN PROPIA).....	122
FIGURA 144. INCLUSIÓN DE UN DIAGRAMA DE FACTOR 0 (ELABORACIÓN PROPIA)	122
FIGURA 145. DESPLAZAMIENTO DEL DIAGRAMA DE FACTOR 0 (ELABORACIÓN PROPIA)	123
FIGURA 146. VISTA FRONTAL DEL DESPLAZAMIENTO DEL DIAGRAMA DE FACTOR 0 (ELABORACIÓN PROPIA).....	123
FIGURA 147. VISTA EN PERSPECTIVA DE LA ADICIÓN DE COMPLEJIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	123
FIGURA 148. RENDER VISTA FRONTAL PROBETA DE EXTRUSIÓN Y DE EXTRUSIÓN CON ADICIÓN DE COMPLEJIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	124
FIGURA 149. RENDER VISTA PERSPECTIVA Y DE ELEVACIÓN PROBETA DE EXTRUSIÓN Y DE EXTRUSIÓN CON ADICIÓN DE COMPLEJIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	125

FIGURA 150. RENDER VISTA FRONTAL PROBETA DE CURVADO Y DE CURVADO CON ADICIÓN DE COMPLEJIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	126
FIGURA 151. RENDER VISTA PERSPECTIVA Y DE ELEVACIÓN PROBETA DE CURVADO Y DE CURVADO CON ADICIÓN DE COMPLEJIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	127
FIGURA 152. PROBETA DE CONTROL PLANA VISTA EN PLANTA (ELABORACIÓN PROPIA)	128
FIGURA 153. PROBETA DE CONTROL INTEGRACIÓN SÓLIDO-PATRÓN VISTA EN PLANTA (ELABORACIÓN PROPIA)	128
FIGURA 154. EXTRACTO DEL ENTORNO SIMPLIFY3D, EL PANEL DE IMPORTADO Y SELECCIÓN DE MODELOS (ELABORACIÓN PROPIA)	129
FIGURA 155. EXTRACTO DEL ENTORNO SIMPLIFY3D (ELABORACIÓN PROPIA)	130
FIGURA 156. MODELO IMPORTADO EN EL PANEL (ELABORACIÓN PROPIA)	131
FIGURA 157. MODELO IMPORTADO EN EL ENTORNO VIRTUAL DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	131
FIGURA 158. PANEL DE PROCESOS (ELABORACIÓN PROPIA)	132
FIGURA 159. PANEL DE CONFIGURACIÓN DE PROCESOS (ELABORACIÓN PROPIA)	132
FIGURA 160. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE EXTRUSIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	133
FIGURA 161. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE CAPA (ELABORACIÓN PROPIA)	134
FIGURA 162. CONFIGURACIÓN DE CAPA GENERAL (ELABORACIÓN PROPIA)	134
FIGURA 163. CONFIGURACIÓN DE LA PRIMERA CAPA (ELABORACIÓN PROPIA)	135
FIGURA 164. CONFIGURACIÓN DEL RELLENO O INFILL (ELABORACIÓN PROPIA)	135
FIGURA 165. CONFIGURACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	136
FIGURA 166. CONFIGURACIÓN DE TEMPERATURA DE LA BASE DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	136
FIGURA 167. CONFIGURACIÓN DE ENFRIAMIENTO (ELABORACIÓN PROPIA)	137
FIGURA 168. CONFIGURACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	138
FIGURA 169. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DESDE EL DISPLAY DE LA IMPRESORA (ULTIMAKER, 2017)	139
FIGURA 170. PANEL DE PROCESOS Y LA OPCIÓN PREPARAR O PRE VISUALIZAR IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	139
FIGURA 171. ENTORNO DE PRE VISUALIZACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	140
FIGURA 172. PRE VISUALIZACIÓN DE LA PRIMERA CAPA E IDENTIFICACIÓN DE ALGUNOS PUNTOS CRÍTICOS (ELABORACIÓN PROPIA)	141
FIGURA 173. RELIEVES CAUSANTES DE LOS PUNTOS CRÍTICOS (ELABORACIÓN PROPIA)	141
FIGURA 174. RELIEVES POR DEBAJO DE LA BASE DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	142
FIGURA 175. PROCESO DE PRIMERA CAPA DESPUÉS DE LA CORRECCIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	142
FIGURA 176. DESPLAZAMIENTO DEL DIAGRAMA DE FACTOR 0 (ELABORACIÓN PROPIA)	143
FIGURA 177. PRIMERA PRE VISUALIZACIÓN DE LAS PRIMERAS CAPAS DE UNA PROBETA CON ADICIÓN DE COMPLEJIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	143
FIGURA 178. ACERCAMIENTO DE LA PRE VISUALIZACIÓN DE LAS PRIMERAS CAPAS Y LOS HUECOS FORMADOS POR ERROR EN LA INTERPRETACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	144
FIGURA 179. ACERCAMIENTO DE LA PRE VISUALIZACIÓN DE LAS SIGUIENTES CAPAS Y LA SUPERPOSICIÓN DEL DIAGRAMA PRINCIPAL DE FACTOR 0.1 COMO ELEMENTO SEPARADO (ELABORACIÓN PROPIA)	144
FIGURA 180. RESULTADO DE PROBETA IMPRESA SIN RETIRAR DE LA BASE (ELABORACIÓN PROPIA)	145

FIGURA 181. SEPARACIÓN DE LOS ELEMENTOS INTERSECTADOS AL MOMENTO DE RETIRAR LA PIEZA DE LA BASE DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	145
FIGURA 182. EFECTO DE HUECOS EN LA PARTE POSTERIOR POR ERROR EN LA INTERPRETACIÓN DEL SOLIDO (ELABORACIÓN PROPIA)	146
FIGURA 183. OPCIÓN SEPARAR SUPERFICIES CONECTADAS (ELABORACIÓN PROPIA).....	146
FIGURA 184. RESULTADO DE DOS ELEMENTOS INDEPENDIENTES DESPUÉS DE APLICAR UNA SEPARACIÓN DE SUPERFICIES CONECTADAS (ELABORACIÓN PROPIA).....	146
FIGURA 185. ACERCAMIENTO DE LA PRE VISUALIZACIÓN DE LAS PRIMERAS CAPAS Y LA AUSENCIA DE LOS HUECOS FORMADOS POR ERROR EN LA INTERPRETACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	147
FIGURA 186. PROBETA SIN LIJAR Y LAS LÍNEAS DE IMPRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	148
FIGURA 187. PROBETA LIJADA Y LA SUPERFICIE LISA OBTENIDA (ELABORACIÓN PROPIA)	148
FIGURA 188. RESULTADOS DEL ACABADO SUPERFICIAL, A LA IZQUIERDA LIJADO Y BARNIZADO, A LA DERECHA SOLO LIJADO (ELABORACIÓN PROPIA)	149
FIGURA 189. RESULTADO DEL ACABADO SUPERFICIAL LIJADO Y BARNIZADO (ELABORACIÓN PROPIA).....	149
FIGURA 190. PROBETA E	150
FIGURA 191. PROBETA C	150
FIGURA 192. PROBETA A	150
FIGURA 193. PROBETA D	150
FIGURA 194. PROBETA B	150
FIGURA 195. PROBETA F	150
FIGURA 196. ILUSTRACIÓN DE LA APLICACIÓN DE UN FORMULARIO PRELIMINAR DE DIFERENCIAL SEMÁNTICO PARA MEDIR EL SIGNIFICADO CONNOTATIVO DE LOS ADJETIVOS. (OSGOOD, 1952).....	157
FIGURA 197. DIFERENCIAL SEMÁNTICO, LA PERCEPCIÓN DE LOS ENCUESTADOS PARA PISO FLOTANTE DE WPC (WOOD – POLYMER COMPOSITE) (WEINFURTER & EDER, 2009)	158
FIGURA 198. GRÁFICO PERFIL Y PERSONALIDAD DE LA PIEZA 3 VISTA – TACTO (FRUGONE, 2016)	158
FIGURA 199. DESCRIPCIONES Y ESTIMACIONES DE NATURALIDAD PARA 3 MODALIDADES DE EXPLORACIÓN SENSORIAL (OVERVLIT & SOTO-FARACO , 2011)	159
FIGURA 200. MAPA DE CONCEPTOS (ELABORACIÓN PROPIA) ASOCIADOS A NATURALIDAD SEGÚN (BURTON, 2015).....	161
FIGURA 201. TÉRMINOS DE VISIÓN, AUDICIÓN, TACTO Y AFECTIVOS USADOS EN EL EXPERIMENTO (FUJISAKI, TOKITA, & KARIYA, 2015)	164
FIGURA 202. LOS ATRIBUTOS MÁS IMPORTANTES DE APLICACIONES EN MADERA UTILIZADAS EN INTERIORES, POR PORCENTAJE DE RESPUESTAS (RICE J., ET. AL, 2006).....	165
FIGURA 203. FACTORES TEÓRICOS QUE DESCRIBEN MUEBLES DE HOGAR Y LOS ELEMENTOS DIFERENCIALES SEMÁNTICOS SELECCIONADOS PARA REPRESENTAR A LOS FACTORES (BUMGARDNER & BOWE, 2001).....	165
FIGURA 204. EXTRACTO DE TÉRMINOS DE VISIÓN, AUDICIÓN, TACTO Y AFECTIVOS USADOS EN EL EXPERIMENTO (FUJISAKI, TOKITA, & KARIYA, 2015)	166
FIGURA 205. PROCESO DE ENCUESTA DE DIFERENCIAL SEMÁNTICO (ELABORACIÓN PROPIA)	169
FIGURA 206. PROCESO DE ENCUESTAS (ELABORACIÓN PROPIA)	173

FIGURA 207. PROCESO DE ENCUESTAS (ELABORACIÓN PROPIA)	179
FIGURA 208. PROBETA C.1	194
FIGURA 209. PROBETA B.1	194
FIGURA 210. PROBETA A.1	194
FIGURA 211. UNIDAD DE PIEZA MODULAR PARA FORMAR UNA MEMBRANA MODULAR ANISOTRÓPICA ADAPTATIVA	205
FIGURA 212. DE LA PANTALLA AL PAPEL (ELABORACIÓN PROPIA)	208
FIGURA 213. PROTOTIPADO RÁPIDO DE ORGANIZACIÓN DE MÓDULOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	209
FIGURA 214. PROCESO DE IMPRESIÓN DEL MÓDULO (ELABORACIÓN PROPIA).....	211
FIGURA 215. VISUALIZACIÓN FINAL DE MODELADO (ELABORACIÓN PROPIA).....	211
FIGURA 216. ITERACIÓN NÚMERO 2, RADIO REDUCIDO DEL COMANDO “TSPIPE” (ELABORACIÓN PROPIA)	212
FIGURA 217. PROPUESTA ORIGINAL (ELABORACIÓN PROPIA)	212
FIGURA 218. ITERACIÓN NÚMERO 3, CURVADO, INTEGRACIÓN Y FUSIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	212

TABLAS

TABLA 1. METODOLOGÍA DE TRABAJO, OBJETIVOS Y TAREAS	11
TABLA 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO, OBJETIVOS Y TAREAS, PERÍODO 2016, ACERCAMIENTO (ELABORACIÓN PROPIA)	12
TABLA 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO, OBJETIVOS Y TAREAS, PERÍODO 2017, ACERCAMIENTO (ELABORACIÓN PROPIA)	13
TABLA 4. TEMPERATURAS E INFILL (ELABORACIÓN PROPIA)	52
TABLA 5. VARIACIÓN DE ACABADO SUPERFICIAL PARA LAS PROBETAS (ELABORACIÓN PROPIA).....	54
TABLA 6. RESULTADOS DE PESO Y TIEMPO SEGÚN INFILL (ELABORACIÓN PROPIA)	54
TABLA 7. PESO PROBETA Y ESTIMACIONES DESDE AUTODESK INVENTOR 2016 (EVALUACIÓN PROPIA)	55
TABLA 8. RESUMEN DE PARÁMETROS PARA PROBETA A (ELABORACIÓN PROPIA)	151
TABLA 9. RESUMEN DE PARÁMETROS PARA PROBETA B (ELABORACIÓN PROPIA)	152
TABLA 10. RESUMEN DE PARÁMETROS PARA PROBETA C (ELABORACIÓN PROPIA)	153
TABLA 11. RESUMEN DE PARÁMETROS PARA PROBETA D (ELABORACIÓN PROPIA)	154
TABLA 12. RESUMEN DE PARÁMETROS PARA PROBETA E (ELABORACIÓN PROPIA)	155
TABLA 13. RESUMEN DE PARÁMETROS PARA PROBETA F (ELABORACIÓN PROPIA)	156
TABLA 14. LOS CONCEPTOS PARA EL DIFERENCIAL SEMÁNTICO (ELABORACIÓN PROPIA).....	167
TABLA 15. COMPARATIVA DE PUNTAJES PROMEDIO GENERAL DE LAS PROBETAS A-B-C-D PARA LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN DISEÑADORES Y OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	186
TABLA 16. COMPARATIVA DE PUNTAJES ENTRE LAS PROBETAS A-B-C-D PARA LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	188
TABLA 17. COMPARATIVA DE PUNTAJES PROMEDIO ENTRE LAS PROBETAS D-E PARA LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	189
TABLA 18. COMPARATIVA DE PUNTAJES PROMEDIO ENTRE LAS PROBETAS D-E PARA LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA).....	189

GRÁFICOS

GRÁFICO 1. . “HYPER CYCLE” PARA LA IMPRESIÓN 3D (GARTNER, INC., 2014)	168
GRÁFICO 2. “HYPER CYCLE” PARA LA IMPRESIÓN 3D (GARTNER, INC., 2015).....	168
GRÁFICO 3. PERFIL COMPARADO DE LAS PROBETAS A-B-C-D OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	174
GRÁFICO 4. PERFIL DE TENDENCIA DE LAS PROBETAS A-B-C-D OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA).....	174
GRÁFICO 5. PERFIL DE PROBETA A OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	175
GRÁFICO 6. PERFIL DE PROBETA B OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	175
GRÁFICO 7. PERFIL DE PROBETA C OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	176
GRÁFICO 8. PERFIL DE PROBETA D OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	176
GRÁFICO 9. PERFIL COMPARADO DE LAS PROBETAS E-F OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	177
GRÁFICO 10. PERFIL DE TENDENCIA DE LAS PROBETAS E-F OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	177
GRÁFICO 11. PERFIL DE PROBETA F OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA).....	178
GRÁFICO 12. PERFIL DE PROBETA E OBTENIDO DE LA ENCUESTA A DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA)	178
GRÁFICO 13. PERFIL COMPARADO DE LAS PROBETAS A-B-C-D OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	180
GRÁFICO 14. PERFIL DE TENDENCIA DE LAS PROBETAS A-B-C-D OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	180
GRÁFICO 15. PERFIL DE PROBETA B OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	181
GRÁFICO 16. PERFIL DE PROBETA A OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	181
GRÁFICO 17. PERFIL DE PROBETA C OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	182
GRÁFICO 18. PERFIL DE PROBETA D OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	182
GRÁFICO 19. PERFIL DE TENDENCIA DE LAS PROBETAS E-F OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	183
GRÁFICO 20. PERFIL COMPARADO DE LAS PROBETAS E-F OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	183
GRÁFICO 21. PERFIL DE PROBETA F OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	184
GRÁFICO 22. PERFIL DE PROBETA E OBTENIDO DE LA ENCUESTA A PERSONAS DE OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	184
GRÁFICO 23. PRUEBA T PARA PROBETA A Y LA DIFERENCIA DE PERCEPCIÓN DEL CONCEPTO DE MADERA ENTRE DISEÑADORES Y OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	187
GRÁFICO 24. PRUEBA T PARA PROBETA A Y LA DIFERENCIA DE PERCEPCIÓN DEL CONCEPTO DE NATURALIDAD ENTRE DISEÑADORES Y OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	188
GRÁFICO 25. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A-B-C-D PARA EL CONCEPTO DE MADERA SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	189

GRÁFICO 26. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A-B-C-D PARA EL CONCEPTO DE MADERA SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	189
GRÁFICO 27. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS D-E PARA EL CONCEPTO DE NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	190
GRÁFICO 28. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS D-E PARA EL CONCEPTO DE MADERA SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	190
GRÁFICO 29. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS D-E PARA EL CONCEPTO DE NATURALIDAD SEGÚN DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA).....	191
GRÁFICO 30. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS D-E PARA EL CONCEPTO DE MADERA SEGÚN DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA) ..	191
GRÁFICO 31. CORRELACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA)	192
GRÁFICO 32. CORRELACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN DISEÑADORES (ELABORACIÓN PROPIA).....	193
GRÁFICO 33. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A.2-B.2-C.2 PARA EL CONCEPTO DE NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	197
GRÁFICO 34. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A.2-B.2-C.2 PARA EL CONCEPTO DE MADERA SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	197
GRÁFICO 35. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A.2-B.2 PARA EL CONCEPTO DE NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	198
GRÁFICO 36. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A.2-B.2 PARA EL CONCEPTO DE MADERA SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	198
GRÁFICO 37. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A.2-B.2 PARA EL CONCEPTO DE NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	199
GRÁFICO 38. PRUEBA T COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE PROBETAS A.2-B.2 PARA EL CONCEPTO DE NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES (ELABORACIÓN PROPIA).....	199
GRÁFICO 39. CORRELACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES PARA LA PROBETA B.2 (ELABORACIÓN PROPIA).....	200
GRÁFICO 40. CORRELACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS DE MADERA Y NATURALIDAD SEGÚN OTRAS PROFESIONES PARA LA PROBETA C.2 (ELABORACIÓN PROPIA).....	200
GRÁFICO 41. ANÁLISIS PREMO INTENSIDAD DE LAS EMOCIONES PERCIBIDAS POR GRUPO DE JOVENES ENTRE 18 Y 29 AÑOS DE OTRAS PROFESIONES PARA LA PROPUESTA CONCEPTUAL (PROBETA F) (ELABORACIÓN PROPIA).....	213
GRÁFICO 42. ANÁLISIS PREMO FRECUENCIA Y BALANCE DE LAS EMOCIONES PERCIBIDAS POR GRUPO DE JÓVENES ENTRE 18 Y 29 AÑOS DE OTRAS PROFESIONES PARA LA PROPUESTA CONCEPTUAL (PROBETA F) (ELABORACIÓN PROPIA).....	214

RESUMEN

En el contexto de la impresión 3D y en la búsqueda de nuevas propuestas para esta tecnología, este estudio investiga el filamento de madera como un material adecuado para la producción de productos finales desde un enfoque estético y emocional haciendo alusión a la naturalidad de la madera en su estado puro.

Investigación preliminar identifica una ausencia de naturalidad del material al ser impreso y se comprueba que mediante procesos de acabado superficial los índices de naturalidad percibidos por los encuestados pueden optimizarse.

Este estudio indaga con más profundidad la capacidad del material con un trabajo pre impresión CAD enfocado a la morfología, se planteó que una morfología natural representativa optimiza la percepción de naturalidad del filamento de madera y específicamente de lo impreso.

Para proponer la morfología natural representativa se observó a la madera desde su estructura microscópica para abstraer un principio formal de la organización de las traqueidas, unidad básica estructural de las maderas blandas.

La abstracción del principio luego fue representado mediante diagramas de Voronoi y su aplicación mediante el algoritmo de Lloyd por medio de los software Rhino y Grasshopper. El resultado fue impreso para la posterior aplicación del acabado superficial.

Los primeros resultados indican que la morfología propuesta obtiene resultados positivos estadísticamente tras una evaluación de diferencial semántico, aun así un primer acabado superficial compuesto de lijado y barniz indica que el resultado si bien se percibe como natural y semejante a la madera por diseñadores en su mayoría jóvenes, para jóvenes de otras profesiones la percepción tendió a reconocer el material como más plástico donde se asume que el factor brillo pudo haber sido el más influyente.

Tras una iteración y el descarte del barniz como acabado superficial se identifica una diferencia significativa en la percepción de naturalidad entre una probeta de control sin una morfología natural y un acabado superficial y la probeta propuesta con ambos factores.

Además la probeta propuesta se asemeja sin diferencias significativas a una probeta de control de madera de pino en formato terciado por lo que se concluye que la aplicación de la morfología y el acabado superficial de lijado, fueron preponderantes en una optimización en la percepción de naturalidad y reconocimiento del material como madera y natural, aun cuando el material está compuesto por un 70% de plástico orgánico o PLA.

Finalmente para concluir el estudio se propone el concepto de una “Membrana modular anisotrópica adaptativa” para generar piezas modulares para el revestimiento o decoración de paredes utilizando la misma morfología de las probetas evaluadas.

Otras propuestas hechas por los mismos encuestados también son consideradas a modo de resumen y conclusión sobre las posibilidades del material y la tecnología en un contexto en donde la búsqueda de nuevas aplicaciones es una necesidad latente.

EL PROBLEMA

1.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se enmarca en la línea investigativa que comienza desde el proceso de Seminario de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile en la carrera de Diseño Industrial en el año 2015. Donde se vislumbra un problema general en el contexto de la manufactura aditiva (“AM” por sus siglas en inglés) y su consideración como una tecnología apta para el desarrollo y producción de productos finales, buscando así esta posibilidad como una alternativa a la ya conocida capacidad de prototipado rápido (Frugone, Oyarzún, & Vásquez, 2015) .

Dentro de los temas propuestos en esta etapa inicial el más relevante es el contexto en el que puede estar inmersa la tecnología y su consideración a la hora de proponer un material adecuado y sustentable con el entorno local para la producción mediante impresión 3D (Briceño, 2015).

Si consideramos a Chile como el entorno, una adecuada elección del material, siendo éste sustentable ambiental y económicamente, la producción mediante manufactura aditiva será más coherente, óptima y responsable (Frugone, Oyarzún, & Vásquez, 2015).

En este sentido Chile es un país maderero que, como cualquier otra industria maderera en el mundo, produce desechos industriales derivados de los procesos de dimensionados y tratamientos de la madera tras ser cortada. Estos desechos se conocen como partículas y astillas y son muy cotizadas para la producción de aglomerados o bien como combustible. Esta materia hoy en día es altamente cotizada por mercados como el Japonés debido a su alta calidad derivada de cuidadosos procesos de almacenado y transporte (Instituto Forestal, 2016; Cea, 2003).

Por otro lado, la industria de manufactura aditiva avanza a pasos agigantados y la búsqueda de nuevas posibilidades para su continuo desarrollo suma cada vez más investigaciones y desarrollo comercial (Faruk, et al., 2012; Le Duigou, et al., 2016; Correa, et al., 2015).

Es el caso por ejemplo de la marca ColorFabb, dedicada a la producción y venta de filamentos para la tecnología “AM” y en específico para el modelado por deposición fundida (FDM por sus siglas en inglés).

Particularmente la marca ofrece dentro de su gama de materiales los bio-compuestos, una mezcla de poliláctico ácido, un termoplástico de origen vegetal (PLA por sus siglas en inglés) más un aporte de material orgánico como bambú, corcho o pino, material que tiene su origen en los desechos industriales que funcionan finalmente como material reciclado para la posterior producción de filamento (ColorFabb, 2013).

Siguiendo la línea del contexto Chileno y de la manufactura aditiva en cuanto a materiales se trata, se hace pertinente entonces el estudio del filamento de madera como el material idóneo y coherente para productos impresos en 3D (Van Wijk & Van Wijk, 2015).

En un estudio preliminar se propone el estudio del filamento desde un punto de vista estético y emocional como el punto de partida para la validación de la tecnología y el material en la producción de productos.

En este sentido la estética y lo emocional están tomando especial relevancia en el valor de los productos (Ashby, 2013) y los materiales juegan un rol importantísimo en este valor (Karana, Pedgley, & Rognoli, 2014; Rognoli, 2016; van Bezooen, 2013).

En esta etapa se experimenta con el filamento de madera en el FabLab de la Universidad de Chile para indagar sobre los procesos de impresión adecuados para una correcta impresión, las propiedades del material al ser impreso, las propiedades de los objetos impresos en cuanto a densidad y peso, además de los acabados superficiales posibles.

Los conocimientos adquiridos son aplicados a la confección de probetas que posteriormente son evaluadas sensorialmente mediante un diferencial semántico (Osgood, 1952; Osgood, Suci, & Tannenbaum, 1957), una de las técnicas más aplicadas para examinar la percepción emocional y afectiva de los usuarios sobre los productos (Weinfurter & Eder, 2009), este método se basa en una combinación de procedimientos de asociación y escala (Osgood, 1952; Osgood, Suci, & Tannenbaum, 1957) donde un término, adjetivo o concepto resume la sensación del encuestado al interactuar con un material o producto.

Por ejemplo, la madera es considerada como “cálida” (Karana & Hekkert, 2013), según una escala compuesta por el término de manera bipolar en una escala de 7 pasos, el encuestado deberá indicar la intensidad de su asociación al término y ubicarlo en la escala (Osgood, 1952; Osgood, Suci, & Tannenbaum, 1957) según la experiencia al interactuar con el material.

Esta técnica se utilizó para conocer con que intensidad percibían las personas los conceptos de naturalidad y madera que son los dos atributos que podrían entregar valor a un producto impreso en 3D (Ashby, 2013; Karana, et. al, 2014; Karana & Hekkert, 2013; Kaplan, Kaplan, & Wendt, 1972; Overvliet & Soto-Faraco, 2011; Masuda, 2004; Rice J. , et al., 2006).

Las conclusiones y resultados expuestos resumen la capacidad del filamento y la impresión de lograr un aspecto de madera natural con resultados positivos para ciertas variables. Si bien en esta etapa preliminar existe una percepción de madera natural aun así los resultados indican una falta de naturalidad del material impreso a nivel perceptual, si no se aplican trabajos de post procesado, lo que abre posibilidades de investigación bajo el punto de vista de lo estético-emocional y la relación con la morfología, siendo este el punto principal a trabajar (Frugone, 2016).

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Bajo las conclusiones y resultados de la investigación preliminar se resume que es necesario un trabajo más enfocado a la morfología siendo que en cierta medida el proceso de acabado superficial, si bien puede trabajarse más, está cubierto según las respuestas de los encuestados. Para llegar a los resultados se requirió de procesos adicionales externos al proceso de impresión, como lijado y teñido, este detalle podría contra argumentar la investigación y al mismo tiempo es el punto de inflexión para la presente investigación (Frugone, 2016).

Se hace pertinente entonces considerar al filamento de madera bajo este cambio de enfoque como un material natural, que como tal, debe tener un valor estético natural en su esencia al ser impreso. Para esto gracias a observaciones hechas durante el planteamiento del presente proyecto, se hace un paralelo entre el patrón de llenado de las piezas impresas conocido como “Infill” y la microestructura de la madera.

A medida que el Infill de las piezas era más denso, se comenzaban a formar orificios que llevaban a imaginar que si el patrón pudiera ser más irregular existía la posibilidad de aplicar esa irregularidad como la morfología natural necesaria para evocar una propiedad natural tanto perceptiva como afectiva.

Es sobre esta observación preliminar que se plantea entonces que una observación de la estructura microscópica de la madera, y en específico, las maderas blandas y las traqueidas como su elemento principal de estructura y estética (Meier, 2016; Mayo, Chen, & Evans, 2010; Marins, et al., 2013), puede inspirar una forma apta para su posterior evaluación sensorial.

Para realizar un análisis válido que sea coherente y útil, es necesario que el proceso obtenga como resultado la extracción de un principio, un comportamiento o función que describa él porque de la estructura y estética de la madera.

La obtención del principio debe ser representativo y útil como herramienta de diseño, debe ser capaz de ser replicado o aplicado a un proceso digital en donde se pueda obtener como resultado una morfología, una textura y estética distintiva y que al mismo tiempo logre influir en las sensaciones de las personas al ser encuestadas. Se propone entonces la utilización de la metodología de biomímesis como la potencial herramienta para este fin (Benyus, 1997; Bar-Cohen, 2006; Gester, 2007; López, 2010; Klein, 2009).

La aplicación del principio debe ser por medio de un medio digital que logre generar un modelo sólido capaz de ser procesado posteriormente por un software de impresión 3D para luego ser impreso. Además, se debe encontrar la manera más eficiente de aplicar el principio obtenido ya que si este es muy complejo la relación software-hardware puede limitar las posibilidades de complejidad del diseño final, considerando la plataforma Rhino más Grasshopper y el diseño generativo como el entorno ideal para el desarrollo de morfologías complejas (Agkathidis, 2015; Emdanat, Stiny, & Vokaló, 1999; Lazzeroni, et al., 2012)

Se propone considerar de manera complementaria una regla geométrica o matemática que explique comportamientos de la naturaleza que ayude a entender de mejor manera el proceso de biomímesis en la

extracción del principio y su abstracción para su aplicación final en el software propuesto, en específico se propone explorar los diagramas de Voronoi y el Algoritmo de Lloyd (Flores, 2007; Wood, 2013; de Berg, et al., 2008; Kaplan C. S., 1999; Balzer, Schlömer, & Deussen, 2009)

Es importante destacar que las herramientas y metodologías propuestas deben ser validadas con un marco teórico que proponga una discusión actual y pertinente que demuestre que la presente investigación está al nivel del contexto de la impresión 3D y de los temas involucrados, con la intención de estar a la vanguardia y así generar conocimiento útil y relevante para la universidad y especialmente para los estudiantes de la carrera de Diseño Industrial y el país.

A modo de conclusión y para formular y presentar el problema de forma acotada, este se presenta a continuación:

La Impresión 3D carece de valor estético para su consideración en productos finales. Si bien la inclusión del filamento de madera puede aportar valor, este también carece de un valor estético natural si no es aplicado un acabado superficial y una morfología natural representativa.

1.3 ALCANCES

El alcance de esta investigación se limita a la utilización de la impresión 3D de como la tecnología de confección de probetas y el filamento de madera como material.

Para la abstracción del principio o la morfología natural representativa el estudio se limita al análisis de la microestructura de las maderas blandas y específicamente a la organización de las traqueidas considerándolas como la unidad principal estructural de la madera.

El alcance se debe a la identificación de los patrones formados por la organización de las traqueidas en las maderas blandas como patrones replicables paramétricamente a diferencia de las maderas duras donde los patrones formados son más abstractos y complejos de replicar mediante modelos paramétricos.

La aplicación del principio definido se limita a la experimentación con los diagramas de Voronoi y luego a la aplicación de los diagramas mediante el algoritmo de Lloyd que juntos definen morfológicamente el principio abstraído.

La investigación se restringe a un análisis estético y sensorial del material y la comprobación de la hipótesis

sobre el valor estético natural que pueden obtener las probetas propuestas mediante una evaluación por diferencial semántico y un análisis estadístico de los resultados, además se verifica si la naturalidad corresponde a una percepción de madera.

El instrumento de evaluación utilizado es el único que se utiliza ya que demuestra su efectividad en diversos estudios citados durante el desarrollo del documento sobre estudios de materiales derivados de la madera o que la imitan.

La encuesta se limita a considerar dos grupos de encuestados diseñadores y otras profesiones, la caracterización solo se define por la profesión y no se consideran otras variables en este estudio

En concreto solo se presenta una propuesta conceptual inicial debido a que un proceso de diseño estructurado y completo adicional se debe llevar a cabo para comprobar la viabilidad de la propuesta, esta investigación aporta a ese proceso por medio de la validación desde el punto de vista del valor estético natural y formaría parte de un proyecto general más enfocado a una metodología de diseño.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1. HIPÓTESIS

La impresión 3D puede adquirir valor estético y en específico en este caso, un valor estético natural mediante la utilización de filamento de madera, la aplicación de una morfología natural representativa y un acabado superficial, para su consideración en productos finales.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar la percepción de las cualidades expresivas y emocionales de los objetos desarrollados mediante manufactura aditiva FDM con filamento de madera a través de aspectos propios del diseño, tales como la morfología y el acabado, que los aproximen a una percepción de madera natural

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer las condiciones de la actual percepción que las personas tienen sobre objetos impresos con filamento de madera y su comparativa con la madera natural.
2. Proponer una alternativa morfológica que permita a las personas una mayor cercanía perceptual del material con la madera natural.
3. Evaluar la percepción de las personas sobre la alternativa morfológica propuesta y verificar la universalidad de los resultados

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

	TEMAS	IMPRESIÓN 3D	FILAMENTO DE MADERA	PERCEPCIÓN DE LAS CUALIDADES EXPRESIVAS Y EMOCIONALES					
PERÍODO 2016 MARZO - ENERO	OBJETIVO 1	MARCO TEÓRICO	CONFECCIÓN DE PROBETAS	EVALUACIÓN SENSORIAL				ESTUDIO PRELIMINAR	
	Establecer las condiciones de la actual percepción que las personas tienen sobre objetos impresos con filamento de madera y su comparativa con la madera natural.	Impresión 3D	Impresión	Diferencial semántico					
		Filamento de madera	Acabado superficial	Análisis de gráficos					
Importancia de los materiales		Conclusiones							
HIPÓTESIS. La impresión 3D puede adquirir valor estético y en específico en este caso, un valor estético natural mediante la utilización de filamento de madera, la aplicación de una morfología natural representativa y un acabado superficial, para su consideración en productos finales.							De la observación del patrón de infill de las probetas se hace un paralelo con la estructura microscópica de la madera		
PERÍODO 2017 MARZO - SEPTIEMBRE	TEMAS ADICIONALES	MICROESTRUCTURA DE LA MADERA	BIOMIMESIS	DISEÑO GENERATIVO	DIAGRAMAS DE VORONOI				
	OBJETIVO 2	MARCO TEÓRICO	EXTRACCIÓN DE PRINCIPIO MORFOLÓGICO	ABSTRACCIÓN DEL PRINCIPIO MORFOLÓGICO	APLICACIÓN DE PRINCIPIO MORFOLÓGICO	CONFECCIÓN DE PROBETAS		INVESTIGACIÓN	
	Proponer una alternativa morfológica que permita a las personas una mayor cercanía perceptual del material con la madera natural	Biomímesis	Biomímesis	Exploración digital	Exploración analoga	Rhino + Grasshopper	Protocolo o tutorial del proceso digital pre impresión		
		Diseño Generativo	Observación y análisis de imágenes de la microestructura de la madera	Inventor + Imágenes	Dibujo de diagramas de voronoi	Diagramas de Voronoi	Impresión		
		Diagramas de Voronoi		Aplicaciones Web		Algoritmo de Lloyd	Acabado superficial		
			Rhino + Grasshopper		T-Splines				
			Diagramas de Voronoi		Voronoi centroidal anisotrópico				
		Algoritmo de Lloyd							
OBJETIVO 3	TÉRMINOS PARA EL DIFERENCIAL SEMÁNTICO	DEFINICIÓN DE POBLACIÓN DE ESTUDIO	PRIMERA EVALUACIÓN	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	SEGUNDA EVALUACIÓN	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	PROPUESTA CONCEPTUAL	EVALUACIÓN, RESULTADOS Y CONCLUSIONES	
Evaluar la percepción de las personas sobre la alternativa morfológica propuesta y verificar la universalidad de los resultados	Factores a considerar	Las proyecciones de la impresión 3D	Diferencial semántico	Análisis de gráficos	Iteración de probeta	Análisis de gráficos	Justificación		
	Los 5 sentidos	Diseñadores	Formulario excel	Análisis estadístico	Diferencial semántico	Análisis estadístico	Desarrollo		
	Propiedades perceptivas y afectivas	Otras profesiones	Encuesta presencional	Hipótesis no verificada	Formulario excel	Hipótesis verificada	Evaluación emocional de la propuesta análisis PREMO		
	El concepto de naturalidad				Encuesta presencional				
	El concepto de madera								

Tabla 1. Metodología de trabajo, objetivos y tareas

TEMAS	IMPRESIÓN 3D	FILAMENTO DE MADERA	PERCEPCIÓN DE LAS CUALIDADES EXPRESIVAS Y EMOCIONALES
OBJETIVO 1	MARCO TEÓRICO	CONFECCIÓN DE PROBETAS	EVALUACIÓN SENSORIAL
Establecer las condiciones de la actual percepción que las personas tienen sobre objetos impresos con filamento de madera y su comparativa con la madera natural.	Impresión 3D Filamento de madera Importancia de los materiales	Impresión Acabado superficial	Diferencial semántico Análisis de gráficos Conclusiones
HIPÓTESIS. La impresión 3D puede adquirir valor estético y en específico en este caso, un valor estético natural mediante la utilización de filamento de madera, la aplicación de una morfología natural representativa y un acabado superficial, para su consideración en productos finales.			

Tabla 2. Metodología de trabajo, objetivos y tareas, Período 2016, acercamiento (Elaboración propia)

TEMAS ADICIONALES	MICROESTRUCTURA DE LA MADERA	BIOMIMESIS	DISEÑO GENERATIVO	DIAGRAMAS DE VORONOI			
OBJETIVO 2	MARCO TEÓRICO	EXTRACCIÓN DE PRINCIPIO MORFOLÓGICO	ABSTRACCIÓN DEL PRINCIPIO MORFOLÓGICO	EXPLORACIÓN DE PRINCIPIO MORFOLÓGICO	CONFECCIÓN DE PROBETAS		
Proponer una alternativa morfológica que permita a las personas una mayor cercanía perceptual del material con la madera natural	Biomimesis	Biomimesis	Exploración digital	Exploración analoga	Rhino + Grasshopper	Protocolo o tutorial del proceso digital pre impresión	
	Diseño Generativo	<i>Observación y análisis de imágenes de la microestructura de la madera</i>	<i>Inventor + Imágenes</i>	<i>Dibujo de diagramas de voronoi</i>	Diagramas de Voronoi	Impresión	
	Diagramas de Voronoi		<i>Aplicaciones Web</i>		Algoritmo de Lloyd	Acabado superficial	
			<i>Rhino + Grasshopper</i>		T-Splines		
		<i>Diagramas de Voronoi</i>			Voronoi centroidal anisotrópico		
			<i>Algoritmo de Lloyd</i>				
OBJETIVO 3	TÉRMINOS PARA EL DIFERENCIAL SEMÁNTICO	DEFINICIÓN DE POBLACIÓN DE ESTUDIO	PRIMERA EVALUACIÓN	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	SEGUNDA EVALUACIÓN	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	PROPUESTA CONCEPTUAL
Evaluar la percepción de las personas sobre la alternativa morfológica propuesta y verificar la universalidad de los resultados	Factores a considerar	Las proyecciones de la impresión 3D	Diferencial semántico	Análisis de gráficos	Iteración de probeta	Análisis de gráficos	Justificación
	<i>Los 5 sentidos</i>	Diseñadores	Formulario excel	Análisis estadístico	Diferencial semántico	Análisis estadístico	Desarrollo
	<i>Propiedades perceptivas y afectivas</i>	Otras profesiones	Encuesta presencial	Hipótesis no verificada	Formulario excel	Hipótesis verificada	Evaluación emocional de la propuesta análisis PREMO
	<i>El concepto de naturalidad</i>				Encuesta presencial		
	<i>El concepto de madera</i>						

Tabla 3. Metodología de trabajo, objetivos y tareas, Período 2017, acercamiento (Elaboración propia)

Capítulo 1 MARCO TEÓRICO

1. LA IMPRESIÓN 3D

1.1 MANUFACTURA ADITIVA (AM – FDM – FFF)

La investigación de este documento está centrada en la impresión 3D y particularmente en la técnica FDM o FFF.

En los inicios de los 90's se comienza a hablar del Open Source, pero respecto a la impresión 3D este término comienza a tomar fuerza en 2005 gracias a Adrian Bowyer, fundador del proyecto RepRap (Holland, O'Donnell, & Bennett, 2010) que buscaba poder generar una máquina autoreplicable.

De esta forma no tan sólo los archivos de objetos 3D son compartidos de manera libre sino que también las piezas de una máquina, abaratando costos y democratizando el acceso a la tecnología.

El alcance de las máquinas ha continuado su curso asemejándose al desarrollo de las impresoras tradicionales, de replicar casi de la misma manera lo que se logró con las impresoras de tinta y papel, o con el computador, uno en cada hogar (Betts, 2010)

El Modelado por Deposición Fundida o Fused Deposition Modeling (FDM), una marca registrada por Stratasys y conocida como Fabricación por Filamento Fundido o

Fused Filament Fabrication (FFF), ha estado atrayendo incrementalmente la atención de la comunidad científica en los últimos años por su potencial para reinventar los procesos de diseño (Brooks & Molony, 2016) además de ser la técnica de manufactura aditiva más usada por su amplia gama de materiales disponibles, desde bio-polímeros hasta los más recientes bio-compuestos (Crump, 1992)

Los polímeros termoplásticos reforzados con fibras naturales como el filamento de madera están siendo cada vez más estudiados ya que pueden ofrecer un interesante rango de propiedades mecánicas específicas (Faruk, et al., 2012; Le Duigou, et al., 2016; Correa, et al., 2015) además de sus poco estudiadas propiedades estéticas que serán el foco de investigación en este documento.

1.2 LA IMPRESIÓN 3D Y UNA NUEVA REVOLUCIÓN

La discusión sobre la impresión 3D y su relevancia en el mundo industrial actual, da que hablar, tal como Lipson comenta:

“Todos los días un nuevo dispositivo se lanza, un nuevo material es creado y nuevas aplicaciones demostradas. Aun así, muchos analistas se pregunta ¿Es la impresión 3D meramente una moda, o está aquí para quedarse?” (Lipson, 2014).

En su artículo, “Is additive manufacturing a real revolution?”, establece el concepto que muchos analistas ya esbozaban, una revolución industrial, un cambio de paradigma, cambiando no sólo el cómo pensamos y producimos lo que conocemos hoy en día, sino que además lo que conocemos, la manufactura aditiva (AM) está cambiando no sólo la forma en que hacemos las cosas sino que además las cosas hacemos (Seepersad & Conner, 2014)

Así el rol que cumple la impresión 3D hoy en día no solo tiene la posibilidad de cubrir un porcentaje de la industria de manufactura tradicional, sino que más bien está marcando un camino totalmente nuevo, así como en una primera y una segunda revolución industrial ocurrió,

“Si miras hacia atrás en anteriores revoluciones industriales, se ve un factor común, en todas las revoluciones industriales, un importante factor de costo desapareció” (Lipson, 2014)

Ese factor importante es la complejidad de los objetos producidos, que por métodos tradicionales serían de alto costo o virtualmente imposibles de realizar.

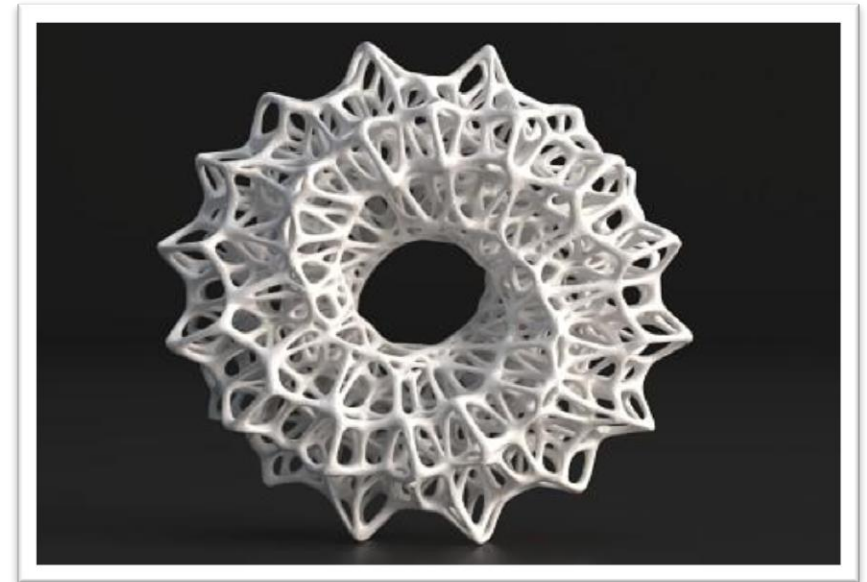


Figura 1. Impresión estilo Voronoi (<http://ow.ly/N79x303TFO6>)

1.3 COMPLEJIDAD GEOMÉTRICA

Hoy en día, los beneficios percibidos más convincentes son las capacidades para aumentar la complejidad geométrica y reducir los tiempos de comercialización, seguido de cerca por la reducción de otros procesos (tooling) y costos de ensamblaje (Cohen, 2014). La impresión 3D gracias a su método de adición de material capa a capa puede lograr productos que por métodos tradicionales necesitan procesos adicionales para terminar el producto completo, como una cadena ensamblada.

El concepto de la cadena auto ensamblada es un ejemplo claro de la complejidad de la impresión, si bien parece ser simple, se puede abstraer a la cadena de una bicicleta,

“El capa a capa de la impresión 3D permite construir ensamblajes completos de piezas. Una cadena de bicicleta, por ejemplo, se fabrica tradicionalmente por la realización de placas separadas exteriores, placas interiores, rodillos, y enlaces pins- y luego ensamblados juntos. Las impresoras 3D, sin embargo, son capaces de hacer la cadena como una sola pieza, ensamblada directamente de la impresora, y totalmente funcional, con cada enlace moviéndose con total libertad” (Cohen, 2014).

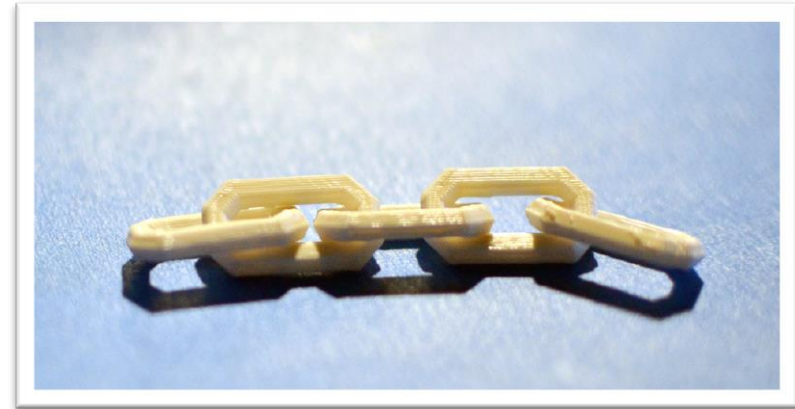


Figura 2. Cadena impresa y ensamblada en un mismo proceso (<http://ow.ly/ZsB7303TFV4>)

1.4 LOS 10 PRINCIPIOS DE LA IMPRESIÓN 3D

Nuevos materiales, nuevas aplicaciones, complejidad geométrica, auto ensamblaje, parecen ser términos que podrían resumir las capacidades de la impresión 3D, pero la impresión 3D se puede resumir en 10 principios (Lipson & Kurman, 2013).

Una impresora puede hacer muchas formas

“One 3D printer makes many shapes”

El simple hecho de cargar un archivo digital con la forma deseada indica que debe imprimir la máquina, a diferencia de los métodos industriales tradicionales tenemos una máquina que tiene múltiples propósitos de forma.

“Just upload a file and the 3D printer will take over. The 3D printer can print whatever is defined by the file, in contrast to single-purpose machines of the industrial revolution era.”

Manufactura de bajo índice de huella de carbono

“Small footprint manufacturing”

Las impresoras de escritorio son lo suficientemente pequeñas para caber en una casa, pero al mismo tiempo entregan una gama de posibilidades que sólo serían posibles con grandes industrias.

“Home 3D printers are small enough to sit on a desk but advanced enough to create truly functional objects. It doesn't

take a 3D printer the size of a showing printing an airplane wing with a small 3d printer a man carrying the cube.”

Sin tiempos intermedios entre el diseño y el producto

“No lead time from design to product”

Los procesos de diseño de un producto se pueden extender por largos períodos de tiempo entre el prototipado y su producción, entre cada etapa distintos procesos son llevados a cabo para obtener resultados útiles. La impresión disminuye tanto la cantidad de etapas como su duración.

“It used to take weeks for each step in the design and manufacturing process. Now just upload and 3D print.”

Las habilidades recaen en el diseño no en el operador “Skill lies in the design, not the operator”

Hacer prototipos, modelos funcionales u objetos meramente estéticos, requieren de habilidades tanto del diseñador como del ejecutor del proyecto, ahora simplemente ese proceso requiere el paso de presionar un botón para ser producido.

“While it's still a skilled craft to 3D model and design, 3D printing now works with the push of a button. This ease of reproduction also comes with risks, such as 3D printed guns and IP infringement.”

Menos desechos

“Less waste”

Los procesos antecesores a la impresión 3D dentro de la gama de la fabricación digital basan su funcionamiento bajo el concepto de desbaste de material, retirar material para lograr la forma. Para la impresión el concepto es contrario, tal como su nombre técnico lo indica “additive manufacturing”, el proceso implica adición de material, lo que se traduce en menos desechos para el proceso.

“The original trade name for 3D printing is “additive manufacturing,” because objects are created layer by layer rather than subtractive methods like milling. This process means that there is less waste as a by-product of production.”

Sin requerimientos de ensambles

“No assembly required”

El proceso capa a capa de la impresión permite diseñar complejos ensambles que luego quedarán impresos en un mismo proceso, lo que implica reducción de requerimientos de armado de los productos.

“3D printed objects are made in one single piece, even intricate designs with moving parts. This leads to more elegant products that are sturdier while relying less on an expansive supply chain and assembly.”

Infinitos tipos de materiales

“Infinite blends of materials”

Los materiales disponibles para imprimir en 3D van en aumento y si bien los más conocidos y asequibles son los polímeros compuestos, otras tecnologías incluyen el metal, el vidrio, concreto entre otros.

“New materials for 3D printing continue to become available and even blending materials is now possible”

Duplica, edita y copia objetos físicos

“Duplicate, edit and copy physical objects”

El escaneo en 3D incrementa las posibilidades de la impresión, permitiendo virtualmente copiar y pegar tal cual lo hacemos en nuestros computadores solo que ahora físicamente.

“With advancements in 3D scanning technology like the Makerbot Digitizer, physical objects can be digitally captured and reproduced, physical copy-paste”

Espacio de diseño sin límites

“Unlimited design space”

Los límites tradicionales de diseño no aplican para la impresión 3D. Un ejemplo, las mandíbulas de titanio impresas en 3D como implantes personalizados en un paciente, o la “Biomímesis” arte que toma inspiración de la naturaleza.

“Traditional design constraints do not apply in 3D printing. Take for example, the 3D printed titanium jaw used as a personalized implant on a patient, or “biomimicry” art that takes inspiration from nature.”

La complejidad de manufactura no tiene costo

“Manufacturing complexity is free”

La complejidad de una forma requiere procesos adicionales a lo de formas más simples, el proceso de impresión por su funcionamiento puede reemplazar varios de estos procesos para poder llegar a la misma complejidad. En la mayoría de los casos un solo proceso es necesario para llegar a la misma forma que por métodos tradicionales requiere de procesos más complejos, lo que se resume en una reducción de costos.

“Historically, cost is correlated to complexity; more complex objects are more expensive. But with 3D printing, a complex structure is equivalent in cost to physical block of material of the same volume. This has profound implications on pricing and the cost of personalization.”

1.5 LOS DESAFÍOS DE LA IMPRESIÓN 3D

Así bien, estos 10 principios resumen a cabalidad la impresión 3D, sus capacidades y sus oportunidades, Skylar Tibbits va más allá, basándose principalmente en las desventajas que podría tener la manufactura aditiva, estas desventajas las toma como oportunidades, “Pintan una imagen increíble de las siguientes posibilidades para imprimir , así como oportunidades para la investigación” (Tibbits, 2015)

Las limitaciones de escala, la velocidad de impresión, herramientas de software y las propiedades del material son desventajas que vislumbran nuevos espacios de desarrollo, el impulsor del nuevo concepto de la impresión 3D, la impresión 4D, propone en la editorial de la revista “3D Printing and Additive Manufacturing” varios desafíos a la impresión 3D y a la industria en general, imaginando nuevas aplicaciones y formas de producir.

1.6 MATERIALIDAD EN LA IMPRESIÓN 3D

En particular este documento se enfoca en los materiales y sus propiedades, aprovechando “En lugar de tratar de hacer el mismo tipo de pieza o crear la misma propiedad del material que podríamos haber producido ya en otras formas, deberíamos estar buscando producir

propiedades, capacidades y componentes que nunca hemos visto antes” (Tibbits, 2015) y en específico complementando el pensamiento de Tibbits, centrar el foco en materiales existentes y aprovechar propiedades de las que no se ha sacado provecho, como la madera, tal y como agrega Correa, Mientras que la madera sigue siendo uno de los materiales de construcción más comunes en uso hoy en día, sigue siendo predominantemente diseñado para ser estandarizado industrialmente en lugar de tomar ventaja de sus propiedades inherentes anisotrópicas (Correa, et al., 2015)

Correa en la misma revista introduce a la madera en la impresión con una propiedad poco utilizada en la industria, la propiedad higroscópica. Diferentes experimentos han centrado su foco en esta propiedad, que en la búsqueda de materiales reactivos o auto transformables para sobrepasar los límites del auto ensamblaje o de piezas “programables” apuestan por la propiedad higroscópica de la madera, agregando humedad a la ecuación para curvar estructuras principalmente planas.



Figura 3. Plegado programado por humedad de una lámina impresa en filamento de madera (Correa, et al., 2015)

2. EL FILAMENTO DE MADERA

Correa y Tibbits dejan de manifiesto la relevancia e importancia de experimentar con nuevos materiales en la impresión, buscando nuevas aplicaciones y propiedades.

El mundo de la impresión no se ha quedado atrás, gracias a proyectos como RepRap, la cantidad de personas experimentando con la impresión va en aumento y así nuevas propuestas.

Kai Parthy en el año 2012 en la búsqueda de solucionar el efecto Warping en la impresión, error común en donde la base de los objetos impresos tiende curvarse y separarse de la cama de impresión debido a la contracción del material al enfriarse, llega a lo que conocemos hoy en día como Laywood (Molitch-Hou, 2014).

Un filamento de madera compuesto por un 40% de madera reciclada que revolucionó la impresión tradicional en casa, que por el momento no conocía más que la impresión en un 100% plástico.

Si bien la búsqueda de solucionar un problema asociado al proceso de impresión tuvo efecto, logró dos resultados colaterales de alta relevancia, la disminución de utilización de plástico para imprimir (40%) y además el aspecto más importante para la investigación de este documento, un cambio en el aspecto en los objetos impresos.

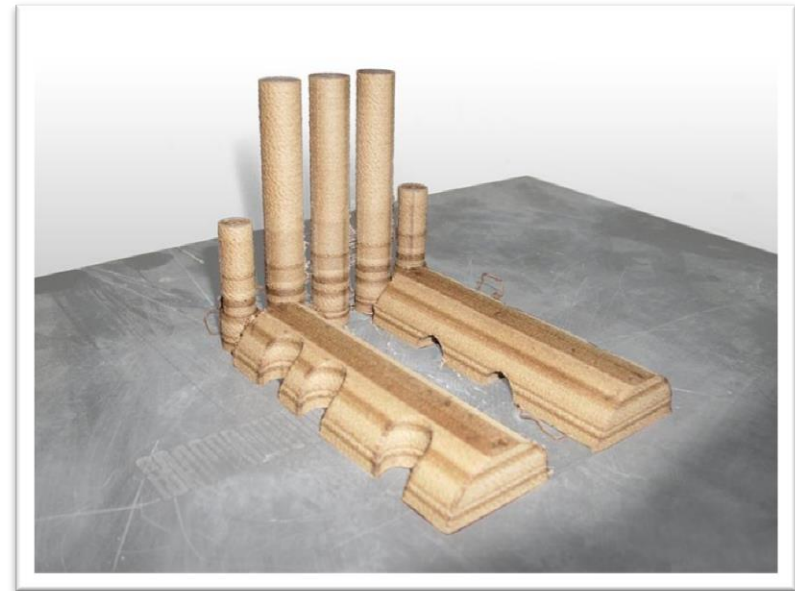


Figura 4 Primeras piezas impresas en filamento de madera por Kai Parthy (<http://www.thingiverse.com/thing:30552>)

2.1 CAMBIO DE ASPECTO EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN

Como el autor menciona, en la (Figura 5) se puede apreciar el efecto “anillos de árbol”, que se asemeja al efecto producido por la madera al ser tallada perpendicularmente a los anillos de crecimiento del árbol.

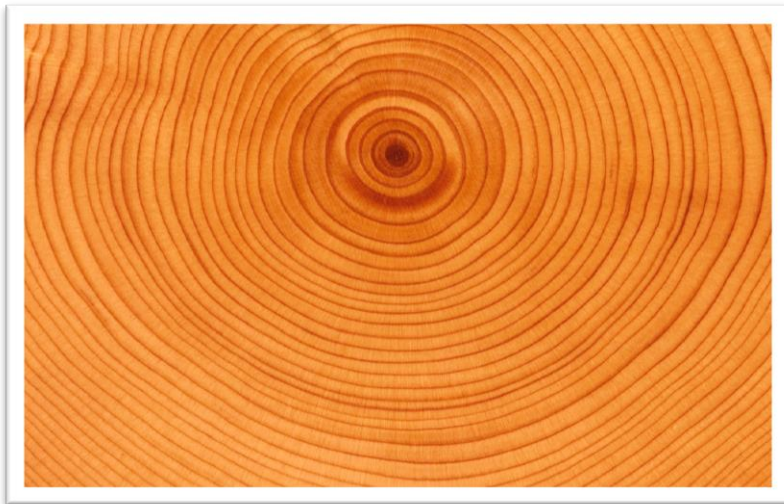


Figura 5 “Anillos de Madera” El Aspecto de la Veta (<http://ow.ly/jWKW303TcRM>)

La forma de lograr el efecto de los anillos de árbol no es un proceso simple y requiere variaciones de temperatura para lograr oscurecimiento en el filamento, para esto algunos usuarios han desarrollado distintos procesos

donde el más básico sería, detener la impresión y variar la temperatura y lo más complejo programar desde el Código G, mediante Python, las variaciones de temperatura.

```
ome/jeremie/workspace/ultimaker/scr  Browse...  /home/jeremie/workspace/ultimaker/scr  Browse...
;TYPE: CUSTON
M92 E506.000000
;Sliced ./art/frog/frog_test_45.stl at: Tue 12 Feb 2013 08:39:
;Basic settings: Layer height: 0.2 Walls: 0.8 Fill: 0
;Print time: 0:07
;Filament used: 0.08m 0.70g
;Filament cost: Unknown
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
M107 ;start with the fan off
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops
G28 Z0 ;move Z to min endstops
G92 X0 Y0 Z0 E0 ;reset software position to front/left/
G1 Z15.0 F180
G92 E0 ;zero the extruded length
G1 F200 E3
G92 E0 ;zero the extruded length again
;G1 X100 Y100 F9000
G1 F9000
;LAYER: 0
;TYPE: SKIRT
G1 X86.553 Y93.168 Z0.3 F9000.0
G1 F2400.0
G1 E4.5
G1 F9000.0
G1 X87.662 Y101.3 Z0.3 F1200.0 E4.6393
G1 X93.712 Y108.965 E4.8051
G1 X95.218 Y110.756 E4.8448
G1 X96.681 Y111.642 E4.8739
G1 X103.256 Y111.654 E4.9855
G1 X104.745 Y110.795 E5.0147
G1 X105.953 Y109.413 E5.0458
G1 X112.289 Y101.345 E5.22
G1 X113.425 Y93.158 E5.3603
G1 X111.416 Y89.721 E5.4279
G1 X108.72 Y88.471 E5.4783
G1 X91.279 Y88.475 E5.7745
G1 X88.609 Y89.702 E5.8243
G1 X86.553 Y93.168 E5.8927
G1 X87.008 Y93.306 F9000.0
G1 X88.085 Y101.15 F1200.0 E6.0271
G1 X94.044 Y108.737 E6.1909
G1 X95.482 Y110.448 E6.2289
G1 X96.768 Y111.226 E6.2544
G1 X103.18 Y111.236 E6.3632
G1 X104.487 Y110.482 E6.3889
G1 X105.627 Y109.178 E6.4183
G1 X111.873 Y101.188 E6.5904
G1 X112.973 Y93.299 E6.7257
G1 X111.113 Y90.021 E6.7896
;WoodGraph: Wood temperature graph (from 190C to 240C):
;WoodGraph: Layer 27 @196C | ##.....
;WoodGraph: Layer 26 @201C | ###.....
;WoodGraph: Layer 25 @204C | ####.....
;WoodGraph: Layer 24 @204C | ####.....
;WoodGraph: Layer 23 @200C | ####.....
;WoodGraph: Layer 22 @193C | #.....
;WoodGraph: Layer 21 @234C | #####.....
;WoodGraph: Layer 20 @222C | #####.....
;WoodGraph: Layer 19 @211C | #####.....
;WoodGraph: Layer 18 @203C | #####.....
;WoodGraph: Layer 17 @200C | ###.....
;WoodGraph: Layer 16 @201C | ###.....
;WoodGraph: Layer 15 @203C | ####.....
;WoodGraph: Layer 14 @205C | #####.....
;WoodGraph: Layer 13 @209C | #####.....
;WoodGraph: Layer 12 @213C | #####.....
;WoodGraph: Layer 11 @216C | #####.....
;WoodGraph: Layer 10 @216C | #####.....
;WoodGraph: Layer 9 @214C | #####.....
;WoodGraph: Layer 8 @211C | #####.....
;WoodGraph: Layer 7 @210C | #####.....
;WoodGraph: Layer 6 @212C | #####.....
;WoodGraph: Layer 5 @214C | #####.....
;WoodGraph: Layer 4 @218C | #####.....
;WoodGraph: Layer 3 @225C | #####.....
;WoodGraph: Layer 2 @232C | #####.....
;WoodGraph: Layer 1 @237C | #####.....
;TYPE: CUSTON
M92 E506.000000
;Sliced ./art/frog/frog_test_45.stl at: Tue 12 Feb 2013 08:39:
;Basic settings: Layer height: 0.2 Walls: 0.8 Fill: 0
;Print time: 0:07
;Filament used: 0.08m 0.70g
;Filament cost: Unknown
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
M107 ;start with the fan off
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops
G28 Z0 ;move Z to min endstops
G92 X0 Y0 Z0 E0 ;reset software position to front/left/
M104 S218
G1 Z15.0 F180
G92 E0 ;zero the extruded Length
G1 F200 E3
G92 E0 ;zero the extruded Length again
;G1 X100 Y100 F9000
G1 F9000
;LAYER: 0
;TYPE: SKIRT
```

Figura 6 Grafico Código G para el cambio de aspecto en impresión (<http://www.thingiverse.com/thing:49276>)



Figura 7 Búho Impreso en 3D con Cambio de aspecto mediante cambio de código G (<http://www.thingiverse.com/thing:49276>)

Si bien los resultados logran replicar de manera interesante la veta de la madera, las variaciones de temperatura pueden causar errores en la impresión cuando el filamento alcanza temperaturas muy altas o muy bajas para lograr variación entre anillos más claros y otros más oscuros, además estas variaciones pueden alterar la resistencia de cada capa al esfuerzo y finalmente a la pieza completa, como se comenta en blog

3dtectonix en el post “Using A Python Script To Program The Wood Texture”

“Todavía hay ciertas imperfecciones ya que el efecto de los anillos de crecimiento requiere de variaciones de temperaturas drásticas. Esto causa inevitablemente el debilitamiento del material y los anillos más oscuros poseen los puntos débiles más” (3DTectonix, 2014)

El avance de la experimentación de esta metodología de impresión a llevado a proponer por parte de TecRD (technologies informatiques recherche développement) el servicio de agregar la programación a los códigos G automáticamente.

Texture parametrization

Average wood grain size

Make it larger for slower change in texture, 3 mm is a good value mm

Minimum temperature

It depends on your filament, but Laywoo-D3 should be fine with 190. Clogging is more likely to happen with low values. Celcius degrees

Maximum temperature

It depends on your filament, but Laywoo-D3 withstands 240 well. Warning though, because when it is too hot or left to stay too long, it may clog the nozzle with solid carbon. Celcius degrees

Maximum upward temperature variation

Some printer firmwares like that of the BFB may pause to reach temperatures suddenly rised by more than 10°C. This setting caps the maximum positive increase between two changes; else set it at zero for most other firmwares like Marlin. Celcius degrees

First layer temperature

The first layer temperature can be set manually so it sticks like you need it to the bed. Leave it to zero if you want it to be computed like the other layers. Celcius degrees

Spikiness

Default is a balanced set of dark and light (1.0). With higher values (eg 2 or 3), the dark stripes will be made more sparse. You can get the opposite effect with value between 0 and 1 (eg. 0.5 will generate fatter dark bands). Exponent factor

Random seed

Zero for random, else give it a number for the same pseudo-random pattern each time. This is useful to find, and then to "freeze" the shape of the graph that you can check at the very end of the generated gcode file. Integer number

Figura 8. Parámetros para generar código G para el cambio de aspecto en el proceso de Impresión (<http://ow.ly/PYUg303TGTj>)

The G-code file to process

This is the sliced file, not the STL file. The script will look for the Z changes, and insert an M104 temperature change before each of them, according to the settings above.

No se seleccionó un archivo.

(it should be fairly quick)

Figura 9. Proceso para Generar el Código G (<http://ow.ly/PYUg303TGTj>)

2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL FILAMENTO DE MADERA, WOODFILL DE COLORFABB

Para poder diseñar y fabricar objetos en impresión 3D, además del acabado superficial se debe tener en cuenta las propiedades mecánicas del material. En el caso del Laywoo-D3 creado por Kai Parthy no existe un Datasheet sobre el material y sus propiedades. Aun así existen otras marcas de filamento en el mercado como “Woodfill de ColorFabb” que exponen las propiedades de sus diferentes filamentos, donde en específico muestran las propiedades del material en su forma tradicional. Por ejemplo Woodfill de ColorFabb es procedente del material Fibrolon® V 135002 hecho específicamente para la producción de filamento.

Technical data sheet	
Product name:	Fibrolon® V 135002 (trial grade)
Date of issue:	18 December 2014
Designation of product, preparation and manufacturer	
Trade name:	Fibrolon® V 135002 (trial grade)
Use of product:	Polymer blend based on poly lactid acid, suitable for the production of 3D printing filaments. Contains wood fibers.
Manufacturer:	FKuR Kunststoff GmbH Siemensring 79 D - 47 877 Willich Phone: + 49 (0) 2154 / 92 51-0 Fax: + 49 (0) 2154 / 92 51-51 Mail: info@fkur.com Web: www.fkur.com



Figura 10. Hoja técnica del Material Woodfill de ColorFabb (<http://ow.ly/OBxZ303TcUU>)

Mechanical properties			
Modulus of elasticity	3,290	[MPa]	ISO 527
Tensile strength	46.0	[MPa]	ISO 527
Tensile strain at tensile strength	4.8	[%]	ISO 527
Tensile stress at break	42	[MPa]	ISO 527
Tensile strain at break	5.5	[%]	ISO 527
Flexural modulus	3,930	[MPa]	ISO 178
Flexural strain at break	5	[%]	ISO 178
Flexural stress at 3.5 % strain	70	[MPa]	ISO 178
Notched impact strength (Charpy), RT	4.2	[kJ/m ²]	ISO 179-1/1 eA
Impact Strength (Charpy), RT	19.0	[kJ/m ²]	ISO 179-1/1 eU
Shore D hardness	n/a	[-]	DIN 53505
Density	1.15	[g/cm ³]	ISO 1183
Bulk density	n/a	[kg/m ³]	ISO 80

The values listed have been established on standardized test specimens (DIN EN ISO 3167, type A) at standard temperature and humidity conditions.

Figura 11. Hoja técnica del Material Woodfill de ColorFabb (<http://ow.ly/OBxZ303TcUU>)

En este caso, en el “datasheet” no se especifica si las pruebas mecánicas son hechas con probetas impresas o con probetas manufacturadas con métodos tradicionales como la inyección, sólo específica que son probetas estandarizadas que cumplen la norma ISO 3167. Así, sin un documento que informe sobre la consideración de las probetas en cuanto a si son o no impresas en 3D, se asume que los valores presentados son para probetas de manufactura tradicional y que para homologar los valores con probetas impresas en 3D, se consideraría un Infill de un 100% y sólo una dirección de impresión para acercarse a los valores reales.

3. LA MADERA Y SU ESTRUCTURA MICROSCÓPICA

3.1 IDENTIFICANDO LA MADERA Y SU ESTRUCTURA

Es de conocimiento común que la madera proviene de los árboles. Lo que no es tan evidente es la estructura de la madera en sí y los elementos individuales que componen cualquier pieza de madera. A diferencia de la mayoría de piezas homogéneas de poliestireno, MDF u otro material artificial, la madera es un material orgánico y tiene muchas características distintivas (Meier, 2016).

La estructura en distintas escalas es crítica para el rendimiento y las propiedades de este material natural (Mayo, Chen, & Evans, 2010). Un adecuado procesamiento de la madera, especialmente el secado, depende de la identificación de la especie correcta, diferentes especies y grupos de especies requieren distintos protocolos (Wheeler & Baas, 1998).

Una distinción inmediata y amplia que se puede hacer entre los tipos de árboles y la madera específicamente es la distinción entre las maderas Duras – Angiospermas (arce, roble, palo de rosa) y Blandas – Gimnospermas (pino, píceas, abeto) (Meier, 2016).



Figura 12. Árbol palo de rosa (goo.gl/HYNYME)

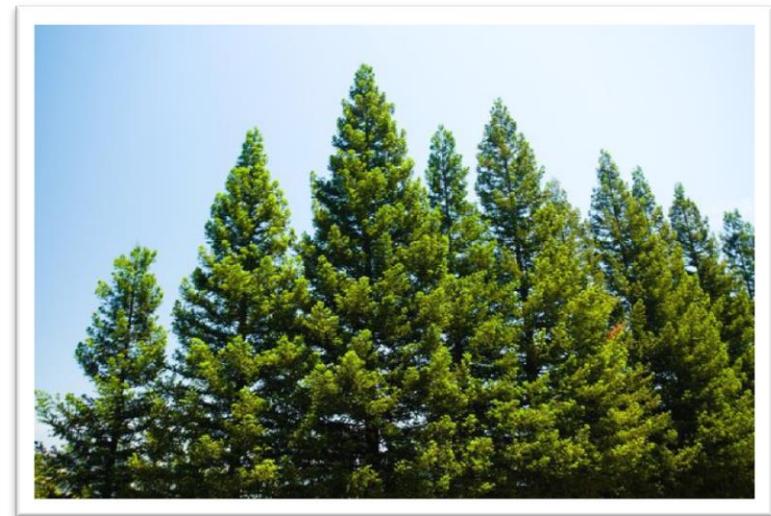


Figura 13. Pino perteneciente a las coníferas (goo.gl/HdlrHz)

La identificación de la madera además tiene valor en una variedad de contextos además del sistema industrial, como por ejemplo en contextos comerciales, forenses, arqueológicos y paleontológicos. (Wheeler & Baas, 1998) En el área comercial – industrial es de especial relevancia la verificación de la fuente y la identidad de la madera con el fin de hacer cumplir las prohibiciones sobre el comercio de maderas de especies en peligro de extinción (Baas, 1994) los funcionarios de aduanas necesitan saber ya sea troncos, maderas y productos de madera están etiquetados correctamente para que las tarifas pueden evaluarse adecuadamente y cumplidas regulaciones del comercio. (Wheeler & Baas, 1998).

3.2 LAS MADERAS BLANDAS

Los árboles de maderas blandas tienden a tener un tronco único, dominante, recto y con pequeñas ramas laterales. (Meier, 2016). La madera tiene una textura más homogénea o presenta orificios más pequeños, conocidos como canales resiníferos, a diferencia de las maderas duras que contienen vasos (Martins, et al., 2013), la estructura contiene traqueidas longitudinales en su mayoría y las células parenquimáticas en la sección radial, ambas sirven como el principal elemento estructural del árbol y para el transporte de agua, los nutrientes y el almacenamiento de alimento y transporte

de productos de desecho respectivamente a lo largo de los tallos, ramas y raíces (Mayo, Chen, & Evans, 2010).

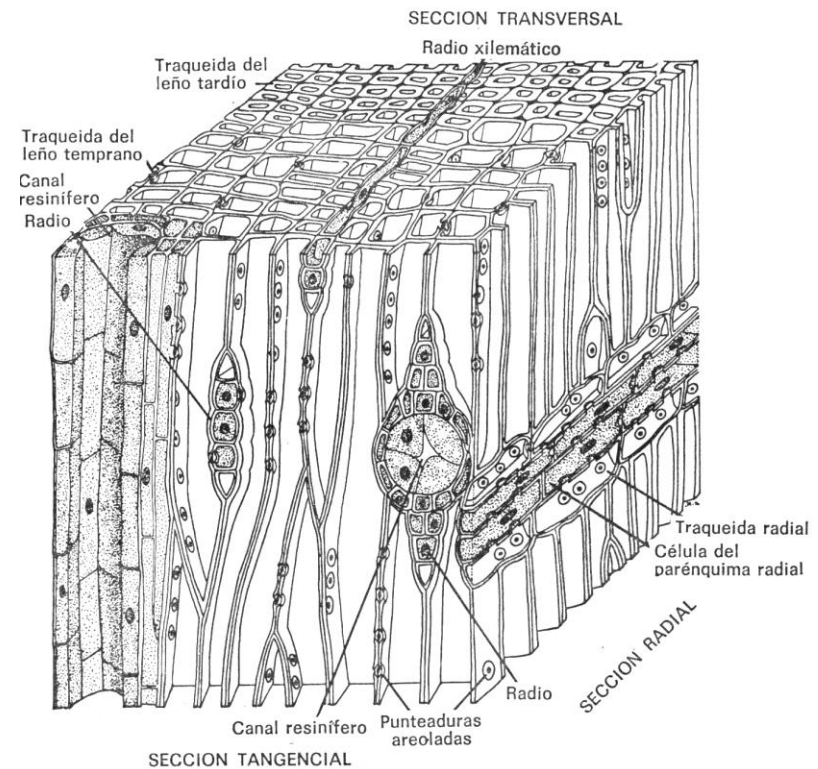


Figura 14. Vista ilustrada de la micro estructura en tres secciones de corte (goo.gl/rbcU3M)

Otra característica visual de la madera blanda es el anillo de crecimiento, siendo más notorio que en maderas duras. Es definido como la diferencia en el grosor de las paredes celulares o traqueidas, resultantes del

crecimiento anual del árbol (Martins, et al., 2013). El crecimiento en zonas templadas por ejemplo es más activo en primavera y se denomina madera temprana y el proceso decrece en verano, conocido como madera tardía (Meier, 2016). Esto puede variar según las zonas de origen, habiendo mayor actividad de crecimiento en verano-primavera y un decrecimiento en invierno-otoño (Martins, et al., 2013)

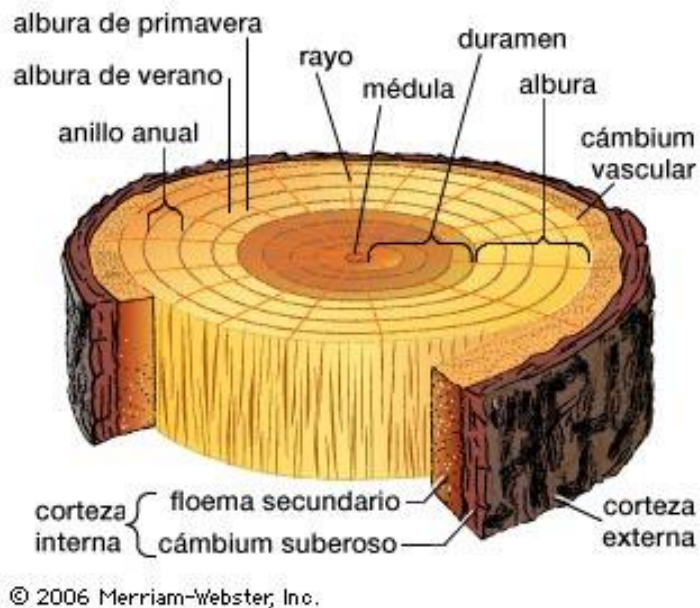


Figura 15. Corte tangencial y vista de la estructura de un tronco (goo.gl/zjj2Cr)

3.3 LAS TRAQUEIDAS O FIBRAS

Las fibras o traqueidas son el cuerpo principal de las células de la madera y crecen aproximadamente paralelas al eje del tronco o ramas (Mayo, Chen, & Evans, 2010) pueden variar de diámetro dependiendo de la especie, debido a que representan más del 90% de las células, su diámetro influye en la textura general y en la sensación de la madera, mientras más grande el diámetro, más gruesa o porosa es la textura (Meier, 2016)

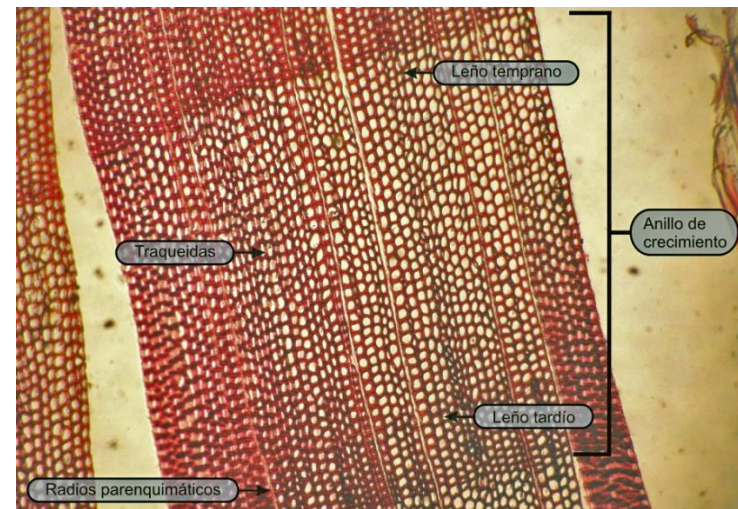


Figura 16. Estructura microscópica de madera de araucaria (goo.gl/zBeJwG)

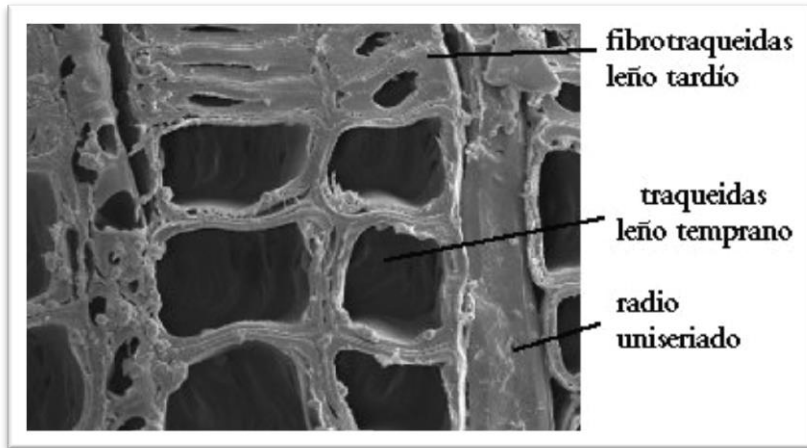


Figura 17. Detalle de la zona límite entre el leño temprano y el leño tardío de un corte transversal de Pino, MEB, 1500x (goo.gl/f7oZFA)

Como se puede observar en una vista al detalle de las traqueidas claramente se distinguen las etapas de crecimiento (Marins, et al., 2013; Meier, 2016) marcadas por una etapa temprana y una tardía identificables por la variación del grosor de las paredes celulares, comportamiento que como se menciona anteriormente será el responsable de anillos de crecimiento visibles de las maderas blandas, la textura de la madera y sus características estructurales (Mayo, Chen, & Evans, 2010).

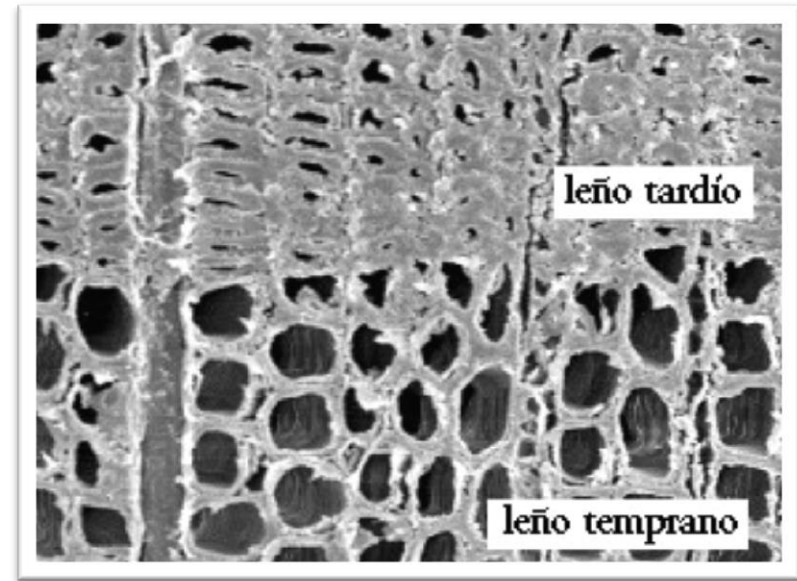


Figura 18. Detalle de corte transversal de madera de Pino con menor aumento, del anillo de crecimiento y el límite entre etapas. MEB, 800x (goo.gl/DT3P6y)

4. BIOMÍMESIS

4.1 BIOMÍMESIS Y LA INNOVACIÓN EN LOS PRODUCTOS.

En la naturaleza existen soluciones que pueden ser usadas como base para nuevos productos con un gran potencial de innovación (López & Berges, 2012), al no mirar el desarrollo de la naturaleza sus funciones, sistemas, organismos, estructuras o materiales, estamos limitando las posibilidades y oportunidades de mejorar el diseño de nuestros productos y de encontrar soluciones eficaces a problemas comunes (Bar-Cohen, 2006). Es necesario entonces comprender la genialidad de la naturaleza y aplicar esta comprensión a los procesos de diseño industrial a través de estudios en biomímesis (López & Berges, 2012).

La biomimética, biomímesis o biónica se define como la imitación o la inspiración en las formas y procesos de la naturaleza para resolver problemas humanos, (Klein, 2009; Benyus, 1997), la aplicación de estas soluciones o principios naturales puede hacer a los productos más creativos y originales (López & Berges, 2012) además de ser útiles y exitosos en encontrar inspiración para el diseño de soluciones (López, 2010).

Diferentes metodologías utilizan analogías, imitaciones, traducciones, copias o inspiración en la naturaleza para encontrar soluciones apropiadas para los problemas de hoy en día, siendo estos funcionales, estructurales o en la búsqueda de nuevos materiales y en la vinculación con la forma o la estética (López & Berges, 2012).

Estas metodologías son válidas bajo ciertas circunstancias y ambientes y deben usarse para mejorar los procesos de diseño como un método complementario, la combinación con otras metodologías ha demostrado ser un potencial recurso creativo junto con otros procesos de diseño (Viñolas i Marlet, 2005) en distintos niveles, desde lo elemental por ejemplo, asimilando formas o geometría, hasta lo más complejo y sofisticado como la detección de sistemas (López & Berges, 2012).

4.2 BIOMÍMESIS Y DISEÑO SUSTENTABLE

La sociedad y en específico las comunidades de diseño se están dando cuenta del tremendo impacto que están provocando las construcciones y los productos en el mundo, debido a esto diseñadores buscan desde hace mucho nuevos enfoques para avanzar en diseños más sustentables (Klein, 2009).

Existe hoy más que nunca la necesidad de un cambio e imitar a la naturaleza para asegurar un futuro más sustentable (Benyus, 1997). Este cambio de enfoque debe incluir a la biomímesis como una mejor práctica para el cuidado de la tierra y el esencial objetivo de mejorar la salud y el bienestar de las personas y el entorno (Rossin, 2010).

A medida que el diseño sustentable se convierte en un tema ampliamente aceptado, nuevas visiones, como la biomímesis, avanzan para lograr un futuro sustentable (Klein, 2009), sugiriendo que soluciones enfocadas solo en métodos de cálculos ignoran la compleja relación entre las personas y el medio ambiente. La escala del diseño sustentable es elegida no sólo por ser más inclusiva, sino que como un recordatorio de que todos los diseñadores juegan un importante papel en la configuración del entorno construido, (Klein, 2009) desde las ciudades, los edificios, interiores hasta los productos que nos rodean.

4.3 LA METODOLOGÍA DE BIOMÍMESIS Y LA IMITACIÓN DE LA FORMA “BIOMORF”.

Algunos científicos que trabajan con biomímesis advierten que simplemente imitar las formas de la naturaleza puede hacer que se pierda el enfoque inicial (Benyus, 1997). Utilizando un lenguaje apropiado y preciso se puede ayudar al público a distinguir de un diseño morfológico inspirado en la naturaleza y una auténtica biomímesis (Mugerauer, 1985). La palabra morfología es usada por científicos para describir la forma y la estructura de la naturaleza, puede describir características topográficas y geológicas o características de las plantas y animales (Klein, 2009). Por esta razón se sugiere por distintos autores que los diseñadores utilicen la palabra “Bio-forma” (Biomorf en inglés) para describir los casos de diseños que meramente imiten la apariencia de formas naturales (Feuerstein, 2002)

A diferencia de una imitación esencialmente de la forma, la biomimesis permite asimilar resultados eficaces y óptimos de la naturaleza, que en la mayoría de los casos lleva al aprendizaje de un principio básico, esta es precisamente la característica más valiosa de la biomimesis, la capacidad de extraer el principio y extrapolarlo a lo artificial (López & Berges, 2012) y que responda a las necesidades específicas del diseño de un producto.

Los métodos conocidos de trabajo en biomimesis pueden agruparse en dos grandes grupos. Los que derivan de la biología para resolver un problema de diseño son procesos de diseño indirecto; y los que comienzan con un problema de diseño y uso de principios de la naturaleza para resolver el problema son los procesos de diseño directo (Roshko, 2010)

Otra forma de reconocerlos es por ejemplo estudiar un caso biológico, extraer los principios biomecánicos y de morfología funcional y luego aplicar los conocimientos a disposición de la tecnología (Gester, 2007), que se definiría como la metodología “Bottom-up” o ascendente (López & Berges, 2012) y una estrategia alternativa que consiste en la búsqueda de soluciones posibles desde el modelo biológico en base a un problema técnico específico que se denominaría como un proceso “Top-Down” o descendente.

El proceso descendente entonces, comienza con la detección de un problema técnico y continúa, buscando analogías en la biología, identificando los principios pertinentes, formulando abstracciones y una posterior aplicación a través de prototipos y pruebas (López & Berges, 2012). El ascendente por otra parte comienza con la elección e identificación de un sistema biológico que ofrecerá las oportunidades para desarrollar un principio, función o material.

Estos procesos son exploratorios y el resultado final no es ninguna garantía de éxito. Por otro lado, estos procesos pueden proporcionar soluciones innovadoras que pueden resultar en la obtención de soluciones originales, que representan ventajas sobre los demás como los procesos normativos (López & Berges, 2012).

Ambos procesos son válidos y tienen en común el hecho de que es necesaria la colaboración interdisciplinaria entre tecnología y biología para su desarrollo (Milwich & Speck, 2006).

5. DISEÑO GENERATIVO

5.1 DEFINICIONES DE DISEÑO GENERATIVO

El diseño generativo en general puede ser descrito como un método de diseño donde la generación de la forma se basa en reglas o algoritmos, derivados a menudo de herramientas computacionales, tales como Processing, Rhinoceros, Grasshopper y otras plataformas de secuencias de comandos o “scripting”, (Agkathidis, 2015) es un proceso cíclico que se basa en una simple idea abstracta, que se aplica a una regla o algoritmo (Lazzeroni, et al., 2012). Si bien conceptualmente se puede entender el término, no hay una definición específica y única para el diseño generativo (Agkathidis, 2015)

El diseño generativo se puede definir también como un proceso de morfogénesis de algoritmos estructurados como un sistema no lineal para un sinnúmero de resultados únicos e irrepetibles realizados por un código o idea, como en la naturaleza (Soddu, 1994). De hecho, se asocian fuertemente las nociones de diseño generativo y morfogénesis digital (Agkathidis, 2015)

La morfogénesis digital se puede describir como un proceso de auto organización, como el crecimiento de organismos vivos (Hensel, Menges, & Weinstock, 2006). Aun así tal como para el término 'diseño generativo', no existe ninguna definición única para la morfogénesis, y al parecer la terminología está cambiando en relación con las nuevas tecnologías y técnicas (Agkathidis, 2015)

Los modelos de diseño generativo capaces de una transformación constante, continua y dinámica están reemplazando las normas estáticas de los procesos convencionales (Lazzeroni, et al., 2012). Las geometrías más complejas se producen con la misma facilidad que geometrías de formas planas, cilíndricas, esféricas o cónicas. Rejillas, repeticiones y simetrías pierden su razón última, donde la variabilidad infinita se hace factible, la modularidad y personalización en masa se presentan como alternativas para la producción en masa (Kolarevic, 2003) En éste contexto el diseño morfológico se está centrando en las cualidades emergentes y adaptables de la forma, la forma ya no se está haciendo, si no que se encuentra, en asociaciones digitales principalmente, pero también en técnicas y herramientas físicas (Agkathidis, 2015). Kolarevic ve tales métodos como impredecibles mecanismos de creación, complejos, asimétricos, de infinita variabilidad y customización en masa (Kolarevic, 2003).

5.2 SISTEMAS GENERATIVOS Y DISEÑO

Como los algoritmos y los scripts son más accesibles para los arquitectos y diseñadores y la fabricación digital más accesible, lo paramétrico, los software de simulación, la optimización y los algoritmos generativos dominan las técnicas de diseño generativo hoy en día (Agkathidis, 2015). En los últimos años, las herramientas computacionales han introducido técnicas innovadoras para encontrar la forma, revolucionando la producción y el diseño.

El diseño generativo investiga las representaciones que facilitan la rápida exploración de grandes espacios del diseño (Emdanat, Stiny, & Vakaló, 1999) aplicándose a una variedad de problemas de diseño de diversas disciplinas como en la arquitectura, ingeniería y diseño de productos. Al comienzo del siglo XX, muchos visionarios en arquitectura, ingeniería y diseño, como Frederick Kieslerand o Frei Otto, aplicaban métodos de diseño muy similares al enfoque computacional de hoy (Agkathidis, 2015).

El diseño generativo ofrece nuevos modos de experiencia estética basada en la incorporación de sistemas dinámicos en la producción de artefactos y experiencias (McCormack, Dorin, & Innocent, 2004) ofreciendo una metodología y una filosofía que ve el mundo en términos de procesos dinámicos y consecuencias, Una forma no convencional de conceptualizar y trabajar en diseño, que está vinculada estrechamente con el concepto general de síntesis, más visceral evidente en la naturaleza y en los sistemas naturales (McCormack, Dorin, & Innocent, 2004).

Los sistemas generativos son relevantes para la práctica del diseño contemporáneo en una variedad de maneras, su integración en el proceso de diseño permite el desarrollo de nuevas soluciones en diseño, difíciles o imposibles de lograr por otros métodos (McCormack, Dorin, & Innocent, 2004) en combinación con la selección de lo estético, bajo la dirección de un diseñador (Innocent, 1999)

5.3 LA CULTURA DEL DISEÑO GENERATIVO

La cultura del diseño ha cambiado significativamente en los últimos diez años. En primer lugar, ha habido un mayor interés de la comunidad del diseño en enfoques colaborativos, interdisciplinarios para solucionar problemas de diseño (McCormack, Dorin, & Innocent, 2004), donde además existe una íntima conexión entre el concepto y la producción/realización en el proceso de diseño a través de la flexibilidad introducida en metodologías de diseño digital (Aunger, 2000)

El proceso de diseño en gran parte pasa a ser visto como una actividad colaborativa, interdisciplinaria que es más flexible que algunos de los enfoques que surgieron durante la década de 1970 y 1980 (Aunger 2000). Por lo tanto, implícitamente el papel del azar y la adaptación es reconocido como importante en el diseño de ideas y productos. Diseños exitosos no son necesariamente 'hechos': una nueva funcionalidad puede 'evolucionar' a través del uso y la interpretación de artefactos por el público. (Aunger, 2000; McCormack, Dorin, & Innocent, 2004)

6. DIAGRAMAS DE VORONOI

6.1 VORONOI Y SUS APLICACIONES

El Diagrama de Voronoi fue desarrollado por el matemático Petter-Lejeune-Dirichle en 1850 y luego por Voronoi en 1920, quien lo tradujo a un concepto dual junto a la triangulación de Delanuay (de Berg, et al., 2008).

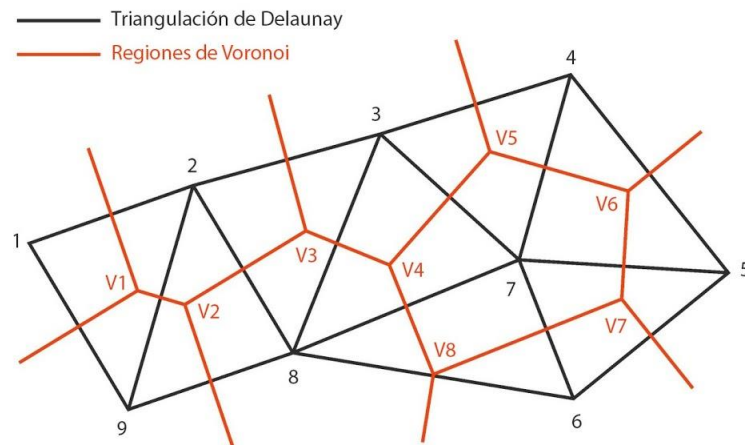


Figura 19. Triangulación de Delanuay y regiones de Voronoi (goo.gl/UmV3hs)

Su uso se expandió a muchas disciplinas por su amplio rango de aplicaciones, especialmente en la descripción de superestructuras presentes en la naturaleza, tales como los cristales y las burbujas (Flores, 2007).

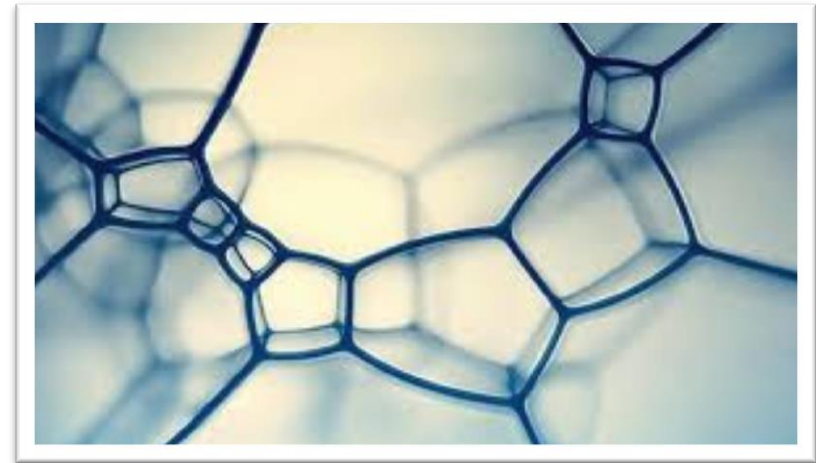


Figura 20. Burbujas y formación de diagramas de Voronoi (goo.gl/Hk2zUS)

Lo más cercano a los diagramas de Voronoi en la naturaleza incluyen los corales, algunas esponjas y los nidos de las avispas y hormigas (Gibson & Ashby, 1997).

Otros referentes se encuentran en la morfología de muchas estructuras biológicas que producen redes de apariencia natural de las células en dos dimensiones (Wood, 2013).

El diagrama es una versátil estructura geométrica que se ha utilizado en geografía social, en física, astronomía, robótica y muchos campos más. (de Berg, et al., 2008).

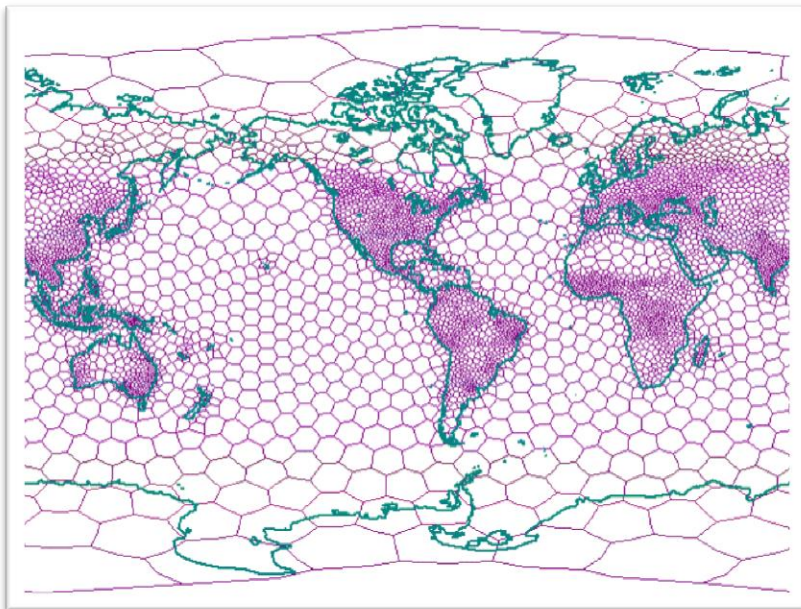


Figura 21. Diagrama de Voronoi basado en la densidad de población (goo.gl/fCNA3g)

Fenómenos diversos como el ala de una libélula, la estructura de la médula ósea y del panal puede ser descrita con los diagramas de Voronoi (Aurenhammer, 1991; Rong, et al., 2011).



Figura 22. Ala de una libélula y diagramas de Voronoi (goo.gl/5k3Q5j)

El diseñador es raramente educado para hacer uso conceptual de formas complejas como las derivadas de los diagramas de voronoi (Nordin, et al., 2011).

Las aplicaciones e investigaciones más importantes para éste diagrama se han centrado específicamente en lo computacional, solución de problemas matemáticos y en las gráficas computacionales (de Berg, et al., 2008; Wood, 2013; Vajjhala, 1999).

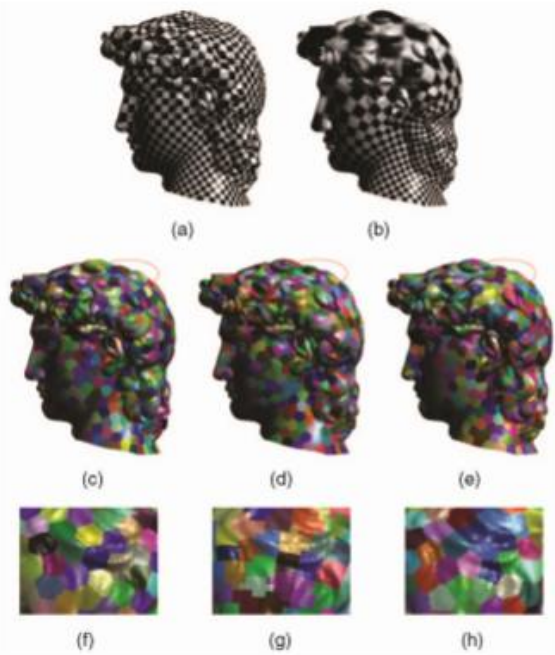


Figura 23. Diagramas de Voronoi y algoritmo de Lloyd en grafica computacional (Rong, et al., 2011)

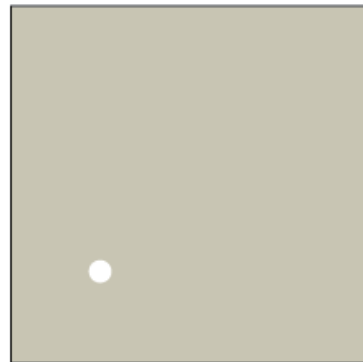
El diagrama de voronoi es creado a partir de un número de sitios de voronoi, o puntos. Cada sitio de Voronoi S está contenido en una celda de Voronoi, que contiene todos los puntos más cercanos a S que a cualquier otro sitio de Voronoi. En el caso de dos sitios s_1 y s_2 , el espacio está dividido en dos por una línea recta, que es la línea bisectriz del segmento (s_1s_2) . Si todos los sitios son coplanares, el diagrama de voronoi consistirá en polígonos o células de Voronoi. (Nordin, et al., 2011; de Berg, et al., 2008)

De manera simplificada un diagrama de voronoi en el plano está definido por una colección de N puntos y divide el plano en N regiones, tal que todos los puntos dentro de una región son los más cercanos a su sitio asociado (Vajjhala, 1999).

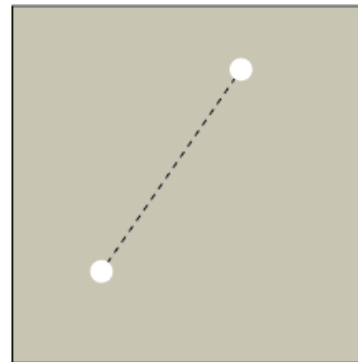
6.2 COMO DIBUJAR UN DIAGRAMA DE VORONOI

HOW VORONOI DIAGRAMS WORK

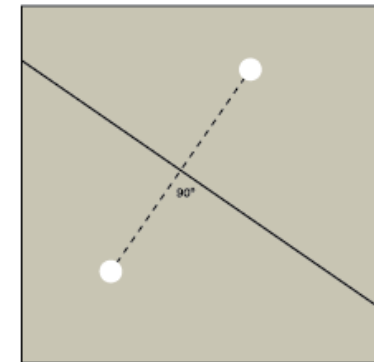
Jeff Thompson | www.jeffreythompson.org



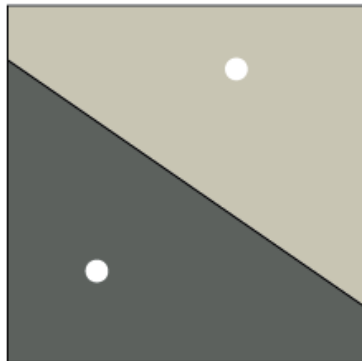
Draw a single dot anywhere on a plane



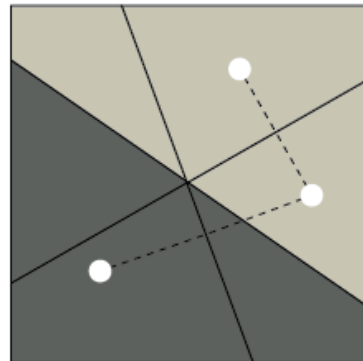
Draw a second dot anywhere and draw a line connecting the dots' centers



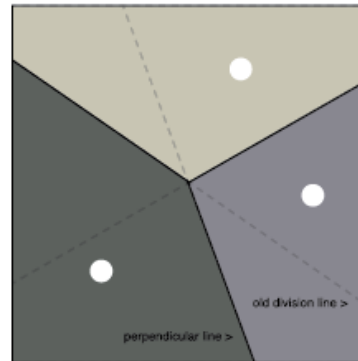
At the midpoint of the line between the two points, draw a line that is perpendicular and extend to the edges of the plane



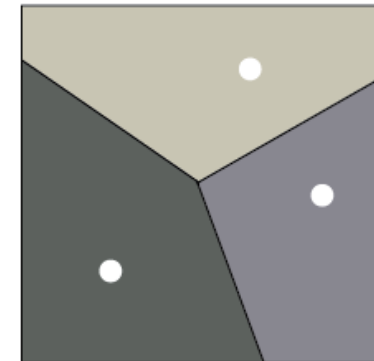
Split the plane along this line



Draw a new point anywhere on the plane; the process is repeated, though a line is now drawn between the existing two points and extended to the edges



The plane is one again split - the plane containing the dot is retained, as are any neighbors between the dot and the newest perpendicular lines



All done!

Figura 24. Cómo funciona el diagrama de Voronoi (goo.gl/vsMZxB)

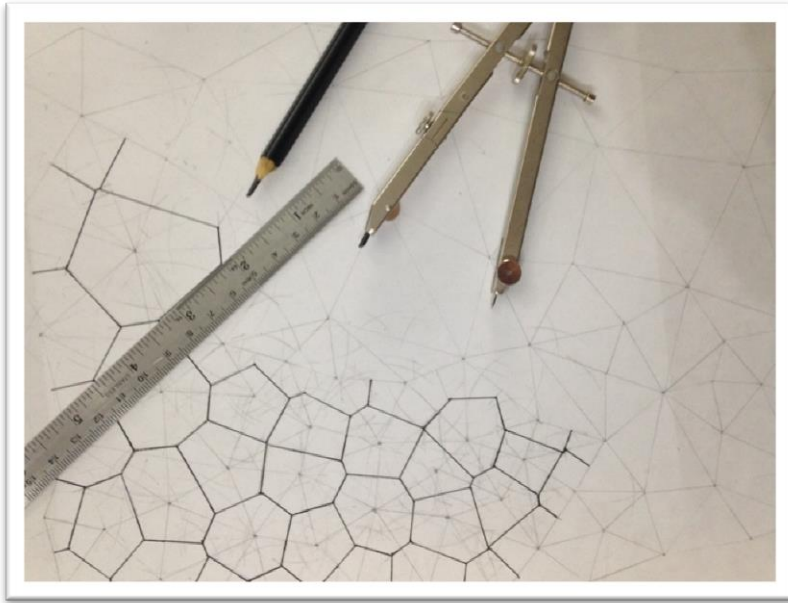


Figura 25. Dibujando un diagrama de Voronoi (Elaboración propia)

Desde un punto de vista más simplificado los diagramas de Voronoi se pueden dibujar estableciendo una cierta cantidad de puntos en el espacio en este caso en un papel.

Luego los puntos más cercanos se unirán con rectas, donde los tres puntos más cercanos generaran una triangulación. A medida que se forman la totalidad de las uniones entre puntos la triangulación resultante se le llama triangulación de Delanuy.

Posteriormente para obtener las regiones o células de Voronoi, se trazan las bisectrices de cada lado de los triángulos formados, cuando todas las bisectrices que rodean a un punto se interceptan se genera una célula o región de Voronoi.

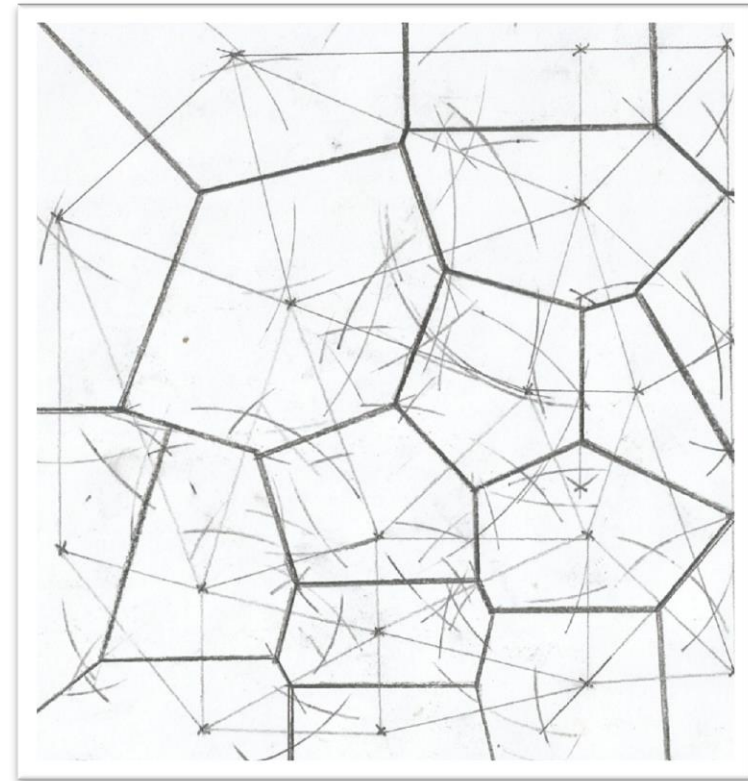


Figura 26. Detalle de la triangulación de Delanuy y las regiones de Voronoi generadas por las bisectrices intersectadas encontradas mediante compás (Elaboración propia)

7. LA IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES

7.1 PRODUCTOS FINALES

En el contexto de la impresión 3D y complementando sobre los desafíos de esta técnica, desde una mirada del diseño, uno de los desafíos más importantes es instaurar la técnica de manufactura aditiva como una herramienta para la confección de productos finales para los usuarios.

Si bien desde sus principios, la manufactura aditiva se consideraba sólo como un complemento del proceso de diseño y específicamente para el prototipado rápido, el crecimiento exponencial, debido a proyectos como RepRap, y el surgimiento de marcas como Makerbot y Ultimaker, por nombrar algunas en contraste a grandes marcas como Stratasys y 3D Systems, ha democratizado la tecnología y permitido un avance exponencial en la calidad y las capacidades de la impresión.

Así, la variedad de posibilidades y productos útiles que se pueden generar van también en aumento, y proyecciones realizadas por empresas como Gartner, plantean que en menos de una década la tecnología impactará en todos los ámbitos industriales y sobre todo en productos domésticos o de uso cotidiano (Gartner, Inc., 2015; Gartner, Inc., 2016)

Si bien esto está sucediendo, Hella Jongerius en una entrevista para el libro “Materials Experience” (Karana et al., 2014) comenta lo siguiente:

“No estoy muy atraída con las nuevas tecnologías. Por supuesto que se pueden hacer cortes con láser e impresiones 3D; pero de alguna manera todos ellos tienen el mismo aspecto - tienen el mismo sabor. Nunca están orientados a la superficie. El resultado nunca aparece “líquido” en el sentido de que no se funden en el producto” (Jongerius, 2014).

Este comentario es muy atinente a la situación de la impresión 3D y sobre todo a la técnica FDM. Las impresiones carecen de un valor estético, carecen de las propiedades estéticas de los materiales y de un valor real y significativo para el consumidor o los usuarios.

7.2 EL VALOR DEL PRODUCTO

En el prefacio de “Material Experiences” Michael Ashby pregunta, ¿Cómo eligen los consumidores los productos que compran? (Ashby, 2013) y comenta que la respuesta tiene que ver con el valor.

Todos los productos tienen costo de producción, un precio que se le designará a su venta al consumidor, variables que tienen que ver con un valor monetario, pero además, tienen un valor percibido, una medida de lo que el consumidor piensa que vale. Los consumidores compran productos por tener un valor percibido superior a su precio (Ashby, 2013).

Así, según Ashby el valor de un producto está determinado por su usabilidad, funcionalidad y por la satisfacción que el producto entregue, siendo el valor del producto una medida que evalúe si responde o sobrepasa estas solicitudes, logrando que el producto sea atractivo para el consumidor en atributos estéticos y técnicos.

7.3 LA PERSONALIDAD DEL PRODUCTO

Los materiales juegan un rol importantísimo en el valor del producto, y algunos son escogidos para liderar roles en ciertas aplicaciones (Karana, et al., 2014) como por ejemplo en los atributos estéticos. Como humanos interactuamos con los materiales a través de los productos, involucrándose en la interacción los atributos, estéticos y técnicos del producto (Ashby, 2013). Los atributos estéticos específicamente estimulan nuestros 5 sentidos y es a través de estos sentidos que experimentamos los materiales. Los diseñadores pueden estimular estos sentidos y manipular las reacciones, creando como agrega Ashby, una personalidad al producto.

La experiencia de los materiales se refiere a las experiencias que vive la gente, con y a través, de los materiales de un producto (Karana et al., 2008a) lo que considera según (Desmet & Hekkert, 2008) no sólo experiencias provocadas por los atributos estéticos, sino que también el significado que los materiales puedan evocar y las respuestas emocionales que pudieran originar. Así estos estímulos corresponden a la personalidad del producto.

Los roles que pueden liderar los materiales, son considerados por Ashby, como “actores” que pueden asumir diferentes personalidades dependiendo del rol o aplicación que se le requiera

“Y sin embargo... piensa en la madera, es un material natural con un grano, una textura superficial, un color y una sensación que otros materiales no tienen. Es táctil, se percibe más cálida que muchos otros materiales, y aparentemente más suave. Se asocia con sonidos característicos y olores. Tiene una tradición; que lleva a las asociaciones con la artesanía. Y tiene buen envejecimiento, adquiriendo un carácter adicional con el tiempo. Los objetos hechos con madera son más valorados cuando son viejos que cuando son nuevos” (Ashby, 2013).

Capítulo 2 MATERIALES Y MÉTODOS

1. EL ESTUDIO PRELIMINAR

1.1 INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO

La presente experimentación está enmarcada en una investigación preliminar cuyo propósito fue experimentar con el filamento de madera para indagar sobre los procesos de impresión adecuados para una correcta impresión.

Se exploran las propiedades del material al ser impreso, las propiedades de los objetos impresos en cuanto a densidad y peso por ejemplo, además de las propiedades de acabado superficial posibles.

El objetivo principal es la confección de probetas para una posterior evaluación sensorial, para establecer la actual condición de percepción de naturalidad y madera se encuentra el filamento de madera y los objetos impresos comparado con la madera natural.

Las consideraciones de peso y acabado fueron esenciales para evaluar las percepciones de naturalidad y madera. Las conclusiones y resultados expuestos resumen la capacidad del filamento y la impresión de lograr un aspecto de madera natural.

En los capítulos siguientes se hará un resumen sobre la exploración mediante biomímesis de la forma, explorando los diagramas de Voronoi desde el dibujo hasta lo digital y paramétrico para iniciar y desarrollar el proceso morfológico de las probetas propuestas para este estudio en particular. Esta exploración y desarrollo tiene especial importancia ya que es la base para la propuesta conceptual en esta investigación.

El otro componente relevante que tendrá la propuesta conceptual será la integración de los resultados en las decisiones de diseño sobre detalles morfológicos específicos y también sobre acabados superficiales.

1.2 CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DE LAS PROBETAS

1.2.1 Los materiales

El filamento utilizado para generar las probetas es proporcionado por ColorFabb con el nombre de “Woodfill fine” con un diámetro de 1.75 mm en un carrete de 600g. Está compuesto de un 30% de fibra de madera reciclada de pino y un 70% de PLA (Polylactic acid), el material es producido por la empresa FKUR y está hecho específicamente para la manufactura de filamento con el nombre de Fibrolon® V 135002. La textura del filamento

es rugosa y a primera vista su color es semejante al MDF al igual que su olor.

Para el proceso de acabado superficial de las probetas se utilizó un papel lija de tipo grueso medio de 100 y como sellante y teñido, una base transparente de color nogal al agua Wetcrill de Wetproof, dedicado para el tratamiento de artesanías con un acabado de semi-brillo semejante al barniz.

1.2.2 Proceso de impresión

Para la impresión de las probetas se utiliza una impresora Makerbot Replicator 2 de primera generación, con un nozzle de 0.4mm y una cama de impresión sin posibilidades de aplicar temperatura. Los parámetros utilizados para el proceso de impresión son los recomendados por la marca, para Makerbot Replicator 2 con el software Makerbot Desktop 3.9.1. Se utiliza una resolución de 0.27mm, una velocidad de impresión de 50 mm/s y un índice de retracción de 1.3mm. Tanto la temperatura de impresión como el “infill” de las probetas tuvieron 4 variaciones que consideran obtener pesos totales distintos y tonalidades de filamento distinto (Tabla 2)

Probetas	Temperatura °C	Infill
1	190°	10%
2	190°	20%
3	210°	50%
4	230°	70%

Tabla 4. Temperaturas e Infill (Elaboración Propia)

Si bien en un comienzo los parámetros contemplaban variar las temperaturas en un rango 190-240°C, la impresión a 240°C no obtuvo buenos resultados debido al descontrol en la cantidad de flujo de filamento debido a la alta temperatura, lo que provocaba una mala calidad en la impresión, imposibilitando la definición de los contornos de cada capa. Para el “infill” se escogió un patrón rectangular de 90°. Los distintos valores de infill definirán variaciones de peso y sonido para evaluar percepción de solidez y cercanía a la madera real.

1.2.3 Probeta

Las probetas se diseñan en Autodesk Inventor 2016, y se diseñan bajo dos parámetros claves; el diámetro comprendido de la figura no sobrepasa los 70mm de diámetro, siendo 5mm más ancha que una esfera de tratamiento kinesiológico para manos, definiendo así un objeto apto para su manipulación, y que además

comprendiera formas geométricas tridimensionales básicas, la esfera, pirámide y cubo, todos en un mismo objeto. La figura final además de integrar las figuras básicas, integra la herramienta fillet del programa para redondear intersecciones y bordes y se le agrega además un patrón de doble curvatura en uno de los extremos. Estas decisiones de diseño en la probeta cumplen una doble función, generar curiosidad en el que testeará sensorialmente la forma y ahorrar tiempos, costos y cantidad de probetas, integrando todos los parámetros de forma en un solo objeto.

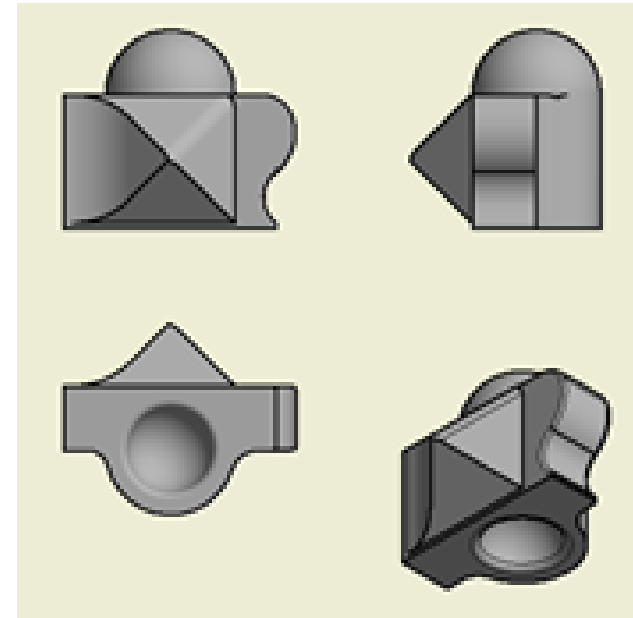


Figura 27 Vistas Frontal, Lateral, de Planta e Isométrica de la Probeta (Elaboración Propia)

Para las probetas ya impresas se consideran 4 parámetros de acabado superficial, que definirán variaciones para evaluar vista, tacto y olfato

Probetas	Acabado
1	Lijado
2	Sin acabado
3	Lijado y Teñido
4	Teñido

Tabla 5. Variación de Acabado Superficial para las Probetas (Elaboración Propia)

1.2.4 Lijado

El proceso de lijado, consiste en reducir el relieve producido por el capa a capa de la impresión, logrando una superficie homogénea al tacto y a la vista. A diferencia del ABS, el PLA no puede ser tratado con algunas técnicas ya conocidas como el tratamiento con vapor de acetona que logra derretir superficialmente el plástico para disminuir los relieves. En este caso el proceso de lijado fue manual.

1.2.5 Sellado y teñido

Para el sellado y el teñido, se aplica mediante brocha una capa de sellante Wetcrill, siguiendo el sentido horizontal de las capas de la impresión. En el caso de la probeta lijada, se procede con el mismo método simulando la dirección de las capas horizontales.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LAS PROBETAS

1.3.1 Impresión y variables

La primera variable a revisar es el infill, que no sólo definirá un peso determinado y un sonido según su solidez, sino también es un factor relevante en los tiempos de impresión (Tabla 4).

Probeta	Infill %	Peso gr	Temperatura °C	Tiempo Hrs
1	10	20≈	190	1 ½ ≈
2	20	40≈	190	2 ≈
3	50	100≈	210	4 ≈
4	70	140≈	230	6≈

Tabla 6. Resultados de Peso y Tiempo Según Infill (Elaboración Propia)

1.3.2 Infill

En primera instancia es importante recalcar los tiempos utilizados para la impresión de las piezas en relación a su infill, los cambios son drásticos y exponenciales y la cantidad de horas para un infill de un 70% es un tiempo considerable, estimando costos de utilización de la máquina y los recursos energéticos, cabe destacar que por métodos tradicionales y por la complejidad del objeto éste no podría ser realizado en menos de 6 horas, si bien no es posible hacer una estimación para este estudio, fabricar esta misma pieza solo tendría dos posibilidades, el tallado a mano y corte por CNC de 2 o de 5 ejes, ambos requerirían de fases complejas y requerimientos de precisión que tardarían en planificar, aumentando así de horas a días la confección de esta pieza y quizás tardaría días.

En cuanto a peso, perceptualmente, la diferencias de peso, deja a la probeta 4 con un peso agradable para el tamaño de la pieza, pero que puede llegar a confundir. El programa Autodesk Inventor 2016, estima una masa de la figura, en madera de pino, a 260gr, para la misma figura de pino, si se calcula un 30% menos de masa, la figura pesaría 180gr, dejando 40gr por debajo a la probeta impresa a un 70%, en contraste, para la probeta de un 10%, el valor real en madera de pino sería de 26gr,

sólo 6gr de diferencia. En el intermedio, la probeta de 50%, queda 20gr por debajo del peso real estimado de 130gr. Si bien la diferencia en gramos podría ser despreciable a bajas unidades, las diferencias serían considerables a mayores pesos, pero hacen falta probar variaciones de peso más controladas para estimar un comportamiento o patrón certero. Por otro lado, la diferencia de peso entre la probeta 4 y la pieza de madera a un 70% de su peso real podría pasar inadvertida por el usuario según su percepción de la madera y específicamente para la madera de pino, lo que podría estimar resultados positivos para la probeta 4 en una evaluación sensorial.

	100%	70%	50%	20%	10%
Autodesk Inventor estimado pieza real en madera de Pino	260g	182g	130g	52g	26g
Probeta	200g	140g	110g	40g	20g

Tabla 7. Peso Probeta y Estimaciones desde Autodesk Inventor 2016 (Evaluación Propia)

Es importante destacar, el efecto del patrón rectangular del infill, que en futuros estudios podría tener potenciales aplicaciones para texturas.

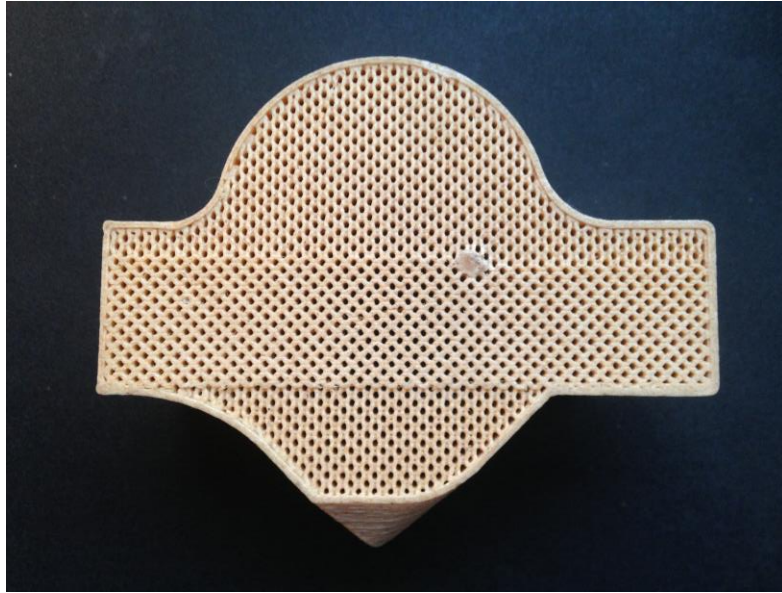


Figura 28 Corte Horizontal de la Probeta, con un Infill de 70% y un Patrón Rectangular (Elaboración Propia)

1.3.3 Temperatura

Para comprender los resultados obtenidos en las diferentes probetas con las variables de temperatura, se debe tener en cuenta que el filamento de madera tiene un porcentaje de un 70% de PLA, a diferencia de un filamento de un 100%. La temperatura de derretimiento o fundición es más baja, por tanto, al aumentar la temperatura el material pierde consistencia o viscosidad lo que produce un descontrol en el flujo y por tanto una

pérdida de la calidad. Por esto, la impresión de una probeta a una temperatura de 240°C no fue posible, ya que no se lograba una definición de la forma o del perímetro que define el volumen por capas.

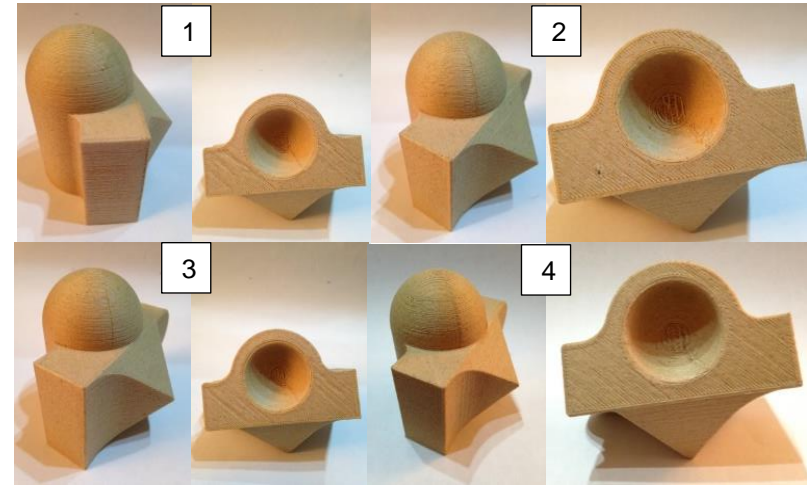


Figura 29. Resultado de las probetas (Elaboración Propia)

Los resultados para las probetas 1 y 2, los detalles de cerrado del perímetro, sobre todo en la semiesfera superior, obtuvieron una calidad estética aceptable, aunque para todas se hace visible la línea, lo que interviene en la continuidad y homogeneidad de la forma. Para las probetas 1 y 2, que fueron impresas a 190°C definen la estética que es capaz de lograr la impresión con la temperatura recomendada por el fabricante.

Se esperaba que por sobre los 190°C de temperatura existiera un cambio en el tono del color de la probeta, oscureciendo, pero a diferencia de otros filamentos no hay una diferencia visible a la vista.

Para la concavidad inferior, todas las probetas tuvieron una definición no homogénea y con restos que sólo se podrán eliminar mediante lijado, lo que podría alterar los resultados en un análisis sensorial al tacto y a la vista. La definición del resto de las figuras, mantiene una clara regularidad y aparente homogeneidad.

1.3.4 Lijado

Lo primero que hay que destacar en el proceso de lijado es una variación muy particular de color de la probeta en su superficie, si bien existe un leve opacamiento y blanqueado, es semejante a lo que ocurre cuando se lija la superficie de la madera. A diferencia de los filamentos de color que al lijarse van opacándose y perdiendo intensidad de color. Esta primera observación establece la primera propiedad relevante en el material, puede ser lijado al igual que la madera y los resultados del proceso son semejantes. El lijado y pulido de la madera es un tratamiento relevante y fundamental a la hora de obtener acabados superficiales de calidad en la madera, esta propiedad quizás podría ser relevante para usuarios experimentados que impriman en 3D y quieran terminar

sus piezas. Pero además aporta una experiencia única para los diseñadores que toma relevancia en la interacción entre el material y el diseñador que también debe ser considerado como comentan (Karana et al, 2014). Además, es importante destacar que tanto en el proceso de impresión como en el lijado se puede percibir un olor a madera, semejante al MDF, que también enriquece la experiencia de fabricación.

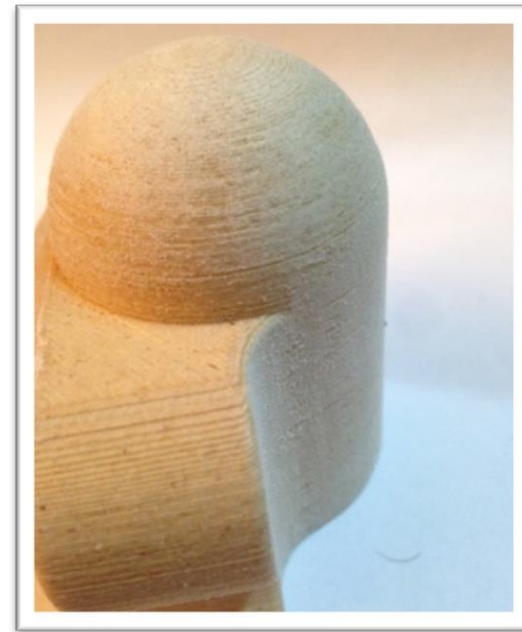


Figura 30. Superficie en proceso de Lijado, Contraste entre la tonalidad de lijado y lo impreso (Elaboración Propia)

Los resultados del lijado final logran una homogeneidad clara en comparación a las probetas no lijadas, y las líneas que marcaban las capas de impresión quedan casi en su totalidad imperceptibles al tacto y a la vista. El acabado final de las probetas lijadas, es de una textura lisa, suave y con una leve sensación de grano fino semejante a la estética en cuanto a vista y tacto al MDF.

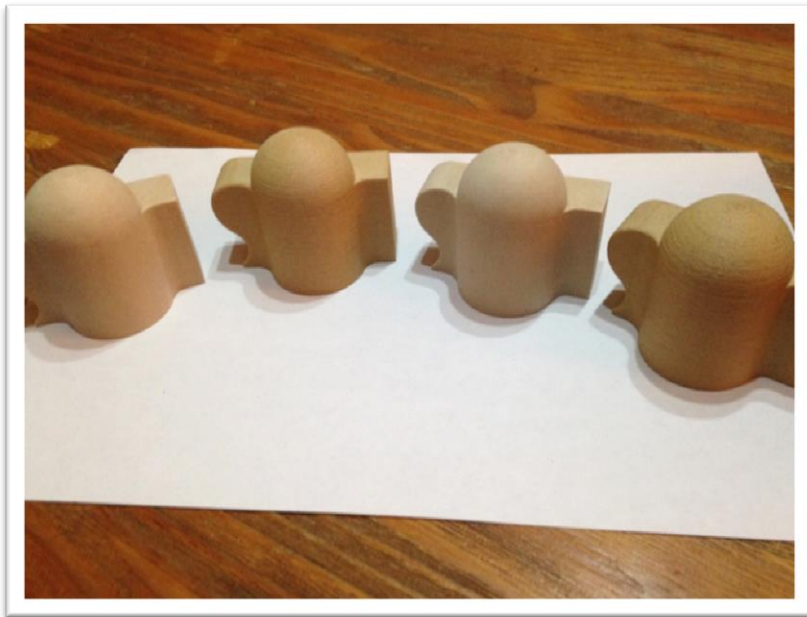


Figura 31. Resultado Final de Lijado de Probetas 1 y 2 (Elaboración Propia)

1.3.5 Sellado y teñido

El proceso de sellado y teñido fue aún más enriquecedor en sus resultados, el teñido de la probeta 3 obtuvo resultados bastante interesantes en cuanto a la semejanza a la madera bajo las mismas condiciones. El teñido mediante pincel simulando la dirección horizontal del capa a capa hizo que las superficies tomarán rasgos de un acabado en madera, si bien existe la ausencia de veta, las irregularidades que quedaron después del lijado, más un cierto porcentaje de absorción del barniz, hizo que la estética de la probeta cambiara radicalmente y que se perdieran casi la totalidad de rastros de la impresión 3D



Figura 32 Resultado final de lijado y teñido de una probeta adicional con corte horizontal (Elaboración Propia)

Para el teñido sin lijar, los resultados también son interesantes y útiles, ya que aunque la superficie de la probeta no fue lijada y quedaron los indicios de la impresión.

El efecto que produce el oscurecimiento de los relieves bajos produce una sensación a la vista, más cercana a lo que podría ser la veta de la madera.

En un estudio futuro se debe analizar la calidad de resultados fundiendo ambas técnicas, zonas lijadas y zonas menos lijadas, intentando replicar la irregularidad característica de la madera.



Figura 33. Resultado final de teñido sin lijar de una probeta adicional con corte horizontal (Elaboración Propia)

Para la probeta sin acabado superficial, el resultado es semejante al del teñido sin lijar, solo que al tener un tono más claro la superficie se ve más homogénea en color y en el patrón del capa a capa, sin embargo, no deja de tener un aspecto más cercano a la madera que al plástico, por lo que sigue cumpliendo su función y tiene bastante información estética como para ser evaluada y comparada.



Figura 34 Resultado final sin acabado superficial de una probeta adicional con corte horizontal (Elaboración Propia)

Los tres procesos más, el lijado sin teñido, obtienen resultados estéticos distintos, en todos sus parámetros, que era lo que se buscaba a la hora de proponer las variables, y la búsqueda de texturas, olores, colores y pesos.

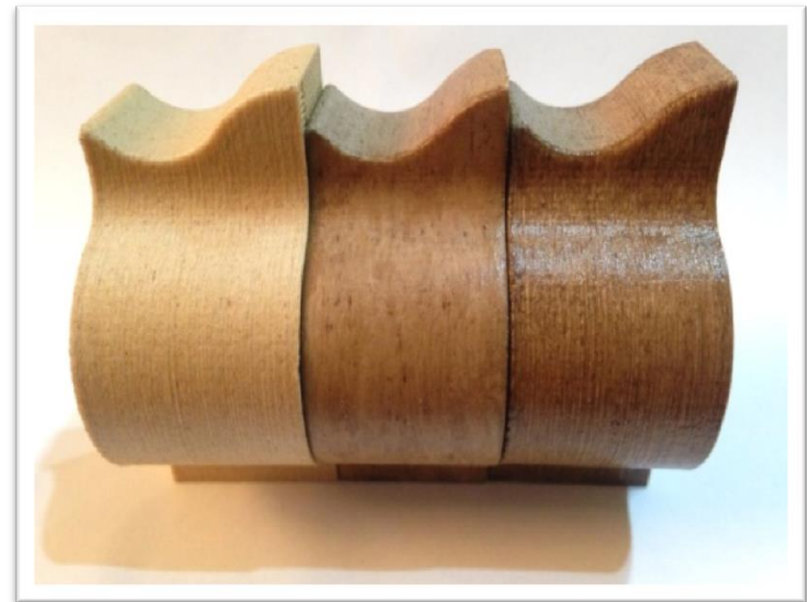


Figura 35 Resultado final de las probetas y su comparación, probetas adicionales con corte horizontal (Elaboración Propia)

El acabado superficial para las probetas finales, generan un alto contraste entre ellas y sus variables y logran un efecto estético de alto valor para futuros análisis.

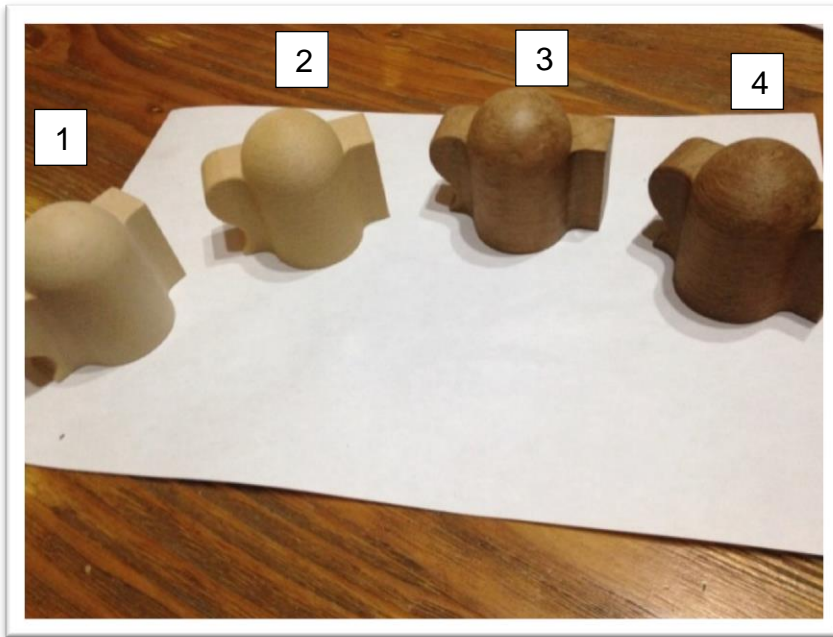


Figura 36 Resultado final de probetas (Elaboración Propia)

1.3.6 Conclusiones

Algunos comportamientos de las probetas eran esperados por los distintos datos obtenidos de la revisión bibliográfica como sus capacidades de absorción y los parámetros de impresión.

El filamento no reaccionó a los cambios de temperatura como era esperado, como le sucede al filamento Laywoo-D3, demostrado en el blog 3dtectionix y en Thingiverse, donde intentan replicar la veta o anillos de madera en objetos impresos. El comportamiento sin embargo del Filamento Woodfill da mejores resultados, ya que a altas temperaturas algunos filamentos pierden adhesión y estabilidad estructural, a diferencia de este.

Las probetas desarrolladas bajo esta metodología, aseguran un material útil y rico en información para posteriores evaluaciones sensoriales. Así, se demuestra que el filamento tendría potenciales posibilidades de ser un material que sin mayores intervenciones podría agregar valor a productos impresos en 3D. Haciendo un paralelo entre los resultados obtenidos y las observaciones hechas por la diseñadora Hella Jongerius, las 4 probetas desarrolladas se escapan de los parámetros mencionados, como un aspecto semejante entre las probetas, y además una gran diferencia con la impresión de objetos con un 100% de plástico.

En cuanto a los desafíos de la impresión 3D, propuestos en la revisión bibliográfica, las probetas no abren nuevos conocimientos sobre el comportamiento del material, pero por contraste abre un amplio espectro de posibilidades de estudio y aplicaciones en la disciplina del diseño y en el mundo de los objetos cotidianos y

domésticos. Dentro de este espectro se considera que este material es de suma relevancia a la hora de tomar decisiones de diseño si la impresión 3D se considera como el método de fabricación final.

Otro punto que se abre serán las futuras experimentaciones con texturas aplicadas a las superficies del objeto, donde el patrón rectangular podría tener un valor estético considerable, y no se descarta probar con otros patrones regulares y también irregulares que además sean patrones que se inspiren en patrones orgánicos, para explorar nuevas aplicaciones en la textura de los objetos.

Los parámetros de infill y sus resultados en el peso, pueden aportar mucha información en un posterior análisis sensorial. Pueden existir relaciones entre los pesos, que entreguen información sobre si el 70% de infill es predominante sobre los otros o si la diferencia entre un 50 y un 70% perceptualmente no es absolutamente relevante. Además, los distintos pesos no excluyen a las probetas, ya que se podría considerar que la 1 y la 2 entren en la categoría de maderas de baja calidad técnica y confeccionada, y las 3 y 4 en las maderas de alta calidad o natural.

De todos modos, el objetivo de estas probetas es evaluar con la gente como las perciben en comparación a su percepción de la madera, y como plantean (Desmet &

Hekkert, 2008), no solo experiencias provocadas por los atributos estéticos, sino que también el significado que estas probetas puedan evocar y las respuestas emocionales que pudieran originar.

De todos modos, realizando un análisis crítico, las probetas mantienen un patrón de impresión regular y ficticio tanto en las probetas con acabado superficial y sin acabado superficial, es quizás entonces la textura o el patrón de impresión uno de los parámetros más relevantes en estudios futuros.

1.4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La discusión y conclusiones expuestas en esta sección están expuestas en base a los resultados obtenidos en el estudio preliminar (Frugone, 2016).

1.4.1 Rol y relevancia

Si bien, el material y el proceso de impresión por sí solos no son capaces de aportar naturalidad en términos generales, sus propiedades y cualidades entregan la oportunidad ideal para un trabajo posterior al proceso de impresión, donde, mediante herramientas y procesos adecuados, es posible obtener resultados significativos para su consideración en productos finales. Así, para

esta investigación, su inclusión en los productos es relevante para aportar valor estético y cumple un rol fundamental para solicitudes de cualidades centradas en la naturalidad, cambiando el panorama de una impresión 3D enfocada en el usuario fundamentalmente sustentada en el plástico.

Las cualidades sensoriales de los productos y su personalidad juegan un rol fundamental en la relación y la experiencia que puede tener la persona y la calidad percibida. Desde un punto de vista del diseño, el interés por lograr productos enfocados a generar experiencias positivas y cumplir las expectativas del usuario, es un pilar fundamental, y habla del éxito o el fracaso de un producto.

En este sentido, para poder considerar la impresión 3D como una potencial herramienta de confección de productos finales y llevarla más allá del enfoque de prototipado, es de especial relevancia enfocar las investigaciones en esta área.

El filamento de madera abre un abanico de posibilidades, que no necesariamente están centradas únicamente en la impresión 3D y sus posibles productos, sino que además expande las posibilidades de incrementar el valor de productos ya existentes producidos mediante metodologías tradicionales.

En síntesis, la impresión 3D y el filamento de madera hoy en día son herramientas, consideradas por esta investigación, como significativas e imprescindibles para el diseño, actual y futuro, de productos enfocados a las personas, actuando no solo como factor productivo final, si no que de complemento para toda la infraestructura industrial, desde los primeros cimientos de un diseño, pasando por su desarrollo, hasta su producción y comercialización.

1.4.2 Productos Finales, el Valor Estético y Aspecto de Naturalidad.

La información y resultados obtenidos son concluyentes y responden a la hipótesis planteada sobre la capacidad de la tecnología y el material. No obstante, para llegar a los resultados se requirió de procesos adicionales externos al proceso de impresión, este detalle podría contra argumentar la investigación y al mismo tiempo es el punto de inflexión para futuras investigaciones.

Independiente de los procesos adicionales, esta investigación considera que los resultados obtenidos permiten generar los primeros pasos para una investigación aplicada en donde es posible involucrar en las evaluaciones, el diseño de objetos cotidianos para someter esta tecnología a prueba en el mundo real.

Las probetas o herramientas de estudio presentadas en este documento solo incluyen geometría simple y no tienen ninguna funcionalidad asociada, por lo que las evaluaciones están restringidas a la contemplación de estas por lo que son.

Si bien podemos concluir que el trabajo realizado mediante las probetas logra entregar un valor estético distinto y natural a la impresión, el panorama aún se ve incompleto y se deben considerar más factores desde el proceso de impresión hasta el trabajo final del acabado superficial.

De todos los factores que influyen en el resultado final, es importante considerar estudiar más a fondo y experimentar con otras alternativas para la textura, relacionada directamente con el proceso de impresión, y con el acabado superficial.

La geometría propuesta para esta investigación solo establece un ideal superficial de cada superficie definida por la forma. Los objetos cotidianos hoy en día proponen un desafío debido a sus múltiples posibilidades de complejidad, que no están plasmadas en las probetas propuestas.

Se considera entonces que si bien se obtiene naturalidad por medio del acabado superficial, un trabajo sobre la forma es necesario para comprobar si se puede obtener más naturalidad una percepción de madera natural.

2. LA OBSERVACIÓN, EXPLORACIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y BIOMÍMESIS

2.1 EL INFILL EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN Y LA OBSERVACIÓN

Durante la investigación preliminar surge el interés del aspecto de la madera y su composición estructural a nivel microscópico, su complejidad abrió varias dudas sobre las posibilidades de la impresión 3D y sus posibilidades.

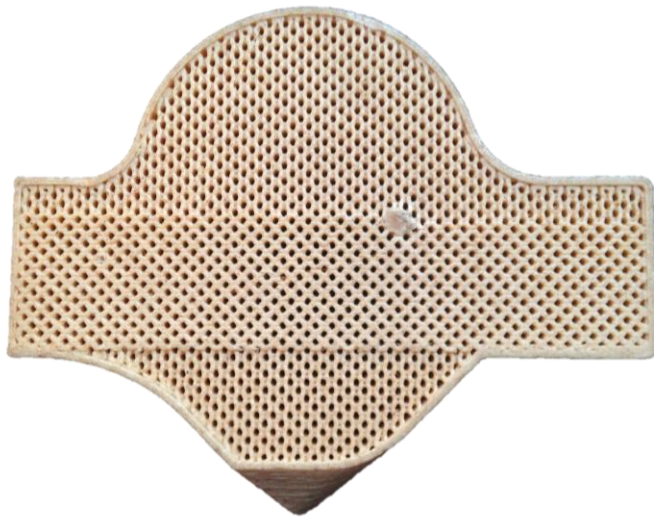


Figura 37. Corte Horizontal de la Probeta, con un Infill de 70% y un Patrón Rectangular (Frugone, 2016)

Haciendo un paralelo con el patrón formado por el Infill de las probetas surge una de las primeras ideas a proponer para una eventual experimentación y las posibilidades de textura.

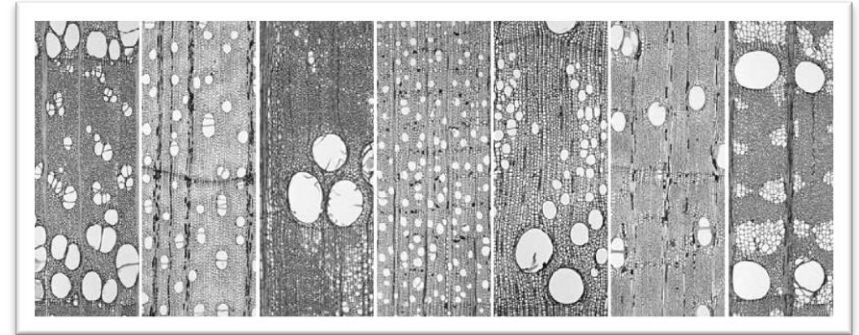


Figura 38. Estructura Microscópica de la Madera (<http://ow.ly/VwN8303U8DF>)

2.2 RESUMEN DE LA OBSERVACIÓN DE LA MADERA A NIVEL MICROSCÓPICO PARA LA DEFINICIÓN DEL PRINCIPIO

El patrón de infill si bien es interesante su regularidad no permite compararlo con algún patrón presente en la naturaleza o que él mismo evoque una sensación de naturalidad. Si el patrón se pudiera trabajar de manera irregular tal cual cómo se comportan las traqueidas en la madera donde existe **apertura** y **contracción** según las etapas de crecimiento marcando límites casi como una

adaptabilidad las sensaciones producidas podrían ser un poco distintas.

Un aspecto relevante a considerar de la madera considerando el comportamiento de las traqueidas, es su estructura **anisotrópica** determinada por el crecimiento del árbol en la búsqueda del equilibrio entre su peso, las fuerzas exteriores y la cantidad de recursos que utiliza para crecer (Meier, 2016), esta característica se traspasa del árbol a la madera y define las cualidades mecánicas del material en sus distintas dimensiones.

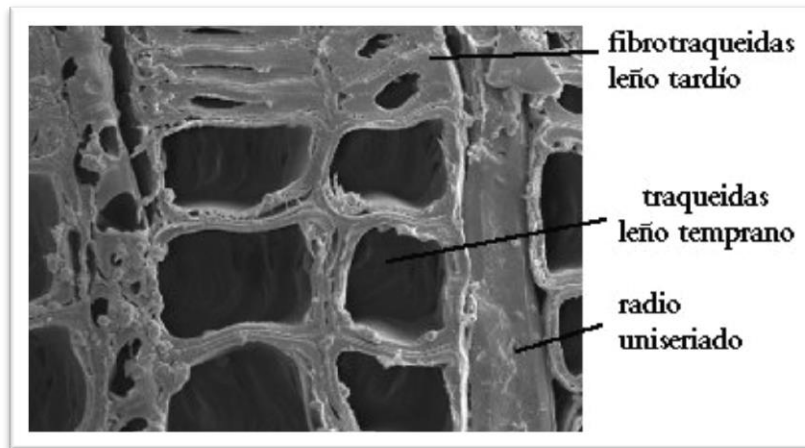


Figura 39. Detalle de la zona límite entre el leño temprano y el leño tardío de un corte transversal de Pino, MEB, 1500x (goo.gl/f7oZFA)

Considerando a las traqueidas desde un punto de vista de su organización, se puede notar la **modularidad** de

su composición donde cada traqueida se toca con la otra pero además en el conjunto cada una individualmente altera la morfología de las contiguas en todas las direcciones.

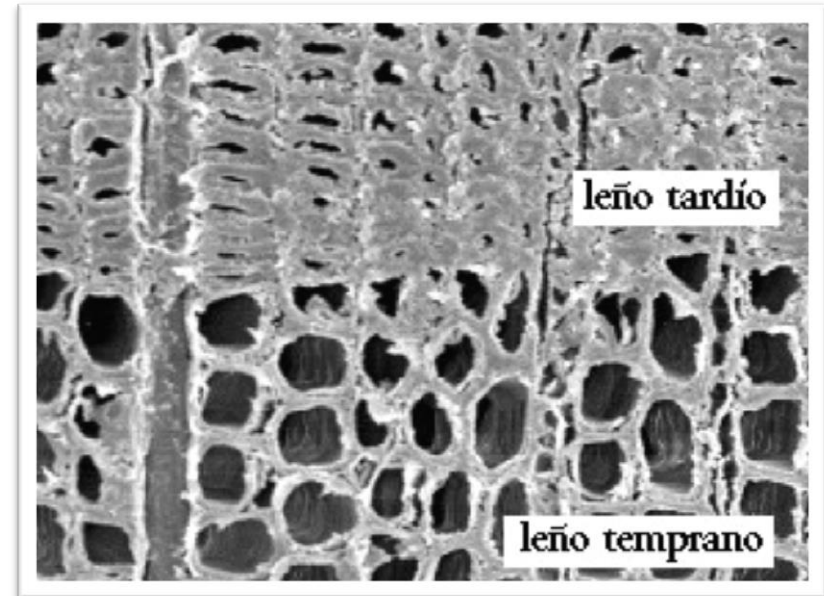


Figura 40. Detalle de corte transversal de madera de Pino con menor aumento, del anillo de crecimiento y el límite entre etapas. MEB, 800x (goo.gl/DT3P6y)

En el corte transversal de las maderas blandas donde se pueden observar las traqueidas y su organización, para el análisis se obtienen extractos del corte transversal a modo de pequeñas láminas de un grosor mínimo para ser observadas en el microscopio (Gatica, 2010). Si la

madera fuera seccionada de manera transversal de igual manera que en los análisis microscópicos de identificación de la madera se podría clasificar estas secciones como **membranas**.

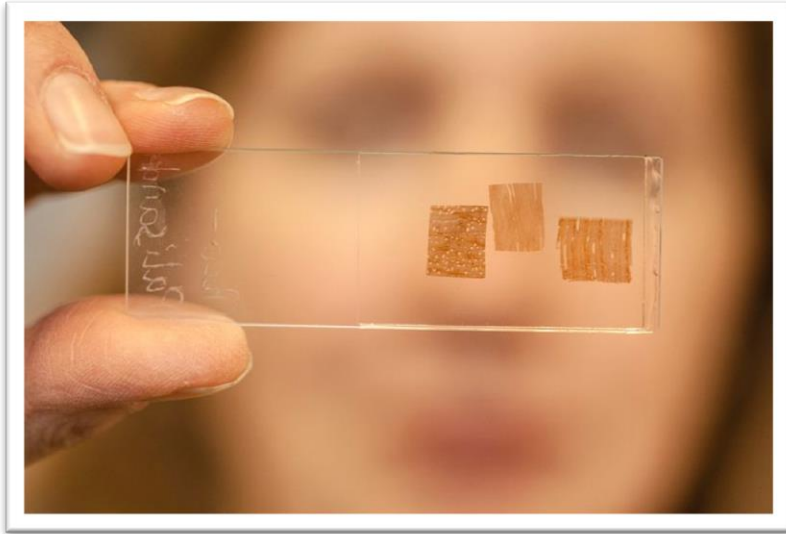


Figura 41. Muestras en formato de láminas de corte transversal longitudinal y radial (goo.gl/R9Wx9X)

2.3 EL PRINCIPIO

Considerando algunos de los conceptos mencionados en el resumen acotado sobre la observación de la madera a nivel microscópico el principio definido para explorar la morfología natural representativa se define como:

“Una membrana modular anisotrópica adaptativa”

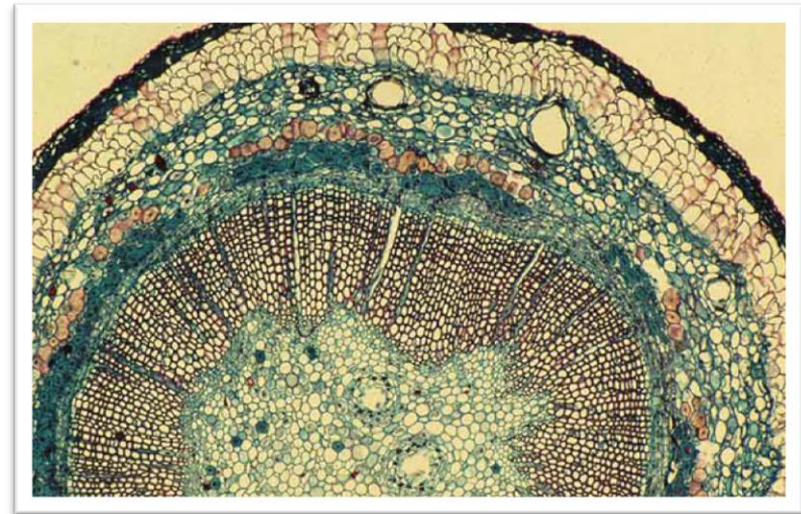


Figura 42. Tallo de Gimnosperma (Pino), corte en parafina teñido con safranina / azul alcian (goo.gl/BcKT6i)

2.4 LA ABSTRACCIÓN DEL PRINCIPIO MEDIANTE LA EXPERIMENTACIÓN ANÁLOGA Y DIGITAL

Para abstraer el principio de la estructura microscópica de la madera se comienza por un proceso digital de experimentación que da cuenta de varios errores que se fueron corrigiendo a medida que se fue obteniendo mayor información sobre las herramientas más adecuadas para este proceso. Durante el desarrollo de este proceso la intención fue intentar hacer una copia literal de la estructura para comprenderla de mejor manera

2.5 PRIMERA EXPLORACIÓN: IMAGEN + AUTODESK INVENTOR

La primera experimentación tenía como objetivo copiar la estructura microscópica de la madera por medio del programa Autodesk Inventor y una imagen. El proceso contemplaba insertar la imagen en un Sketch 2D para contornear cada traqueida y así formar un entramado que posteriormente sería extruido para convertirlo en un sólido. Este proceso fue desechado inmediatamente ya que al crear un sketch 2D sin restricciones y medidas provocaba que el programa tomara gran cantidad de

tiempo en procesar toda la información lo que finalmente generaba errores imposibilitando el proceso de extrusión.

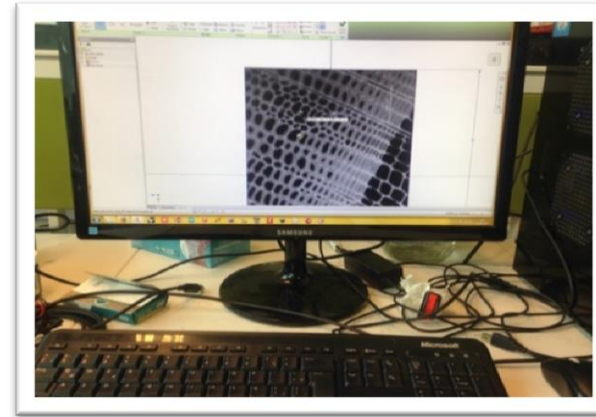


Figura 43. Copiando los contornos de las traqueidas mediante la herramienta sketch de Inventor (Elaboración propia)

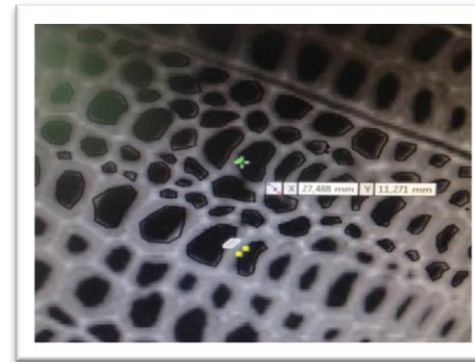


Figura 44. Copiando los contornos de las traqueidas mediante la herramienta sketch de Inventor (Elaboración propia)

2.6 SEGUNDA EXPLORACIÓN: REFERENTES DE INTERNET Y EL PRIMER ACERCAMIENTO A LOS DIAGRAMAS DE VORONOI

En la búsqueda de otras alternativas para imitar la microestructura, algunos referentes de la web lograban replicar el principio, pero siempre se topaba con el mismo problema, como traspasar lo 2D a 3D de manera eficiente.

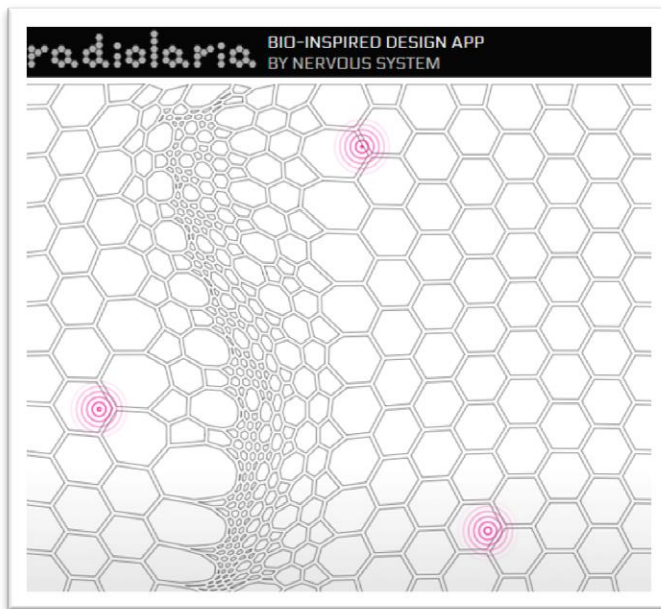


Figura 45. Adaptación de celdas a puntos de fuerza (Nervous System, 2012)

El primer referente Radiolaria de Nervous System, ofrecía un algoritmo en tiempo real que por medio de factores de fuerza de expansión y retracción alteraba una maya hexagonal 2D generando el patrón deseado. Luego el patrón podía ser seleccionado para crear una pieza personalizada que se convertía en un producto que podía ser comprado y encargado.

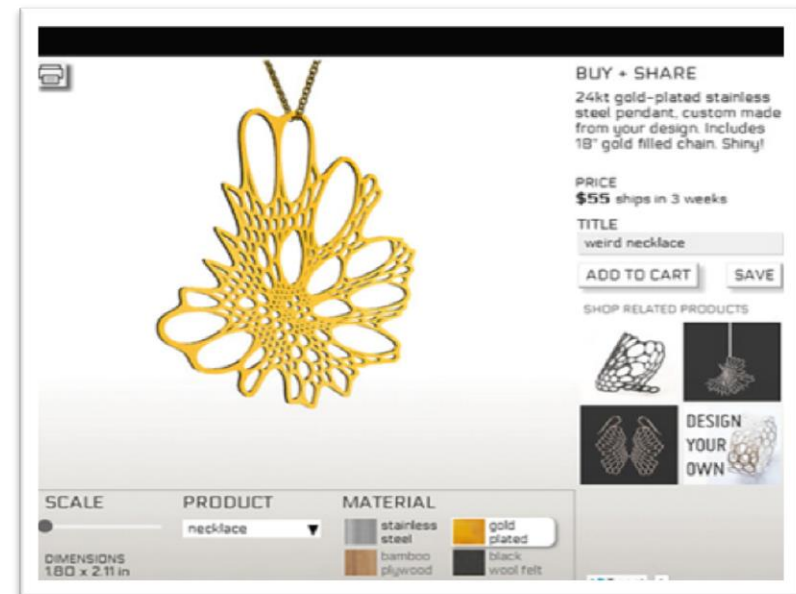


Figura 46. Selección de la forma para posterior encargo (Nervous System, 2012)

Si bien el sistema de Nervous System lograba patrones más orgánicos, los dos entornos web permitían un mayor control de la forma mediante puntos y fueron los que dieron paso a considerar los diagramas de Voronoi como la herramienta adecuada para abstraer el principio de la microestructura de la madera.

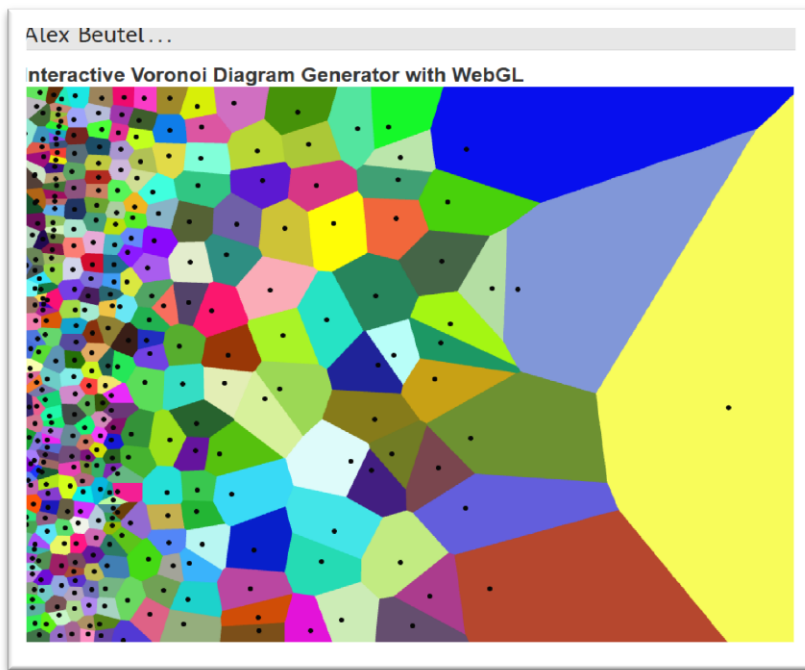


Figura 47. Diagrama de Voronoi interactivo con WebGL (Beutel, 2016)

Los siguientes dos referentes ofrecían un entorno web que permitía establecer puntos en el espacio, que posteriormente mediante un algoritmo, definían un diagrama de Voronoi.

El problema de estos referentes es que no existe forma de exportar los resultados a un archivo solido imprimible en 3D lo que solo los dejaba para este estudio, como herramientas de exploración y experimentación.

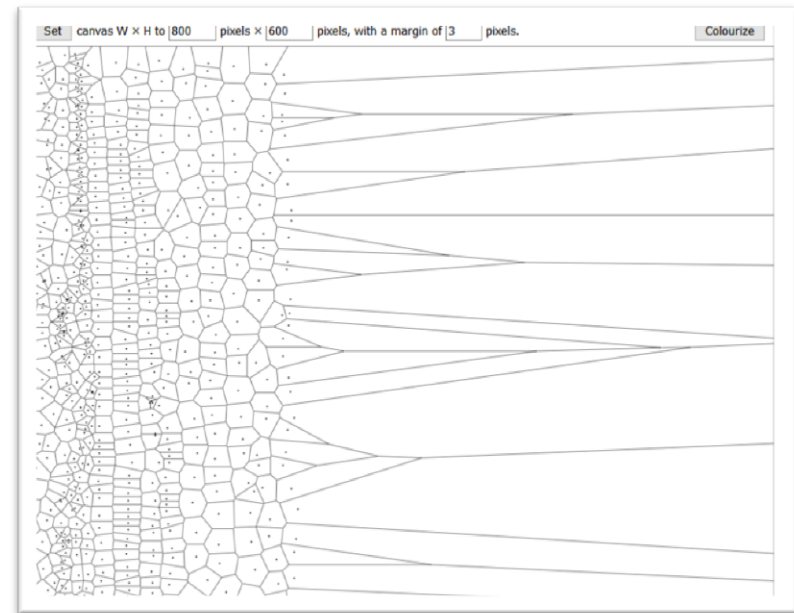


Figura 48. Algoritmo de Steven Fortune y diagramas de Voronoi con JavaScript (Hill, 2015)

2.7 TERCERA EXPLORACIÓN: LOS DIAGRAMAS DE VORONOI, LA COMPRESIÓN MEDIANTE EL DIBUJO.

La siguiente exploración tiene como objetivo la comprensión de los diagramas de Voronoi desde un punto de vista geométrico por medio del dibujo. En este proceso se internaliza el cómo se generan los diagramas de una forma análoga. Si bien se entiende que existe una complejidad matemática detrás de estos diagramas, la posibilidad de dibujarlo mediante reglas geométricas comprensibles hace evidente la necesidad de explorarlos de manera análoga a manera de aprendizaje y práctica.

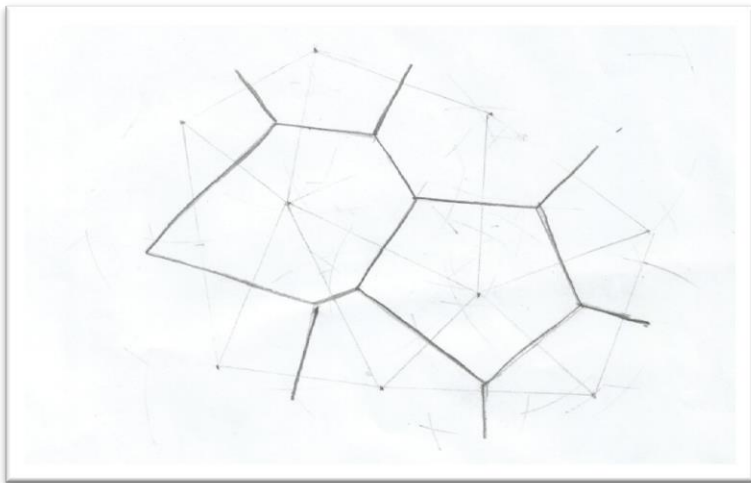


Ilustración 1. Dos células de Voronoi generadas por 9 puntos (Elaboración propia)

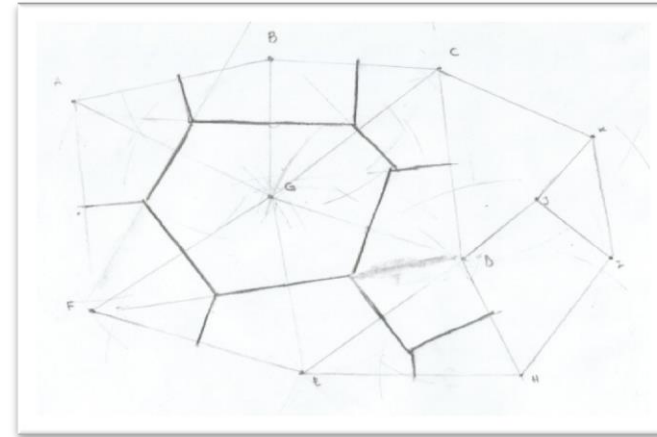


Ilustración 2. Errores iniciales en la construcción del diagrama (Elaboración propia)

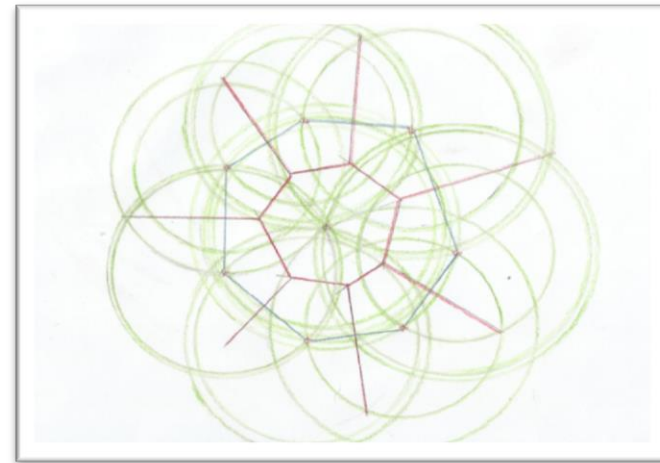


Ilustración 3. Las circunferencias que se utilizan para crear las bisectrices (Elaboración propia)

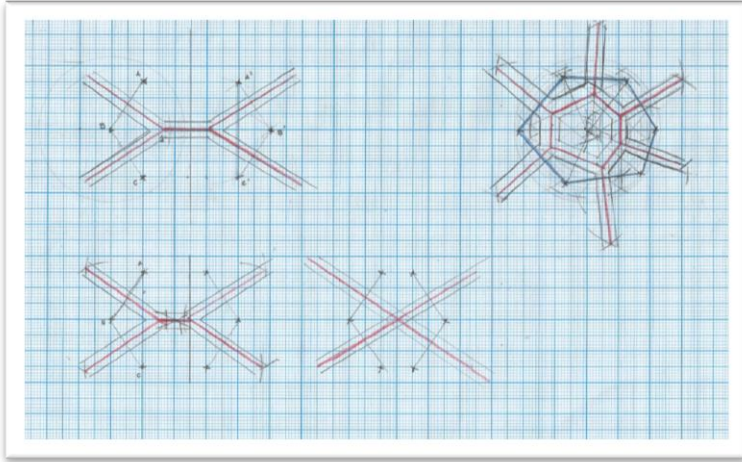


Ilustración 4. Tipós de intersecciones (Elaboración propia)

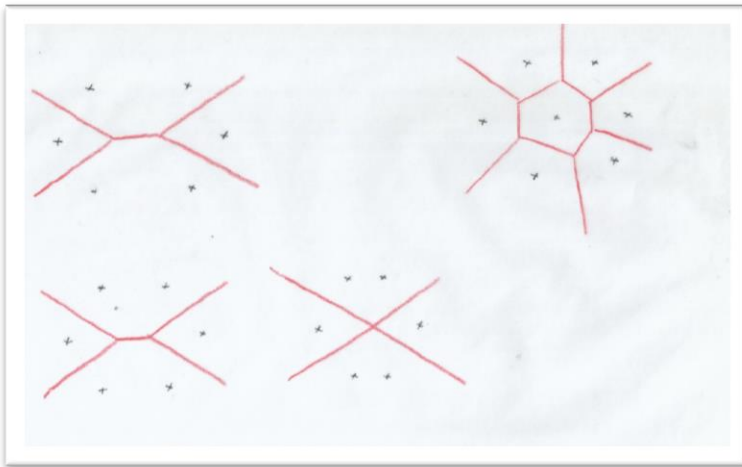


Ilustración 5. Tipós de intersecciones (Elaboración propia)

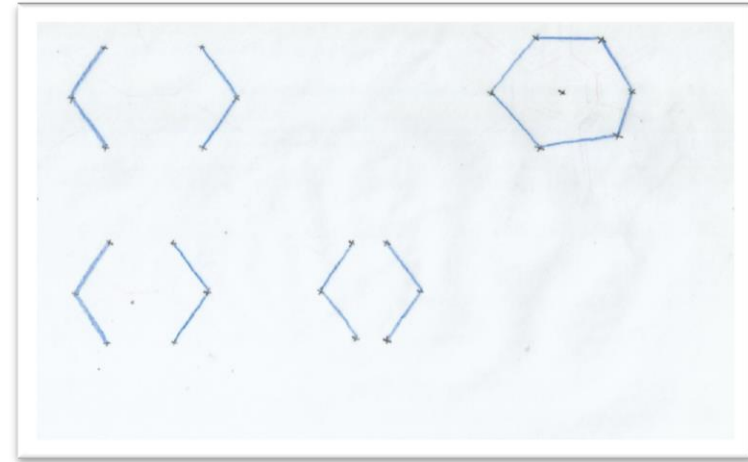


Ilustración 6. Tipós de intersecciones (Elaboración propia)

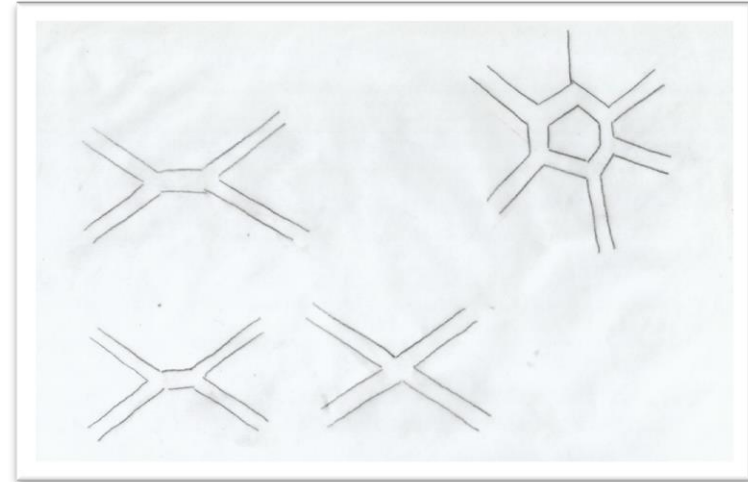


Ilustración 7. . Tipós de intersecciones (Elaboración propia)

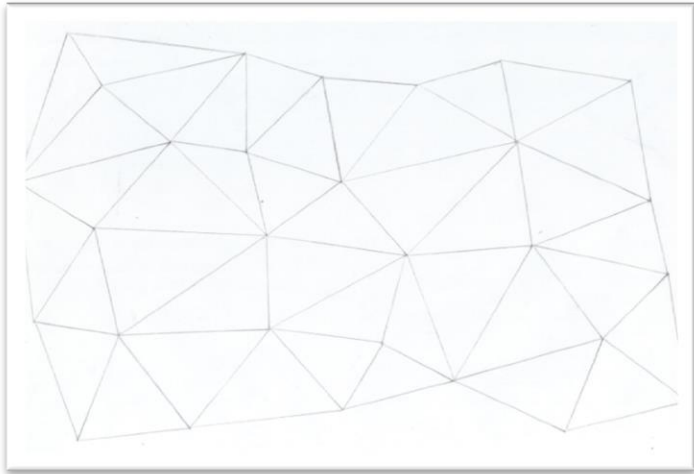


Ilustración 8. Triangulación de Delanuy (Elaboracion propia)

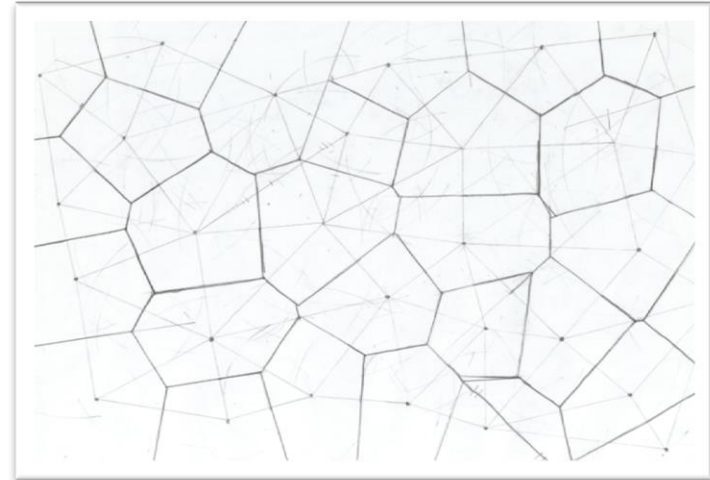


Ilustración 10. Puntos de origen (Elaboracion propia)

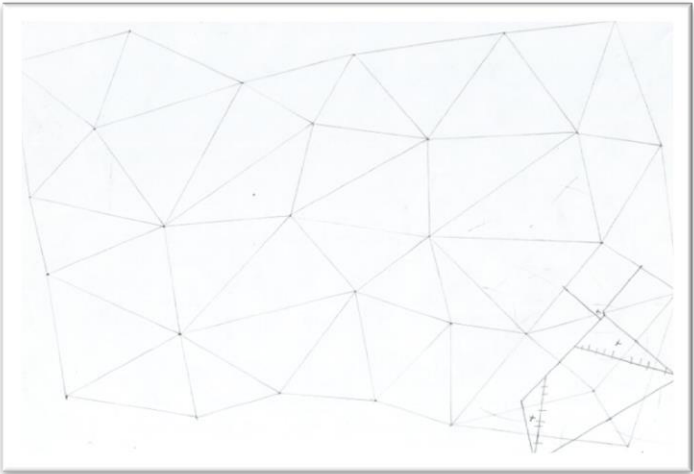


Ilustración 9. Triangulacion de Delanuy (Elaboracion propia)

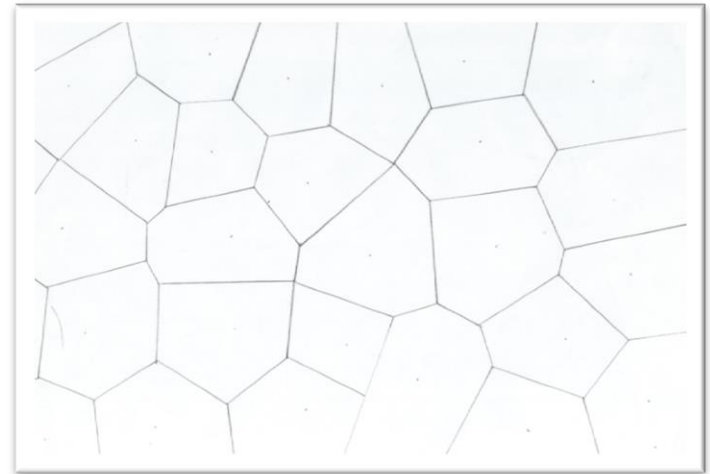


Ilustración 11. Diagrama de Voronoi (Elaboración propia)

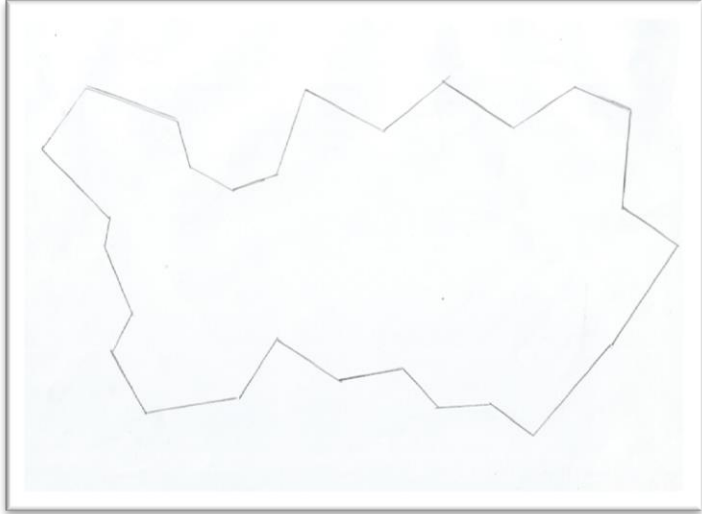


Ilustración 12. Contorno de diagrama de Voronoi (Elaboración propia)

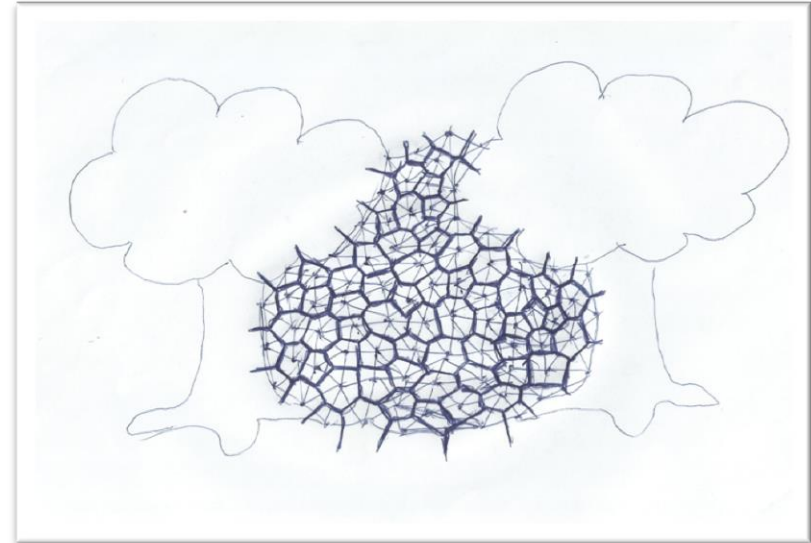
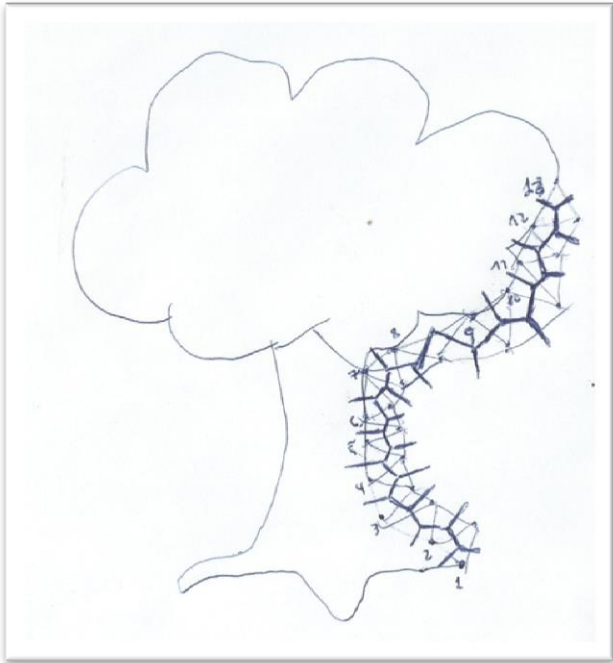
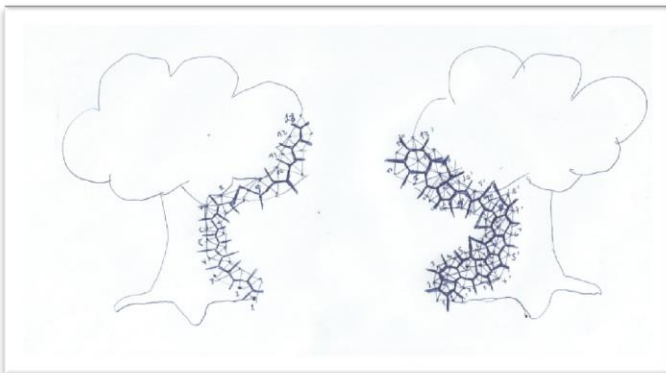


Ilustración 13. Voronoi y la capacidad de adaptarse a los espacios irregulares (Elaboración propia)



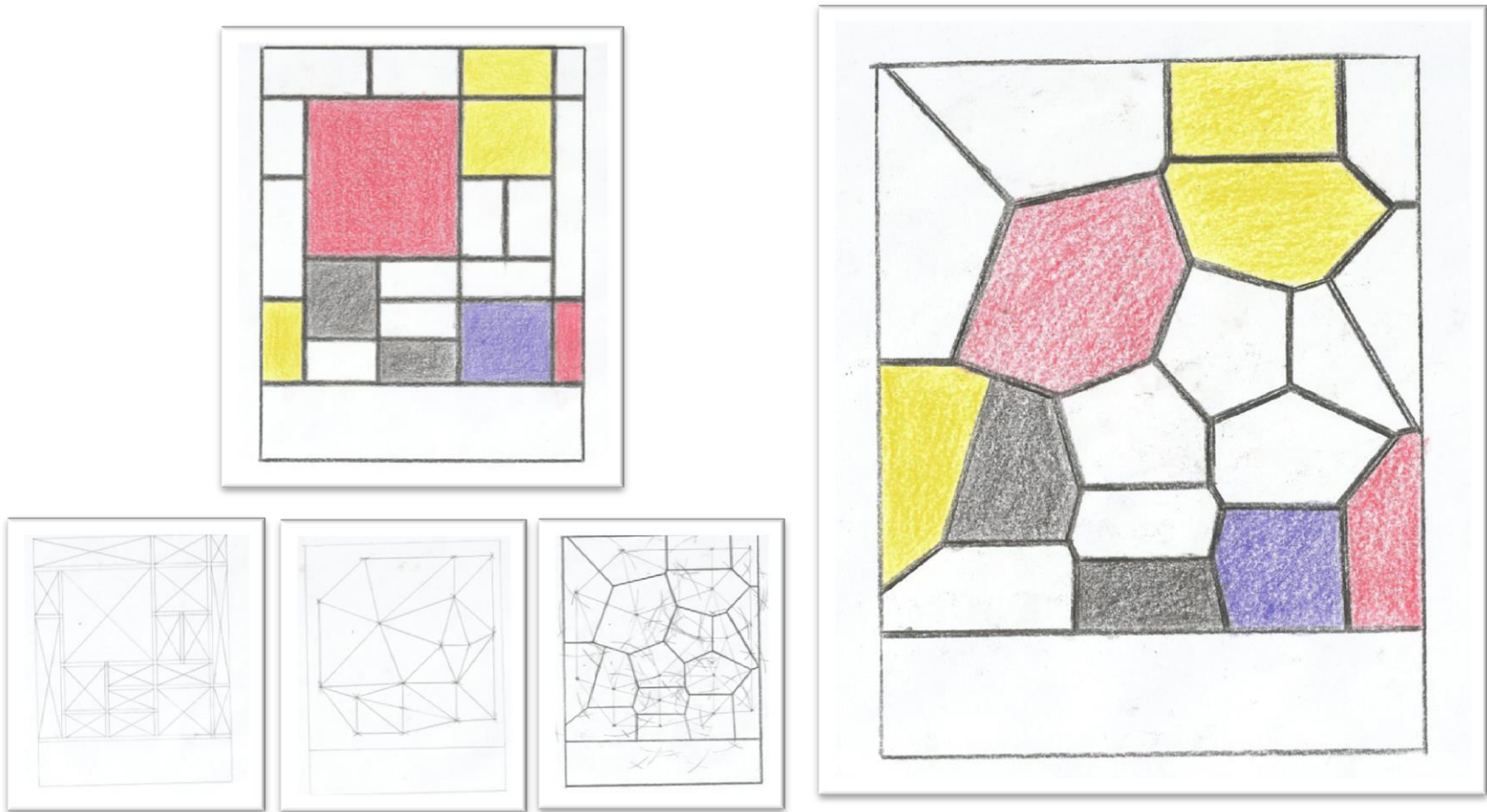


Ilustración 14. De Mondrián a Voronoi (Elaboración propia)

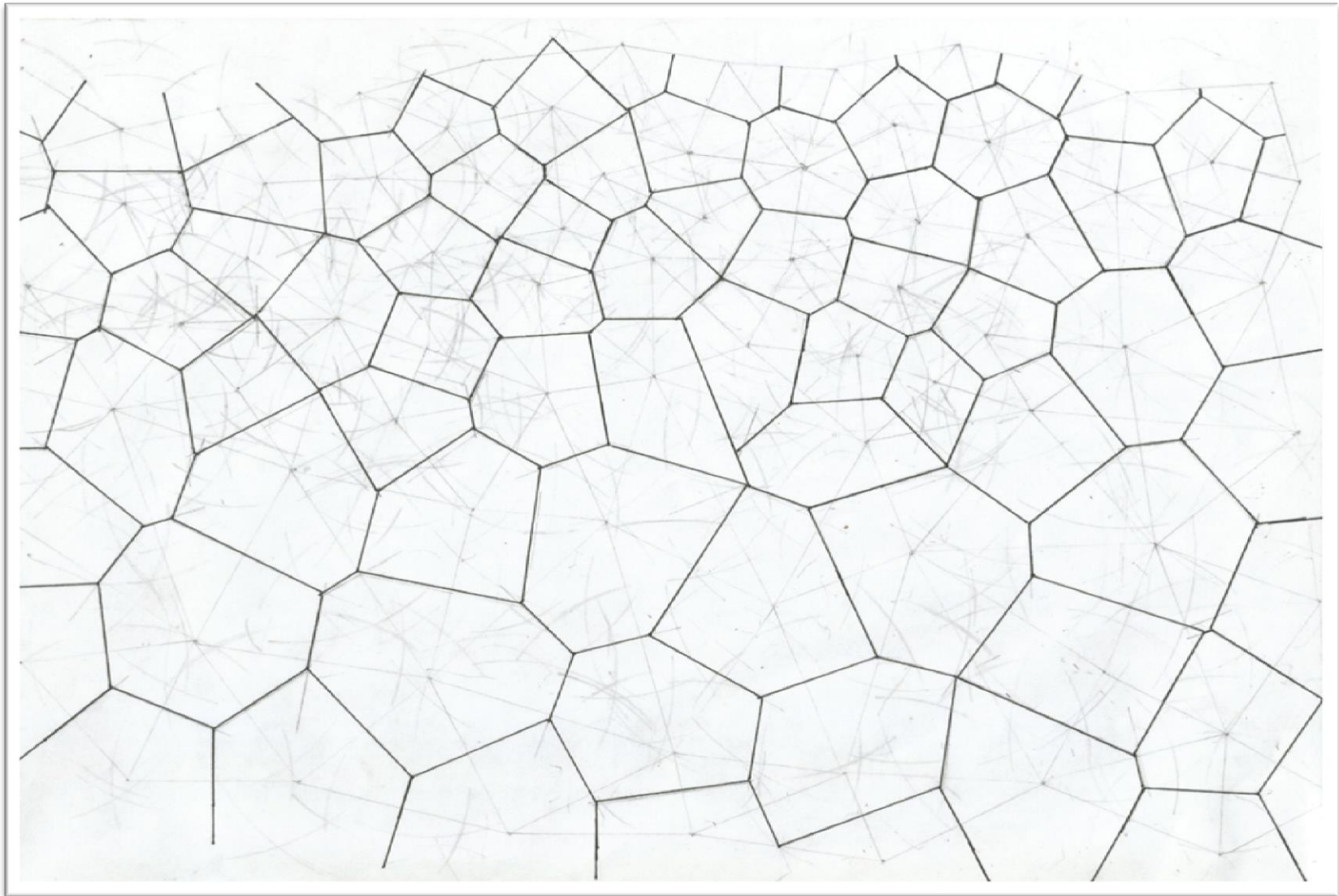


Ilustración 15. Experimentación con el orden de puntos, lejanía y cercanía de los puntos y sus efectos en el patrón (Elaboración propia)

2.8 CUARTA EXPLORACIÓN: RHINO + GRASSHOPPER Y DIAGRAMAS DE VORONOI, IMPRESIÓN DE UNA PROBETA PRELIMINAR

Entendiendo el concepto de los diagramas de Voronoi; mediante el dibujo, su organización según como se establecen los puntos en el espacio, la morfología de cada célula de Voronoi, los problemas generados en intersecciones según la cercanía de los puntos y la capacidad del diagrama de llenar los espacios según un plano. Se dio paso a la siguiente experimentación por medio del software CAD Rhino más el complemento o “plug-in” Grasshopper, programa de modelado algorítmico.

En esta cuarta exploración el objetivo es lograr generar un diagrama de Voronoi que luego pueda ser extruido para formar el primer sólido y una probeta preliminar por medio de impresión 3D que sea capaz de replicar el principio de la estructura microscópica de la madera.

Esta probeta preliminar y su resultado impreso en 3D funcionarán como maqueta para verificar el efecto Voronoi producido aplicando el filamento de madera como material. Al mismo tiempo este proceso es útil para testear las capacidades del filamento y la impresora de producir la forma por proponer ya que son necesarios

pasos complejos que requieren niveles de retracción adecuados, enfriamiento eficiente, una apropiada adhesión inicial y una velocidad de impresión ajustada. Los problemas asociados a estas complejidades serán tratados en el capítulo de los criterios para la confección de probetas.

El siguiente registro a modo de tutorial¹ explicará a grandes rasgos el proceso necesario para crear un diagrama de Voronoi básico y como transformarlo a un sólido.

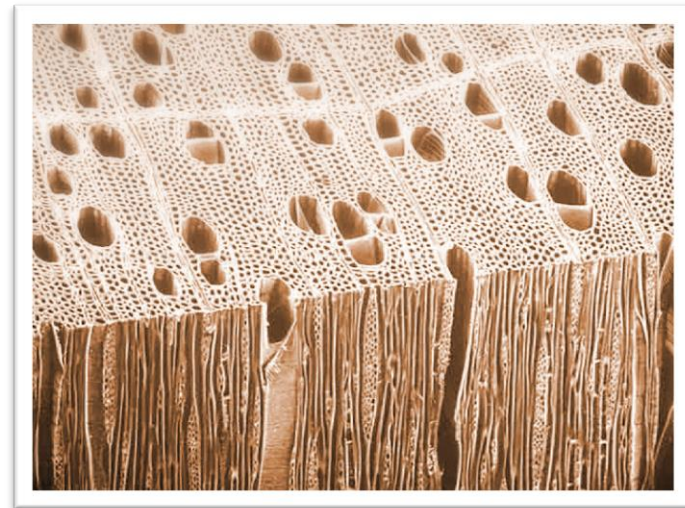


Figura 49. Estructura Microscópica de la madera (goo.gl/s6ok14)

¹Este tutorial o registro solo es un resumen, para más detalles revisar los tutoriales “grasshopper 3d – voronoi 01, 02, 03 y 04 (Gomes, 2013)

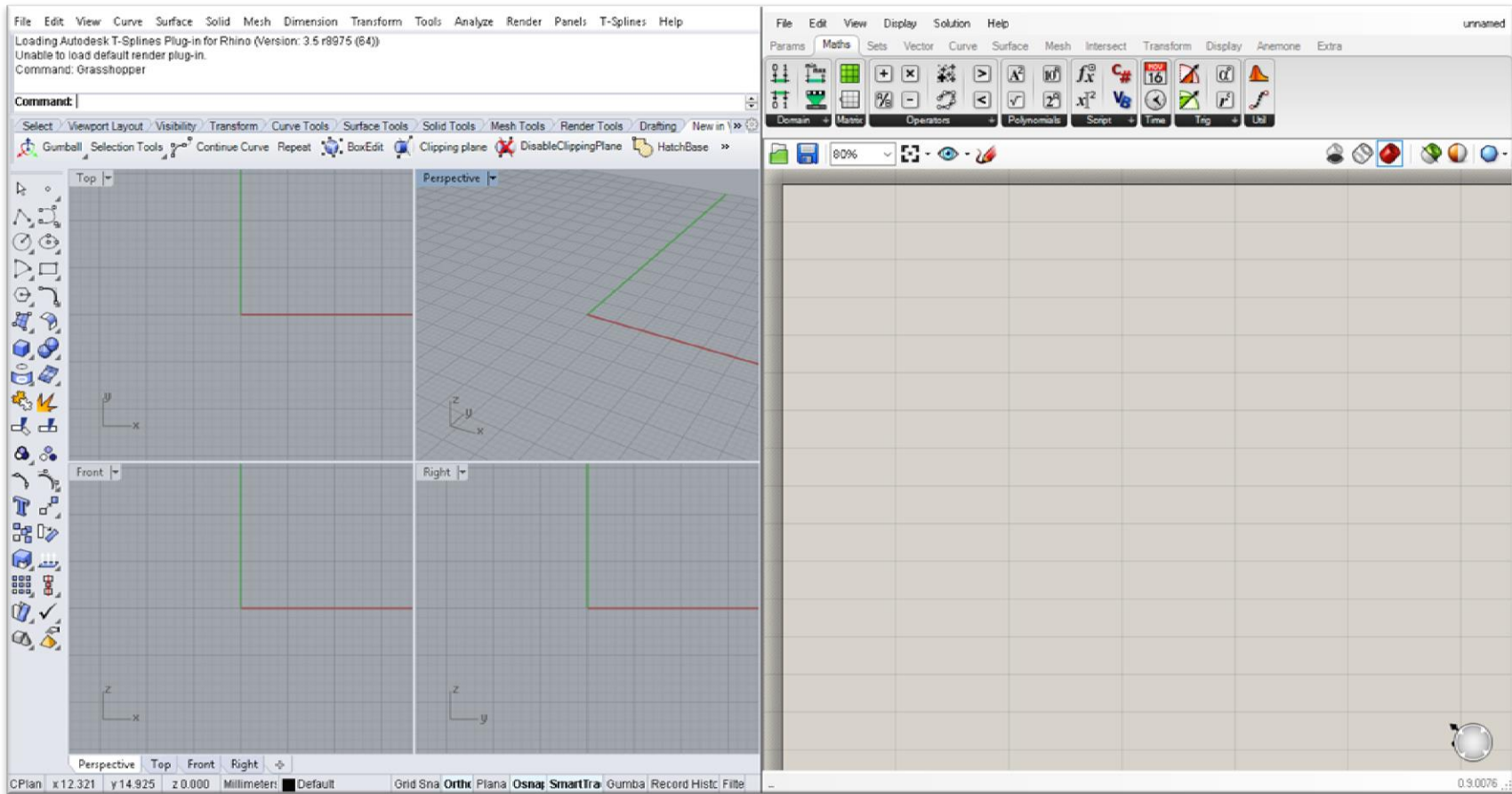


Figura 50. Entorno Rhino y Grasshopper (Elaboración propia)

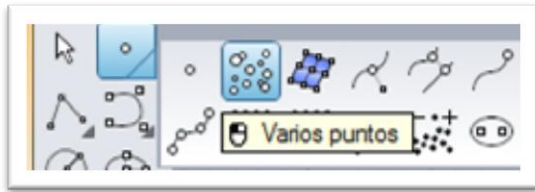


Figura 51. Definición de varios puntos en el espacio (Elaboración propia)

El primer paso entonces para generar un diagrama de Voronoi será la definición de puntos en el espacio en Rhino. Para insertar los puntos en el espacio se selecciona la herramienta “Puntos o Varios puntos” y en el menú desplegado se selecciona la herramienta “Varios puntos”. Con la opción “varios puntos” seleccionada se procede a insertar los puntos. Para definir los puntos se utilizó el mismo criterio de distribución aplicado anteriormente según el principio.

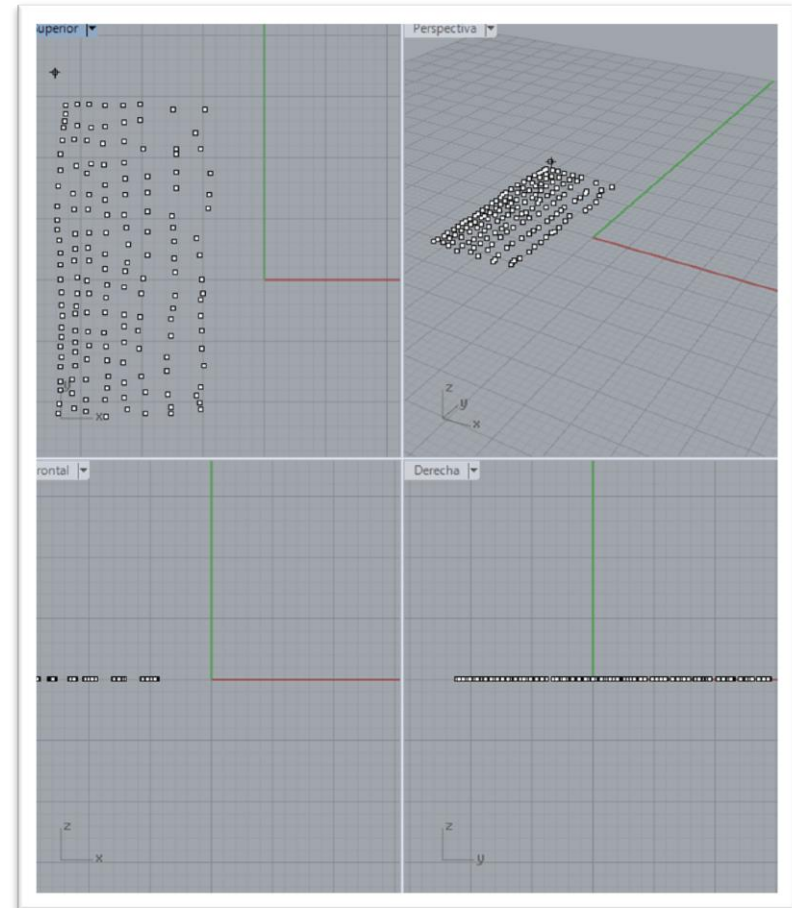


Figura 52. Puntos definidos en el espacio según principio (Elaboración propia)

Luego de definir los puntos en el espacio se necesita introducir todos los puntos en un Parámetro² en el Canvas³ de Grasshopper. Este será el primer paso para crear la Definición⁴ correspondiente a un diagrama de Voronoi

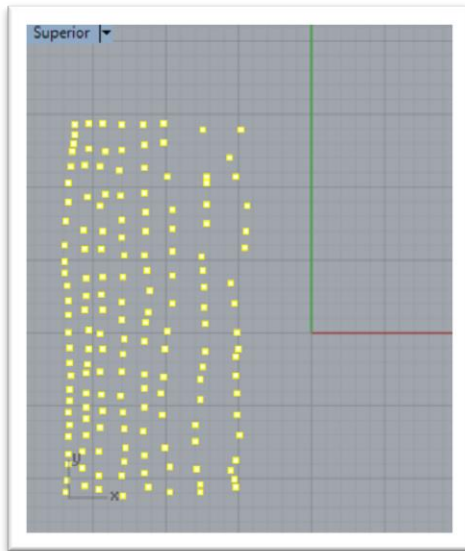


Figura 53. Los puntos seleccionados (Elaboración propia)



Figura 54. Parámetro de puntos insertado en el canvas (Elaboración propia)

Para introducir los puntos en el parámetro de puntos luego de seleccionar los puntos, se definen como una selección múltiple de puntos, eligiendo la opción en el menú desplegado haciendo click derecho sobre el parámetro.

² Los “Parámetros” son los objetos en Grasshopper encargados de contener datos por definir, como en este caso los puntos en el espacio definidos en Rhino (Payne & Issa, 2009).

³ El “Canvas” es el entorno en donde se introducen los elementos como los parámetros para crear una definición (Payne & Issa, 2009).

⁴ La definición será el conjunto de parámetros y componentes introducidos en el canvas (Payne & Issa, 2009).

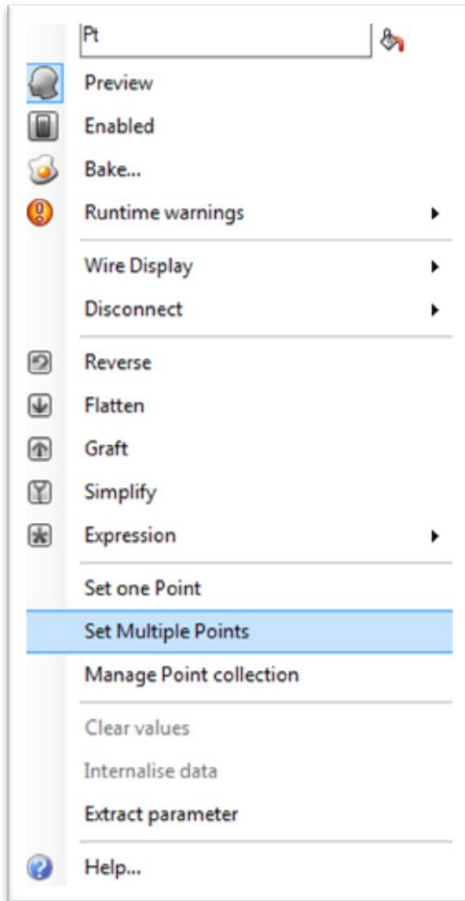


Figura 55. Menú desplegado del parámetro de puntos (Elaboración propia)

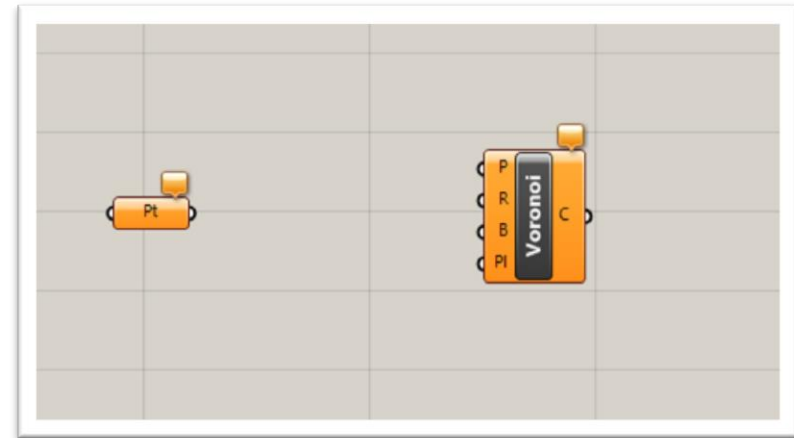


Figura 56. Componente de Voronoi introducido al canvas (Elaboración propia)

Con los puntos definidos el siguiente paso será introducir el componente⁵ “Voronoi” en el canvas. Luego, definidos los puntos e introducido el componente de Voronoi el siguiente paso será enlazar el parámetro de puntos junto con el componente.

⁵ Los “Componentes” son los objetos en Grasshopper encargados de contener las acciones o algoritmos predefinidos en el Software, como por ejemplo el diagrama de Voronoi (Payne & Issa, 2009)

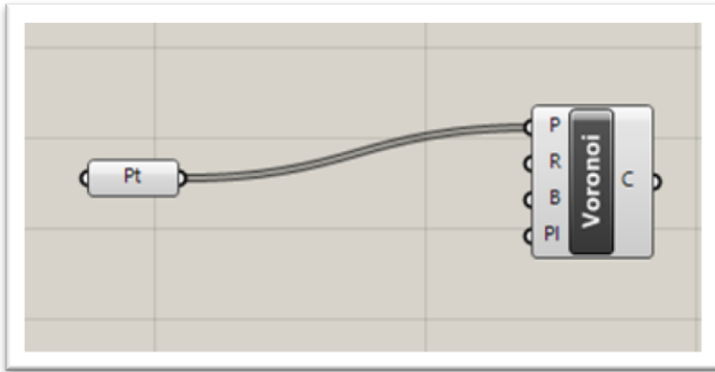


Figura 57. Conexión entre el parámetro de puntos y el componente de Voronoi (Elaboración propia)

En este caso el canal de conexión “P” del componente de Voronoi será el encargado de recibir los datos almacenados por el parámetro de puntos.

Automáticamente luego de hacer la conexión el diagrama de Voronoi se generará en el entorno de Rhino.

El diagrama generado tiende a proyectarse en el espacio a falta de un límite que lo contenga, definir los límites para el diagrama le dará un formato a la probeta preliminar, además de una dimensión.

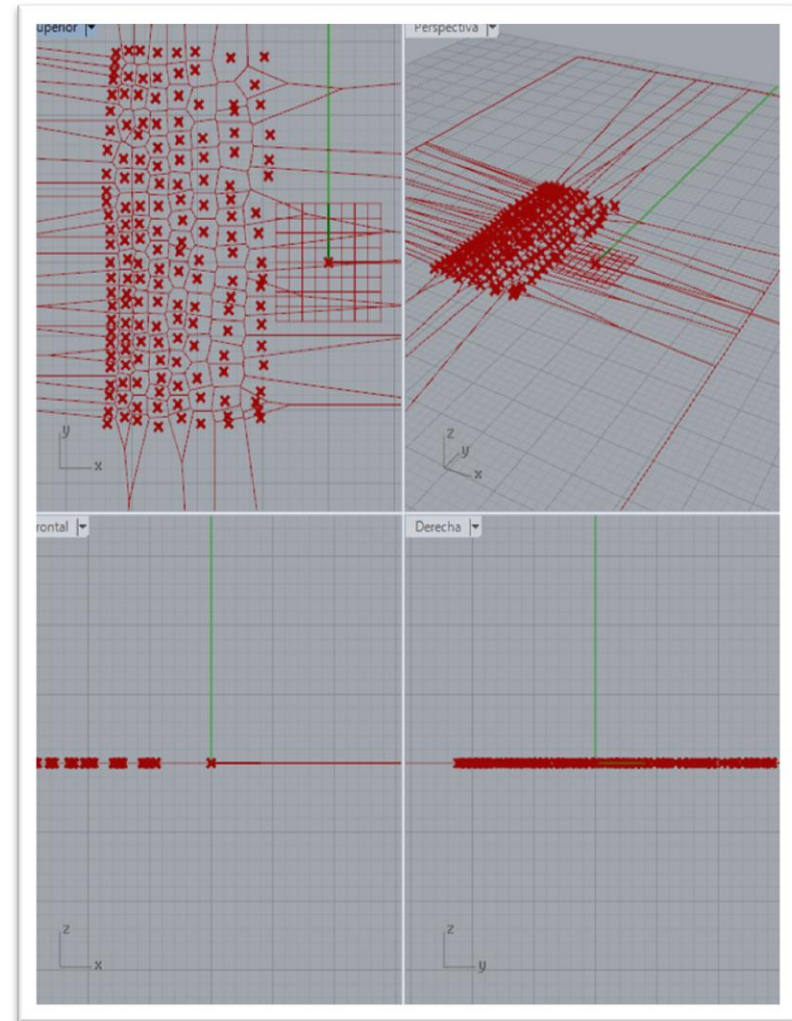


Figura 58. Diagrama de Voronoi generado en el entorno Rhino (Elaboración propia)

Para definir los límites al igual que en el proceso anterior se deben insertar parámetros y componentes. En este caso se ingresaran parámetros de valores de posición por punto en el plano, considerando así que los valores estarán integrados en el plano siendo estos x e y. La idea es poder generar una caja que bajo este formato necesitara dos puntos. 4 parámetros definirán la posición de dos puntos y dos componentes serán los que los integran en el plano.

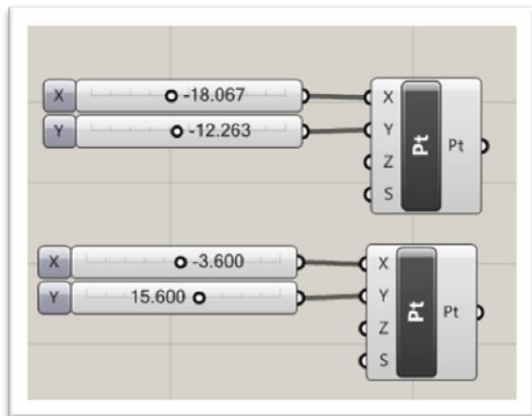


Figura 59. Los componentes y parámetros para los puntos (Elaboración propia)

Luego para hacer esta caja visible, se integra un tercer componente que definirá los puntos de posición como los límites de la caja.

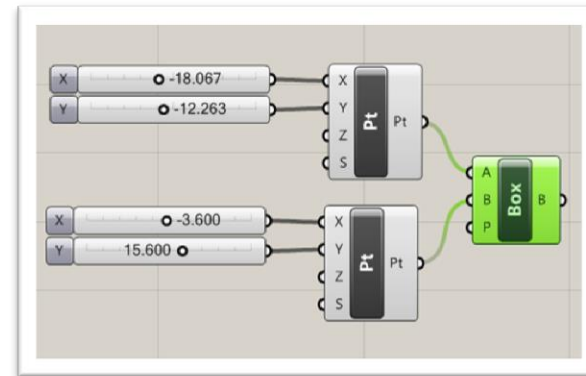


Figura 60. El componente caja y la conexión con los componentes de punto (Elaboración propia)

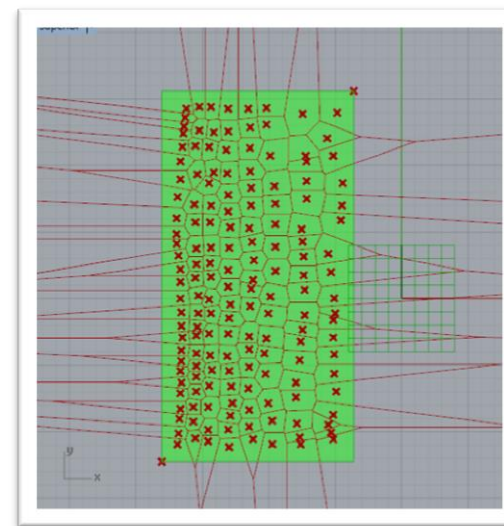


Figura 61. Perímetro definido en verde (Elaboración propia)

Posteriormente para obtener el resultado final se deben conectar ambas definiciones, desde el único punto de salida del componente caja hasta el conector “B” del componente Voronoi, que integra la información sobre límites. De forma adicional se debe agregar un componente de extrusión y un componente de eje z para generar un sólido temporal que será el que le dará el cuerpo a la pieza final.

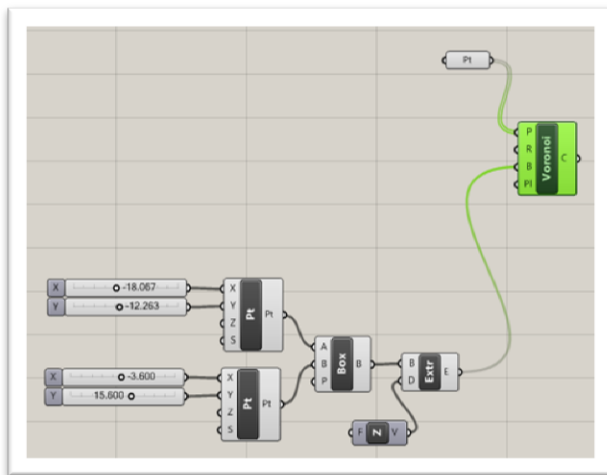


Figura 62. Conexión de la extrusión con el componente Voronoi (Elaboración propia)

El siguiente paso corresponde a la asignación de un grosor al diagrama mediante un componente de Offset, el offset posteriormente y el diagrama deberán ser

extruidos con dos componentes adicionales para darle altura a las paredes que formaran el entramado.

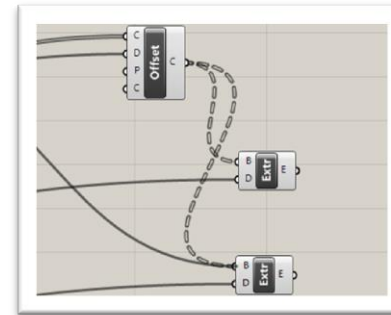


Figura 63. Conexión de la definición con los componentes de extrusión

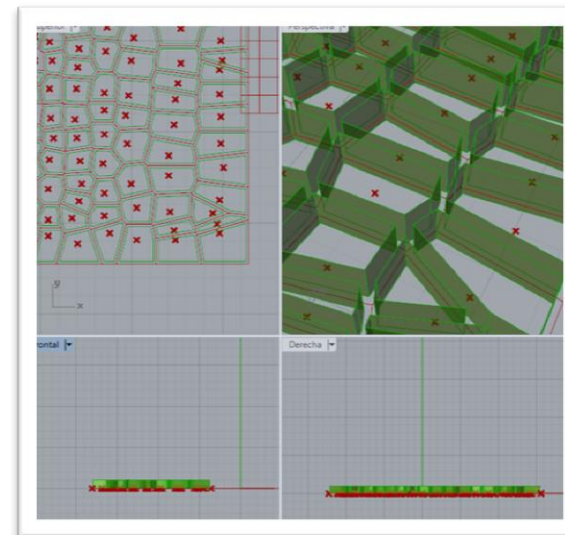


Figura 64. Extrusión resultante de los contornos (Elaboración propia)

Para finalizar y obtener el sólido deseado se agregan dos componentes más uno para cada extrusión para utilizar los contornos generados como paredes y formar una capa sobre las paredes para cerrar los contornos. El primer componente utilizará los contornos que forman el grosor para cerrarlo y darle el volumen, y por el contrario el otro componente utilizará el contorno interior que define el orificio de la célula de Voronoi para eliminar la extrusión previamente realizada por el componente de caja.

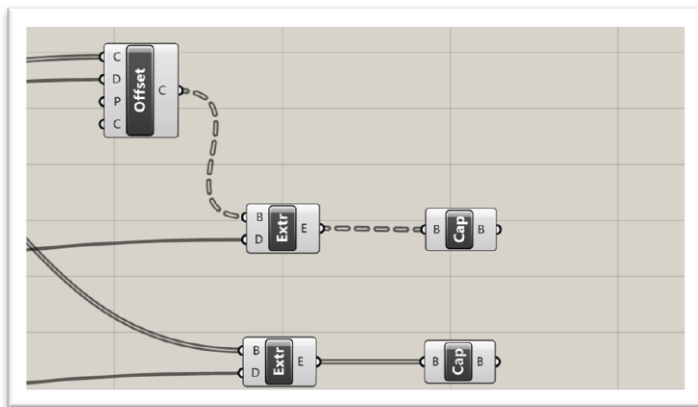


Figura 65. Componentes “CapHoles” para cerrar los contornos definidos por el componente de Voronoi y el componente de Offset (Elaboración propia)

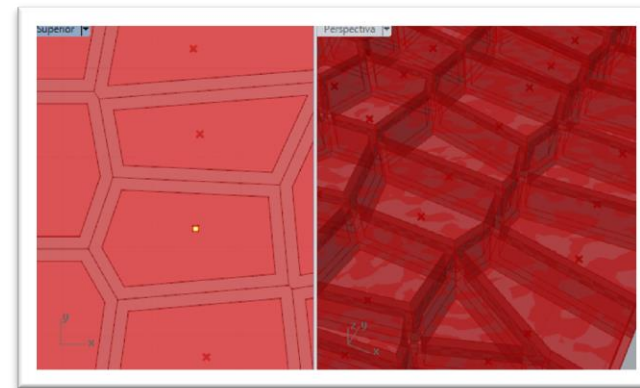


Figura 66. Extrusión completa sin diferencia entre contorno y orificio (Elaboración propia)

Para que el último proceso sea visible se debe aplicar un componente de diferencia de sólidos y posteriormente consolidar la definición mediante la herramienta “Bake”.

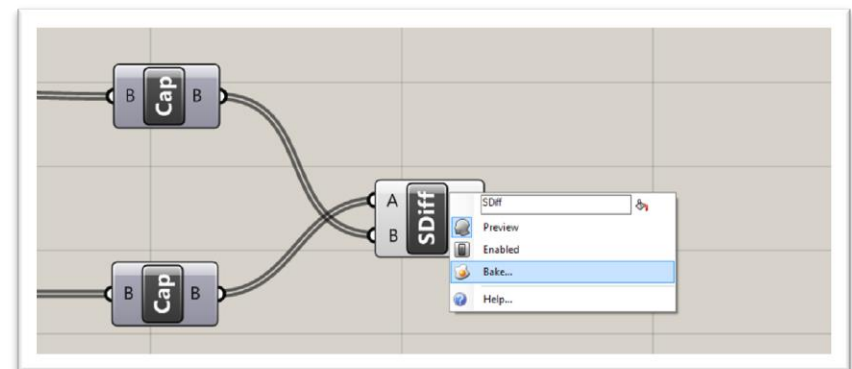


Figura 67. Componente de diferencia de sólidos y el menú desplegado para consolidación (Elaboración propia)

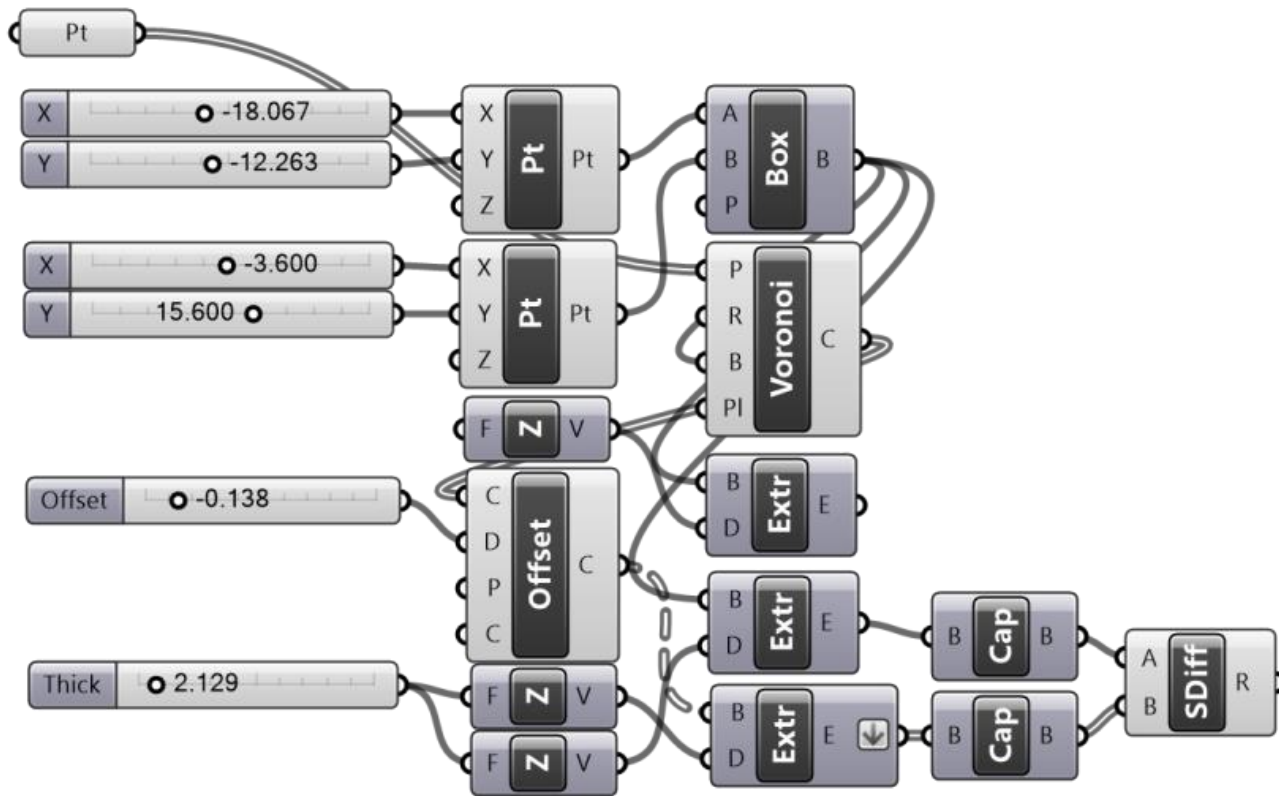


Figura 68. Definición agrupada (Elaboración propia) y los componentes (Gomes, 2013)

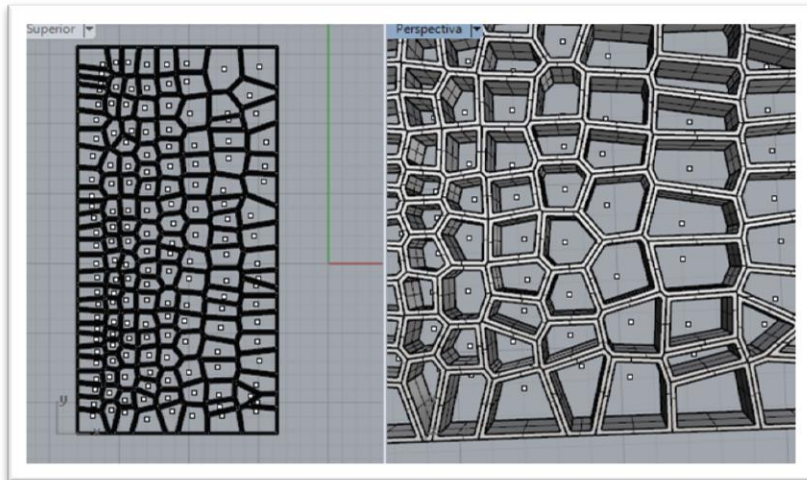


Figura 69. Resultado en un sólido extruído (Elaboración propia)

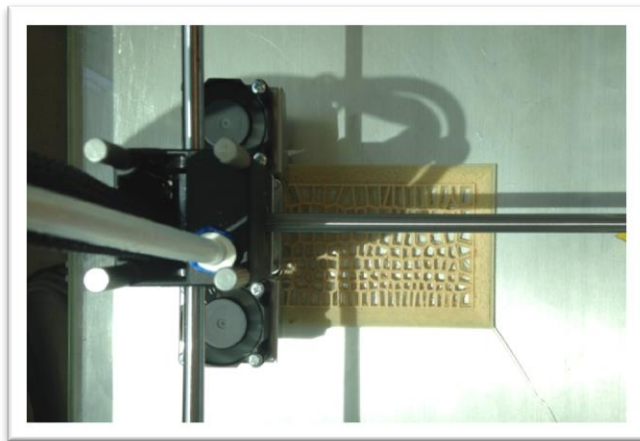


Figura 70. Proceso de impresión probeta preliminar (Elaboración Propia)

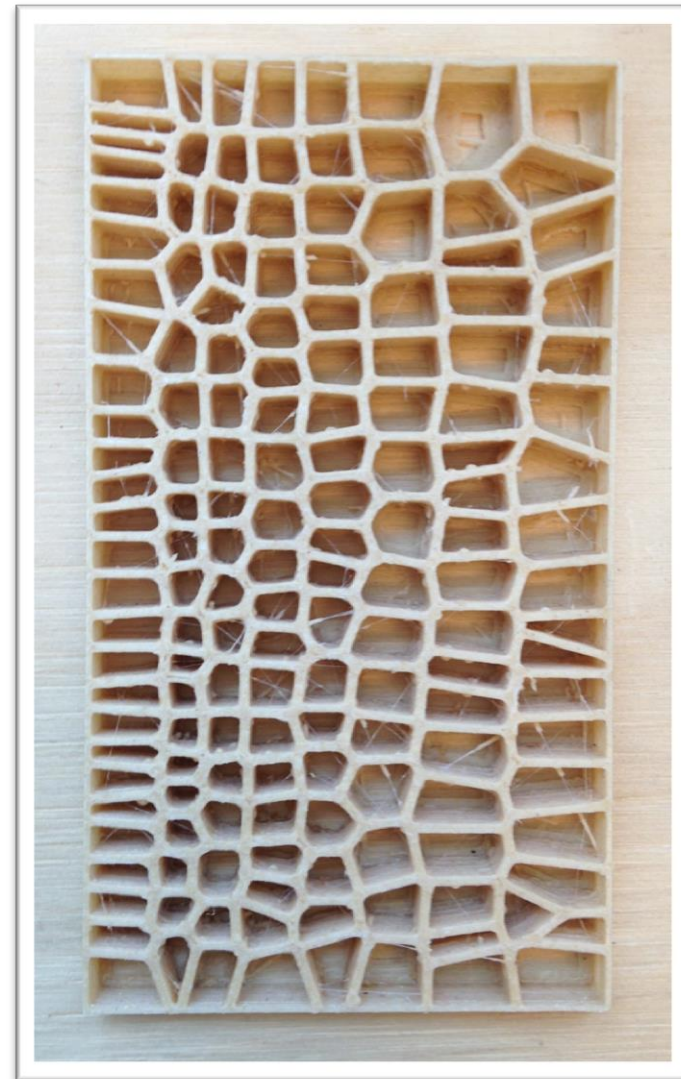


Figura 71. Resultado probeta preliminar impresa (Elaboración Propia)

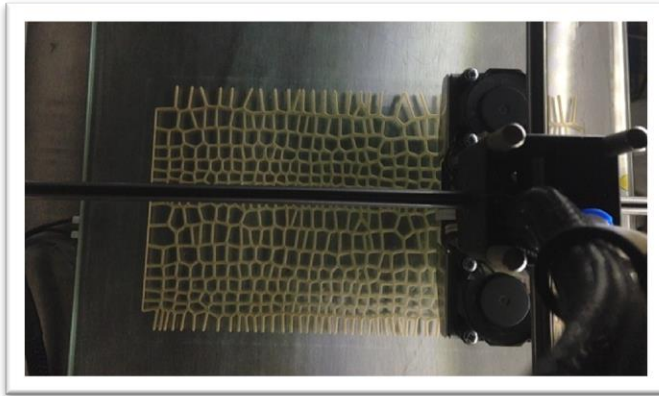


Figura 72. Proceso de impresión de 4 módulos repetidos en una probeta (Elaboración Propia)



Figura 74. Comparativa entre un módulo y el resultado de la repetición de 4 integrados (Elaboración Propia)



Figura 73. Resultado de 4 módulos en uno (Elaboración Propia)



Figura 75. Efecto de veta producido por la réplica del principio de la estructura microscópica de la madera (Elaboración propia)



Figura 76. Madera de Abeto (goo.gl/FHRnAF)

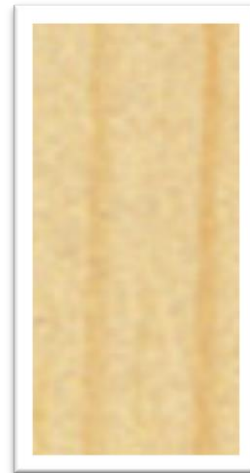


Figura 77. Sección de la madera de abeto y su veta (goo.gl/FHRnAF)

Los resultados de esta exploración se consideran como una probeta preliminar, ya que el principio aplicado solo es una copia de la microestructura.

Además su forma rectangular y su regularidad en el patrón se consideran como factores que influirán en una percepción de naturalidad negativa.

Se recalca de igual forma la similitud que provoca el efecto de la probeta al mirarla desde lejos con la veta de la madera tal cual se observa entre la Figura 75. Efecto de veta producido por la réplica del principio de la estructura microscópica de la madera (Elaboración propia) y la Figura 76. Madera de Abeto (goo.gl/FHRnAF), además de replicar de forma efectiva la forma y patrón de la estructura en la Figura 77. Sección de la madera de abeto y su veta (goo.gl/FHRnAF)

Estas observaciones pueden abrir otro campo de investigación en donde el objetivo podría ser el replicar exactamente las estructuras de la madera para su posterior estudio a una escala mayor por ejemplo.

También podría ser considerada como producto para coleccionistas y conocedores de la madera que deseen explorar un campo desconocido por el general de las personas excepto para personas dedicadas al tema.

Independiente de la forma en que se pudiera usar esta metodología el concepto de traer lo micro a lo macro es algo que por medio de otras metodologías de fabricación hubieran tenido un alto precio y tiempo de desarrollo.

Por lo que se puede vislumbrar una potencial aplicación para la impresión 3D al igual como esta se utiliza como herramienta en centros dentales y médicos, para obtener modelos de estudio que acercan a los investigadores a una realidad que solo era posible de apreciar mediante pantallas e instrumentos. Es la idea de materializar lo que observamos pero que no podemos tocar lo que potencia estas nuevas posibilidades mediante la impresión 3D.

3. LA ABSTRACCIÓN Y APLICACIÓN DEL PRINCIPIO MEDIANTE RHINO Y GRASSHOPPER

3.1 LA DEFINICIÓN PARA GRASSHOPPER: “VORONOI CENTROIDAL ANISOTRÓPICO”

Para abstraer de mejor manera el principio mediante el diagrama de Voronoi se utilizan como referentes los conceptos de “Relajación de Lloyd” y las “Teselaciones de Voronoi Centroidales” para hacer una búsqueda de una definición para Grasshopper que permitiera el desarrollo de un diseño generativo más eficiente en la búsqueda de abstraer el principio y lograr naturalidad en la forma.

Se propone entonces utilizar una definición propuesta por “Nik Wilmore”⁶ en el post “generating point inside the volume” abierto por “SSB” y continuación del post original “bone microstructure and voronoi diagram”, donde se buscaba replicar la trama formada por la estructura interna de los huesos mediante el uso del diagrama de Voronoi.

⁶ Tanto “Nik Wilmore” y “SSB” son perfiles creados en el foro de Grasshopper y la referencia real de los autores no está disponible debido a los términos de privacidad del foro (Grasshopper, 2017)

La definición propone una cantidad x de puntos aleatorios inscritos en un espacio determinado que formaran un diagrama de Voronoi, que luego mediante el algoritmo de Lloyd se organizaran de tal forma que cada punto será el centroide de cada célula de Voronoi generando una teselación centroidal (Wilmore, 2015).

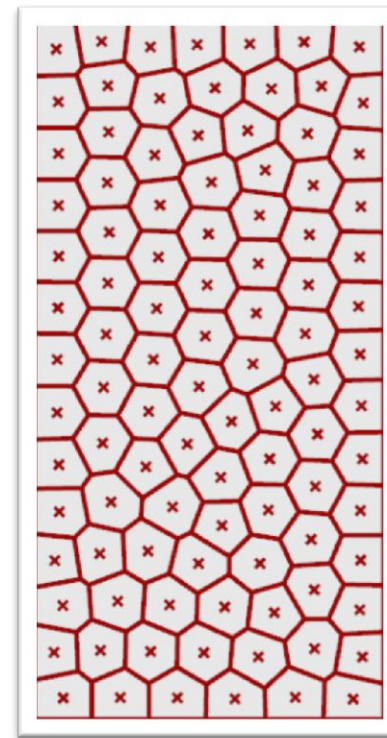


Figura 78. Algoritmo de Lloyd aplicado a un diagrama de Voronoi (Wilmore, 2015)

Luego la aplicación de un post procesado del algoritmo mediante distintos componentes creará una malla adaptable a los bordes del espacio (Wilmore, 2015), que mediante la aplicación de un factor de fuerza decimal entre 0 y 1, disminuirá la distancia de los puntos al borde que define el espacio. Esta disminución expresada en números representa el porcentaje de disminución donde 0 es 0% y 1 es un 100%. Entonces, a menor porcentaje los puntos estarán más alejados de los bordes y a un mayor porcentaje la distancia disminuirá a tal punto que en un valor 1 o 100% los puntos que estaban más cercanos al borde quedarán en el mismo borde.

El efecto producido por este factor de fuerza provocará que al mismo tiempo que existe un desplazamiento de los puntos, se generara una expansión en el tamaño de las células de Voronoi centrales y una retracción del tamaño en las células perimetrales.

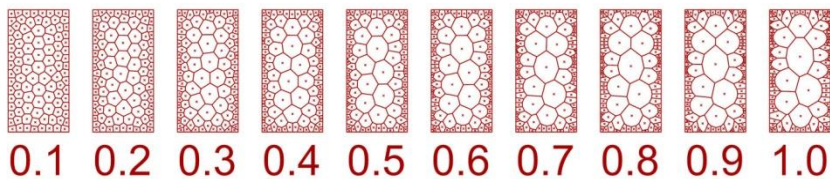


Figura 79. Las distintas variaciones de desplazamiento y expansión según el factor (Wilmore, 2015)

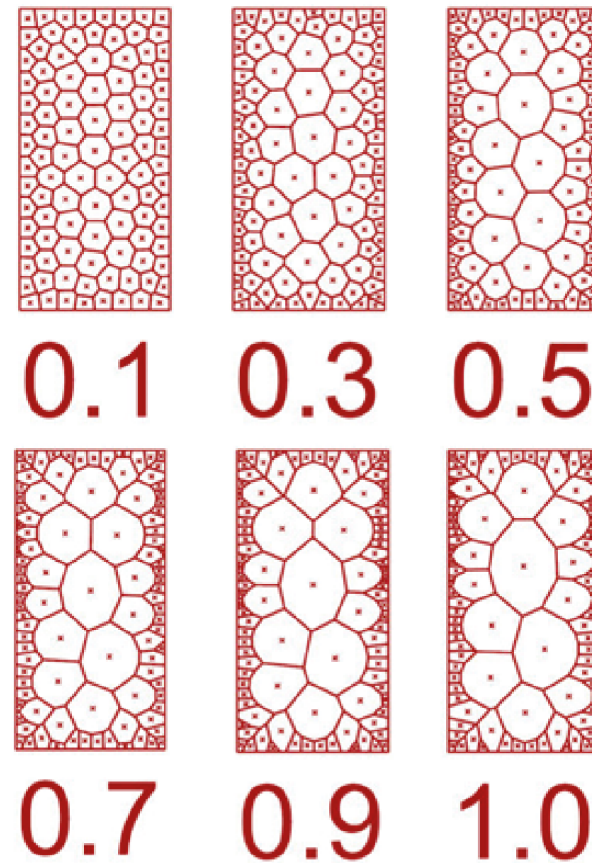


Figura 80. Aplicación de algunas de las variaciones de desplazamiento y expansión según el factor (Wilmore, 2015)

El efecto no solo se limita a un espacio regular o rectangular como en este caso, también existe la posibilidad de aplicar la definición a formas irregulares y curvas.

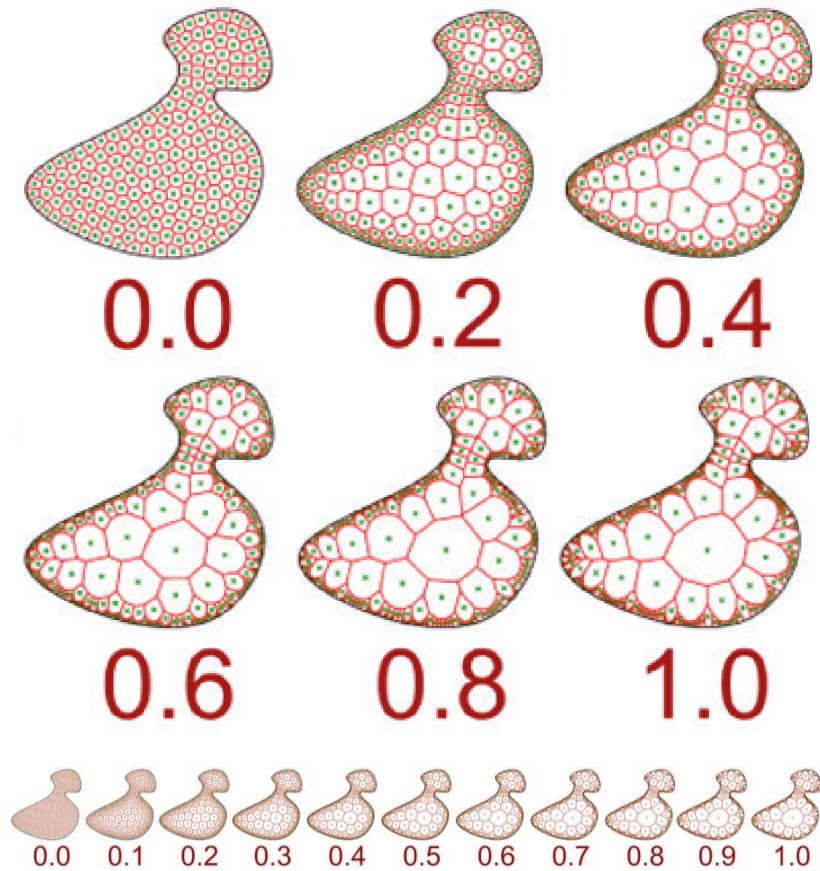


Figura 81. Las distintas variaciones de desplazamiento y expansión según el factor aplicado a una forma irregular (Wilmore, 2015)

Lo que da paso a considerar la herramienta como un proceso óptimo para crear probetas que contengan un valor estético natural.

Claramente de igual forma que en el proceso anterior este diseño generativo o algoritmo generativo solo produce líneas sin un contorno y una morfología en tres dimensiones, lo que hace necesario tomar en cuenta un proceso adicional que logre transformar los patrones generados a un objeto y más importante aún, que el modelo producido sea imprimible en 3D.

Así para el capítulo siguiente se deben considerar varios aspectos como la viabilidad de los patrones a ser transformados a sólidos, las dimensiones adecuadas según la tecnología que se utilizará, una morfología apta para su post procesado y que la misma contenga el patrón en una forma adecuada y representativa naturalmente.

Otras consideraciones como el factor de fuerza aplicado al patrón serán relevantes en el proceso de la confección de las probetas ya que desde el 30 o 40% la trama comienza a cerrarse demasiado en los bordes además de la pérdida de puntos, y en el centro la expansión es muy amplia lo que comienza a generar vacíos.

Desde otro punto de vista las consideraciones de la tecnología a utilizar y el material serán relevantes a la hora de experimentar con factores antes mencionados, donde las dimensiones del conjunto y de los detalles del patrón pueden ser influyentes en la viabilidad del diseño para ser fabricable.

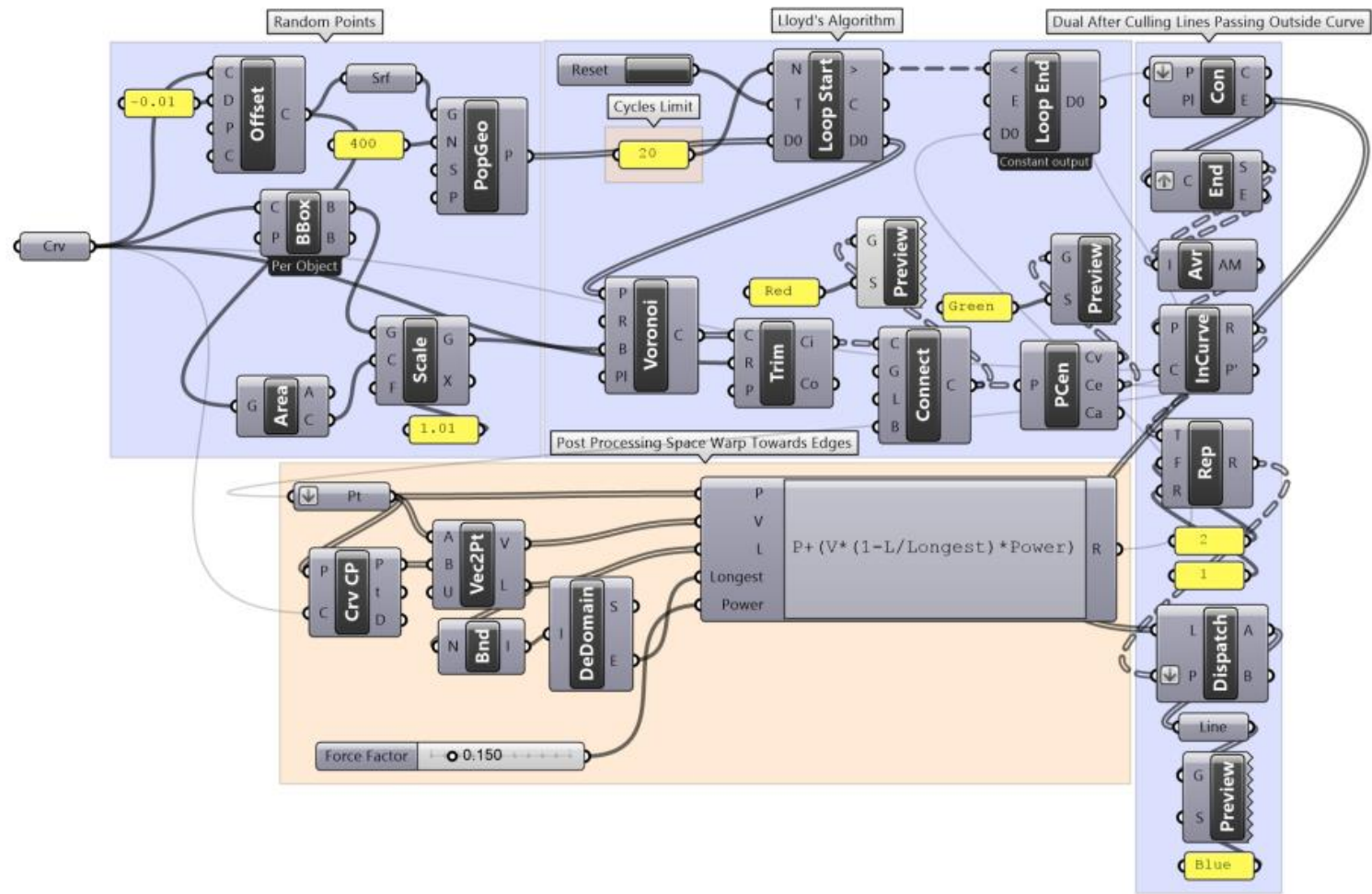


Figura 82. La Definición para un diagrama de “Voronoi centroidal anisotrópico” en Grasshopper (Wilmore, 2015)

4. CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DE PROBETAS

4.1 LA TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN Y FACTORES RELEVANTES: ULTIMAKER 2+

La tecnología a utilizar para la confección de probetas en este estudio es una impresora 3D FDM de la marca Ultimaker. El modelo es la Ultimaker 2+, la tercera generación desde el modelo original y se caracteriza por su fidelidad en las tolerancias dimensionales, por su velocidad de impresión y por la calidad final de los objetos impresos.

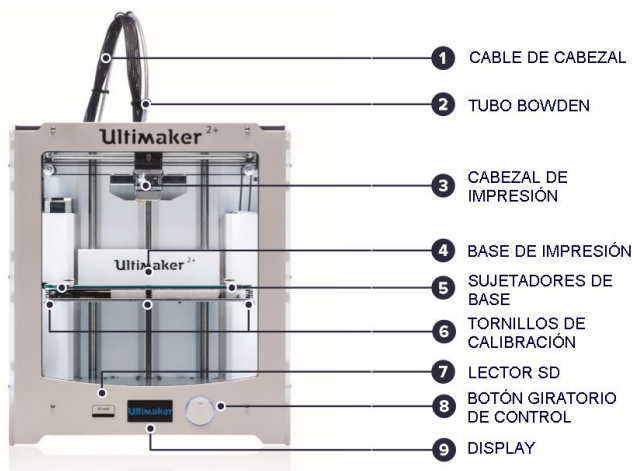


Figura 83. Ultimaker parte frontal y componentes (Ultimaker, 2017)

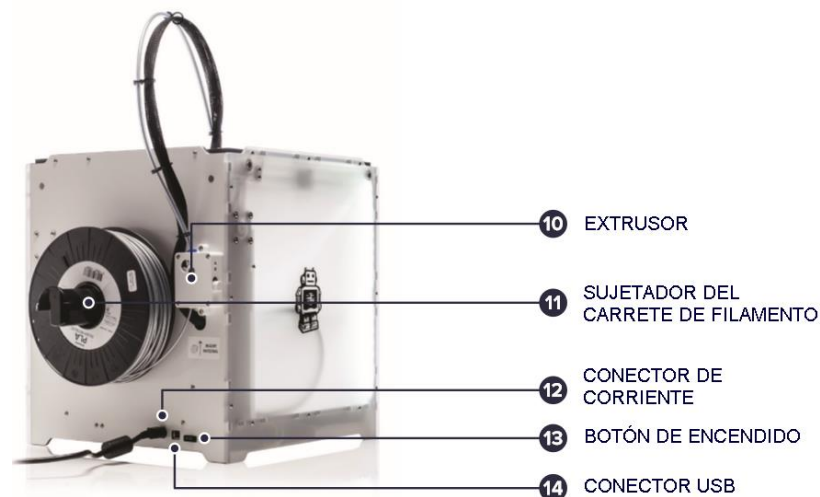


Figura 84. Ultimaker parte posterior y componentes (Ultimaker, 2017)

Lo que hace a esta impresora una herramienta altamente fiable son la calidad de los componentes y el funcionamiento de cada uno de ellos. En este caso se revisarán los más relevantes que están directamente relacionados con el proceso de impresión.

En orden, el primer componente relevante es el tubo y el extrusor Bowden (1) (10), esta metodología de extrusión a diferencia de otras impresoras como la Makerbot Replicator, es que el extrusor se ubica externo al cabezal de impresión (3), esto ayuda a un mejor control del filamento en frío, a diferencia de extrusores incluidos dentro del cabezal de impresión donde el calor influye en la rigidez del filamento lo que muchas veces provoca

deformación y atascamiento en los mecanismos de extrusión. Este factor es influyente en el éxito o fracaso de impresiones de larga duración, criterio fundamental a la hora de diseñar objetos de gran tamaño. Además la integración del mecanismo de extrusión en la parte posterior, disminuye el peso total del cabezal de impresión lo que influye en el esfuerzo por inercia que reciben los motores de movimiento, aumentando así la velocidad de impresión y precisión.

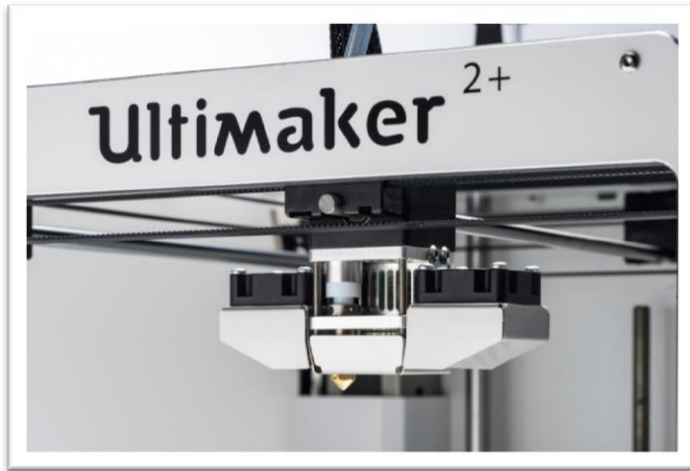


Figura 85. Detalle del cabezal de impresión (Ultimaker, 2017)

El segundo componente es el cabezal de impresión (3) un factor determinante en la calidad de impresión y en este caso, 3 son los elementos principales que influyen en su calidad.

El primero es la composición del tubo que guía el filamento desde el extrusor hasta el terminal caliente, esencialmente está compuesto del tubo guía o bowden y el acoplador del tubo, ambos están fabricados a base de teflón o PTFE, lo que asegura fluidez sin fricción del filamento, y una deposición del filamento fundido de manera regular y uniforme influyendo directamente en la definición de la impresión.

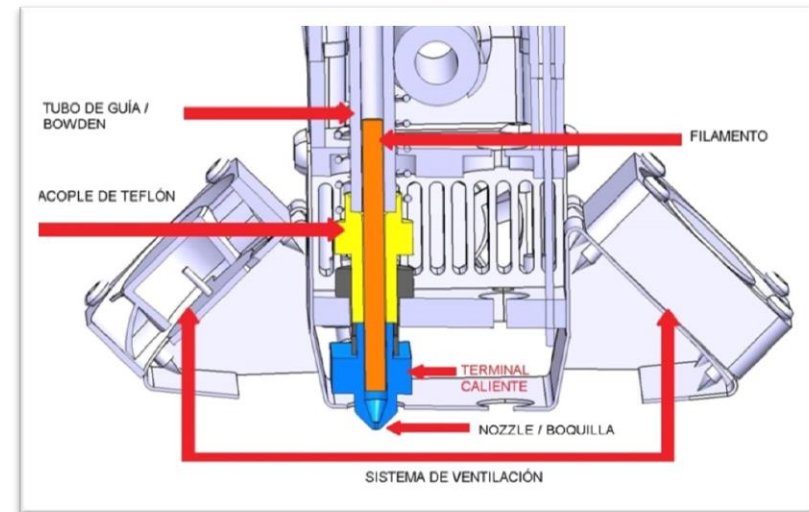


Figura 86. Diagrama del cabezal de impresión (Ultimaker, 2015)

El segundo elemento determinante es la ventilación o enfriamiento, compuesto por dos ventiladores laterales que apuntan el flujo de aire directamente a la boquilla. El flujo de aire básicamente enfría el filamento tras ser

depositado por la boquilla lo que aporta estabilidad dimensional al filamento y evita la formación de restos de filamento tras el desplazamiento del cabezal de un sector a otro, otros factores como la velocidad de impresión, la temperatura y al retracción, también son influyentes en la calidad y definición, estos serán desarrollados en el proceso de impresión.



Figura 87. Stringing o problema de restos de hilos (Ultimaker, 2017)

El tercer y último elemento determinante en la calidad de una impresión en el cabezal de impresión, es la posibilidad del intercambio de nozzle o boquillas. Esta impresora en particular ofrece 4 diámetros distintos, 0.25mm, 0.4mm, 0.6mm y 0.8mm.



Figura 88. Las cuatro variaciones de nozzle, el terminal caliente o Oslon block y las herramientas de desmontaje (Ultimaker, 2015)

El intercambio de las boquillas puede mejorar la definición de las impresiones variando un diámetro de 0.4mm⁷ a un diámetro de 0.25mm. Básicamente lo que conlleva esto es una disminución del diámetro del filamento depositado lo que se traduce en definiciones más claras en detalles pequeños.

⁷ 0.4mm es el diámetro estándar que utilizan la gran mayoría de las impresoras 3D de escritorio en la actualidad

Si al utilizar una boquilla de 0.25mm se aumenta la resolución de capa de $100\mu\text{m}$ ⁸ a $50\mu\text{m}$ la definición será aún más detallada y más suave ya que la percepción del grosor de capa disminuirá considerablemente al tacto y a la vista.

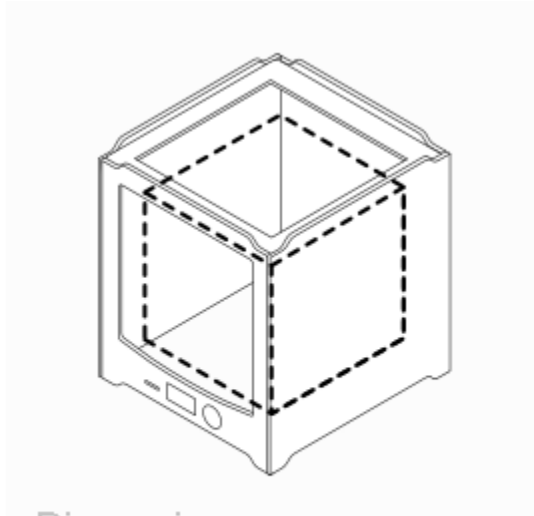
En el otro extremo, si se instala una boquilla de 0.8mm y se disminuye la resolución de capa a $600\mu\text{m}$ o 0.6mm ⁹, la definición disminuirá considerablemente, pero los tiempos de impresión disminuirán en promedio a la mitad.



Figura 89. Variaciones de tiempo por intercambio de nozzle (Ultimaker, 2015)

⁸ $100\mu\text{m}$ o 0.1mm de resolución de capa es la medida estándar de la mayoría de las impresoras 3D de escritorio en la actualidad. Ultimaker o Zortrax pueden llegar a resoluciones de capa de $20\mu\text{m}$ o 0.02mm .

⁹ Para mantener un flujo de filamento estable y evitar sobre extrusiones o atascamientos se define que para el diámetro de la boquilla la resolución de capa no puede ser mayor a un 70% del diámetro total. En este caso, un nozzle de 0.8mm nos dará una resolución mínima de 0.56mm o $0.6\text{mm}\approx$



Dimensiones:
223mm x 223mm x 205mm

Figura 90. Dimensiones y volumen de impresión (Ultimaker, 2017)

El tercer componente y último en esta revisión es la base de impresión (4), sus dimensiones y cualidades.

La base de impresión es esencial a la hora de considerar las dimensiones máximas de los diseños a imprimir tanto en su ancho y largo como en su alto. Pero la limitante de dimensión no es el único factor a considerar en la base de impresión, las cualidades de la base, la calibración y una primera capa adecuada, juegan un rol preponderante en el éxito de una impresión.



Figura 91. La base de impresión y la posibilidad de retirarla (Ultimaker, 2017)

En este caso la base de impresión es de vidrio de alta resistencia y regular en sus dimensiones para mantener una superficie plana. Está diseñada para soportar temperaturas sobre los 100°C que ayuda a mantener una superficie caliente en contacto directo con la impresión, de esta forma se disminuyen las posibilidades de que se desprege durante la impresión.



Figura 92. Efecto "warping" o pandeo (Ultimaker, 2017)

El despegue de una pieza durante el proceso de impresión generalmente ocurre por el efecto "warping" o pandeo. Esto sucede debido a una contracción del plástico tras ser depositado en la superficie, la contracción se produce por el cambio de temperatura desde su punto de fundición a su punto de enfriamiento, la aplicación de calor en la base de la impresión evita que la transición de temperatura sea tan drástica lo que reduce en cierta medida el pandeo.

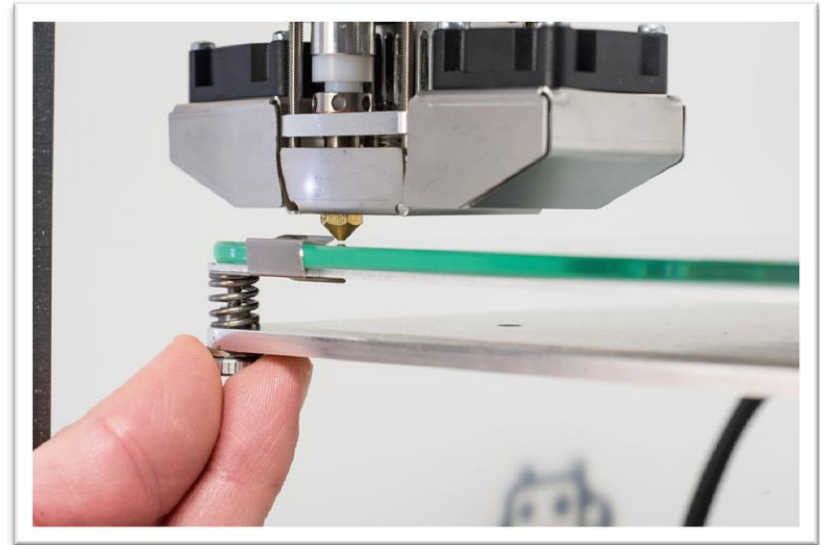


Figura 93. Proceso de calibración (Ultimaker, 2017)

Aun así para asegurar una buena adhesión y evitar el pandeo también es de especial importancia una buena calibración que asegure una primera capa homogénea.



Figura 94. Diferencias en la primera capa según calibración (Ultimaker, 2017)

Además se incluyen otros factores que son exclusivos del proceso de primera capa, como una velocidad más lenta a la velocidad promedio del total de la pieza y la desactivación de los ventiladores. Además si la pieza a imprimir es demasiado grande o utiliza gran parte del área de impresión se utiliza además un método de adhesión adicional como una barra de pegamento.



Figura 95. Aplicando una alternativa adicional de adhesión (Ultimaker, 2017)

Los factores, elementos y componentes expuestos en esta sección son los más relevantes a considerar a la hora de imprimir y obtener un resultado exitoso y de calidad.

Aun así no se consideran otros factores como los componentes de movimiento, motores o “steppers”, su precisión en los ejes x, y, z y en el extrusor posterior, las correas, el sistema de ejes cartesiano, los rodamientos lineales y los drivers o controladores. Además de la placa madre, la estabilidad constructiva y la aislación del área de impresión frente al entorno.

Todos estos detalles adicionales entre otros se consideraran en este estudio como detalles técnicos de poca relevancia, entendiendo que para otros estudios podrían ser de alta importancia si existen comparaciones entre impresoras considerando calidad, costo y durabilidad.

4.2 LA MORFOLOGÍA: VORONOI DENTRO DE UN VORONOI

Para la propuesta morfológica de las probetas se decide utilizar el diagrama de Voronoi como el generador del contorno que delimitara el patrón formado por el algoritmo. En un comienzo la aplicación de puntos para definir los contornos se hizo de forma aleatoria, la morfología busca representar la naturalidad en ambas escalas, contorno y patrón. De esta forma no solo se consigue definir el formato de las probetas, si no que se genera la posibilidad de incluir el proceso dentro de una propuesta conceptual.

Para obtener un proceso más automatizado se utiliza el algoritmo en una escala mayor para obtener los contornos. De esta forma definiendo un espacio los puntos se organizaran aleatoriamente y no solo cambiaran su contorno sino que además las dimensiones, obteniendo así una gran variedad de posibilidades de las cuales elegir.

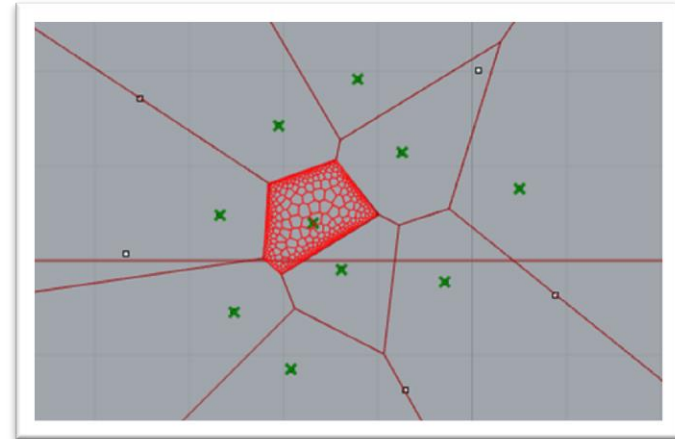


Figura 96. Voronoi centroidal anisotrópico en un diagrama de Voronoi por puntos aleatorios (Elaboración propia)

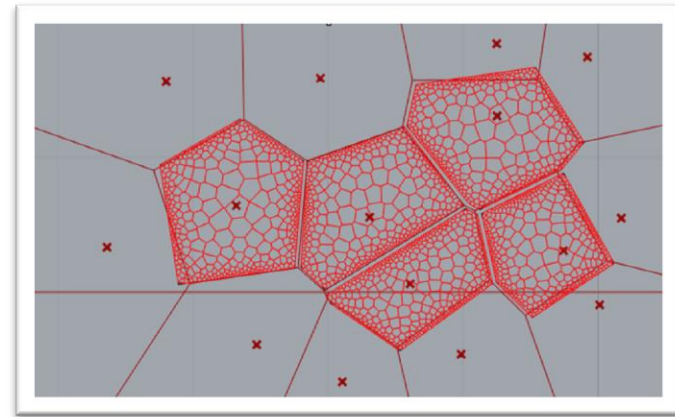


Figura 97. Conjunto de patrones incluidos en un diagrama por puntos, primer acercamiento a una propuesta conceptual (Elaboración propia)

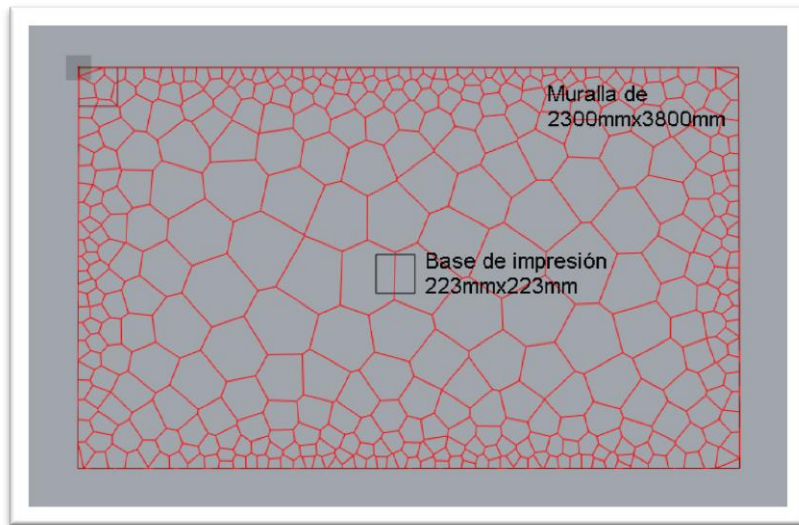


Figura 98. Diagrama de 2.3mt x 3.8mt en relación con la base de impresión de 223mm x 223mm (Elaboración propia)

Para limitar las dimensiones de cada uno de los módulos creados por el diagrama y el algoritmo, se deben variar la cantidad de puntos aleatorios que se inscribirán en el espacio definido según el componente “PopGeo”.

Por defecto la definición trae 400 puntos aleatorios, según el espacio definido se debe aumentar los puntos hasta lograr que las células del centro, que serán las más grandes, queden inscritas en la base de impresión.

Al haber más puntos se generaran más células que tendrán que ocupar el mismo espacio, lo que las obliga a disminuir su tamaño, en otras palabras el algoritmo incluirá los puntos adicionales y reordenara el diagrama.

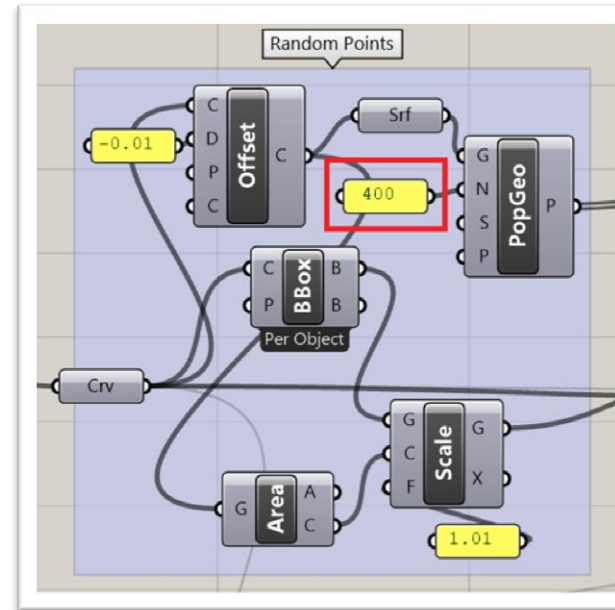


Figura 99. Extracto de la definición y la cantidad de puntos que poblarán el espacio (Elaboración propia)

Al variar la cantidad de puntos hasta reducir las células máximas al perímetro de impresión se define que para una superficie de 2300mmx3800mm y una base de impresión de 223mmx223mm se necesitan 3.000 puntos.

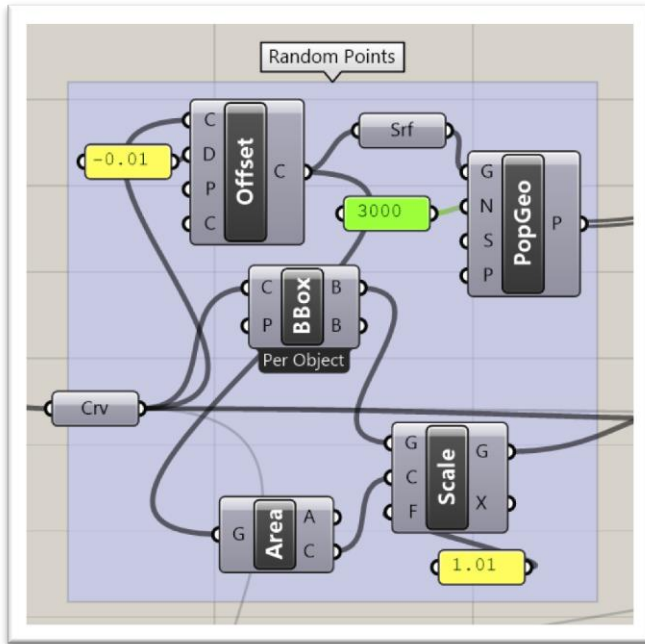


Figura 100. Cambio a 3000 puntos para obtener células inscritas en la base de impresión (Elaboración propia)

Esto se traduce no solo en que las células máximas son potenciales polígonos para ser impresos sino que además se forman 3.000 potenciales formas automáticamente generadas donde además existen múltiples combinaciones posibles entre ellas, donde la limitante será que para cada polígono a combinar este debe combinarse con otro polígono con al menos un lado igual.

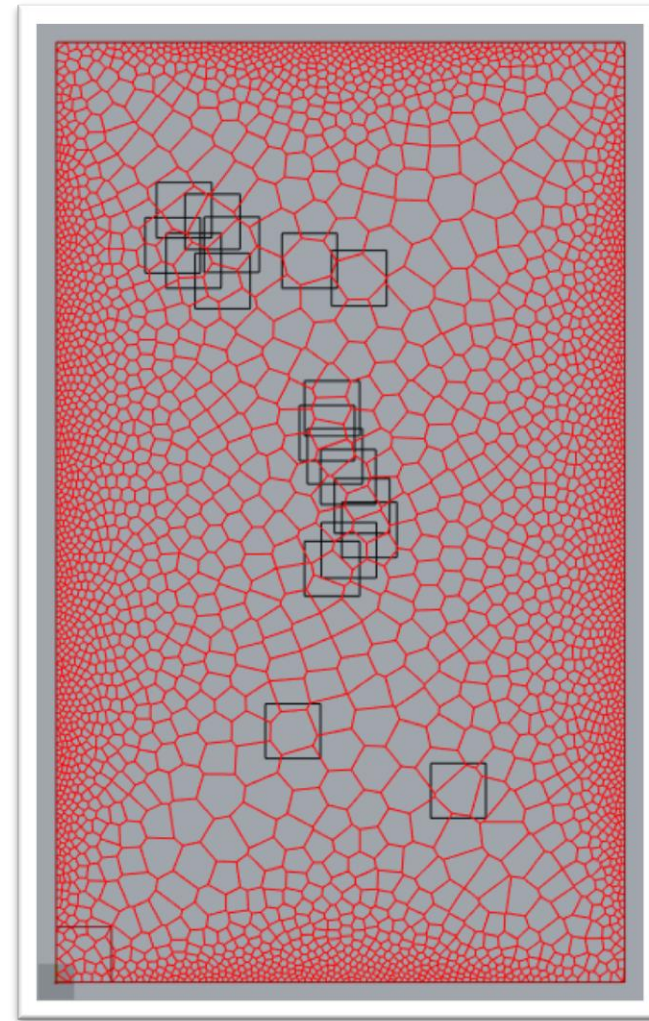


Figura 101. Diagrama de 2.3mt x 3.8mt en relación con la base de impresión de 223mm x 223mm (Elaboración propia)

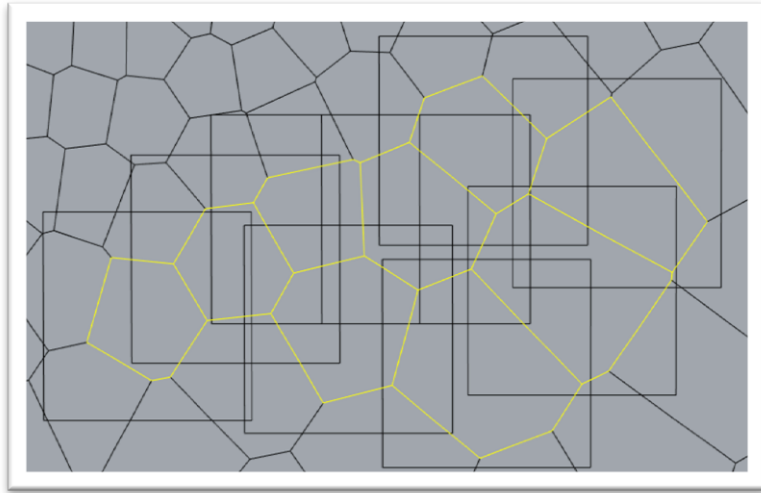


Figura 102. Posibilidad de conjunto de polígonos para formar un patrón (Elaboración propia)

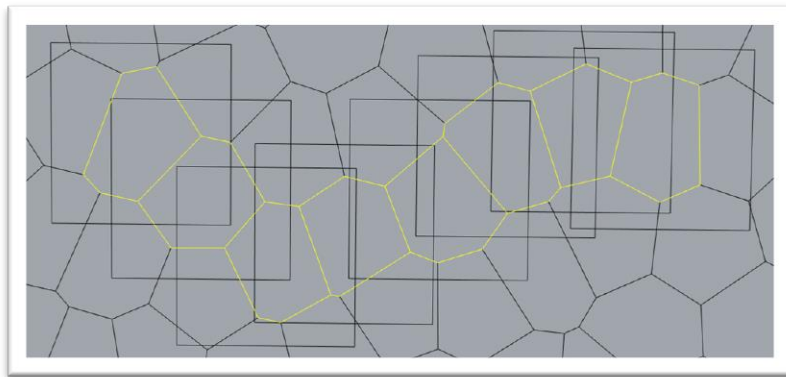


Figura 103. Posibilidad de conjunto de polígonos para formar un patrón (Elaboración propia)

Independiente de las combinaciones que se puedan hacer el objetivo en esta sección es crear el contorno necesario para aplicar posteriormente el patrón. Lo ejemplificado anteriormente servirá a modo una posible aplicación.

La selección de un polígono estará determinada entonces por la limitante de área de impresión y podrá ser cualquier polígono inscrito en esa área formado por el algoritmo.

Para seleccionarlo dentro del patrón generado el patrón se debe consolidado y posteriormente se exportará el polígono seleccionado como un nuevo archivo.

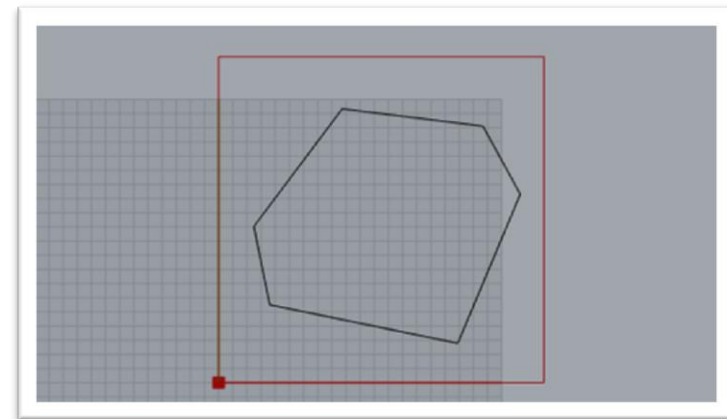


Figura 104. Propuesta de contorno final inscrito en base de impresión (Elaboración propia)

4.3 EL FACTOR DE FUERZA APLICADO Y LAS DIMENSIONES

Habiendo definido un contorno o polígono el siguiente proceso es aplicar el patrón del algoritmo “Voronoi centroidal anisotrópico” para crear los primeros bocetos de las probetas a construir.

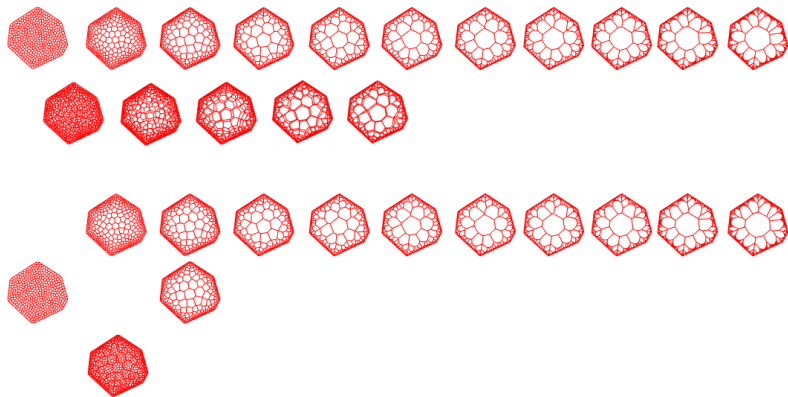


Figura 105. Explorando y alterando el factor de fuerza, colección de iteraciones (Elaboración propia)

El parámetro principal a trabajar en esta etapa es el factor de fuerza aplicado para la expansión del diagrama, como se revisó anteriormente en una escala decimal entre 0 y 1 que equivale al porcentaje de cercanía de los puntos, centroides de cada célula del diagrama, a los bordes o límites del polígono.

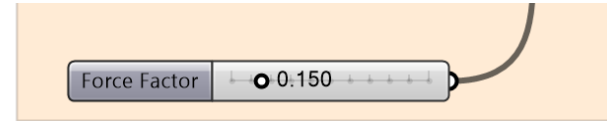


Figura 106. Sub definición de post procesado y parámetro del factor (Elaboración propia)

Para realizar las pruebas se introduce el polígono a testear y a medida que se aplican los factores se consolidan cada uno de ellos para ir creando un catálogo de las posibilidades tal cual se plantea anteriormente (Wilmore, 2015) en el capítulo 4.

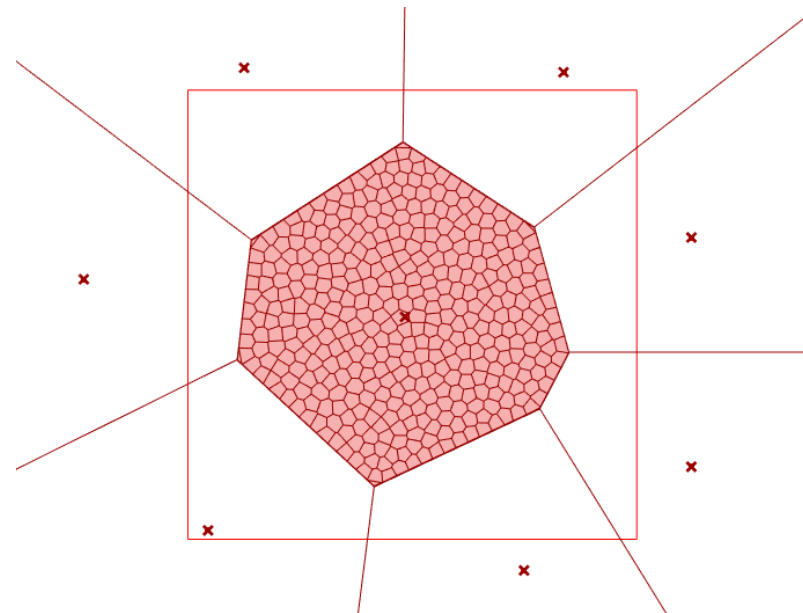


Figura 107. Base de operación (Elaboración propia)

Tras generar el diagrama deseado según el factor aplicado este debe consolidarse y trasladarse a la colección de iteraciones.

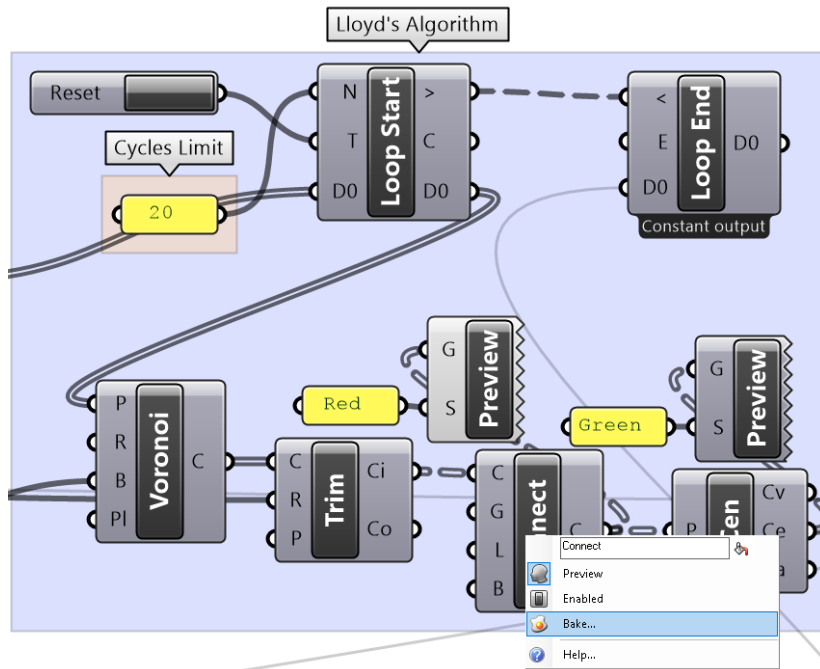


Figura 108. Consolidación del diagrama (Elaboración propia)

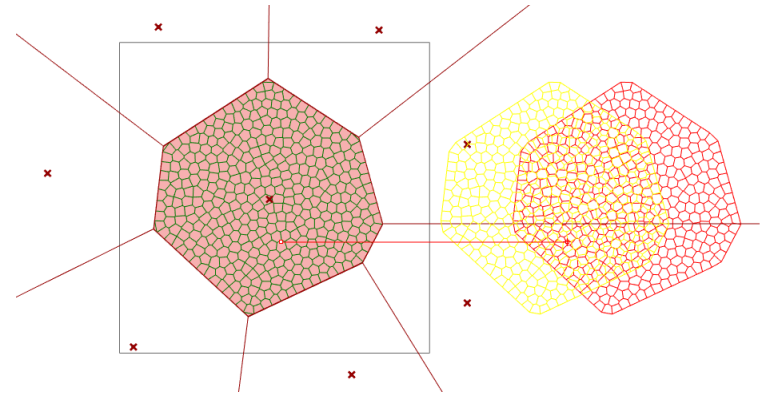


Figura 109. Traslado del diagrama consolidado (Elaboración propia)

Mediante este proceso además se pueden integrar dos diagramas resultantes en uno solo, explorando así las posibles complejidades que podría tener un diagrama final.

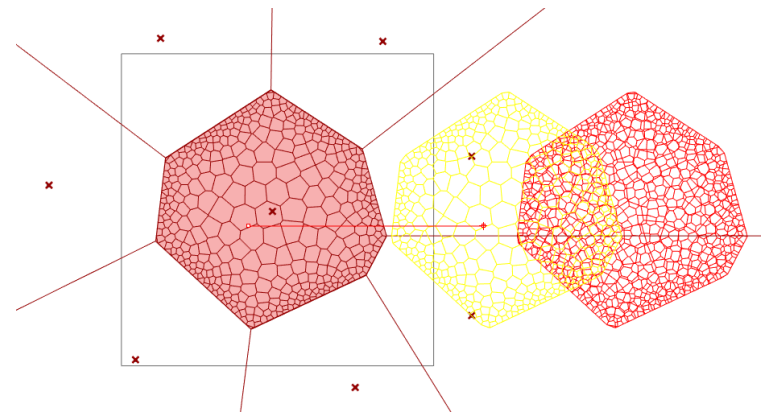


Figura 110. Traslado de un diagrama adicional para incluir complejidad al resultante (Elaboración propia)

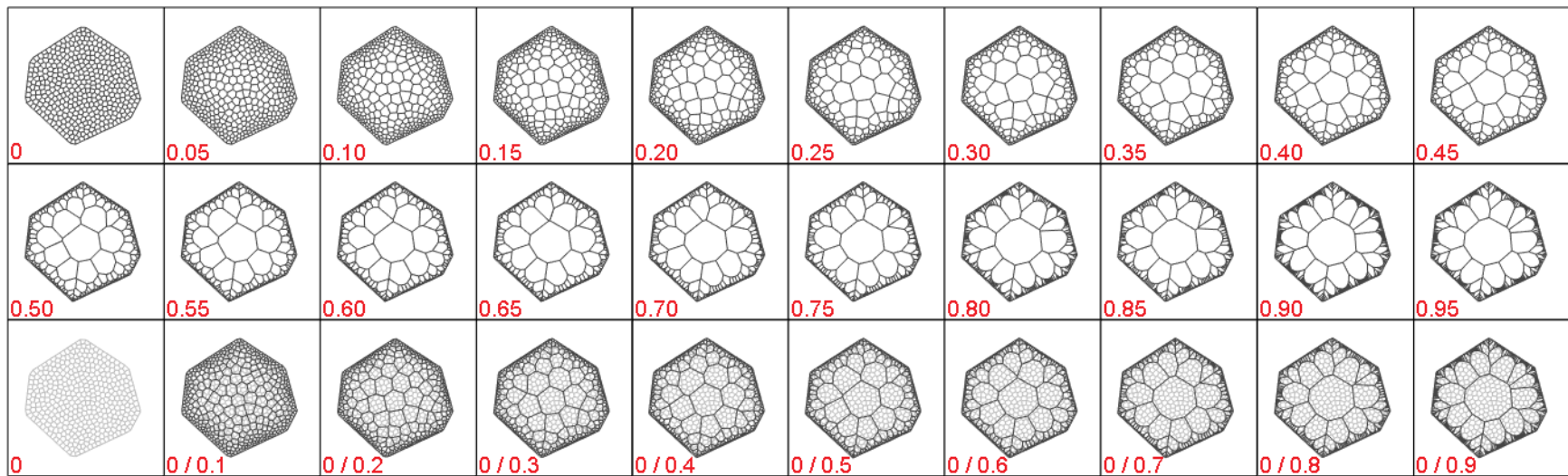


Figura 111. El catálogo de variaciones del factor y la integración del factor 0 con los resultantes de factor desde 0.1 a 0.9 (Elaboración propia)

4.4 CREANDO UN MODELO SÓLIDO, LA PROPUESTA DE LA HERRAMIENTA T-SPLINES DE AUTODESK

Como en el registro de la confección de la probeta preliminar en el capítulo 2, se hace necesario que los diagramas generados puedan ser convertidos a un sólido digital mediante extrusión o alguna herramienta que utilice las líneas generadas como los parámetros para generar un cuerpo.

Se propone utilizar entonces una extensión adicional de Rhino, T-Splines de Autodesk, para el modelado de la superficie. El software se hace pertinente debido a su capacidad de lograr formas orgánicas de una manera eficiente (T-Splines, 2013) además de ofrecer varias alternativas para controlar y variar las formas logradas. Para obtener la información necesaria para aplicar el modelado mediante T-Splines, se deben transformar las curvas generadas por el diagrama, que serán todos los polígonos que componen el patrón, en segmentos mediante el comando “Explode”.

```
Command: Explode
Select objects to explode:
Select objects to explode. Press Enter when done:
Exploded 400 curves into 2281 segments.
```

Command: |

Figura 112. La conversión de curvas a segmentos y la cantidad total en el panel de comandos (Elaboración propia)

Al aplicar este comando se obtendrán segmentos que se duplicaran sobre el patrón, estos deben ser seleccionados mediante el comando “SelDup” y extraídos del diagrama original.

```
Command: SelDup
Found 1084 duplicates. 1084 curves added to selection.
Duplicate selection is from model space only.
```

Command: |

Figura 113. La selección de duplicados para la obtención del diagrama transformado a segmentos (Elaboración propia)

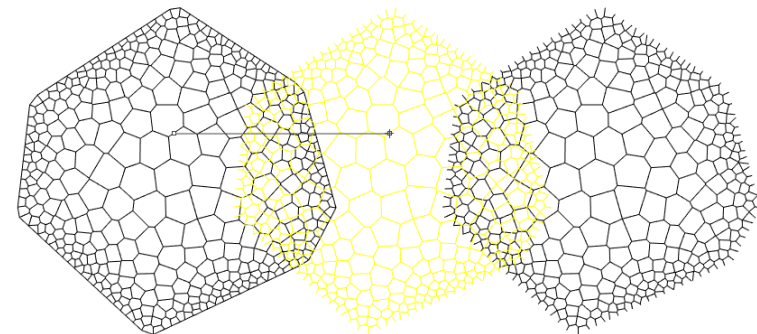


Figura 114. El traslado de la selección (Elaboración propia)

Luego de obtener el patrón transformado a segmentos es posible transformarlo a un patrón tubular mediante el comando “tsPipe”.

Command: tsPipe
Select curves to pipe, or piped t-spline:
Select curves to pipe, or piped t-spline. Press Enter when done:

Pipe handle modification (CurveSplitting Segments AddHandle RemoveHandle SetMultiple ClearMultiple Radius=1 Preview=Box OutputType=Box Joints CurrJointSet=Square DeformJoints=Yes):

Figura 115. Interfaz de comando y los parámetros de “tspipe” (Elaboración propia)

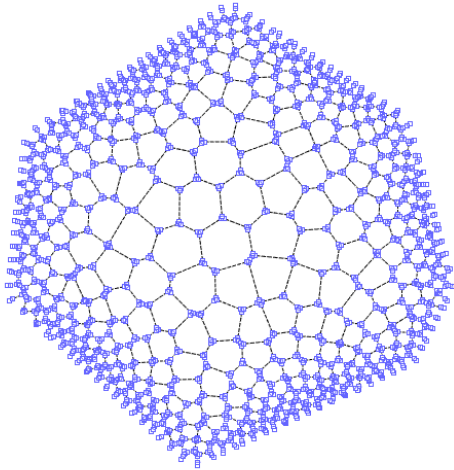


Figura 116. Previsualización del comando “tspipe” (Elaboración propia)

Los parámetros a intervenir en esta etapa son el radio y el tipo de tubo que se generara. Para el radio se utiliza el número áureo, $1.618 \approx$, como medida buscando lo orgánico a través de las proporciones, además el radio genera holgura considerando el diámetro de boquilla que se utilizara para imprimir, en este caso de 0.6mm.

Para la el parámetro tubular se selecciona “smooth” en “OutputType” para obtener una terminación suave y orgánica.

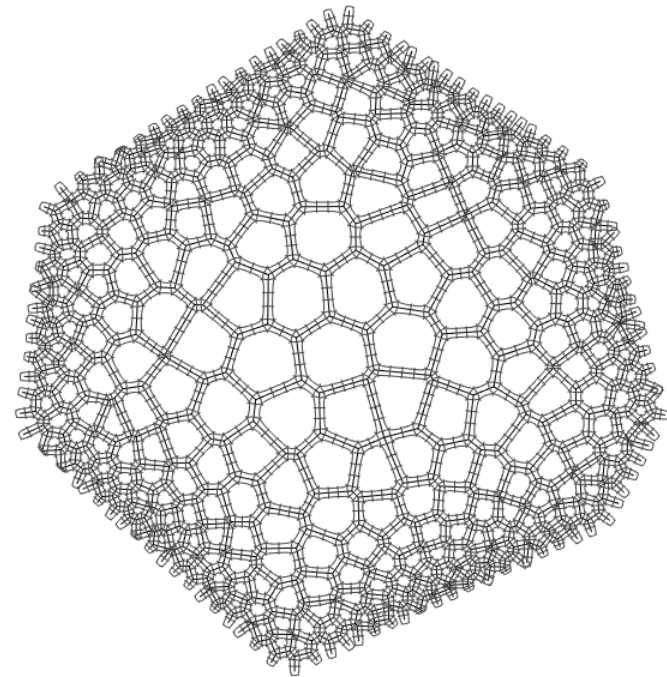


Figura 117. Vista en planta en “wireframe” del resultado “tsPipe” (Elaboración propia)

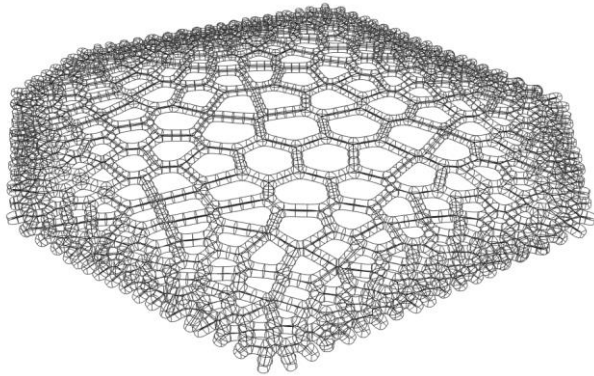


Figura 118. Vista en perspectiva en “wireframe” del resultado “tsPipe” (Elaboración propia)

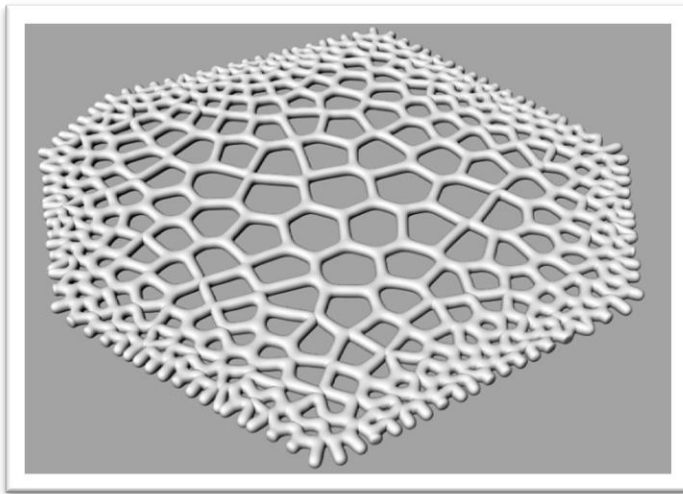


Figura 119. . Vista en perspectiva en renderizado del resultado “tsPipe” (Elaboración propia)

En este caso se utilizó un patrón mediante el algoritmo “Voronoi centroidal anisotrópico” con un factor de fuerza de 0.1, según el criterio de selección es el más estable y equilibrado en cuanto a la expansión de las células del centro del patrón en relación con la contracción de las células perimetrales. Producto de este criterio, no se pierde la definición de todas las células del diagrama, donde además el radio seleccionado para el comando “Tspipe” fue también relevante para que no existiera una intersección entre los segmentos y el contorno.

Tras obtener el diagrama como un sólido el objeto debe ser transformado de un objeto “T-Splines” a un objeto de Rhino o “NURBS”, este proceso alterará la composición de la malla y describirá la geometría con más precisión, lo que permitirá mayor control para procesos de transformación como curvaturas o escalados.

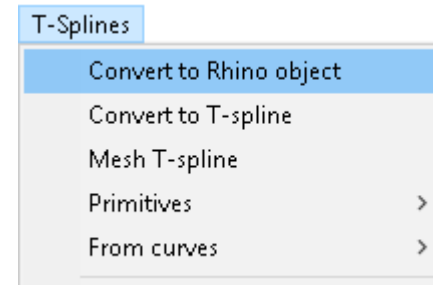


Figura 120. Extracto del menú desplegado para la conversión de objeto T-Splines a objeto de Rhino (Elaboración propia)

4.5 MESHMIXER PARA LA MANEJABILIDAD DE MODELOS COMPLEJOS

La cantidad de triángulos que definen a la geometría debido a la morfología y a la calidad de la malla generada por la herramienta T-Splines, hacen que la manejabilidad del archivo para transformaciones del objeto sea inviable sobre todo disponiendo de recursos de hardware limitados. Esto es observable en la información contenida dentro del archivo que sin transformaciones puede llegar a pesar más de 200MB hasta los 500MB o más dependiendo de las transformaciones aplicadas. Manejar el total de la información a través de software CAD afecta directamente a la cantidad de uso de la memoria RAM lo que puede causar errores y la caída del software.



Close programs to prevent information loss

Your computer is low on memory. Save your files and close these programs:

Rhinoceros

Figura 121. Extracto del error por falta de memoria RAM (Elaboración propia)

Debido a esto se hace necesaria una reducción de los triángulos que definen a la malla mediante un software adicional como “Meshmixer” de Autodesk. Para esto se deberá exportar el archivo con una extensión “.stl” (Stereolithography), archivo nativo para todas las plataformas CAD.

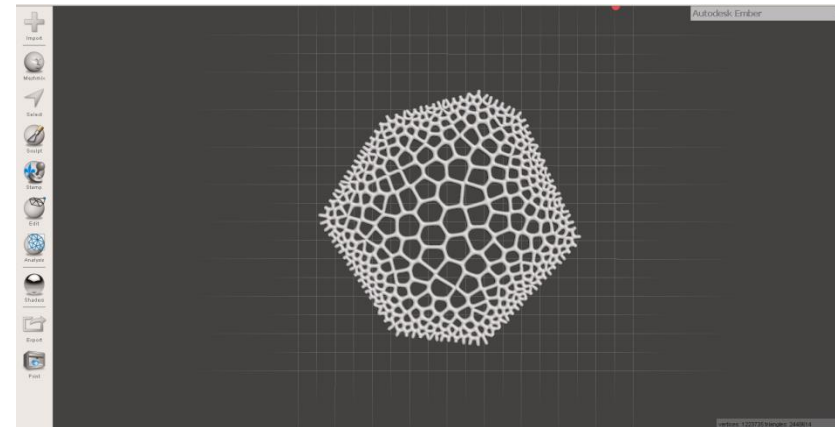


Figura 122. Extracto del entorno Meshmixer (Elaboración propia)

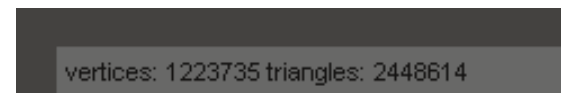


Figura 123. Cantidad de triángulos medidos por Meshmixer que describen la malla del objeto y su composición (Elaboración propia)

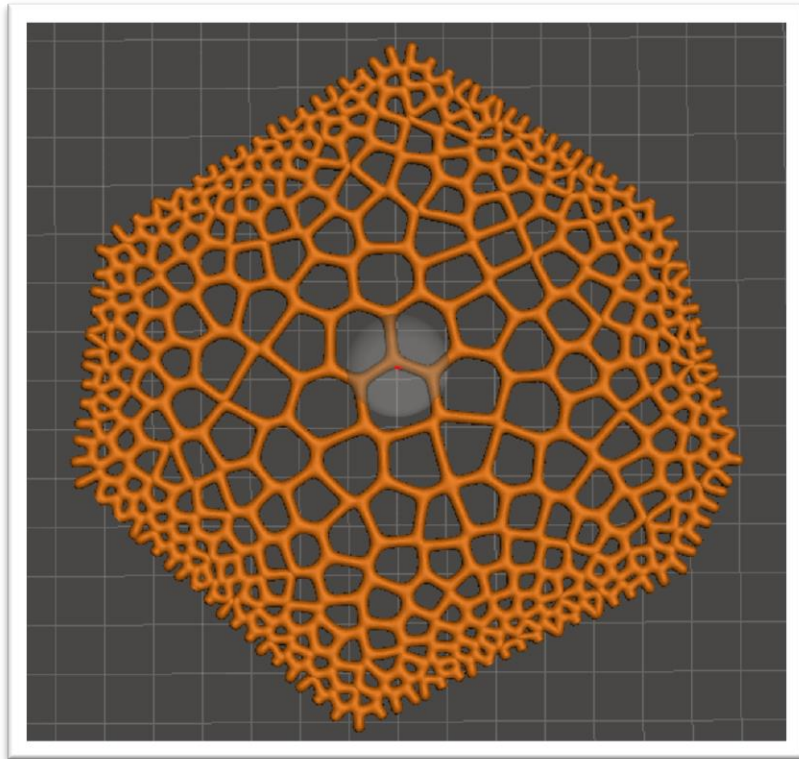


Figura 124. Selección del objeto vista en planta (Elaboración propia)

Para reducir la cantidad de triángulos que describen a la geometría se debe seleccionar el objeto para su edición. Al seleccionar el objeto se despliega el menú en donde se encontrara la opción "Edit" y luego sobre esta la opción "Reduce".

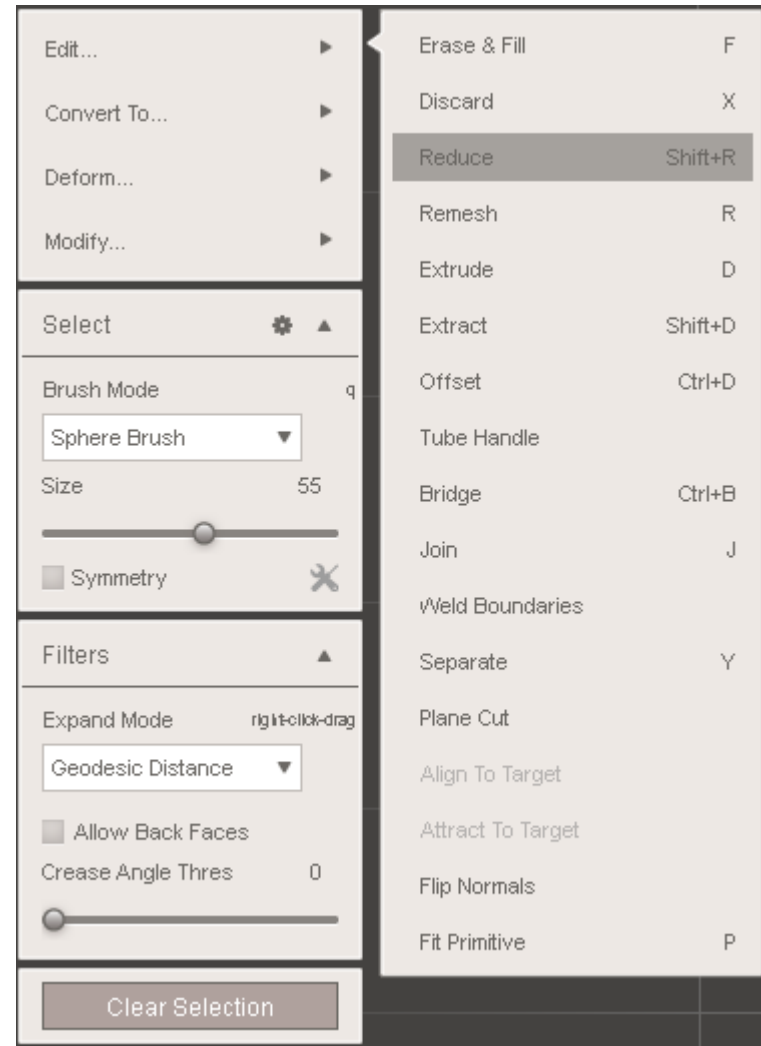


Figura 125. Extracto del menú desplegado para acceder a la opción "Reduce" (Elaboración propia)

En el panel desplegado al elegir la opción “Reduce” ofrecerá la reducción de los triángulos según un porcentaje, el porcentaje a utilizar será de un 80% lo que disminuirá considerablemente la cantidad de triángulos y al mismo tiempo mantendrá la geometría estable, no cambiara su morfología y no influirá en el proceso de impresión (3D Hubs, 2015).

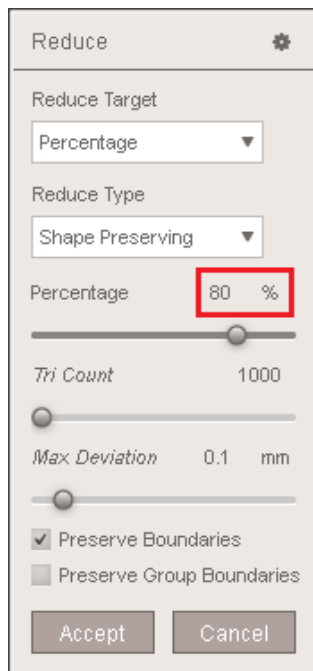


Figura 126. Extracto del Panel de reducción de triángulos (Elaboración propia)

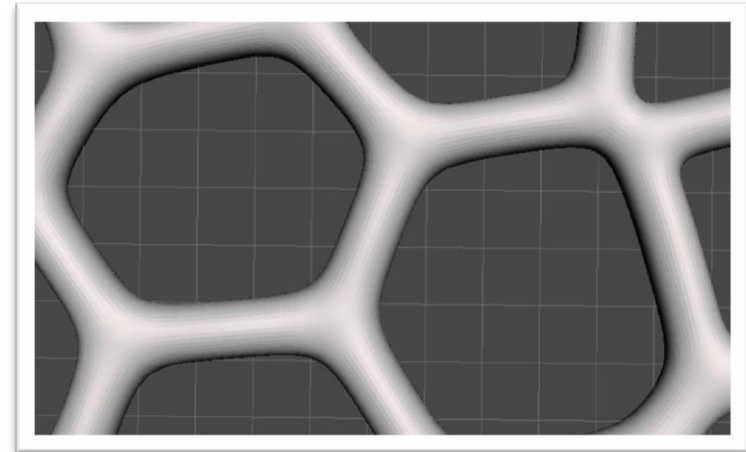


Figura 127. Sección aumentada de vista en planta del objeto sin reducción de triángulos (Elaboración propia)

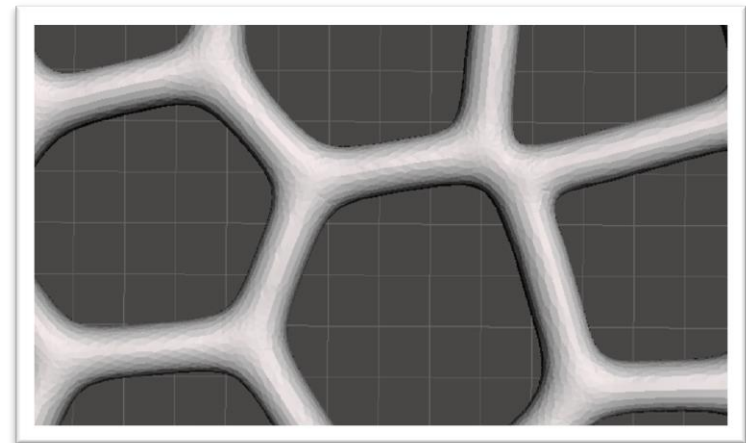


Figura 128. Sección aumentada de vista en planta del objeto tras una reducción de triángulos del 80% (Elaboración propia)

Tras la reducción de triángulos mediante Meshmixer la malla del objeto pasa de tener ≈ 2.4 millones de triángulos a tener la cifra de ≈ 490 mil, reduciendo el tamaño del archivo de 116MB a 23.3MB.



Figura 129. Cantidad de triángulos medidos por Meshmixer que describen la malla del objeto y su composición tras la reducción de triángulos (Elaboración propia)

Visualmente un acercamiento al detalle del objeto vislumbra la pérdida de calidad superficial de la malla del objeto, pero tal cual se comenta (3D Hubs, 2015) la pérdida de definición no altera la geometría.

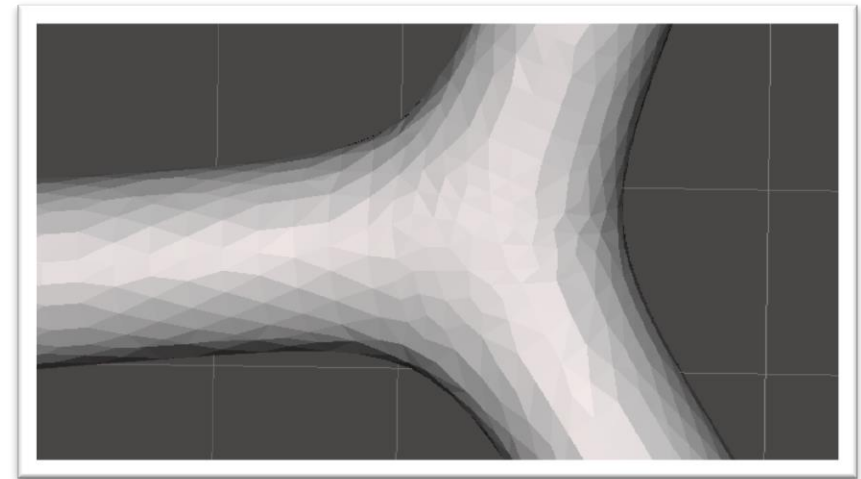


Figura 130. Vista aumentada de vista en planta de una sección del diagrama con reducción de triángulos (Elaboración propia)

4.6 LAS TRANSFORMACIONES MEDIANTE RHINO: ESCALADO, CURVADO Y LA ADICIÓN DE COMPLEJIDAD MEDIANTE UN DIAGRAMA DE FACTOR 0

Tras la reducción el modelo puede ser exportado nuevamente a Rhino para trabajar con las transformaciones de escalado y curvado, procesos que estarán incluidos en las probetas para darles el formato adecuado.



Figura 131. Extracto de herramienta de escala 1-D (Elaboración propia)

El proceso de escalado para este caso será una sola dimensión para escalar el grosor del objeto debido a que tiene la misma medida que el radio de los segmentos que componen en diagrama asignado en el comando "tspipe".

Para el escalado 1-D se deben definir dos puntos de referencia; el origen, que este caso estará en la mitad del objeto en el eje Y en la vista frontal, y el segundo punto de referencia que estará a ≈ 1.618 mm, el radio tubular.

Luego de definir ambos puntos se desplaza el vector de escalado hasta los 2.75mm para obtener una pieza de grosor total de 5.5mm.

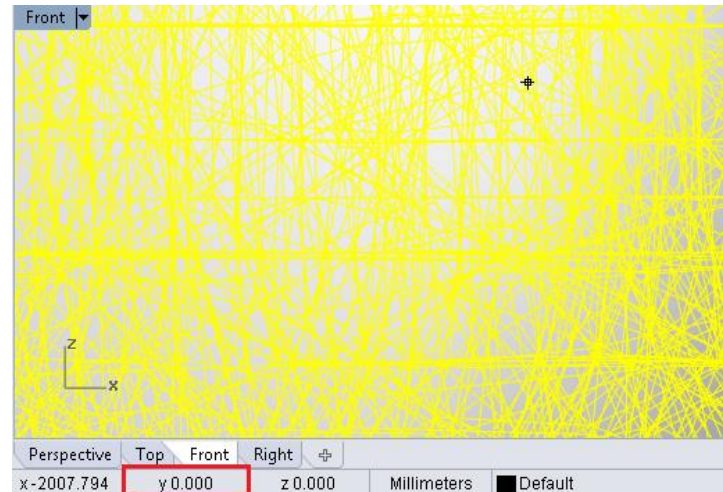


Figura 132. Vista frontal aumentada para definir el origen (Elaboración propia)



Figura 133. Vista frontal aumentada para definir el segundo punto de referencia (Elaboración propia)

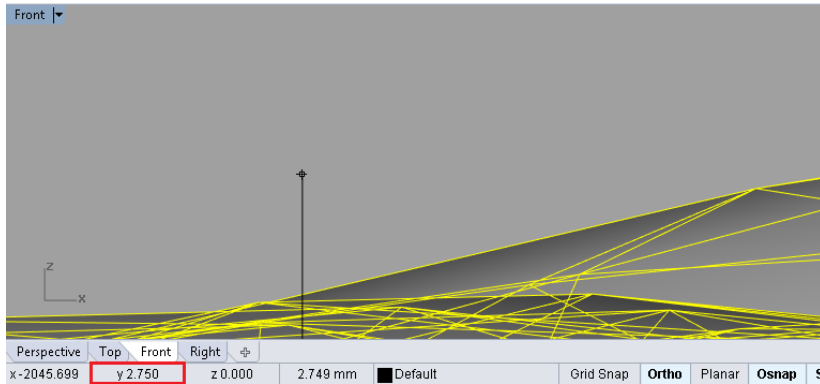


Figura 134. Vista frontal aumentada para el desplazamiento del vector de escalado (Elaboración propia)

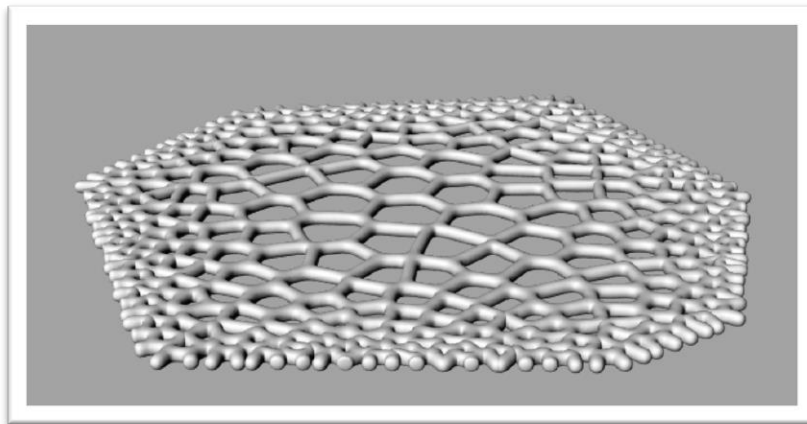


Figura 135. Objeto sin escalar en perspectiva (Elaboración propia)

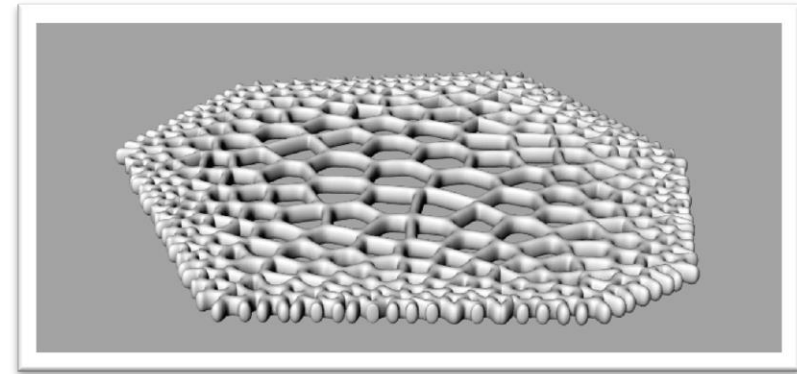


Figura 136. Objeto escalado a 5.5mm en perspectiva (Elaboración propia)

El diagrama se escala a 5.5mm ya que durante un acercamiento a la propuesta conceptual se considera el revestimiento o decoración para paredes como posible aplicación, se utiliza de referencia de revestimiento en madera a la empresa Masisa, donde el espesor mínimo que se ofrece es de 5.5mm de espesor para los revestimientos de enchapado con ranurado (Masisa, 2017).

Este espesor limita el grosor de las probetas a uno adecuado para ser impreso, para no utilizar material en exceso y además entregarle rigidez a la pieza, grosores menores tienden a ser más flexibles e influir en la percepción de madera asemejándose más al plástico.

La siguiente transformación aplicada a las probetas será la de curvado, siendo los objetos esencialmente curvos se hace necesario aplicar curvaturas que en un supuesto evoquen más naturalidad, integrándose como otro factor además de la morfología base y el patrón integrado.

Para aplicar curvas se utilizará la herramienta “Edit cage” que agregara puntos de control sobre el objeto para deformarlo según se estime conveniente. Los puntos de control obedecen a una transformación de continuidad geométrica G1¹⁰



Figura 137. Herramienta de edición de caja o "Edit cage" (Elaboración propia)

¹⁰ La tangencia (continuidad G1) calcula la posición y la dirección de la curva en los finales, las dos curvas no solo se tocan, sino que van en la misma dirección en el punto donde se tocan. La dirección viene determinada por el primer y el segundo punto en cada curva. Si estos dos puntos se encuentran en una línea, las dos curvas son tangentes (G1) en los finales (McNeel, 2017)

Para editar el objeto a través de la caja se debe definir la cantidad de puntos de control que se utilizarán. En este caso se utilizarán 16 para el eje X e Y, y para el eje Z 4 por defecto.

```
Select captive objects. Press Enter when done:
Select control object (BoundingBox Line Rectangle Box Deformation=Accurate PreserveStructure=No); BoundingBox
Coordinate system <World> (CPlane World 3Point);
Cage points (XPointCount=4 YPointCount=4 ZPointCount=4 XDegree=3 YDegree=3 ZDegree=3); XPointCount
Cage points (XPointCount=16 YPointCount=16 ZPointCount=4 XDegree=3 YDegree=3 ZDegree=3);
```

Figura 138. Comando “edit cage” y la cantidad de puntos de control (Elaboración propia)

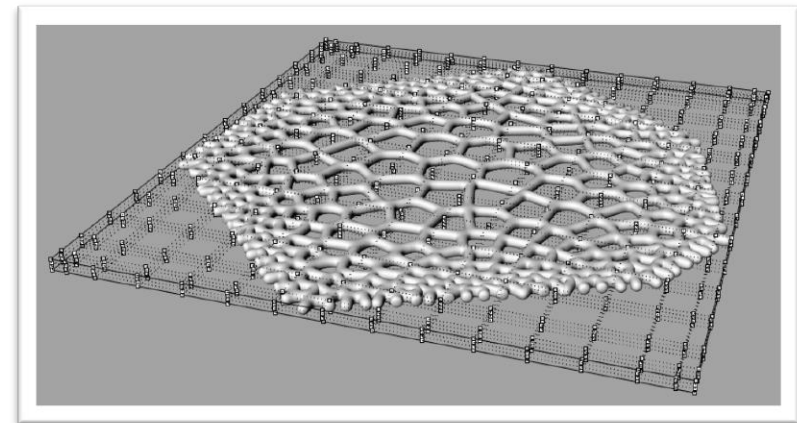


Figura 139. Edit cage y los puntos de control definidos en perspectiva (Elaboración propia)

Para la deformación de la superficie se evitará curvar las zonas perimetrales enfocándose en el centro del plano, además se deformarán los puntos superficiales de una

cara evitando los 3 puntos restantes del eje Z, manteniendo la base sin cambios.

Debido a la continuidad geométrica "G1", se considera que al mover un punto también se moverán los puntos adyacentes o primeros más cercanos, por esto para evitar mover los puntos perimetrales el punto a mover debe tener al menos un punto de separación con los puntos que definen el perímetro. La intención de no alterar el plano del perímetro es esencialmente anticipando que las piezas se juntarán desde los bordes, si los bordes tienen curvaturas aleatorias y no son continuas entre pieza y pieza la unión entre ellas no resultará armónica.

Para la elección de los puntos que definirán la curvatura se eligen puntos seguidos para mantener una deformación continua e integrada, evitando así curvaturas aisladas.



Figura 140. Vista frontal de los puntos seleccionados en el eje Z (Elaboración propia)

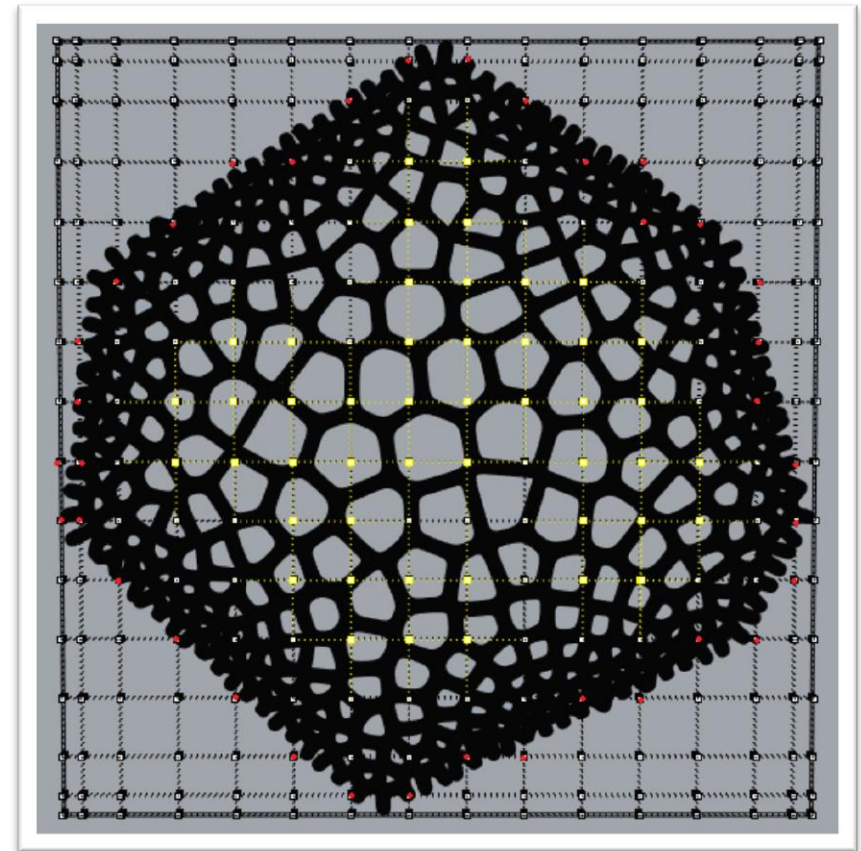


Figura 141. Vista en planta de los puntos seleccionados en la sección X, Y (Elaboración propia)

Luego de seleccionar los puntos se procede de la misma manera que la extrusión, se toma de referencia la vista frontal para controlar la altura de la curvatura para obtener el grosor del objeto.

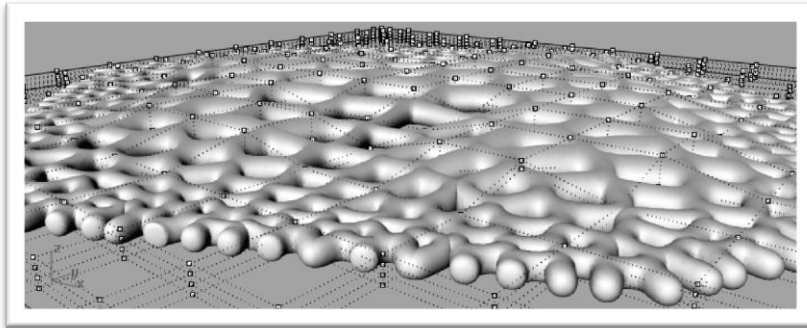


Figura 142. Curvatura en perspectiva (Elaboración propia)

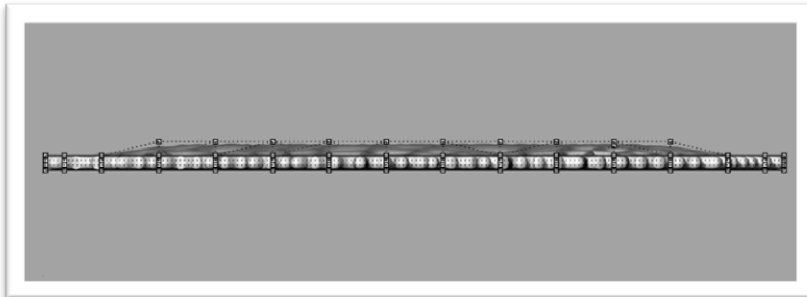


Figura 143. Curvatura en vista frontal (Elaboración propia)

Para la curvatura se determinó una altura de 5.5mm en total.

La ultima transformación que se integrará será la de inclusión de complejidad al diagrama mediante un patrón adicional con un factor 0 para el algoritmo y para el radio la mitad del número áureo $0.8 \approx$.

Para esto se importará directamente al archivo diagrama con transformación de extrusión y al de transformación por curvatura, el diagrama de factor 0 bajo los mismos procesos que pasaron los anteriores diagramas para quedar como sólidos.

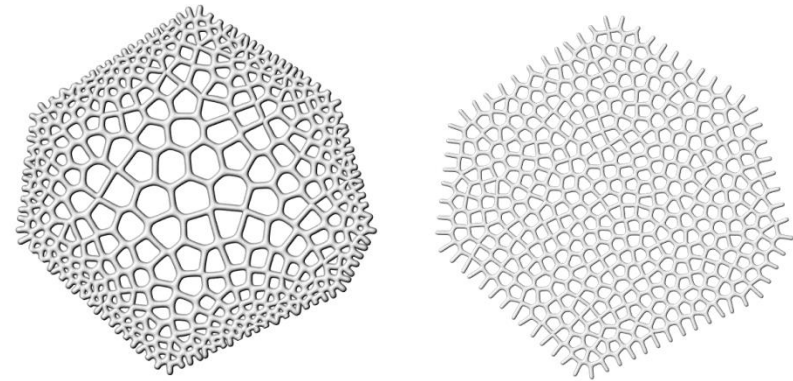


Figura 144. Inclusión de un diagrama de factor 0 (Elaboración propia)

Luego este se integra como elemento adicional con un grosor de segmento menor y en un nivel más bajo o pegado a la base del diagrama original.

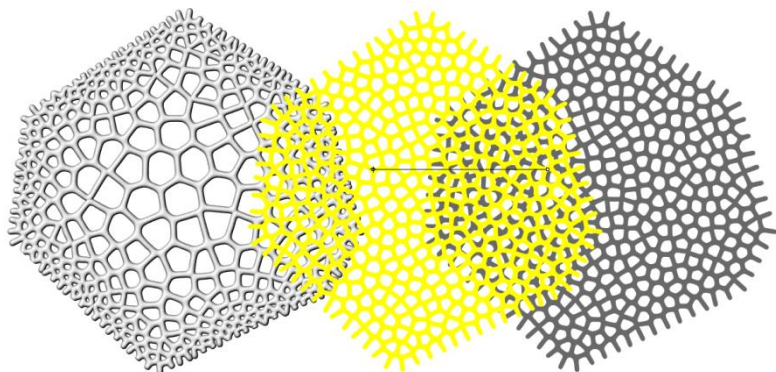


Figura 145. Desplazamiento del diagrama de factor 0 (Elaboración propia)



Figura 146. Vista frontal del desplazamiento del diagrama de factor 0 (Elaboración propia)

La integración del diagrama de factor 0 y su posición basal considera en primera instancia lograr un efecto de profundidad o un efecto de transición de capas, no obstante su posición tiene además un efecto operativo para el proceso de impresión, donde la orientación del diagrama incluido, entrega información sobre cuál es el lado “imprimible” de la pieza para obtener los mejores resultados.

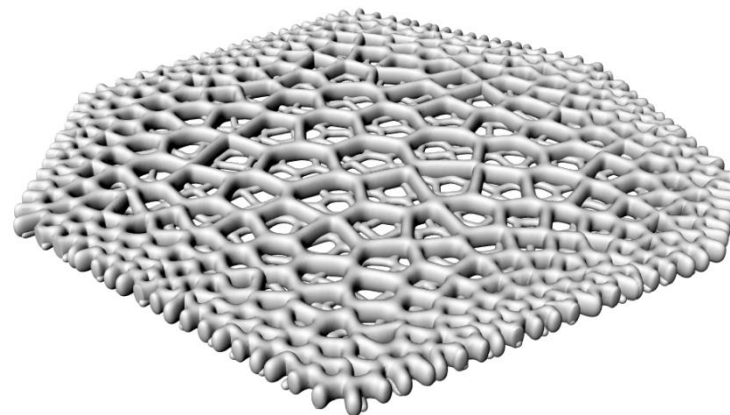


Figura 147. Vista en perspectiva de la adición de complejidad (Elaboración propia)

Finalmente el registro de estos procesos definirá 4 probetas que serán propuestas para la evaluación sensorial. Los criterios a incluir en estas cuatro probetas entonces son la extrusión, el curvado y la inclusión de complejidad mediante un diagrama adicional. Para que tanto la extrusión y el curvado sean evaluados por igual deben existir dos probetas que solo incluyan estos procesos y luego dos probetas que incluyan los procesos pero que además incluyan la integración de complejidad, quedando así Extrusión/Curvado - Extrusión/Complejidad - Curvado/Complejidad.

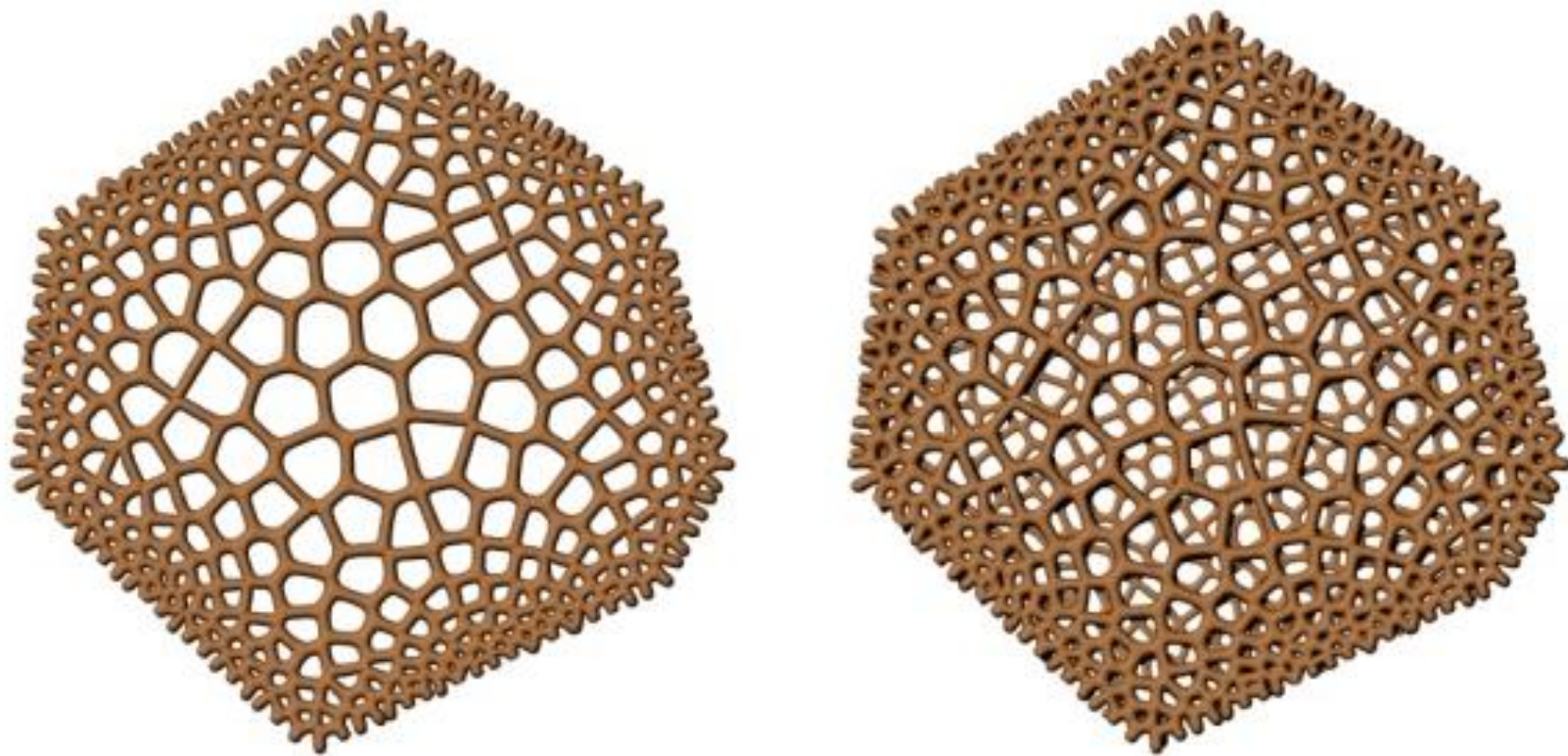


Figura 148. Render vista frontal probeta de extrusión y de extrusión con adición de complejidad (Elaboración propia)

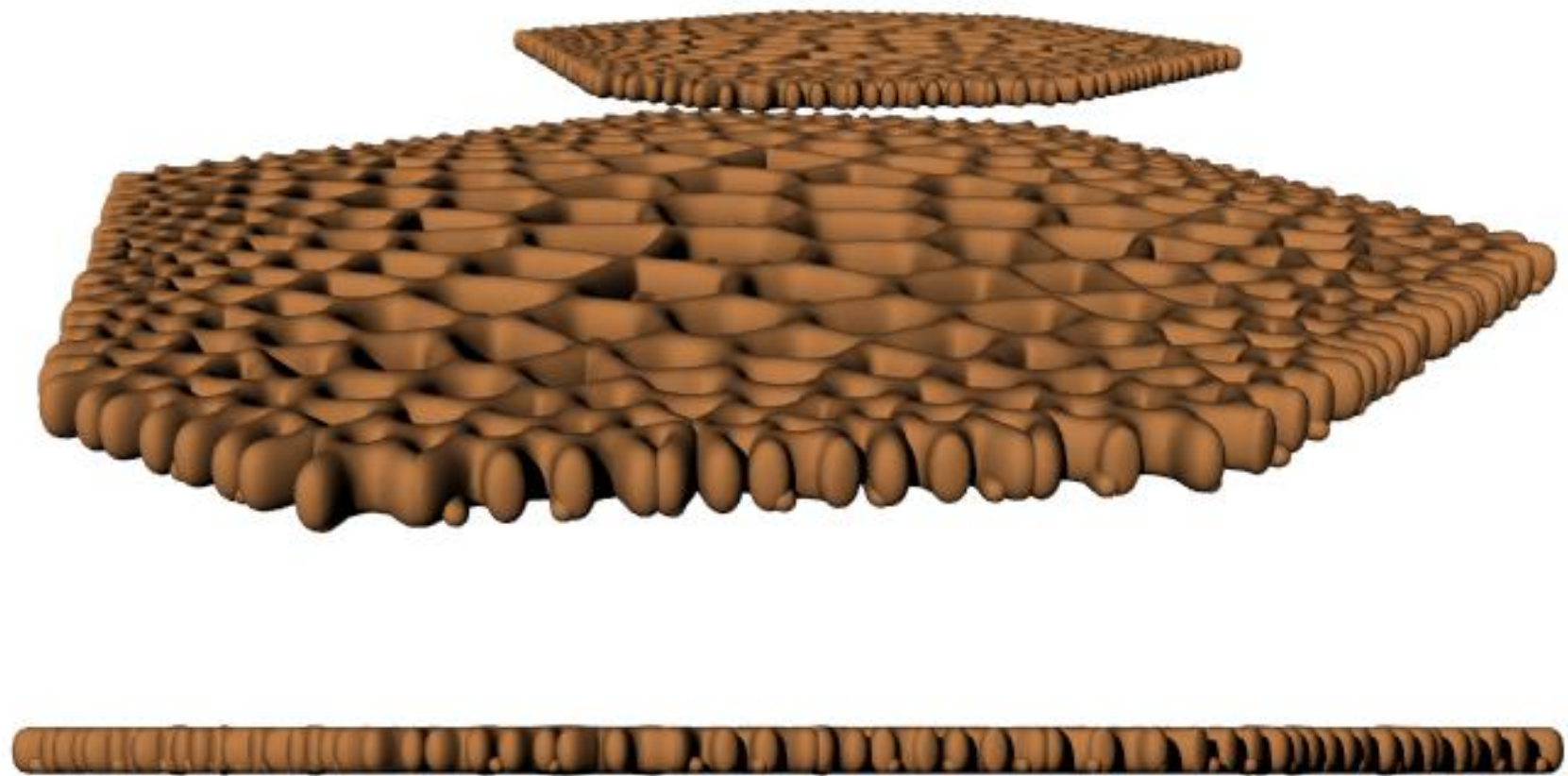


Figura 149. Render vista perspectiva y de elevación probeta de extrusión y de extrusión con adición de complejidad (Elaboración propia)

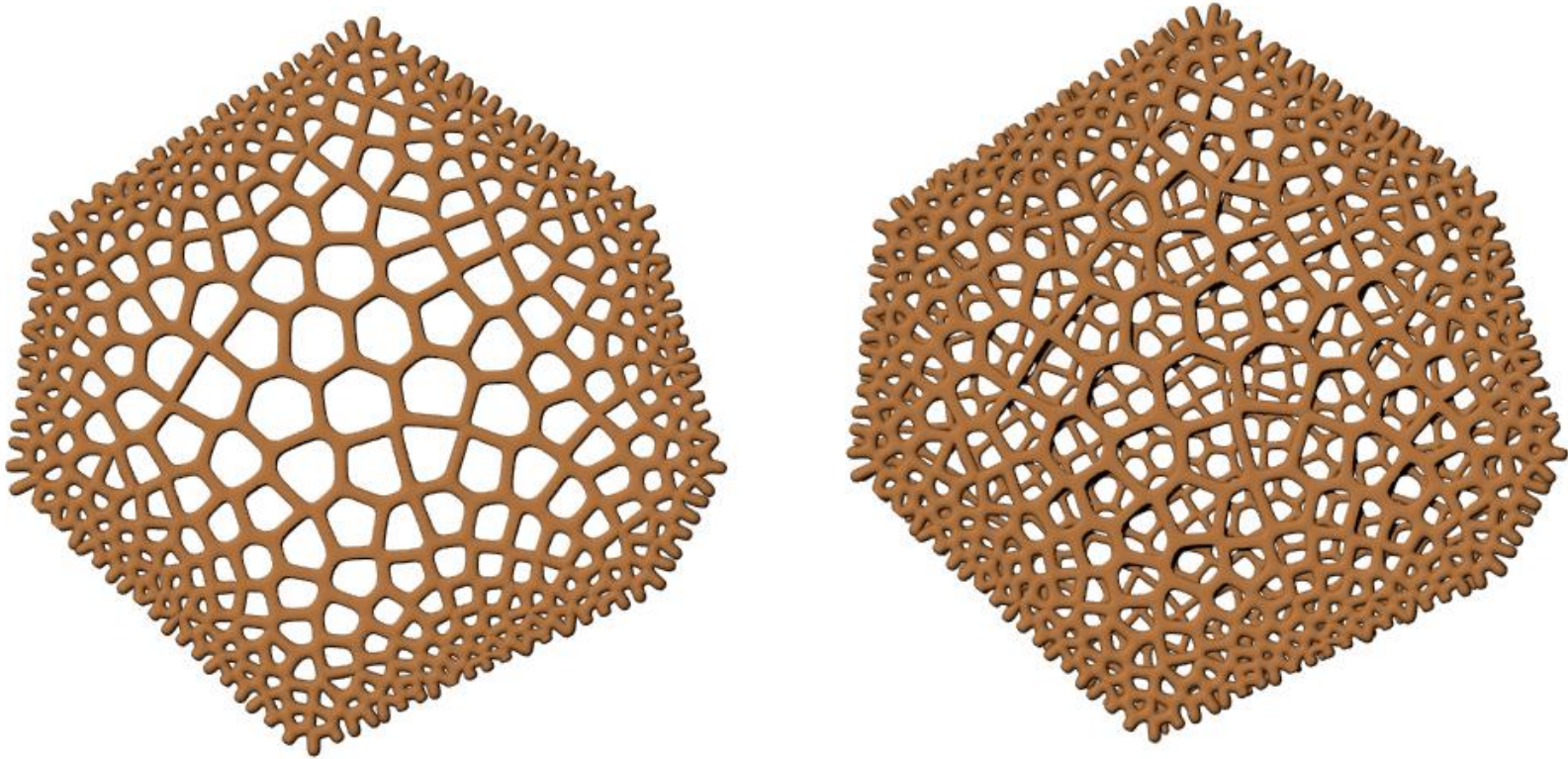


Figura 150. Render vista frontal probeta de curvado y de curvado con adición de complejidad (Elaboración propia)

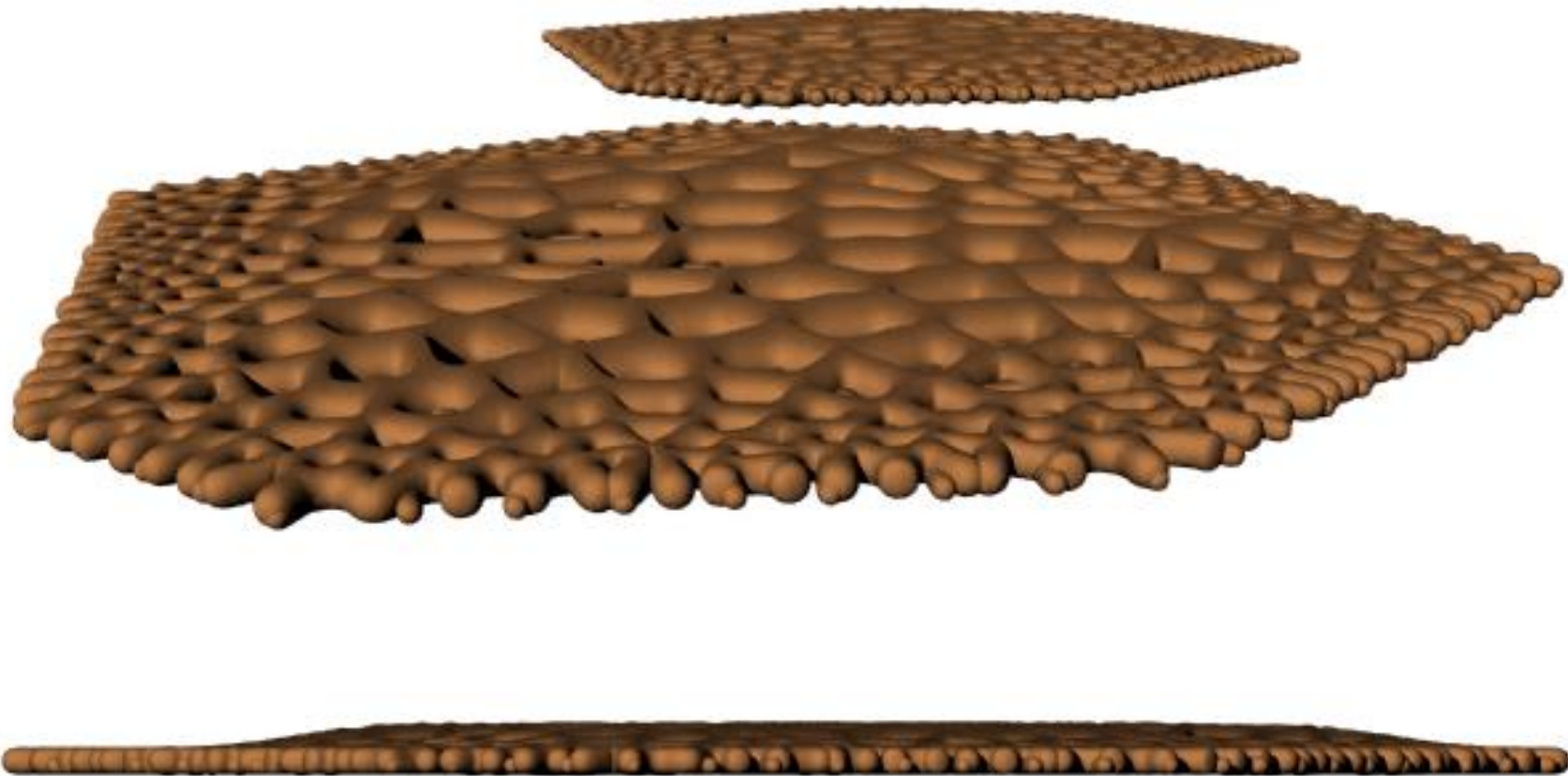


Figura 151. Render vista perspectiva y de elevación probeta de curvado y de curvado con adición de complejidad (Elaboración propia)

4.7 INCLUSIÓN DE DOS PROBETAS DE CONTROL

Para la evaluación se incluirán dos probetas de control que funcionarán como contraste a los resultados de las 4 probetas propuestas. Para estas piezas se propone un contorno distinto para evitar la semejanza y así lograr un mejor contraste.

Para la primera probeta se propone una pieza plana y sólida sin aplicación de patrones, con el mismo grosor de las anteriores.

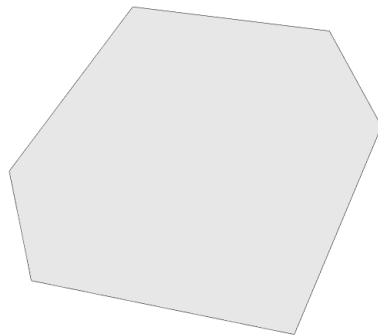


Figura 152. Probeta de control plana vista en planta (Elaboración propia)

La segunda pieza se propone como la integración entre la primera y un patrón escalado sin complejidad. Esta integración explora la relación entre el patrón y lo sólido y el efecto que puede producir, además de conocer como puede ser percibida por los encuestados.

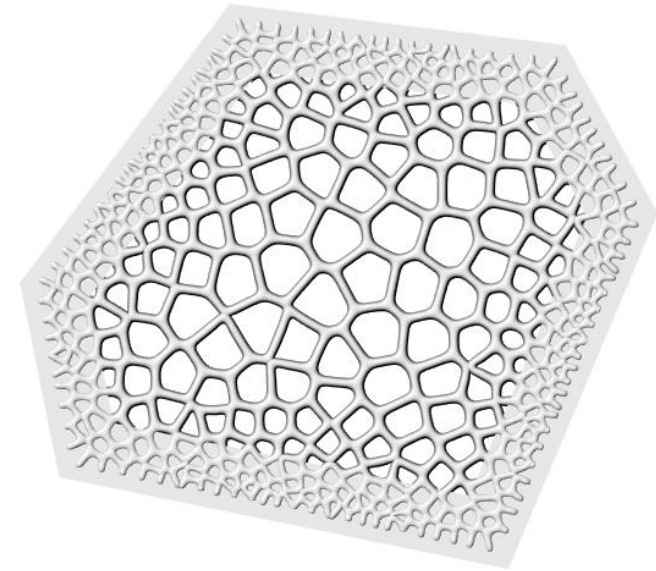


Figura 153. Probeta de control integración sólido-patrón vista en planta (Elaboración propia)

Además la inclusión de esta última probeta acerca un paso más la propuesta conceptual final en donde los datos obtenidos por la evaluación serán influyentes en la iteración de la probeta para proponer una pieza concreta y que defina la morfología del módulo que compondrá el diagrama mayor considerado en el punto “La morfología: Voronoi dentro de un Voronoi”.

4.8 EL PROCESO DE IMPRESIÓN Y EL SOFTWARE DE IMPRESIÓN SIMPLIFY3D

La impresión en su fase inicial necesita de un proceso imprescindible para poder ponerla en marcha. Este proceso parte desde el computador mediante un software denominado “Slicer”, que básicamente lo que hace es cortar o traducir el modelo digital en capas, que definirán los perímetros y pasos que deberá cumplir la impresora para fabricar el objeto propuesto.

Esta etapa es de especial relevancia sobre todo porque es el instante en donde se pueden configurar todos los factores considerados en la sección anterior. Se definirá el comportamiento de la impresora desde el inicio el proceso y el final. La configuración se guarda junto al modelo digital en un archivo con denominación “.gcode” que contendrá las series de comando de control numérico responsables de todas las acciones desde los movimientos hasta el control de temperatura. Estos comandos son luego traducidos por el Firmware instalado en la impresora.

El “.gcode” es finalmente el lenguaje con el cual se comunican las tareas que debe cumplir la impresora.

Esta sección se enfocará en las variables generales que ofrece el software Simplify3D para preparar un archivo para ser impreso.

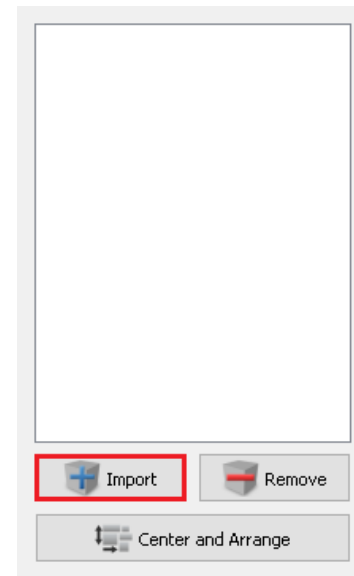


Figura 154. Extracto del entorno Simplify3D, el panel de importado y selección de modelos (Elaboración propia)

El primer paso para iniciar el proceso de preparación de impresión es importar el modelo deseado en el entorno del software.

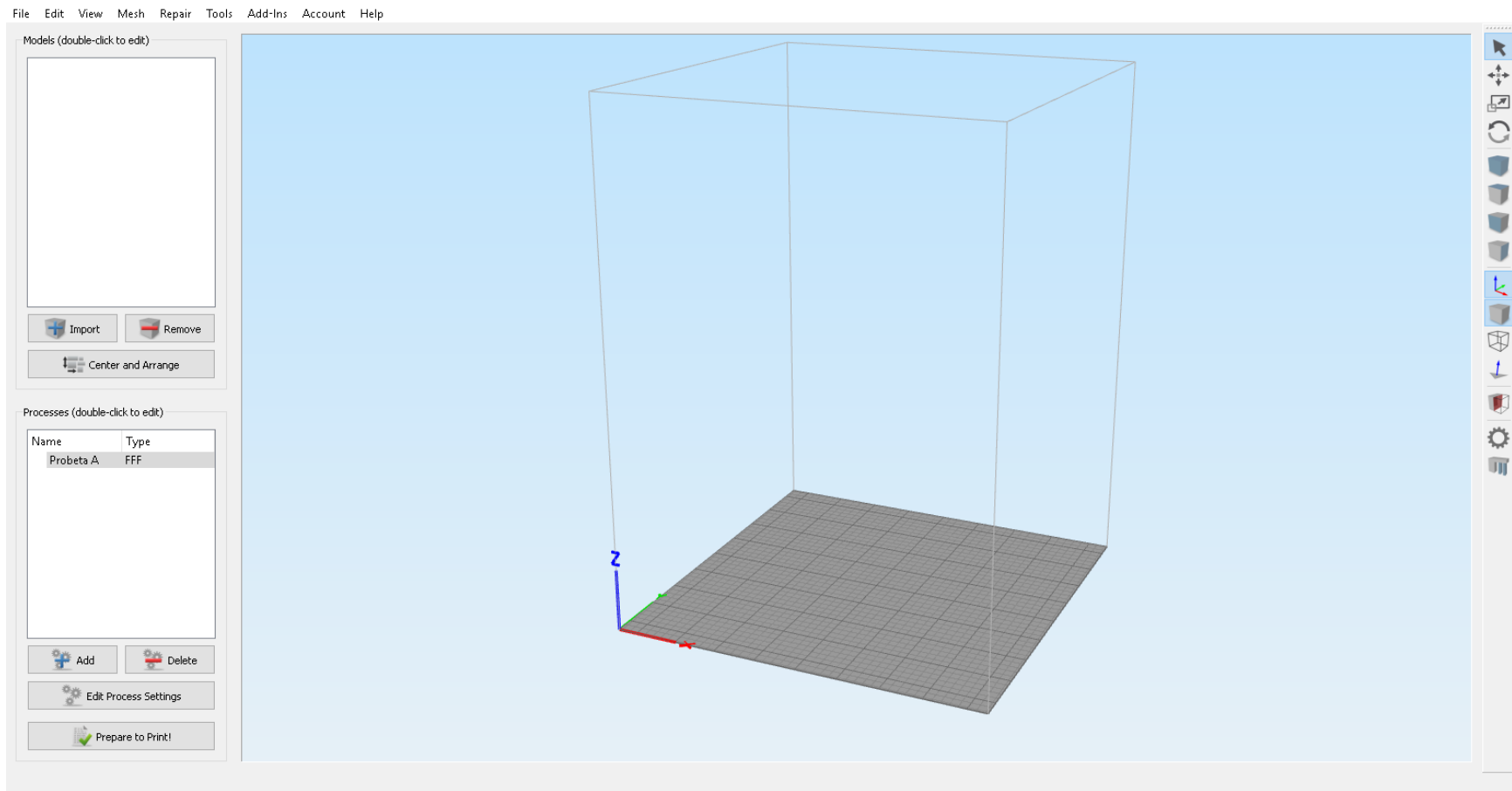


Figura 155. Extracto del entorno Simplify3D (Elaboración propia)

Por defecto la extensión a utilizar es “.stl” (stereolithography), extensión utilizada por la gran mayoría de los software de modelado 3D y de impresión para la tecnología FDM. Luego de exportar el archivo desde Rhino con extensión .stl es posible proceder al importe del modelo creado.

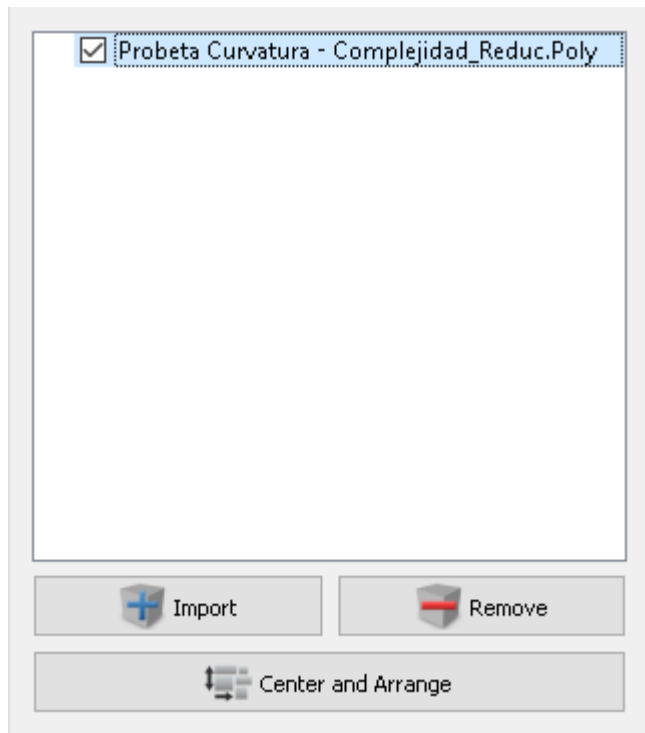


Figura 156. Modelo importado en el panel (Elaboración propia)

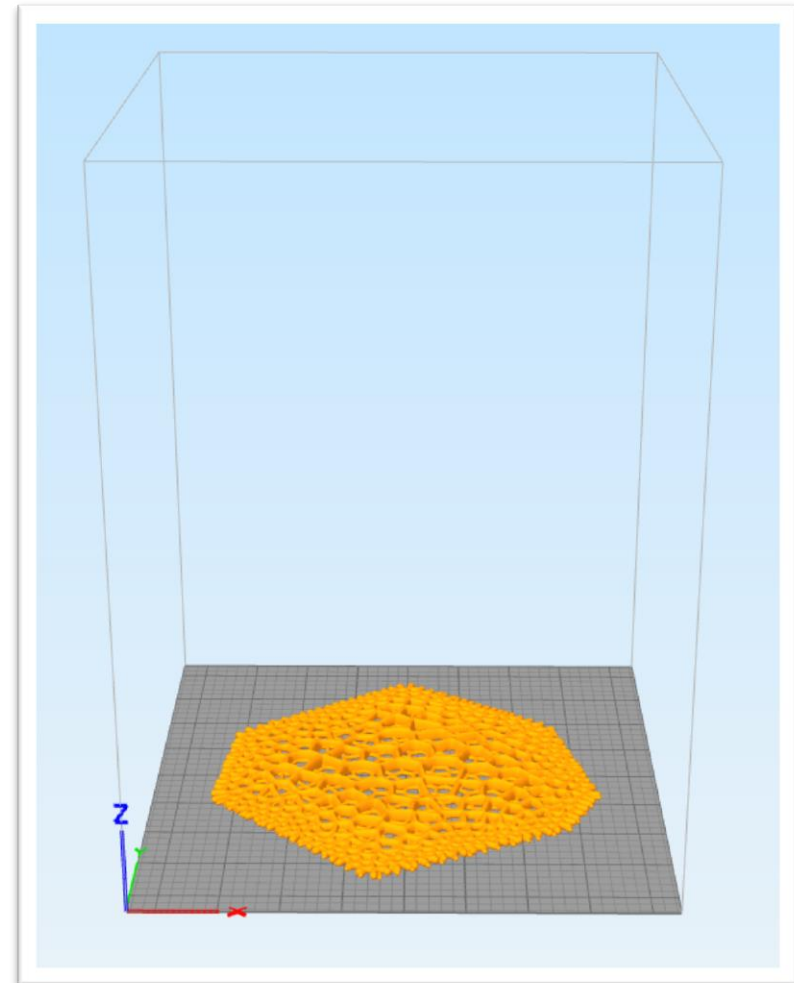


Figura 157. Modelo importado en el entorno virtual de impresión (Elaboración propia)

Tras el importe del modelo el siguiente paso será crear el proceso que contendrá todos los parámetros generales de impresión.

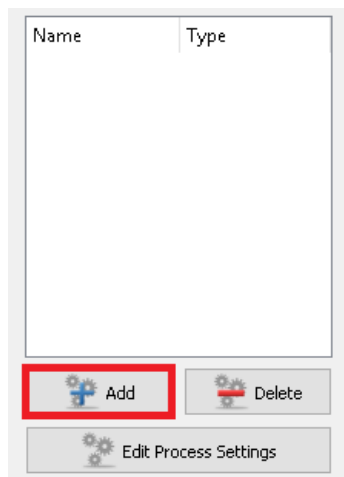


Figura 158. Panel de procesos (Elaboración propia)

Incluyendo un proceso y abriendo el panel de configuración de procesos, los aspectos más relevantes a considerar son la extrusión, la resolución de capa, el infill, la temperatura, ventilación y la velocidad de impresión.

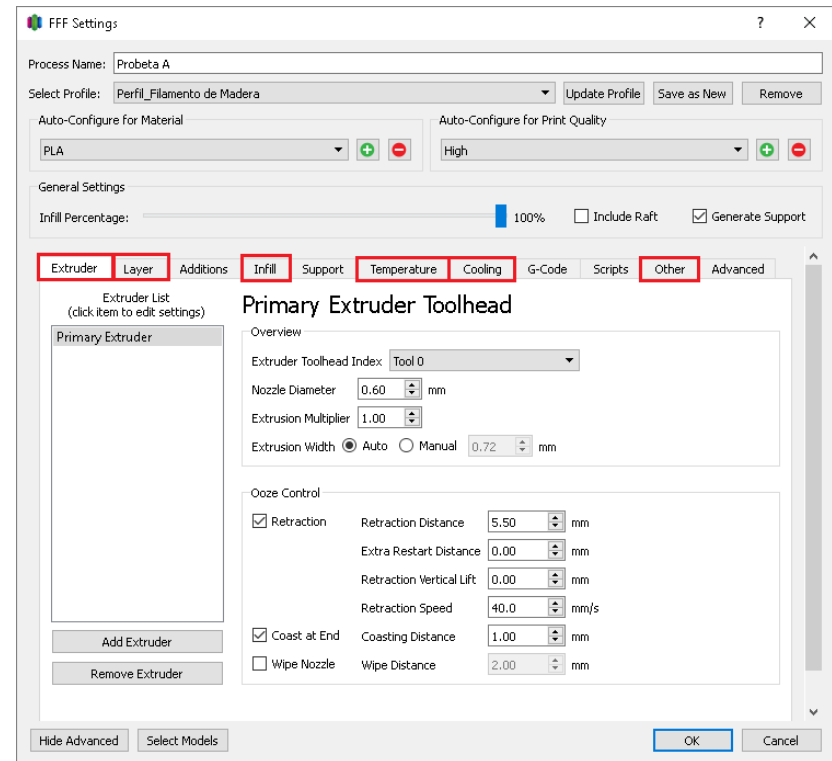


Figura 159. Panel de configuración de procesos (Elaboración propia)

La primera pestaña que contiene los factores de extrusión contiene 3 valores relevantes para una impresión óptima del filamento de madera.

Primary Extruder Toolhead

Overview	
Extruder Toolhead Index	Tool 0
Nozzle Diameter	0.60 mm
Extrusion Multiplier	1.00
Extrusion Width	Auto (0.72 mm)

Ooze Control	
<input checked="" type="checkbox"/> Retraction	Retraction Distance: 5.50 mm
	Extra Restart Distance: 0.00 mm
	Retraction Vertical Lift: 0.00 mm
	Retraction Speed: 40.0 mm/s
<input checked="" type="checkbox"/> Coast at End	Coasting Distance: 1.00 mm
<input type="checkbox"/> Wipe Nozzle	Wipe Distance: 2.00 mm

Figura 160. Parámetros de configuración de extrusión (Elaboración propia)

El primer valor es el diámetro de la boquilla de extrusión o “nozzle”, la impresión estandarizada utiliza por lo general un diámetro de 0.4mm, en este caso para mantener estabilidad en la impresión se utilizará un diámetro de 0.6mm que permitirá un flujo constante y sin interrupciones del filamento, considerando los bloqueos posibles debido a las partículas de madera.

El siguiente valor a considerar es la distancia de retracción, esta acción permite como su nombre lo indica, la retracción del filamento cuando hay un desplazamiento

del cabezal de impresión de un lugar a otro y se debe detener el flujo de filamento para que continúe la impresión en el lugar desplazado.

Cuando se produce la retracción el filamento tiende a subir y al mismo tiempo retraer el filamento fundido en el terminal caliente y la boquilla, si la distancia no es suficiente la boquilla tiende a quedar con restos de filamento lo que produce el efecto “stringing” o restos de filamento. Al mismo tiempo no solo la distancia influye sino que también la velocidad con que ocurre la retracción, los valores promedios para la impresión de PLA son de 4.0mm de distancia de retracción y 25mm/s (milímetros por segundo) de velocidad.

Para el caso del filamento de madera el flujo es menos controlable que en el caso del PLA, lo que produce un flujo continuo no deseado, por tanto ambos valores se deben aumentar a 5.5mm de distancia y 40mm/s de velocidad, que además son los valores recomendados (ColorFabb, 2013).

Los valores de retracción no serán efectivos si tanto la temperatura, como el enfriamiento y la velocidad de impresión no son los adecuados, pero antes de considerar estos factores la resolución de capa es el elemento que está directamente relacionado con el diámetro de la boquilla.

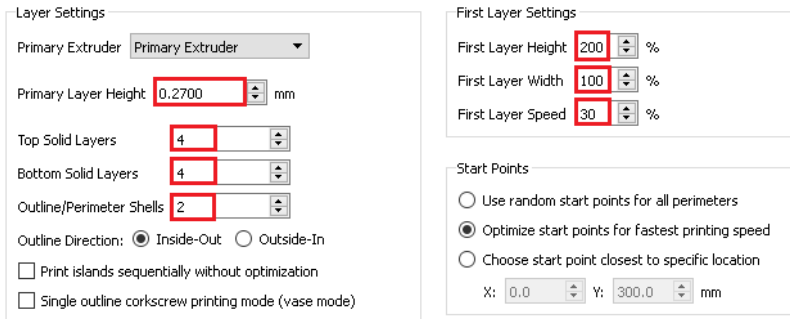


Figura 161. Parámetros de configuración de capa (Elaboración propia)

La elección de los parámetros que definen cada capa no solo influye en la resolución de la impresión, además incluye el resultado de las terminaciones de los perímetros y las capas superiores e inferiores, además de factores que influyen en la adhesión de la primera capa.

El valor recomendado de capa para este caso es de 0.27mm de espesor (ColorFabb, 2013), esta resolución de capa asegura un flujo continuo del filamento sin ser alterado por la exposición a calor por períodos de tiempo muy largos, una resolución de capa mayor o de menor espesor provoca que el flujo sea más lento y existe la posibilidad de tostar o quemar el filamento perdiendo calidad estética y estructural de adhesión entre capas.

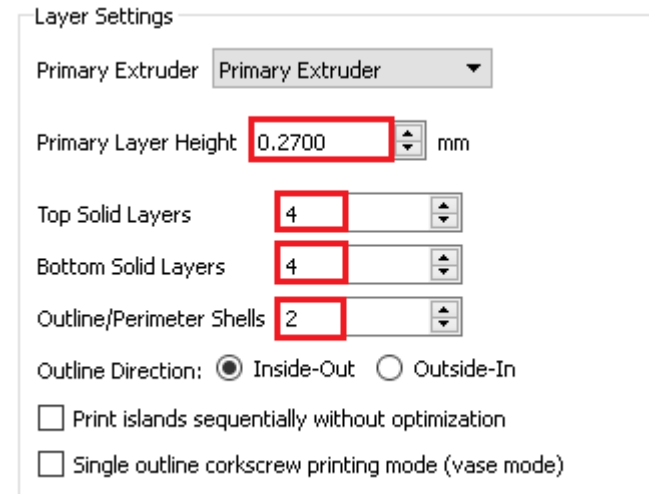


Figura 162. Configuración de capa general (Elaboración propia)

Los siguientes 2 valores definirán la cantidad de capas solidas que se imprimirán antes de comenzar a generar el infill. La cantidad de capas influirá en la calidad superficial de la base y la parte superior de la pieza impresa. Además aumentando la cantidad de capas solidas incrementa la resistencia mecánica.

Para terminar la configuración de capa general el último valor definirá el grosor del perímetro de la pieza, en términos simples es el espesor de la carcasa que contendrá el infill, este valor al igual que la cantidad de capas solidas mejorará la resistencia mecánica de la pieza además de evitar relieves superficiales producidos por el patrón de infill que tiende a empujar el perímetro.



Figura 163. Configuración de la primera capa (Elaboración propia)

Además de una configuración general de las capas, es necesario considerar también la primera capa como una capa única que influirá en el acabado superficial de la sección inferior y en la adhesión de la pieza a la base.

Para los dos primeros valores se considera el alto y el ancho del filamento depositado en la primera capa, la variación en porcentaje de los valores define un aumento de las dimensiones, este cambio genera una extrusión mayor generando así una superficie mayor de contacto aportando a la adherencia.

El tercer valor define la velocidad de impresión de la primera capa donde puede disminuir o aumentar. Una disminución de la velocidad de la primera capa será la que asegurará mayor adhesión y particularmente permitirá mejor adhesión de detalles pequeños que van directamente en contacto con la base.

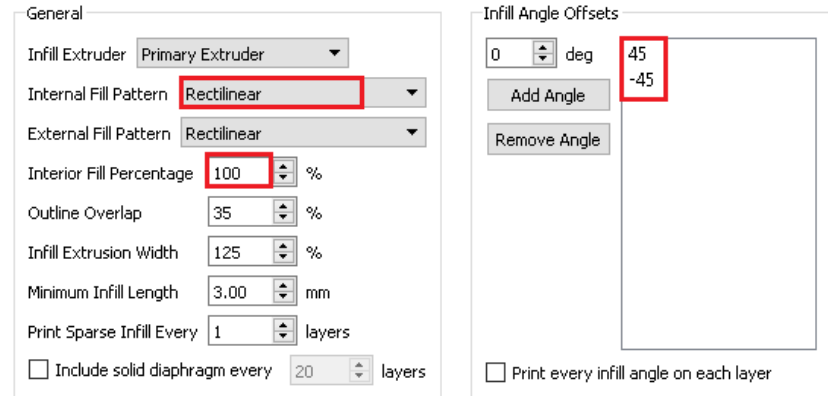


Figura 164. Configuración del relleno o infill (Elaboración propia)

En el caso de las probetas propuestas el porcentaje de infill aplicado es de un 100% y de un patrón recto con una variación de ángulo de 45°. La existencia de un porcentaje total de relleno en la pieza no muestra el patrón de 45° y su utilidad en resistencia y ahorro de material, pero si es observable el comportamiento del relleno donde el patrón se forma por líneas continuas de filamento y superpuestas por capas superiores con ángulos contrarios.

El patrón recto en ángulos diagonales es solo uno de los tipos de relleno a los que se pueden optar, en este caso esta opción asegura una impresión del infill continua, uniforme y consistente, lo que asegura resistencia y una terminación optima considerando los espacios reducidos que se deben rellenar.

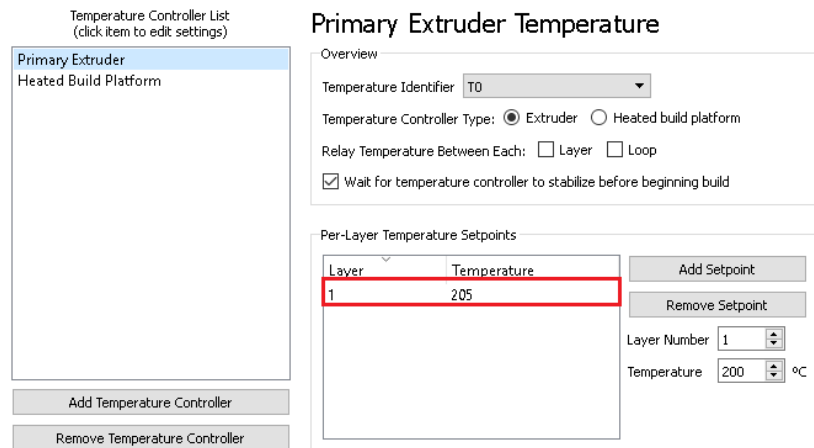


Figura 165. Configuración de la temperatura de extrusión (Elaboración propia)

Tal como se revisó en el marco teórico, existe la posibilidad de alterar el rango de temperatura de impresión variando las condiciones en que se extruye el filamento para obtener distintos efectos o para procesos específicos como detalles o variaciones de velocidades de impresión.

En este caso según las recomendaciones de impresión de la marca la temperatura de impresión se mantiene constante en 205° sin cambios entre capas. El software permite variar la temperatura según las capas donde se establece el número de capa deseado y el rango de temperatura a aplicar, este proceso si no se lleva a cabo de manera correcta puede producir fallas en la impresión

como bloqueos en el cabezal de impresión por cambios de temperatura drásticos, falta de adhesión entre capas a bajas temperaturas, debilitamiento estructural o deformación de detalles a altas temperaturas y el efecto “stringing” antes mencionado.

Heated Build Platform Temperature

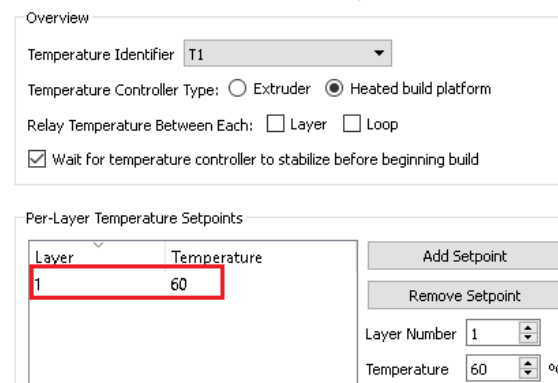


Figura 166. Configuración de temperatura de la base de impresión (Elaboración propia)

Además la misma posibilidad de alterar los rangos de temperaturas en la extrusión también se permite en la configuración de la temperatura de la base. Si bien el filamento de madera no requiere temperatura en la base para su adhesión, si se aplica se asegura mayor adherencia sobre todo cuando los tiempos de impresión son largos. Al igual que la temperatura de extrusión se considera el valor recomendado por la marca de 60° constante y sin cambios.

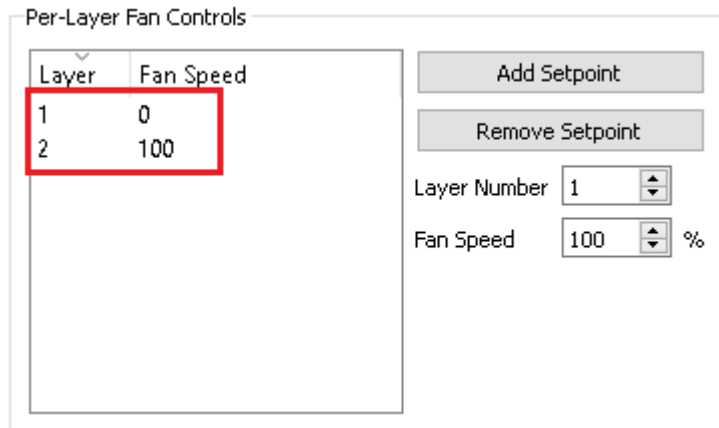


Figura 167. Configuración de enfriamiento (Elaboración propia)

Para la estabilidad de la deposición del filamento por el cabezal de impresión la ventilación o enfriamiento es clave para el control de la solidificación. Si no se controla o no se dispone de enfriamiento en el proceso existe el riesgo de inestabilidad dimensional en la pieza, además de fallas en la adherencia entre capas, pérdida de definición superficial y limpieza de los procesos de traslado de los pasos del cabezal donde se involucra retracción.

Semejante a la configuración de temperaturas, el enfriamiento se puede configurar según el número de capa en porcentajes de velocidad según requerimientos. Para este caso y para el general de las impresiones la desactivación del enfriamiento en la primera capa es

esencial para su adherencia, debido a que si existe un cambio drástico de temperatura entre su punto de derretimiento y solidificación se producirá una contracción del material antes de que las siguientes capas puedan aportar estabilidad, lo que provoca en la mayoría de los casos el efecto “warping” o incluso el desprendimiento de la pieza de la base de impresión. Por esto se aplica una primera capa sin ventilación y su activación desde la segunda capa hasta el final.

Además de la adherencia, dentro de los factores mencionados uno de los más críticos es la definición de superficies en ángulo o superficies críticas que se consideran desde los 45° y que en general necesitan soportes. La utilización de soportes no asegura una definición óptima de estas superficies críticas ya que si el filamento tras ser depositado no solidifica de manera controlada este termina deformándose por gravedad o por sobre calentamiento de las capas que produce un efecto contrario de levantamiento al no estar adheridas en su totalidad con las capas anteriores.

La ventilación se configura en un 100% de velocidad o intensidad constante según las recomendaciones de la marca además de ser una configuración general en cualquier tipo de impresión.

Speeds		
Default Printing Speed	40.0	mm/s
Outline Underspeed	65	%
Solid Infill Underspeed	70	%
Support Structure Underspeed	70	%
X/Y Axis Movement Speed	100.0	mm/s
Z Axis Movement Speed	16.7	mm/s

Figura 168. Configuración de las velocidades de impresión (Elaboración propia)

La consideración de todos los factores como independientes a la hora de configurar los parámetros de impresión no es posible, el sistema está formado de relaciones directas entre las distintas variables y el equilibrio asegura una adecuada configuración para la posterior impresión. Los factores anteriormente mencionados juegan un papel fundamental en sus áreas respectivas y en el conjunto general, aun así el elemento que asegura la efectividad de los valores aplicados para cada elemento es la velocidad de impresión.

La velocidad de impresión contiene dos variables fundamentales a considerar, estas son la velocidad de impresión por defecto y la velocidad de movimiento del cabezal de impresión. La consideración de estas velocidades asegura el éxito de la impresión desde el

principio hasta el final. Influyendo en la adhesión de la primera capa, la adherencia entre capas, la efectividad del enfriamiento y la temperatura de extrusión, la transición entre capas, la relación entre traslado del cabezal y la retracción y por último el factor más relevante la definición superficial y de detalles.

La velocidad es el factor que más influencia tiene en los tiempos de impresión y la calidad de las piezas impresas. Por lo general al ser considerada la impresión 3D como una herramienta de prototipo rápido la velocidad es elemental para obtener piezas en el menor tiempo posible, la relación entre velocidad y el conjunto de factores adicionales aseguran obtener un prototipo en corto tiempo pero que al mismo tiempo sacrifica calidad.

La relación tiempo calidad influida por la velocidad es la barrera general para diferenciar entre prototipo y producto en la impresión. A diferencia del prototipado la impresión de un producto o parte de un producto buscaría la calidad por sobre el tiempo, sin excluir el tiempo como factor clave en la viabilidad de un producto.

Los valores se aplican según las recomendaciones de la marca del filamento para la velocidad de impresión por defecto de 40mm/s y una velocidad de traslado de 100mm/s, considerando estas velocidades como las óptimas para la impresión de probetas con la mejor calidad posible.

Otros valores no considerados en este documento forman parte de la configuración por defecto del software al momento de incluir la impresora como dispositivo para la correcta comunicación de los valores. Además durante el proceso de impresión es posible alterar algunas de las configuraciones hechas en el software mediante el panel de información de la impresora. Se puede regular la temperatura de extrusión y base, la retracción, la velocidad, los ventiladores y el flujo de material.



Figura 169. Configuración de parámetros desde el display de la impresora (Ultimaker, 2017)

Teniendo los parámetros de impresión definidos el último proceso que se debe llevar a cabo para preparar la impresión es analizar mediante la pre visualización del software el proceso de impresión, para anticipar fallas en la impresión.

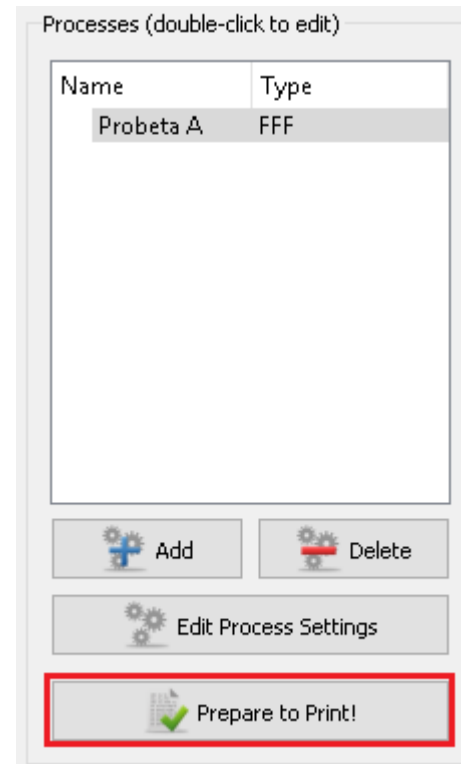


Figura 170. Panel de procesos y la opción preparar o pre visualizar impresión (Elaboración propia)

La pre visualización en pantalla mostrara el detalle del proceso de cada capa que debe cumplir la impresora para obtener la pieza. De esta forma se puede analizar y verificar el éxito de la impresión antes de iniciar el proceso real.

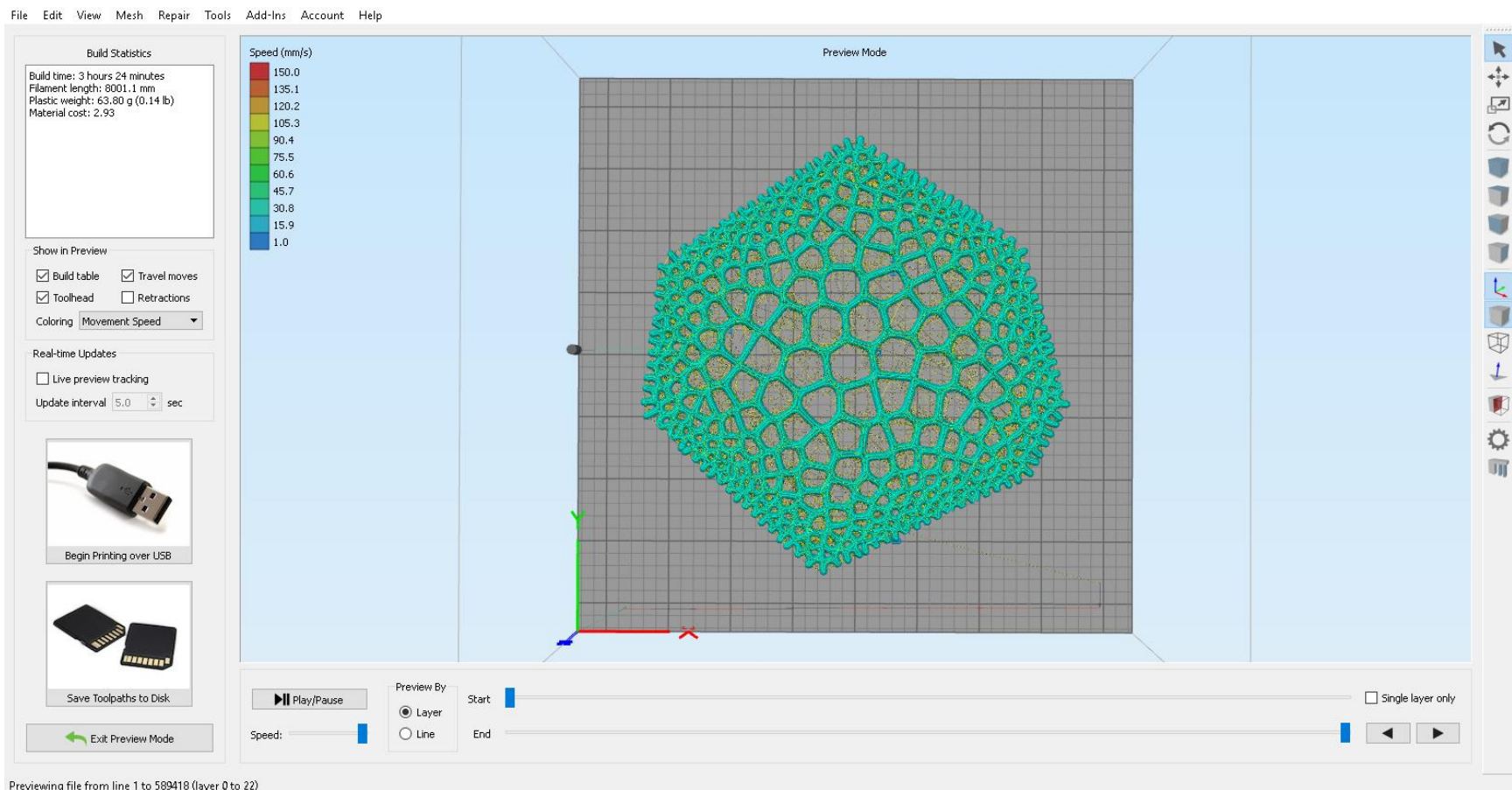


Figura 171. Entorno de pre visualización (Elaboración propia)

4.9 ALGUNOS ERRORES DESDE LA PREPARACIÓN HASTA EL PROCESO DE IMPRESIÓN

En el caso particular de las probetas dos son los focos de atención que tras iteraciones anteriores se descubrieron como causas de fracaso en la impresión en la preparación.

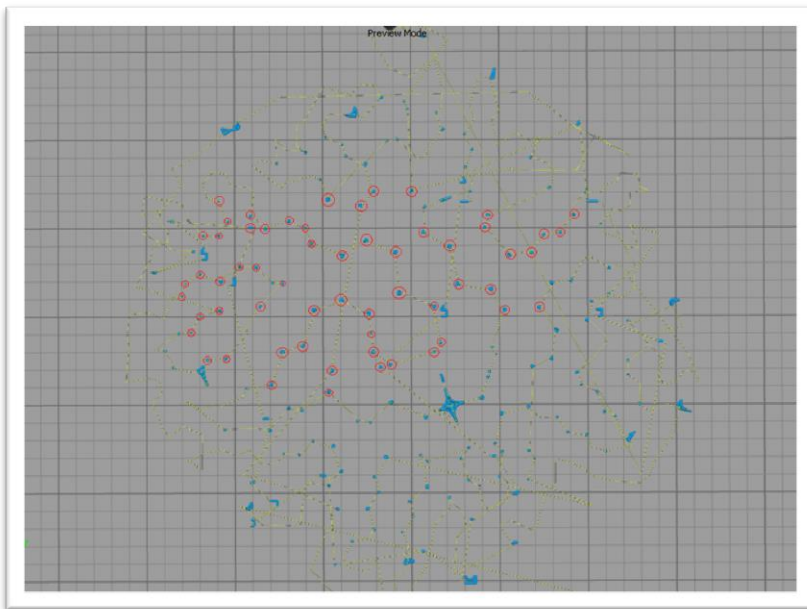


Figura 172. Pre visualización de la primera capa e identificación de algunos puntos críticos (Elaboración propia)

El primer foco es la primera capa y los múltiples puntos críticos y aislados que se observan en una primera pre visualización. Estos puntos al ser tan pequeños la probabilidad de que se adhieran a la base de impresión es muy baja. Al no adherirse y despegarse de la base estos pequeños puntos se desplazan por la base de impresión o quedan pegados a la boquilla, causando primero una inadecuada base para las siguientes capas y segundo una alta probabilidad de fracaso de la impresión debido al exceso de plástico adherido en la boquilla.

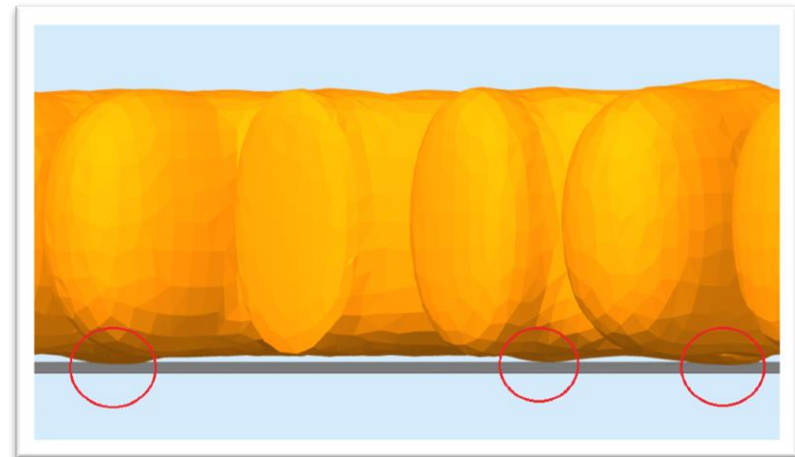


Figura 173. Relieves causantes de los puntos críticos (Elaboración propia)

Los puntos críticos son causados por relieves propios de la morfología y del proceso de modelado lo que no define una superficie totalmente plana.

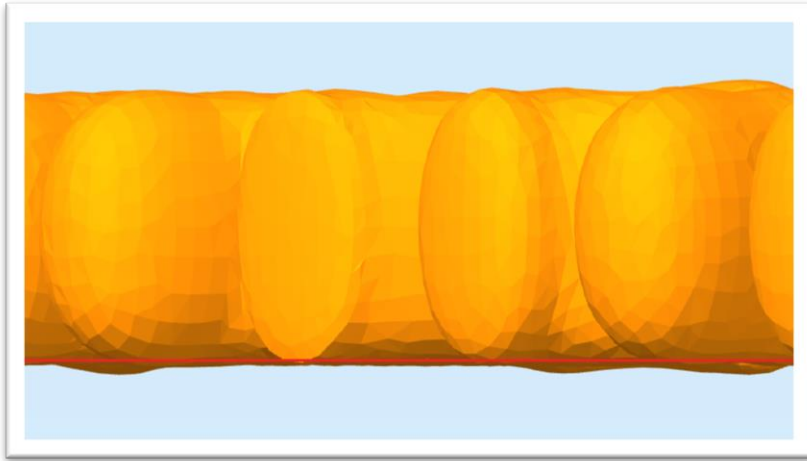


Figura 174. Relieves por debajo de la base de impresión (Elaboración propia)

Para solucionar el problema desde el software se “corta” o desplaza la pieza en el sentido del eje z traspasando la base de impresión. Dejando una parte de la pieza por debajo de la base de impresión la base queda plana eliminando los puntos críticos y mejorando la definición de la primera capa.

Corregido esto el programa interpretara solo los perímetros que componen los espacios definidos por el diagrama y solo existirán detalles pequeños que comprenden las intersecciones entre cada uno de estos espacios.

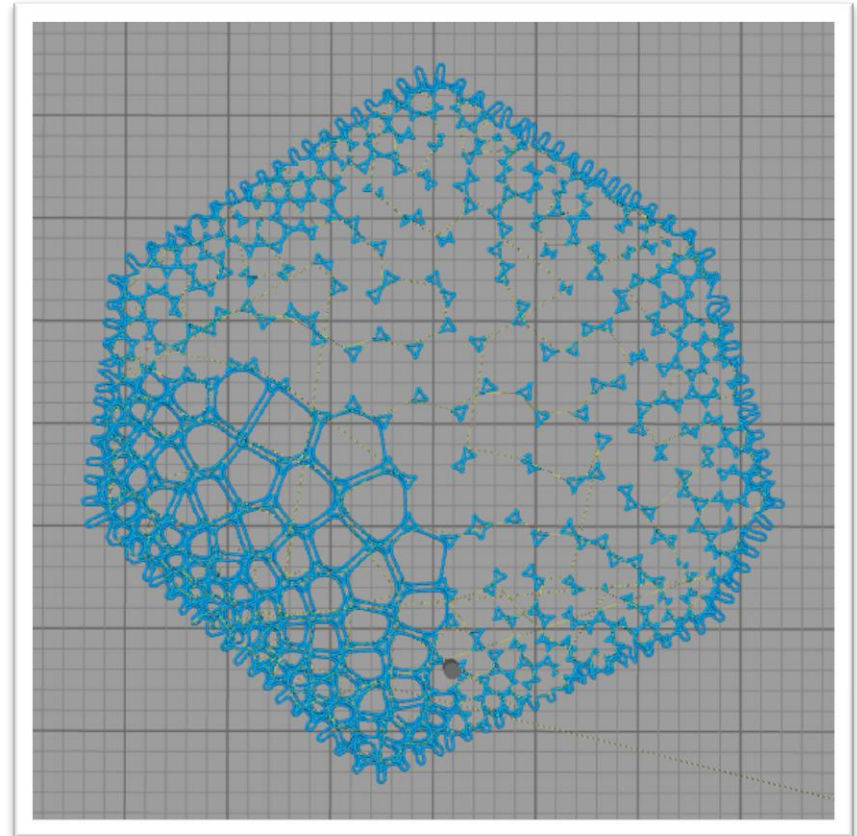


Figura 175. Proceso de primera capa después de la corrección (Elaboración propia)

El segundo foco de atención tiene que ver específicamente con las probetas con adición de complejidad y la unión entre dos sólidos independientes por intersección. Para la confección de las probetas de

complejidad dos elementos en este caso diagramas de distintos factores de fuerza se integran para formar un elemento único, solo aplicando procesos de desplazamiento, intersección e integración de los sólidos para ser exportados en formato stl. para la posterior preparación de impresión.

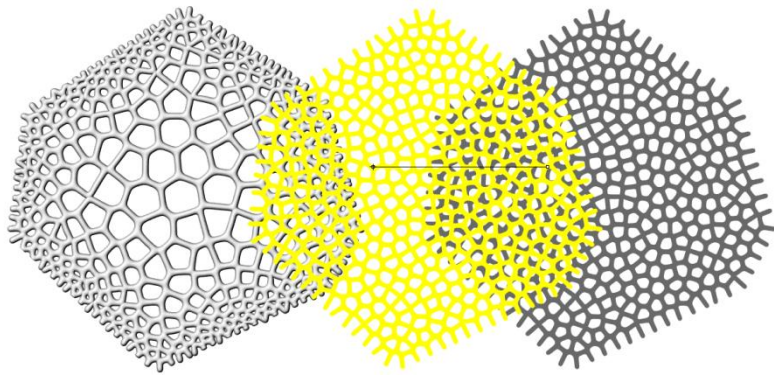


Figura 176. Desplazamiento del diagrama de factor 0 (Elaboración propia)

Bajo este proceso el software Simplify3D puede traducir de manera errónea el sólido único, considerando las intersecciones como separaciones entendiéndolos como múltiples objetos aislados intersectados entre sí.

Esta mal interpretación del software puede producir huecos en lugares que deberían ser sólidos y un resultado impreso con los elementos integrados presentados de forma separada.

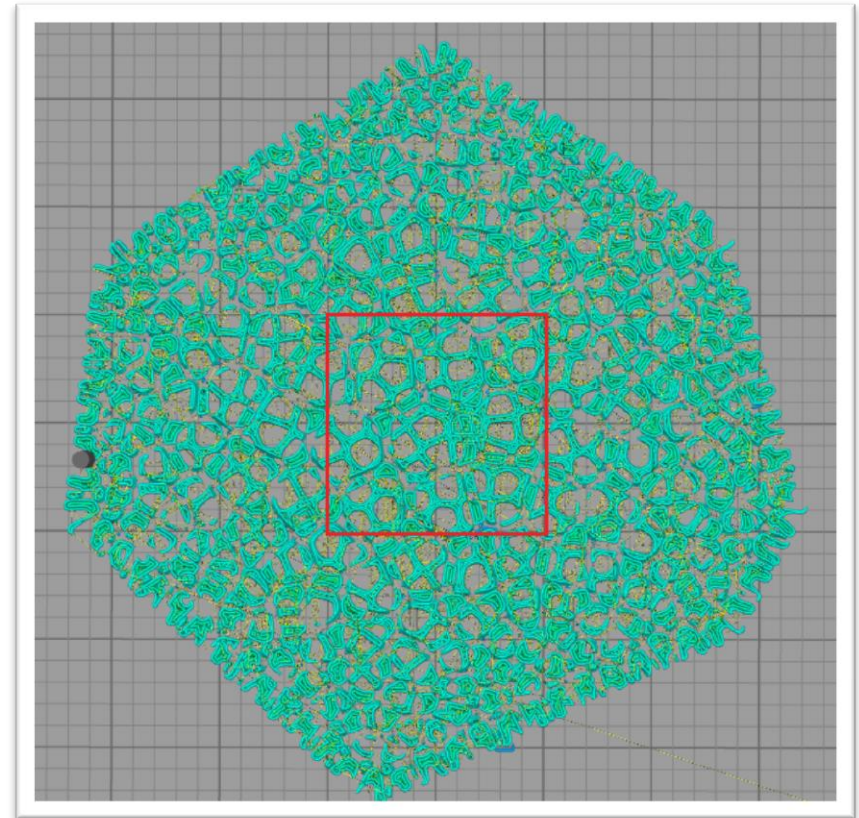


Figura 177. Primera pre visualización de las primeras capas de una probeta con adición de complejidad (Elaboración propia)

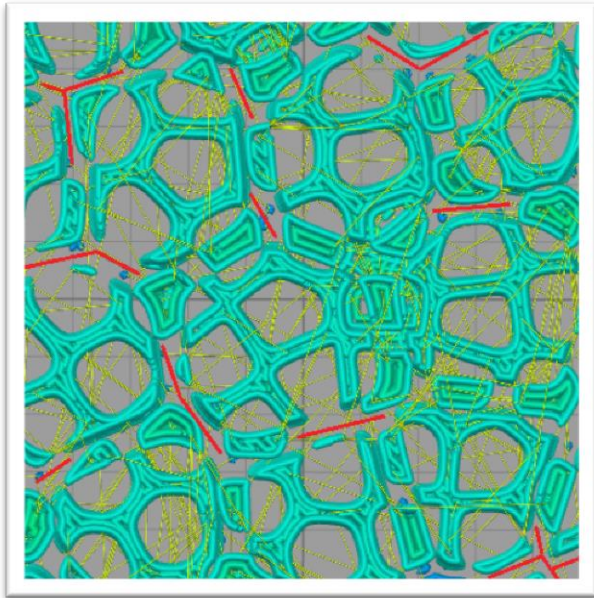


Figura 178. Acercamiento de la pre visualización de las primeras capas y los huecos formados por error en la interpretación (Elaboración propia)

Al existir estos huecos estos puntos se convierten en sectores críticos en donde el resultado de la impresión sufrirá separaciones de sus partes.

Como se observa en las figuras, el diagrama de factor 0 se traduce en elementos independientes producidos por la intersección del diagrama mayor de factor 0.1. Luego en las siguientes capas recién tiene presencia el diagrama principal de factor 0.1 que queda superpuesto al resultado de las primeras capas.

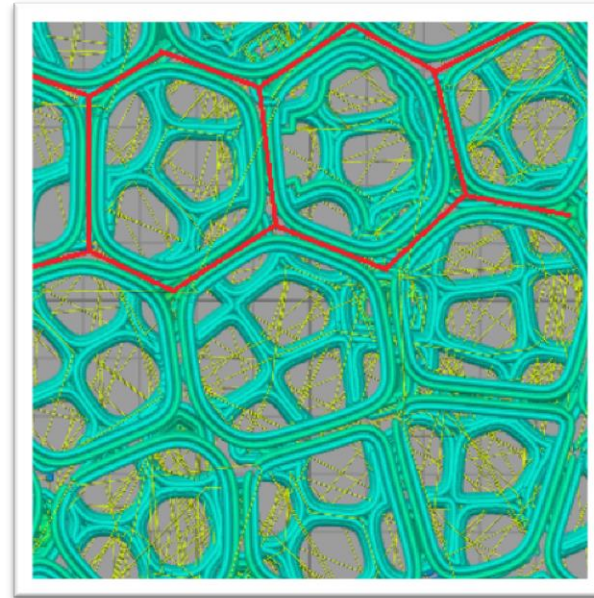


Figura 179. Acercamiento de la pre visualización de las siguientes capas y la superposición del diagrama principal de factor 0.1 como elemento separado (Elaboración propia)

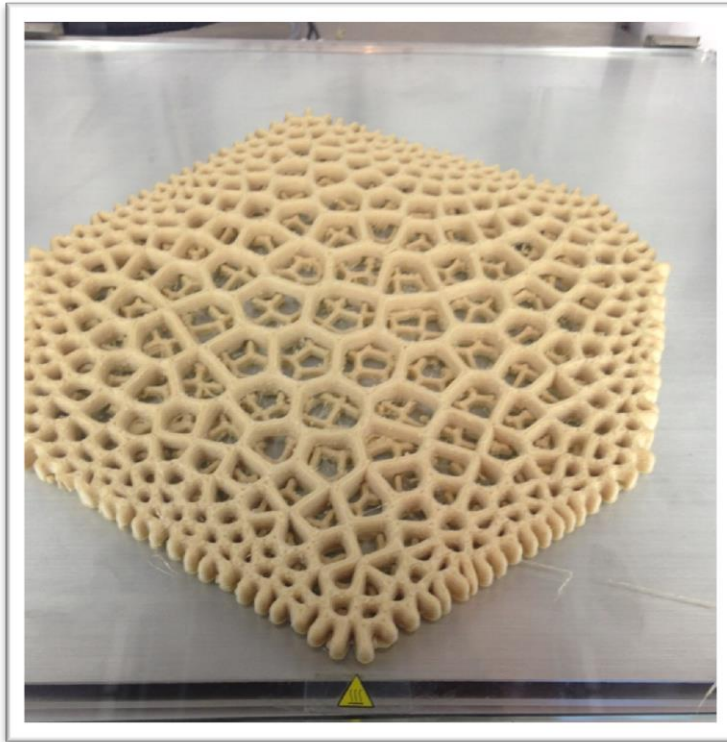


Figura 180. Resultado de probeta impresa sin retirar de la base (Elaboración propia)

El resultado final a simple vista obtiene el mismo efecto deseado para la probeta, pero el problema se vislumbra a nivel estructural al intentar retirar la pieza de la base de impresión. Quedando absolutamente separados ambos diagramas, donde el de factor 0.1 o principal funciona como elemento de corte del diagrama de factor 0 o secundario.

Este efecto es bastante común también en modelos 3D almacenados en repositorios como Thingiverse, Youimage o Myminifactory, entre otros, donde para crear el modelo total este se compone de diferentes elementos independientes que intersectados forman el todo.

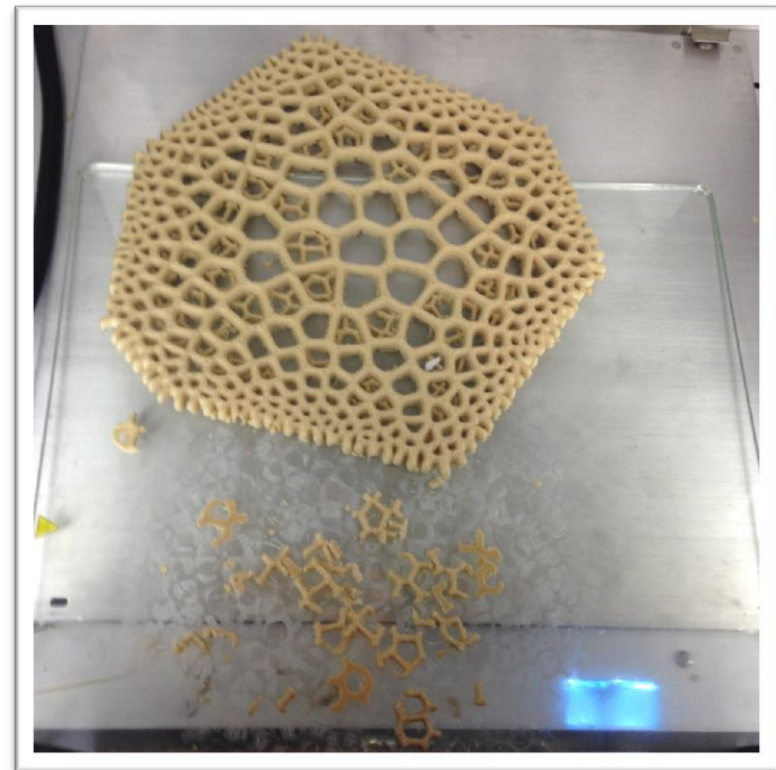


Figura 181. Separación de los elementos intersectados al momento de retirar la pieza de la base de impresión (Elaboración propia)

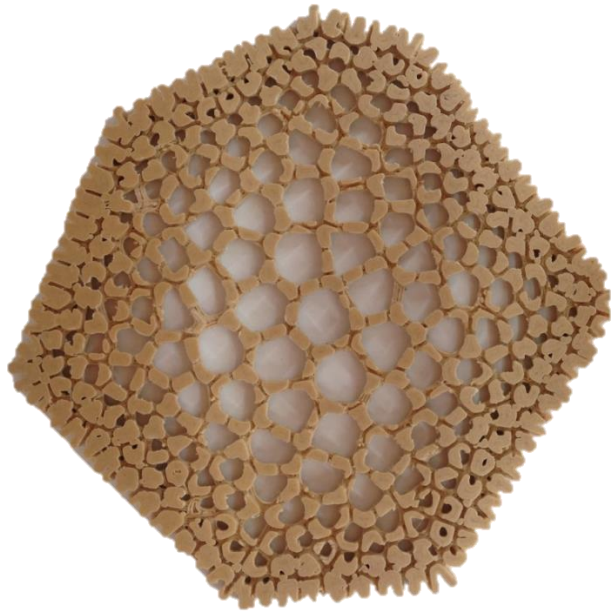


Figura 182. Efecto de huecos en la parte posterior por error en la interpretación del sólido (Elaboración propia)

Para solucionar la mala interpretación del software, se debe indicar que el sólido está compuesto por dos elementos independientes, para esto existe la herramienta “separar superficies conectadas”. Al aplicar esta opción el programa identificará ambos sólidos en este caso y los incluirá en la lista de elementos de forma independiente. Para mantener el orden y la morfología de la pieza esta operación se debe realizar posterior a disponer de la pieza en la base de impresión de la manera deseada.

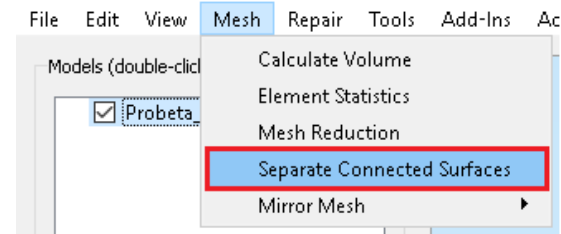


Figura 183. Opción separar superficies conectadas (Elaboración propia)

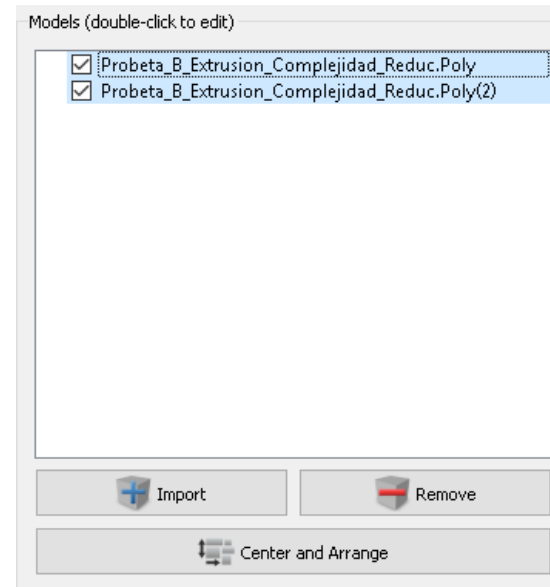


Figura 184. Resultado de dos elementos independientes después de aplicar una separación de superficies conectadas (Elaboración propia)

Tras la operación se puede proceder nuevamente a una segunda pre visualización para verificar si la interpretación del software es correcta. Es importante seleccionar ambos elementos para que sean considerados.

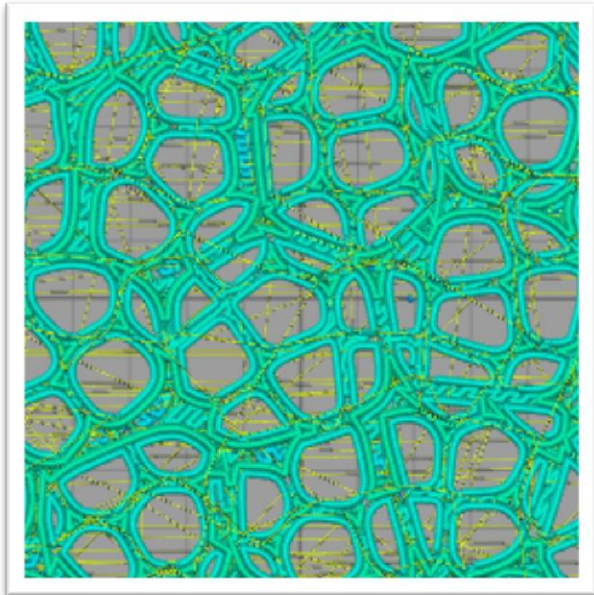


Figura 185. Acercamiento de la pre visualización de las primeras capas y la ausencia de los huecos formados por error en la interpretación (Elaboración propia)

4.10 EL ACABADO SUPERFICIAL

Las probetas antes de ser evaluadas deben pasar por un proceso de acabado superficial, que utilizando de referencia el estudio preliminar, serán procesos de lijado y teñido. En este caso en particular se propone aplicar un barnizado brillante para testear un acabado superficial distinto para así sumar más variedad de pruebas. Además se busca comprobar si la relación barniz-madera es un factor que influye en la percepción de madera.

El lijado busca como propósito borrar las marcas de las capas de impresión que quedan en la superficie de la pieza, los contornos internos de cada célula no serán lijados debido a que un proceso más estandarizado que el lijado a mano debe ser propuesto en un estudio futuro, debido a que el proceso es muy lento además de áreas que no son posibles de cubrir, en específico los orificios más pequeños.

Para el lijado se aplica una lija de grano 100 para borrar las líneas de impresión y lograr una superficie lisa, de esta manera además de desbastar las líneas de impresión también se comienza a percibir una sensación de madera al tacto y a la vista semejante al MDF.

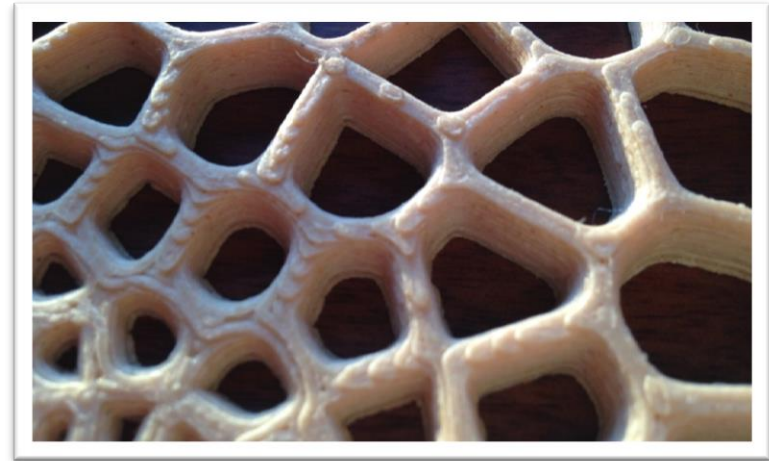


Figura 186. Probeta sin lijar y las líneas de impresión (Elaboración propia)



Figura 187. Probeta lijada y la superficie lisa obtenida (Elaboración propia)

Es importante destacar que para obtener estos resultados se debe mantener el lijado con lijas de grano grueso o desbaste y terminar con lijas de grano medio. A medida que se aplica un lijado con lijas de grano fino la apariencia superficial comienza nuevamente a tomar un acabado más plástico y las líneas de impresión vuelven a ser visibles, por esto el rango de grano se mantendrá desde los 100 hasta los 240.



Figura 188. Resultados del acabado superficial, a la izquierda lijado y barnizado, a la derecha solo lijado (Elaboración propia)

Para el barnizado en este estudio en particular se aplica un barniz marino brillante de interior y exterior marca Kölor. El proceso se aplica con una brocha tradicional para pinturas o barniz y se aplica una capa única procurando cubrir todas las paredes perimetrales de los orificios de la trama.



Figura 189. Resultado del acabado superficial lijado y barnizado (Elaboración propia)

5. LAS PROBETAS: RESULTADOS Y RESUMEN DE PARÁMETROS

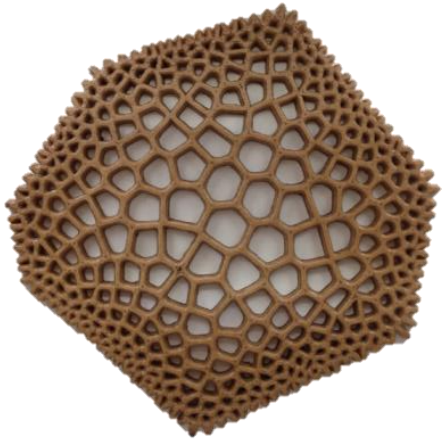


Figura 192. Probeta A

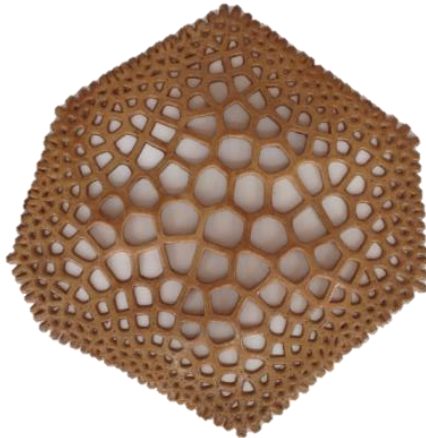


Figura 191. Probeta C



Figura 190. Probeta E

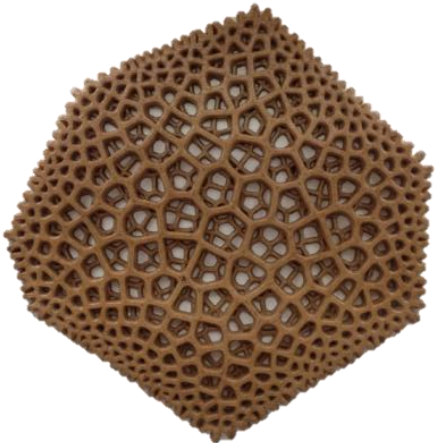


Figura 194. Probeta B

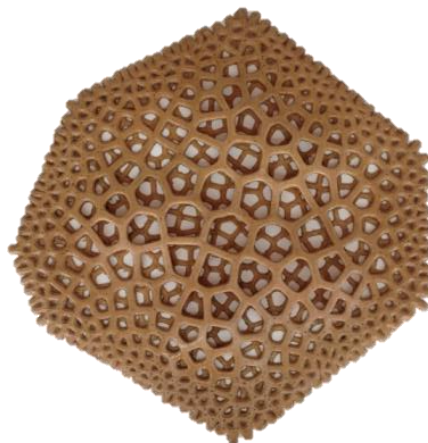


Figura 193. Probeta D

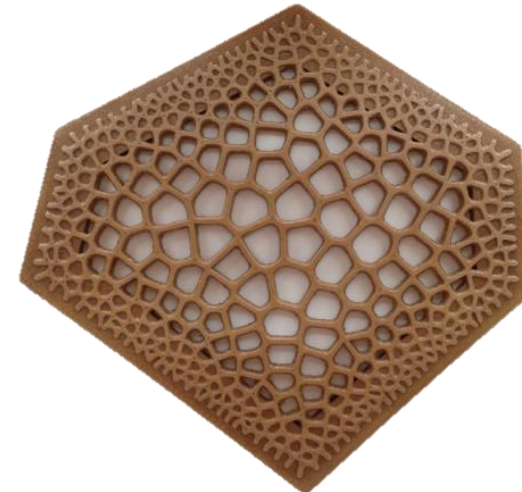
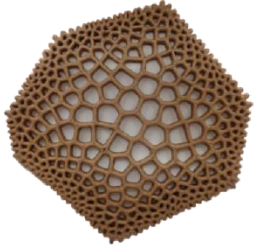


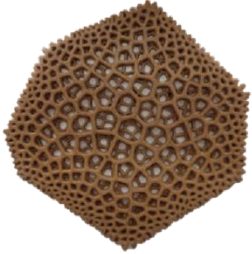
Figura 195. Probeta F



Probeta_A_Extrusión

Parámetros de Modelado		Parámetros de impresión		Parámetros de acabado superficial		Herramientas	
Patrón aplicado	Voronoi centroidal anisotrópico	Nozzle	0.6mm	Rango de lijado	100 / 240	Software de modelado	Rhinoceros 5.0
Factor de fuerza	0.1	Retracción	5.5mm - 40mm/s	Capas de barniz	1	Plug-ins (Rhino)	Grasshopper + T-Splines
Radio	1.6mm	Resolución	0.27mm			Software de post procesado	Meshmixer
Terminación	Extrusión / Escalado 5.5mm	Top/Bottom	4 / 4			Software de impresión	Simplify3D
Adición de complejidad	-	Shells	2			Filamento	Woodfill Colorfabb
Factor de fuerza	-	Infill	100% / Recto 45°			Impresora	Ultimaker 2+
Radio	-	Temperatura extrusión	205°			Lija	100 / 120 / 150 / 180 / 220 / 240
Reducción de triángulos	80%	Temperatura base	60°			Barniz	Marino brillante de interior y exterior marca Kölor
		Ventilación	100%			Brocha	Económica de cerda natural
		Velocidad de impresión	40mm/s				
		Velocidad de movimiento	100mm/s				
		Tiempo de impresión total	3hr 16m				
		Peso total	67grs				

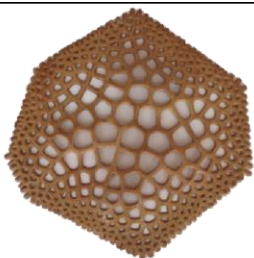
Tabla 8. Resumen de parámetros para Probeta A (Elaboración propia)



Probeta_B_Extrusión_Complejidad

Parametros de Modelado		Parametros de impresión		Parametros de acabado superficial		Herramientas	
Patrón aplicado	Voronoi centroidal anisotrópico	Nozzle	0.6mm	Rango de lijado	100 / 240	Software de modelado	Rhinoceros 5.0
Factor de fuerza	0.1	Retracción	5.5mm - 40mm/s	Capas de barniz	1	Plug-ins (Rhino)	Grasshopper + T-Splines
Radio	1.6mm	Resolución	0.27mm			Software de post procesado	Meshmixer
Terminación	Extrusión / Escalado 5.5mm	Top/Bottom	4 / 4			Software de impresión	Simplify3D
Adición de complejidad	Si	Shells	2			Filamento	Woodfill Colorfabb
Factor de fuerza	0	Infill	100% / Recto 45°			Impresora	Ultimaker 2+
Radio	0.8mm	Temperatura extrusión	205°			Lija	100 / 120 / 150 / 180 / 220 / 240
Reducción de triángulos	80%	Temperatura base	60°			Barniz	Marino brillante de interior y exterior marca Kolor
		Ventilación	100%			Brocha	Económica de cerda natural
		Velocidad de impresión	40mm/s				
		Velocidad de movimiento	100mm/s				
		Tiempo de impresión total	3hr 41m				
		Peso total	73grs				

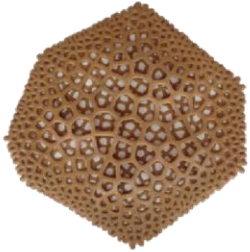
Tabla 9. Resumen de parámetros para Probeta B (Elaboración propia)



Probeta_C_Curvado

Parámetros de Modelado		Parámetros de impresión		Parámetros de acabado superficial		Herramientas	
Patrón aplicado	Voronoi centroidal anisotrópico	Nozzle	0.6mm	Rango de lijado	100 / 240	Software de modelado	Rhinoceros 5.0
Factor de fuerza	0.1	Retracción	5.5mm - 40mm/s	Capas de bamiz	1	Plug-ins (Rhino)	Grasshopper + T-Splines
Radio	1.6mm	Resolución	0.27mm			Software de post procesado	Meshmixer
Terminación	Curvado / Aleatorio 5.5mm	Top/Bottom	4 / 4			Software de impresión	Simplify3D
Adición de complejidad	-	Shells	2			Filamento	Woodfill Colorfabb
Factor de fuerza	-	Infill	100% / Recto 45°			Impresora	Ultimaker 2+
Radio	-	Temperatura extrusión	205°			Lija	100 / 120 / 150 / 180 / 220 / 240
Reducción de triángulos	80%	Temperatura base	60°			Bamiz	Marino brillante de interior y exterior marca Kólor
		Ventilación	100%			Brocha	Económica de cerda natural
		Velocidad de impresión	40mm/s				
		Velocidad de movimiento	100mm/s				
		Tiempo de impresión total	2hr 26m				
		Peso total	35grs				

Tabla 10. Resumen de parámetros para Probeta C (Elaboración propia)



Probeta_D_Curvado_Complejidad

Parámetros de Modelado		Parámetros de impresión		Parámetros de acabado superficial		Herramientas	
Patrón aplicado	Voronoi centroidal anisotrópico	Nozzle	0.6mm	Rango de lijado	100 / 240	Software de modelado	Rhinoceros 5.0
Factor de fuerza	0.1	Retracción	5.5mm - 40mm/s	Capas de barniz	1	Plug-ins (Rhino)	Grasshopper + T-Splines
Radio	1.6mm	Resolución	0.27mm			Software de post procesado	Meshmixer
Terminación	Curvado / Aleatorio 5.5mm	Top/Bottom	4 / 4			Software de impresión	Simplify3D
Adición de complejidad	Si	Shells	2			Filamento	Woodfill Colorfabb
Factor de fuerza	0	Infill	100% / Recto 45°			Impresora	Ultimaker 2+
Radio	0.8mm	Temperatura extrusión	205°			Lija	100 / 120 / 150 / 180 / 220 / 240
Reducción de triángulos	80%	Temperatura base	60°			Barniz	Marino brillante de interior y exterior marca Kölor
		Ventilación	100%			Brocha	Económica de cerda natural
		Velocidad de impresión	40mm/s				
		Velocidad de movimiento	100mm/s				
		Tiempo de impresión total	2hr 48m				
		Peso total	40grs				

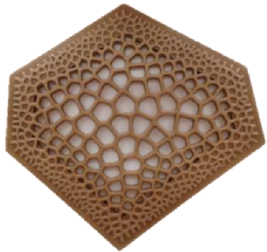
Tabla 11. Resumen de parámetros para Probeta D (Elaboración propia)



Probeta_E_Extrusión_Sólido_Plano

Parámetros de Modelado		Parámetros de impresión		Parámetros de acabado superficial		Herramientas	
Patrón aplicado	Plano	Nozzle	0.6mm	Rango de lijado	-	Software de modelado	Rhinoceros 5.0
Factor de fuerza	-	Retracción	5.5mm - 40mm/s	Capas de barniz	-	Plug-ins (Rhino)	Grasshopper
Radio	-	Resolución	0.27mm			Software de post procesado	Meshmixer
Terminación	Extrusión 5.5mm	Top/Bottom	4 / 4			Software de impresión	Simplify3D
Adición de complejidad	-	Shells	2			Filamento	Woodfill Colorfabb
Factor de fuerza	-	Infill	100% / Recto 45°			Impresora	Ultimaker 2+
Radio	-	Temperatura extrusión	205°			Lija	-
Reducción de triángulos	-	Temperatura base	60°			Barniz	-
		Ventilación	100%			Brocha	-
		Velocidad de impresión	40mm/s				
		Velocidad de movimiento	100mm/s				
		Tiempo de impresión total	5hr 9m				
		Peso total	120grs				

Tabla 12. Resumen de parámetros para Probeta E (Elaboración propia)



Probeta_F_Extrusión_Integración

Parámetros de Modelado		Parámetros de impresión		Parámetros de acabado superficial		Herramientas	
Patrón aplicado	Voronoi centroidal anisotrópico	Nozzle	0.6mm	Rango de lijado	100 / 240	Software de modelado	Rhinoceros 5.0
Factor de fuerza	0.1	Retracción	5.5mm - 40mm/s	Capas de barniz	1	Plug-ins (Rhino)	Grasshopper + T-Splines
Radio	1.6mm	Resolución	0.27mm			Software de post procesado	Meshmixer
Terminación	Extrusión 5.5mm / Integración marco sólido plano 4mm	Top/Bottom	4 / 4			Software de impresión	Simplify3D
Adición de complejidad	-	Shells	2			Filamento	Woodfill Colorfabb
Factor de fuerza	-	Infill	100% / Recto 45°			Impresora	Ultimaker 2+
Radio	-	Temperatura extrusión	205°			Lija	100 / 120 / 150 / 180 / 220 / 240
Reducción de triángulos	80%	Temperatura base	60°			Barniz	Marino brillante de interior y exterior marca Kolor
		Ventilación	100%			Brocha	Económica de cerda natural
		Velocidad de impresión	40mm/s				
		Velocidad de movimiento	100mm/s				
		Tiempo de impresión total	5hr 9m				
		Peso total	96grs				

Tabla 13. Resumen de parámetros para Probeta F (Elaboración propia)

6. CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DEL INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN SENSORIAL

6.1 DIFERENCIAL SEMÁNTICO

En el contexto actual del documento, enfocado a la naturalidad y en específico a la apariencia de madera, es necesario medir la calidad de la sensación deseada en el aspecto de las probetas. Desde un punto de vista del material y su importancia (Karana, Pedgley, & Rognoli, 2013), se hace relevante realizar un análisis enfocado a significados psicológicos que se extienden más allá de los atributos físicos de las probetas (Blomgren, 1965). Para evaluar estos atributos es pertinente el uso de un instrumento de evaluación sensorial, validado empíricamente mediante literatura, que mida la percepción.

El diferencial semántico (Osgood, 1952; Osgood, Suci, & Tannenbaum, 1957), es una de las técnicas más aplicadas para examinar la percepción de los usuarios sobre los productos (Weinfurter & Eder, 2009), este método se basa en una combinación de procedimientos de asociación y escala (Osgood, 1952; Osgood, Suci, & Tannenbaum, 1957) donde un término, adjetivo o concepto resume la sensación del encuestado al interactuar con un material o producto. Por ejemplo, la

madera es considerada como “cálida” (Karana & Hekkert, 2013), según una escala compuesta por el término de manera bipolar en una escala de 7 pasos, el encuestado deberá indicar la intensidad de su asociación al término y ubicarlo en la escala (Osgood, 1952; Osgood, Suci, & Tannenbaum, 1957) según la experiencia al interactuar con el material.

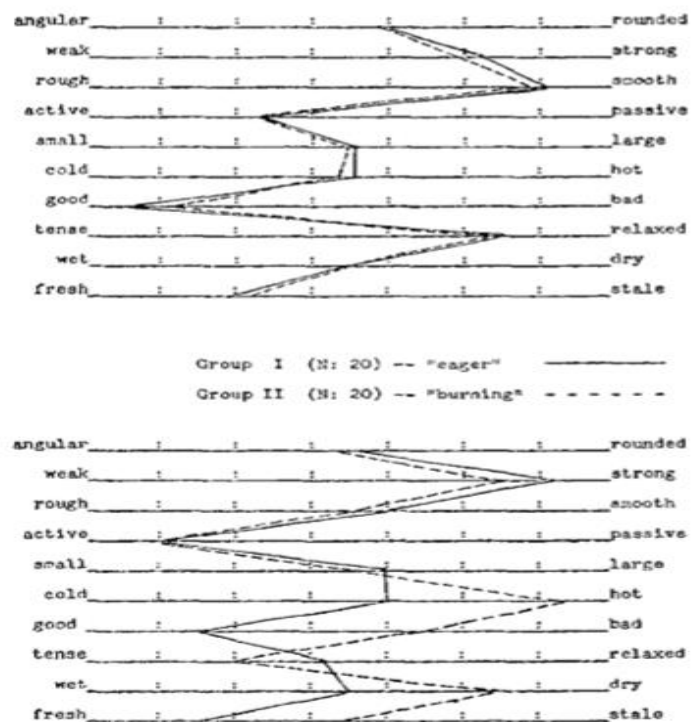


Figura 196. Ilustración de la aplicación de un formulario preliminar de diferencial semántico para medir el significado connotativo de los adjetivos. (Osgood, 1952)

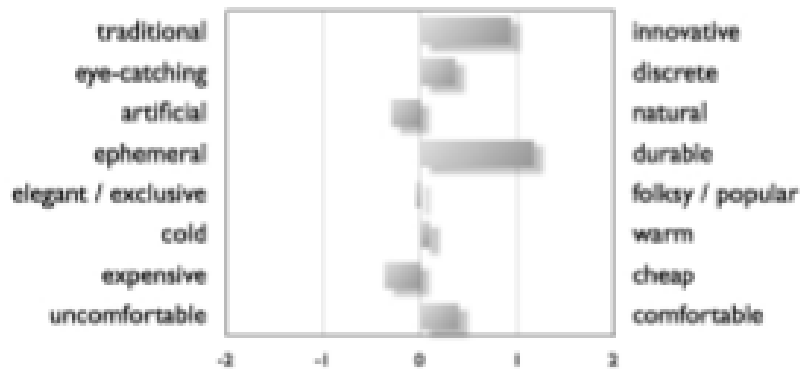


Figura 197. Diferencial semántico, la percepción de los encuestados para piso flotante de WPC (Wood – Polymer Composite) (Weinfurter & Eder, 2009)



Figura 198. Gráfico perfil y personalidad de la pieza 3 vista – tacto (Frugone, 2016)

Los resultados de un diferencial semántico entonces, definen la personalidad de un material (Ashby, 2013) y por tanto entregan una comprensión de las imágenes psicológicas asociadas, mejorando el diseño los productos, logrando productos más deseables y una mejor comunicación del producto (Bumgardner & Bowe, 2001), información proporcionada puede ser muy útil desde los primeros procesos de diseño hasta las consideraciones de fabricación (Høibø & Nyrud, 2010; Weinfurter & Eder, 2009) Las preferencias reveladas por los encuestados también serán reflejadas posteriormente en las decisiones de compra, siendo uno de los factores más relevantes (Ashby, 2013).

Estudios anteriores comprueban empíricamente que el análisis sensorial se puede aplicar a productos de madera (Nyrud, Roos, & Rødbotten, 2008; Obata, et al., 2005; Wang, Lin, & Lin, 2001; Høibø & Nyrud, 2010). Así también el estudio anterior (Frugone, 2016) logró vislumbrar las preferencias de los encuestados para probetas impresas en 3D con filamento de madera.

6.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA LA ELECCIÓN DE LOS TÉRMINOS APROPIADOS: LOS 5 SENTIDOS

Muchas de las investigaciones existentes han indagado las propiedades de los materiales considerando los 5 sentidos por separado, confeccionando evaluaciones, por ejemplo, de doble modalidad, visión-táctil, visión-audición, audición-tacto (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015).

Para audición y tacto (Jousmäki & Hari, 1998) se declara que los sonidos pueden modificar sensaciones táctiles, lo que en teoría nublaría los verdaderos resultados de ambas sensaciones por separado, pero que al mismo tiempo existiría una correlación en un resultado final.

En el ámbito tacto y visión (Baumgartner, Wiebel, & Gegenfurtner, 2013) se demuestra también una alta correlación entre las clasificaciones de ambas modalidades al igual que en otras investigaciones sobre la percepción de naturalidad en madera (Overvliet & Soto-Faraco, 2011).

Sample number	Type of wood	Description	Category	Vision	Touch	Visuo-tactile
1	Tiger oak	Raw	Natural	0.80	0.82	0.87
2	Tiger oak	Weathered	Natural	0.88	0.92	0.90
3	Tiger oak	Sanded	Natural	0.71	0.73	0.74
4	Tiger oak	Waxed	Natural	0.78	0.64	0.75
5	Tiger oak	Oiled	Natural	0.65	0.66	0.66
6	Tiger oak	Varnished	Natural	0.74	0.52	0.61
7	Tiger oak	Manufactured	Natural	0.45	0.45	0.48
8	Cognac oak	Raw	Natural	0.81	0.84	0.88
9	Cognac oak	Weathered	Natural	0.82	0.92	0.89
10	Cognac oak	Sanded	Natural	0.64	0.65	0.66
11	Cognac oak	Waxed	Natural	0.78	0.63	0.75
12	Cognac oak	Oiled	Natural	0.66	0.61	0.65
13	Cognac oak	Varnished	Natural	0.55	0.41	0.40
14	Cognac oak	Manufactured	Natural	0.56	0.43	0.61
15	Tudor oak	Laminate	Artificial	0.44	0.50	0.45
16	Shire oak	Laminate	Artificial	0.47	0.55	0.50
17	Fake wood	Laminate	Artificial	0.44	0.46	0.43
18	Fake wood	Veneer	Artificial	0.56	0.18	0.32
19	Fake wood	Soft vinyl	Artificial	0.28	0.42	0.35
20	Fake wood	Soft vinyl	Artificial	0.47	0.61	0.56
21	Fake wood	Soft vinyl	Artificial	0.37	0.64	0.45
22	Fake wood	Hard vinyl	Artificial	0.27	0.52	0.33
23	Fake wood	Hard vinyl	Artificial	0.18	0.28	0.18
24	Fake wood	Hard vinyl	Artificial	0.33	0.29	0.30
25	Fake wood	Vinyl	Artificial	0.24	0.37	0.30
26	Fake wood	Vinyl	Artificial	0.16	0.34	0.18
27	Fake wood	Vinyl	Artificial	0.20	0.39	0.23
28	Fake wood	Photocopy	Artificial	0.23	0.06	0.08
29	Fake wood	Photocopy	Artificial	0.37	0.05	0.10
30	Fake wood	Photocopy	Artificial	0.24	0.07	0.04

Figura 199. Descripciones y estimaciones de naturalidad para 3 modalidades de exploración sensorial (Overvliet & Soto-Faraco, 2011)

Así también para un análisis visión y audición (Fujisaki, et al., 2014) se encontró una fuerte interacción entre la percepción material audiovisual, por ejemplo, un objeto que visualmente es percibido como vidrio se percibía como plástico transparente cuando se golpeaba con ciertas superficies.

Si bien las sensaciones por separado pueden variar los atributos percibidos por las personas a la hora de interactuar con los materiales, existirá siempre una fuerte correlación entre la materialidad, la forma y la sensación producida (Laughlin & Howes, 2013), aunque en la práctica por medio de la literatura revisada, el olfato no se comenta, siendo un factor de relevancia equivalente con otros sentidos, la bibliografía vislumbra que a la hora de evaluar o interactuar con materiales y productos, los estímulos integran a los 5 sentidos. La percepción de las propiedades del material no es sólo visual, involucra múltiples sentidos (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015). Es a través de los sentidos de forma cabal que experimentamos los materiales y los productos. Los diseñadores manipulan estas sensaciones y las reacciones para crear la personalidad de un producto (Ashby, 2013).

6.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA LA ELECCIÓN DE LOS TÉRMINOS APROPIADOS: LAS PROPIEDADES PERCEPTIVAS Y AFECTIVAS DE LOS MATERIALES

Según (Gibson J. J., 1966), la estimulación sensorial es registrada por un conjunto de sistemas perceptuales. Por ejemplo, un incendio es una fuente de cuatro clases de estimulación: sonido, olor, calor y luz. Cada tipo de estimulación especifica el mismo evento, y cada uno solo especifica el evento. Gibson afirma que los cuatro tipos de información del estímulo y los cuatro sistemas perceptivos son equivalentes. Por lo tanto, la percepción del fuego es simplemente la recepción de la información; la percepción será la misma independientemente del sistema que se activa (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015; Gibson, 1966)

La percepción material consiste en una amplia gama de conceptos, propiedades perceptivas (como brillo, tono) y propiedades afectivas (como la belleza, simpatía). Así ambas modalidades una evaluación perceptual y una afectiva proporcionarán resultados similares (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015). Se puede entender además como interacción que involucra tanto los atributos técnicos como estéticos de un producto (Ashby, 2013).

de ser percibidos como altamente deseables (Goodman, 2012; Masuda, 2004; Sakuragawa, et al., 2005; Rice J., et al., 2006; Weinfurter & Eder, 2009; Overvliet & Soto-Faraco, 2001; Shaw, 2001; Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015), para contrastar y concluir, el término artificial o “no-natural” se aplica a tecnologías o entidades que se perciben en el conflicto con estas nociones de naturalidad (Burton, 2015).

Para desarrollar un sistema de medición para predecir la percepción de naturalidad, este debe estar basado en una comprensión de la relación entre los atributos físicos del material y las respuestas de percepción humanas (Goodman, 2012).

Según esto y la bibliografía comentada y sumado a lo dicho por Ashby sobre los atributos técnicos y estéticos, el concepto de naturalidad estará concentrado en los atributos estéticos, de percepción o afectivos y serán concluyentes según su calificación mediante un diferencial semántico para determinar la naturalidad de las probetas propuestas.

6.5 FACTORES A CONSIDERAR PARA LA ELECCIÓN DE LOS TÉRMINOS APROPIADOS, LAS PROPIEDADES PERCEPTIVAS Y AFECTIVAS DE LA MADERA Y SU RELACIÓN CON LAS PROBETAS

La madera es un material de origen natural y variable, que tiene una serie de características – color, figura, grano, nudos – que le dan su apariencia estética (Hoadley, 1990; Broman, 2000; Fell, 2002) y, por tanto, potencialmente podría contribuir a la sensación de bienestar de una persona dentro de un espacio interior (Rice J., et al., 2006) Esta sensación de bienestar en teoría está asociada a los conceptos percibidos por los atributos del material, sin embargo, sólo un puñado de investigadores han observado las impresiones y percepciones de la gente sobre la madera hasta la fecha (Rice J., et. al, 2006).

En cualquier caso, las distintas características de la madera parecen evocar sentimientos de "armonía", "simplicidad" y "equilibrio" en los individuos que contribuyen al atractivo general de la madera. Por ejemplo, las superficies limpias generalmente fueron encontradas más "armoniosas" que las superficies con más nudos (Rice J., et al., 2006).

Investigaciones en Japón han intentado descubrir un vínculo científico entre el uso de madera y las interpretaciones individuales y sentimientos sobre los entornos creados por su uso (Masuda & Yamamoto, 1988; Masuda, 1992).

Resultados demostraron que los espacios interiores que contienen altas proporciones de madera generalmente se describen como "cálidos" y "calmantes". Curiosamente, hay una relación positiva entre estos conceptos y el color de la madera, especialmente a medida que aumenta en valor en el espectro de amarillo-rojo (YR en inglés) (Masuda & Yamamoto, 1988), también encontraron que la variabilidad natural de la madera provoca diferentes sensaciones psicológicas en los individuos, especialmente a través de las culturas.

Por ejemplo, en Japón, los nudos se ven como manchas o defectos y las personas lo asocian con lo "barato". En general, los japoneses prefieren madera clara y limpia ya que es más acorde con su afición de "pureza." Por el contrario, en Europa y América del Norte, productos de madera que contienen nudos se venden extensamente y están asociados con conceptos tales como "natural" y "rústico". (Rice J., et al., 2006).

Otras evaluaciones realizadas declaran que maderas oscuras (es decir, caoba, cerezo y nogal) tendían a ser clasificadas como costosas, formales, antiguas y

refinadas, mientras que maderas más ligeras fueron vistas generalmente como baratas, casuales, modernas y modestas. (Bumgardner & Bowe, 2001). En todos los casos de evaluaciones de madera y productos derivados como compuestos Madera-Polímero (Weinfurter & Eder, 2009) integrando un diferencial semántico como metodología de medición, hacen un importante hincapié en la elección de los conceptos a utilizar y la relevancia de estos a la hora de concluir los estudios.

Por ejemplo en un estudio se utilizaron 23 pares adjetivo bipolares; la mayoría de los cuales fueron seleccionada de literatura anterior (Cunningham, Wallraven, et al., 2007; Fujisaki, et al., 2014; Fujisawa, Iwamiya, & Takada, 2004; Gabrielsson & Sjogren, 1979; Osgood & Anderson, 1957; Solomon, 1958; von Bismarck, 1974a) mencionando que aun así siendo 23 estos simplificaban la enorme cantidad de conceptos que se podrían tomar en cuenta (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015).

a. Visual properties	b. Auditory properties	c. Tactile, Thermal, and other properties	d. Affective, or preferential properties
Matte surface-gloss surface	Dampened sound-ringing sound	Rough-smooth	Fake-genuine
Dark surface-bright surface	Dull sound-sharp sound	Cold-warm	Cheap-expensive
Dull surface-clear surface	Mixed sound-pure sound	Soft-hard	Dirty-clean
		Light-heavy	Old-new
		Dry-wet	Unpleasant-pleasant
		Sparse-dense	Tense-relaxed
			Fragile-sturdy
			Common-rare
			Plain-sophisticated
			Boring-interesting
			Dislike-like

Figura 201. Términos de visión, audición, tacto y afectivos usados en el experimento (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015)

En otro de los estudios revisados, se planteó una pregunta abierta en donde a los sujetos de estudio se les pidió articular atributos principales de la madera (fueron limitados a tres respuestas). En total, se recibieron 71 respuestas diferentes (Rice J., et al., 2006).

Attribute	% of respondents ¹
Warm	46.6%
Natural	33.6%
Attractive	26.7%
Durable	17.2%
Strong	15.5%
Color/color variety	10.3%

Figura 202. Los atributos más importantes de aplicaciones en madera utilizadas en interiores, por porcentaje de respuestas (Rice J., et. al, 2006)

(Bumgardner & Bowe, 2001) Definen factores teóricos que describen muebles de hogar y relacionan un tipo de diferencial semántico para cada factor. Si bien estos factores y los correspondientes tipos de diferencial están enfocados a evaluar un producto específico, los conceptos se repiten o se relacionan con anteriores términos definidos en las otras dos investigaciones (Rice J., et al., 2006; Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015).

Factor	Item
Quality	Fragile vs. Durable
Price	Expensive vs. Inexpensive
Style	Casual vs. Formal
	Old-fashioned vs. Modern
	Stately vs. Modest
	Cold vs Warm
Visual elements	Sustainable vs. Depleting
Environmental considerations	

Figura 203. Factores teóricos que describen muebles de hogar y los elementos diferenciales semánticos seleccionados para representar a los factores (Bumgardner & Bowe, 2001)

6.6 CONCLUSIONES Y ELECCIÓN DE LOS TÉRMINOS PARA EL DIFERENCIAL SEMÁNTICO

El objetivo de este instrumento es identificar las sensaciones percibidas por los encuestados al interactuar con las probetas propuestas. La intención es relacionar estas probetas con la madera y el concepto de naturalidad y en qué medida pueden provocar las mismas sensaciones, tanto en atributos estéticos como técnicos.

Tal como comenta (Ashby, 2013) los atributos estéticos y técnicos no son excluyentes y pueden estar correlacionados. De esta manera como primer criterio se evaluara ambos atributos en un solo instrumento, integrando así conceptos de evaluación táctil según (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015) y conceptos de evaluación afectiva o de preferencia.

Específicamente los conceptos táctiles propuestos serán los utilizados para evaluar los 5 sentidos en general, donde no se busca una calificación por sentidos sino más bien la percepción general, esto es posible según la literatura (Jousmäki & Hari, 1998; Baumgartner, Wiebel, & Gegenfurtner, 2013; Overvliet & Soto-Faraco, 2011; Fujisaki, et al., 2014; Laughlin & Howes, 2013; Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015; Ashby, 2013) ya que además de

existir correlación entre las sensaciones percibidas entre sentidos, la percepción real de un material o producto los incluye de forma general.

c. Tactile, Thermal, and other properties	d. Affective, or preferential properties
Rough-smooth	Fake-genuine
Cold-warm	Cheap-expensive
Soft-hard	Dirty-clean
Light-heavy	Old-new
Dry-wet	Unpleasant-pleasant
Sparse-dense	Tense-relaxed
	Fragile-sturdy
	Common-rare
	Plain-sophisticated
	Boring-interesting
	Dislike-like

Figura 204. Extracto de términos de visión, audición, tacto y afectivos usados en el experimento (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015)

Los otros dos estudios mencionados (Bumgardner & Bowe, 2001; Rice J., et al., 2006) verifican estos conceptos, donde algunos se repiten y otros están directamente relacionados.

En el ámbito de la percepción de naturalidad, se puede identificar que dentro de los conceptos ya confirmados está el concepto por sí mismo, pero este no sería concluyente para declarar una real percepción de naturalidad, por consecuente se integran los conceptos principales revisados (Burton, 2015) y más adecuados para este instrumento. La viabilidad de inclusión de estos conceptos dentro de un instrumento único queda

evidenciada también por la bibliografía revisada (Goodman, 2012; Masuda, 2004; Sakuragawa, et al., 2005; Overvliet & Soto-Faraco, 2011; Kaplan, Kaplan, & Wendt, 1972; Broman, 2000).

De un total de 84 pares bipolares de conceptos incluidos entre atributos de la madera y el concepto de naturalidad se considera un total de 25.

Conceptos evaluadores de madera y naturalidad	
Suave / Áspero	Cálido / Frío
Liviano / Pesado	Falso / Genuino
Esparcido / Denso	Húmedo / Seco
Barato / Caro	Limpio / Sucio
Frágil / Resistente	Raro / Común
Sofisticado / Modesto	Aburrido / Interesante
Anticuado / Moderno	Puro / Impuro
Tradicional / Contemporáneo	Simple / Complejo
Natural / Artificial	Equilibrio / Desequilibrio
Controlable / Incontrolable	Predecible / Impredecible
Interactivo / Pasivo	Sustentable / Insostenible
Aleatorio / Regular	Bello / Feo
Madera / Plástico	

Tabla 14. Los conceptos para el diferencial semántico (Elaboración propia)

6.7 DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO

Según la empresa (Gartner, Inc., 2014; Gartner, Inc., 2015), las proyecciones de la impresión 3D estiman que de aquí a 10 años la tecnología estará presente en todos los segmentos del mercado, tanto como herramienta complementaria o como factor productivo primario.

Según la curva de expectativa presentada por la empresa Gartner, la expectativa de estabilidad de la impresión 3D para los consumidores también estará presente y para ese entonces las generaciones entre los 18 y 29 años estarán en plena etapa como potenciales consumidores y al mismo tiempo en la búsqueda de nuevas propuestas de diseño.

Esta encuesta busca cubrir este porcentaje de la población para tener nociones de cómo evaluarán los resultados de la impresión y así encontrar las falencias para un mejor desarrollo de producto a medida que vaya evolucionando la tecnología.

Además también es relevante la visión de los adultos y potenciales consumidores en este momento, sobre este tema incluyéndolos también en el universo de los encuestados en un menor porcentaje

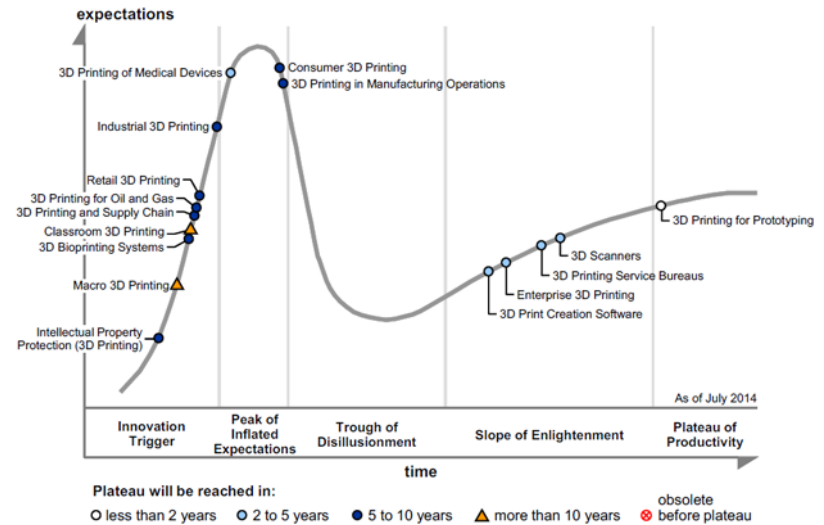


Gráfico 1. . "Hype cycle" para la impresión 3D (Gartner, Inc., 2014)

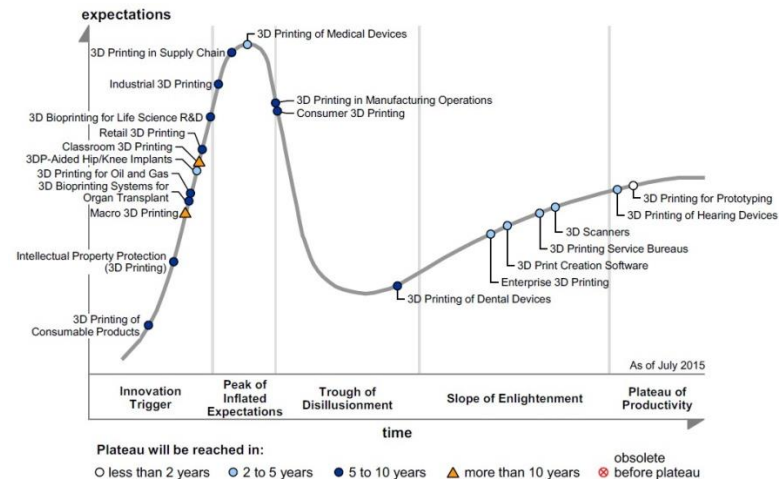


Gráfico 2. "Hype cycle" para la impresión 3D (Gartner, Inc., 2015)

El perfil entonces que definirá el universo encuestado se compondrá de un grupo de personas que estén dentro del rango etario entre los 18 a 29 años, que tengan educación escolar y estén cursando una carrera técnica o profesional universitaria siendo el factor de educación uno de los más relevantes para asegurar un cierto nivel de conocimiento o percepción sobre la madera.

El tamaño de la muestra será de 40 personas en donde 15 serán Diseñadores o diseñadores en formación, del rango etario definido y 15 profesionales o profesionales en formación de ninguna carrera en particular. Además se incluirán 10 personas más que las compondrán 5 adultos profesionales en diseño y 5 adultos de otras profesiones sobre los 29 años. El universo total entonces de encuestados será de 40 personas para una primera evaluación sensorial.

Para una segunda evaluación sensorial mediante el diferencial semántico se encuestará nuevamente al grupo de otras profesiones y adicionalmente para el mismo grupo se evaluará mediante un análisis PREMO las intensidades de emociones la probeta de propuesta conceptual.

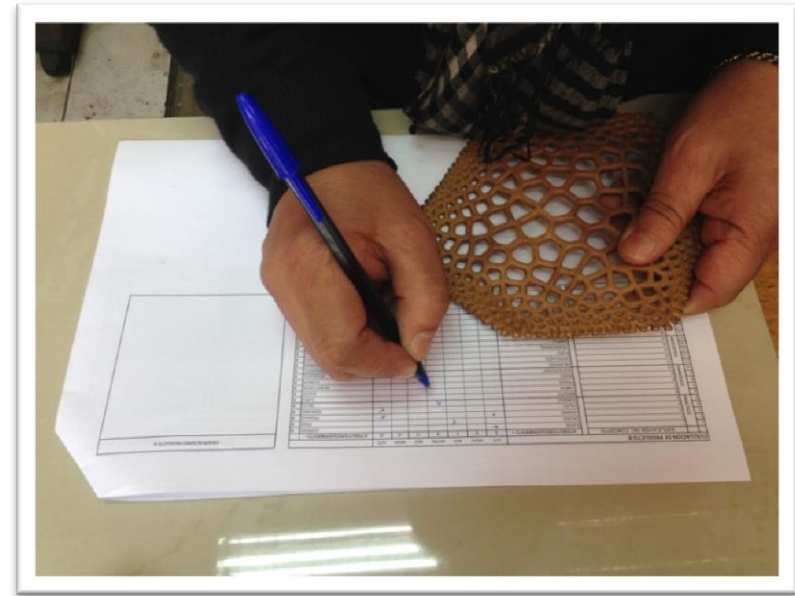


Figura 205. Proceso de encuesta de diferencial semántico (Elaboración propia)

Capítulo 3 CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. RESULTADOS DE LA PRIMERA EVALUACIÓN

1.1 DISEÑADORES



Figura 206. Proceso de encuestas (Elaboración propia)

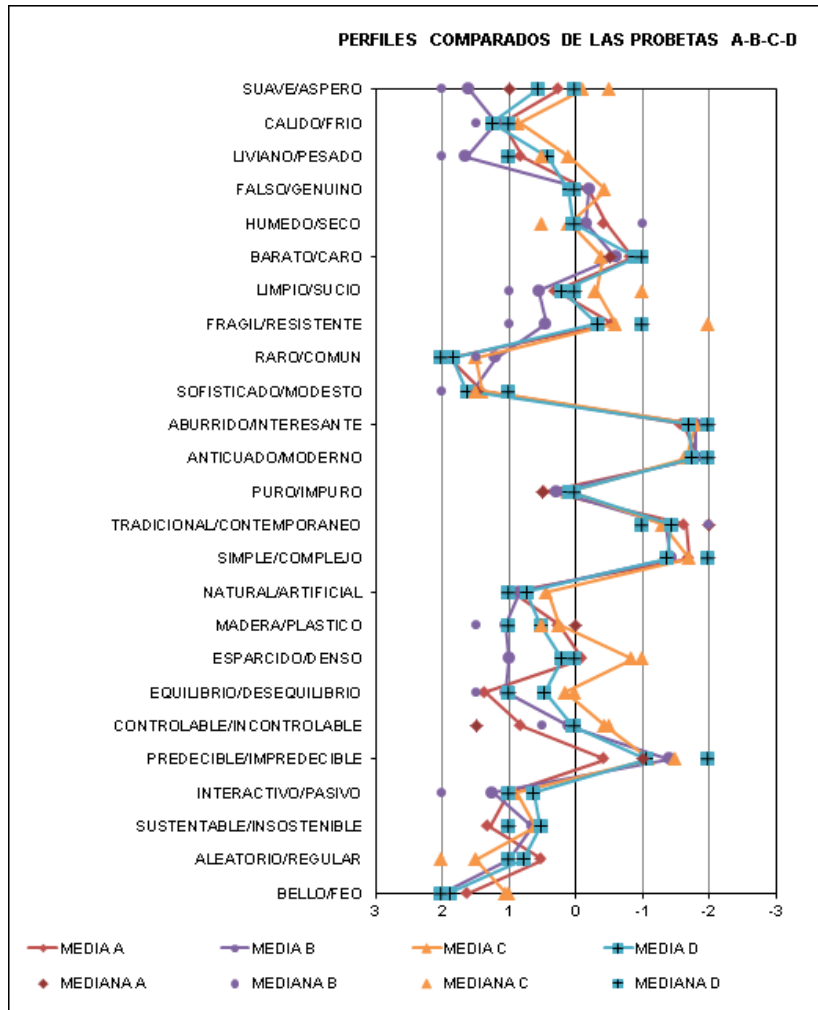


Gráfico 3. Perfil comparado de las probetas A-B-C-D obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

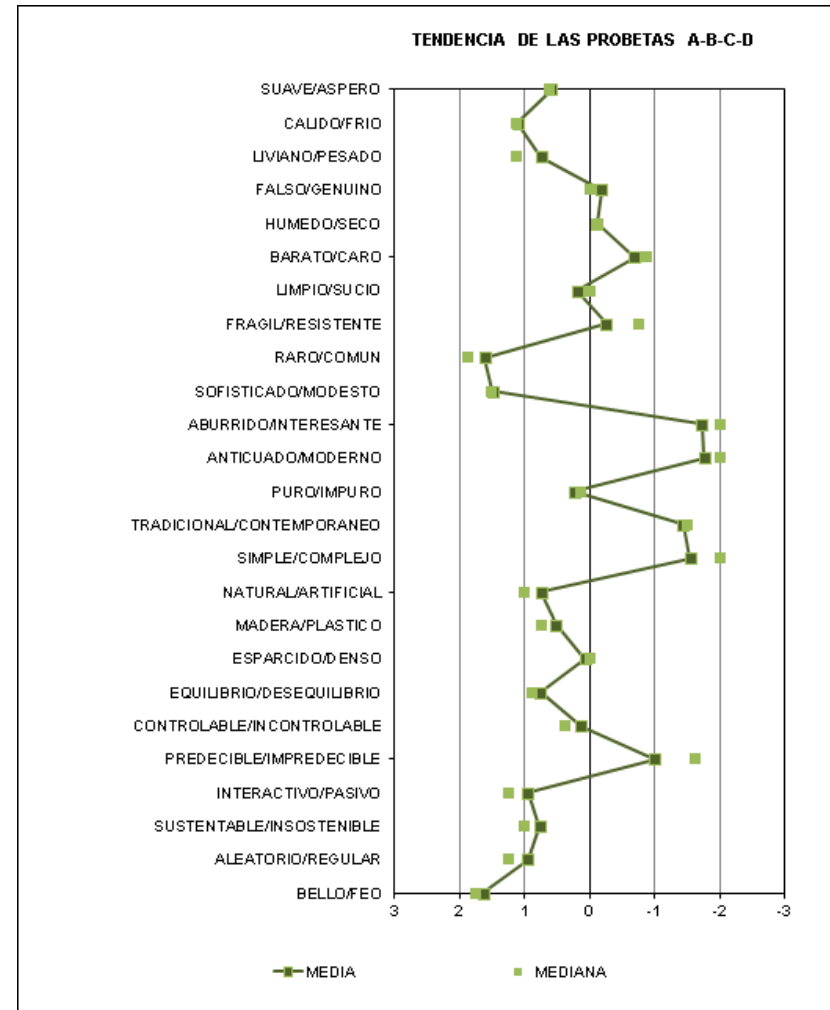


Gráfico 4. Perfil de tendencia de las probetas A-B-C-D obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

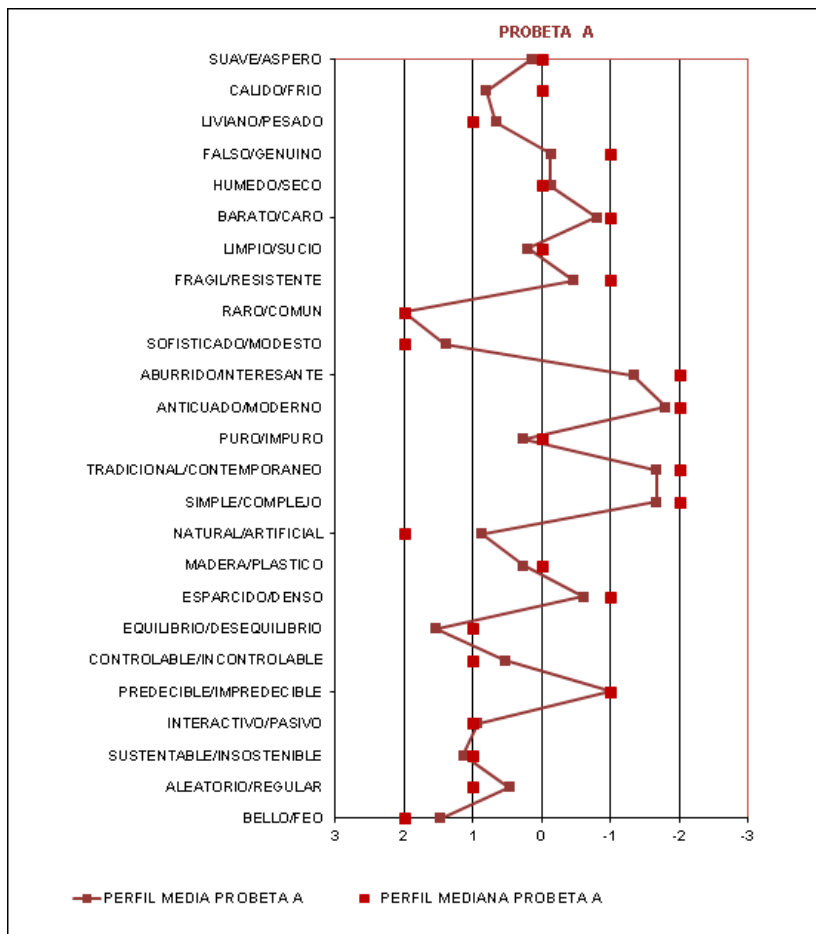


Gráfico 5. Perfil de probeta A obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

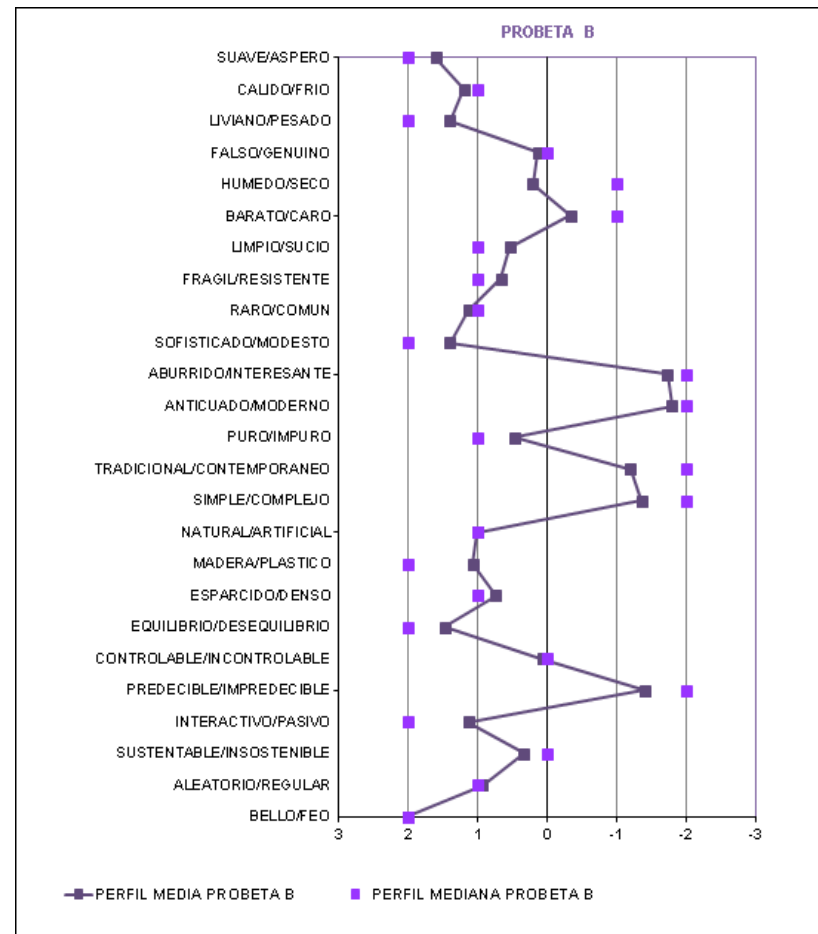


Gráfico 6. Perfil de probeta B obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

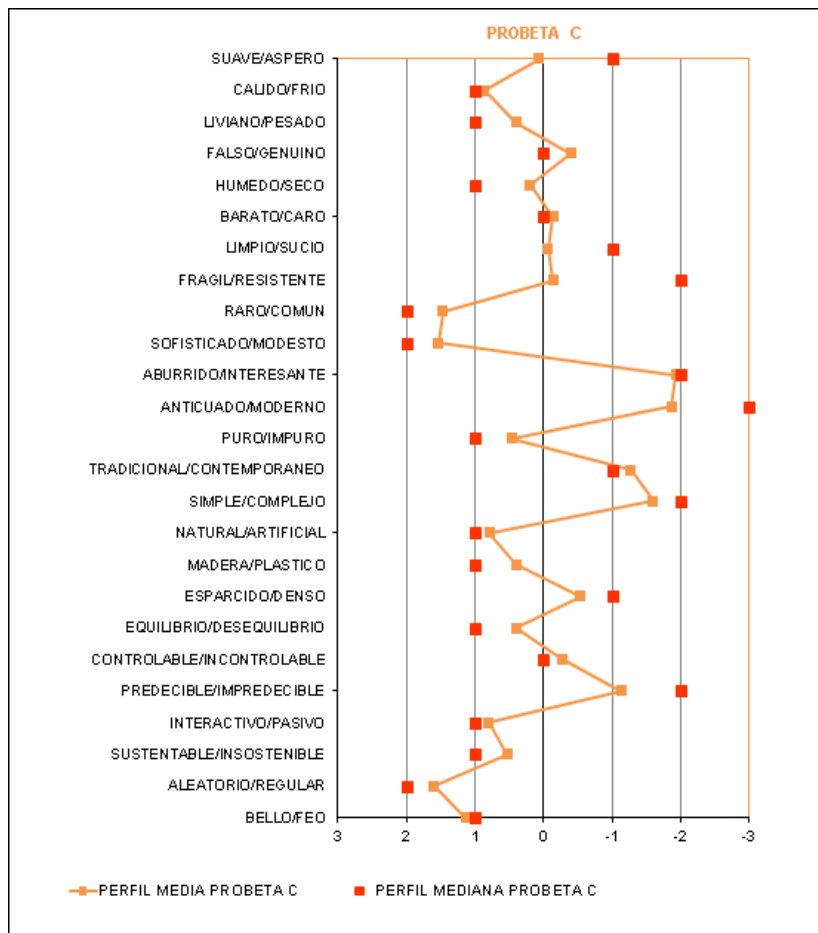


Gráfico 7. Perfil de probeta C obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

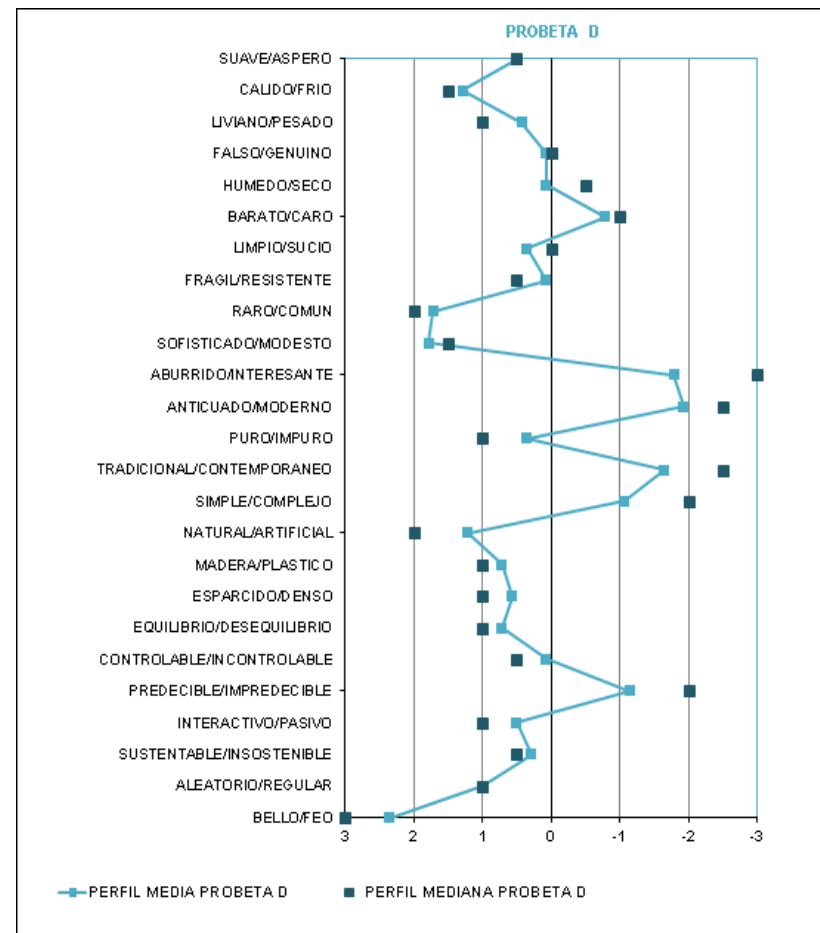


Gráfico 8. Perfil de probeta D obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

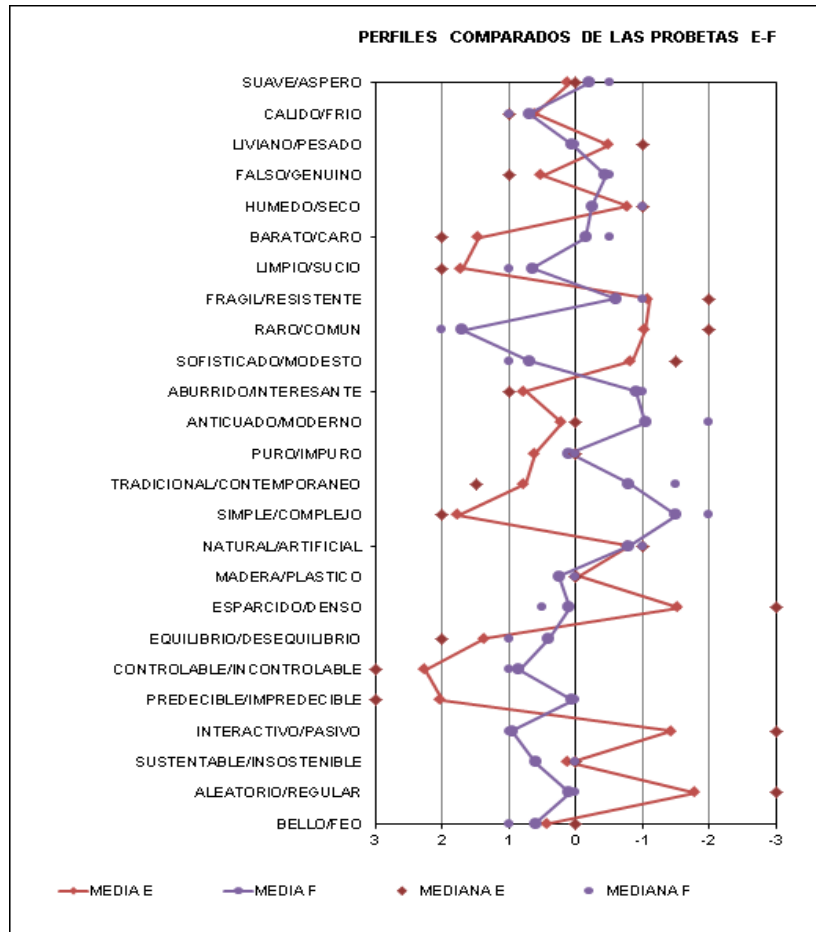


Gráfico 9. Perfil comparado de las probetas E-F obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

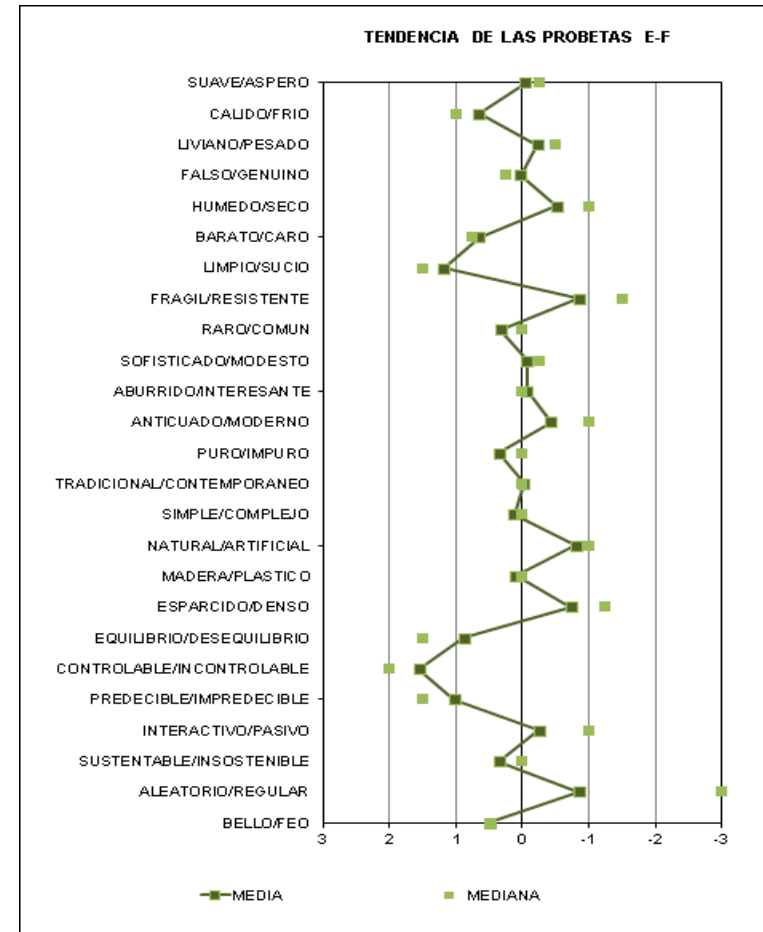


Gráfico 10. Perfil de tendencia de las probetas E-F obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

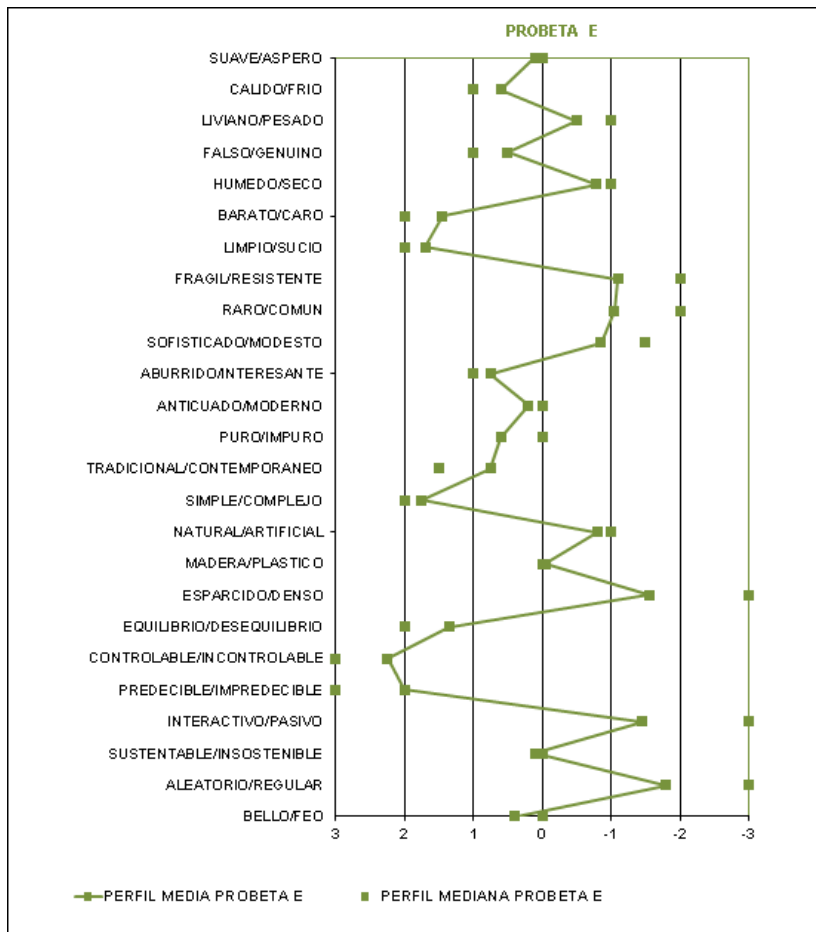


Gráfico 12. Perfil de probeta E obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

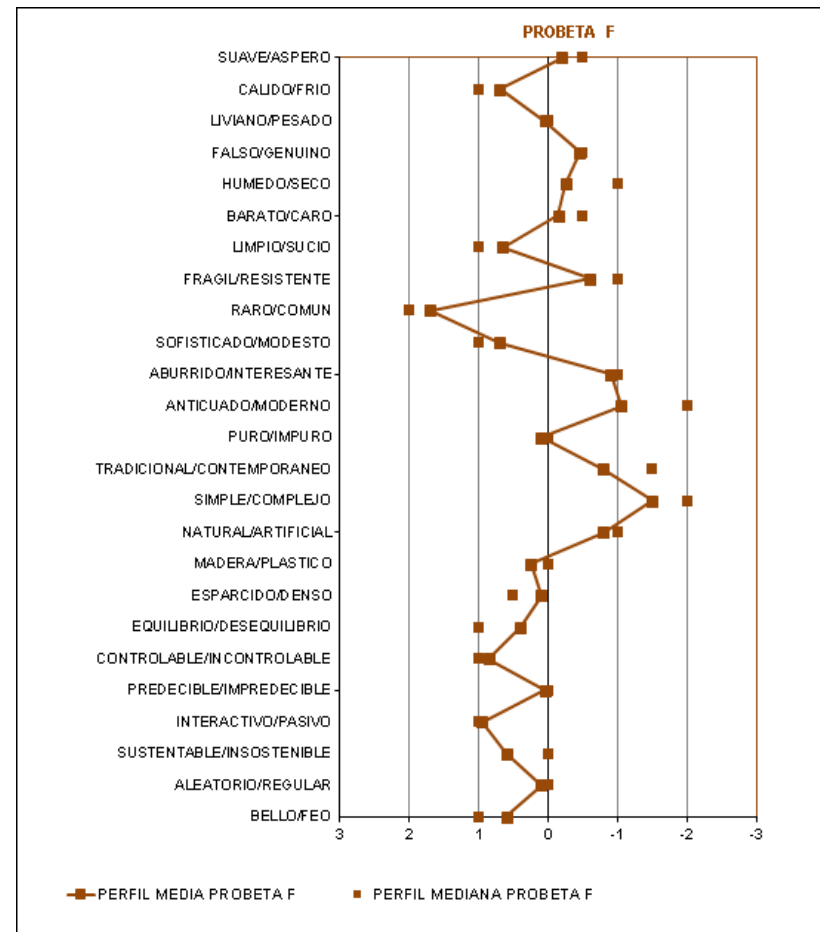


Gráfico 11. Perfil de probeta F obtenido de la encuesta a diseñadores (Elaboración propia)

1.2 OTRAS PROFESIONES



Figura 207. Proceso de encuestas (Elaboración propia)

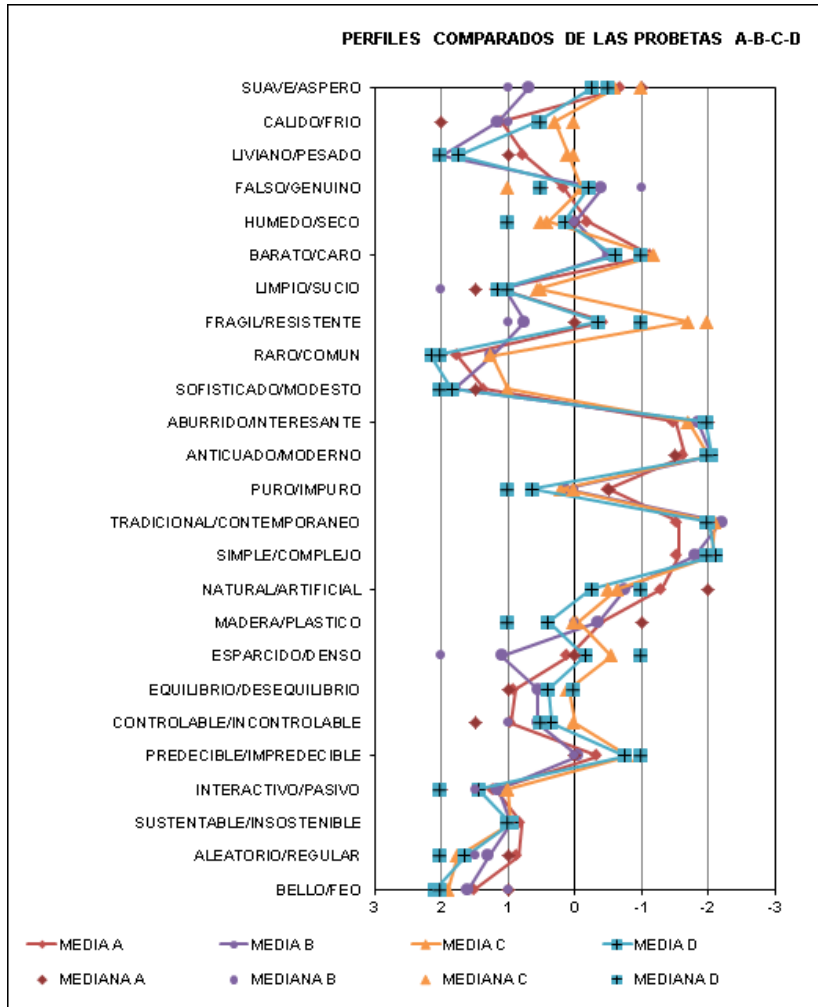


Gráfico 13. Perfil comparado de las probetas A-B-C-D obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

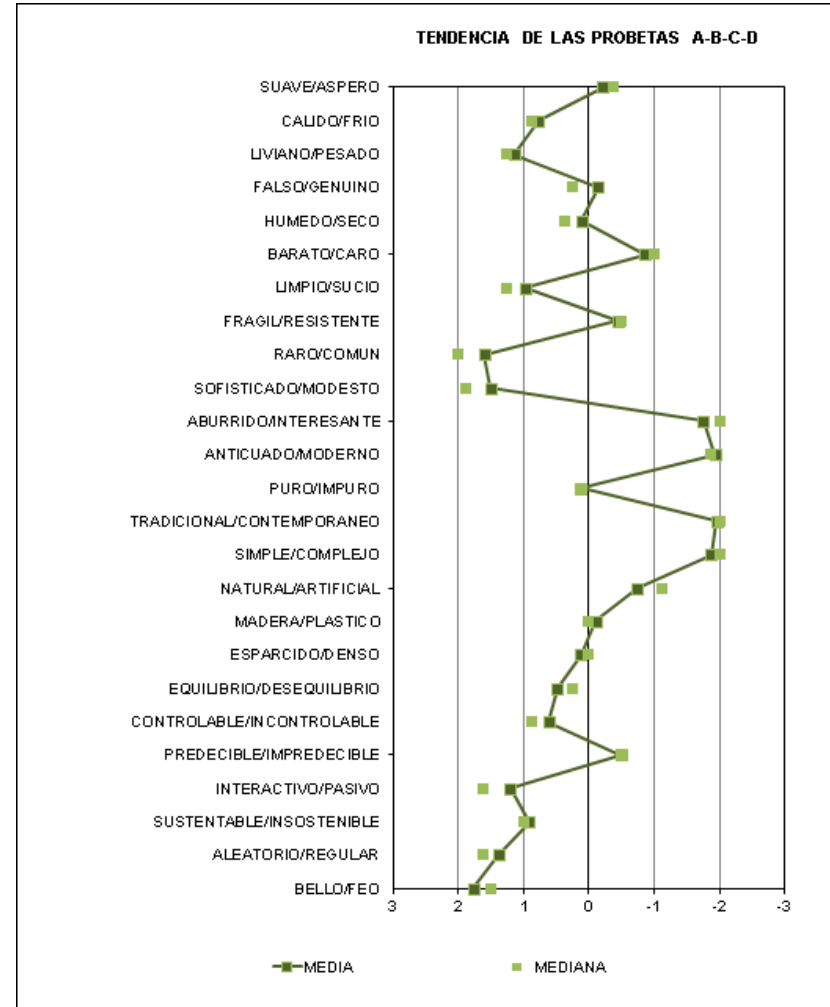


Gráfico 14. Perfil de tendencia de las probetas A-B-C-D obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

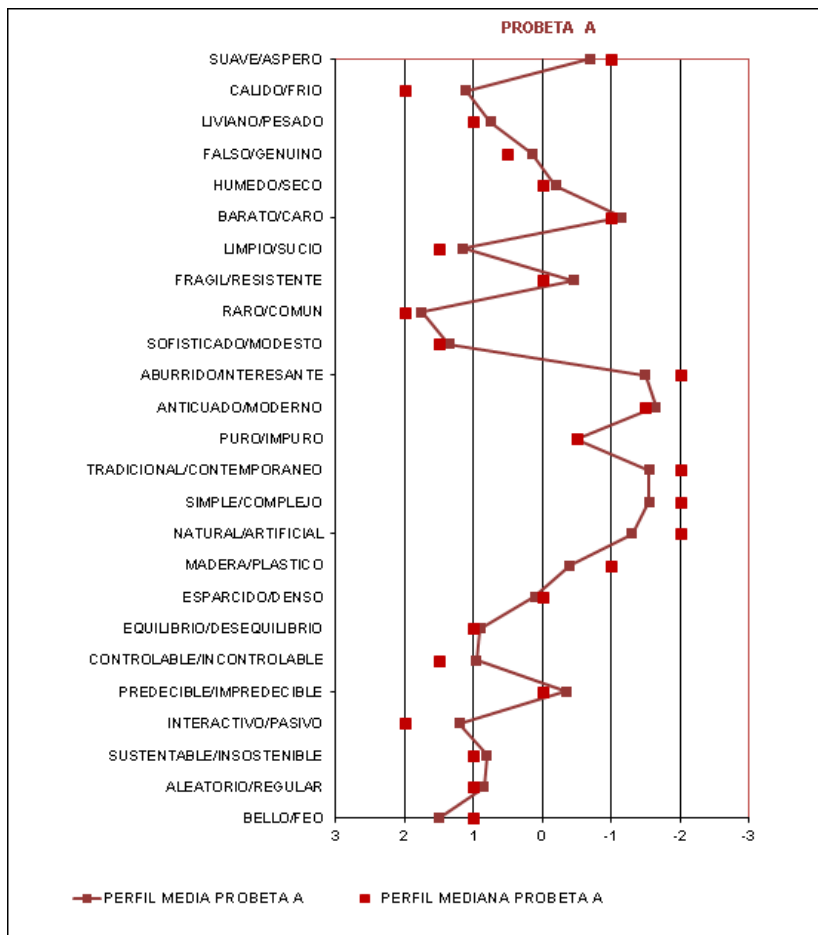


Gráfico 16. Perfil de probeta A obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

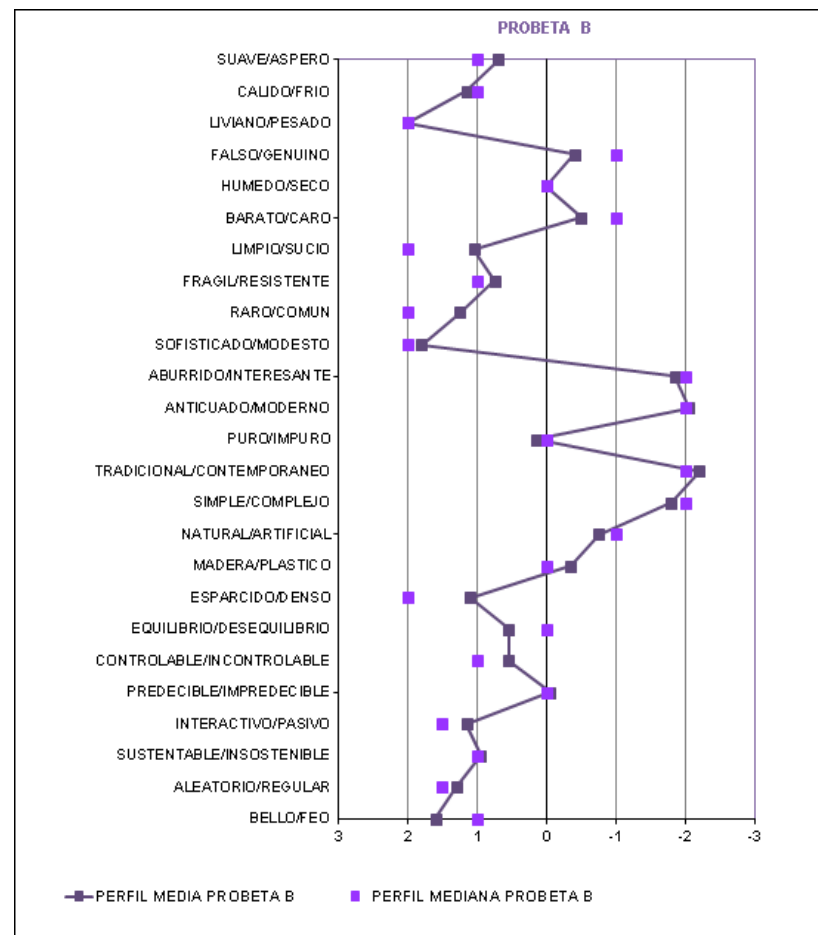


Gráfico 15. Perfil de probeta B obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

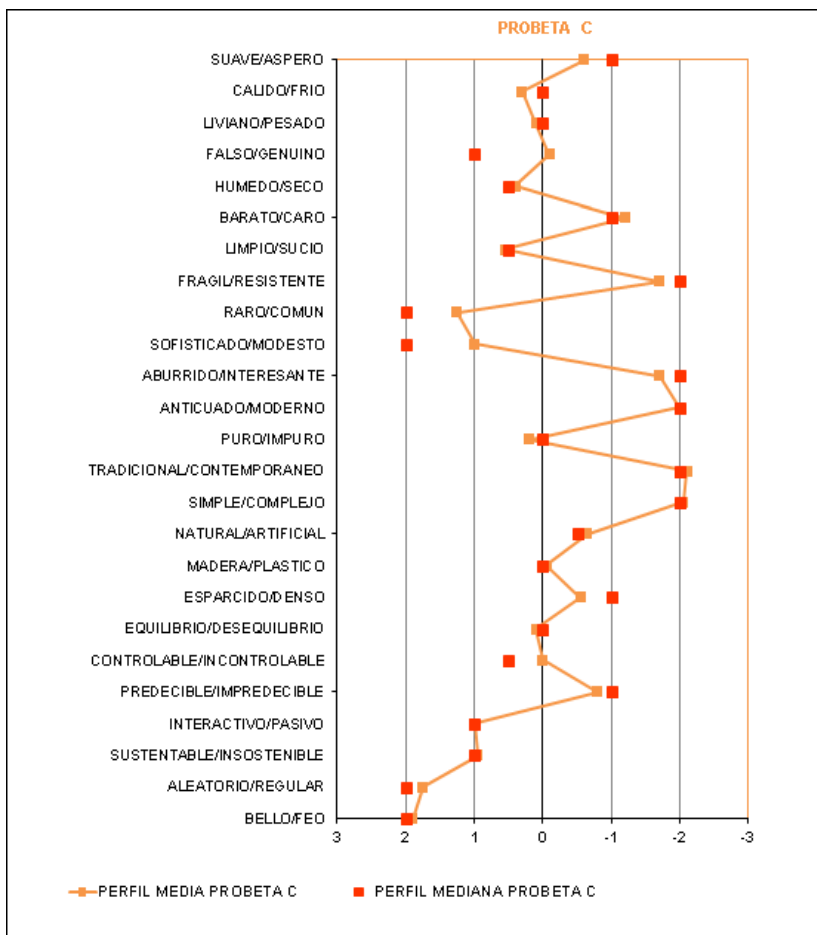


Gráfico 17. Perfil de probeta C obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

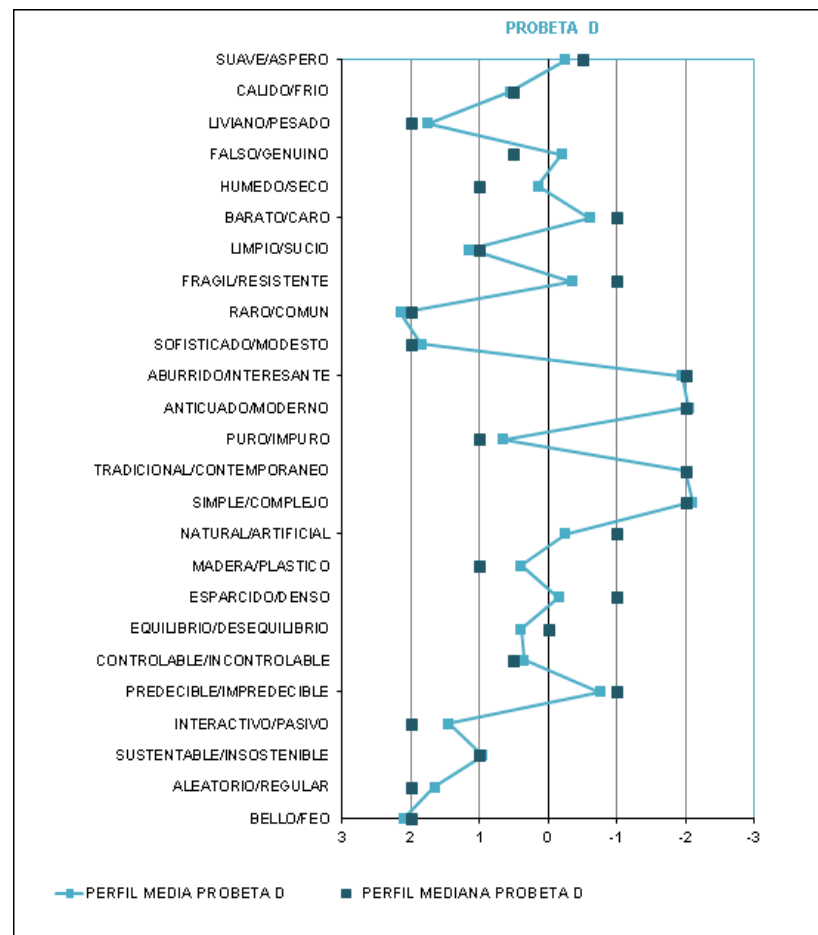


Gráfico 18. Perfil de probeta D obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

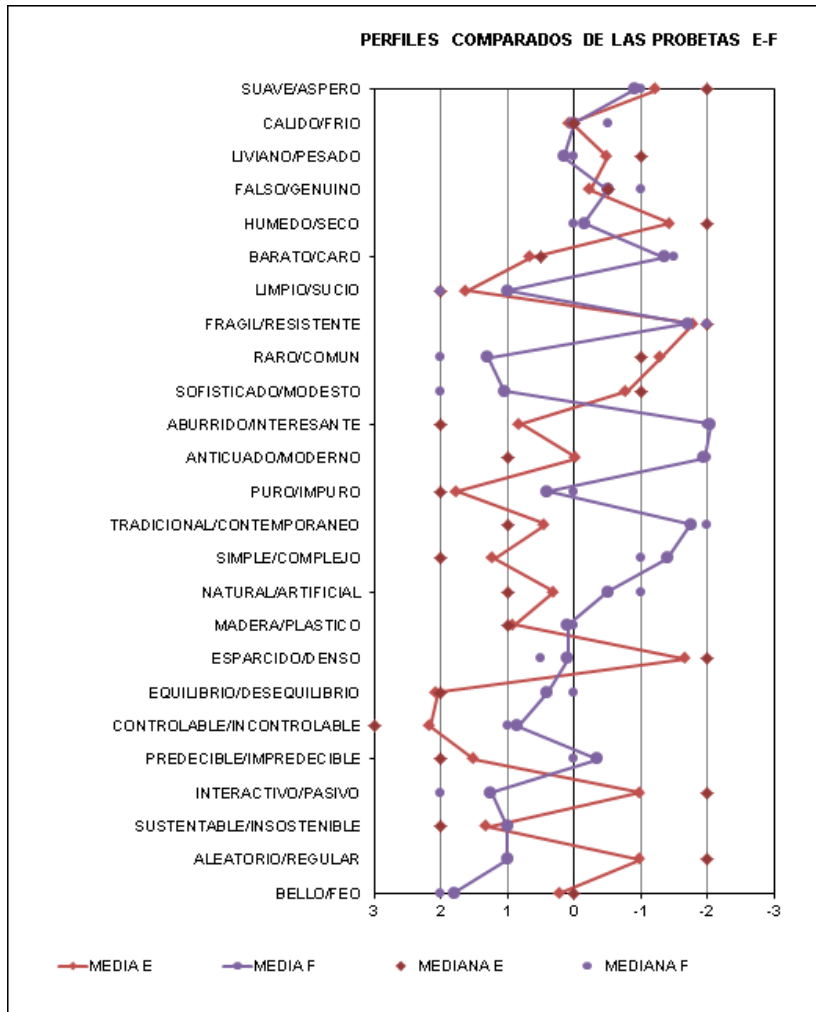


Gráfico 20. Perfil comparado de las probetas E-F obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

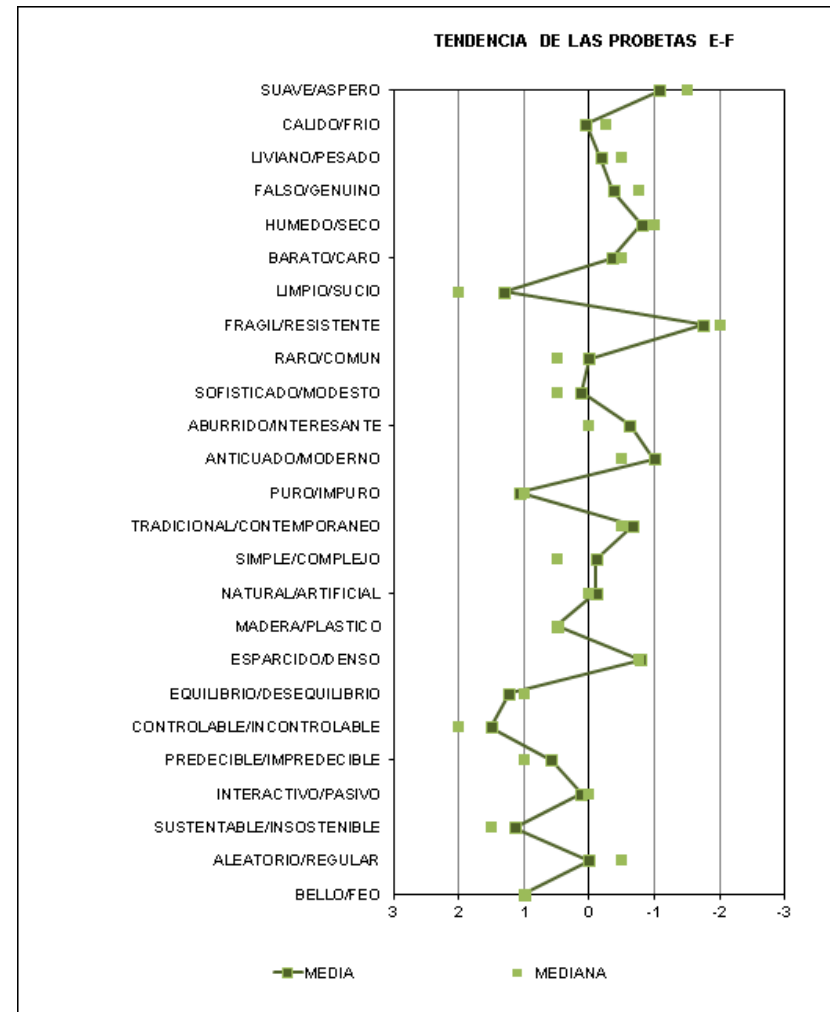


Gráfico 19. Perfil de tendencia de las probetas E-F obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

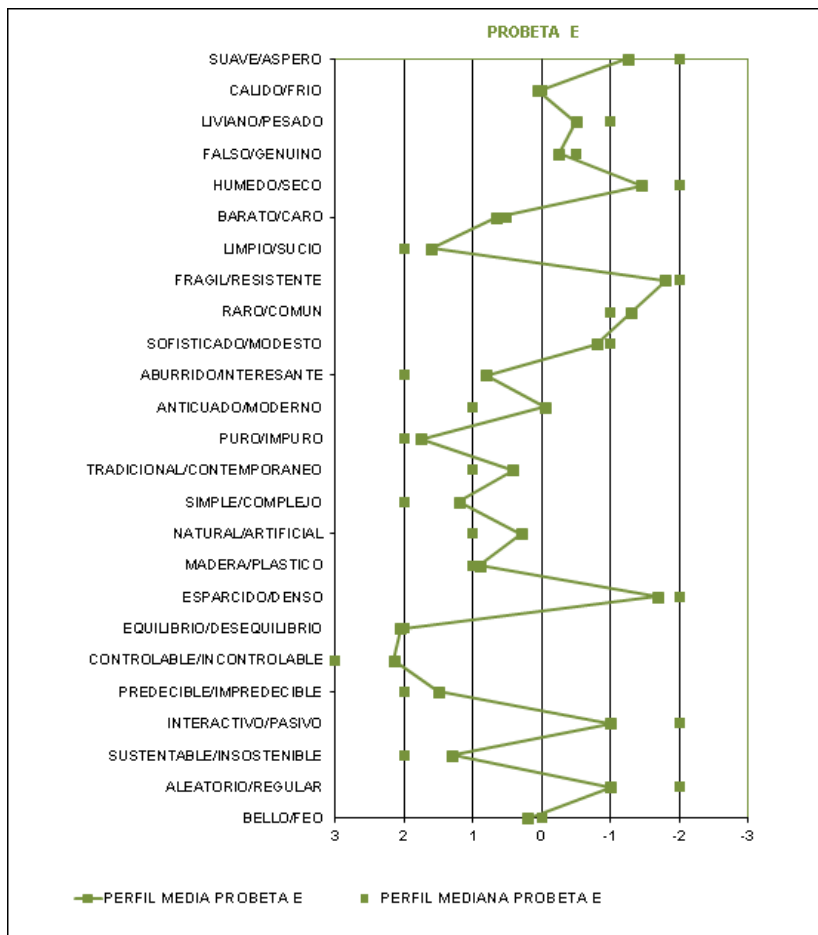


Gráfico 22. Perfil de probeta E obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

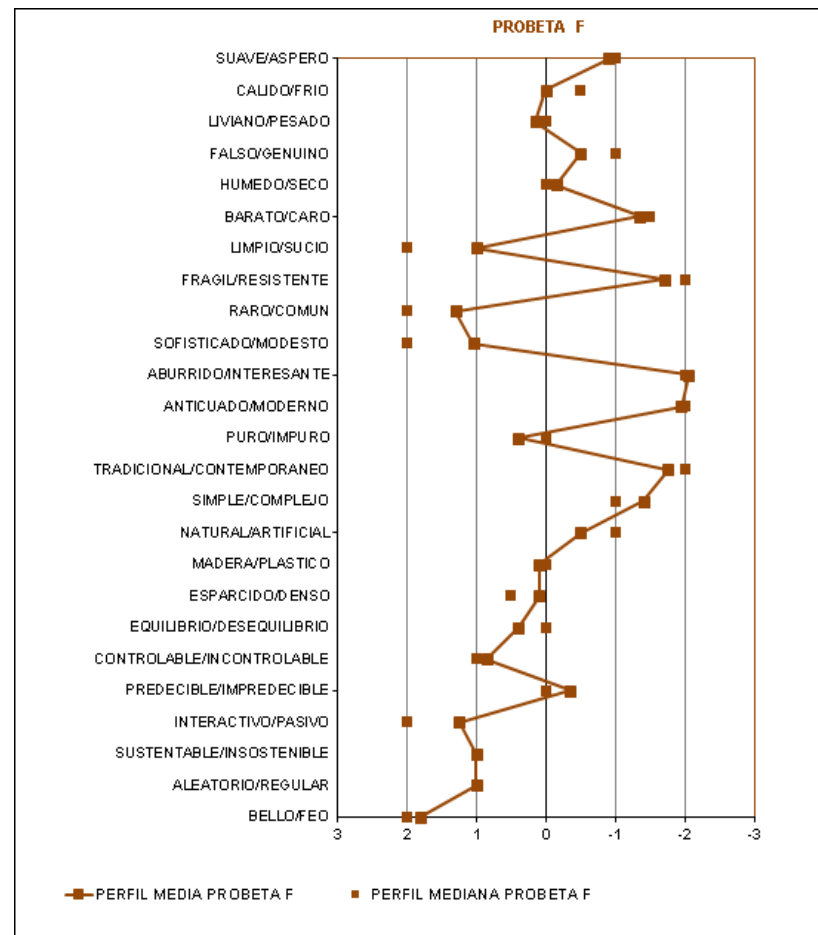


Gráfico 21. Perfil de probeta F obtenido de la encuesta a personas de otras profesiones (Elaboración propia)

2. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES DE RESULTADOS DE UNA PRIMERA EVALUACIÓN

2.1 OBSERVACIONES GENERALES

Es importante aclarar y destacar que en el proceso de evaluación no se incluyen probetas impresas que no tuvieran filamento de madera como material principal.

Si bien una comparativa entre probetas confeccionadas con filamento de madera y otras confeccionadas solo con plástico supondría una diferencia notoria en la percepción de naturalidad o madera, el objetivo principal de las encuestas es analizar cuanta naturalidad aporta la aplicación de la morfología y los post procesos propuestos para las probetas comparándolas con una probeta de control que no tuviera ninguna aplicación adicional pero que aun así estuviera impresa en filamento de madera.

Así la comparación de las probetas con la probeta de control (E) y la obtención de puntajes por sobre la media de los puntajes de la probeta E verificaría la hipótesis planteada.

“La impresión 3D puede adquirir valor estético y en específico en este caso, un valor estético natural mediante la utilización de filamento de madera, la aplicación de una morfología natural representativa y un acabado superficial, para su consideración en productos finales”

Desde un punto de vista enfocado a la reacción de los encuestados, en esta primera evaluación uno de los factores sobresalientes fue la sorpresa y la curiosidad ante las probetas.

A veces la disposición de las personas para hacer encuestas no es siempre la deseada para el encuestador, sobre todo cuando esta se pide de manera voluntaria, pero el interés de los encuestados por mirar más de cerca, tocar, analizar y comprender las probetas fueron determinantes para obtener respuestas significativas.

El interés de los encuestados permitió no solo obtener datos concretos cuantitativamente sino que además en un general se obtuvieron varios comentarios valiosos no solo para verificar la hipótesis de investigación sino que además para posibles propuestas de diseño derivadas.

En esta primera evaluación el comentario generalizado fue el fracaso de la aplicación de barniz como acabado superficial, donde los comentarios fueron bastante equilibrados entre los encuestados en una percepción más plástica y menos natural. En este aspecto es importante destacar la diferencia de los puntajes promedios obtenidos entre los diseñadores encuestados y las personas de otras profesiones.

	Madera	Natural
Diseñadores	0.5	0.7
Otras profesiones	-0.1	-0.7

Tabla 15. Comparativa de puntajes promedio general de las probetas A-B-C-D para los conceptos de madera y naturalidad según diseñadores y otras profesiones (Elaboración propia)

Donde si bien en ambos grupos de encuestados el puntaje evaluado para los conceptos madera y natural fueron bajos, para el grupo de otras profesiones el promedio fue negativo o asociado a los conceptos de plástico y artificial.

Por otra parte considerando la hipótesis existen dos escenarios según las evaluaciones para cada grupo, si existe una diferencia significativa entre ambos grupos existiría un escenario optimista y un escenario pesimista, donde existe la probabilidad de que la hipótesis no pueda ser verificada en el escenario pesimista y la probabilidad de que en el escenario optimista verifique la hipótesis.

Como objetivo secundario encontrar una diferencia significativa en la percepción de madera entre las probetas y la probeta de control aseguraría un apoyo adicional a la hipótesis si se verifica que existe una correlación entre los conceptos de naturalidad y madera percibidos.

2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para comprobar si existe una diferencia significativa entre los puntajes percibidos por los dos grupos se ocupa una prueba t donde se consideran los puntajes obtenidos para cada probeta (A-B-C-D) independiente como la media e incluyendo a diseñadores y otras profesiones como el factor comparativo.

Los primeros análisis con el concepto de madera arrojan que no existe una diferencia significativa en las medias entre diseñadores y otras profesiones, con un índice de **0.2671** por lo que se puede concluir que la diferencia de 0.6 puntos en el promedio tampoco es significativa. En el general para todas las probetas y tal como se observa en el gráfico de prueba t para la probeta A, ninguna obtiene diferencias significativas en los puntajes.

En términos generales esto significa que para el universo encuestado de 20 personas para cada grupo la diferencia en percepción de madera si bien es distinta no es significativa por lo tanto estadísticamente no es probable que esta diferencia se mantenga o aumente si el tamaño del universo de los encuestados es mayor. No así en cambio la diferencia en el concepto de naturalidad que marca una diferencia de 1 punto en el promedio.

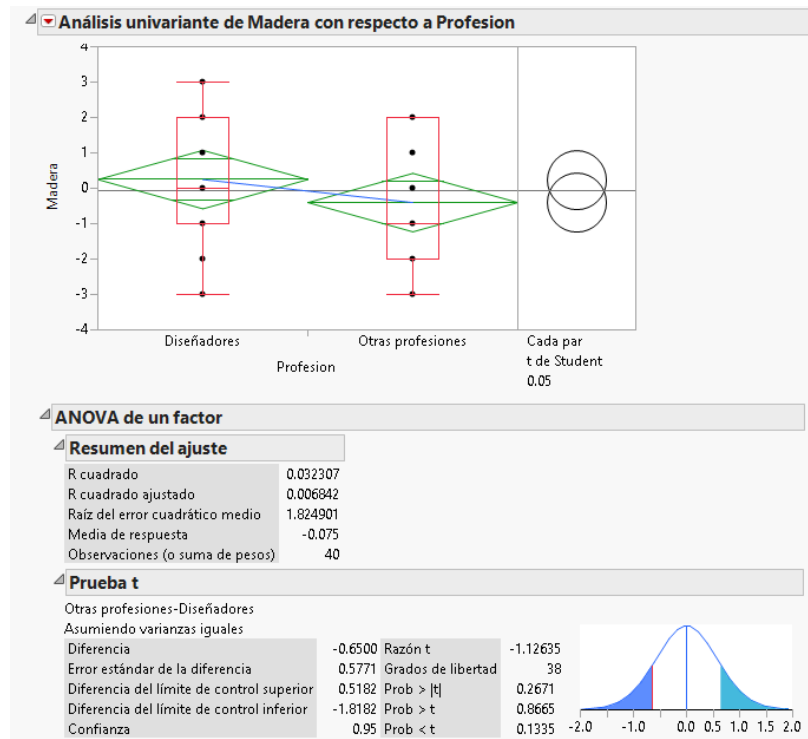


Gráfico 23. Prueba t para probeta A y la diferencia de percepción del concepto de Madera entre diseñadores y otras profesiones (Elaboración propia)

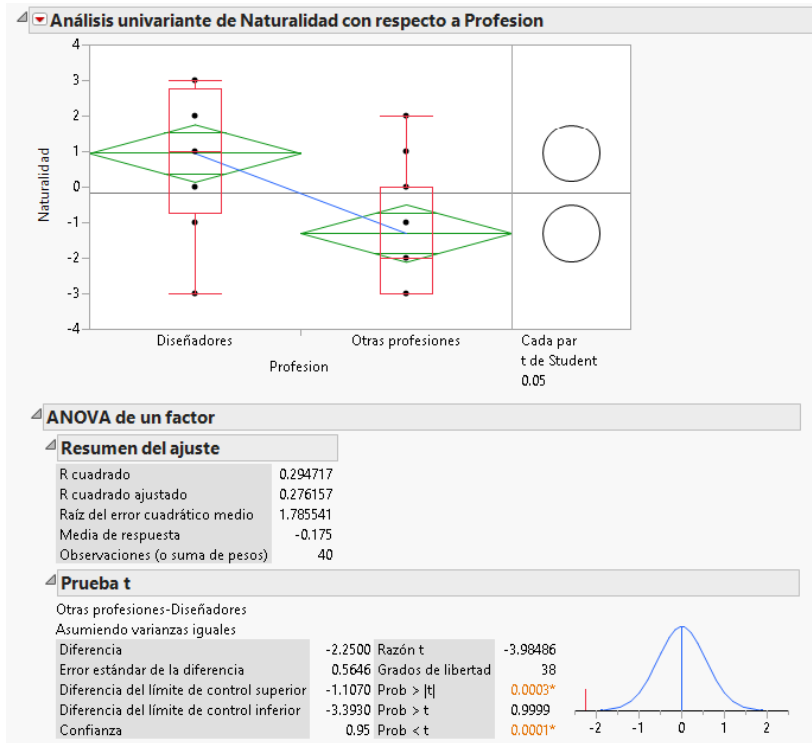


Gráfico 24. Prueba t para probeta A y la diferencia de percepción del concepto de Naturalidad entre diseñadores y otras profesiones (Elaboración propia)

Estadísticamente la diferencia de percepción de naturalidad entre ambos grupos es significativa con un índice de **0.0003** y probablemente sea una diferencia que se mantenga o aumente a medida que el universo de los encuestados sea mayor. La diferencia de percepción sobre el concepto de naturalidad en las probetas entre ambos grupos es relevante desde una perspectiva

general del diseño y es necesario realizar estudios similares para verificar si el fenómeno es particular en este estudio o podría repetirse en otros casos. En lo particular para este estudio en el escenario pesimista se considera el grupo encuestado de otras profesiones como el grupo más importante a analizar para obtener datos concluyentes y la verificación de la hipótesis.

	Madera	Natural
Probeta A	-0.4	-1.3
Probeta B	-0.4	-0.8
Probeta C	-0.1	-0.7
Probeta D	0.4	-0.3

Tabla 16. Comparativa de puntajes entre las probetas A-B-C-D para los conceptos de madera y naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

Según este grupo la probeta que obtiene el puntaje más alto es la probeta D en ambos conceptos madera y naturalidad, aunque la diferencia entre la probeta D y C es baja y la diferencia entre la probeta D y A es alta marcando un punto de diferencia en el promedio, estadísticamente las diferencias no son significativas lo que permite concluir que las variaciones en las probetas no generan grandes cambios en la percepción, aunque haya una preferencia marcada pero reducida por la probeta D.

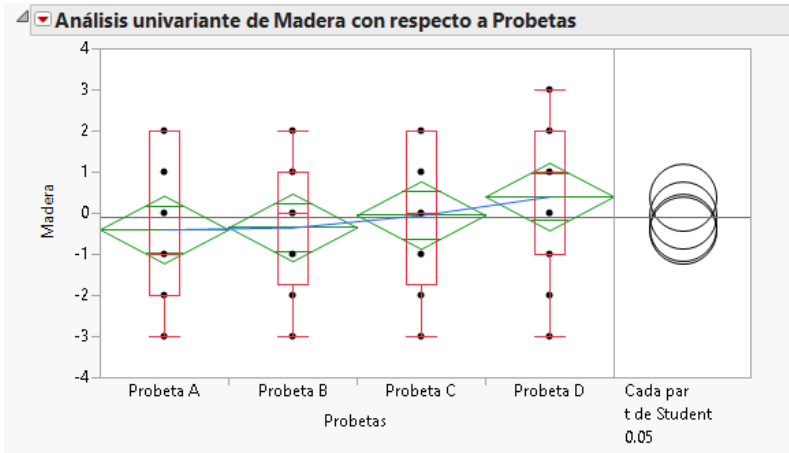


Gráfico 25. Prueba t comparación de medias entre probetas A-B-C-D para el concepto de madera según otras profesiones (Elaboración propia)

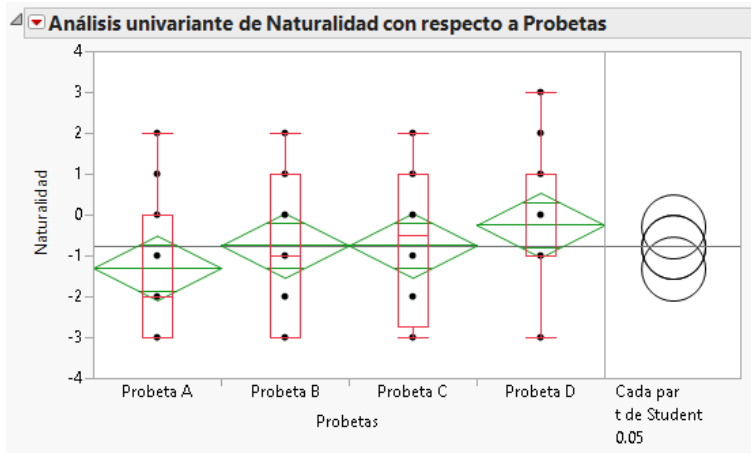


Gráfico 26. Prueba t comparación de medias entre probetas A-B-C-D para el concepto de madera según otras profesiones (Elaboración propia)

En este escenario pesimista analizando los resultados de los encuestados de otras profesiones se puede observar que la media de la probeta D con los puntajes más altos si bien está por sobre un puntaje 0 para el concepto de madera, la media para el concepto de naturalidad se encuentra por debajo de la línea 0.

	Madera	Natural
Probeta D	0.4	-0.3
Probeta E	0.9	0.3

Tabla 17. Comparativa de puntajes promedio entre las probetas D-E para los conceptos de madera y naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

Considerando a la probeta E como probeta de control se observa que en los puntajes promedios sobre el concepto de naturalidad la probeta D esta abajo por un punto. Por otra parte desde un escenario optimista considerando al grupo de diseñadores encuestados la evaluación deja a la probeta D por sobre la probeta E en el concepto de naturalidad.

	Madera	Natural
Probeta D	0.5	0.7
Probeta E	0.9	0.3

Tabla 18. Comparativa de puntajes promedio entre las probetas D-E para los conceptos de madera y naturalidad según diseñadores (Elaboración propia)

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO E HIPÓTESIS

Considerando a la probeta D como la que obtiene los puntajes más altos para los conceptos de madera y naturalidad se hace pertinente entonces la comparación de medias con la probeta E para la verificación de la hipótesis.

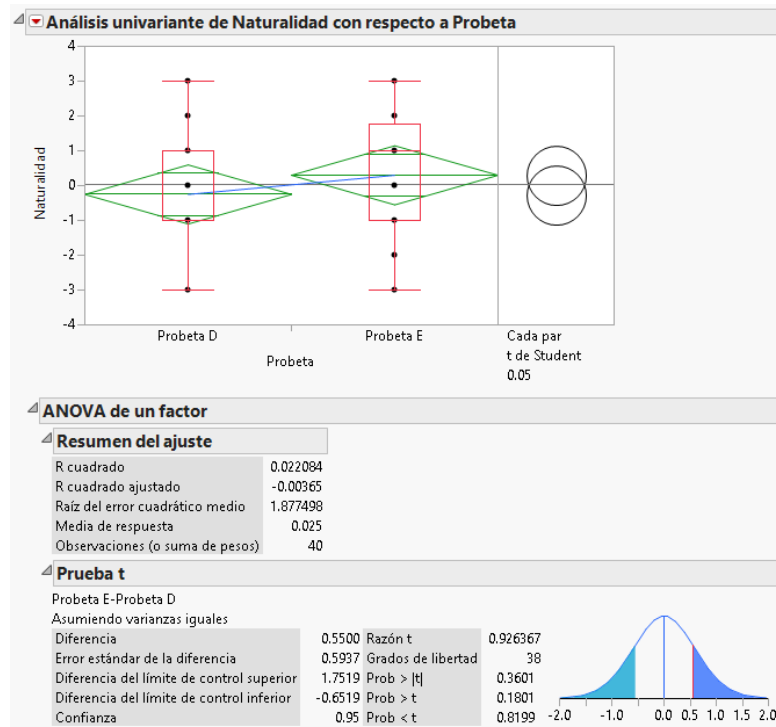


Gráfico 27. Prueba t comparación de medias entre probetas D-E para el concepto de naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

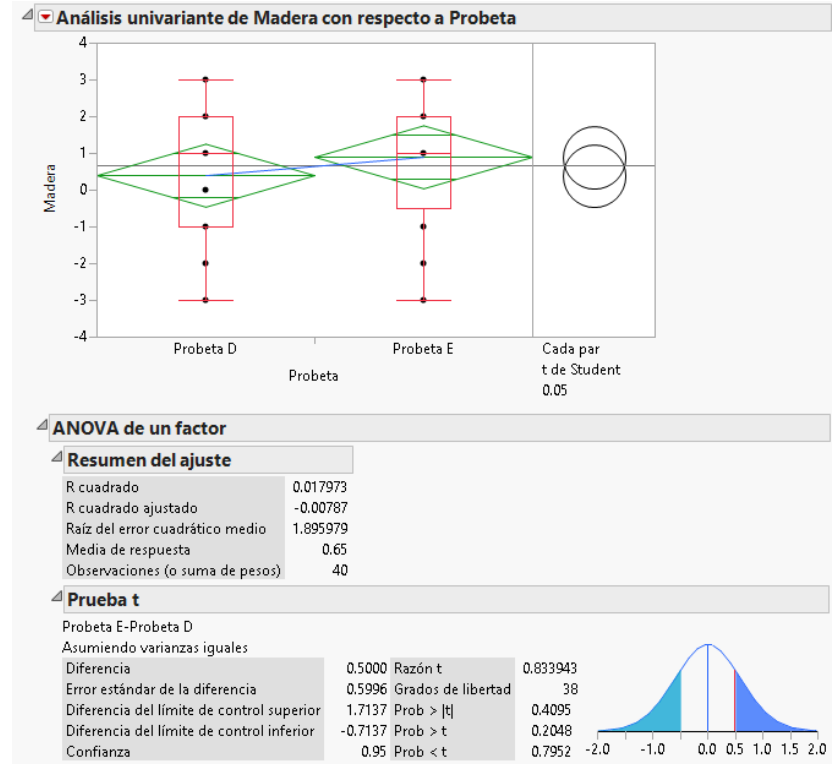


Gráfico 28. Prueba t comparación de medias entre probetas D-E para el concepto de madera según otras profesiones (Elaboración propia)

Según el análisis estadístico desde un escenario pesimista se puede observar que no hay una diferencia significativa entre las probetas D y E, con un valor de **0.3601** para naturalidad y **0.4095** para madera. Si bien observando los promedios se asume que no habría una diferencia significativa el análisis demuestra que además no hay una diferencia significativa negativa lo que

tampoco refuta la hipótesis. Por otro lado desde un enfoque optimista los resultados positivos para la probeta D por diseñadores, verifican en cierta medida la hipótesis sobre el concepto de naturalidad.

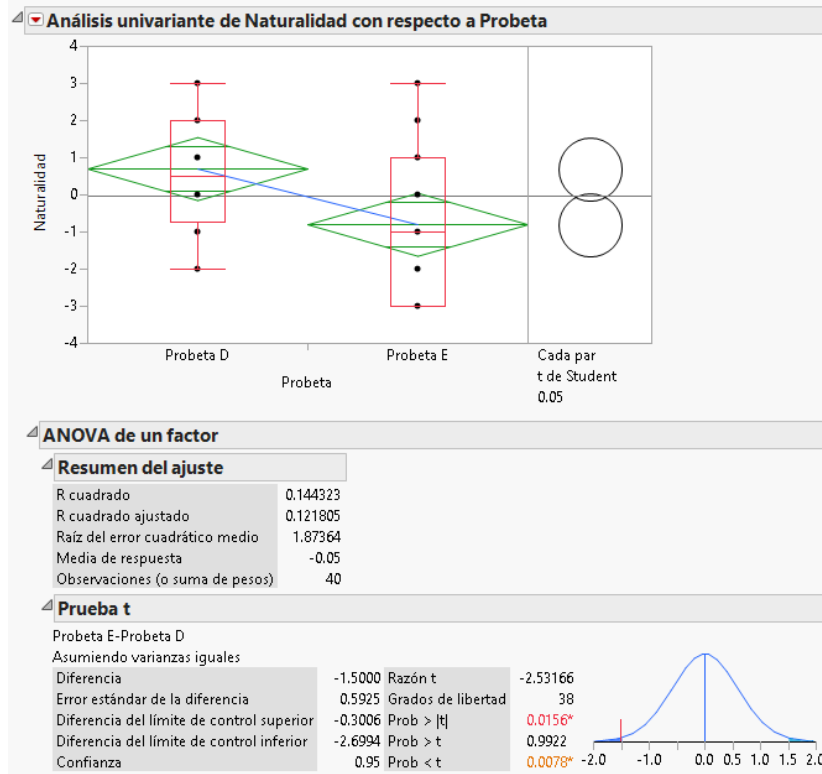


Gráfico 29. Prueba t comparación de medias entre probetas D-E para el concepto de naturalidad según diseñadores (Elaboración propia)

Según el análisis estadístico para el concepto de naturalidad hay una diferencia significativa entre las

probetas D y E, donde se demuestra que para el grupo de diseñadores la probeta D se percibe más natural. Si bien la diferencia es significativa con un factor t absoluto de **0.0156** la diferencia está en el límite de ser no significativa con un límite de **0.02** tal como se observa en el gráfico en la intersección de las circunferencias para cada par t de student.

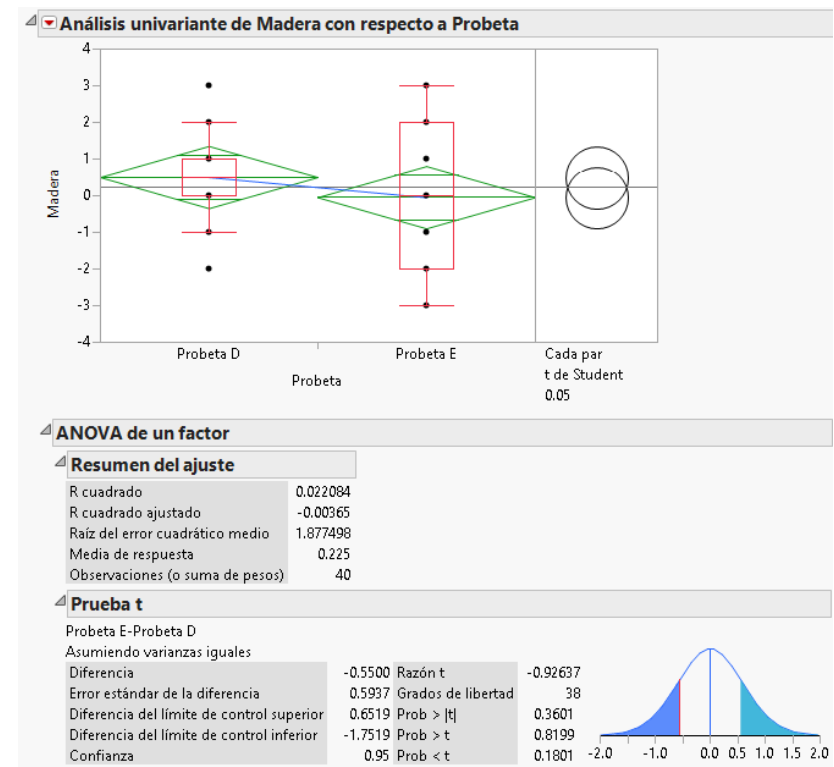


Gráfico 30. Prueba t comparación de medias entre probetas D-E para el concepto de madera según diseñadores (Elaboración propia)

Esta diferencia verificaría la hipótesis como correcta desde un escenario optimista en cuanto al aporte de naturalidad mediante la morfología y el acabado superficial se trata. Aun así para el concepto de madera el análisis demuestra que no existe una diferencia significativa entre las probetas D y E, aunque la probeta D logra puntajes más altos.

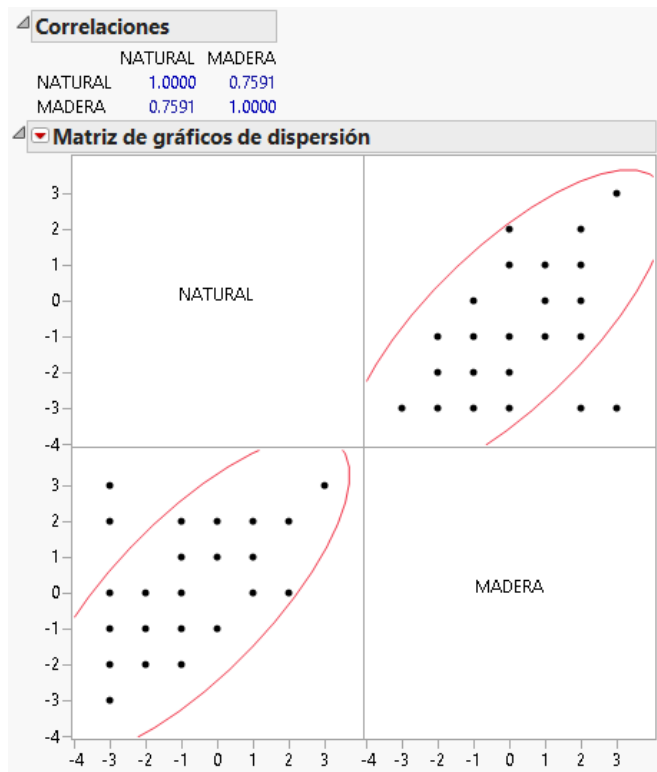


Gráfico 31. Correlación entre los conceptos de madera y naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

Tal como se comenta anteriormente una correlación entre los conceptos de naturalidad y madera contribuiría a concluir los resultados de mejor manera. Para el caso del grupo evaluado de otras profesiones la correlación entre ambos conceptos es significativa y positiva con un factor de correlación de **0.7591**, esto se traduce en que ambos conceptos están relacionados y dependiendo de la percepción que tengan los encuestados sobre uno de los conceptos el puntaje del otro irá en la misma relación, en lo particular esto significa además que la percepción de naturalidad para la probetas tiene que ver con una percepción de madera y no con otro elemento o material.

Para el grupo de diseñadores encuestados la correlación es más baja con un factor de correlación de **0.4681** lo que no define una correlación significativa para los conceptos de madera y naturalidad. Aun así la diferencia para llegar a un factor de **0.5** es baja y el gráfico de dispersión muestra una correlación de pendiente positiva por lo que no se descarta una relación entre ambos conceptos al igual que para la correlación según el grupo de otras profesiones.

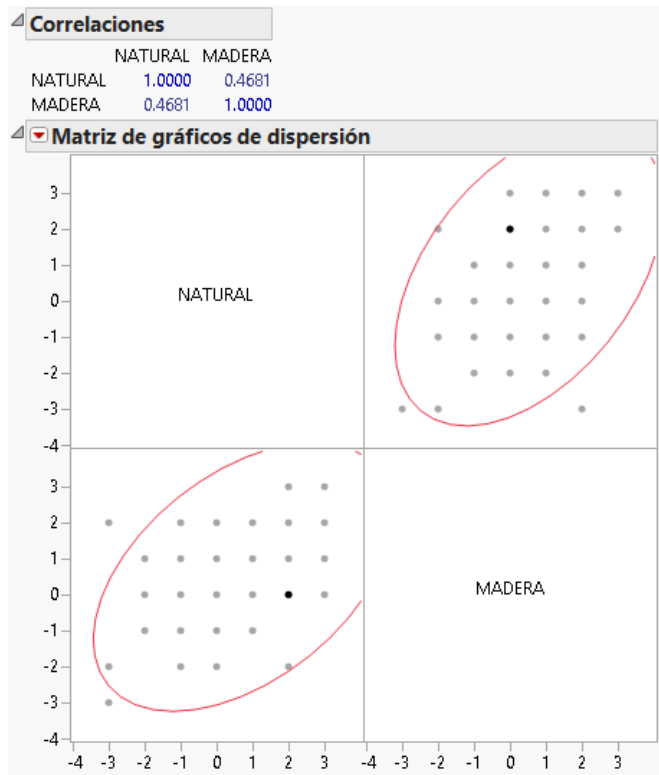


Gráfico 32. Correlación entre los conceptos de madera y naturalidad según diseñadores (Elaboración propia)

En conclusión según los datos obtenidos no se puede afirmar o verificar de manera cabal la hipótesis planteada según el escenario pesimista. De igual manera en el escenario optimista si bien existe una diferencia significativa que declara que las probetas propuestas con la morfología y el acabado superficial se reconocen como

naturales, la percepción de madera no logra los mismos resultados y se puede verificar además en la correlación entre naturalidad y madera.

Al estar analizando probabilidades más que hechos concretos se hace pertinente una segunda evaluación corrigiendo el error principal de la primera propuesta de probetas que fue en el ámbito del acabado superficial el barniz aplicado que produjo una percepción más plástica que de madera para los encuestados en ambos escenarios.

3. REDISEÑO E ITERACIÓN DE LAS PROBETAS



Figura 210. Probeta A.1

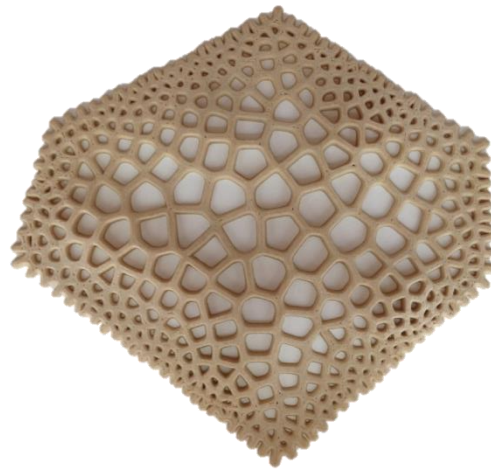


Figura 209. Probeta B.1



Figura 208. Probeta C.1

Para la segunda evaluación se propone integrar madera de pino en formato terciado como una segunda probeta de control, se mantiene la primera probeta E de control y se propone una nueva probeta de evaluación donde solo será aplicado un lijado como acabado superficial y se utilizarán los parámetros de la probeta C como la probeta a evaluar.

La inclusión de una probeta de control de madera en formato de terciado verificará la diferencia real entre la percepción de madera de las probetas impresas en 3D y la de madera natural. De esta forma se conocerá de forma concreta si hay una diferencia significativa entre lo que se percibe como madera para las probetas y la percepción real de madera.

La probeta E de control se mantiene para la segunda evaluación sin cambios para continuar la búsqueda de datos concluyentes que verifiquen la hipótesis planteada.

La inclusión de una iteración de las probetas anteriores utilizando los parámetros de la probeta C dejando de lado el barniz se justifica en la posibilidad real de terminación con el lijado. Uno de los problemas con la probeta D es la dificultad para aplicar lijado al intercalado o diagrama de inclusión de complejidad, debido a esto la posibilidad de mantener una superficie homogénea que no deje a la vista los efectos de la impresión lo permiten los parámetros de la probeta C. Estadísticamente la

diferencia en la evaluación entre las probetas C y D no son significativas por lo que no debería afectar en una segunda evaluación.

Así entonces para una iteración de las probetas con una específica adicional el nuevo conjunto de probetas A.2-B.2-C.2 quedaría compuesto por la probeta E, una iteración de las probetas A-B-C-D y la integración de una probeta de madera de pino como segunda probeta de control.

En esta segunda evaluación se espera una mejora en la media obtenida por la iteración de las probetas A-B-C-D y una diferencia significativa con la probeta E solo considerando el cambio del factor de acabado superficial y en específico el barniz. El proceso de lijado demostró ser un factor influyente en la percepción de naturalidad y madera desde el estudio anterior para las probetas de acabado superficial antes de proponer el estudio actual y si bien el barniz también fue un factor influyente en el estudio anterior al disponer de una superficie más homogénea el orden con el que se dispuso el barniz se supone influyó en una percepción de vetas que para la morfología de las actuales probetas no es posible.

El factor olor se asumió incrementaría la percepción de madera al traer a la memoria objetos hechos con madera y terminados con barniz, pero el efecto fue el contrario.

Este efecto negativo se explica además por el brillo producido por el barniz, factor que no determina un atributo reconocible para la madera, en este estudio no se consideró, aun cuando varios estudios lo consideran para la evaluación de productos derivados de la madera o que imitan a la madera (Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015; Høibø & Nyrud, 2010; Blomgren, 1965; Broman, 2000; Masuda, 1992).

La no inclusión de brillo como un factor determinante en la percepción de madera y naturalidad se considera como el error en la confección de las probetas y también en la medición del fracaso o éxito del estudio, para otros estudios debiera ser un factor relevante para poder explicar el rendimiento de las probetas en el reconocimiento de percepción de naturalidad y madera.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE UNA SEGUNDA EVALUACIÓN

Para una segunda evaluación dos aspectos relevantes surgen de la comparación entre las probetas A.2-B.2-C.2 que verifican las suposiciones echas en una primera evaluación. Es importante destacar que para el caso de esta evaluación se consideró el escenario pesimista como el grupo a encuestar de personas de otras profesiones y fue el mismo grupo anteriormente encuestado.

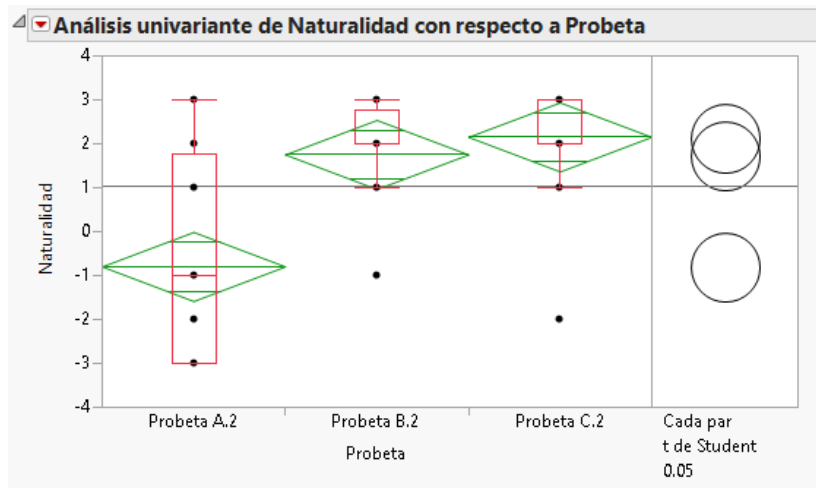


Gráfico 33. Prueba t comparación de medias entre probetas A.2-B.2-C.2 para el concepto de naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

El primer aspecto relevante y visible estadísticamente en los gráficos es la diferencia significativa de la probeta B.2 y la probeta A.2 en los conceptos de naturalidad y madera.

El segundo aspecto y quizás más relevante que el anterior, para las proyecciones de este estudio, es que no existe diferencia significativa entre las probetas B.2 y C.2 en el concepto de naturalidad, no así en el concepto de madera donde si hay una diferencia significativa aunque la probeta B.2 se mantiene por sobre la media general.

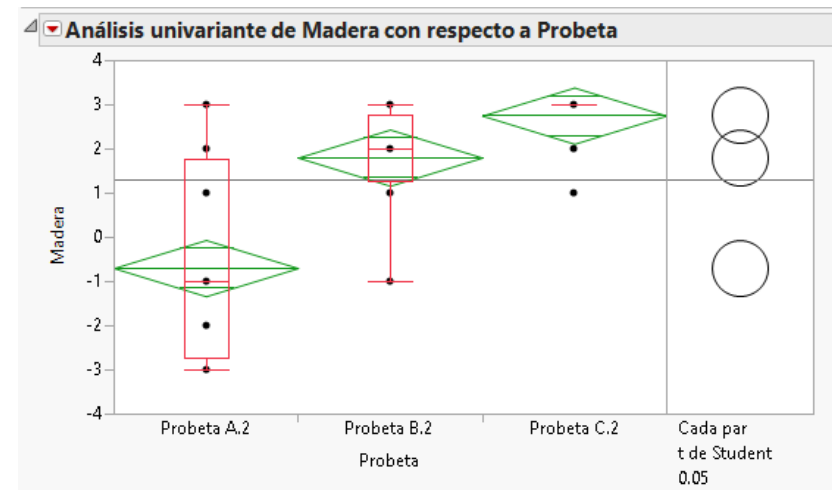


Gráfico 34. Prueba t comparación de medias entre probetas A.2-B.2-C.2 para el concepto de madera según otras profesiones (Elaboración propia)

La diferencia significativa para ambos conceptos entre las probetas A.2 y B.2 significa que para el escenario pesimista y el grupo encuestado de otras profesiones la probeta B.2 que tiene los mismos parámetros que la probeta C solo excluyendo el barniz se perciben los conceptos de naturalidad y madera con índices de significancia de **0.0001** para ambos conceptos.

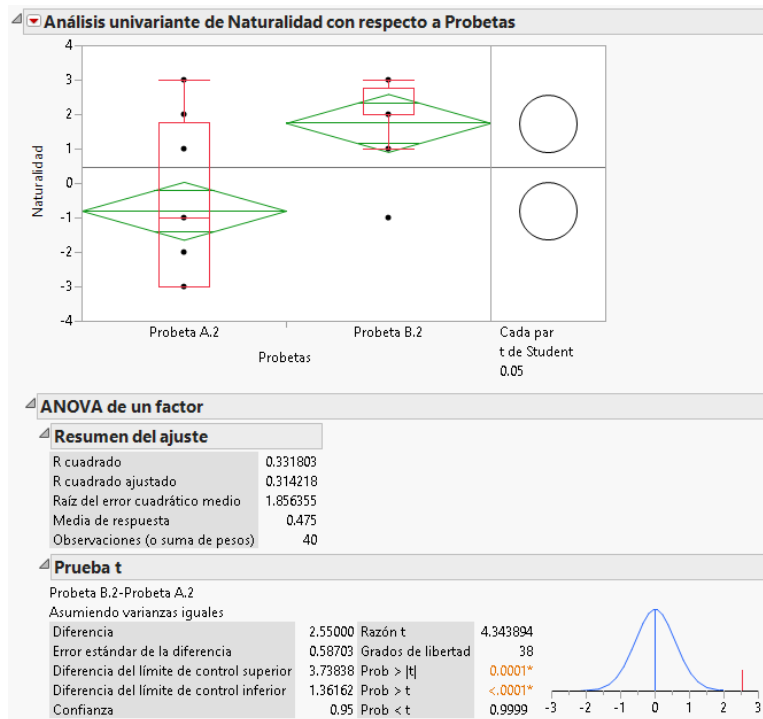


Gráfico 35. Prueba t comparación de medias entre probetas A.2-B.2 para el concepto de naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

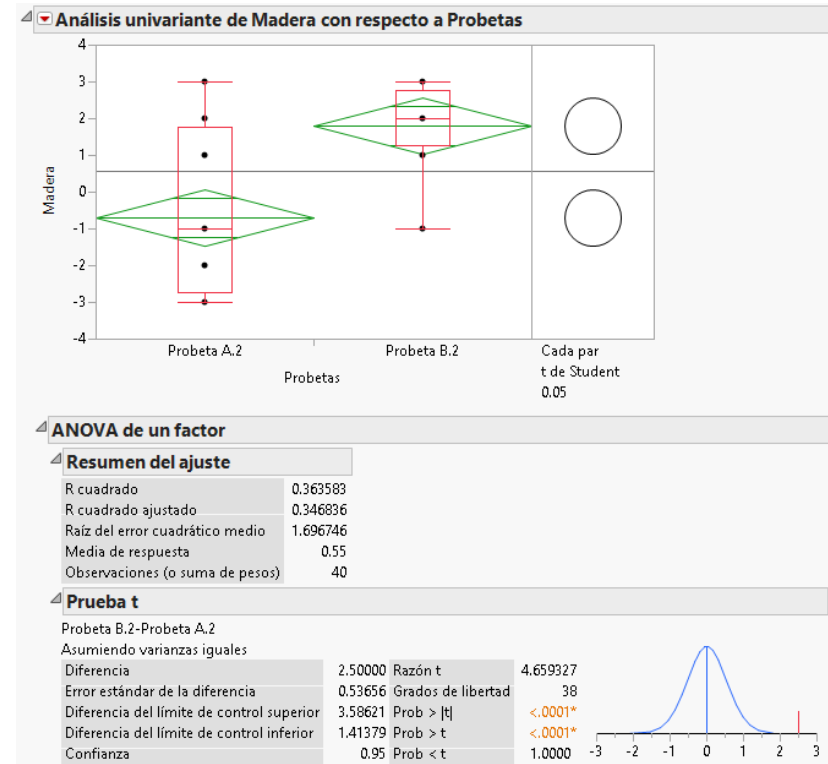


Gráfico 36. Prueba t comparación de medias entre probetas A.2-B.2 para el concepto de madera según otras profesiones (Elaboración propia)

Esto significa que estadísticamente existe una alta probabilidad de que a medida que aumente el universo de encuestados la probeta B.2 continuará obteniendo un rango de diferencia semejante, lo que en conclusión verificaría la hipótesis planteada, donde la aplicación de una morfología natural representativa y un acabado

superficial lograría la adquisición de naturalidad para la impresión 3D y específicamente para el filamento de madera y lo impreso. Además de manera adicional la comparación estadística entre las probetas B.2-C.2 demuestra que no hay una diferencia significativa para el concepto de naturalidad con un índice de **0.5612**.

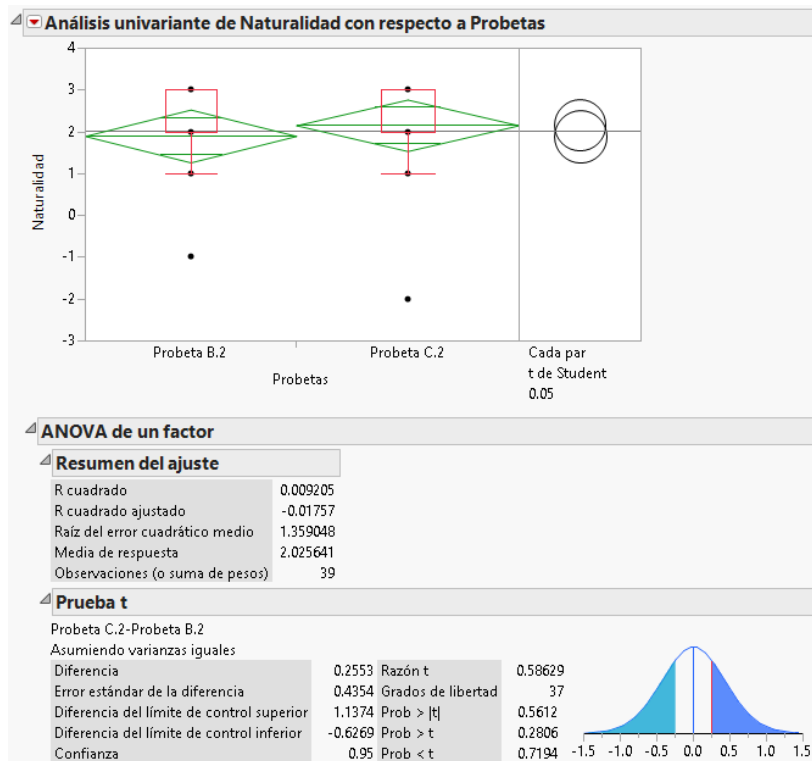


Gráfico 37. Prueba t comparación de medias entre probetas A.2-B.2 para el concepto de naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

Lo que significa que aunque la probeta B.2 este compuesta de un 30% de madera la inclusión de una morfología natural puede evocar una percepción de naturalidad semejante.

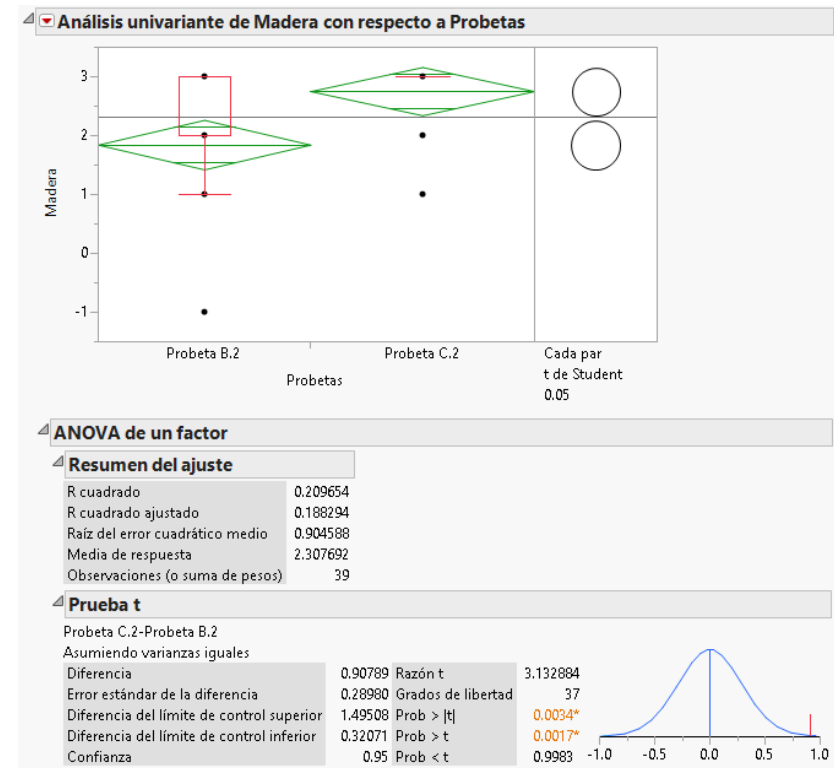


Gráfico 38. Prueba t comparación de medias entre probetas A.2-B.2 para el concepto de naturalidad según otras profesiones (Elaboración propia)

A diferencia del concepto de naturalidad, en el de madera si existe una diferencia significativa entre las probetas B.2-C.2 con un índice de **0.0034** lo que estadísticamente concluiría que aunque la diferencia de naturalidad no sea significativa, la percepción de madera es distinta por tanto la percepción de naturalidad también.

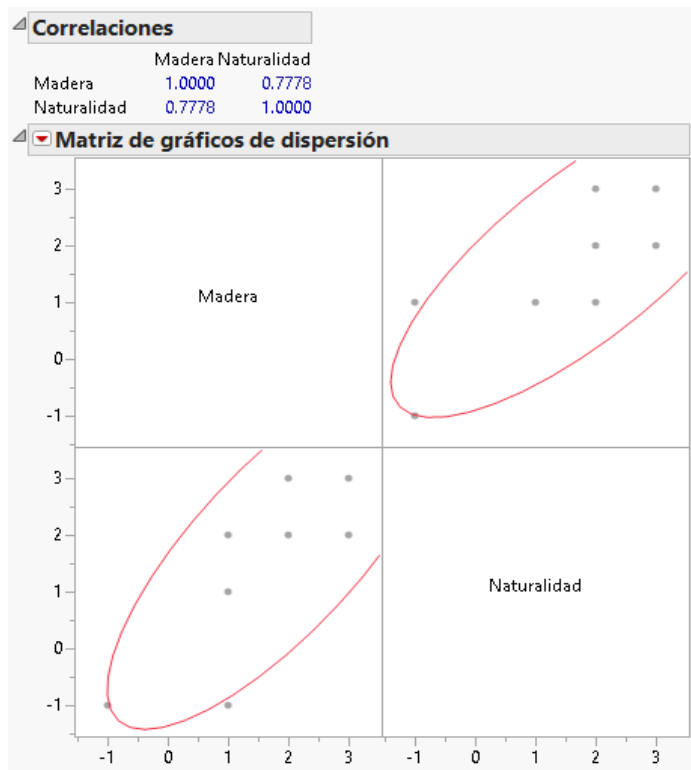


Gráfico 39. Correlación entre los conceptos de madera y naturalidad según otras profesiones para la probeta B.2 (Elaboración propia)

La diferencia se demuestra en los índices de correlación donde la probeta B.2 tiene un índice de correlación de **0.7778**, lo que se traduce en una correlación significativa pero más baja que para la probeta C.2 de un índice de correlación de **0.8555**.

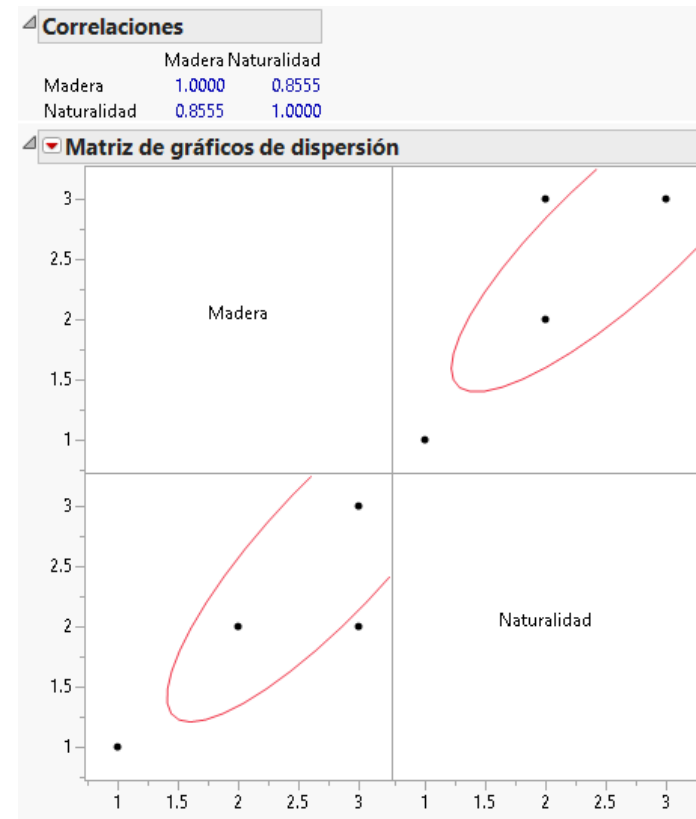


Gráfico 40. Correlación entre los conceptos de madera y naturalidad según otras profesiones para la probeta C.2 (Elaboración propia)

Capítulo 4 LA PROPUESTA CONCEPTUAL

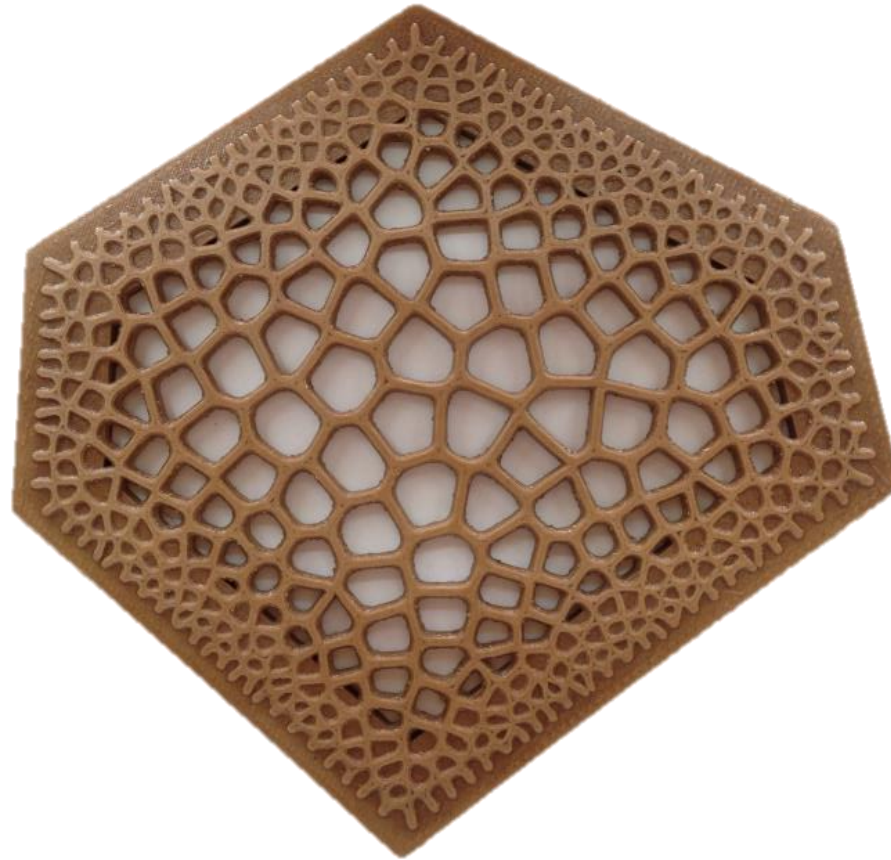


Figura 211. Unidad de pieza modular para formar una Membrana Modular Anisotrópica Adaptativa

1. JUSTIFICACIÓN

1.1 LA BÚSQUEDA DE NATURALIDAD Y EL BENEFICIO DE LA MADERA EN EL BIENESTAR

Por diversos estudios citados en esta investigación la búsqueda de productos sustitutos a la madera natural es parte importante de los objetivos de la industria (Bumgardner & Bowe, 2001; Fujisaki, Tokita, & Kariya, 2015; Høibø & Nyrud, 2010; Kaplan, Kaplan, & Wendt, 1972; Weinfurter & Eder, 2009; Overvliet & Soto-Faraco, 2011).

A medida que crece la demanda de los materiales naturales también lo hace la presión sobre los recursos naturales limitados (Goodman, 2012) los enfoques se han direccionado hacia la construcción de espacios ecológicos y en armonía con la naturaleza (Viñolas i Marlet, 2005) que mejoren el bien estar de las personas (Rice J., et al., 2006).

Nunca ha habido una mayor necesidad de mejores materiales que generen una percepción de naturalidad (Goodman, 2012).

Muchos materiales naturales tienen una belleza interior que es difícil de emular en productos sintéticos (Goodman, 2012) en la búsqueda de esa belleza se hace pertinente entonces la utilización de resultados obtenidos en metodologías como la biomímesis que se inspiran en la naturaleza (Benyus, 1997; López & Berges, 2012) sistemas que logren abstraer sus morfologías (Agkathidis, 2015; Kaplan C. S., 1999) y materiales biodegradables como el filamento de madera (Van Wijk & Van Wijk, 2015; ColorFabb, 2013; Tao, Wang, Li, Li, & Shi, 2017) y la manufactura aditiva para materializar las abstracciones logradas, donde habrían ventajas de variables infinitas y customización masiva (Kolarevic, 2003).

Un informe echo por en Holanda luego de un encuentro llamado “The Green Village” incluso justifica y verifica la viabilidad de utilizar manufactura aditiva FDM con filamentos de PLA o de madera para la construcción de casas (Van Wijk & Van Wijk, 2015).

Por último, en la búsqueda del bienestar el diseño para experiencias y la experiencia de los materiales (Ashby, 2013; Karana, et al., 2015; Karana, Pedgley, & Rognoli, 2014) justifica a la propuesta conceptual planteada como un producto relevante en estos terminos al ser optimizado para una percepción afectiva y emocional de madera natural o de naturalidad.

1.2 PRODUCCIÓN DE MADERA EN CHILE Y DE FILAMENTO DE MADERA

Con una proyección inminente de la fabricación de filamentos hechos en casa (Tao, Wang, Li, Li, & Shi, 2017) y la producción a niveles importantes del material principal para el desarrollo del filamento de madera (Cea, 2003). Se hace relevante entonces el proponer productos fabricables para personas que no puedan diseñar pero si fabricar mediante una impresora 3D sobre todo en el contexto chileno (Frugone, Oyarzún, & Vásquez, 2015).

1.3 REVESTIMIENTO DE MADERA Y SU POCA UTILIZACIÓN Y OPORTUNIDAD

Se propone la propuesta conceptual como revestimiento de madera considerando una oportunidad donde un estudio plantea que dentro de los tipos de muebles o decoraciones utilizadas en los hogares el revestimiento en madera ocupa el último puesto como el formato menos utilizado (Bigsby, Rai, & Ozanne, 2005). Varios estudios realizados en Japón o por japoneses además demuestran los efectos positivos que pueden producir paneles naturales o de fibra natural desde un punto de vista físico y psicológico (Sakuragawa, et al., 2005; Masuda, 2004; Masuda & Yamamoto, 1988)

La propuesta viene a proponer un producto que entre en este campo proponiéndolo como algo distinto e innovador, sobre todo en la capacidad de ser personalizado. Donde el objetivo último sería la oportunidad de disponer de un producto fabricable en el entorno deseado y enfocado a mejorar el bienestar de las personas que lo habitan.

2. PROCESO DEL DISEÑO CONCEPTUAL

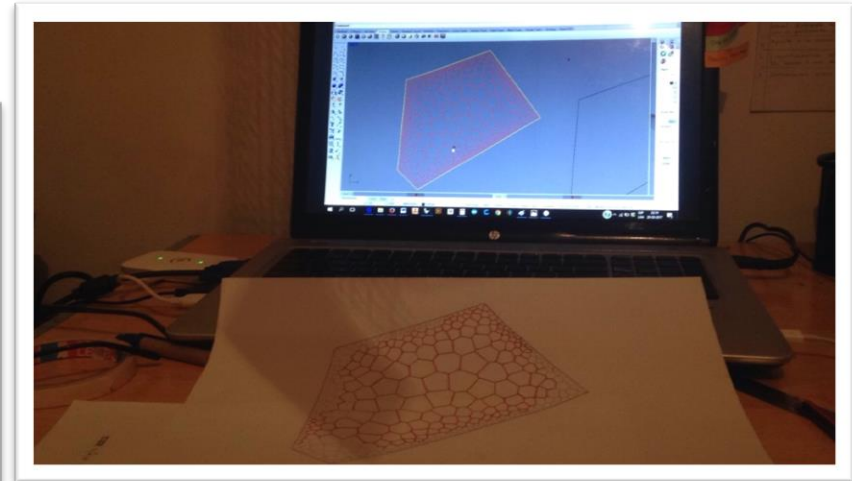
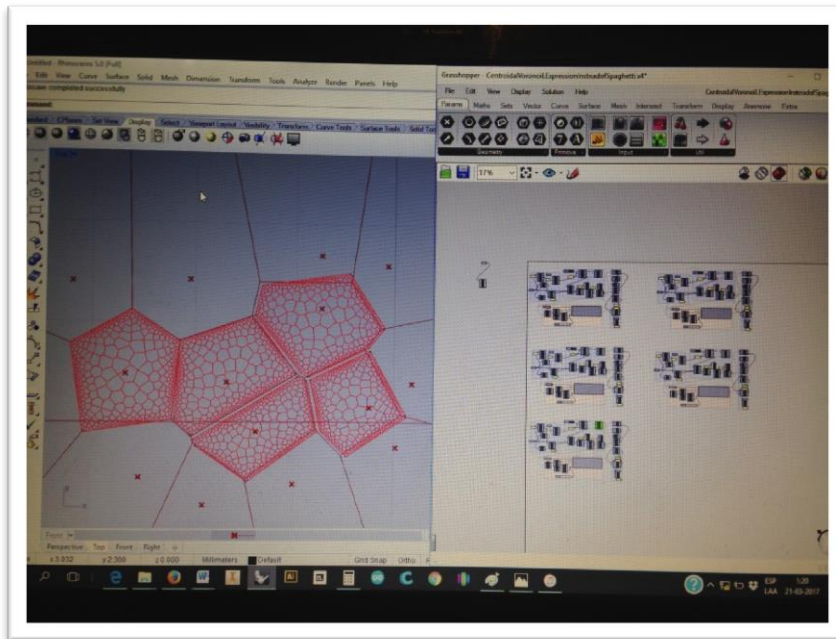
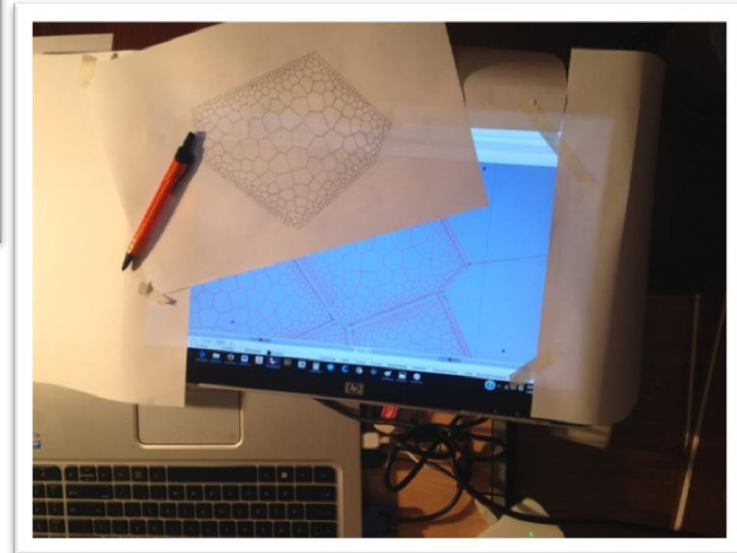


Figura 212. De la pantalla al papel (Elaboración propia)



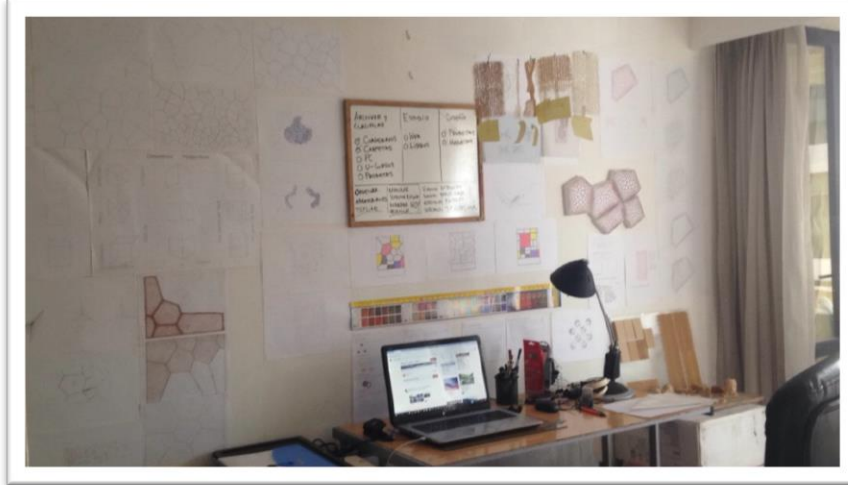
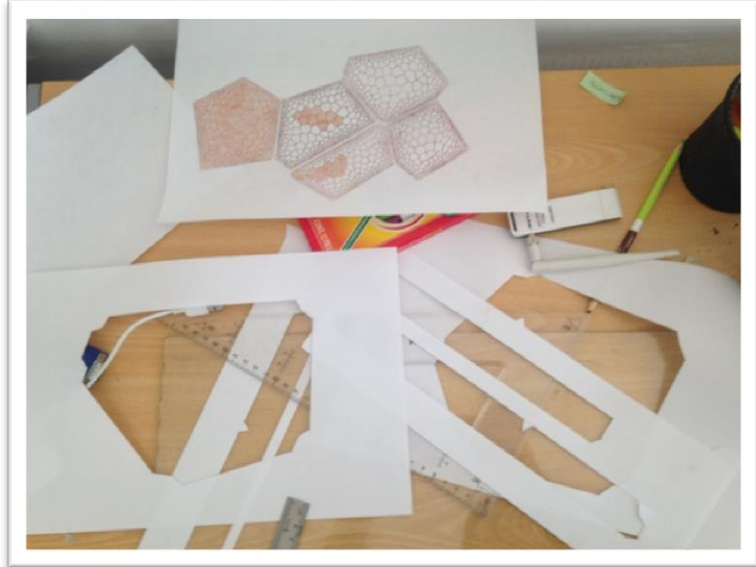
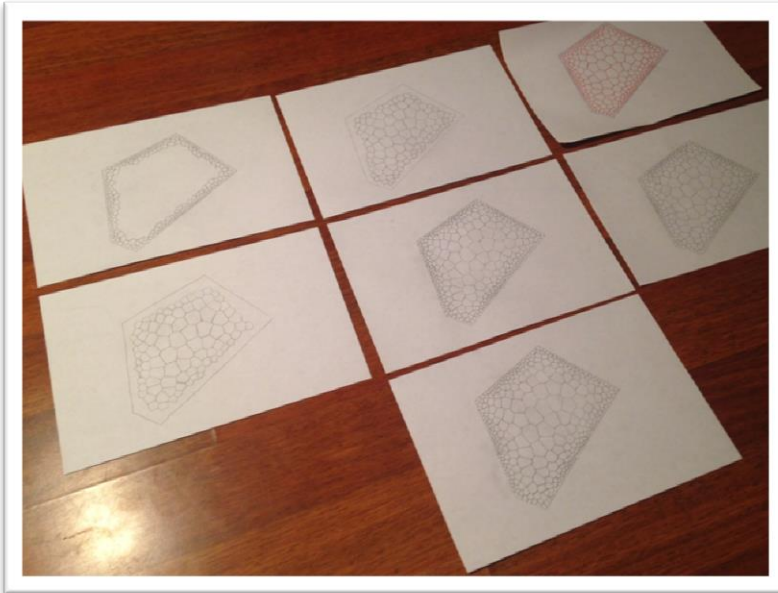


Figura 213. Prototipado rápido de organización de módulos (Elaboración propia)

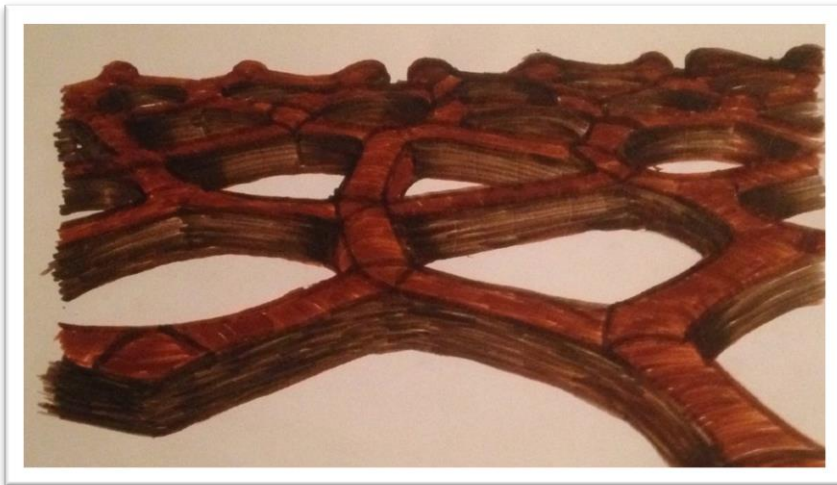


Ilustración 16. Representación ilustrada de un acercamiento a un diagrama después de aplicar el comando “tsPipe” (Elaboración propia)



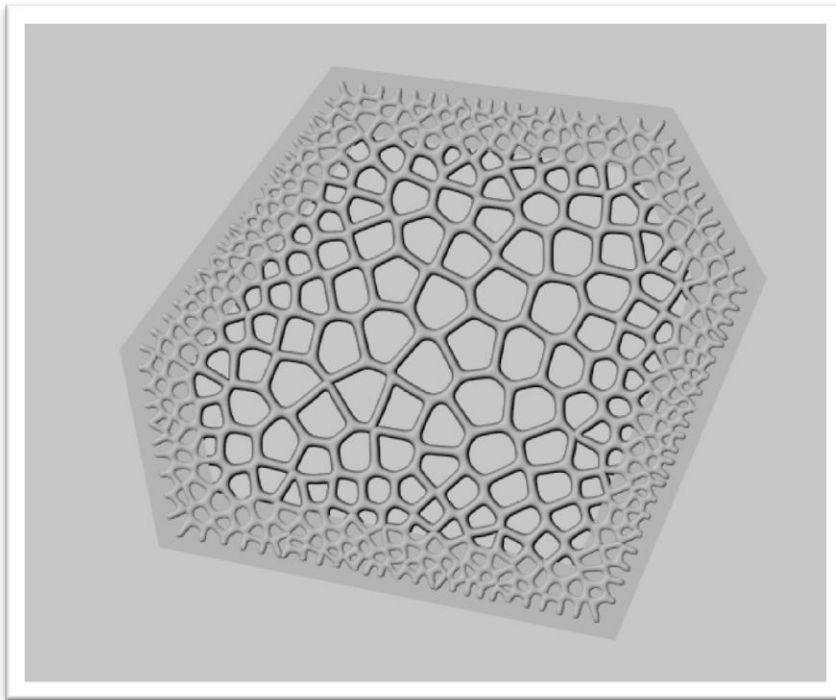


Figura 215. Visualización final de modelado (Elaboración propia)

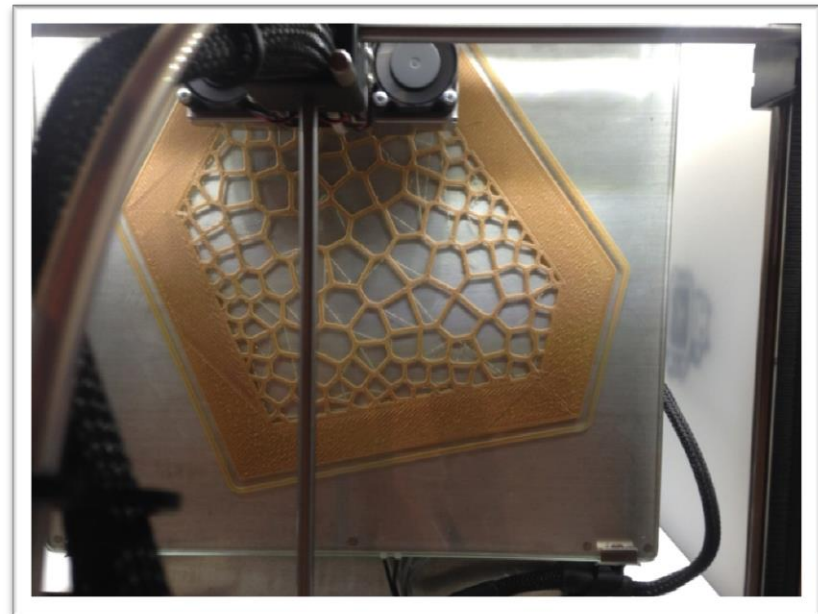


Figura 214. Proceso de impresión del módulo (Elaboración propia)

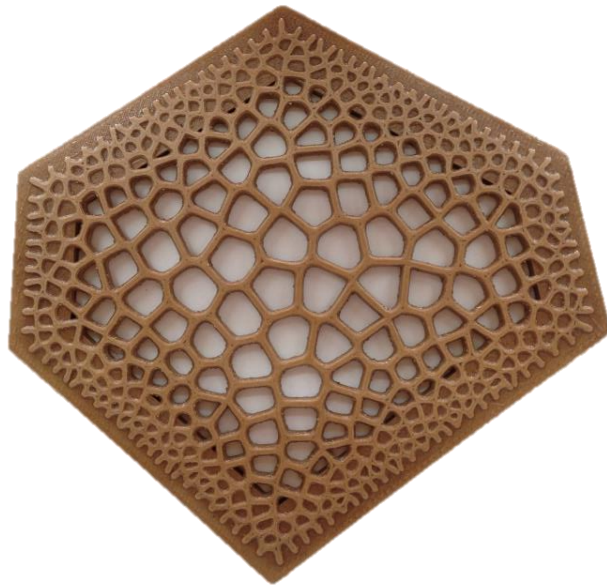


Figura 217. Propuesta original (Elaboración propia)

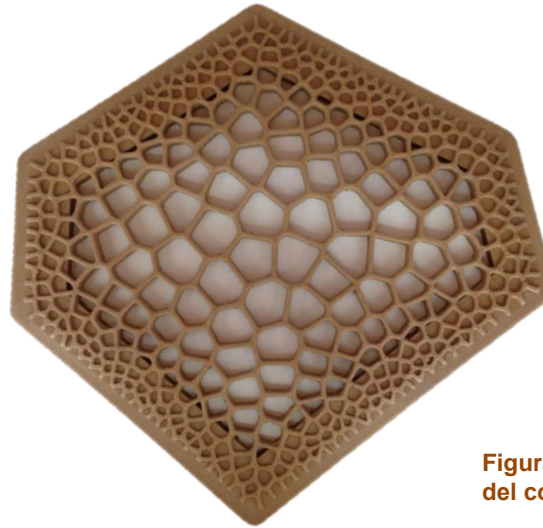


Figura 216. Iteración número 2, radio reducido del comando "tsPipe" (Elaboración propia)

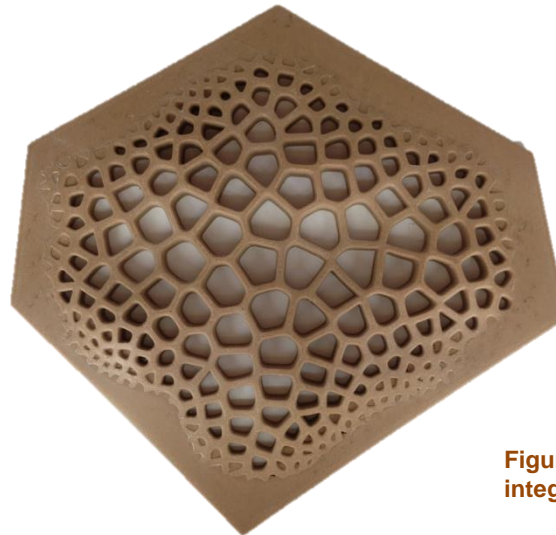


Figura 218. Iteración número 3, curvado, integración y fusión (Elaboración propia)

3. EVALUACIONES

3.1 ANÁLISIS PREMO

INTENSIDADES PROBETA F

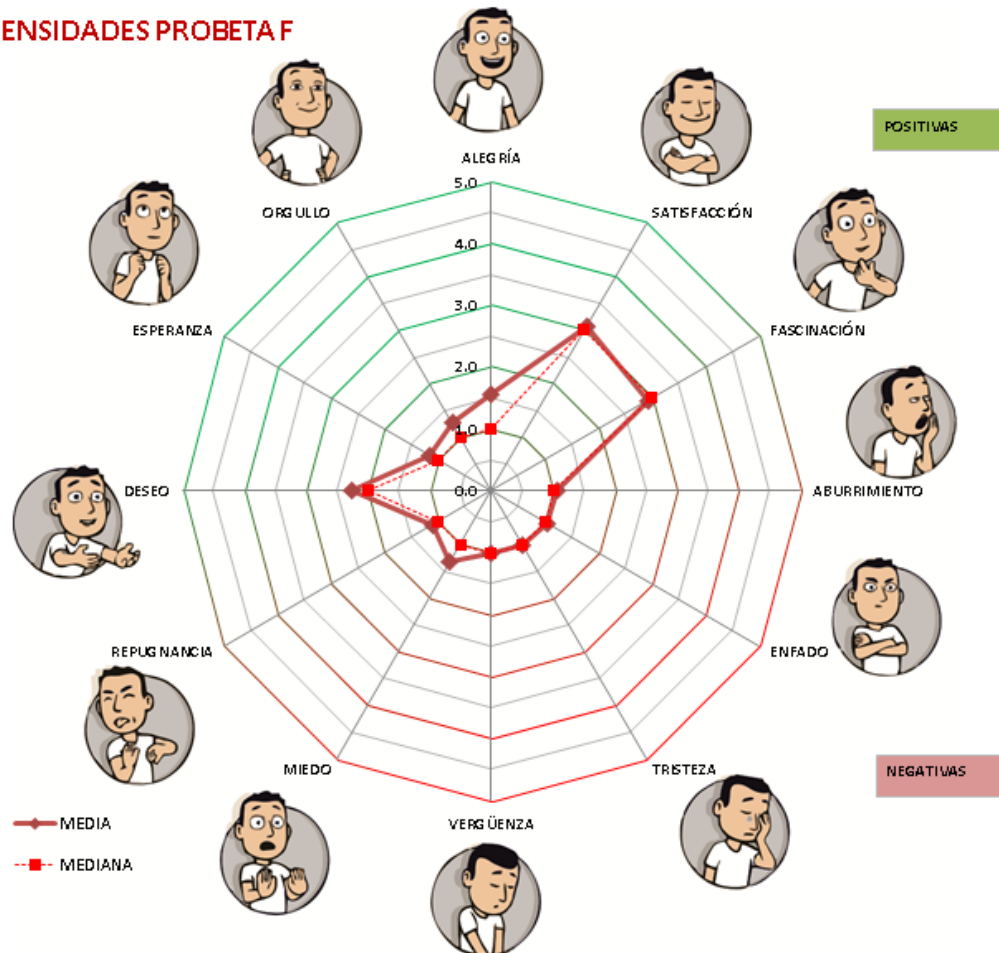
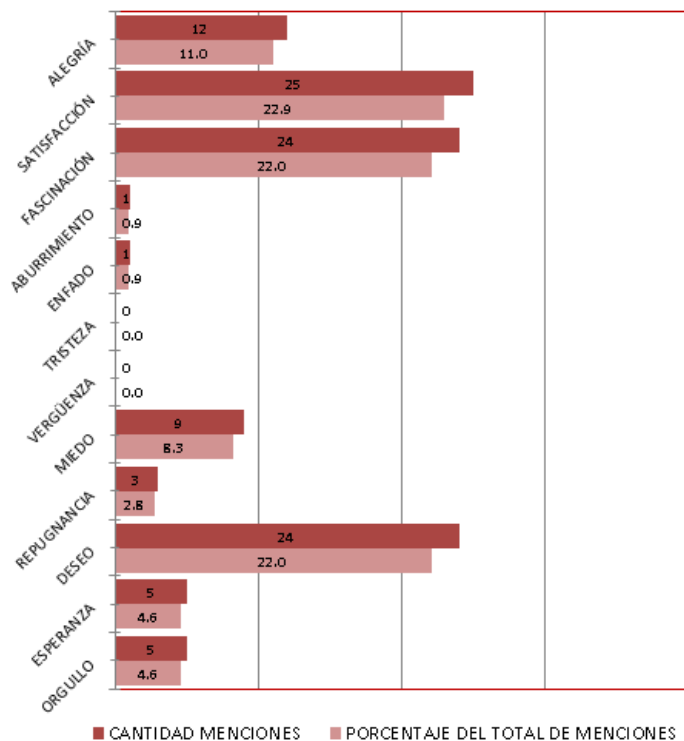


Gráfico 41. Análisis PREMO intensidad de las emociones percibidas por grupo de jóvenes entre 18 y 29 años de otras profesiones para la propuesta conceptual (Probeta F) (Elaboración propia)

FRECUENCIAS PROBETA F



BALANCE POSITIVAS/NEGATIVAS

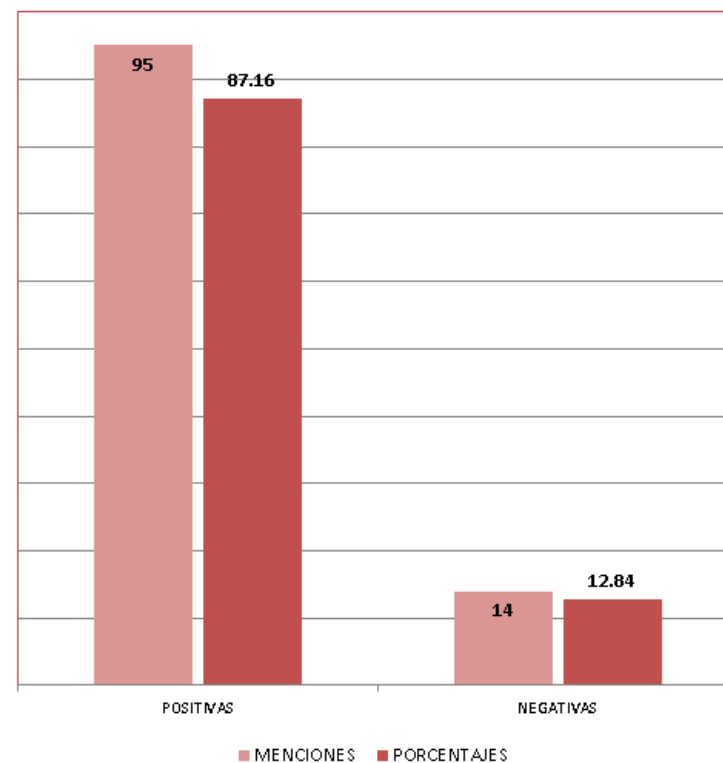


Gráfico 42. Análisis PREMO frecuencia y balance de las emociones percibidas por grupo de jóvenes entre 18 y 29 años de otras profesiones para la propuesta conceptual (Probeta F) (Elaboración propia)

4. EXPLORACIÓN ADICIONAL FORMAL Y DE USO

4.1 PROPUESTAS DE LOS ENCUESTADOS

1. Adorno para mesa
2. Bandeja
3. Baranda
4. Base para pasto
5. Biombo
6. Caja
7. Caja de almacenamiento
8. Canasta
9. Carcaza celular
10. Carcaza PC
11. Casa
12. Casco
13. Celosías
14. Colador
15. Cubiertas
16. Cubre botella
17. Decoración
18. Esculturas
19. Estructura de ventilación
20. Estructuras
21. Filtro
22. Florero
23. Fondo de vitrina para tiendas
24. Frutero
25. Guía para la obscuridad
26. Jardinera
27. Jaula para animales
28. Luminaria
29. Macetero
30. Marco de cuadros
31. Marco lentes
32. Mosaicos
33. Muebles
34. Muebles de living
35. Mural
36. Objeto anti estrés
37. Objeto interactivo para ciegos
38. Packaging secundario
39. Paneles de abeja artificial
40. Para bares
41. Para muebles de terraza
42. Para piso
43. Piso de terapia
44. Platos
45. Porta objetos calientes
46. Posa Vasos
47. Prótesis
48. Puzzles
49. Recubrimiento general
50. Reloj

- 51. Repisa
- 52. Resgarde térmico de superficies
- 53. Respaldo de cama
- 54. Respaldo para sillas
- 55. Revestimiento de pared
- 56. Revestimiento interior de edificios
- 57. Rodilleras
- 58. Simulación de tejidos
- 59. Sistema de membranas
- 60. Vestuario

PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA

1. Las traqueidas estructura y transporte: funcionalidad como principio para una solución de diseño.
2. Voronoi y algoritmo de Lloyd la amplitud de morfologías y soluciones de diseño mediante sistemas generativos.
3. Elaboración de filamento en Chile con partículas de madera de eucalipto para desarrollo de productos mediante manufactura aditiva.
4. Elaboración de representaciones microscópicas de la estructura de distintas maderas blandas mediante manufactura aditiva.
5. Exploración formal y de uso para el principio de membrana modular anisotrópica adaptativa.
6. Manufactura aditiva FDM con filamentos de distintos materiales (cobre, metal, bronce, entre otros) como recurso para el diseño y fabricación de productos - Propuesta para la optimización de la percepción afectiva y emocionar de objetos impresos a través de la forma y procesos de acabado superficial.
7. Manufactura aditiva FDM con filamentos de madera de distintas marcas como recurso para el

diseño y fabricación de productos - Propuesta para la optimización de la percepción afectiva y emocionar de objetos impresos a través de la forma y procesos de acabado superficial y la comparación de resultados entre marcas

BIBLIOGRAFÍA

- 3D Hubs. (2015). *Talk*. Recuperado el 03 de Julio de 2017, de Reducing Polygon Count Tips and Tricks: <https://www.3dhubs.com/talk/thread/reducing-polygon-count-tips-and-tricks>
- 3DTectonix. (26 de 12 de 2014). *3DTectonix*. Recuperado el 28 de 08 de 2017, de Using A Python Script To Program The Wood Texture: <http://www.3dtectonix.com/Using%20A%20Python%20Script%20To%20Program%20The%20Wood%20Texture>
- Agkathidis, A. (2015). Generative Design Methods: Implementing Computational Techniques in Undergraduate Architectural. En U. o. Liverpool, *CAAD Education - Concepts - Volume 2* (págs. 47-55). Liverpool.
- Ashby, M. (2013). Foreword: Materials Experience - Fundamentals of Materials and Design. En E. Karana, O. Pedgley, & V. Rognoli, *Materials Experience - Fundamentals of Material and Design* (págs. 17-22). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Aunger, R. (2000). Darwinizing Culture : The Status of Memetics as a Science. Oxford, Nueva York: Oxford University Press.
- Aurenhammer, F. (1991). Voronoi Diagrams - A Survey of a Fundamental Geometric data Structure. *ACM Comput. Surv.*, 23(3), 345-405.
- Baas, P. (1994). Wood structure and quality research - recipes for conservation or overutilization? *Strategies for Flora Conservation in Asia. The Kebun Raya Bogor Conference Proceedings* (Eds. Suhirnan, G. Butler, Fuaddini, 1. Pfeiffer, M. Richardson, Shendar). (págs. 142-149). Bogor: The Kebun Raya Bogor.
- Baker, P., Elliott, E., & Banta, J. (1998). Prescriptions for a healthy house. A practical guide for architects, builders, and homeowners. Santa Fe, NM.
- Balzer, M., Schlömer, T., & Deussen, O. (2009). Capacity-Constrained Point Distributions: A Variant of Lloyd's Method. *ACM Transactions on Graphics, Vol. 28, No. 3, Article 86*.
- Bar-Cohen, Y. (2006). Biomimetics: Reality, Challenges, and Outlook. *Biomimetics, biologically inspired technologies*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Baumgartner, E., Wiebel, C. B., & Gegenfurtner, K. R. (2013). Visual and haptic representations of material properties. *Multisensory Research* 26(5), 429-455.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: Perennial.
- Betts, B. (2010). Bringing the factory home [personal fabrication technology]. *Engineering & Technology* 5(8).
- Beutel, A. (2016). *Alex Beutel*. Recuperado el 28 de 08 de 2017, de Voronoi: <http://alexbeutel.com/webgl/voronoi.html>
- Bigsby, H., Rai, C., & Ozanne, L. (2005). Determining consumer preference for furniture timber. *J For Prod Bus Res* 2(2).
- Blomgren, G. (1965). The psychological image of wood. *Forest Prod. J.* 15(4), 149-151.
- Briceño, A. (17 de Agosto de 2015). Impresión 3D en arena, Consideraciones del entorno y productos finales mediante manufactura aditiva. (M. Frugone, C. Vásquez, & V. Oyarzún, Entrevistadores)
- Broman, N. O. (2000). *Means to Measure the Aesthetic Properties of Wood. Ph.D. thesis*. Skellefta, Sweden: University of Luleo.

- Broman, N. O. (2000). *Means to Measure the Aesthetic Properties of Wood. Ph.D. thesis*. Skellefta, Sweden: University of Luleå.
- Brooks, H., & Molony, S. (2016). Design and evaluation of additively manufactured parts with three dimensional continuous fibre reinforcement. *Materials & Design Volume 90*, 276-283.
- Building Science Basics. (2001). *Healthy house Rx*. Recuperado el Lunes de Mayo de 2017, de <http://www.HealthHouse.org>
- Bumgardner, M., & Bowe, S. (2001). Species selection in secondary wood products: Implications for product design and promotion. *Wood and Fiber Science*.
- Bumgardner, M., & Bowe, S. (2001). Species selection in secondary wood products: Implications for product design and promotion. *Wood and Fiber Science*.
- Burton, T. (Julio de 2015). *Nuffield Concil on Bioethics*. Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de <http://nuffieldbioethics.org/wp-content/uploads/Public-perceptions-of-naturalness-web.pdf>
- Cambridge University Press. (2017). *Cambridge Dictionary*. Recuperado el 3 de Junio de 2017, de <http://dictionary.cambridge.org/es/>
- Canada Mortgage and Housing Council. (2001). *Canadian Housing Technology*. Recuperado el Lunes de Mayo de 2017, de http://www.cmhc-schl.gc.ca/hoex_001.cfm
- Cea, H. R. (2003). *Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- Cohen, D. L. (2014). Fostering Mainstream Adoption of Industrial 3D Printing. Understanding the Benefits and Promoting Organizational Readiness. *3D Printing and Additive Manufacturing 1 (2)*, 62-69.
- Colburn, H. N. (1968). Health and Housing. *Canadian Welfare Council*.
- ColorFabb. (29 de Noviembre de 2013). *Colorfabb*. Recuperado el 22 de Junio de 2017, de <http://learn.colorfabb.com/how-to-print-with-woodfill/>
- Correa, D., Papadopoulou, A., Guberan, C., Jhaveri, N., Reichert, S., Menges, A., y otros. (2015). 3D-Printed Wood. Programming Hygroscopic Material Transformations. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 106-116.
- Crump, S. S. (1992). *Patente nº US 5121329 A. USA*.
- Cunningham, D., Wallraven, C., Fleming, R., & Strasser, W. (2007). Perceptual reparameterization of material properties. In *Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging* (pp. 89-96). Banff, Alberta, Canada: The Eurographics Association.
- Cunningham, D., Wallraven, C., Fleming, R., & Strasser, W. (2007). Perceptual reparameterization of material properties. En *Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging* (págs. 89-96). Banff, Alberta, Canada: The Eurographics Association.
- de Berg, M., Cheong, O., van Kreveld, M., & Overmars, M. (2008). *Computational Geometry - Algorithms and Applications. Springer-Verlag*.
- Desmet, P., Hekkert, P., & Schifferstein, R. (2011). Introduction. En P. D. (Eds.), *From floating wheelchairs to mobile car parks: A collection of 35 experience-driven design projects* (págs. 4-12). Den Haag, Holanda: Eleven.
- Emdanat, S., Stiny, G., & Vakaló, E. (1999). Generative Systems in Design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing 13 (4)*, 239-240.

- Evin, E., & Siekierski, E. (2002). Sensory evaluation of heating and air conditioning systems. *Energy Build* 34, 647–651.
- Faruk, O., Bledzki, A., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers. *Prog.Polym.Sci* 37, 1552-1596.
- Fell, D. (2002). *Consumer Visual Evaluation of Canadian Wood Species*. Vancouver, Canada: Forintek Canada Corp. .
- Fell, D. (2002). *Consumer Visual Evaluation of Canadian Wood Species*. Vancouver, Canada: Forintek Canada Corp.
- Ferrara, M., & Lecce, C. (2016). The Design-driven Material Innovation Methodology. *Systems & Design: Beyond Processes and Thinking* (págs. 431-448). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Feuerstein, G. (2002). *Biomorphic architecture: Menschen- und tiergestalten in der architektur [Formas humanas y animales en la arquitectura]*. Stuttgart: Menges.
- Flores, M. L. (2007). NET.LAB: ¿Algoritmo versus arquitectura? Diagrama de Voronoi como herramienta de diseño. *Revista de Arquitectura Vol. 13, No.16*, 46-53.
- Forestry and Forest Products Research Institute. (1989). *Wood DataBase*. Recuperado el 9 de Mayo de 2017, de <http://f030091.ffpri.affrc.go.jp/index-E.html>
- Frugone, M. (2016). IBM, Impresión 3D y filamento de madera, Rol y Relevancia, evaluación sensorial para su consideración en productos finales. *No Publicado*.
- Frugone, M., Oyarzún, V., & Vásquez, C. (2015). Bases teóricas de la relación personas, tecnología y contexto para la impresión 3D. *No Publicado*.
- Fujisaki, W., Goda, N., Motoyoshi, I., Komatsu, H., & Nishida, S. (2014). Audiovisual integration in the human perception of materials. *Journal of Vision*, 14(4), 1-20.
- Fujisaki, W., Goda, N., Motoyoshi, I., Komatsu, H., & Nishida, S. (2014). Audiovisual integration in the human perception of materials. *Journal of Vision*, 14(4), 1-20.
- Fujisaki, W., Tokita, M., & Kariya, K. (2015). Perception of the material properties of wood based on vision, audition and touch. *Vision Research* 109, 185-200.
- Fujisaki, W., Tokita, M., & Kariya, K. (2015). Perception of the material properties of wood based on vision, audition and touch. *Vision Research* 109, 185-200.
- Fujisawa, N., Iwamiya, S., & Takada, M. (2004). Auditory imagery associated with Japanese onomatopoeic representation. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 23(6), 351-355.
- Fujisawa, N., Iwamiya, S., & Takada, M. (2004). Auditory imagery associated with Japanese onomatopoeic representation. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 23(6), 351-355.
- Gabrielsson, A., & Sjogren, H. (1979). Perceived sound quality of sound-reproducing systems. *Journal of the Acoustical Society of America*, 65(4), 1019-1033.
- Gartner, Inc. (21 de Julio de 2014). *Hype Cycle for 3D Printing, 2014*. Recuperado el 11 de Junio de 2017, de <https://www.gartner.com/doc/2803426/hype-cycle-d-printing->
- Gartner, Inc. (27 de Julio de 2015). *Hype Cycle for 3D Printing, 2015*. Recuperado el 5 de Junio de 2017, de <https://www.gartner.com/doc/3100228/hype-cycle-d-printing->

- Gartner, Inc. (19 de Julio de 2016). *Hype Cycle for 3D Printing, 2016*. Recuperado el 5 de Junio de 2017, de <https://www.gartner.com/doc/3383717/hype-cycle-d-printing->
- Gartner, Inc. (19 de Julio de 2016). *Hype Cycle for Emerging Technologies, 2016*. Recuperado el 5 de Junio de 2017, de <https://www.gartner.com/doc/3383817/hype-cycle-emerging-technologies->
- Gatica, N. (2010). *Características generales , organolépticas, macroscópicas y estructura microscópica de la madera de coníferas y latifoliadas*. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de ciencias forestales.
- Gester, M. (2007). Biomimetics: strategies for product design inspired by nature – a mission to the Netherlands and Germany. *Background to biomimetics* (pág. Capítulo 7). DTI Global Watch Mission Report.
- Giaccardi, E., & Karana, E. (2015). Foundations of materials experience: An approach for HCI. *Proceedings of the 33rd SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (págs. 2447-2456). New York, NY: ACM.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Greenwood press. Westport, Connecticut.
- Gibson, L. J., & Ashby, M. F. (1997). *Cellular Solids Structure and Properties*. (pág. 436). Cambridge University Press.
- Gifford, R. (1987). *Environmental psychology: Principles and practice*. Toronto, Canada: Allyn and Bacon, Inc.
- Godish, T. (2001). *Indoor environmental quality*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Gomes, G. (Enero de 2013). *Youtube*. Recuperado el 26 de Junio de 2017, de Perfil Guilherme Gomes: <https://www.youtube.com/user/polvoraembits/videos>
- Goodman, T. (2012). Predicting Perceptions: Proceedings of the 3rd International Conference on Appearance. *Measurement of Naturalness: Physics and Perception*, (págs. 21-24). Edinburgh, UK.
- Grasshopper. (2017). *Terms of Service*. Recuperado el 26 de Junio de 2017, de <http://www.grasshopper3d.com/main/authorization/termsOfService?previousUrl=http%3A%2F%2Fwww.grasshopper3d.com%2F>
- Hensel, M. A., Menges, A., & Weinstock, M. (2006). *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design*. Londres: Wiley & Sons.
- Hill, R. (2015). *Raymond Hill*. Recuperado el 28 de 08 de 2017, de Voronoi: <http://www.raymondhill.net/voronoi/rhill-voronoi.html>
- Hoadley, B. (1990). *Identifying wood: Accurate results with simple tools*. Newtown, CT: The Taunton Press.
- Hoadley, B. (1990). *Identifying wood: Accurate results with simple tools*. Newtown, CT: The Taunton Press.
- Høibø, O., & Nyrud, A. Q. (2010). Consumer perception of wood surfaces: the relationship between stated preferences and visual homogeneity. *The Japan Wood Research Society*, 276-283.
- Holland, D., O'Donnell, G., & Bennett, G. J. (2010). Open Design and the Reprap Project. *27th International Manufacturing Conference, GMT* (págs. 97-106). Galway, Ireland: V. Butler, K. Kelly, P. Delassus, and G. Mac Michael.

- Innocent, T. (1999). The Language of Iconica. *First Iteration: A Conference on Generative Systems in the Electronic Arts* (págs. 92-104). Melbourne: CEMA.
- Instituto Forestal. (2016). *Exportaciones Forestales Chilenas*. Santiago, Chile: Daniel Soto, Verónica Alvarez, Janina Gysling.
- Jarmusch, A. (2003). Mind-set: Research Project will study Architecture's Impact on the Brain.
- Jongerius, H. (2014 Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V.). Interview with Hella Jongerius. En E. Karana, O. Pedgley, & V. Rognoli, *Materials experience. Fundamentals of materials and design* (págs. 73-76). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Jousmäki, V., & Hari, R. (1998). Parchment-skin illusion: Sound-biased touch. *Current Biology*, 8(6), R190-R191.
- Kaplan, C. S. (1999). *Voronoi Diagrams and Ornamental Design*. Seattle, Washington: Department of Computer Science & Engineering University of Washington.
- Kaplan, S., Kaplan, R., & Wendt, J. (1972). Rated preference and complexity for natural and urban visual material. En *Perceptions and Psychophysics* 12 (págs. 354-356).
- Karana, E., & Hekkert, P. (2013). Designing Material Experience. En E. Karana, O. Pedgley, & V. Rognoli, *Materials Experience - Fundamentals of Material and Design* (págs. 3-11). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 35-54.
- Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2013). Introduction to Material Experience. En E. Karana, O. Pedgley, & V. Rognoli, *Materials Experience - Fundamentals of Material and Design* (págs. 25-33). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2014). Introduction to material experience. En E. Karana, O. Pedgley, & V. Rognoli, *Materials experience. Fundamentals of materials and design* (págs. XXV-XXXIII). Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann.
- Kembaren, P., Simatupang, T., Larso, D., & Wiyancoko, D. (2013). Design Driven Innovation Practices in Design-Preneur Led Creative Industry. *Journal of Technology Management and Innovation* 9(3), 91-105.
- Klein, L. (2009). *A phenomenological interpretation of biomimicry and its potential value for sustainable design*. Thesis Master of Science in Architecture, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Kolarevic, B. (2003). Digital Production. En B. (. Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (págs. 46-48). London: Taylor & Francis.
- Krieger, J., & Higgins, D. L. (2002). Public Health Matters—Housing and Health: Time again for Public Health Action. *Am. J. Public Health*. 92(5), 758-768.
- Laughlin, Z., & Howes, P. (2013). The Sound and Taste of Materials. En E. Karana, O. Pedgley, & V. Rognoli, *Materials Experience - Fundamentals of Material and Design* (págs. 39-49). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Lawless, H., & Heymann, H. (1998). Sensory evaluation of food: principles and practices. *Chapman & Hall, New York*.
- Lazzeroni, C., Bohnacker, H., Gross, B., & Laub, J. (2012). *Generative Design: Visualize, Program, and Create with Processing*. Princeton: Princeton Architectural Press.

- Le Duigou, A., Castro, M., Bevan, R., & Martin, N. (2016). 3D printing of wood fibre biocomposites. From mechanical to actuation functionality. *Materials & Design* 96, 106-114.
- Lipson, H. (2014). Is Additive Manufacturing a Real Revolution? *3D Printing and Additive Manufacturing* 1 (2), 61.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis, United States of America: Jhon Wiley & Sons Inc.
- López, I. (2010). Relation between biomimetic and functional analysis in product design methodology. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. WIT Press, vol 138.
- López, I., & Berges, L. (2012). A top-down biomimetic design process for product concept generation. *J. of Design & Nature and Ecodynamics*. Vol. 7, No. 1, 27-48.
- Manzini, E. (1986). *The material of invention*. Milán, Italia: Arcadia Edizioni.
- Marins, J., Oliveira, L. S., Nisgoski, S., & Sabourin, R. (2013). A database for automatic classification of forest species. *Machine Vision and Applications* 24, 567–578 .
- Martins, J., Oliveira, L. S., Nisgoski, S., & Sabourin, R. (2013). A database for automatic classification of forest species. *Machine Vision and Applications* 24, 567–578.
- Masisa. (2017). *Revestimientos Decora*. Recuperado el 03 de Julio de 2017, de Rev. Enchapado Ranurado: <http://www.masisa.com/chi/producto/rev-enchapado-ranurado/>
- Masuda, M. (1992). Visual characteristics of wood and the psychological images. *Kyoto Univ. Forests* 38(12), 1075-1081.
- Masuda, M. (1992). Visual characteristics of wood and the psychological images. *Kyoto Univ. Forests* 38(12), 1075-1081.
- Masuda, M. (2004). Why wood is excellent for interior design? From vision physical point of view. *Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering*, (págs. 101–106). Lahti, Finland.
- Masuda, M., & Yamamoto, N. (1988). The wood ratio in interior space and the psychological images. *Kyoto Univ. Forests* 60, 285-298.
- Masuda, M., & Yamamoto, N. (1988). The wood ratio in interior space and the psychological images. *Kyoto Univ. Forests* 60, 285-298.
- Mayo, S. C., Chen, F., & Evans, R. (2010). Micron-scale 3D imaging of wood and plant microstructure using high-resolution x-ray phasecontrast microtomography. *Journal of Structural Biology*.
- McCormack, J., Dorin, A., & Innocent, T. (2004). Generative Design: A Paradigm for Design Research. En J. Redmon, & e. a. (eds), *Proceedings of Futureground*. Melbourne: Design Research Society.
- McNeel. (2017). *Help*. Recuperado el 03 de Julio de 2017, de Descripciones de continuidad: http://docs.mcneel.com/rhino/5/help/es-es/index.htm#popup_moreinformation/continuity_descriptions.htm
- Meier, E. (2016). *Wood! Identifying and using hundreds of wood worldwide*.
- Milwich, M., & Speck, T. (2006). Biomimetics and technical textiles: Solving engineering problems with the help of nature's wisdom. *American Journal of Botany*, 93(10), 1455-1465.

- Molitch-Hou, M. (10 de Febrero de 2014). *3D Printing Industry*. Recuperado el 6 de Junio de 2017, de <https://3dprintingindustry.com/news/journey-laywoo-d3-interview-wood-filament-inventor-kai-parthy-23357/>
- Mugerauer, R. (1985). Language and the emergence of environment. En & R. D. Seamon, *Dwelling, place; and environment* (págs. 281-302). Malabar, FL: Krieger Publishing Company.
- Nervous System. (29 de 11 de 2012). *Nervous System*. Recuperado el 28 de 08 de 2017, de Projects: <http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/tags/algorithm/albums/radiolaria-app/>
- Nordin, A., Hopf, A., Motte, D., Bjarnemo, R., & Eckhardt, C. C. (2011). An Approach to Constraint-Based and Mass-Customizable Product Design. *Journal of Computing and Information Science in Engineering Vol. 11*.
- Nyrud, A. Q., Roos, A., & Rødbotten, M. (2008). Product attributes affecting consumer preference for residential deck materials. *Can J For Res* 38, 1385–1396.
- Obata, Y., Takeuchi, K., Furuta, Y., & Kanayama, K. (2005). Research on better use of wood for sustainable development: quantitative evaluation of good tactile warmth of wood. *Energy* 30, 1317–1328.
- Osgood, C. E. (1952). The nature and measurement of meaning. *Psychological bulletin*, 49(3), 197-237.
- Osgood, C. E., & Anderson, L. (1957). Certain relations among experienced contingencies, associative structure, and contingencies in encoded messages. *American Journal of Psychology*, 70(3), 411-420.
- Osgood, C. E., Suci, C. J., & Tannenbaum, P. H. (1957). *The Measurement of Meaning*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Overvliet, K. E., & Soto-Faraco, S. (2011). I can't believe this isn't wood! An investigation in the perception of naturalness. *Acta Psychologica (Amst)*, 136(1), 95-111.
- Payne, A., & Issa, R. (2009). *The Grasshopper Premier, Second Edition*. Robert McNeel and Associates.
- Rice, J., Kozak, R. A., Meitner, M. J., & Cohen, D. H. (2006). Appearance Wood Products and Psychological Well Being. *Wood Fiber Sci* 38, 644–659.
- Rice, J., Kozak, R., Meitner, M., & Cohen, D. (2006). Appearance Wood Products and Psychological Well Being.
- Rognoli, V. (29 de Abril de 2016). Relevancia del filamento de madera en la impresion 3D. (M. Frugone, Entrevistador)
- Rong, G., Liu, Y., Wang, W., Yin, X., Gu, X., & Guo, X. (2011). GPU-Assisted Computation of Centroidal Voronoi Tessellation. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, VOL. 17, NO. 3*, 345-356.
- Roshko, T. (2010). The pedagogy of bio-design: Methodology development. *WIT Transactions on ecology and the environment, vol 138*. WIT Press.
- Rossin, K. J. (2010). Biomimicry: nature's design process versus the designer's process. *Design and Nature V*, 559-570.
- Sakuragawa, S., Miyazaki, Y., Kaneko, T., & Makita, T. (2005). Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *J Wood Sci* 51, 136–140.
- Schoch, W., Heller, I., Schwingruber, F. H., & Kienast, F. (12 de Septiembre de 2007). *Wood anatomy of central European Species*. Recuperado el 9 de Mayo de 2017, de www.woodanatomy.ch

- Seepersad, & Conner, C. (2014). Challenges and Opportunities in Design for Additive Manufacturing. *3D Printing and Additive Manufacturing 1 (1)*, 10-13.
- Shaw, C. Y. (2001). Canadian Experience in Healthy Housing. International Symposium on Current Status of Indoor Air Pollution by Organic Compounds and Countermeasures for Healthy Housing., (págs. 31-35). Tokyo, Japon.
- Small, B. M. (1983). *Indoor Air Pollution and Housing Technology*. Ottawa, Canada: Policy Development and Research Sector.
- Soddu, C. (1994). The Design of Morphogenesis. An experimental research about the logical procedures in design processes. *Demetra Magazine, 1*, 56-64.
- Solomon, L. N. (1958). Semantic approach to the perception of complex sounds. *Journal of the Acoustical Society of America, 30(5)*, 421-425.
- Tao, Y., Wang, H., Li, Z., Li, P., & Shi, S. (2017). Development and Application of Wood Flour-Filled Polylactic Acid Composite Filament for 3D Printing. *Materials 2017, 10(4)*, 339.
- Taylor, R. E. (2002). *Wood Markets. The Solid Wood Products Outlook. 2002 to 2006*. Vancouver, Canada: International Wood Markets Research Inc.
- Tibbits, S. (2015). Challenges and Opportunities. *3D Printing and Additive Manufacturing 2 (4)*, 151.
- T-Splines. (2013). *Tsplines*. Recuperado el 03 de Julio de 2017, de Products Overview: <http://www.tsplines.com/products/productoverview.html>
- Ulrich, S. R. (1984). The psychological benefits of plants. *Garden. 8(6)*, 16-21.
- Ultimaker. (15 de Julio de 2015). *Replacing PTFE coupler*. Recuperado el 27 de Junio de 2017, de Community: <https://ultimaker.com/en/community/11203-replacing-ptfe-coupler>
- Ultimaker. (30 de Noviembre de 2015). *The Olsson block open source at its best*. Recuperado el 29 de Junio de 2017, de Blog: https://ultimaker.com/en/blog/18234-the-olsson-block-open-source-at-its-best?utm_source=youtube&utm_medium=social&utm_campaign=CA-Olsson&utm_content=video
- Ultimaker. (2017). *Build plate adhesion*. Recuperado el 29 de Junio de 2017, de Resources: <https://ultimaker.com/en/resources/257-build-plate-adhesion-how-to-get-your-print-to-stick-to-the-build-plate>
- Ultimaker. (2017). *Calibration*. Recuperado el 29 de Junio de 2017, de Resources: <https://ultimaker.com/en/resources/146-calibration>
- Ultimaker. (2017). *How to fix stringing*. Recuperado el 29 de 06 de 2017, de Resources: <https://ultimaker.com/en/resources/19504-how-to-fix-stringing>
- Ultimaker. (2017). *How to fix warping*. Recuperado el 29 de Junio de 2017, de Resources: <https://ultimaker.com/en/resources/19537-how-to-fix-warping>
- Ultimaker. (2017). *Resources*. Recuperado el 04 de 08 de 2017, de Custom material profiles for Ultimaker 2 and Ultimaker 2+: <https://ultimaker.com/en/resources/20982-custom-materials-ultimaker2-plus>
- Ultimaker. (2017). *Ultimaker 2+ Specifications*. Recuperado el 27 de Junio de 27, de Specifications: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-2-plus/specifications>

- Vajjhala, S. (1999). Finite element analysis of Voronoi cellular solids. (*Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology*).
- van Bezooeyen, A. (2013). Materials Driven Design. En E. Karana, O. Pedgley, & V. Rognoli, *Materials Experience - Fundamentals of Material and Design* (págs. 277-286). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Van Wijk, A., & Van Wijk, I. (2015). *3D Printing with Biomaterials. Towards a sustainable and circular economy. The Green Village*. Amsterdam, Holanda: IOS Press.
- Viñolas i Marlet, J. (2005). *Diseño ecológico: hacia un diseño y una producción en armonía con la naturaleza*. España, Barcelona: Blume.
- von Bismarck, G. (1974a). Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds. *Acústica*, 30, 159-172.
- Wade, C., & Tavis, C. (2000). *Psychology* 6th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Wang, S.-Y., Lin, F.-C., & Lin, M.-Y. (2001). Thermal properties of interior decorating material and the sensation of cold/warm by contact. II: The relations among heat flux, temperature change of material, and sensation of cold/warm by contact. *J Wood Sci* 47, 109–114.
- Weinfurter, S., & Eder, A. (2009). Consumer perceptions of innovative wood-polymer. *Lenzinger Berichte* 87, 168-178.
- Wheeler, E. A., & Baas, P. (1998). Wood Identification - A Review. *IAWA journal / International Association of Wood Anatomists*, 241-264.
- Wilmore, N. (15 de Agosto de 2015). *Grasshopper3D*. Recuperado el 26 de Junio de 2017, de Grasshopper Forum: <http://www.grasshopper3d.com/forum/topics/voronoi-diagram-and-bone-microstructure-again?commentId=2985220%3AComment%3A1343731>
- Wood, F. (2013). Modeling cell layers on complex surfaces using constrained Voronoi diagrams. *ACM SIGGRAPH 2013 Posters* (pág. 86). ACM.