

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Informática y Sistemas

**DESARROLLO DE ALGORITMOS 3D PARA EL MODELADO DE
ESCULTURAS CON ARUNDO DONAX**

TESIS

Presentada por:

Bach. Rene Nelson Alanoca Tarqui

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO EN INFORMÁTICA Y SISTEMAS**

**Tacna - Perú
2015**

JURADO CALIFICADOR Y CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS

TESIS N° _____

TITULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero en Informática y sistemas

La Secretaría Académico de la Facultad de Ingeniería, por resolución de facultad N° 02633-2014-FAIN/UNJBG, designó Jurado para la sustentación oral de la tesis titulada: "DESARROLLO DE ALGORITMOS 3D PARA EL MODELADO DE ESCULTURAS CON ARUNDO DONAX"

El mismo que está conformado por:

Presidente : MSc. Edgar Aurelio Taya Acosta

Secretario : Mgr. Erbert Francisco Osco Mamani

Vocal : Ing. Gianfranco Alexey Málaga Tejada

Para calificar la sustentación de la tesis en acto público el día 30 de Diciembre del 2014 presentado por el Bachiller Rene Nelson Alanoca Tarqui, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Informática y Sistemas. El jurado calificador en forma secreta e individual emitió su opinión sobre el tema de la tesis expuesta y procedió a obtener el promedio que arrojó el calificativo de aprobado.

Para ratificar lo detallado firman:



MSc. Edgar Aurelio Taya Acosta
Presidente



Mgr. Erbert Francisco Osco Mamani
Secretario



Ing. Gianfranco Alexey Málaga Tejada
Vocal


Tacna, 30 de Diciembre del 2014


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
EN INFORMÁTICA Y SISTEMAS


“DESARROLLO DE ALGORITMOS 3D PARA EL MODELADO DE
ESCULTURAS CON ARUNDO DONAX”

TESIS PRESENTADA EL AÑO 2014 ESTANDO EL JURADO
CALIFICADOR INTEGRADO POR:

Presidente: 
Msc. Edgar Aurelio Taya Acosta
Presidente

Secretario : 
Mgr. Ebert Francisco Osco Mamani
Secretario

Vocal : 
Ing. Gianfranco Alexey Málaga Tejada
Vocal

Asesor : 
Msc. Edwin Antonio Hinojosa Ramos
Asesor

Dedicatoria:

Dedico esta tesis ante todo a la caña hueca de Tacna (Arundo Donax) recurso que me motiva a vivir con intensidad cada día, a mi hijo Renato Alanoca Castro que me alegra la vida, a mi esposa quien me apoya en todo y a mis Padres, que siempre me supieron dar su apoyo en lo que pudieron; muy en especial a quien en vida fue mi madre, Sra. Modesta Carmen Tarqui de Alanoca, quien fue un ejemplo a seguir con sus proezas llevadas a cabo y a todas las personas que me han apoyado en la realización de la presente tesis, sobre todo agradezco a Dios que cada día me bendice y me da fuerza para seguir adelante.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE FÓRMULAS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Descripción del problema	3
1.1.1 Antecedentes del problema	5
1.1.2 Problemática de la investigación	6
1.2 Formulación del problema	7
1.2.1 Problema principal	7
1.2.2 Problemas secundarios	7
1.3 Justificación	8
1.4 Alcances y limitaciones	11
1.5 Objetivos	13
1.5.1 Objetivo general	13
1.5.2 Objetivos específicos	13
1.6 Hipótesis	13
1.6.1 Hipótesis general	13
1.6.2 Hipótesis específicas	14

1.7 Variables	14
1.7.1 Identificación de variables	14
1.7.2 Clasificación de variables	14
1.7.3 Operacionalización de variables	15
1.8 Diseño de la investigación	16
1.8.1 Diseño experimental	16
1.8.2 Población y muestra	17
1.8.3 Técnicas e instrumentos	17
1.8.4 Análisis de datos	18
CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1 Bases Teóricas	25
2.1.1 Plug-In de Utilidad	25
2.1.2 Sistema CAD	25
2.1.3 Prototipo virtual	27
2.1.4 Operaciones booleanas	27
2.1.5 Elementos tubulares	28
2.1.6 Modelado geométrico	28
2.1.7 Proyección ortogonal	29
2.1.8 Geometría Sólida Constructiva (CSG)	31
2.1.9 Transformaciones geométricas tridimensionales	38
2.1.10 Primitivas 3D	51
2.1.11 Caña a Presión	52
2.2 Definición Conceptual de Términos Utilizados	53
2.2.1 Plug-In	53
2.2.2 Arundo Donax	53
2.2.3 Algoritmos	54
2.2.4 Recursividad	55
2.2.5 Prototipo	55
2.2.6 CAD	55

2.2.7	Modelo	56
2.2.8	Renderización	56
2.2.9	Geometría	57
2.2.10	Script	58
2.2.11	Virtual	58
2.2.12	Matriz	58
2.2.13	Transformación	59
2.2.14	Spline	59
CAPÍTULO III		60
ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS PARA LOS PLUGINS DE UTILIDAD		60
3.1	Metodología	60
3.2	Reglas de juego en la técnica “Caña a Presión”	62
3.3	Principales elementos tubulares	63
3.4	Análisis e instrumentos matemáticos	64
3.4.1	Identificación de primitivas	64
3.4.2	Identificación de los algoritmos	66
3.4.3	Diagramas de flujo	73
3.4.4	Modelamiento del sistema	81
3.4.5	Implementación de componentes	82
CAPÍTULO IV		93
CONSTRUCCIÓN Y MODELAMIENTO DE PROTOTIPOS VIRTUALES		93
CAPÍTULO V		97
RESULTADOS		97

CAPÍTULO VI	102
DISCUSIONES	102
6.1 Discusión de resultados	102
6.2 Contrastación de hipótesis	102
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	105
CAPÍTULO VII	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables	15
Tabla 2.	Especificación de casos de uso	81
Tabla 3.	Aplicación de plugins y generación de componentes	93
Tabla 4.	Modelado automático vs modelado con algoritmos 3D	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuadro del Costo / Beneficio	10
Figura 2. Resumen del Costo / Beneficio	10
Figura 3. Trozos de caña (entrenudos)	18
Figura 4. Medición con forcípula (vernier) de un entrenudo de Arundo Donax con sector no circular	19
Figura 5. Medición de la longitud de trozos de caña (entrenudos)	20
Figura 6. Recta en medio de nube de puntos	21
Figura 7. Error entre la recta y cada punto de la nube	21
Figura 8. Elemento tubular	28
Figura 9. Representación de la proyección ortogonal	29
Figura 10. Proyecciones ortogonales de un objeto, donde se muestra la vista plana y las vistas de elevación	30
Figura 11. Proyección isométrica de un cubo	31
Figura 12. La combinación de dos objetos usando operación UNIÓN	32
Figura 13. Uso de las operaciones booleanas INTERSECCIÓN y DIFERENCIA	32
Figura 14. Representación de un árbol CSG para un objeto	34
Figura 15. Implementación de operaciones CSG utilizando trazado de rayos	35
Figura 16. Determinación de los límites de la superficie a lo largo de un rayo de pixel	36

Figura 17. Determinación del volumen de un objeto en dirección de la trayectoria de un rayo de área de píxel A_{ij} del plano de disparo	37
Figura 18. Traslación de un punto con el vector de traslación $T = (t_x, t_y, t_z)$	40
Figura 19. Traslación de un objeto con el vector de traslación T	41
Figura 20. Rotaciones positivas alrededor de un eje de coordenadas	42
Figura 21. Rotación de un objeto con respecto al eje de las z	44
Figura 22. Permutación cíclicas de los ejes coordenados cartesianos xyz para producir los tres juegos de ecuaciones de rotación de ejes coordenados	44
Figura 23. Rotación de un objeto con respecto al eje de las x	45
Figura 24. Rotación de un objeto con respecto al eje de las y	46
Figura 25. Rotación secuencial de transformaciones para girar un objeto en relación con un eje paralelo al eje de las x	48
Figura 26. Cinco pasos de transformación para obtener una matriz compuesta para la rotación alrededor de un eje arbitrario con el eje de rotación proyectado sobre el eje z	51
Figura 27. Trozo de Arundo Donax y sus partes	61
Figura 28. Tubo de caña virtual y real	63
Figura 29. Vara de caña virtual y real	63
Figura 30. Tapa de caña virtual y real	63
Figura 31. Primitiva "Tubo"	64
Figura 32. Primitiva "Cilindro"	65

Figura 33. Primitiva “Cilindro con Chaflán“	65
Figura 34. Primitiva “Caja“	65
Figura 35. Diagrama de flujo de plugin TROMPO	73
Figura 36. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin TROMPO	74
Figura 37. Diagrama de flujo de plugin ARTICULACIÓN	75
Figura 38. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Articulación” CREAR SEGMENTO	76
Figura 39. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Articulación” CORTADOR	76
Figura 40. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Articulación” GENERAR CODO	77
Figura 41. Diagrama de flujo de plugin CALADOR	78
Figura 42. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Calador” CREAR SEGMENTO TUBO	79
Figura 43. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Calador” ESCALADOR	79
Figura 44. Diagrama de flujo de plugin TAPA	80
Figura 45. Diagrama de casos de uso	81
Figura 46. Formulario de ingreso de datos para generar un cuerpo sólido compuesto	83
Figura 47. Cuerpos sólidos generados sin chaflán (izquierda) y con chaflán (derecha)	83
Figura 48. Medidas y nombres de piezas generadas (Nomenclatura: DEXDIYLZ+NOMBRE)	83

Figura 49. Funcionamiento del plugin “Trompo”	84
Figura 50. Formulario de ingreso de datos para generar una articulación compuesta	85
Figura 51. Vistas de las partes generadas de la articulación	85
Figura 52. Funcionamiento del plugin Articulación	87
Figura 53. Formulario de ingreso de datos para generar una pieza de caña calada	88
Figura 54. Trozo de caña calada generada	89
Figura 55. Funcionamiento del plugin Calador	90
Figura 56. Formulario de ingreso de datos para generar una tapa de segmento tubular	91
Figura 57. Tapa de caña generada virtualmente	91
Figura 58. Funcionamiento del plugin Tapa	92
Figura 59. Modelamiento de la escultura digital en el entorno 3D Studio Max	96
Figura 60. Cuadro comparativo de elaboración de componentes	99
Figura 61. Prototipo final vs escultura física en caña	101
Figura 62: Componente generado con 5 objetos	101
Figura 63. Hoja de cálculo con la información importada desde 3D Studio Max de cinco objetos del plugin TROMPO	101

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Relación directa entre variables	14
Fórmula 2. Ecuación de la recta de regresión	23
Fórmula 3. Coeficiente de Correlación	24
Fórmula 4. Volumen de sección transversal de objeto	38
Fórmula 5. Volumen total de objeto CSG	38
Fórmula 6. Matriz de Traslación	40
Fórmula 7. Ecuaciones de rotación en eje z	43
Fórmula 8. Matriz de rotación en eje z	43
Fórmula 9. Sustituciones	44
Fórmula 10. Ecuaciones para rotación en eje X	45
Fórmula 11. Matriz de rotación en eje X	45
Fórmula 12. Ecuaciones para rotación en eje y	46
Fórmula 13. Matriz de rotación en eje y	46
Fórmula 14. Posición de coordenada P transformada	49
Fórmula 15. Matriz compuesta de transformación	49
Fórmula 16. Coeficiente de proporcionalidad L/DE	97
Fórmula 17. Fórmula para obtener DI	98

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo el desarrollo y la implementación de algoritmos 3D mediante plugins de apoyo que actúan dentro del software CAD y mostrar que se puede modelar de manera eficiente una escultura y su comercialización sea más eficaz. Así mismo, poder tener información más detallada para la normalización de esculturas de *Arundo Donax* mediante hojas de cálculo.

Los plugins son alimentados con datos recopilados de los cañaverales de Tacna y con estos insumos nos ayudan a generar componentes que a su vez están formados por objetos 3D que derivan de primitivas del software CAD. Luego de esto el artista debe construir con dichos componentes y modelar la escultura con el mejor ángulo vía transformaciones necesarias en el entorno gráfico del software base, que para nuestro caso es 3D Studio Max 2012 y de esta manera tenemos una visión anticipada de la escultura en la computadora, con las medidas cuasi-reales.

Como resultado de esta tesis, se tiene que se puede construir y modelar de manera más eficiente las esculturas porque mediante los algoritmos 3D nos reduce el tiempo de manera considerable en gabinete, reducción del 880% aprox. mediante ahorro en cálculos, transformaciones y demás procesos que serían tediosos si se modelara de manera manual dicha escultura en el entorno del software base.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo expuesto tiene por objeto ser presentado ante la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, para optar el Título Profesional de Ingeniero en Informática y Sistemas.

Tacna por su situación geográfica es rica en valles donde crece naturalmente el recurso caña hueca cuyo nombre científico es *Arundo Donax* y que desde antaño la población ha sabido aprovechar este recurso para apoyarse en su modus vivendis.

Hoy en día se utiliza para elaborar esculturas sin pegamento y el artista elabora esculturas de caña con todo lo que esto demanda, materia prima, tiempo, mano de obra, creatividad, etc. Tal es así que resulta una escultura apreciable, pero presenta ciertas debilidades ante la venta al público cuando esta requiere alguna modificación sugerida por parte del cliente y aquí es cuando atacan los plugins al elaborar una escultura digital por componentes que se puede modelar previamente antes de trabajarla manualmente y evita muchos contratiempos e impases.

La tecnología está abordando varios aspectos del quehacer humano y el arte no es una excepción, por lo cual se ve favorecido con estos plugins que ayudarán al artista a elaborar una escultura más detallada para poder ofrecer y vender con certeza dicha pieza de arte a un potencial comprador, en esta oportunidad el software CAD juegan un papel importante.

Por lo antes referido, el presente trabajo de investigación se divide en los siguientes capítulos: en el capítulo I se detallan el planeamiento de la investigación, donde se menciona el problema principal que aborda esta tesis, así como los objetivos que persigue y la justificación de la misma; en el capítulo II, describe el marco teórico, donde incluye los términos utilizados en el presente material; en el capítulo III se describe la presentación, análisis, diseño e implementación de los algoritmos mediante plugins; en el capítulo IV se presenta la construcción y modelamiento del prototipo de una avispa; en el capítulo V se detalla los resultados obtenidos con la presente tesis; en el capítulo VI se tiene la discusión de los resultados obtenidos en la tesis; en el capítulo VII, se dan las conclusiones y recomendaciones acerca de los resultados; en el capítulo VIII se expone la bibliografía consultada y finalmente, se presentan los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

Como todo avance tecnológico en la historia de la humanidad, el software dedicado al CAD (diseño asistido por computador) abre nuevas posibilidades a la investigación en diferentes campos del quehacer humano, y el arte no es una excepción.

Arundo Donax (Caña hueca) es un recurso forestal no maderable que se desarrolla en las riberas de los ríos, sobre todo en los valles. Este recurso natural se viene utilizando en la vida diaria del hombre desde mucho tiempo atrás, sea cual fuese su objetivo, musical, ornamental, artesanal, defensa ribereña, vivienda, etc. El uso reciente que se le ha añadido es la elaboración de esculturas a presión, que consiste en trabajar con piezas geométricas (Cilindros, círculos y líneas) obtenidas de la caña y respetando su forma natural, para así unirlos sin usar pegamento alguno (Ensamblaje).

El artista que lleva a cabo dichas esculturas debe venderlas para poder obtener ingresos y seguir elaborando más de ellas.

El problema radica cuando desea ofrecer sus esculturas al potencial comprador, pues el trabajo final en algunos casos no llena las expectativas del cliente y éste requiere ciertas modificaciones sobre la escultura y esto a su vez acarrea tiempo y dedicación del artista, recursos que el cliente muchas veces no remunera. También el problema es cuando se desea dar clases de ensamblaje de una escultura lo puede hacer de manera virtual, todo esto apoyado con la técnica denominada *Geometría Sólida Constructiva*.

Por este motivo se ha visto por conveniente desarrollar virtualmente prototipos de esculturas simulando a la verdadera pieza física de escultura y con medidas cuasi-exactas de sus partes componentes, de forma tal que el potencial comprador de la pieza de arte, previo modelado de la escultura pueda tomar decisiones a tiempo y poder hacer ciertas modificaciones que resultan más económicas antes que la escultura físicamente se lleve a cabo. Y de esta manera el artista pueda seguir desempeñándose eficientemente en este arte.

1.1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial *Arundo Donax* es utilizada en trabajos manuales rústicos y de poco aprovechamiento de la geometría inherente a este recurso en países como España, Argentina, Bolivia y otros. En algunos países como EEUU, y de manera específica en el estado de California se pretende erradicarla por ser considerada plaga vegetal.

Por el lado de uso de la tecnología, podemos apreciar que se está promoviendo el uso de algoritmos generativos para la construcción de cúpulas para vivienda con caña mediterránea (*Arundo Donax*) con el apoyo del software RHINO y el plugin GRASSHOPPER 3D, pero este estudio no contempla explícitamente la geometría interna, sino las características físicas de *Arundo Donax* como ser: flexibilidad, rigidez, resistividad, etc. Para la construcción de estructuras resistentes. En el Perú se viene utilizando este recurso con fines artesanales, como es en la comunidad campesina de Santa Rosa de Chontay, distrito de Antioquía, provincia de Huarochirí, región Lima donde son expertos en cestería y realizan cestos de todo tipo con fines caseros y para el comercio.

En la región Tacna se viene desarrollando innovadores proyectos con este recurso muy arraigado en esta zona. Por ejemplo en el distrito de Ilabaya, provincia Jorge Basadre por intermedio de su municipio se ha capacitado a la población en la elaboración de productos derivados de *Arundo donax*, en este proyecto el especialista realizaba sus clases con el apoyo de software CAD. También entidades privadas de Tacna realizan estudios y proyectos ambiciosos empleando como materia prima *Arundo donax* con fines terapéuticos, artísticos, educativos, etc.

1.1.2 Problemática de la investigación

En la actualidad los sistemas y la informática marcan la diferencia entre los seres analfabetos de este siglo y los que no lo son. Mucha gente sobre todo jóvenes, saben manipular un computador a nivel de usuario y a gran cantidad de ellos les gustaría poder trabajar con *Arundo Donax* a través de un computador, pero les resulta muy difícil utilizando sólo las herramientas que brindan los software.

Se plantea mediante una investigación exploratoria dar un camino de solución a esta falencia utilizando algoritmos diseñados a la medida con las características geométricas de *Arundo Donax* y reduciendo procesos para facilitar la construcción de prototipos de esculturas para

luego ser llevados a cabo físicamente por la misma persona. Esta metodología de trabajo también representa un medio para poder interactuar con la naturaleza utilizando como interface el computador y los plugins de utilidad.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

¿Influye el uso de algoritmos 3D en el modelamiento de esculturas con *Arundo Donax*?

1.2.2 Problemas secundarios

- ¿Son susceptibles a ser computarizados los datos tomados de la estructura geométrica de *Arundo Donax*?
- ¿Se empotran correctamente los algoritmos 3D mediante plugins de utilidad y son compatibles con el entorno del software CAD?
- ¿Se puede modelar una escultura de avispa con algoritmos 3D?

1.3 Justificación

Los algoritmos son necesarios para modelar prototipos virtuales de esculturas con *Arundo Donax*, puesto que ellos contienen las principales rutinas de la técnica artística denominada “Caña a Presión” y con la implementación de plugins de utilidad (que poseen información de la estructura geométrica propia de *Arundo Donax*), se generan las partes componentes de una pieza de escultura virtual. Los plugins se alimentan de datos que el usuario proporcionará según los requerimientos de cada parte componente, de tal manera que con toda esta información que brinde como respuesta el plugin, el usuario modelador le dedicará mayor tiempo a la estética del prototipo y reducirá el tiempo en cálculos que demandan la construcción de dichas partes que componen la escultura y en muchos casos el ahorro de tiempo se manifiesta, sobre todo en esculturas de un tamaño considerable. La justificación a esta investigación es de carácter tecnológico y social, tecnológico porque se diseñará algoritmos 3D para plugins de utilidad en un software CAD y social, porque está dirigido a fomentar el uso de *Arundo Donax* como materia prima y su aporte al desarrollo sostenible de la región y del país. También se puede realizar el análisis costo beneficio para evaluar la

aplicación de algoritmos 3D en la construcción de esculturas en caña hueca en un conjunto de 18 esculturas.

Lista de costos:

- Costo por el desarrollo de los algoritmos 3D e implementación de los plugins de utilidad.....S/. 1 200,00
- Costo por la construcción de prototipos mediante algoritmos (costo por prototipo Aprox. S/. 20,00)S/. 360,00
- **Total.....S/. 1 560,00**

Lista de beneficios:

- Ahorro de tiempo en la construcción de escultura de caña hueca (Aprox. 40% de 3h a razón de S/. 15,00 por hora remunerada)S/. 324,00
- Ahorro de tiempo en modificaciones de escultura final por parte del usuario (Aprox. 85% de 2 horas, a S/. 18,00 por hora remunerada)S/. 550,80
- Ahorro de materiales en la elaboración física de la escultura (30% del total de S/. 2,00 por pieza).....S/. 10,80
- Base de datos de esculturas digitales de caña y sus partes componentes con sus respectivas métricas (Costo por modelo aprox. S/. 40,00).....S/. 720,00
- **Total.....S/. 1 605,60**

ELABORACIÓN DE ESCULTURAS DE CAÑA HUECA USANDO ALGORITMOS 3D					
Modelo: AVISPA				Cantidad:	18
Nº	CARACTERÍSTICA	COSTO (S/.)	BENEFICIO (S/.)	COSTO/BENEFICIO	DESEABLE
1	Desarrollo de algoritmos 3D e Implantación de plugins en la plataforma 3D Studio Max	1200.00			
2	Construcción de prototipos mediante algoritmos costo por prototipo Aprox. S/. 20.00	360.00			
3	Ahorro de tiempo en construcción de escultura de caña hueca (Aproximadamente en 40% de 3h. Y S/. 15.00 por hora de remuneración).		324.00		
4	Ahorro en modificación de escultura final por parte del usuario (Aprox. 85% de 2horas Y a S/. 18.00 por hora de remuneración)		550.80		
5	Ahorro de Materiales en la elaboración física de la Escultura (30% del total de S/. 2.00 por pieza.)		10.80		
6	Base de Datos de partes componentes de la escultura de caña con sus respectivas métricas. Costo por Modelo Aprox. S/. 40.00		720.00		
TOTAL		1560.00	1605.60	0.972	

Figura 1. Cuadro del Costo / Beneficio.

Fuente: Propia

El resumen de costos y beneficios para 3 conjuntos de 18 esculturas se muestra a continuación:

	I 18 Unidades	II 18 Unidades	III 18 Unidades	TOTAL
COSTO				
TOTAL	1560.00	360.00	360.00	2280.00
BENEFICIO				
TOTAL	1605.60	1605.60	1605.60	4816.80
RAZÓN	0.972	0.224	0.224	0.473

Figura 2. Resumen del Costo / Beneficio.

Fuente: Propia

A pesar de que se demuestra que la inversión puede recuperarse en 0,972 de la elaboración de un conjunto de 18 esculturas distintas (17 esculturas aproximadamente), el análisis en tres armadas de dicho conjunto nos revela que los beneficios obtenidos serán significativamente mayores que los costos incurridos. El punto de equilibrio se alcanza en el primera armada, con lo que se garantiza que no habrá variación significativa en la operación financiera del usuario ni siquiera en la primera armada. Es necesario observar de todas maneras que el análisis de beneficios se basa en los criterios subjetivos del usuario, que aunque se apoyan en datos y cifras, pueden tener errores de estimación que harían variar los resultados.

Sin embargo, en general, puede decirse que la inversión traerá más beneficios que los costos que representa, en este caso.

1.4 Alcances y limitaciones

- La presente investigación contempla el análisis, diseño así como la implementación de algoritmos que se utiliza en cada plugin de utilidad, así como el suministro de la información contenidos en él.

- Se realizará una breve descripción de los conceptos matemáticos existentes en *Arundo Donax* y que se utilizan en el desarrollo de plugins.
- Con la construcción de prototipos no se busca fabricar productos realmente iguales, como los realizan los software CAM (Manufactura asistida por computador). Lo que se pretende realizar es una visión, lo más realista posible, acerca de cómo lograr piezas importantes de escultura con *Arundo Donax*, salvando ciertas excepciones ya que en la naturaleza no se puede hallar piezas tales como las queremos, cierto margen de inexactitud en los resultados compensa la inexactitud de la información que sirven de insumo en los plugins.
- El software utilizado para desarrollar los plugins es el 3D Studio Max 2012 con su respectivo lenguaje de programación MAXSCRIPT, el cual se ajusta al modelado y animación, así como un excelente renderizado en sus imágenes para acercarnos más a la realidad. (Ver anexo 03).
- Una limitante sería que no todas las personas que deseen realizar esculturas de *Arundo Donax* por computador tienen la computadora idónea o en muchos casos no tienen computadora en casa.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar la influencia de los algoritmos 3D en el modelamiento de prototipos de esculturas con *Arundo Donax*.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar datos específicos de la estructura geométrica de *Arundo Donax* para su introducción en plugins de utilidad.
- Implementar algoritmos 3D mediante plugins de utilidad y que estén empotrados en el entorno del software 3D Studio Max que realicen cálculos y operaciones booleanas entre objetos 3D.
- Implementar un modelo de prototipo de la escultura de una avispa.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

H1 : "El uso de algoritmos 3D influye en el modelamiento de esculturas con *Arundo Donax*"

1.6.2 Hipótesis específicas

- Los datos que se obtienen de la estructura geométrica de *Arundo Donax* son susceptibles a ser computarizados.
- Los algoritmos 3D mediante plugins de utilidad se empotran correctamente y son compatibles con el entorno del software CAD.
- El modelo de prototipo de la escultura de una avispa es confiable.

1.7 Variables

1.7.1 Identificación de variables

- Algoritmos 3D.
- Modelado de esculturas con *Arundo Donax*.

1.7.2 Clasificación de variables

Variable independiente: (V_i)

Algoritmos 3D.

Variable dependiente: (V_d)

Modelado de esculturas con *Arundo Donax* cuya función tiene la relación de direccionalidad “Directa”:

Fórmula 1. Relación directa entre variables

$$V_d = f(V_i)$$

1.7.3 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES
Algoritmos 3D	Secuencia de pasos a seguir llevados a Scripts en base al lenguaje de programación propio de un sistema CAD, y que poseen información básica de la estructura geométrica de <i>Arundo Donax</i> para generar partes componentes o herramientas que ayudan en la construcción de prototipos virtuales de esculturas, empleando un menor tiempo en cálculos y dedicándole mayor importancia a la estética.	<p>Introducción de nuevos espacios en el entorno del software CAD.</p> <p>Creación de piezas personalizadas no pertenecientes al software nativo.</p> <p>Ahorro de tiempo en cálculos en la construcción de piezas.</p> <p>Diseño de Algoritmos adecuados al tema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz Amigable Incómodo Económico • Versatilidad Buena Mala • Tiempo Mínimo Excesivo Normal • Precisión Alta Media Baja • Eficiencia Mayor Media Menor
Modelado de Esculturas con <i>Arundo Donax</i>	Resultado óptimo que se obtiene al crear piezas (partes componentes) de escultura y ubicarlas estratégicamente en el prototipo virtual por computador, cada pieza posee las medidas cuasi-exactas que luego serán halladas en la naturaleza para ser ensambladas en la Escultura matemática real.	<p>Construcción de piezas reales de esculturas de caña en un tiempo relativamente corto.</p> <p>Medidas más precisas de cada pieza individual de la escultura a elaborar en la realidad</p> <p>Ahorro de tiempo en el modelado de la pieza de escultura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo Mínimo Normal Excesivo • Precisión Alta Media Baja • Tiempo Mínimo Excesivo Normal • Precisión Alta Media Baja

Fuente: Propia

1.8 Diseño de la investigación

1.8.1 Diseño experimental

Diseño experimental con pre-prueba, pos-prueba y grupo de control.

R ----- G1 O1 ----- X1 ----- O2 (Grupo experimental)

Donde: R: Asignación al azar o random, de los sujetos.

G1 : Grupo experimental de sujetos

O1 : Estado anterior al experimento

X1 : Experimento

O2 : Estado posterior al experimento

El X1 en este caso viene a ser el uso de los algoritmos 3D, que se aplica luego de haber evaluado el grupo experimental en una primera oportunidad.

El grupo experimental G1 varía, lo que significa que los datos tomados de la estructura geométrica de *Arundo Donax* y evaluados en una primera oportunidad no tendrán que ser los mismos para la segunda evaluación, solo así se puede lograr correctamente el objetivo de la investigación.

1.8.2 Población y muestra

Población

La población de estudio para este tipo de investigación es los cañaverales del cercado de la provincia de Tacna – región Tacna, donde se encuentra la materia prima (*Arundo Donax*) en gran cantidad.

Muestra

Dentro de la población en estudio se tomará como muestra 60 piezas (Entrenudos) de *Arundo donax* de diferentes diámetros tomadas al azar para extraer sus medidas geométricas (Diámetro exterior, diámetro interior y longitud) a ser procesadas y luego poder obtener la información aproximada que será suministrada a los plugins de utilidad (Ver anexo 02).

1.8.3 Técnicas e instrumentos

La técnica que se empleó para esta investigación fue la técnica para el modelamiento sólido conocida como “Geometría Sólida Constructiva”, que consta de la combinación de volúmenes que se traslapan al utilizar operaciones booleanas para la formación de un nuevo volumen, tal como lo menciona Hearn, D. & Backer, M. Pauline.

(2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.) y esto se ve en la construcción de la escultura que tomamos como modelo “Avispa”. (Ver anexo 12).

El instrumento que se empleó para obtener la información fue una tabla de datos cogidos de una muestra de 60 entrenudos de *Arundo Donax* como en la tabla del anexo N° 02.

1.8.4 Análisis de datos

Para la recolección de datos del muestro se emplea la técnica DAP (Diámetro a la altura el pecho) del árbol aplicado a cada entrenudo del culmo de *Arundo Donax*.

Toma de datos de entrenudos (trozos tubulares) de *Arundo Donax* con diferentes diámetros entre el rango de 3mm. a 36mm.



Figura 3. Trozos de caña (entrenudos).

Fuente: Propia

Con la ayuda de un vernier se extrae las medidas de los diámetros exterior e interior, posteriormente se calcula la media aritmética entre la medida de la parte más corta y la parte más larga del corte transversal y ese resultado sería el diámetro exterior o interior buscado para los prototipos.

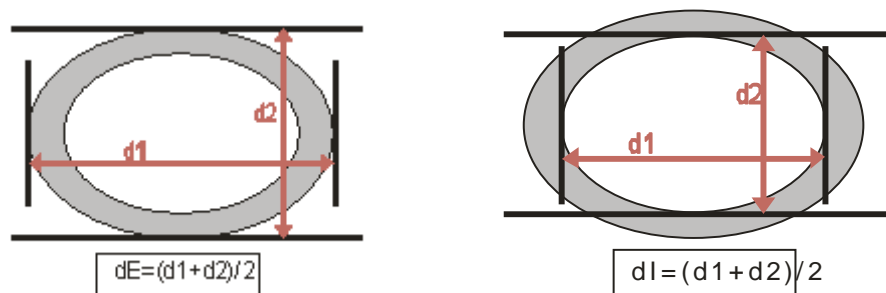


Figura 4. Medición con forcípula (vernier) de un entrenudo de *Arundo Donax* con sección no-circular.

Fuente: <http://amazoniaforestal.blogspot.com/2011/10/medicion-de-diametros.html>

También se extrae con una regla de metal graduada las medidas de la longitud de cada entrenudo (sólo la parte útil) con el fin de poder calcular su máximo valor de longitud de cada pieza tubular utilizada en los prototipos.



Figura 5. Medición de la longitud de trozos de caña (entrenudos).

Fuente: Propia

Los instrumentos de medición para recolección de información:

- La forcípula (vernier calibrado).
- Regla de metal graduada (o wincha).
- Libreta de campo
- Sierra pequeña
- Lapiceros
- Etiquetas

Para el análisis de datos lo primero que se optó por hacer fue la tabulación y procesamiento de datos en Excel:

La tabulación e interpretación de los datos se efectuó una vez recopiladas todas las lecturas y concluida la fase de investigación en campo. En cada unidad experimental se extrajo sus diámetros externos, diámetros internos y longitudes de los entrenudos que lo componen, se halló una constante de relación entre las medidas de la estructura geométrica de los entrenudos (diámetro exterior, diámetro

interior y longitud). Mediante esa constante de proporcionalidad se plantea conseguir una estimación cercana a la realidad de una pieza de escultura, pero para mayor exactitud se observó que al ajustar la nube de puntos a una línea utilizando el modelo de regresión lineal (mínimos cuadrados) que se ajusta mejor a los valores reales de cada pieza de escultura virtual. Existe cierto margen de error en cuanto se detectó diferencias algo significativas, esto se debe a que existen variables, las cuales no son materia de estudio como el clima, suelo, agua, etc.

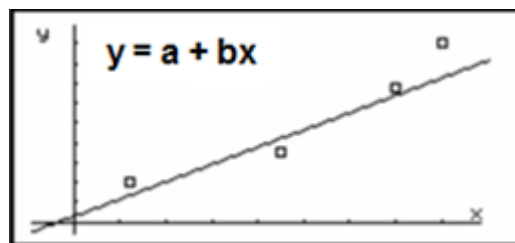


Figura 6. Recta en medio de nube de puntos

Fuente: Propia

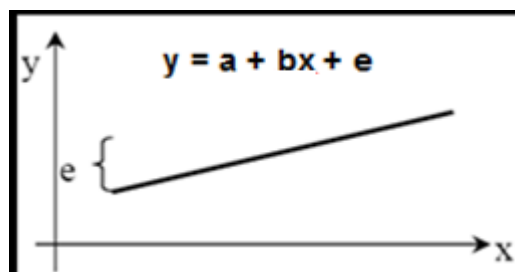


Figura 7. Error entre la recta y cada punto de la nube

Fuente: Propia

Para obtener la mejor línea a través de los datos se debe minimizar la suma de los errores residuales al cuadrado:

$$e = y - a - bx$$

$$Sr = e^2$$

$$Sr = \sum (y - a - bx)^2$$

Derivando respecto a "a" y respecto a "b":

$$\frac{\partial Sr}{\partial a} = -2 \sum (y - a - bx)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial b} = -2 \sum (y - a - bx)x$$

Hay un mínimo o máximo igualando las dos ecuaciones a cero:

$$\sum a + \sum bx - \sum y = 0$$

$$\sum ax + \sum bx^2 - \sum yx = 0$$

si $\sum a = na$

$$na + \sum xb = \sum y$$

$$\sum xa + \sum x^2b = \sum xy$$

Es decir:

$$\begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \end{bmatrix}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Fórmula 2. Ecuación de la recta de regresión

$$\mathbf{y = a + bx}$$

a= -0,815024509

b= 0,751827162

X: Diámetro exterior de trozo de *Arundo Donax*

Y: Diámetro interior ajustado mediante regresión lineal

Se menciona que para poder utilizar este ajuste por regresión lineal se tuvo que discriminar al ajuste por regresión exponencial por mostrar mayor coeficiente de variación (ver anexos 09, 10 y 11).

Determinación del *coeficiente de correlación* para medir la asociación lineal entre las dos variables, este número representado por *r*, está entre -1 y 1. Cuanto más se acerca *r* a -1 o 1, el ajuste es mejor. Si el ajuste es malo, se acerca *r* a 0 y si el ajuste es exacto, *r* = -1.

Para una recta con pendiente negativa, o $r = 1$ para una recta de pendiente positiva:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Fórmula 3. Coeficiente de Correlación

$$r^2 = \frac{(\sum xy - \sum x \sum y)^2}{(\sum x^2 - (\sum x)^2)(\sum y^2 - (\sum y)^2)}$$

$$r = \sqrt{r^2}$$

Para nuestra muestra nos resulta un coeficiente de 0,995838369, con “r” cercano a 1.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 Plug-In de Utilidad

El concepto del plugin de utilidad es muy simple; conocidos también como “add-ons”, un plugin es un “Programa que se puede anexar a otro con el fin de aumentar sus funcionalidades (generalmente sin afectar otras funciones ni la aplicación principal)” (Alegsa,1998 - 2014, <http://www.alegsa.com.ar/Dic/plugin.php>). Dichos plugins son de utilidad cuando se insertan dentro del entorno del software CAD y sirve de apoyo para la construcción de prototipos virtuales.

2.1.2 Sistema CAD

El diseño asistido por computador (u ordenador), abreviado como DAO (Diseño asistido por ordenador) pero más conocido por sus siglas inglesas CAD (*Computer Aided Design*) o diseño asistido por ordenador, como las siglas lo indican es el nombre genérico que se les da a cualquier tipo de “software que se permite el uso del ordenador para crear y modificar planos o modelos en 2 y 3 dimensiones” (José Manuel N. J. &

Beatriz R. S., 2011, p.9). Básicamente es un conjunto de programas informáticos que ofrecen la posibilidad de agilizar y facilitar extraordinariamente el diseño de las variables técnicas, los planos o prototipos, en diversos ámbitos, como la arquitectura, la escultura o la ingeniería mecánica e industrial. En un sentido amplio, podemos entender el CAD como la "Aplicación de la Informática al Proceso de Diseño".

El CAD atiende prioritariamente aquellas tareas exclusivas del diseño, tales como el dibujo técnico y la documentación del mismo, pero normalmente permite realizar otras tareas complementarias relacionadas principalmente con la presentación y el análisis del diseño realizado. A comparación de los sistemas CAM “(*computer - aided manufacturing*), Sistema CAD/CAM” (manufactura asistida por computador, http://www.virtual.unal.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anejos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/SISTEMAS%20CAD-CAM.pdf, p.29). Una vez completado el diseño del producto, se alimentan las cifras a un programa que controla la fabricación de las piezas de forma tangible.

2.1.3 Prototipo virtual

El prototipado virtual es una de las metodologías que más se utiliza en los trabajos cotidianos. No es más ni menos que el máximo exponente de las aplicaciones de CAD y de Modelado de Sólidos. “Por prototipado virtual se entiende el disponer del modelado sólido en el ordenador (fichero) que nos permita hacer simulaciones y cálculos y diversas pruebas según materiales, condiciones de trabajo, modificación de cotas y formas, elementos finitos, renderizados virtuales con distintas texturas y materiales, animaciones, etc, pruebas que nos permitirán depurar los modelos antes de su ejecución material” (Alonso Rodriguez, 1996, p. 17).

2.1.4 Operaciones booleanas

El trabajo en 3D regularmente involucra la utilización de objetos sólidos. En ocasiones podría ser necesario combinar múltiples objetos en uno solo, o quitar secciones de un sólido. Los software CAD poseen algunos comandos que facilitan estas tareas. Éstas son las "Operaciones Booleanas" como son la unión, intersección y diferencia. “Las operaciones booleanas pueden aplicarse, tanto a las splines cerradas como a los objetos 3D, aunque en este caso dichas operaciones son consideradas objetos de composición” (José Manuel N. J. & Beatriz R. S., 2007, p. 188).

2.1.5 Elementos tubulares

Los elementos tubulares son elementos propios de la naturaleza anatómica de *Arundo Donax* que nos permiten modelar con mayor exactitud. Estos elementos contienen atributos que se conservan hasta su uso final en los prototipos como el diámetro exterior, diámetro interior, corona circular, radios, longitud o altura, etc.



Figura 8. Elemento tubular.

Fuente: Propia

2.1.6 Modelado geométrico

Es el conjunto de métodos utilizados para definir la forma y otras características de los objetos. La construcción de los objetos es normalmente, en si misma, una operación asistida por ordenador. Éstos juegan un papel primordial, ya que sin su potencia de cálculo los procedimientos del modelado geométrico solamente podrían aplicarse en modelos de escasa importancia práctica. “Los métodos del modelado geométrico vienen a ser un compendio de las técnicas utilizadas en

varias disciplinas, como la geometría analítica y descriptiva, la topología, la teoría de conjuntos, el análisis numérico, las estructuras de datos, el cálculo vectorial y los métodos matriciales” (Ricardo R., 2011, p. 3). Se pueden enumerar tres aplicaciones básicas del modelado geométrico:

- *Representación* de los objetos existentes.
- *Diseño* de los objetos inexistentes y
- *Visualización* (rendering) de los objetos.

2.1.7 Proyección ortogonal

Este tipo de proyección en la geometría descriptiva señala que “Los rayos proyectantes son paralelos y además perpendiculares al plano de proyección. El tamaño de la proyección es menor al tamaño del objeto y será del mismo tamaño siempre y cuando el objeto y el plano de proyección sean paralelos” (Alejandro Miranda C., 1984. p.14).

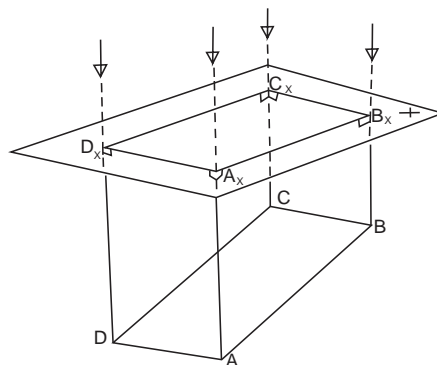


Figura 9. Representación de la proyección ortogonal.

Fuente: Miranda C. A. (1984). *Geometría Descriptiva* (5 ed.)

Este tipo de proyección es usado con frecuencia para producir las principales vistas frontal, lateral y superior de un objeto.

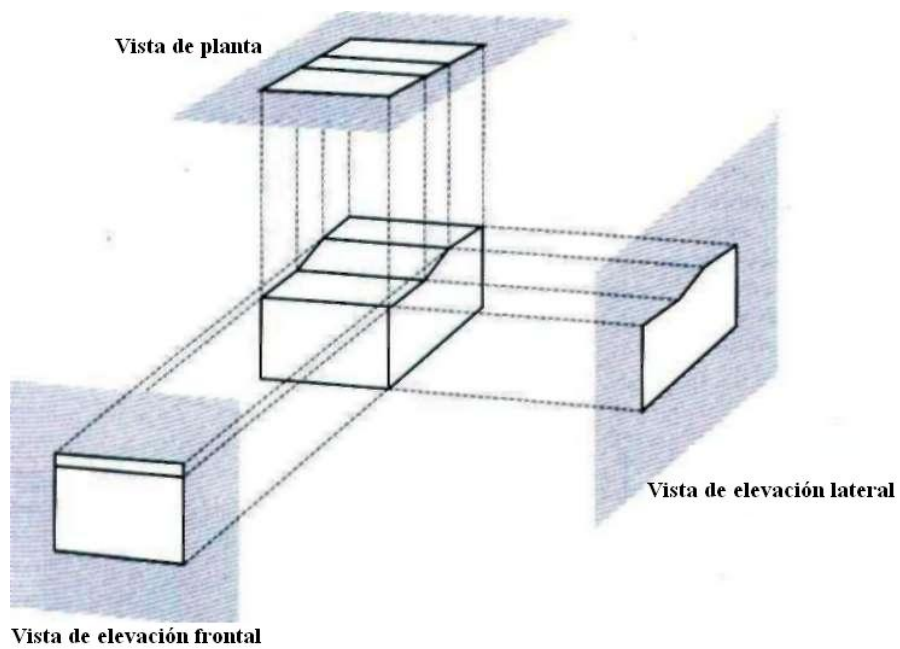


Figura 10. Proyecciones ortogonales de un objeto, donde se muestran la vista plana y las vistas de elevación.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

También podemos formar proyecciones ortogonales que muestren más de una cara de un objeto. Dichas vistas se denominan proyecciones ortogonales axonométricas.

La proyección axonométrica más comúnmente utilizada es la proyección isométrica, que se genera alineando el plano de proyección (o el objeto) de modo que el plano intersekte todos los ejes de coordenadas sobre los que está definido el objeto, denominados ejes principales, a la misma distancia del origen. La siguiente gráfica muestra una proyección isométrica de un cubo.

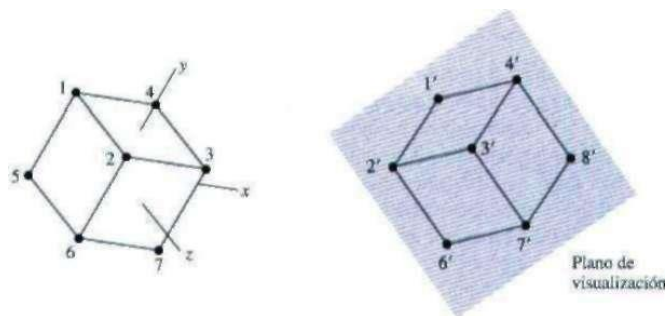


Figura 11. Proyección isométrica de un cubo

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

2.1.8 Geometría Sólida Constructiva (CSG)

La Geometría Sólida Constructiva (CSG; *Constructive solid geometry*) es una técnica para el modelado sólido es la combinación de los volúmenes que ocupan los objetos tridimensionales que se traslapan al utilizar operaciones de conjuntos como ser; unión, intersección o diferencia. Creando de esta forma un nuevo volumen. (Donald, H. & Pauline, B., 1994. p. 374)

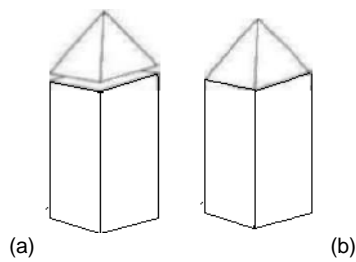


Figura 12. La combinación de dos objetos usando operación UNIÓN.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Los gráficos muestran ejemplos de formación de formas nuevas utilizando las operaciones de los conjuntos. En la figura 12(a), un bloque y una pirámide se colocan adyacentes una a otra. Mediante la operación unión, obtenemos el objeto combinado de la figura 12(b).

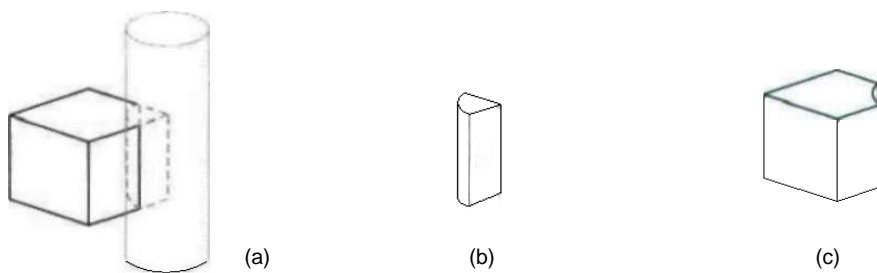


Figura 13. Uso de las operaciones booleanas INTERSECCIÓN y DIFERENCIA.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

La Figura muestra un bloque y un cilindro que se superponen en volumen. Utilizando la operación de intersección, obtenemos el sólido de la figura 13(b). Mediante la operación diferencia, podemos visualizar el sólido mostrado en la figura 13(c).

Una aplicación de CSG comienza con un conjunto inicial de objetos tridimensionales, llamados primitivas CSG, tales como un bloque, una pirámide, un cilindro, un cono, una esfera y tal vez algunos sólidos con superficies con splines. Las primitivas se pueden proporcionar en el paquete CSG como un menú de selección, o las primitivas se podrían formar utilizando métodos de barrido, construcciones con splines u otros procedimientos de modelado. En un paquete interactivo de CSG, podemos seleccionar una operación (unión, intersección o diferencia) y arrastrar dos primitivas a una posición dentro de alguna región del espacio para formar un nuevo objeto. Este nuevo objeto se podría entonces combinar con una de las formas existentes para formar otro objeto nuevo. Podemos continuar este proceso hasta que tengamos la forma final del objeto que estamos diseñando. Un objeto construido con este procedimiento se representa con un árbol binario.

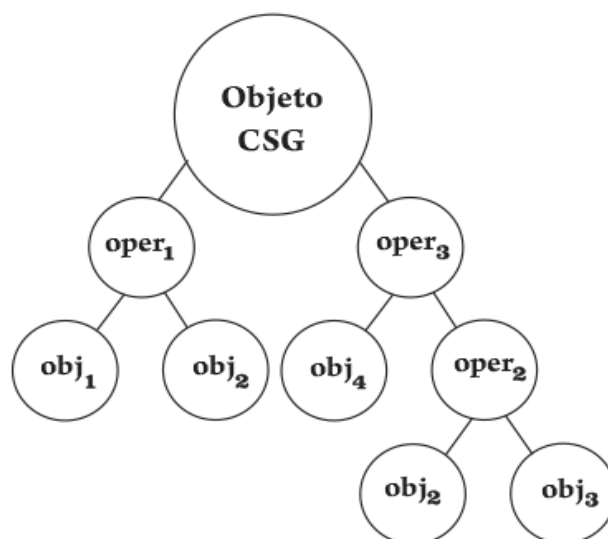


Figura 14. Representación de un árbol CSG para un objeto.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Los métodos de *trazado de rayos* (ray casting) se utilizan habitualmente para implementar operaciones de geometría constructiva de sólidos cuando los objetos se describen mediante representaciones por contorno. Aplicamos el trazado de rayos determinando los objetos que son intersectados por un conjunto de líneas paralelas que emanan del plano xy según la dirección del eje z. Este plano se denomina “plano de disparo” y cada rayo tiene su origen en un píxel.

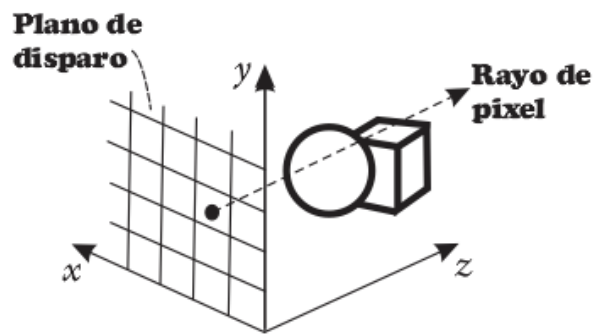


Figura 15. Implementación de operaciones CSG utilizando trazado de rayos.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Entonces calculamos las intersecciones con la superficie a lo largo de la trayectoria de cada rayo y ordenamos los puntos de intersección según la distancia al plano de disparo. Los límites de la superficie del objeto compuesto se determinan a continuación mediante la operación de conjunto especificada. En el siguiente gráfico se proporciona un ejemplo de determinación mediante trazado de rayos de los límites de la superficie de un objeto CSCi, que muestra las secciones rectas yz de dos objetos (un bloque y una esfera) y la trayectoria de un rayo perpendicular de píxel al plano de disparo. Con la operación de unión, el volumen nuevo es el interior combinado ocupado por los dos objetos. En la operación de intersección, el volumen nuevo es la región interior común a

ambos objetos. Por último la operación de diferencia sustrae el interior de un objeto del otro donde los dos objetos se superponen.

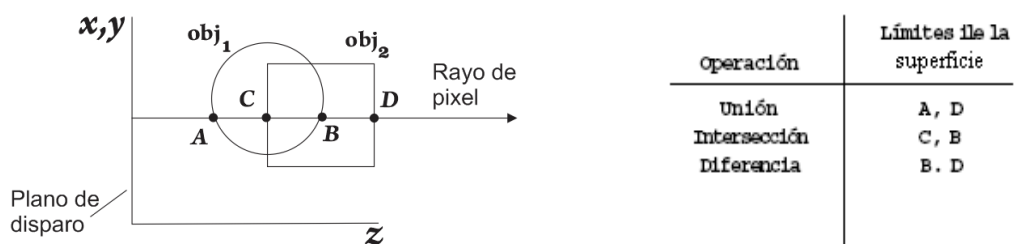


Figura 16. Determinación de los límites de la superficie a lo largo de un rayo de píxel.
Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Cada primitiva de CSG se define habitualmente en sus propias coordenadas locales (de modelado). La posición correspondiente en coordenadas universales se determina mediante las matrices de transformación de modelado utilizadas para crear una posición de solapamiento con otro objeto. La inversa de las matrices de modelado del objeto se puede utilizar entonces para transformar los rayos de píxel a coordenadas de modelado, donde los cálculos de las intersecciones con la superficie se realizan en las primitivas individuales.

Entonces las intersecciones con la superficie de los dos objetos superpuestos se ordenan según la distancia a lo largo de la trayectoria del rayo y se usan para determinar los límites del objeto compuesto,

según la operación de conjuntos especificada. Este procedimiento se repite para cada par de objetos que hay que combinar en el árbol CSG de un objeto concreto. Una vez que se ha diseñado un objeto CSG, el trazado de rayos se utiliza para determinar propiedades físicas, tales como el volumen y la masa. Para determinar el volumen del objeto, aproximamos el área de cada píxel del plano de disparo mediante un pequeño cuadrado como en la figura siguiente.

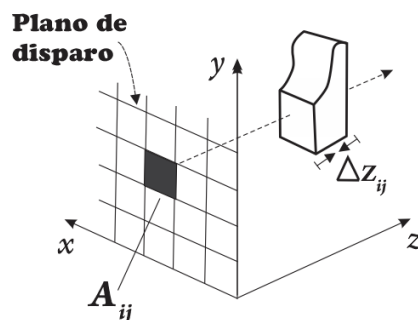


Figura 17. Determinación del volumen de un objeto en dirección de la trayectoria de un rayo de área de píxel A_{ij} del plano de disparo.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Podemos entonces aproximar el volumen V_{ij} de una sección transversal del objeto de área A_{ij} en la dirección de la trayectoria de un rayo de píxel de la posición (ij) del siguiente modo:

Fórmula 4. Volumen de sección transversal de objeto

$$V_{ij} \approx A_{ij} \cdot \Delta Z_{ij}$$

Donde ΔZ_{ij} es la profundidad del objeto en la dirección del rayo desde la posición (ij) . Si el objeto tiene agujeros internos, ΔZ_{ij} es la suma de las distancias entre pares de puntos de intersección en la dirección del rayo.

Aproximamos el volumen total del objeto CSG mediante la suma de los volúmenes individuales según las trayectorias de los rayos:

Fórmula 5. Volumen total de objeto CSG

$$V \approx \sum_{i,j} V_{ij}$$

2.1.9 Transformaciones geométricas tridimensionales

Los métodos para las transformaciones Geométricas y de modelado de objetos en tres dimensiones se extienden de los modelos bidimensionales al incluir las consideraciones para la coordenada de z. Ahora trasladamos un objeto al especificar un vector de traslación tridimensional, que determina el desplazamiento del objeto en cada una de las tres direcciones de las coordenadas, De manera similar escalamos un objeto con tres factores de escalación de las coordenadas.

La extensión de la rotación tridimensional es menos directa. Cuando analizamos las rotaciones bidimensionales en el plano de xy , fue necesario considerar sólo los giros alrededor de ejes perpendiculares al plano de xy . En el espacio tridimensional podemos seleccionar cualquier orientación espacial como un compuesto de tres rotaciones, una para cada uno de los tres ejes cartesianos. De modo alternativo, un usuario puede establecer con facilidad una matriz general de rotación, dados la orientación del eje y el ángulo de rotación que se requiere. Así cualquier secuencia de transformación se representa como una sola matriz, que se crea al concatenar las matrices para las transformaciones individuales en la secuencia.

Traslación

En la representación homogénea tridimensional de coordenadas, se traslada un punto $\mathbf{P} = (x, y, z)$ a la posición $\mathbf{P}' = (x', y', z')$ con la operación de matriz.

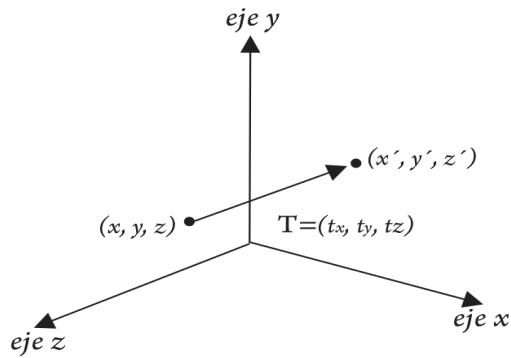


Figura 18. Traslación de un punto con el vector de traslación $T=(t_x, t_y, t_z)$

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Fórmula 6. Matriz de Traslación

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}' = \mathbf{T} \cdot \mathbf{P}$$

A los parámetros t_x , t_y y t_z que especifican las distancias de traslación para las direcciones de las coordenadas x , y y z , se asignan cualesquiera valores reales. Un objeto se traslada en sus tres dimensiones, transformando cada una de las posiciones de coordenadas de definición para el objeto, y reconstruyendo después el objeto en la nueva localización. Para un objeto representado como un conjunto de

superficies poligonales, trasladamos cada vértice de cada superficie y volvemos a mostrar las caras del polígono en las posiciones trasladadas.

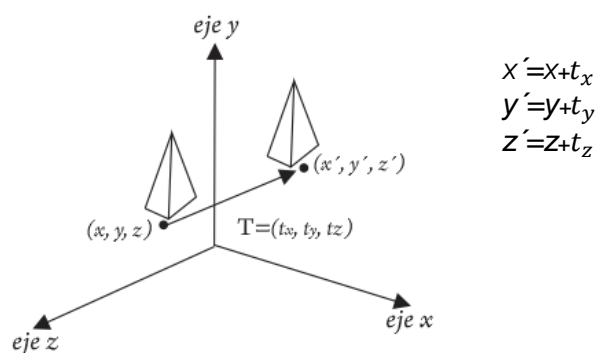


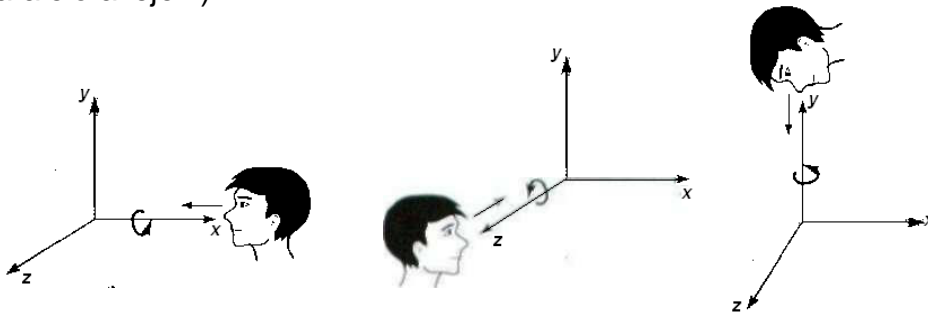
Figura 19. Traslación de un objeto con el vector de traslación T .

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Rotación

Podemos rotar un objeto sobre cualquier eje en el espacio, pero la forma más fácil de llevar a cabo una rotación de ejes, es aquella que es paralela a los ejes de coordenadas cartesianos. También podemos usar combinaciones de rotaciones de ejes de coordenadas (con las traslaciones apropiadas) para especificar una rotación sobre cualquier otra línea en el espacio. Por tanto, primero consideramos las operaciones implicadas en las rotaciones de los ejes de coordenadas, y luego veremos los cálculos necesarios para otros ejes de rotación.

Por convenio, los ángulos de rotación positivos producen rotaciones en el sentido contrario al de las agujas del reloj sobre un eje de coordenadas, asumiendo que estamos mirando en la dirección negativa a lo largo de dicho eje de coordenadas (figura 20). Esto concuerda con nuestra discusión anterior acerca de las rotaciones en dos dimensiones, donde las rotaciones positivas en el plano xy se hacen en sentido contrario a las agujas del reloj sobre un punto de pivote (un eje que es paralelo al eje z).



Las rotaciones positivas alrededor de un eje de coordenadas se realizan en el sentido contrario a las agujas del reloj, cuando se está mirando a lo largo de la mitad positiva de los ejes con respecto al origen.

Figura 20. Rotaciones positivas alrededor de un eje de coordenadas.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Rotaciones de los ejes de coordenadas

Las ecuaciones de rotación del eje z bidimensionales pueden extenderse fácilmente a tres dimensiones:

Fórmula 7. Ecuaciones de rotación en eje Z

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \theta - y \operatorname{sen} \theta \\y' &= x \operatorname{sen} \theta + y \cos \theta \\z' &= z\end{aligned}$$

El parámetro θ especifica el ángulo de rotación sobre el eje z, y los valores de la coordenada z no se pueden cambiar con esta transformación. En la forma de coordenadas homogéneas, las ecuaciones para la rotación tridimensional del eje z son:

Fórmula 8. Matriz de rotación en eje Z

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\operatorname{sen} \theta & 0 & 0 \\ \operatorname{sen} \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}' = \mathbf{R}_z(\theta) \cdot \mathbf{P}$$

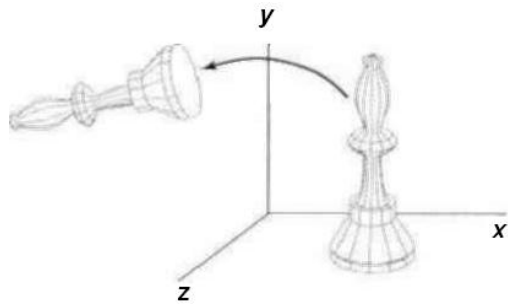


Figura 21. Rotación de un objeto con respecto al eje de las z.
Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Las ecuaciones de transformación para rotaciones alrededor de los otros dos ejes de coordenadas pueden obtenerse con una permutación cíclica de los parámetros de coordenadas x y z en las Ecuaciones anteriores. Es decir utilizamos las sustituciones

Fórmula 9. Sustituciones

$$x \rightarrow y \rightarrow z \rightarrow x$$

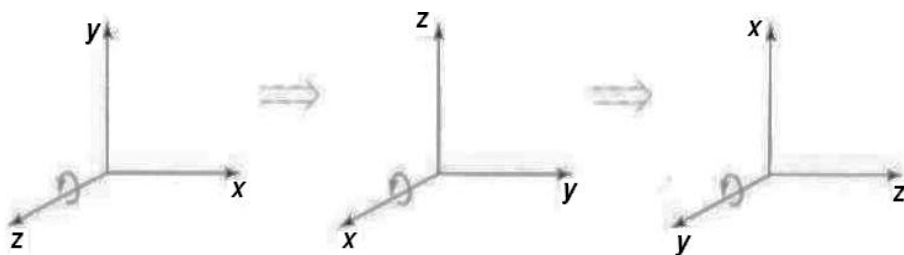


Figura 22. Permutación cíclicas de los ejes de coordenadas cartesianas xyz para producir los tres juegos de ecuaciones de rotación de ejes coordenados.
Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Al sustituir las permutaciones de la fórmula 9 en las ecuaciones de la fórmula 7, obtenemos las ecuaciones para una rotación del eje x.

Fórmula 10. Ecuaciones para rotación en eje X

$$\begin{aligned} y' &= y \cos \theta - z \operatorname{sen} \theta \\ z' &= y \operatorname{sen} \theta + z \cos \theta \\ x' &= x \end{aligned}$$

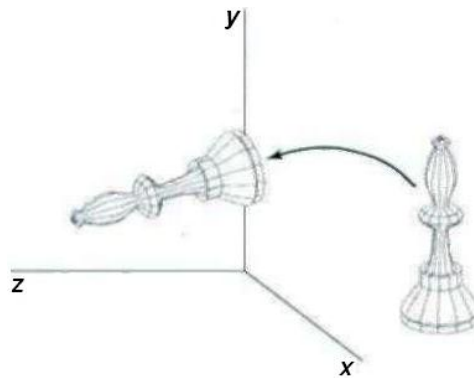


Figura 23. Rotación de un objeto con respecto al eje de las x.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Fórmula 11. Matriz de rotación en eje X

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\operatorname{sen} \theta & 0 \\ 0 & \operatorname{sen} \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}' = \mathbf{R}_x(\theta) \cdot \mathbf{P}$$

Al permutar de manera cíclica las coordenadas de las ecuaciones de la fórmula 10, obtenemos las ecuaciones de transformación para una rotación del eje de las y .

Fórmula 12. Ecuaciones para rotación en eje y

$$\begin{aligned} z' &= z \cos \theta - x \operatorname{sen} \theta \\ x' &= z \operatorname{sen} \theta + x \cos \theta \\ y' &= y \end{aligned}$$

La representación para la rotación del eje de las y es:

Fórmula 13. Matriz de rotación en eje y

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \operatorname{sen} \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\operatorname{sen} \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}' = \mathbf{R}_y(\theta) \cdot \mathbf{P}$$

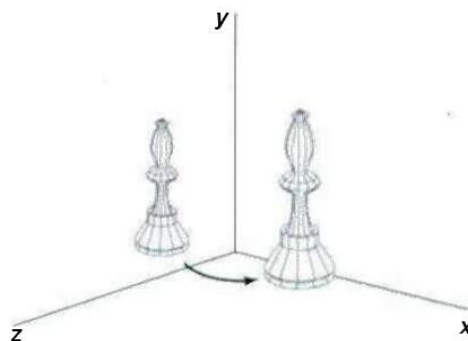


Figura 24. Rotación de un objeto con respecto al eje de las y .

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Una matriz de rotación tridimensional inversa se obtiene de la misma manera que las rotaciones inversas en dos dimensiones. Basta con sustituir el ángulo θ por $-\theta$. Los valores negativos para los ángulos de rotación generan rotaciones en el sentido de las agujas del reloj y la matriz identidad se obtiene multiplicando cualquier matriz de rotación por su inversa. Mientras sólo la función seno se vea afectada por el cambio de signo del ángulo de rotación, la matriz inversa puede obtenerse también intercambiando filas por columnas. Es decir, podemos calcular la inversa de cualquier matriz de rotación \mathbf{R} formando su traspuesta ($\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^t$).

Rotaciones tridimensionales generales

Una matriz de rotación, para cualquier eje que no coincide con un eje de coordenadas, puede realizarse como una transformación compuesta incluyendo combinaciones de traslaciones y rotaciones de ejes de coordenadas. Primero, movemos el eje de rotación designado dentro de uno de los ejes de coordenadas, Después aplicamos la matriz de rotación apropiada para ese eje de coordenadas. El último paso en la secuencia de transformación es devolver el eje de rotación a su posición original. En el caso especial de que un objeto vaya a ser rotado alrededor de un eje

que es paralelo a uno de los ejes de coordenadas, conseguimos la rotación deseada con la siguiente secuencia de transformaciones.

- 1) Traslado del objeto de tal forma que el eje de rotación coincida con el eje de coordenadas paralelo.
- 2) Se realiza la rotación específica sobre el eje.
- 3) Traslado del objeto de tal forma que el eje de rotación se mueva de nuevo a su posición original.

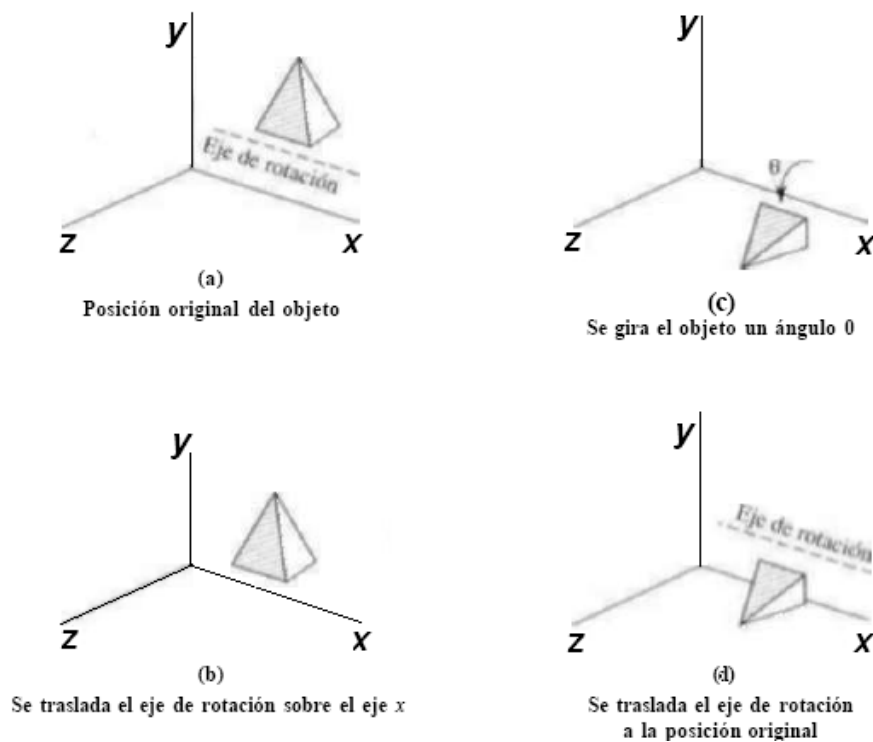


Figura 25. Rotación secuencial de transformaciones para girar un objeto en relación con un eje paralelo al eje de las x.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

Una posición de coordenadas P se transforma con la secuencia mostrada en esta figura como:

Fórmula 14. Posición de coordenada P transformada

$$P' = T^{-1} \cdot R_x(\theta) \cdot T \cdot P$$

Donde la matriz compuesta para la transformación es:

Fórmula 15. Matriz compuesta de transformación

$$R(\theta) = T^{-1} \cdot R_x(\theta) \cdot T$$

Esta matriz compuesta es de la misma forma que la secuencia de transformaciones bidimensional para la rotación sobre un eje paralelo al eje z (un punto de pivote que no está en el origen de coordenadas). Cuando un objeto va a ser rotado sobre un eje que no es paralelo a uno de los ejes de coordenadas, es claro que necesitamos desarrollar algunas transformaciones adicionales. En este caso, también necesitamos rotaciones para alinear el eje de rotación con un eje de coordenadas seleccionado y luego devolver el eje de rotación a su orientación original. Dando las especificaciones para la rotación de ejes y del ángulo de rotación, podemos llevar a cabo la rotación requerida en cinco pasos:

- (1) Trasladar el objeto de tal forma que el eje de rotación pase a través del origen de coordenadas.
- (2) Rotar el objeto de forma que el eje de rotación coincida con uno de los ejes de coordenadas
- (3) Realizar la rotación especificada sobre el eje de coordenadas seleccionado.
- (4) Aplicar las rotaciones inversas para devolver al eje de rotación su orientación original.
- (5) Aplicar la traslación inversa para devolver el eje de rotación a su posición espacial original.

Podemos transformar el eje de rotación dentro de cualquiera de los tres ejes de coordenadas. El eje z es a menudo una elección conveniente y después consideramos una secuencia de transformación usando la matriz de rotación del eje z.

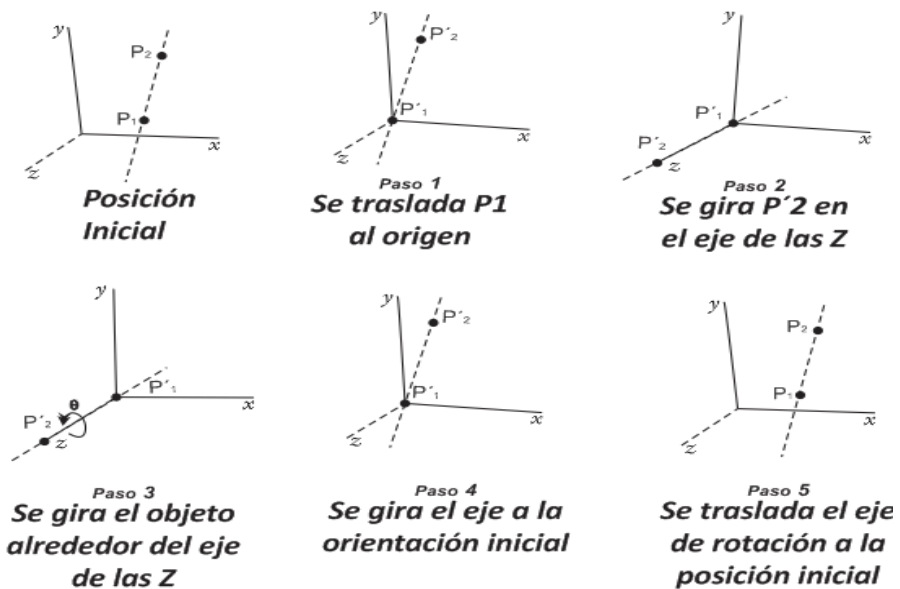


Figura 26. Cinco pasos de transformación para obtener una matriz compuesta para la rotación alrededor de un eje arbitrario con el eje de rotación proyectado sobre el eje z.

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

2.1.10 Primitivas 3D

Llamamos primitivas a los objetos sólidos básicos que no derivan de otra y que forman un núcleo para los modelos derivados estos pueden ser: cilindro con chaflán, esfera, cubo, cilindro, cono, pirámide, toroide, etc. Estos objetos podemos transformar para adaptarlos a nuestro modelo.

2.1.11 Caña a Presión

Técnica aplicada en la escultura tomando como base la utilización de formas cilíndricas nativas de los entrenudos de *Arundo Donax*, a esta técnica se le conoce internacionalmente como *Ensamblaje* o *De Ensemble*, donde cada pieza que corresponde a la composición de una escultura se extrae de un cilindro o Entrenudo de *Arundo Donax*, respetando la forma original del material, no deformándola mediante torsiones, Para la obtención de cada pieza se utiliza el proceso de corte, mediante serchas (sierras pequeñas) y cuchillos pequeños para los calados. Con las piezas obtenidas se forman, previa selección de tamaños de diámetros para poder hacer las uniones a presión, módulos o bloques independientes, que a su vez tendrán que componer la escultura final deseada. Toda unión de piezas o bloques es a pura presión humana, sin la ayuda de pegamento alguno.

2.2 Definición Conceptual de Términos Utilizados

2.2.1 Plug-In

“Es una aplicación relacionada con otra para aportarle una función nueva y generalmente muy específica. Esta aplicación adicional es ejecutada por la aplicación principal e interactúan por medio de la API” (Alegsa, 1998-2014, <http://www.alegsa.com.ar/Diccionario/C/138.php>).

2.2.2 Arundo Donax

Recurso natural comúnmente conocida como “Caña Hueca” (ISSG,2011,<http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=112&fr=1&sts=&lang=EN>). Es una especie de planta herbácea que está incluida en la lista 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Planta semejante al bambú, del que se diferencia porque de cada nudo sale una única hoja que envaina el tallo. Es una planta que alcanza hasta 6 m de altura, tiene tallo grueso y hueco. Las hojas lanceoladas son largas de 5-7 cm que envuelven el tallo en forma de láminas verdes brillantes y de 30 a 60 cm de largo. Muy arraigada en sistemas riparios. Ver anexo 01.

2.2.3 Algoritmos

“Un algoritmo establece de manera genérica e informal, la secuencia de pasos o acciones que resuelve un determinado problema” (Algoritmos,2008,<http://richardunefa.files.wordpress.com/2008/04/algoritmos1.pdf>). Los algoritmos en todo proceso y en esencia constituyen la documentación principal que se necesita para poder iniciar la fase de codificación y para representarlos, se utiliza, fundamentalmente, dos tipos de notación: pseudocódigo y diagramas de flujo.

El diseño de un algoritmo es independiente del lenguaje que después se vaya a utilizar para codificarlo.

Un algoritmo escrito en pseudocódigo siempre se suele organizar en tres secciones: *cabecera*, *declaraciones* y *cuerpo*. En la sección de cabecera se escribe el nombre del algoritmo. En la sección de declaraciones se declaran algunos objetos (variables, constantes,...) que va a utilizar el programa. En el cuerpo están descritas todas las acciones que se tienen que llevar a cabo en el programa, y siempre se escriben entre las palabras inicio y fin.

2.2.4 Recursividad

La recursividad es una técnica de programación interesante y muchas veces útil, en donde se llama a la función desde el cuerpo de la propia función. Por supuesto, si eso es todo lo que hace, se estaría llamando a la función hasta que se acabase la memoria de ejecución, de modo que debe existir una manera de “escaparse” de la llamada recursiva, en síntesis: “Se dice que un objeto es recursivo cuando se define en función de sí mismo” (Jesús Bisbal R., 2009, p. 15).

2.2.5 Prototipo

“Ejemplar original o primer molde de una cosa, que reúne los elementos esenciales de un tipo o clase y sobre el que se basan las posteriores modificaciones, también llamado arquetipo” (Academic,2006, http://www.esacademic.com/dic.nsf/sp_sp_arquitectura/4870/prototipo).

2.2.6 CAD

Diseño Asistido por Ordenador (Computer Aided Design). Técnicas que permiten a los diseñadores, arquitectos, aparejadores, etc., utilizar en su trabajo herramientas informáticas para acortar los tiempos necesarios en el diseño de productos. Un buen programa CAD puede

suponer un importante ahorro de trabajo al diseñador, que puede observar, en tiempo real, cómo afectan pequeños cambios a la estructura global del objeto a diseñar. En arquitectura por ejemplo, el CAD facilita la labor de diseño y de cálculo estructural, aportando también información sobre los materiales a utilizar, etc.

2.2.7 Modelo

Un modelo es un objeto que facilita el estudio de otro. Por ejemplo, los modelos físicos permiten realizar trabajos sobre representaciones a escala de objetos reales (edificios, barcos, coches). Los modelos moleculares se utilizan para observar la posición relativa de los átomos de una molécula. Por otro lado, los modelos matemáticos representan algunos aspectos del comportamiento de los fenómenos modelados mediante datos numéricos y ecuaciones (Ricardo R., 2011, p.1).

También se llama modelo a un esquema básico que sirve para repetir otros similares, aunque puedan hacerse al original, algunas variantes.

2.2.8 Renderización

“La palabra renderización es una adaptación al castellano del vocablo inglés "rendering" y que define un proceso de cálculo complejo

desarrollado por un ordenador destinado a generar una imagen o secuencia de imágenes” (Academic,2011, http://enciclopedia_universal.esacademic.com/73066/Renderizaci%C3%B3n).

Habitualmente se utiliza esta nomenclatura para definir el proceso por el cual se pretende imitar un entorno tridimensional, formado por estructuras poligonales, luces, texturas y materiales, simulando ambientes y estructuras físicas verosímiles. También se suele utilizar para procesos 2D que requieren cálculos complejos como la edición de vídeo, la animación o el desarrollo de efectos visuales.

2.2.9 Geometría

La geometría es una parte de la matemática que trata de estudiar unas idealizaciones del espacio en que vivimos, que son los puntos, las rectas y los planos, y otros elementos conceptuales derivados de ellos, como polígonos o poliedros.

En la práctica, la geometría sirve para solucionar problemas concretos en el mundo de lo visible. Entre sus utilidades se encuentran la justificación teórica de muchos instrumentos: compás, teodolito, pantógrafo, sistema de posicionamiento global. También es la que nos permite medir líneas, áreas y volúmenes. Es útil en la preparación de

diseños, e incluso en la fabricación de artesanías. “Los objetos de la geometría (Puntos, Figuras, Cuerpos, etc.) no pertenecen a un espacio físico real, sino a un espacio teórico” (Horacio I., 2005, p. 10).

2.2.10 Script

Un script o como también se lo conoce como “un conjunto de instrucciones almacenadas en un archivo de texto plano” (Alegsa,1998-2014,<http://www.alegsa.com.ar/Dic/script.php>).

Su uso fundamental resulta a la hora de tener que realizar diversas tareas como ser la combinación de componentes, la interacción con el usuario o con el sistema operativo en cuestión (ver anexo 06).

2.2.11 Virtual

“Que existe sólo aparentemente y no es real, en computación se utiliza para designar a todo aquello que tiene existencia dentro de una simulación informática” (Alegsa,1998,<http://www.alegsa.com.ar/Dic/virtual.php>).

2.2.12 Matriz

Una matriz es una colección ordenada de elementos colocados en filas y columnas, o sea es un arreglo bidimensional de números

(llamados entradas de la matriz) ordenados en filas (o renglones) y columnas, donde una fila es cada una de las líneas horizontales de la matriz y una columna es cada una de las líneas verticales.

2.2.13 Transformación

Mover una figura para que esté en una posición diferente, pero mantiene su tamaño, área, ángulos y longitud de sus líneas. Girar, voltear o deslizar son los movimientos básicos. Este es un ejemplo de un giro (transformación rotacional).

2.2.14 Spline

“Es una curva que conecta dos o más puntos específicos, o que se define por dos o más puntos. El término también puede referirse a la ecuación matemática que define una curva tal” (Wathls,1999, <http://whatis.techtarget.com/definition/spline>). Hace referencia a una amplia clase de funciones que son utilizadas en aplicaciones que requieren la interpolación de datos, o un suavizado de curvas. Los splines son utilizados para trabajar tanto en una como en varias dimensiones.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS PARA LOS PLUGINS DE UTILIDAD

3.1 Metodología

Para el desarrollo de los plugins que serán de utilidad en la construcción y modelado de esculturas en *Arundo Donax*, se optó por usar a técnica de CSG (geometría sólida constructiva) en la construcción de partes componentes generadas por los plugins. Esto para mostrar cómo se construyen paso a paso y haciendo uso de las operaciones booleanas entre objetos podemos describir la composición de los resultados de cada módulo o plugin de utilidad. Cada módulo, puede ser modificado internamente en su estructura por el usuario, así como externamente mediante las transformaciones como rotaciones y traslaciones.

Vemos también como se insertan éstas últimas entre sí para componer la Escultura general. Hecho esto podemos modelar la pieza escultórica, haciéndola rotar sobre el eje z quedando ésta grabada en un clip o generando varias escenas renderizadas.

Por último extraemos toda la información de cada pieza independientemente en una hoja de cálculo (Nombre de la pieza, Coordenadas, color, Diámetro Exterior, Diámetro Interior, Medida Longitudinal, etc.) para de esta manera poder llevar la escultura a la mesa de taller y proceder a la elaboración de una escultura con la caña hueca de medidas más reales.

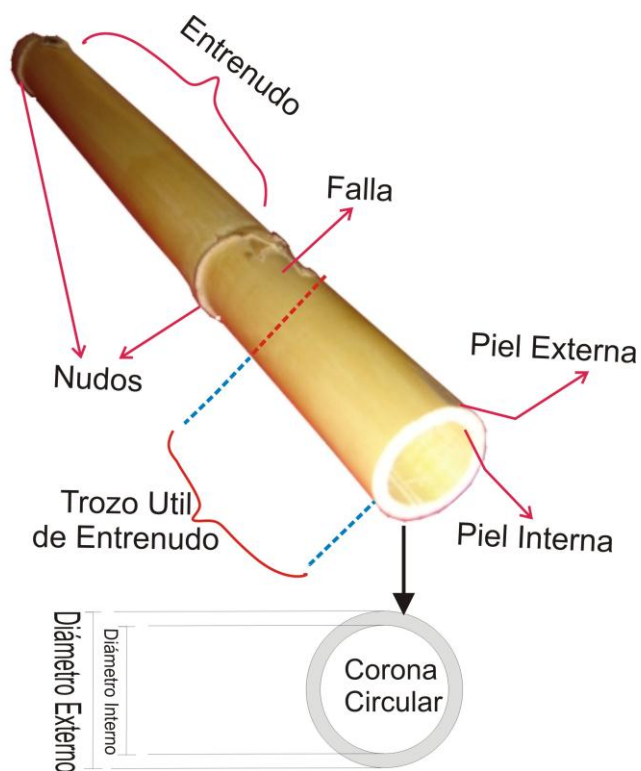


Figura 27. Trozo de *Arundo Donax* y sus partes

Fuente: Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.)

3.2 Reglas de juego en la técnica “Caña a Presión”

- Respetar la forma original de la caña hueca (sin deformarla ni moldearla).
- El rango de diámetros exteriores de caña será de 3mm. – 36 mm.
- Unir dos o varias partes componentes a través de una vara de conexión (trozo de caña) y su agujero respectivo de aprox. 2,5mm.
- El calado será sobre una superficie tubular de mín. 1/3 de LC.(120º) y máx. de 1/10 (36º) de segmento.
- Los tubos podrán ser con chaflán si así lo requiere el modelo
- No usar pegamento alguno entre sus partes componentes.
- Al unir la vara de conexión a dos o más componentes, quitar en exceso superficial si así lo requiere el modelo.
- Al unir la vara con un tubo de manera ortogonal debemos darle un ángulo en el rango de (45º - 135º).
- Colocar o embrocar un tubo dentro de otro para formar volúmenes. considerando que el diámetro exterior del tubo más pequeño debe coincidir con el diámetro interior del más grande.
- Colocar o embrocar una vara de caña dentro de un tubo.
- Formar bloques por separado y unirlos al final para componer la escultura final.

3.3 Principales elementos tubulares

Entre los principales elementos tubulares destacamos las siguientes:

- Tubo (entrenado de la caña)

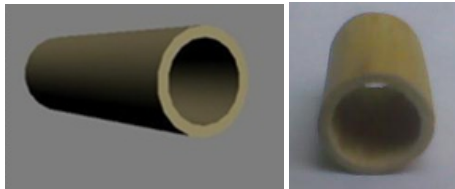


Figura 28. Tubo de caña virtual y real.

Fuente: Propia

- Varas (trozos de filamentos verticales)



Figura 29. Vara de caña virtual y real.

Fuente: Propia

- Tapas (nudos)

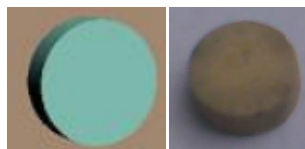


Figura 30. Tapa de caña virtual y real.

Fuente: Propia

3.4 Análisis e instrumentos matemáticos

3.4.1 Identificación de primitivas

Las primitivas son aquellas que comúnmente poseen los software de modelamiento y animación 3D y específicamente en el software usado en esta tesis; 3D Studio Max 2012. Esta primitivas pueden encontrarse en una lista desplegable tanto en la sección del menú *Create* de la interfaz principal, como en la sección derecha de esta misma interfaz como una lista dinámica (*Primitivas Estandar* y *Primitivas Extendidas*). Las primitivas utilizadas para la generación de componentes de la escultura son:

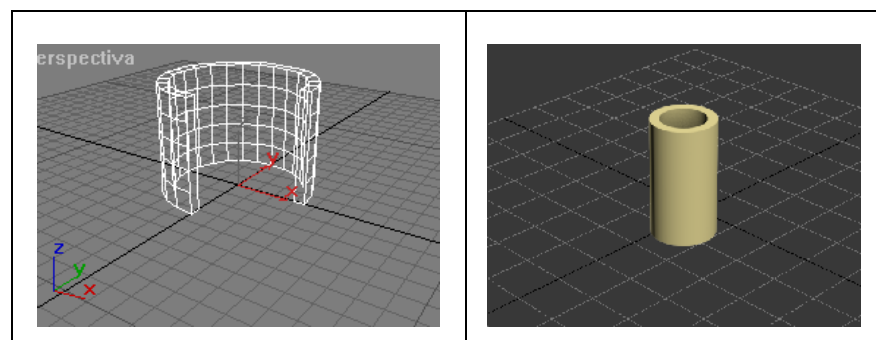


Figura 31. Primitiva “Tubo”.

Fuente: Propia

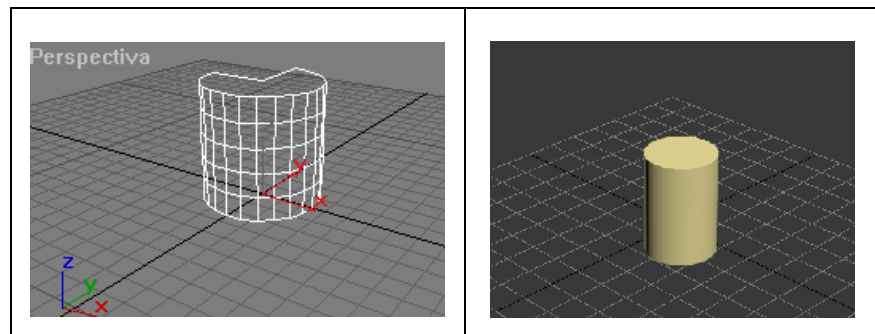


Figura 32. Primitiva “Cilindro”.

Fuente: Propia

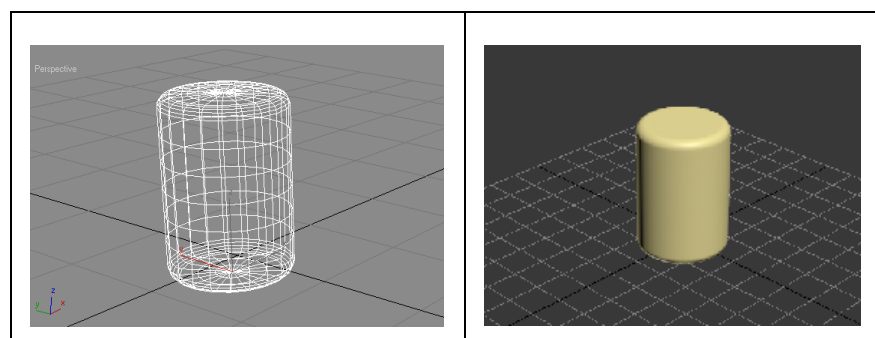


Figura 33. Primitiva “Cilindro con Chablán”.

Fuente: Propia

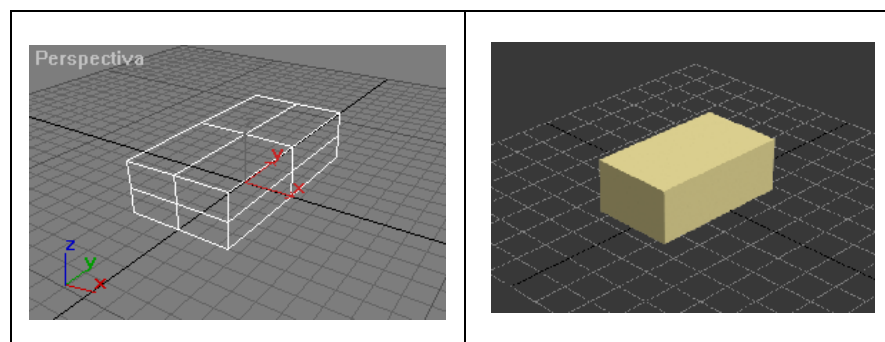


Figura 34. Primitiva “Caja”.

Fuente: Propia

3.4.2 Identificación de los algoritmos

Los algoritmos utilizados, son la secuencia de pasos que se han de llevar a cabo en los procesos de construcción de componentes de la escultura, en su estructura estos algoritmos trabajan con objetos 3D primitivos y realiza operaciones booleanas que el software base (3D Studio) nos ofrece.

TROMPO

El algoritmo “Trompo” tiene como fin modelar un cuerpo sólido compuesto de varios segmentos de tubo con chaflán, concéntricos.

Algoritmo TROMPO (Recursivo)

1. Inicio
 2. Leer Datos: DEXT (Diámetro Exterior)
LONG (Longitud de entrenudo)
POSINI (Posición de altura inicial respecto a plano XY)
 3. Si $LONG \leq DEXT * 7,146$
Entonces
Volver al paso 2
Sino
Ir al Paso 4
/* Fin de Condición 3*/
 4. Hacer $BANDERA \leftarrow 0$
 5. SubRutina: TROMPO(DEXT, LONG, POSINI, BANDERA)
 6. Obtener: Objeto 01 con medidas
Objeto 02 con medidas
.
Objeto N con medidas
- Fin.

Subrutina TROMPO(DEXT, LONG, POSINI, CENTINELA)

1. Si $DEXT > 3$

Entonces

Crear Cilindro Chaflán 01 (Primitiva)

$Y \leftarrow AX + B$ (Y: Diámetro Interior)

$NUEVALONG \leftarrow LONG + (DEXT - Y)$

Crear Cilindro Chaflán 02 (Primitiva)

Realizar Op. Bool Diferencia(Cilindro01 – Cilindro02)

Crear Cilindro 03 (Primitiva)

$NUEVAPOS \leftarrow POSINI - (DEXT - Y) / 2$

$PIEZA \leftarrow 3 * (DEXT - Y) / 2$

1.1 Si $CENTINELA == 0$

Entonces

$CENTINELA \leftarrow 1$

1.2 Si $DEXT > (LONG * 3, 34)$

Entonces

$DEXT \leftarrow 2$

Sino

Realizar Op. Bool Diferencia(Cilindro01 – Cilindro03)

/* Fin de Condición 1.2*/

TROMPO(Y, NUEVALONG, NUEVAPOS, CENTINELA)

/* Fin de Condición 1.1*/

/* Fin de Condición 1*/

ARTICULACIÓN

El algoritmo “Articulación” tiene como fin modelar un componente articulado de 3 partes, consta de 2 segmentos de tubo, y 1 segmento tubular denominado “Codo”. Que es de mucha importancia cuando queremos modelar una parte delgada y articulada de una escultura.

Algoritmo ARTICULACIÓN.

1. Inicio
2. Leer Datos: DEXT (Diámetro Exterior del segmento 01)
LONG1 (Longitud de segmento 01)
ANG1 (Ángulo en corte vertical para hallar arco del segmento 01)
LONGART (Longitud de codo)
LONG2 (Longitud de segmento 02)
ANG2 (Ángulo de inclinación de segmento 02)
3. Si $LONG1 \leq (DEXT * 7,146)$
Entonces
SubRutina: CREA_SEGMENTO(DEXT, LONG1, ANG1)
SubRutina: GENERA_DI_CODO(SEGTUBE, ANG1)
SubRutina: CREA_SEGMENTO(DIAEXT, LONGART, 0)
Hacer copia de SEGTUBE (SEGTUBE 02)
Mover Ubicación de SEGTUBE 02
SubRutina: CORTADOR(SEGTUBE 02)
SubRutina: CORTADOR(CODO)
Sino
Ir al paso 2
/* Fin de Condición 3*/
4. Obtener: Objetos con medidas
5. Fin.

Subrutina CREA_SEGMENTO(DIAMETRO, LONGITUD, ANGULO)

1. Crear Tubo (Primitiva)
2. Rotar Objeto Tubo 90° sobre eje X
3. Mover Pivote de Segmento de Tubo sobre coordenada (0,0) de plano XZ.

Subrutina CORTADOR(OBJETO)

1. Crear Caja (Primitiva)
2. Modificar Posición de Caja (Rotar y Trasladar)
3. Realizar Op. Booleana Diferencia(OBJETO – CAJA)

Subrutina GENERA_DI_CODO(SEGMENTOTUBO, ANGULO)

1. Calcular Apotema Interior y Exterior
2. Calcular Coordenadas (X1, Y1) y (X2, Y2)
3. Calcular Pendiente de Recta $m \leftarrow (Y2 - Y1) / (X2 - X1)$
4. Calcula Pto. Medio entre X1 y X2, también entre Y1 y Y2
5. Calcular Pendiente Perpendicular a Recta entre los puntos (X1, Y1) y (X2, Y2) $m_{\perp} = -1/m$
6. Calcular Ec. de Recta $Y = AX + B$

CALADOR

El algoritmo “Calador” tiene como fin la obtención y posterior modelado de un trozo calado de un segmento tubular, aplicando operaciones booleanas ente objetos.

Algoritmo CALADOR.

1. Inicio
2. Leer Datos: DIAMEXTREF (Diámetro externo referenciado)
N (Número de particiones de un objeto Tubo)
3. SubRutina: CREA_SEGMENTO_TUBO(DIAMEXTREF,N)
4. Dibujar Forma de calado (Spline)
5. Si (Selección Actual==Spline)
Entonces
 Calcular Apotema Exterior
 Calcular Apotema Interior
 Calcular Longitud de Cuerda Interior
 Calcular Longitud de Cuerda Exterior
 Calcular Cantidad de Vértices
 Calcular Coeficiente de Mengua
 Hacer Extrusión.
Sino
 Volver al Paso 4
 /* Fin de Condición 5*/
6. Subrutina:ESCALADOR(VERTICE1,VERTICEMEDIO,COEFMENG)
7. Subrutina: ESCALADOR(VERTICEMEDIO +1,CANT_VERTICES, COEFMENG)
8. Realizar Op. Bool Intersección(Spline \cap SEGMENTO_TUBO)
9. Obtener: Objeto Calado con medidas
10. Fin.

Subrutina CREA_SEGMENTO_TUBO(DIAMETROREF, CANT_DIV)

1. $DIAMEXTERNO \leftarrow DIAMETROREF/0,674$
2. $LONGITUD_SEGMENTO \leftarrow DIAMEXTERNO/0,197$
3. Crea Primitiva TUBO.
4. Rotar 90° la primitiva TUBO sobre eje X
5. Ubicar Pivote de Segmento de Tubo sobre coord. (0,0) plano XY

Subrutina ESCALADOR (VERTICEINICIO,VERTICEFIN, COEFMENG)

1. Capturar vértices de objeto extruido
2. Incremento de posición de los vértices y su pivote.
3. Fin.

TAPA

El algoritmo “Tapa” tiene como fin modelar un cuerpo circular para evitar la vista de la parte hueca del tubo.

Algoritmo TAPA.

1. Inicio
2. Leer Datos: DIAMEXTERNO (Diámetro Externo)
LONGITUD(Longitud de la tapa)
3. Si $LONGITUD > DIAMEXTERNO * 7,145$
Entonces
 $Y \leftarrow AX + B$ (Y: Diámetro Interno)
 Crear Primitiva Cilindro 01
 Crear Primitiva Cilindro 02(Con Chaflán)
 Realizar Op. Bool Diferencia(Cilindro 01 – Cilindro 02)
Sino
 Volver al paso 2
 /* Fin de Condición 3*/

4. Obtener: Objeto Tapa con medidas
5. Fin.

EXTRACTOR (Algoritmo complementario)

El presente algoritmo tiene por objetivo capturar los datos de todos los objetos encontrados en el espacio de trabajo del prototipo y extraer sus medidas para ser llevadas a una hoja de cálculo MS-EXCEL.

1. Inicio
2. Seleccionar con el mouse objetos de espacio de trabajo.
3. Si (Selección Actual != Nulo)
 - Entonces
 - Capturar Cantidad de Objetos
 - Capturar Medidas de Objetos
 - Capturar Color de Objetos
 - Capturar Coordenadas de Objetos
 - Crear y Guardar los datos en una hoja de Cálculo
 - Sino
 - Escribir "Selecciona Objetos por favor" y volver a paso 2.
 - /* Fin de Condición 3*/
4. Fin.

3.4.3 Diagramas de flujo

Para un desarrollo adecuado de los plugins, fue necesario hacer los diagramas de flujo correspondientes a cada módulo, ya que dichos diagramas facilitarán la construcción de la escultura objetivo.

Teniendo en cuenta esto, se realizaron los siguientes diagramas de flujo:

3.4.3.1 Plugin “Trompo”

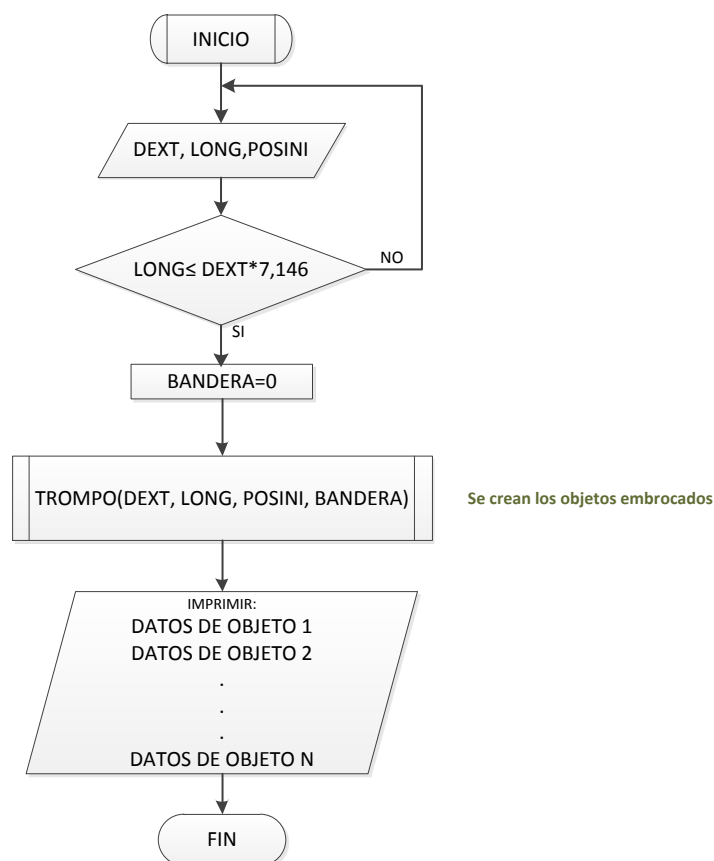


Figura 35. Diagrama de flujo de plugin TROMPO.

Fuente: Propia

Sub Rutina del Plugin “Trompo”

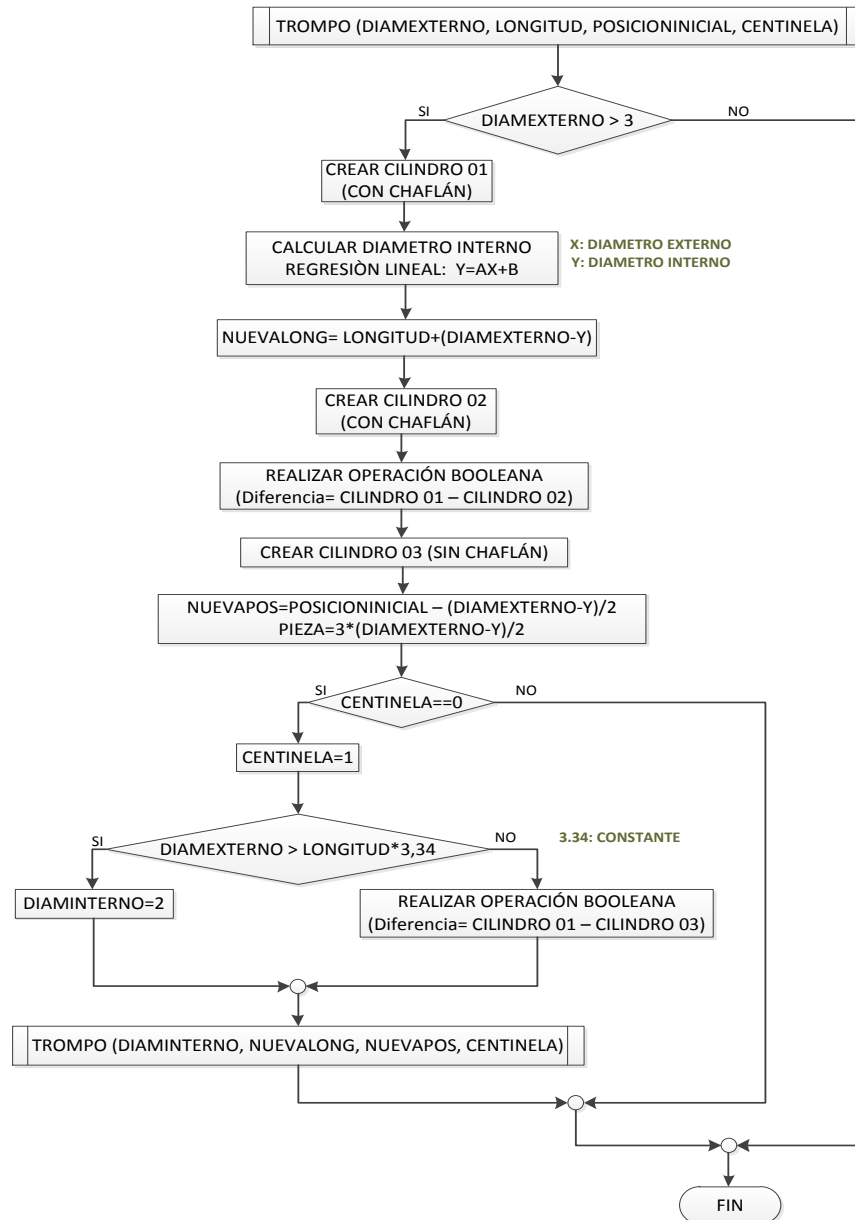


Figura 36. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin TROMPO.

Fuente: Propia

3.4.3.2 Plugin “Articulación”

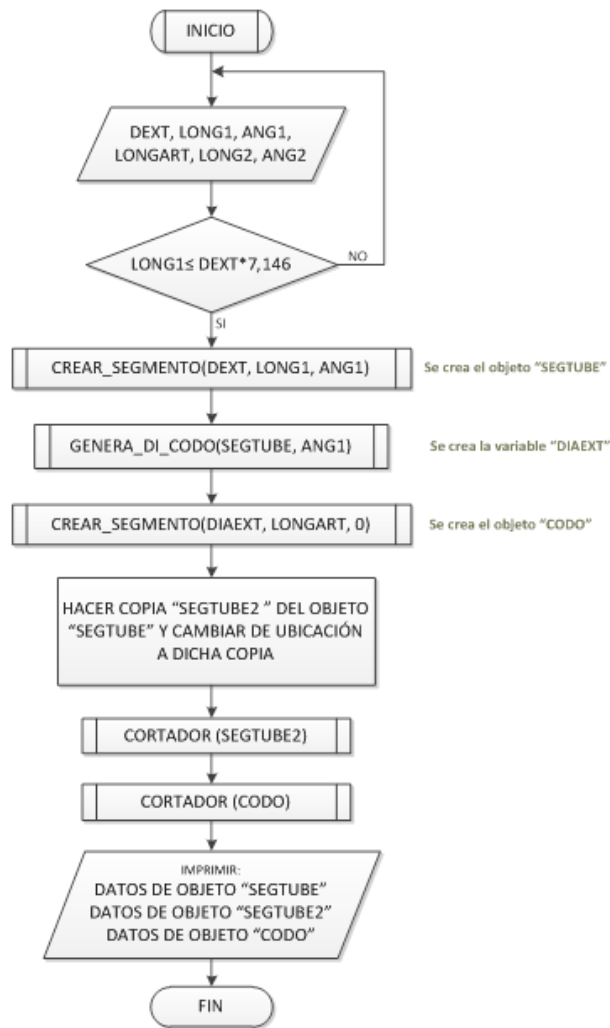


Figura 37. Diagrama de flujo de plugin ARTICULACIÓN.

Fuente: Propia

Sub Rutinas del Plugin “Articulación”

- **Crear Segmento**

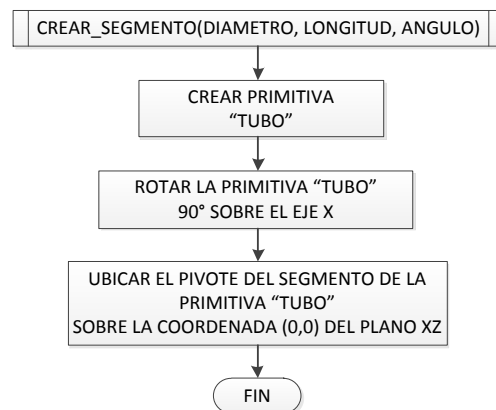


Figura 38. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Articulación” CREAR SEGMENTO.

Fuente: Propia

- **Cortador**

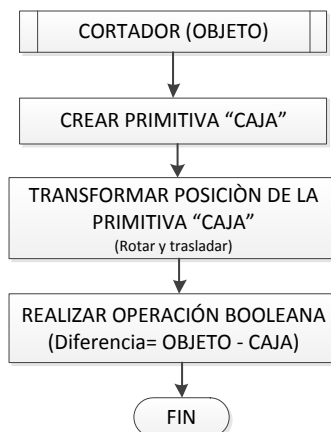


Figura 39. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Articulación” CORTADOR

Fuente: Propia

- **Generar Codo**

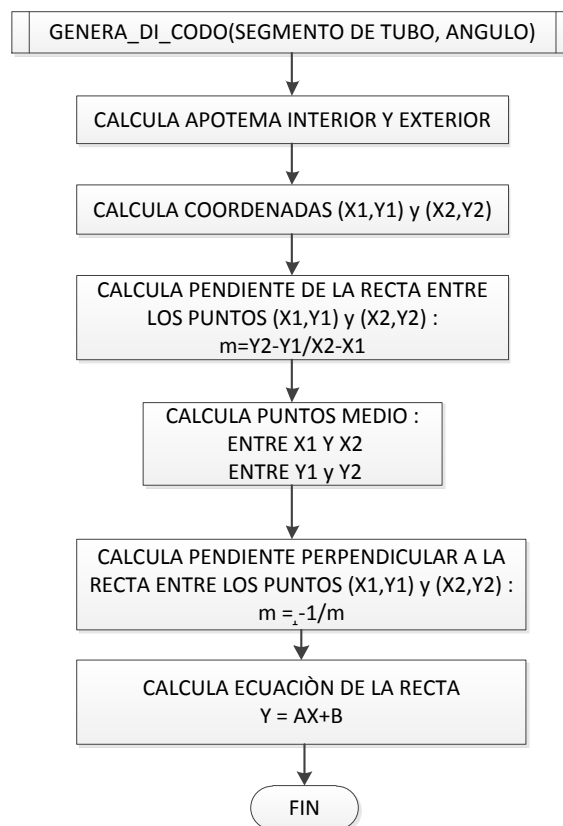


Figura 40. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Articulación” GENERAR CODO.

Fuente: Propia

3.4.3.3 Plugin “Calador”

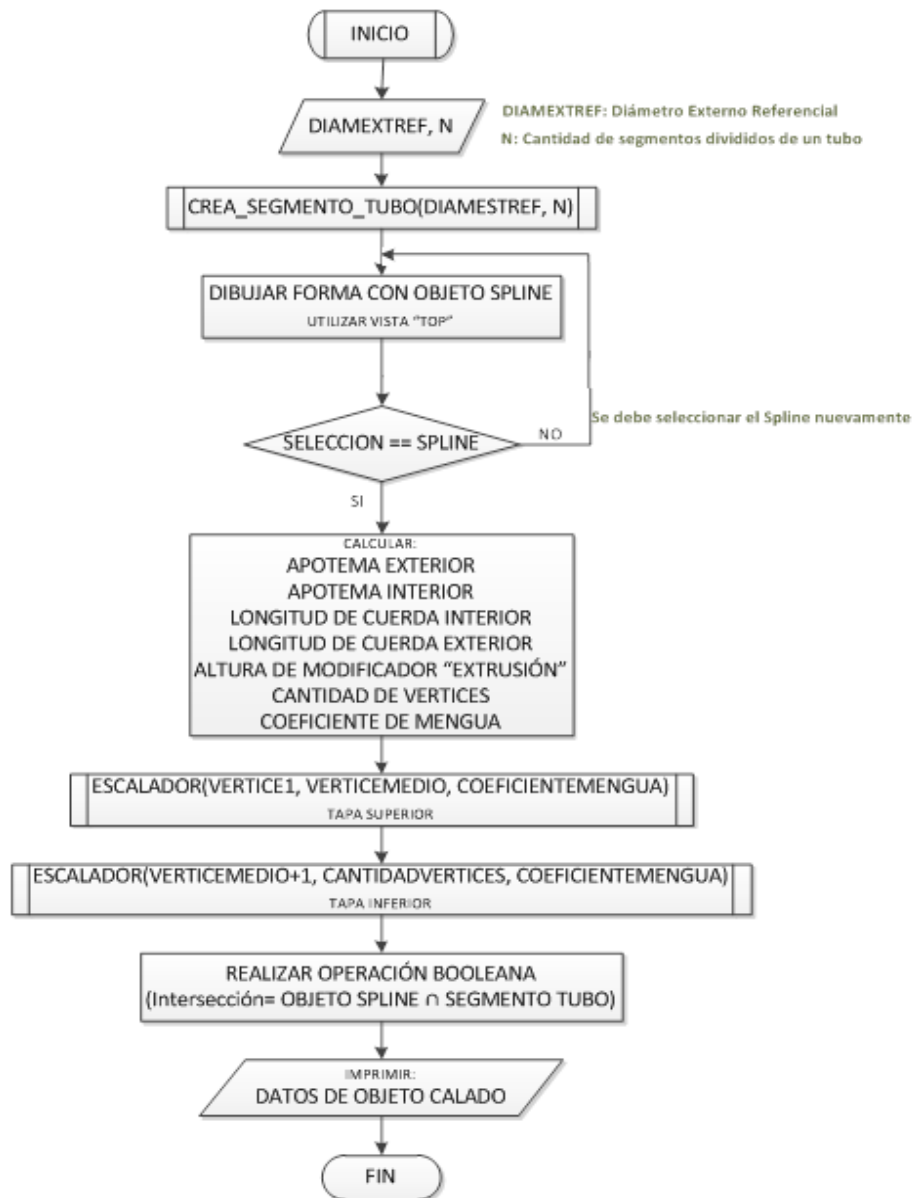


Figura 41. Diagrama de flujo de plugin CALADOR.

Fuente: Propia

Sub Rutinas del Plugin “Calador”

- **Crear Segmento tubo plataforma**

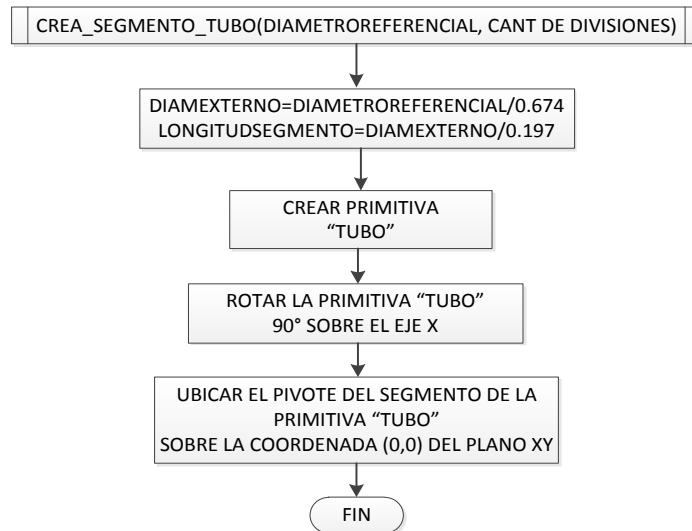


Figura 42. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin “Calador”
CREAR SEGMENTO TUBO

Fuente: Propia

- **Crear Segmento transforma vértices**

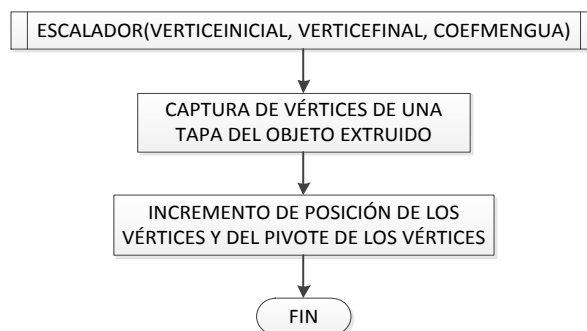


Figura 43. Diagrama de flujo de la subrutina del plugin
“Calador” ESCALADOR.

Fuente: Propia

3.4.3.4 Plugin “Tapa”

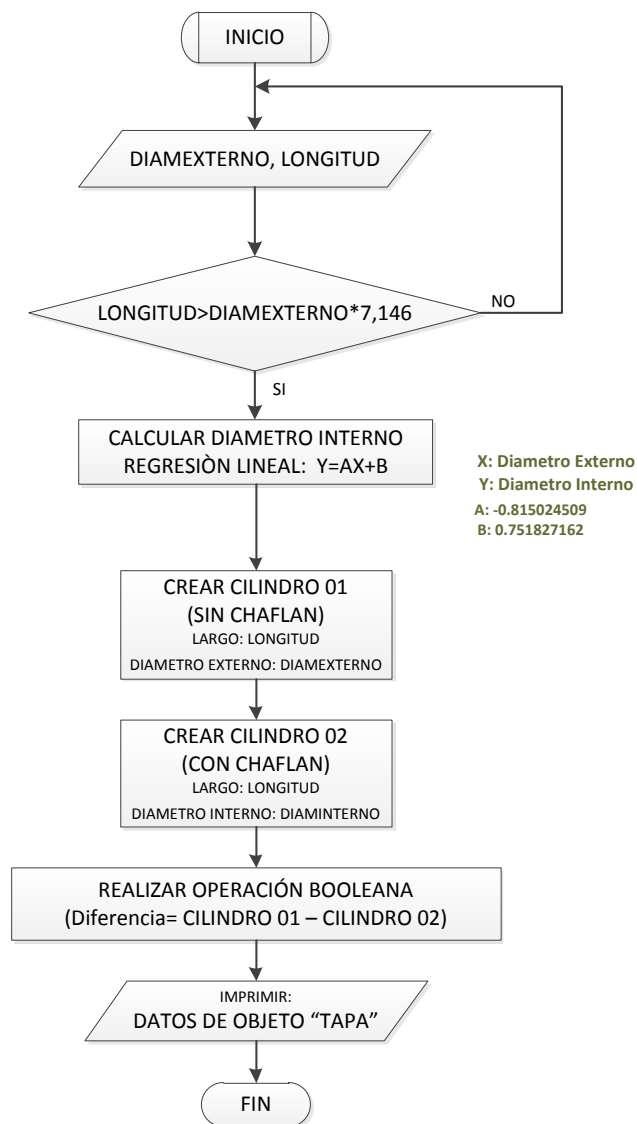


Figura 44. Diagrama de flujo de plugin TAPA.

Fuente: Propia

3.4.4 Modelamiento del sistema

3.4.4.1 Diagrama de casos de uso: Generar Componente.

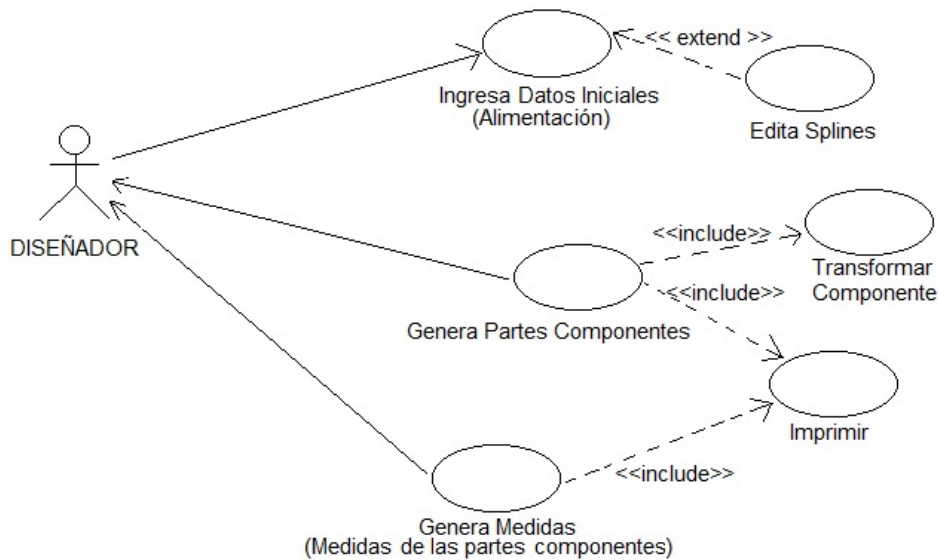


Figura 45. Diagrama de casos de uso.

Fuente: Propia

3.4.4.2 Especificación de casos de uso: Generar Componente

Tabla 2. Especificación de casos de uso

Nombre CU	Generar Componente
Precondición	Petición del diseñador para Generar Componente
Post-condición	El plugin obtiene varios objetos 3D (Componente)
Secuencia Normal	<ol style="list-style-type: none"> 1 El diseñador solicita generar Parte Componente 2 El diseñador ingresa datos iniciales 3 El plugin realiza cálculos para generar el componente. Se obtiene el componente y se transforma el 4 componente
Excepciones	No existen excepciones

Fuente: Propia

3.4.5 Implementación de componentes

3.4.5.1 Código fuente

El código fuente de los plugins generadores por los componentes se pueden visualizar en el anexo 06.

3.4.5.2 Generación de componentes

Veamos cómo se generan los componentes a través de los plugins de utilidad (ver anexos 04 y 05).

Plugin TROMPO

Plugin que crea un cilindro grande y embroca un cilindro de menor diámetro externo que coincidan con su diámetro interno y de mayor longitud si se desea. Los datos de ingreso son el diámetro exterior del cilindro grande, este diámetro exterior estará en un rango que se pueda trabajar en la técnica de la escultura de caña hueca (ejm. 7mm). Además este cilindro grande no puede tener una longitud mayor a la existente tomada de la realidad (ejm. 10mm.) según su diámetro ingresado. Ubicamos la posición en la cual mostraremos el componente (ejm. X=10mm.) si se desea se le da un chaflán a cada borde de los tubos resultantes. Los cilindros generados hasta el más pequeño son

producto de operación booleana de sustracción del mayor cilindro menos el menor.



Figura 46. Formulario de ingreso de datos para generar un cuerpo sólido compuesto.

Fuente: Propia

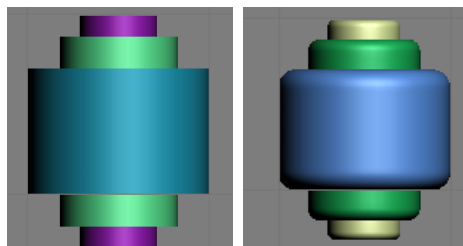


Figura 47. Cuerpos sólidos generados sin chaflán (izquierda) y con chaflán (derecha).

Fuente: Propia

Las medidas de cada parte componente podemos obtenerla con el software plataforma.



Figura 48. Medidas y nombres de cada pieza generada (Nomenclatura: **DEXDIYLZ+NOMBRE**).

Fuente : Propia

El funcionamiento interno de dicho algoritmo se detalla a través del plugin *Trompo*, en el siguiente esquema:

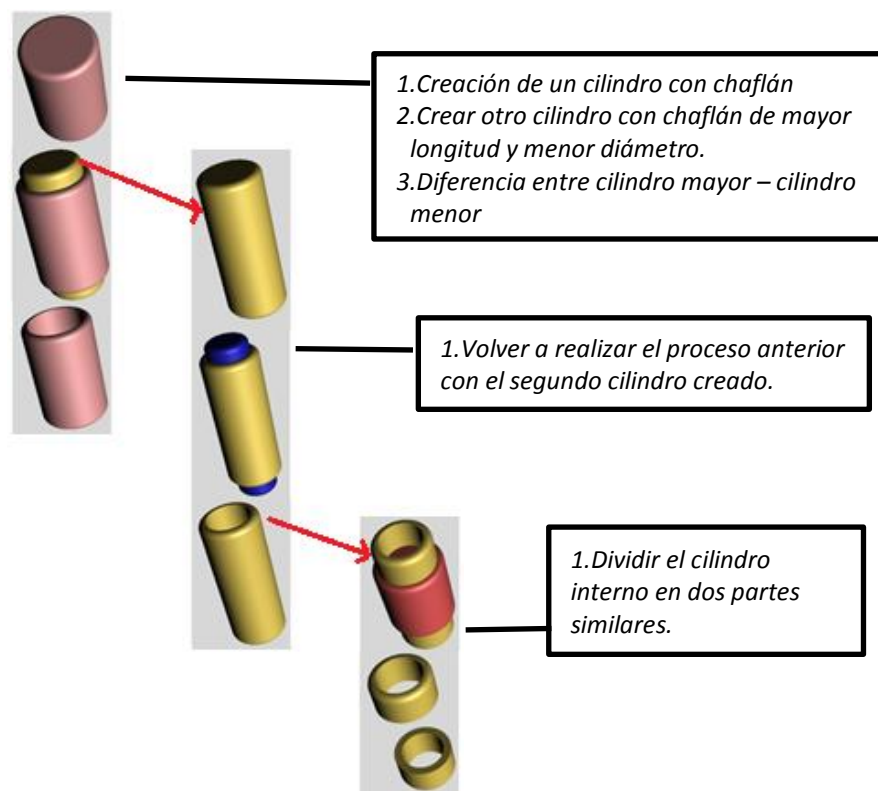


Figura 49. Funcionamiento del plugin “Trompo”

Fuente: Propia

Plugin ARTICULACIÓN

Plugin que crea primero una vara caña de una longitud determinada (ejm. 25mm.) según el diámetro inicial de la caña generatriz (ejm. 10mm.) ésta vara tendrá la medida de 30° de toda la longitud de la

circunferencia generatriz y va embrocada a un tubo de diámetro interior determinado por los vértices del trapecio circular visto de manera transversal de la vara y de longitud variada (ejm. 8mm). En seguida crea otra vara de igual longitud que la primera y está conectada de manera perpendicular al tubo con un ángulo de inclinación (ejm. 45°).



Parameter	Value
Diametro Exterior Segmento 1(mm):	10,0
Longitud Segmento 1(mm):	25,0
Ángulo Arco Segmento 1(°):	30,0
Longitud de articulación(mm):	8,0
Angulo Inclinación Segmento2(°):	45

Crear Segmentos / Articulación

Figura 50. Formulario de ingreso de datos para generar una articulación compuesta.

Fuente : Propia

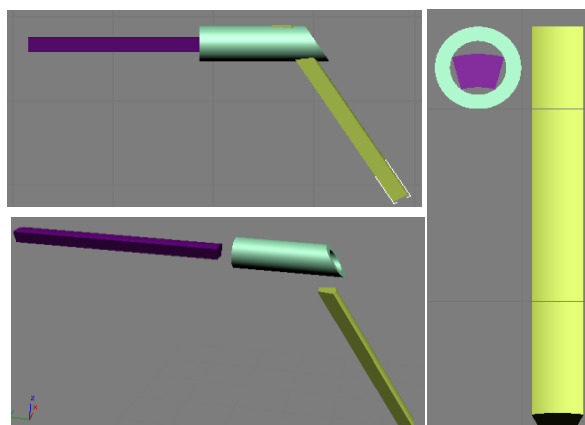


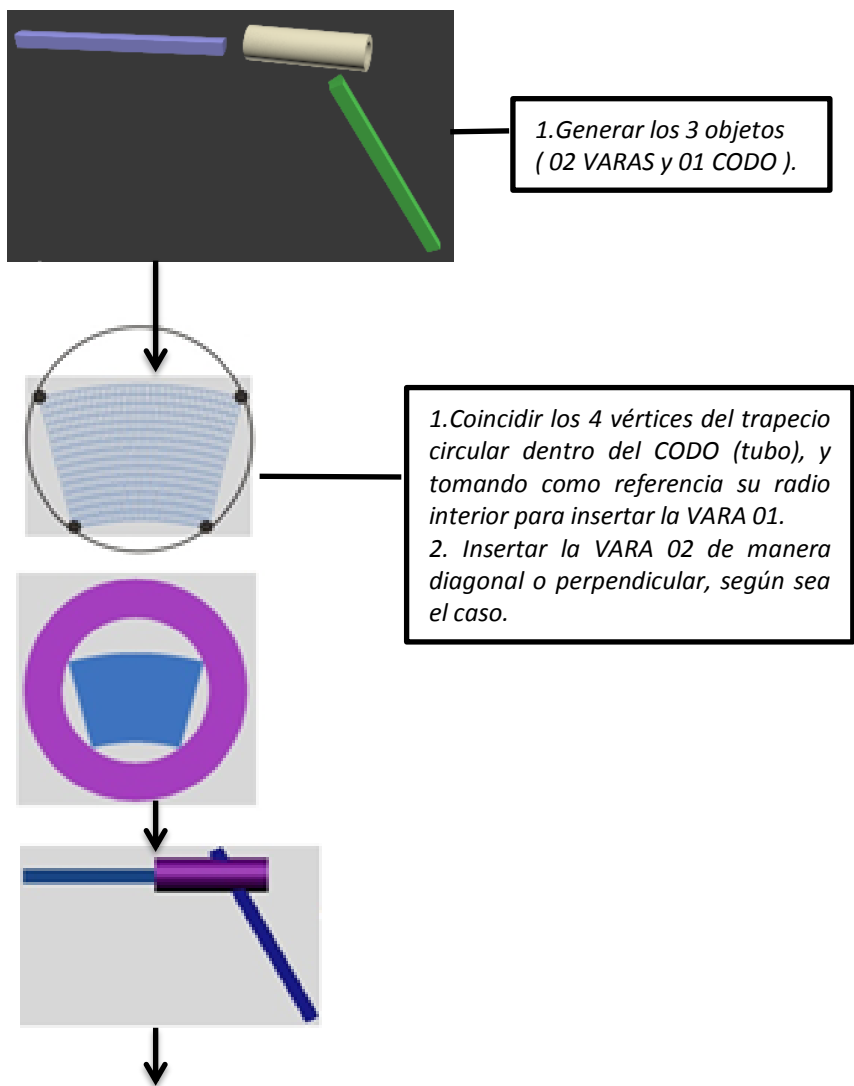
Figura 51. Vistas de las partes generadas de la articulación.

Fuente: Propia

Las medidas de cada pieza de articulación los brinda el sistema CAD:



El funcionamiento interno de dicho algoritmo se detalla a través del plugin *Articulación*, de la siguiente forma:



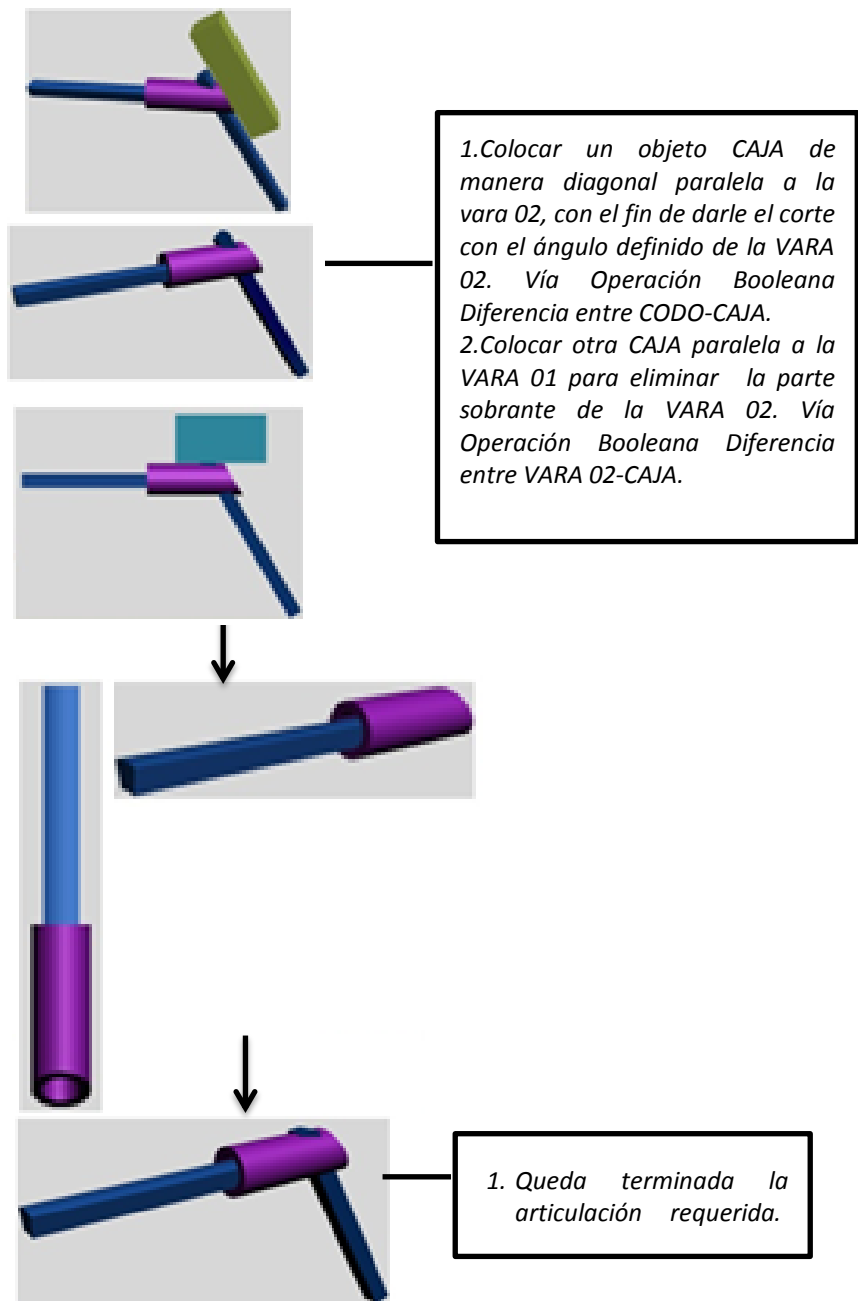


Figura 52. Funcionamiento del plugin *Articulación*
Fuente: Propia

Plugin CALADOR

Plugin que crea de un trozo de tubo de longitud determinada según el diámetro exterior ingresado (ejm. 10mm.) sobre el cual se acoplará el calado. El segmento de tubo es la cantidad de segmentos divididos en la longitud de la circunferencia del tubo (ejm. Dividido en 4 partes). Una vez creado el segmento de caña se procede al calado primeramente debemos crear una línea en la vista superior de las vistas del software CAD de la forma que queremos darle al calado (ejm. Ala de avispa). Seguidamente presionamos el botón “Calar” que hará una extrusión a la línea y este objeto proyectado sobre el trozo de caña y con una operación booleana de intersección obtenemos el calado resultante del segmento de caña inicial

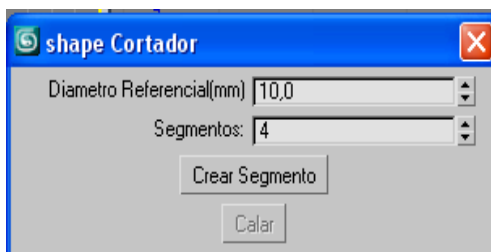


Figura 53. Formulario de ingreso de datos para generar una pieza de caña calada.

Fuente: Propia

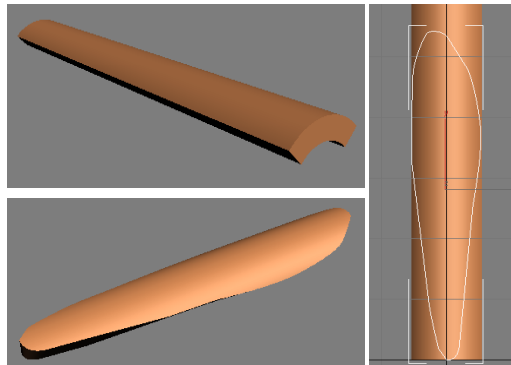
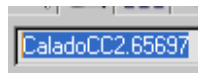
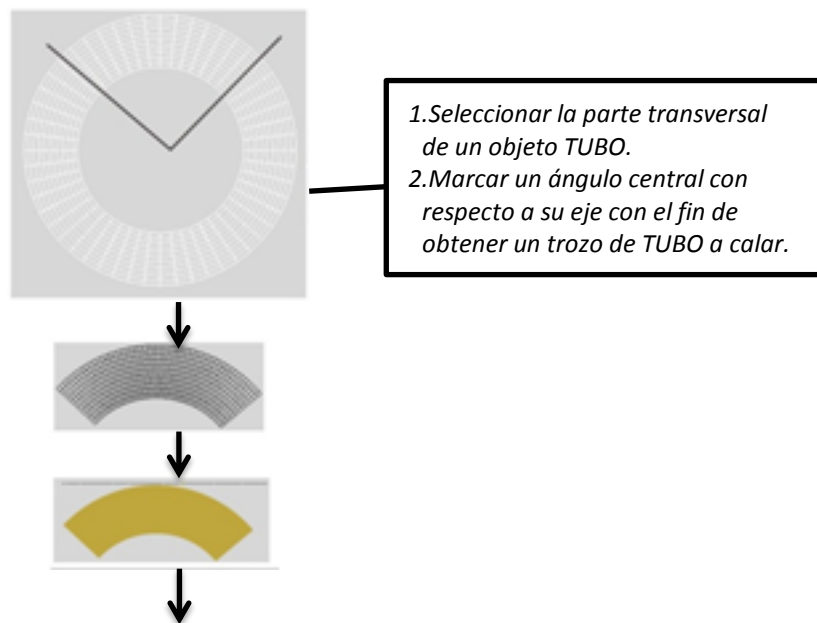


Figura 54. Trozo de caña calada generada.
Fuente: Propia

El nombre de la pieza calada guarda el grosor de la corona circular:



El funcionamiento interno de dicho algoritmo se detalla a través del plugin *Calador*, de la siguiente manera:



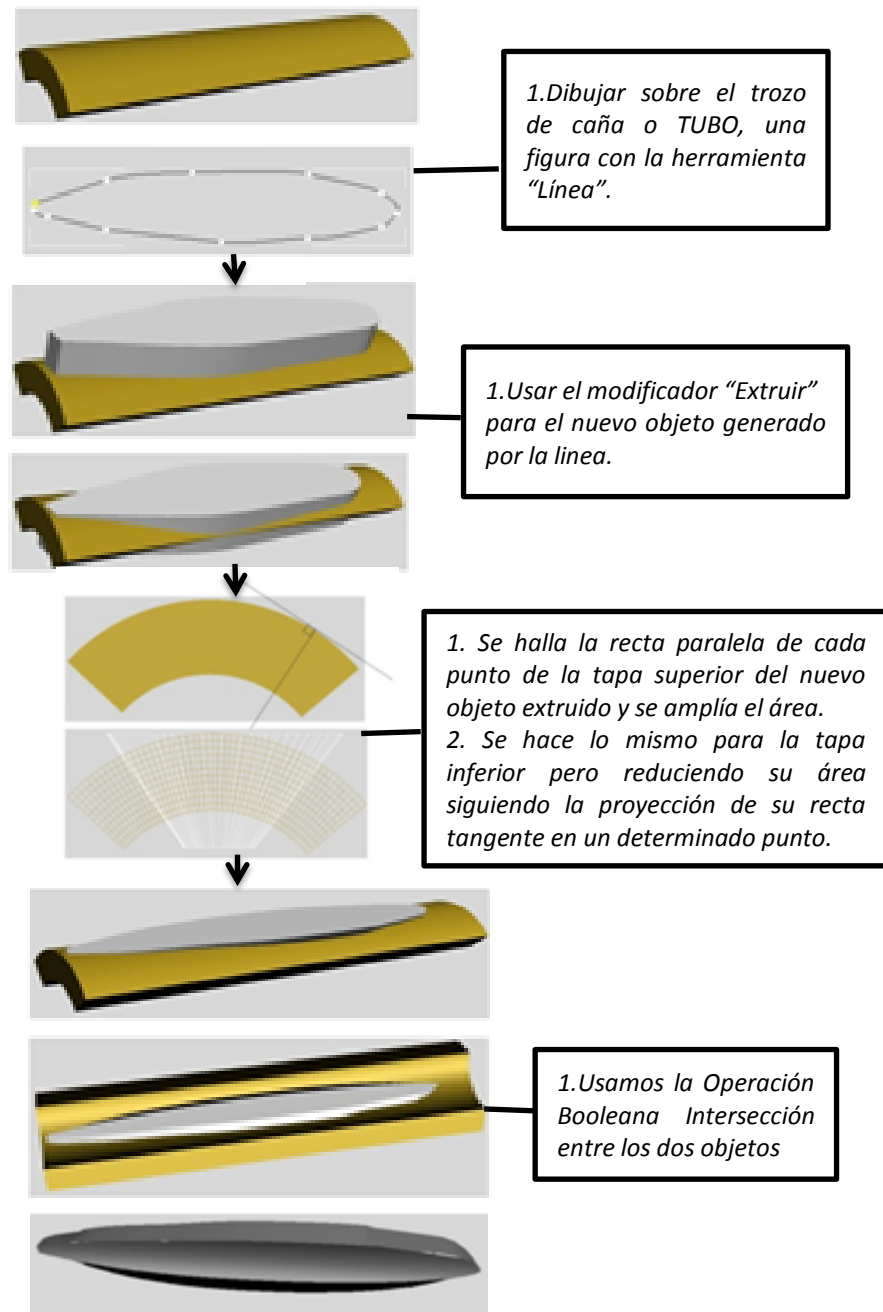


Figura 55. Funcionamiento del plugin *Calador*.
Fuente: Propia

Plugin TAPA

Plugin que crea el nudo de la caña lijada que resulta de un cilindro extraído de otro de mayor diámetro (Ejm.10mm.) y longitud determinada (ejm. 3mm). Todo esto por intermedio de una operación booleana de Sustracción del cilindro grande menos el pequeño.

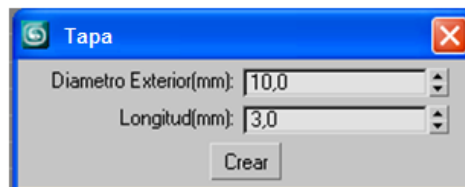


Figura 56. Formulario de ingreso de datos para generar una tapa de segmento tubular.

Fuente: Propia

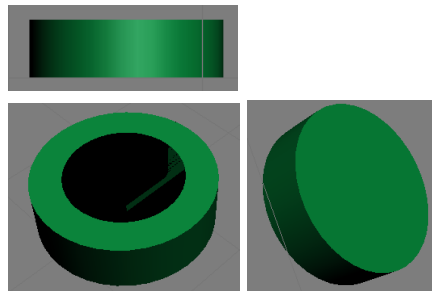


Figura 57. Tapa de caña generada virtualmente.

Fuente: Propia

Resultado de la medida de la tapa:



El funcionamiento interno de dicho algoritmo se detalla a través del plugin *Tapa*, de la siguiente manera:

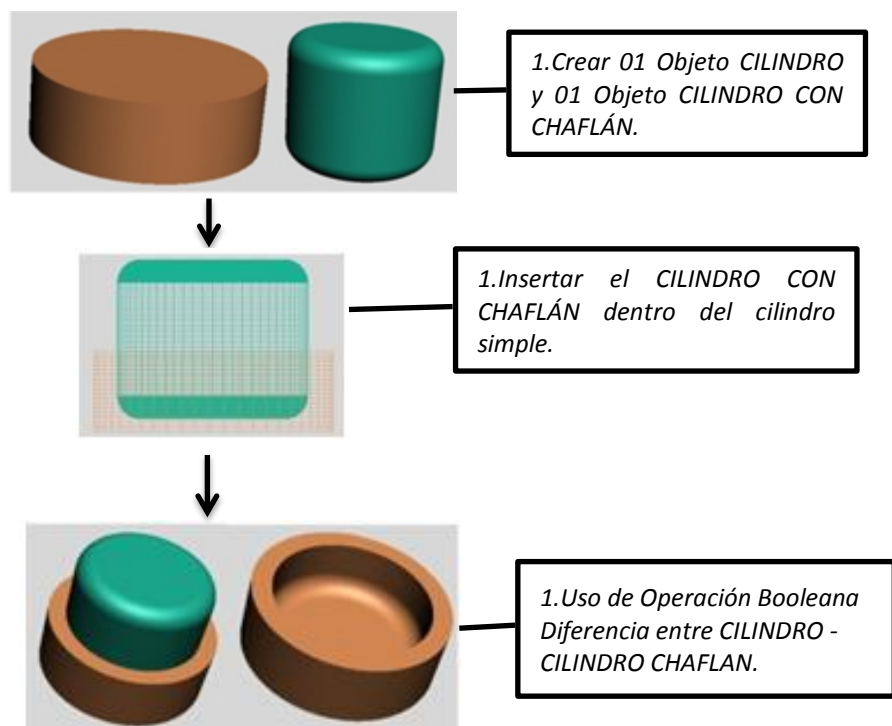


Figura 58. Funcionamiento del plugin *Tapa*


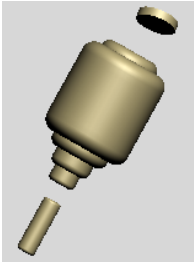
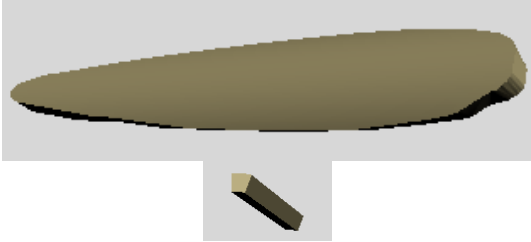
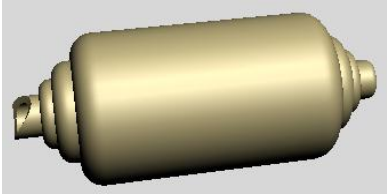
Fuente: Propia

CAPÍTULO IV

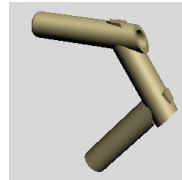
CONSTRUCCIÓN Y MODELAMIENTO DE PROTOTIPOS VIRTUALES

Para modelar cada una escultura construida a través de cada componente generado por los plugins pondremos de muestra la escultura de una avispa.

Tabla 3. Aplicación de plugins y generación de componentes

PIEZAS	COMPONENTE
Antena Aplicación del plugin <i>Calador</i>	
Cabeza Aplicación del plugin <i>Embrocador y Tapa</i>	
Ala Aplicación del plugin <i>Calador</i> y un segmento de Tubo	
Torax Aplicación del plugin <i>Embrocador</i>	

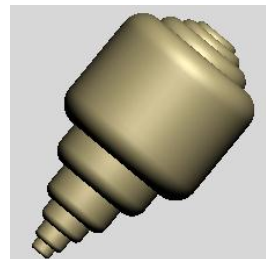
Cintura
Aplicación de modelado manual



Patas
Aplicación del plugin *Articulación*



Abdomen
Aplicación del plugin *Embrocador*



Agijón
Aplicación del plugin *Calador*



Fuente : Propia

Cada pieza será modelada manualmente en las vistas del software CAD para poder ubicar sus coordenadas respectivas. Cuando el prototipo esté listo se abstrae las medidas de las partes componentes

para ubicar midiendo con el vernier calibrado dichas piezas en la naturaleza (en los culmos de la caña hueca) y trabajarlas para poder obtener la escultura final de caña a presión.

La construcción de la escultura digital comienza desde el boceto inicial en papel, luego de esto se realizan trazos con lápiz para poder obtener direcciones de la caña sobre la orientación del dibujo. Posteriormente con cierta agudeza se debe separar en bloques la escultura final para poder ser ensamblada por partes. Cada bloque obedece al criterio siguiente; “No se puede armar de un solo paso toda la pieza porque se incurre en darle mucha turbulencia a las piezas ya ensambladas mientras intentamos insertar nuevas partes componentes”. En cada bloque algunos objetos SCG que no son más que objetos resultantes de aplicar algoritmos 3D y nos queda sólo 01 objeto, así mismo encontramos otras agrupaciones llamadas “Componentes” que no son más que un grupo de objetos, resultado de aplicar los algoritmos 3D. Todo esto se muestra en un árbol donde las hojas terminan siendo objetos o componentes, mas no bloques (ver anexo 12).

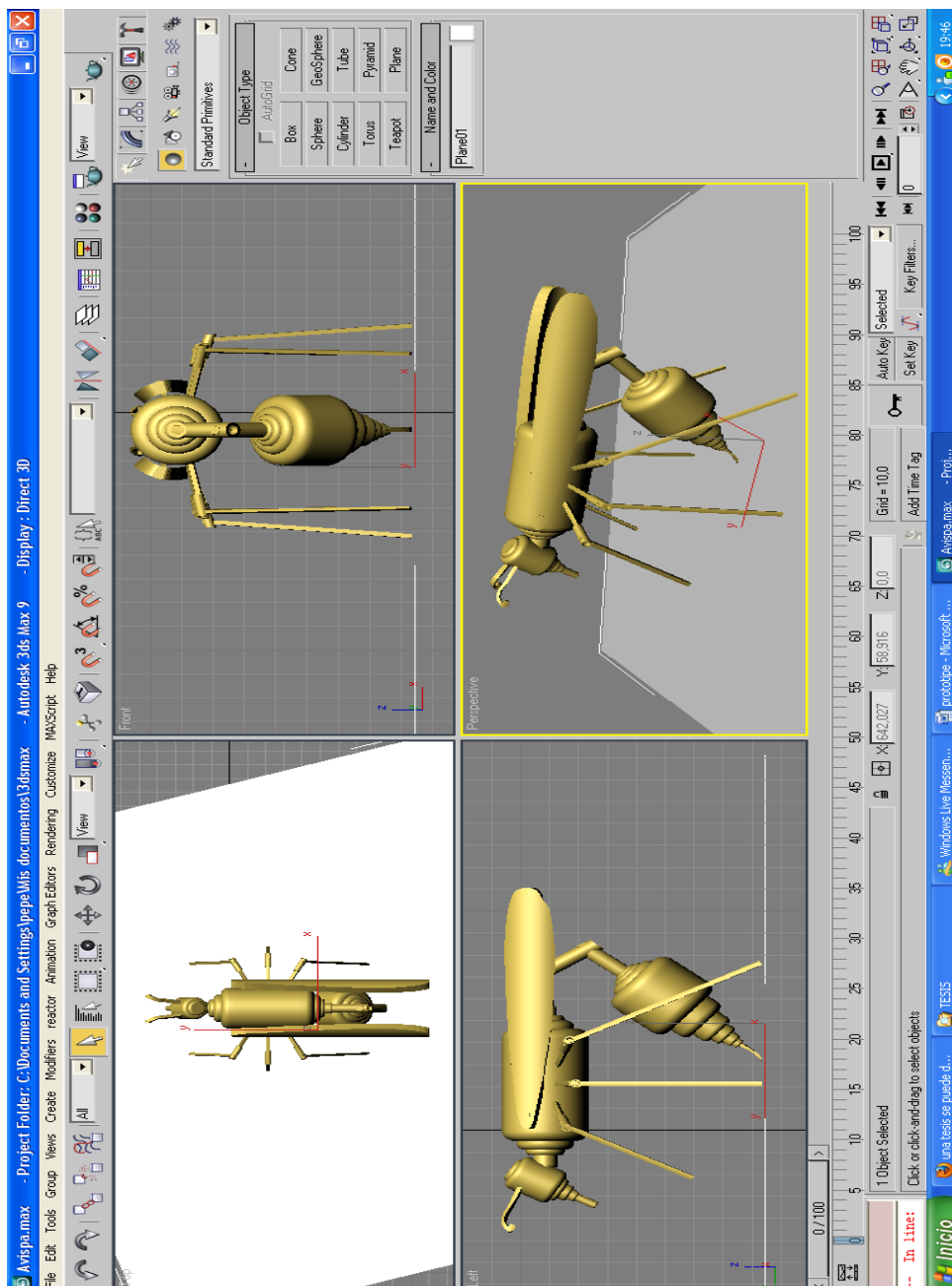


Figura 59. Modelamiento de la escultura digital en el entorno 3D Studio Max.

Fuente: Propia

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Los resultados logrados con el uso de estos algoritmos de utilidad para generar componentes que luego serán integrados a la escultura final, haciendo uso de transformaciones matriciales (Rotar/Mover) se pueden observar en el siguiente versus con un 95% de proximidad a la escultura final física. A continuación se presenta un cuadro comparativo demostrando por qué se debe utilizar estos algoritmos en el modelado de estas esculturas de arundo donax, pero antes se debe tener en cuenta que para poder hacer el modelo con o sin algoritmos, es indispensable tener los datos estadísticos a la mano para poder estimar manualmente o automáticamente medidas a ingresar para poder generar cada parte componente de la escultura deseada (ver anexos 07 - 11).

Coefficiente de proporcionalidad en la relación entre diámetro externo y la longitud máxima de entrenudo:

Fórmula 16. Coeficiente de proporcionalidad L/DE

$$L=DE*7,146$$

Donde: L : Longitud máxima del entrenudo de caña.
DE: Diámetro externo del entrenudo de caña.

Fórmula para obtener diámetro interior (Ec. Recta Regresión Lineal)

Fórmula 17. Fórmula para obtener DI

$$DI = -0,815024509 + 0,751827162 * DE$$

Donde: DI: Diámetro interno del entrenudo de caña.
DE: Diámetro externo del entrenudo de caña.

Tabla 4. Modelado automático (con algoritmos 3D) vs modelado manual.

Componente	Automático			Manual			Diferencia (min)
	Hora Inicio	Hora Fin	Tiempo (min)	Hora Inicio	Hora Fin	Tiempo (min)	
Ala de Avispa	10:38am	10:40am	2	9:36am	9:59am	23	21
Pata de Avispa	11:36am	11:38am	2	11:08am	11:36am	28	26
Abdomen de Avispa	12:22pm	12:27pm	5	11:41am	12:21pm	40	35
Tapa de Cabeza Avispa	12:35pm	12:36pm	1	12:28pm	12:35pm	7	6
TOTAL DEMORA			10			98	88
TOTAL %			100%			980%	880%

Fuente: Propia

En la tabla anterior se hace un versus de los patrones identificados en la escultura “Avispa” y generados por los algoritmos, así mismo los que se llevaran a cabo de manera manual incluyendo las transformaciones que estos demanden, así como sus medidas de cada objeto. Estos patrones se representan como componentes u objetos CSG, como resultado de aplicar los plugin que devienen de los algoritmos 3D empleados.

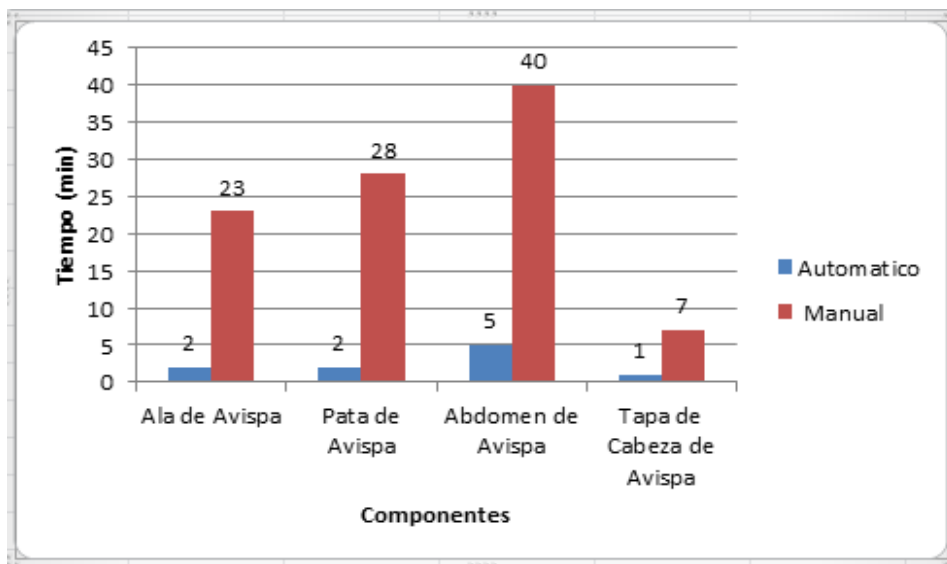


Figura 60. Cuadro comparativo de elaboración de componentes

Fuente: Propia

El resultado de este cuadro comparativo nos muestra cuan conveniente es aplicar estos algoritmos 3D para elaborar componentes (patrones) que son recurrentes en estos tipos de esculturas y como se aprecia en el cuadro el ahorro en tiempo es realmente apreciable a la hora de construir las esculturas digitales, pues nos ahorra casi el 900% del tiempo que demanda hacerlos manualmente y con cálculos engorrosos, sin contar que nos da la certeza de poder encontrar en la naturaleza esa medida de caña. Las demás piezas no se han tomado en cuenta en el conteo por no ser de relevancia para mostrar el ahorro en tiempo, pues aún se realiza manualmente.

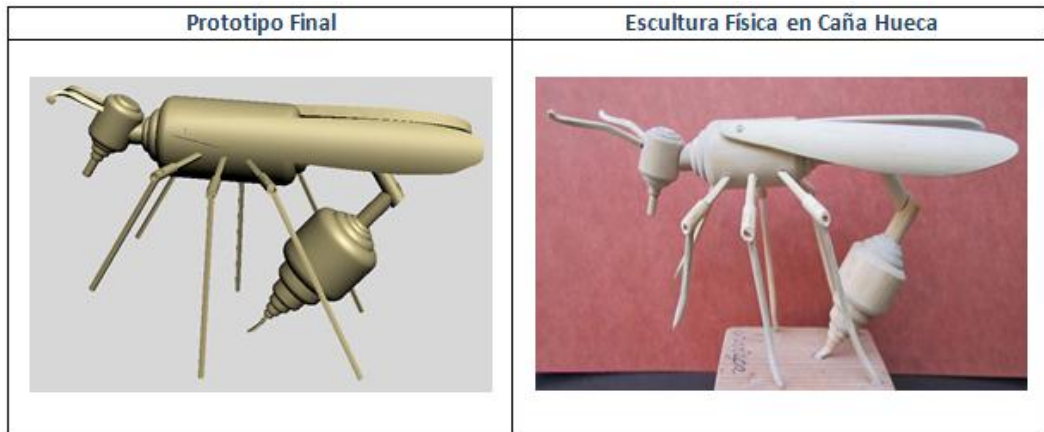


Figura 61. Prototipo final vs escultura física en caña.

Fuente: Propia

Por otra parte se puede mencionar que estos prototipos nos muestran mediante una evaluación Costo/Beneficio que hay una rentabilidad en ahorro para el escultor a la hora de ofrecer en venta cada escultura. Estas esculturas digitales con las medidas precisas de *Arundo Donax* nos facilitan el poder transportar dichas a otros lugares del mundo sin necesidad de transportar las esculturas físicas. Se menciona además que con el plugin *Extractor* se capturan toda la información de los objetos en el entorno gráfico de 3D Studio Max como sus medidas, color, y coordenadas para ser mostradas en una hoja de cálculo.

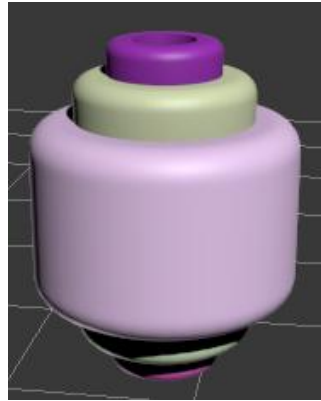


Figura 62: Componente generado con 5 objetos.

Fuente: Propia

OBJETO	NOMBRE Y MEDIDAS	COLOR	Coordenadas
1	DE4.22466 DI2.36119 L2.79521 Trompo001	5965951	[1,20,18.4901]
2	DE6.70325 DI4.22466 L3.71788 Trompo001	11188598	[1,20,16.7894]
3	DE4.22466 DI2.36119 L2.79521 Trompo	11607189	[1,20,7.11233]
4	DE6.70325 DI4.22466 L3.71788 Trompo	12117145	[1,20,8.35162]
5	DE10.0 DI6.70325 L7.0 Trompo	13998821	[1,20,10]

Figura 63. Hoja de cálculo con la información importada desde 3D Studio Max de cinco objetos del plugin TROMPO.

Fuente: Propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIONES

6.1 Discusión de resultados

Considerando la hipótesis planteadas en el presente trabajo de investigación, a que si el uso de algoritmos 3D influye en el modelamiento de esculturas con *Arundo Donax*, cuya variable dependiente es el modelamiento de esculturas con *Arundo Donax*, se verifica previo análisis del costo beneficio y posterior cuadro comparativo en ahorro de tiempo, así mismo presenta ventajas al ahorrar parte de la labor geométrica desarrollada en la elaboración de una escultura física mediante el uso de la computadora.

6.2 Contrastación de hipótesis

En el marco teórico de la investigación se ha definido todos los aspectos necesarios para facilitar la elaboración de una escultura de *Arundo Donax*, utilizando algoritmos 3D, como medio para mejorar el cumplimiento de los objetivos trazados. El modelo de investigación utilizado en este documento resulta concordante con la hipótesis planteada; por tanto, se acepta la hipótesis planteada por el investigador.

La contrastación y verificación de la hipótesis se llevó a cabo en función del cumplimiento de los objetivos específicos propuestos y los resultados lo demuestran en el diagrama de barras.

CONCLUSIONES

Las conclusiones general es que utilizando algoritmos 3D personalizados se logra modelar prototipos más confiables de esculturas con Arundo Donax. Las conclusiones específicas son:

PRIMERA. Se analizaron correctamente los datos específicos de la estructura geométrica de *Arundo Donax* para su introducción en plugins.

SEGUNDA. Se implementó algoritmos 3D mediante plugins de utilidad empotrados en el entorno del software 3D Studio Max que realicen cálculos y operaciones booleanas entre objetos 3D.

TERCERA. Se construyó de manera confiable y óptima un modelo de prototipo de la escultura de una avispa, con gran ahorro de tiempo.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones por mencionar son las siguientes:

PRIMERA. Implementar más algoritmos de patrones que se pudieran hallar, para simplificar el modelado de esculturas con *Arundo Donax*.

SEGUNDA. Realizar un pequeño manual de usuario para poder utilizar los plugins por parte de cualquier artista cultivado con la informática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TEXTOS:

- Alva Gallegos, F. *Geometría Contemporanea*. Perú: San Marcos.
- García Corzo, J. C. (2006). *3D Studio MAX 8* (1 ed.). Perú: Megabyte.
- Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (1994). *Gráficas por Computadora* (2 ed.). México: Prentice Hall Inc.
- Hearn, D. & Backer, M. Pauline. (2004). *Gráficos por Computadora con OpenGL* (3 ed.). España: Prentice Hall.
- Miranda C., A. (1984). *Geometría Descriptiva* (5 ed.). Perú.
- Orozco Guzmán, M. A. & Chavez Alatorre, M. & Chavez Alatorre, J. (2006). *Informática Uno* (1ra ed.). México: Thomson.
- Zatonyi, M. (2002). *¿Realidad Virtual?*. Argentina: Ediciones Geka.

PAPERS:

- Blanco Villaseñor, Angel (1984). Interpretación de la normativa APA acerca de las referencias bibliográficas. Barcelona: Departamento de Psicología Experimental, Universidad de Barcelona (inédito).
- De la Cruz, María Jesús (2009), TESIS: Estudio del comportamiento mecánico de ductos sometidos a diferentes condiciones de carga mediante modelado numérico. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. México, 150, 25-31.
- Margarita R. G. (2003). La Ilusión en el Arte del Renacimiento a la Realidad Virtual (1 ed; Addenda N° 07). México: CENIDIAP.

- Moreno Armella, Luis. Instrumentos Matemáticos Computacionales. Cinvestav-IPN. México, 18, 1-18.
- M&PR Modelos y Prototipos Rápidos S.L. Manual del Prototipado Rápido, España, 16, 2-14.
- Zalaya, Ricardo – Barrallo, Javier (2004). Clasificación de la Escultura Matemática. Universidad Politécnica de Valencia. España, 205, 187-204.

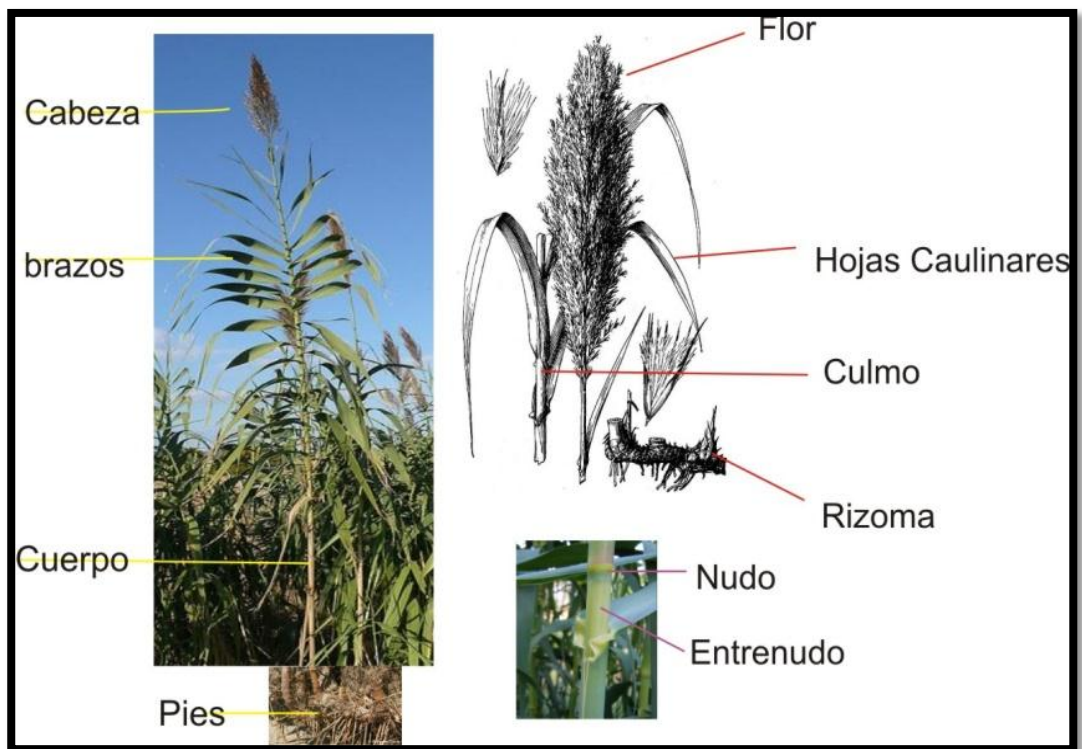
WEB SITES:

- *Automatización de sistemas de manufactura*,
<http://cadcam.com.ve/Manuales%20Generales/cadcam.pdf>
- Bosquenatural.org. *Medición de Diámetros*,
<http://amazoniaforestal.blogspot.com/2011/10/medicion-de-diametros.html>
- Depósito de Documentos de la FAO (2004). *Medición de Diámetro del Árbol*, <http://www.fao.org/docrep/008/ae578s/AE578S06.htm>
- *Diseño de Prototipos*,
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/suarez_p_jl/capitulo4.pdf
- *Fundamentos de los gráficos en 3D*,
www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r29195.PPT
- Jesús Ledezma Carvayo. *Introducción a la Realidad Virtual*,
<http://insn.die.upm.es/docs/VR0304.pdf>
- *La Bibliografía según APA (2009)*,
<http://issuu.com/bmbpilarbarbosa/docs/name2d8064>
- *MaxScrip*, <http://idd00qd6.eresmas.net/tutorial/Introduc/introduc.html>

- *Script*, <http://www.scriptspot.com/3ds-max/scripts/tags>
- *Transformaciones*,
<http://www.matem.unam.mx/~rgomez/geometria/Capitulo3.pdf>

ANEXOS

Anexo 01: Partes de Arundo Donax

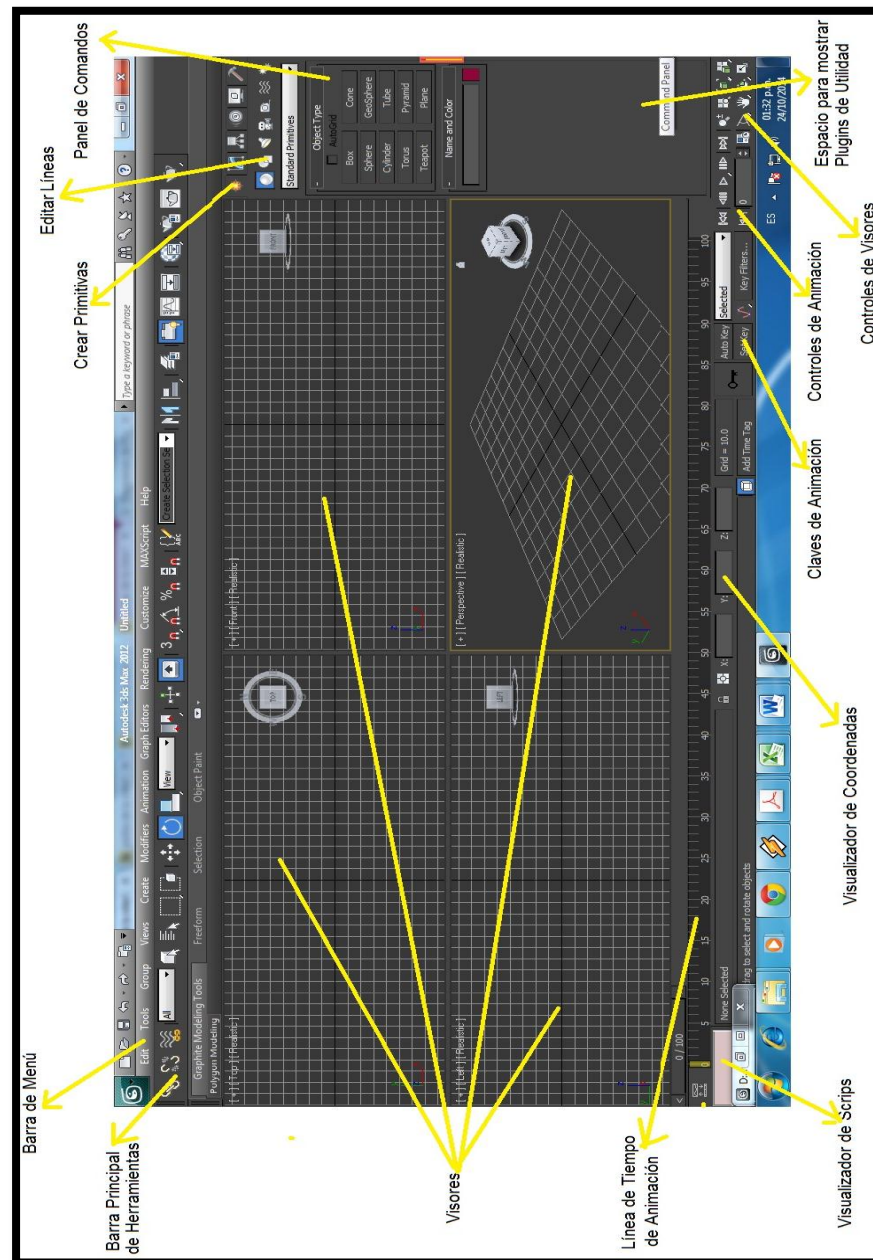


**Anexo 02: Tabla de Datos Tomados de entrenudos de caña
(n=60, Tamaño de muestra)**

Datos Extraídos de Entrenudos al azar							
Entrenudo	Diámetro Exterior (mm.)			Diámetro Interior (mm.)			LONGITUD
	DE1	DE2	DE(Promedio)	DI1	DI2	DI(Promedio)	
1	25.82	25.4	25.61	18.2	17.8	18	145
2	25	24.7	24.85	18.1	17	17.55	147
3	23.5	23.3	23.4	18	17.2	17.6	143
4	21.8	21.5	21.65	16.7	14.9	15.8	132
5	22.7	22.6	22.65	15.7	15.5	15.6	310
6	21.6	21.4	21.5	14.9	15.6	15.25	296
7	20.9	20.5	20.7	15.5	15	15.25	266
8	19.2	18.9	19.05	13.6	13.3	13.45	223
9	30.8	28.4	29.6	22.2	20.5	21.35	155
10	7	6.9	6.95	4.1	4.1	4.1	50.5
11	6.7	6.5	6.6	4.4	4	4.2	43.2
12	4.9	4.8	4.85	3	2.5	2.75	25.5
13	6.2	6	6.1	4	3.9	3.95	28.6
14	5.3	5.1	5.2	3	2.9	2.95	60
15	5.9	5.8	5.85	3.5	3.4	3.45	84
16	7.5	7.3	7.4	4.4	4.4	4.4	67.6
17	5.1	5	5.05	2.9	2.9	2.9	74.8
18	3.4	3.4	3.4	1.4	1.39	1.395	28.5
19	4.3	4.3	4.3	2.2	2.2	2.2	36.2
20	15	14.6	14.8	11.7	11.6	11.65	90
21	17.6	15.9	16.75	13.7	12.4	13.05	120
22	11.6	10.6	11.1	7.6	7	7.3	120.4
23	10.8	10.3	10.55	7	6.9	6.95	91.5
24	10.5	10	10.25	7	6.8	6.9	60
25	13.6	13.2	13.4	9.9	9.6	9.75	90
26	13.2	13	13.1	9.3	9.1	9.2	100
27	12.8	12.2	12.5	8.9	8.1	8.5	97
28	11.8	11	11.4	8.8	7.6	8.2	92.6
29	10.9	10	10.45	8	6.4	7.2	67
30	9.4	9	9.2	6.5	6.2	6.35	63.5
31	9	8.9	8.95	5.9	5.7	5.8	61

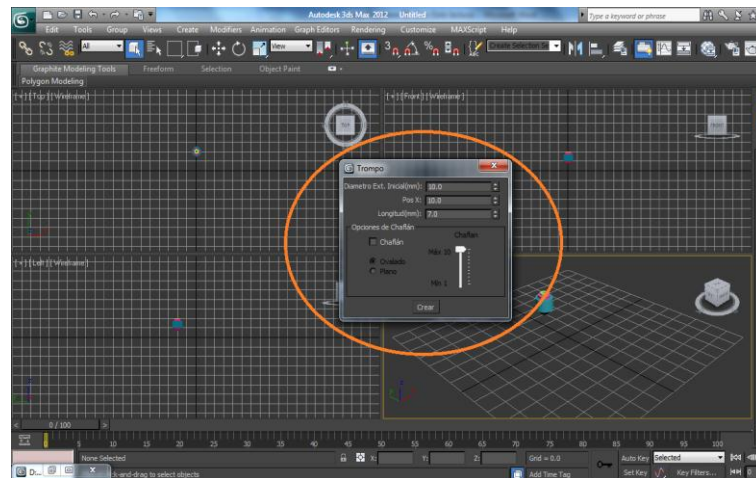
Entrenado	DE1	DE2	DE(Promedio)	DI1	DI2	DI(Promedio)	LONGITUD
32	8.3	8.1	8.2	5.8	5.6	5.7	55
33	29.8	28.5	29.15	20.6	21.8	21.2	144
34	35.2	36.9	36.05	26.8	25	25.9	132
35	36.5	35.1	35.8	23.6	24.8	24.2	144
36	31.7	33.5	32.6	20.3	21.6	20.95	108
37	35.9	34.4	35.15	24.6	25	24.8	62
38	31.9	30.8	31.35	25	23.9	24.45	147
39	31.3	30.9	31.1	23.8	23.5	23.65	240
40	29.2	28.1	28.65	21.5	22.4	21.95	207
41	23.3	22.4	22.85	15.5	16.6	16.05	175
42	26.4	25.9	26.15	18.5	18.5	18.5	151
43	29.5	29.4	29.45	19.3	20.2	19.75	119
44	9.5	9.7	9.6	5.9	5.8	5.85	100
45	27	26.5	26.75	19	19.5	19.25	118
46	11.6	11.5	11.55	7	7.1	7.05	130
47	18.6	18.2	18.4	13.3	13.7	13.5	86
48	25.4	24.5	24.95	18.8	19.2	19	141
49	24.8	25.4	25.1	17.3	17.7	17.5	103
50	10.4	9.8	10.1	7	7.2	7.1	112
51	24.5	23.5	24	17.9	17.3	17.6	72
52	22.3	23.6	22.95	15.2	16.4	15.8	87
53	26	26	26	17.5	18	17.75	130
54	18.5	17.6	18.05	12.7	13.4	13.05	184
55	16.5	16.5	16.5	12.8	13.3	13.05	160
56	21	19.5	20.25	13	14.5	13.75	98
57	10	9.8	9.9	6.5	6.3	6.4	61
58	5	4.8	4.9	2	2	2	20.5
59	6	5.1	5.55	3.1	3	3.05	20.7
60	20	18.6	19.3	11.5	11	11.25	90

Anexo 03: Interfaz del entorno gráfico 3D STUDIO MAX y sus partes

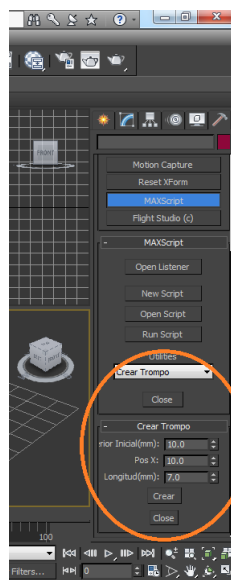


Anexo 04: Modos de interfaces de plugins en 3D STUDIO MAX

Formulario flotante de plugin en entorno gráfico de 3DS Max

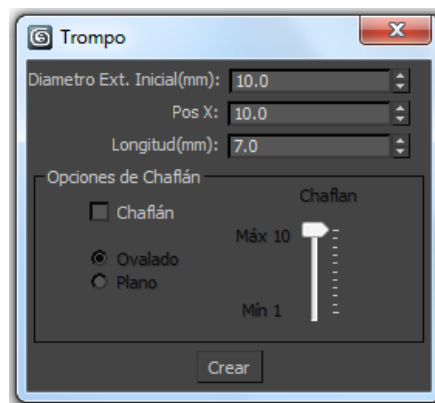


Utilidad (plugin) empotrado en el entorno de 3D Studio Max



Anexo 05: Interfaces de plugins en 3D STUDIO MAX

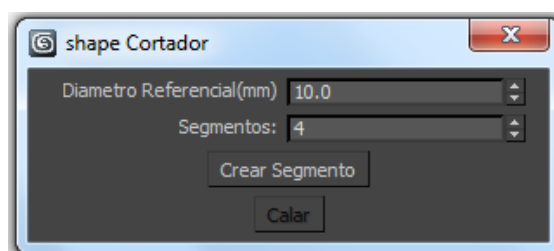
Interfaz del plugin TROMPO



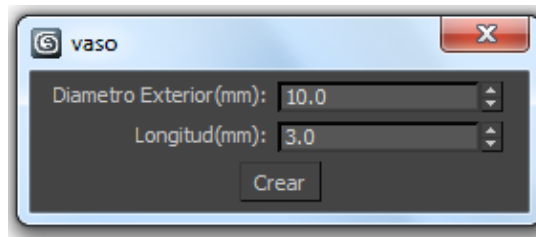
Interfaz del plugin ARTICULACIÓN



Interfaz del plugin CALADOR



Interfaz del plugin TAPA



Anexo 06: Código fuente

Plugin Trompo

```
function trompo de long posinicio centinela=
(----- Constantes
--cDIDE=0,6773
----- Condicion diametro exterior mínimo de la caña a trabajar
if de>3 then
(
----- Crea cilindro chaflanado 1
tubech1=ChamferCyl
tubech1 radius:(de/2) fillet:(de*cf) height:(long) Height_Segments:(20)
Fillet_Segments:(fs) sides:(40) pos:[1,20,posinicio]
----- variables de paso
--di=cDIDE*de
di=-0,815024509+0,751827162*de
cc=(de-di)/2
nl=long+2*cc
----- Crea cilindro chaflaneado 2
tubech2=ChamferCyl
tubech2 radius:(di/2) fillet:(di*cf) height:(nl) Height_Segments:(8)
Fillet_Segments:(fs) pos:[1,20,posinicio-cc] sides:(40)
----- operación booleana Diferencia A-B
select $ChamferCyl001
boolObj.createBooleanObject $
boolObj.setBoolOp $ 3
boolObj.SetOperandB $ $ChamferCyl002 4 2
----- cambio de nombre al resultado booleano(tubo
```

```

achaflanado))
$.name = "total"
----- Crea cilindro
tubech3=Cylinder
--tubech3 radius:(di+di*0,01) height:(long-6*cc) heightsegs:(20) capsegs:(15)
pos:[1,20,posinicio+3*cc] sides:(40)
tubech3 radius:(di+di*0,01) height:(long) heightsegs:(20) capsegs:(15)
pos:[1,20,posinicio+3*cc] sides:(40)
----- Selecciona cilindro y cambio de nombre
select $Cylinder001
$.name = "cortador" --select $cortador
----- variables de paso
nuevapos=posinicio-cc
--pieza=(nl-$.radius)/2
pieza=3*cc
----- condición para dividir el tubo achaflanado
if centinela==0 then
----- si es primer tubo achaflanado creado (centinela=0) le
cambia de nombre
(ctl=3,34
centinela=1
max delete
select $total
$.name = "DE" +(de as string)+ " DI" +(di as string)+ " L" +(long as string)+"
Trompo"
if de>long*ctl then (di=2) --precaución para que los cilindros creados no se
desborden
)
else(
----- si no es primer tubo achaflanado creado
(centinela=1) lo divide restandole un cilindro creado y cambio de nombre
select $total
boolObj.createBooleanObject $
boolObj.setBoolOp $ 3
boolObj.SetOperandB $ $cortador 4 2
$.name = "DE" +(de as string)+ " DI" +(di as string)+ " L" +(pieza as string)+"
Trompo"
t2 = copy $
t2.wirecolor = (color (random 0 255) (random 0 255) (random 0 255))
t2.pos=[1,20,posinicio+long-3*cc]
t2.pivot.z=posinicio+long-(3*cc)/2
rotate t2 (angleaxis 180 [0,-1,0])

```

```

)
----- nuevamente llamada function recursiva
trompo di nl nuevapos centinela
----- si supera la medida del diametro exterior (DE<=3)
quita toda selección del visor
)else clearSelection()
)----- Fin función Trompo

```

-----FORMULARIO-----

```

----
rollout CilindroCha "Trompo"
(
----- variable local
local status = false
global cDIDE

----- Controles INPUT
spinner diaext "Diametro Ext. Inicial(mm): " range:[4,36,10] --[radio mín, radio
máx, valor default]
spinner  posicionX "Pos X: " range:[5,30,10] --[filete min, filete max, valor
default]
spinner long "Longitud(mm): " range:[3,300,7] --[filete min, filete max, valor
default]
group "Opciones de Chaflán"
(
checkbox sele "Chaflán" pos:[40,90]
radiobuttons rdo1 "" pos:[40,120] width:23 height:32 enabled:false
labels:#("Ovalado", "Plano") default:1 columns:1
label lab1 "Máx 10" pos:[135,106] enabled:false--[filete min, filete max, valor
default]
label lab2 "Mín 1" pos:[139,154] enabled:false
slider chafle "Chaflan" pos:[175,80] range:[0.6,1.2,1.2] enabled:false width:40
height:24 orient:#vertical
)----- function
    function checked_all op_boolean =
    (
        chafle.enabled=op_boolean
        rdo1.enabled=op_boolean
        lab1.enabled=op_boolean
        lab2.enabled=op_boolean
    )
)

```

```

on sele changed status do
  (
    checked_all status
    status = not status -- make vice versa
  )
----- cambio de estado del checkbox
button create "Crear" --boton crear trompo
on create pressed do --cuando presiona el botón
( clearSelection() --- 6,135 7,146

    if long.value>diaext.value*7,146 then -- 7,146 Cte. de L/DE
    (
      rollout Mensajito "Longitud Inexistente de caña para dicho diámetro
exterior"
      ( ) createdialog Mensajito width:450
    )--tamaño del formulario flotante
      else( bandera=0
----- variables globales
      if sele.checked==true then
      (
        global cf=chafle.value/10 --coeficiente de filete
        if rdo1.state==1 then(
          global fs=10
        ) --segmentos de filete
        else
        (
          global fs=1 ) --segmentos de filete
        )
        else
        (
          global cf=0 --coeficiente de filete
          global fs=1 --segmentos de filete
        )
----- llamada function recursiva
      trompo diaext.value long.value posicionX.value bandera
-----
      )
    )
  )
createDialog CilindroCha width:260 --tamaño del formulario flotante

-----FIN DE FORMULARIO

```

Plugin Articulación

```
function Cortador_Booleano posicion objeto angular=(
  alturita=diametro_exterior
  Box height:(alturita) length:(diametro_exterior*4) width:(diametro_exterior)
  select $Box001
  $.name="Cortador"
  $.pos.z=posicion
  rotate $ (angleaxis angular [1,0,0])
  move $ [0,-distancia_movY*2.5,0]
  clearSelection()
  select objeto
  boolObj.createBooleanObject $
  boolObj.setBoolOp $ 3
  boolObj.SetOperandB $ $Cortador 4 2
  return objeto
)
```

```
function Ecuacion_Recta_Perpendicular objeto angulo=(
  longCuerdaint = 2 *objeto.radius1 * sin(angulo/2)
  apotemaInt=sqrt(objeto.radius1^2-(longCuerdaint/2)^2)
  Coor1X=longCuerdaint/2
  Coor1Y=$.pos.z+apotemaInt
  longCuerdaExt = 2 *objeto.radius2 * sin(angulo/2)
  apotemaExt=sqrt(objeto.radius2^2-(longCuerdaExt/2)^2)
  Coor2X=longCuerdaExt/2
  Coor2Y=objeto.pos.z+apotemaExt
  pendiente=(Coor2Y-Coor1Y)/(Coor2X-Coor1X)
  pto_medioX=(Coor1X+Coor2X)/2
  pto_medioY=(Coor1Y+Coor2Y)/2
  pendiente_per= -(1/pendiente)
  b=pto_medioY-pendiente_per*pto_medioX
  X_center=0
  Y_center=pendiente_per*X_center+b
  return Y_center
)
```

```
function segmento_tubo de longitud grados =(
  Tube radius1:(de*cDIDE/2) radius2:(de/2) smooth:(true) height:(longitud)
  heightsegs:(15) capsegs:(15) sides:(40) slice:(on)
  select $Tube001
  rotate $ (angleaxis 90 [-1,0,0])
```

```

$.pos=[0,0,-$.radius2]
$.sliceFrom=-180 + grados/2
$.sliceTo=180 - grados/2
return $
)
global Coor1X=0, Coor1Y=0
global X_center=0
global cDIDE=0.674
global apotemaInt=0
global distancia_movY
global Y_center, diametro_exterior

rollout articulo "Articulaciones"
(
  spinner diaext "Diametro Exterior Segmento 1(mm): " range:[3,35,10] --[radio
mín, radio máx, valor default]
  spinner long "Longitud Segmento 1(mm): " range:[2,300,25] --[filete min,
filete max, valor default]
  spinner Ang "Ángulo Arco Segmento 1(º): " range:[15,90,30] --[filete min,
filete max, valor default]
  spinner Lmaximo "Longitud de articulación(mm): " range:[6,23,8]
  spinner long2 "Longitud Segmento 2(mm): " range:[2,300,25] --[tamaño min,
tamaño max, valor default]
  spinner Complemento "Angulo Inclinação Segmento2(º): " range:[-45,45,30]
  button create "Crear Segmentos / Articulación" --boton crear segmento
  tubo
  on create pressed do --cuando presiona el botón
  (
    clearSelection()
    if long.value>diaext.value*7,146 then --6,135 7,146
      (rollout Mensajito "Longitud Inexistente de caña para dicho diámetro
exterior"
        ( ) createdialog Mensajito width:450
        )--tamaño del formulario flotante
      else(
        create.enabled=false
        segmento_tubo diaext.value long.value Ang.value
        select $
        $.name="segtube"
        Y_center=Ecuacion_Recta_Perpendicular $segtube Ang.value

        radio_interior=sqrt((Coor1X-X_center)^2+(Coor1Y-Y_center)^2)

```

```

        diametro_exterior=(radio_interior*2)/cDIDE
segmento_tubo diametro_exterior Lmaximo.value 0
select $
$.name="codo"
$.pos=[0,-1,5*diametro_exterior,Y_center]
$.codo.height+=(1,5*diametro_exterior) --falta definir criterio
para colocar tubo sobre segmento de tubo 1
select $segtube
$.pivot.z=-($segtube.radius2-$segtube.radius1)/2

select $segtube
copiar= copy $segtube
select copiar
$.name="segtube2"
$segtube2.height=long2.value
rotate $ (angleaxis 180 [0,1,0])
rotate $ (angleaxis 90 [-1,0,0])
select $segtube
distancia_movY=($segtube.radius2 - apotemaInt)/2
+(Y_center-$segtube.pos.z)/2
distancia_movZ=$codo.radius2+ apotemaInt/3
clearSelection()
select $segtube2
move $ [0,-distancia_movY,distancia_movZ]
$.pivot.z=0
$.pivot.y=0
clearSelection()
select $codo
posicionZ=$codo.radius2+$codo.pos.z
clearSelection()
select $segtube2
rotate $ (angleaxis Complemento.value [-1,0,0])
Cortador_Booleano posicionZ $segtube2 0
Cortador_Booleano posicionZ $codo (90-Complemento.value)
di=diaext.value*cDIDE
diaminte=diametro_exterior*cDIDE
$segtube.name="DE"+(diaext.value as string)+" DI"+(di as string)+"
L"+(long.value as string)+" Vara"
$codo.name="DE"+(diametro_exterior as string)+" DI"+(diaminte as
string)+" L"+(Lmaximo.value as string)+" Articula"
$segtube2.name="DE"+(diaext.value as string)+" DI"+(di as string)+"
L"+(long2.value as string)+" Varo"

```

```
)
)
)createDialog articulo width:350
```

Plugin Calador

```
function segmento_tubo di seg =(
de=di/cDIDE
largo=de/0,197
Tube radius1:(di/2) radius2:(de/2) smooth:(true) height:(largo) heightsegs:(40)
capsegs:(40) sides:(40) slice:(on)
select $Tube001
$.name="segmen"
rotate $ (angleaxis 90 [-1,0,0])
$.pos=[0,0,-$.radius2]
$.sliceFrom=-180 + 360/(2*seg )
$.sliceTo=180 - 360/(2*seg )
return $segmen
)
```

```
function Escalador VerticeIni VerticeFin factor_mengua=(
$.SetSelection #Vertex #{VerticeIni..VerticeFin}
$.name="mis_vertices"
posicionIni= $.pos --$.transform -->matrix3 [1,0,0] [0,1,0] [0,0,1] pos
pivote=$.pos
Arraypos=#() as array
for i =1 to intermedio do(
k=VerticeIni-1+i
Arraypos[i]= polyop.getvert $mis_vertices k
print(Arraypos[i].x)
)
for i = 1 to Arraypos.count do(
Arraypos[i].x=Arraypos[i].x* factor_mengua
)
pivote.x*=factor_mengua
$mis_vertices.pos=pivote
for i = 1 to Arraypos.count do(
k=VerticeIni-1+i
polyOp.setVert $mis_vertices k Arraypos[i]
)
$.pos=posicionIni
```

```

return $mis_vertices
)

rollout create_calado "shape Cortador"
(
spinner diaref "Diametro Referencial(mm) " range:[4,30,10] --[radio mín, radio
máx, valor default]
spinner trozos "Segmentos: " range:[3,10,4] type:#integer
button crear "Crear Segmento" --boton crear trompo
button creacion "Calar" enabled:false --boton crear trompo
on crear pressed do --cuando presiona el botón
(
global cDIDE=0,674
clearSelection()
segmento_tubo diaref.value trozos.value
$.name="Segmento"
clearSelection()
creacion.enabled=true
crear.enabled=false
)
on creacion pressed do --cuando presiona el botón
(
if (!$=null and $.name!="Segmento") then(
$.name="Linea"
longCuerdaint = 2 *$Segmento.radius1 * sin(360/(trozos.value*2))
longCuerdaExt = 2 *$Segmento.radius2 * sin(360/(trozos.value*2))
apotemaExt=sqrt($Segmento.radius2^2-(longCuerdaExt/2)^2)
apotemaInt=sqrt($Segmento.radius1^2-(longCuerdaint/2)^2)
alto_Extrude=$Segmento.radius2-apotemaInt
a=(longCuerdaExt-longCuerdaint)/2
b=apotemaExt-apotemaInt
d=alto_Extrude-b
Prop_Segm_abajo= (2*a)/longCuerdaExt--b/alto_Extrude
Prop_Segm_arriba=(Prop_Segm_abajo*d)/b
--1-Prop_Segm_abajo
modPanel.addModToSelection (Extrude ()) ui:on
$.modifiers[#Extrude].amount =alto_Extrude
move $ [0,0,-alto_Extrude]
ConvertTo $Linea Editable_Poly
max modify mode
subobjectLevel =1
Cant_vertices=$Linea.GetNumVertices()
)
)
)
)

```

```

        Coef_Desc_Abajo=1-Prop_Segm_abajo--/2
        Coef_Desc_Arriba=1+Prop_Segm_arriba--/2
    global intermedio=Cant_vertices/2
    Escalador 1 intermedio Coef_Desc_Abajo
    pase = intermedio+1
    Escalador pase Cant_vertices Coef_Desc_Arriba
    $.SetSelection #Vertex #{1..Cant_vertices}
    max modify mode
    subobjectLevel = 0
    select $
        max modify mode
    ConvertTo $ Editable_Patch
    boolObj.createBooleanObject $
    boolObj.setBoolOp $ 2
    boolObj.SetOperandB $ $Segmento 4 2
    ----- cambio de nombre al resultado booleano(tubo
    achaflanado))
    diaext=diaref.value/cDIDE
    $.name = "DE" +(diaext as string)+ " DI" +(diaref.value as string)+"
    Calado"
    $.pos.z=5
    clearSelection()
    destroyDialog create_calado
    )

    else( messagebox "Dibuja o Selecciona un Spline por favor" )
    )
)createdialog create_calado width:300

```

Plugin Tapa

```

rollout Tapa "vaso"
(
    spinner diaext "Diametro Exterior(mm): " range:[2,32,10] --[radio mín, radio
    máx, valor default]
    spinner long "Longitud(mm): " range:[1,300,3] --[filete min, filete max, valor
    default]
    button create "Crear" --boton crear trompo
    on create pressed do --cuando presiona el botón
    (
    if long.value>diaext.value*7,146 then --6,135

```

```

(rollout Mensajito "Longitud Inexistente de caña para dicho diámetro
exterior"
  ( ) createdialog Mensajito width:450
  )--tamaño del formulario flotante
else(
  di=-0,815024509+0,751827162*diaext.value
  ----- Selecciona cilindro1 y cambio de nombre
  Cil1=Cylinder
  Cil1 radius:(diaext.value/2) height:(long.value) heightsegs:(20)
  capsegs:(15) sides:(40) slice:(on) pos:[1,20,10]
  select $Cylinder001
  $.name = "cortador1"
  clearSelection()
  ----- Selecciona cilindro2 y cambio de nombre
  tubech2=ChamferCyl
  tubech2 radius:(di/2) fillet:(0.2) height:(long.value)
  Height_Segments:(20) Fillet_Segments:(1) sides:(40) pos:[1,20,10.5]
  select $ChamferCyl001
  $.name = "cortador2"
  ----- Selecciona cilindro1 y Operación booleana
  (Diferencia)
  select $cortador1
  boolObj.createBooleanObject $
  boolObj.setBoolOp $ 3
  boolObj.SetOperandB $ $cortador2 4 2
  ----- cambio de nombre al resultado booleano(tubo
  achaflanado))
  $.name = "DE"+(diaext.value as string)+" DI"+(di as string)+"
  L"+(long.value as string)+" tapa"
  )
)
on long changed val do
(
  delete $
  create.pressed()
)
on diaext changed val do
(
  delete $
  create.pressed()
)

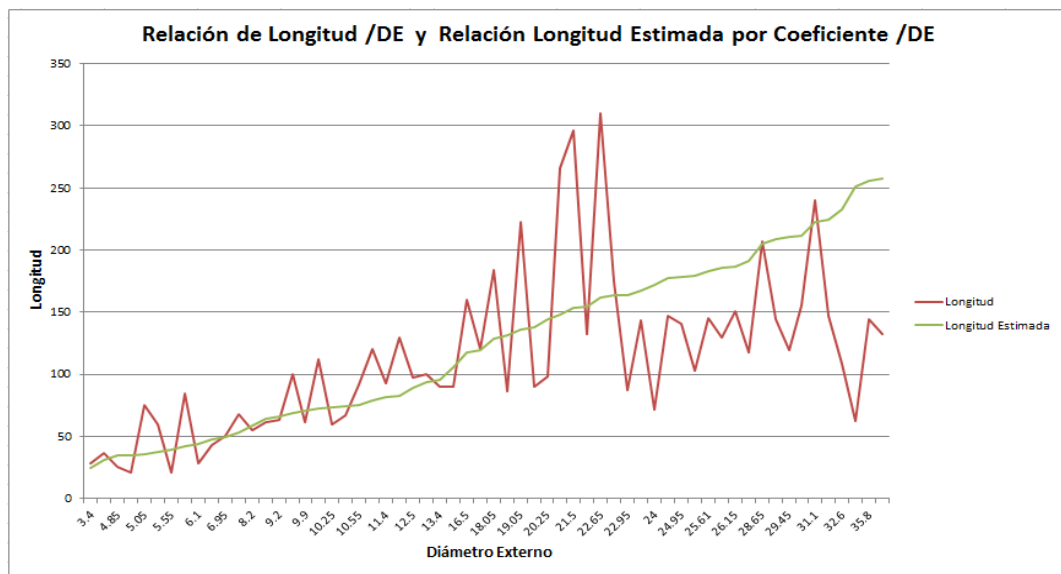
```

```
)createDialog Tapa width:260
```

Plugin Extractor (Complementario)

```
rollout Dateo "Juntador"  
(  
label slideLbl "Selecciona objetos Please, en caso contrario cierra la ventana"  
offset:[-7,2];  
button juntador "Unificador" --boton extraer  
on juntador pressed do --cuando presiona el botón  
(  
if ($!=null) then(  
Cantidad= $selection.count  
xl = CreateOLEObject "excel.application"  
xl.Visible = true  
xl.Workbooks.open "D:\derenef\Rene 2013\TESIS\guardador.xls"  
for i in 1 to Cantidad do  
    ( print($selection[i].wirecolor) -- $selection[i].renderable=false  
      print($selection[i].name)  
      print($selection[i].pos)  
      xlc = xl.application.cells (i+2) 2  
      xlc.value = i  
      xlc = xl.application.cells (i+2) 3  
      xlc.value = $selection[i].name  
      xlc = xl.application.cells (i+2) 4  
-- xlc.value = $selection[i].wirecolor as string  
-- xlc = xl.application.cells (i+2) 5  
      xlc.value = $selection[i].wirecolor --as string  
      xlc = xl.application.cells (i+2) 6  
      xlc.value = $selection[i].pos as string  
    )  
)  
else ( messagebox "Selecciona objetos por favor" )  
)  
)createDialog Dateo width:390
```

Anexo 07: Versus entre relación de la Longitud del entrenado y el Diámetro exterior, así como la relación de la longitud estimada por su coeficiente y su Diámetro externo



Anexo 08: Tabulación de diámetros externos y longitudes para establecer el coeficiente de proporcionalidad entre la longitud máxima del entrenudo y su diámetro exterior

Entrenudo	DE(Promedio)	LONGITUD	Relación DE y L		
			Razón L/DE	Razón Promedio	Desv. Estándar
1	25.61	145	5.66185084		
2	24.85	147	5.915492958		
3	23.4	143	6.111111111		
4	21.65	132	6.096997691		
5	22.65	310	13.68653422		
6	21.5	296	13.76744186		
7	20.7	266	12.85024155		
8	19.05	223	11.70603675		
9	29.6	155	5.236486486		
10	6.95	50.5	7.26618705		
11	6.6	43.2	6.545454545		
12	4.85	25.5	5.257731959		
13	6.1	28.6	4.68852459		
14	5.2	60	11.53846154	7.146498851	3.071710721
15	5.85	84	14.35897436		
16	7.4	67.6	9.135135135		
17	5.05	74.8	14.81188119		
18	3.4	28.5	8.382352941		
19	4.3	36.2	8.418604651		
20	14.8	90	6.081081081		
21	16.75	120	7.164179104		
22	11.1	120.4	10.84684685		
23	10.55	91.5	8.672985782		
24	10.25	60	5.853658537		
25	13.4	90	6.71641791		
26	13.1	100	7.633587786		
27	12.5	97	7.76		
28	11.4	92.6	8.122807018		
29	10.45	67	6.411483254		
30	9.2	63.5	6.902173913		
31	8.95	61	6.815642458		
32	8.2	55	6.707317073		
33	29.15	144	4.939965695		
34	36.05	132	3.661581137		
35	35.8	144	4.022346369		
36	32.6	108	3.312883436		
37	35.15	62	1.763869132		
38	31.35	147	4.688995215		
39	31.1	240	7.717041801		
40	28.65	207	7.22513089		
41	22.85	175	7.658643326		
42	26.15	151	5.774378585		
43	29.45	119	4.040747029		
44	9.6	100	10.41666667		
45	26.75	118	4.411214953		
46	11.55	130	11.25541126		
47	18.4	86	4.673913043		
48	24.95	141	5.651302605		
49	25.1	103	4.103585657		
50	10.1	112	11.08910891		
51	24	72	3		
52	22.95	87	3.790849673		
53	26	130	5		
54	18.05	184	10.19390582		
55	16.5	160	9.696969697		
56	20.25	98	4.839506173		
57	9.9	61	6.161616162		
58	4.9	20.5	4.183673469		
59	5.55	20.7	3.72972973		
60	19.3	90	4.663212435		

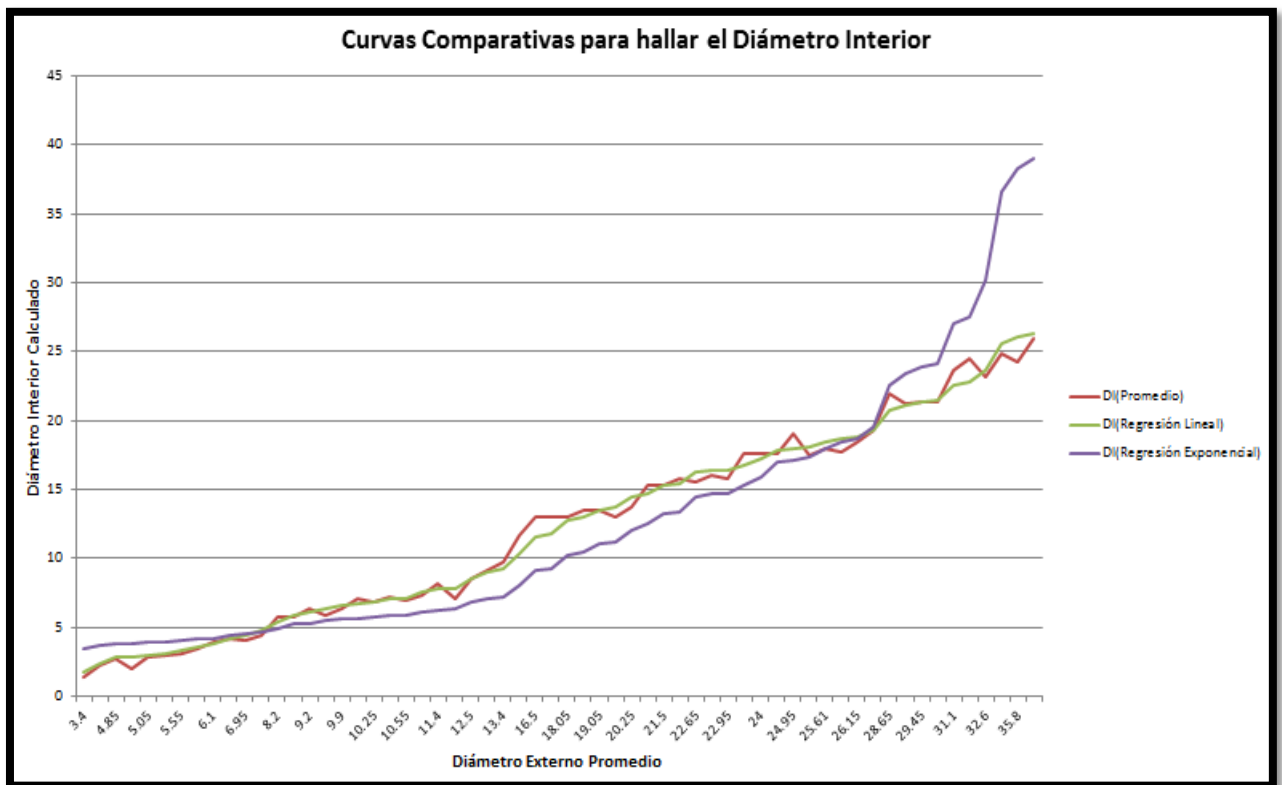
Coeficiente de proporcionalidad

7,146498851

Para obtener la longitud “L” de algún entrenudo con diámetro externo “DE” se utilizará la siguiente fórmula:

$$L=DE*7,146$$

Anexo 09: Grafica de las curvas para poder estimar el diámetro Interior.



Anexo 10: Tabla de datos comparativa entre coeficientes de variación.

Método de Ajuste	Promedio	Desv. Estandar	Coef. Variación
Regresión Lineal	12,31075	7,129871733	57,91581938
Regresión Exponencial	12,54326701	9,201880598	73,36111

Anexo 11: Tabla de datos para estimar el diámetro interior

		X				Y				Lineal recta		Exponencial		
DE1	DE2	DE(Promedio)	DI1	DI2	DI(Promedio)	RLR	X ²	X.Y	RLR	LogY	X.LogY	Y ²		
3.4	3.4	3.4	1.4	1.39	1.395	1.7411678	11.56	4.743	3.451244	0.1445742	0.4315523	1.94603		
4.3	4.3	4.3	2.2	2.2	2.2	2.4178323	18.49	9.46	3.689911	0.3424227	1.4724175	4.84		
4.9	4.8	4.85	3	2.5	2.75	2.8313372	23.5225	13.338	3.843816	0.4393327	2.1307636	7.5625		
5	4.8	4.9	2	2	2	2.8689286	24.01	9.8	3.858122	0.30103	1.475047	4		
5.1	5	5.05	2.9	2.9	2.9	2.9817027	25.5025	14.645	3.90136	0.462398	2.3351099	8.41		
5.3	5.1	5.2	3	2.9	2.95	3.0944767	27.04	15.34	3.945082	0.469822	2.4430745	8.7025		
6	5.1	5.55	3.1	3	3.05	3.3576162	30.8025	16.328	4.049016	0.4842998	2.6878641	9.3025		
5.9	5.8	5.85	3.5	3.4	3.45	3.5831644	34.2225	20.183	4.140278	0.5378191	3.1462417	11.9025		
6.2	6	6.1	4	3.9	3.95	3.7711212	37.21	24.095	4.217899	0.5965971	3.6392423	15.6025		
6.7	6.5	6.6	4.4	4	4.2	4.1470348	43.56	27.72	4.377535	0.6232493	4.1134453	17.64		
7	6.9	6.95	4.1	4.1	4.1	4.4101743	48.3025	28.495	4.492862	0.6127839	4.2588478	16.81		
7.5	7.3	7.4	4.4	4.4	4.4	4.7484965	54.76	32.56	4.645614	0.6434527	4.7615498	19.36		
8.3	8.1	8.2	5.8	5.6	5.7	5.3499582	67.24	46.74	4.93011	0.7558749	6.1981738	32.49		
9	8.9	8.95	5.9	5.7	5.8	5.9138286	80.1025	51.91	5.212629	0.763428	6.8326805	33.64		
9.4	9	9.2	6.5	6.2	6.35	6.1017854	84.64	58.42	5.310355	0.8027737	7.3855183	40.3225		
9.5	9.7	9.6	5.9	5.8	5.85	6.4025162	92.16	56.16	5.470541	0.7671559	7.3646963	34.2225		
10	9.8	9.9	6.5	6.3	6.4	6.6280644	98.01	63.36	5.593844	0.80618	7.9811817	40.96		
10.4	9.8	10.1	7	7.2	7.1	6.7784298	102.01	71.71	5.677586	0.8512583	8.5977093	50.41		
10.5	10	10.25	7	6.8	6.9	6.8912039	105.0625	70.725	5.741214	0.8388491	8.5982032	47.61		
10.9	10	10.45	8	6.4	7.2	7.0415693	109.2025	75.24	5.827162	0.8573325	8.9591246	51.84		
10.8	10.3	10.55	7	6.9	6.95	7.1167521	111.3025	73.323	5.870618	0.8419848	8.8829397	48.3025		
11.6	10.6	11.1	7.6	7	7.3	7.530257	123.21	81.03	6.11548	0.8633229	9.5828837	53.29		
11.8	11	11.4	8.8	7.6	8.2	7.7558051	129.96	93.48	6.25332	0.9138139	10.417478	67.24		
11.6	11.5	11.55	7	7.1	7.05	7.8685732	133.4025	81.428	6.3234	0.8481891	9.7965843	49.7025		
12.8	12.2	12.5	8.9	8.1	8.5	8.5828125	156.25	106.25	6.785849	0.9294189	11.617737	72.25		
13.2	13	13.1	9.3	9.1	9.2	9.0339113	171.61	120.52	7.095195	0.9637878	12.625621	84.64		
13.6	13.2	13.4	9.9	9.6	9.75	9.2594595	179.56	130.65	7.255116	0.9890046	13.252662	95.0625		
15	14.6	14.8	11.7	11.6	11.65	10.312017	219.04	172.42	8.05041	1.0663259	15.781624	135.723		
16.5	16.5	16.5	12.8	13.3	13.05	11.590124	272.25	215.33	9.134224	1.1156105	18.407573	170.303		
17.6	15.9	16.75	13.7	12.4	13.05	11.77808	280.5625	218.59	9.305471	1.1156105	18.686476	170.303		
18.5	17.6	18.05	12.7	13.4	13.05	12.755456	325.8025	235.55	10.24909	1.1156105	20.13677	170.303		
18.6	18.2	18.4	13.3	13.7	13.5	13.018595	338.56	248.4	10.5191	1.1303338	20.798141	182.25		
19.2	18.9	19.05	13.6	13.3	13.45	13.507283	362.9025	256.22	11.03957	1.1287223	21.50216	180.903		
20	18.6	19.3	13.2	12.8	13	13.69524	372.49	250.9	11.24654	1.1193434	21.499107	169		
21	19.5	20.25	13	14.5	13.75	14.409476	410.0625	278.44	12.06903	1.1383027	23.05063	189.063		
20.9	20.5	20.7	15.5	15	15.25	14.747798	428.49	315.68	12.47937	1.1832698	24.493686	232.563		
21.6	21.4	21.5	14.9	15.6	15.25	15.349259	462.25	327.88	13.2436	1.1832698	25.440302	232.563		
21.8	21.5	21.65	16.7	14.9	15.8	15.462034	468.7225	342.07	13.39202	1.1986571	25.950926	249.64		
22.7	22.6	22.65	15.7	15.5	15.6	16.213861	513.0225	353.34	14.4249	1.1931246	27.024272	243.36		
23.3	22.4	22.85	15.5	16.6	16.05	16.364226	522.1225	366.74	14.64085	1.205475	27.545105	257.603		
22.3	23.6	22.95	15.2	16.4	15.8	16.439409	526.7025	362.61	14.75003	1.1986571	27.50918	249.64		
23.5	23.3	23.4	18	17.2	17.6	16.777731	547.56	411.84	15.25152	1.2455127	29.144996	309.76		
24.5	23.5	24	17.9	17.3	17.6	17.228827	576	422.4	15.94679	1.2455127	29.892304	309.76		
25	24.7	24.85	18.1	17	17.55	17.86788	617.5225	436.12	16.98635	1.2442771	30.920286	308.003		
25.4	24.5	24.95	18.8	19.2	19	17.943063	622.5025	474.05	17.11302	1.2787536	31.904902	361		
24.8	25.4	25.1	17.3	17.7	17.5	18.055837	630.01	439.25	17.30481	1.243038	31.200255	306.25		
25.82	25.4	25.61	18.2	17.8	18	18.439269	655.8721	460.98	17.97309	1.2552725	32.147529	324		
26	26	26	17.5	18	17.75	18.732482	676	461.5	18.5015	1.2491984	32.479157	315.063		
26.4	25.9	26.15	18.5	18.5	18.5	18.845256	683.8225	483.78	18.70884	1.2671177	33.136541	342.25		
27	26.5	26.75	19	19.5	19.25	19.296352	715.5625	514.94	19.56172	1.2844307	34.358522	370.563		
29.2	28.1	28.65	21.5	22.4	21.95	20.724824	820.8225	628.87	22.52756	1.3414345	38.432099	481.803		
29.8	28.5	29.15	20.6	21.8	21.2	21.100737	849.7225	617.98	23.38016	1.3263359	38.66269	449.44		
29.5	29.4	29.45	21.8	20.9	21.35	21.326285	867.3025	628.76	23.90714	1.3293979	39.150768	455.823		
30.8	28.4	29.6	22.2	20.5	21.35	21.439059	876.16	631.96	24.17506	1.3293979	39.350177	455.823		
31.3	30.9	31.1	23.8	23.5	23.65	22.5668	967.21	735.52	27.02514	1.3738311	42.726149	559.323		
31.9	30.8	31.35	25	23.9	24.45	22.754757	982.8225	766.51	27.5318	1.3882789	43.522542	537.803		
31.7	33.5	32.6	22.9	23.5	23.2	23.694541	1062.76	756.32	30.21122	1.365488	44.514908	538.24		
35.9	34.4	35.15	24.6	25	24.8	25.6117	1235.523	871.72	36.5131	1.3944517	49.014977	615.04		
36.5	35.1	35.8	23.6	24.8	24.2	26.100388	1281.64	866.36	38.31971	1.3838154	49.54059	585.64		
35.2	36.9	36.05	26.8	25	25.9	26.288345	1299.603	933.7	39.03812	1.4132998	50.943456	670.81		
		1047.51			738.645		23594.1	16885		59.495967	1209.9231	12117.7		
		ΣX			ΣY		ΣX^2	ΣXY		$\Sigma \log Y$	$\Sigma X \log Y$	ΣY^2		

n = 60

Anexo 12: Árbol de construcción de una escultura digital

