

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

INSTITUTO DE DISEÑO

“DISEÑO DE RAMAS SECUNDARIAS Y TERCIARIAS PARA ÁRBOL ARTIFICIAL

“ARCANO” DEL PARQUE TEMÁTICO ARBOTERRA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN DISEÑO

PRESENTA:

DALIA ROCÍO VÁSQUEZ FELIPE

DIRECTOR DE TESIS:

I.D. ARMANDO LÓPEZ TORRES

HEROICA CD. DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, JULIO DE 2023.

A mi madre

Petra Felipe Morales

AGRADECIMIENTOS

A mi hermano y mis sobrinos por su apoyo incondicional.

Al Lic. Gregory Camacho Wardle, al Ing. Óscar Olivares Juárez y a Rafael Gallur Fernández por su confianza para la ejecución de este proyecto.

A mis amigos, que me motivaron a seguir adelante, por su apoyo e inspiración durante este proceso.

A mi director de tesis I.D. Armando López Torres por su tiempo y dedicación en la realización de esta investigación, y por conectarme con la tribu de Africam Safari.

A mis revisores la Dra. Alejandra Velarde Galván, el M. T. A. M. Armando Rosas González y al M.C. Víctor Manuel Cruz por su tiempo, apoyo y sugerencias.

A todos y cada uno de los involucrados que hicieron posible el desarrollo de esta investigación y la ejecución del proyecto.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| Índice de Figuras..... | ix |
| Índice de Tablas | xi |
| Introducción..... | xiii |
| Capítulo 1 Aspectos preliminares | 15 |
| 1.1 Antecedentes..... | 17 |
| 1.2 Planteamiento del Problema..... | 21 |
| 1.3 Justificación | 25 |
| 1.4 Objetivos..... | 27 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 27 |
| 1.4.2 Objetivos específicos y metas | 27 |
| 1.5 Metodología | 29 |
| Capítulo 2 Marco teórico | 31 |
| 2.1 Aspectos de parques temáticos..... | 33 |
| 2.1.1 Parque temático..... | 33 |
| 2.1.2 Experiencia inmersiva..... | 34 |
| 2.2 Contexto de los parques temáticos y de conservación | 34 |
| 2.2.1 Usuarios de los parques temáticos..... | 34 |
| 2.2.2 Importancia de la Conservación ambiental..... | 35 |
| 2.2.3 Centro de conservación ex situ (Parques de conservación) | 36 |
| 2.2.4 Aviario de Puebla..... | 36 |
| 2.3 Morfología de un árbol..... | 38 |
| 2.3.1 Partes de un árbol y su funcionalidad..... | 38 |
| 2.4 Características de árboles inspiración | 40 |
| 2.4.1 <i>Ficus macrophylla</i> | 41 |
| 2.4.2 <i>Ficus benjamina</i> | 42 |
| 2.4.3 <i>Ficus benghalensis</i> | 44 |
| 2.5 Soluciones existentes y análisis de información..... | 46 |
| 2.5.1 Soluciones existentes | 46 |
| 2.5.1.1 Tree of life..... | 46 |
| 2.5.1.2 Swiss Family Treehouse | 49 |
| 2.5.1.3 The Banyan Tree..... | 52 |
| 2.5.2 Análisis de texturas..... | 56 |
| 2.5.3 Estructuras de los árboles existentes | 59 |
| 2.5.4 Estructura del árbol Arcano | 62 |
| 2.5.5 Acabados del árbol Arcano (tronco y ramas primarias)..... | 64 |
| 2.5.6 Análisis de materiales y procesos | 68 |
| 2.5.6.1 Análisis de materiales..... | 68 |
| 2.5.6.2 Análisis de proceso de fabricación | 74 |
| 2.5.7 Uniones de componentes para estructuras | 79 |
| 2.6 Aspectos legales..... | 81 |
| 2.6.1 Normatividad..... | 81 |
| 2.6.1.1 Norma NMX-AA-165-SCFI-2014 | 81 |

| | | |
|--------------------------|--|------------|
| 2.6.1.2 | COREMUN. Capítulo 17 de la gestión del suelo y construcciones..... | 86 |
| Capítulo 3 | Desarrollo del concepto..... | 89 |
| 3.1 | Fase conceptual | 91 |
| 3.1.1 | Análisis de requerimientos | 91 |
| 3.1.1.1 | Requerimientos formales | 91 |
| 3.1.1.2 | Requerimientos funcionales..... | 92 |
| 3.1.1.3 | Requerimientos estructurales | 92 |
| 3.1.2 | Diseño de propuestas | 95 |
| 3.1.2.1 | Bocetos de forma | 96 |
| 3.1.2.2 | Bocetos de estructura | 98 |
| 3.1.2.3 | Bocetos de unión | 100 |
| 3.1.2.4 | Bocetos de recubrimientos y acabados | 101 |
| 3.2 | Desarrollo a nivel sistema | 105 |
| 3.2.1 | Selección de alternativas en base a requerimientos..... | 105 |
| 3.2.1.1 | Selección de forma y textura..... | 105 |
| 3.2.1.2 | Selección de estructura..... | 106 |
| 3.2.1.3 | Selección de unión..... | 108 |
| 3.2.1.4 | Selección de recubrimiento y acabados | 110 |
| 3.2.1.5 | Selección de materiales | 112 |
| 3.2.2 | Diseño preliminar | 115 |
| Capítulo 4 | Desarrollo del diseño | 117 |
| 4.1 | Diseño a detalle..... | 119 |
| 4.1.1 | Ramas secundarias..... | 120 |
| 4.1.2 | Ramas terciarias | 123 |
| 4.1.3 | Cantidad de componentes | 131 |
| 4.1.4 | Materiales para recubrimientos y acabados..... | 135 |
| 4.1.4.1 | Estructura..... | 135 |
| 4.1.4.2 | Cuerpo, carcasa y uniones | 136 |
| 4.1.4.3 | Acabados | 136 |
| 4.2 | Análisis de Elemento Finito. | 138 |
| 4.3 | Fabricación del prototipo | 145 |
| Capítulo 5 | Evaluación de prototipo..... | 153 |
| 5.1 | Evaluación en sitio..... | 155 |
| 5.2 | Evaluación por requerimientos | 156 |
| Conclusiones | | 161 |
| Referencias | | 165 |
| Anexos | | 177 |
| Anexo A: | Plano estructural árbol Arcano..... | 179 |
| Anexo B: | Planos estructurales de ramas primarias..... | 180 |
| Anexo C: | Planos de albañilería | 186 |
| Anexo D: | Planos de las Ramas secundarias y terciarias | 187 |
| Anexo E: | Catálogo de materiales | 226 |
| Anexo F: | Análisis de elemento finito..... | 229 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Diseño conceptual del árbol Arcano</i> | 18 |
| Figura 2 <i>Estructura general de un árbol</i> | 18 |
| Figura 3 <i>Maqueta del árbol Arcano</i> | 19 |
| Figura 4 <i>Proceso de escaneo de la maqueta</i> | 20 |
| Figura 5 <i>Modelo 3D obtenido</i> | 20 |
| Figura 6 <i>Domo existente</i> | 22 |
| Figura 7 <i>Modelo 3D de la estructura del árbol Arcano</i> | 22 |
| Figura 8 <i>Ramas principales del árbol Arcano</i> | 23 |
| Figura 9 <i>Esquema de la copa de árbol a configurar</i> | 26 |
| Figura 10 <i>Diagrama de fases de la metodología de Ulrich y Eppinger</i> | 29 |
| Figura 11 <i>Planta Aviario</i> | 38 |
| Figura 12 <i>Diseño del árbol Arcano</i> | 40 |
| Figura 13 <i>Ficus macrophylla</i> | 41 |
| Figura 14 <i>Ramas de Ficus macrophylla</i> | 42 |
| Figura 15 <i>Ficus benjamina</i> | 43 |
| Figura 16 <i>Ramas Ficus benjamina</i> | 43 |
| Figura 17 <i>Ficus benghalensis</i> | 44 |
| Figura 18 <i>Ramas de Ficus benghalensis</i> | 45 |
| Figura 19 <i>Tree of life</i> | 46 |
| Figura 20 <i>Ramas base</i> | 47 |
| Figura 21 <i>Textura de las ramas</i> | 48 |
| Figura 22 <i>Unión de rama a estructura</i> | 48 |
| Figura 23 <i>Swiss Family Treehouse</i> | 49 |
| Figura 24 <i>Australian moreton bay fig tree</i> | 50 |
| Figura 25 <i>Instalación de ramas y hojas</i> | 51 |
| Figura 26 <i>Remodelación del árbol para Tarzan's Treehouse</i> | 51 |
| Figura 27 <i>The Banyan Tree</i> | 52 |
| Figura 28 <i>Sección superior del Banyan Tree</i> | 53 |
| Figura 29 <i>Conexión de ramas utilizada por Nature Maker</i> | 54 |
| Figura 30 <i>Comparativa de formas y texturas: Baobab y Tree of Life</i> | 57 |
| Figura 31 <i>Comparativa de formas y texturas: Ficus macrophylla y Swiss Family Treehouse</i> | 58 |
| Figura 32 <i>Comparativa de formas y texturas: Ficus benghalensis y The Banyan Tree</i> | 59 |
| Figura 33 <i>Estructura Swiss Family Treehouse</i> | 60 |
| Figura 34 <i>Estructura ramas principales Swiss Family Treehouse</i> | 60 |
| Figura 35 <i>Montaje de estructura de ramas principales Tree of life</i> | 61 |
| Figura 36 <i>Montaje final de ramas secundarias Tree of life</i> | 61 |
| Figura 37 <i>Montaje de ramas terciarias y follaje Tree of life</i> | 62 |
| Figura 38 <i>Modelo 3D del árbol Arcano</i> | 63 |
| Figura 39 <i>Estructura del árbol Arcano</i> | 63 |
| Figura 40 <i>Modelo tridimensional de la estructura del árbol Arcano</i> | 64 |
| Figura 41 <i>Acabado 1 para tronco del árbol Arcano</i> | 65 |
| Figura 42 <i>Acabado 2 para tronco del árbol Arcano</i> | 66 |
| Figura 43 <i>Ramilletes de hojas a utilizar para el follaje</i> | 67 |
| Figura 44 <i>Dimensiones de la estructura principal y domo</i> | 68 |
| Figura 45 <i>MAT de fibra de vidrio</i> | 71 |

| | |
|---|-----|
| Figura 46 Resina poliéster..... | 72 |
| Figura 47 Textura de espuma de poliuretano..... | 73 |
| Figura 48 Ferrocemento..... | 74 |
| Figura 49 Boceto de forma 1..... | 96 |
| Figura 50 Boceto de forma 2..... | 97 |
| Figura 51 Boceto de forma 3..... | 98 |
| Figura 52 Boceto de estructura 1 y 2..... | 99 |
| Figura 53 Boceto de estructura 3 y 4..... | 99 |
| Figura 54 Bocetos de unión 1, 2 y 3..... | 100 |
| Figura 55 Boceto de recubrimientos y acabados 1..... | 101 |
| Figura 56 Boceto de recubrimientos y acabados 2..... | 102 |
| Figura 57 Boceto de recubrimientos y acabados 3..... | 103 |
| Figura 58 Boceto de recubrimientos y acabados 4..... | 104 |
| Figura 59 Diseño preliminar de la rama secundaria y terciaria..... | 116 |
| Figura 60 Maqueta del tronco del árbol Arcano..... | 119 |
| Figura 61 Diseño de estructura y carcasa para rama secundaria 1..... | 120 |
| Figura 62 Diseño de estructura y carcasa para rama secundaria 2..... | 121 |
| Figura 63 Diseño de estructura y carcasa para rama secundaria 3..... | 121 |
| Figura 64 Unión entre la estructura metálica y el PRFV..... | 122 |
| Figura 65 Vaciado de espuma de poliuretano en ramas secundarias..... | 122 |
| Figura 66 Estructuras de componente A y B para ramas terciarias..... | 123 |
| Figura 67 Componente A y B para ramas terciarias..... | 124 |
| Figura 68 Estructuras de componente 1,2 y 3 para ramas terciarias..... | 124 |
| Figura 69 Componentes 1,2 y 3 para rama terciaria..... | 125 |
| Figura 70 Diseño de rama terciaria 1 y 2..... | 125 |
| Figura 71 Diseño de rama terciaria 3 y 4..... | 126 |
| Figura 72 Ensamble ramilletes de hojas..... | 127 |
| Figura 73 Diseño de rama secundaria 1(Rama 2a-1)..... | 128 |
| Figura 74 Diseño de rama secundaria 2 (Rama 2a-2)..... | 129 |
| Figura 75 Diseño de rama secundaria 3 (Rama 2a-3)..... | 130 |
| Figura 76 Unión telescópica..... | 131 |
| Figura 77 Rama primaria con ramas secundarias y follaje..... | 132 |
| Figura 78 Materiales para estructura de ramas..... | 135 |
| Figura 79 Materiales para cuerpo, carcasa y uniones de ramas..... | 136 |
| Figura 80 Materiales para acabados de las ramas..... | 137 |
| Figura 81 Diagrama Esfuerzo – Deformación..... | 139 |
| Figura 82 Resultado de tensión de Von Mises para Rama 2a-1..... | 141 |
| Figura 83 Resultado de tensión de Von Mises para Rama 2a-2..... | 142 |
| Figura 84 Resultado de tensión de Von Mises para Rama 2a-3..... | 143 |
| Figura 85 Proceso de fabricación del prototipo..... | 145 |
| Figura 86 Fabricación del molde para los componentes de ramas terciarias..... | 146 |
| Figura 87 Elaboración de la rama secundaria..... | 147 |
| Figura 88 Componente de rama terciaria obtenido de los moldes..... | 148 |
| Figura 89 Sellado y refuerzo de uniones en componentes..... | 149 |
| Figura 90 Configuración de ramas terciarias..... | 149 |
| Figura 91 Recubrimiento para terminaciones..... | 150 |
| Figura 92 Prototipo de rama..... | 151 |
| Figura 93 Instalación de rama en sitio..... | 155 |
| Figura 94 Árbol Arcano concluido..... | 160 |

Índice de Tablas

| | | |
|----------|--|-----|
| Tabla 1 | <i>Características de las ramas de soluciones existentes</i> | 55 |
| Tabla 2 | <i>Características de textura de las ramas de los árboles inspiración para el árbol Arcano</i> | 56 |
| Tabla 3 | <i>Propiedades del PRFV</i> | 70 |
| Tabla 4 | <i>Ventajas y desventajas de la fabricación en serie</i> | 75 |
| Tabla 5 | <i>Ventajas y desventajas del moldeo manual</i> | 77 |
| Tabla 6 | <i>Ventajas y desventajas del moldeo por inyección</i> | 78 |
| Tabla 7 | <i>Listado de requerimientos y necesidades identificadas</i> | 93 |
| Tabla 8 | <i>Requerimientos formales</i> | 94 |
| Tabla 9 | <i>Requerimientos funcionales</i> | 94 |
| Tabla 10 | <i>Requerimientos estructurales</i> | 95 |
| Tabla 11 | <i>Evaluación de requerimientos formales para selección de forma y textura</i> | 105 |
| Tabla 12 | <i>Evaluación de requerimientos formales para selección de estructura</i> | 106 |
| Tabla 13 | <i>Evaluación de requerimientos estructurales para la selección de estructura</i> | 107 |
| Tabla 14 | <i>Resultado de la evaluación de requerimientos para selección de estructura</i> | 107 |
| Tabla 15 | <i>Evaluación de requerimientos formales para selección de unión</i> | 108 |
| Tabla 16 | <i>Evaluación de requerimientos funcionales para selección de unión</i> | 108 |
| Tabla 17 | <i>Evaluación de requerimientos estructurales para selección de unión</i> | 109 |
| Tabla 18 | <i>Resultado de la evaluación de requerimientos para la selección de la unión</i> | 109 |
| Tabla 19 | <i>Evaluación de requerimientos formales para selección de recubrimientos</i> | 110 |
| Tabla 20 | <i>Evaluación de requerimientos funcionales para selección de recubrimientos</i> | 110 |
| Tabla 21 | <i>Evaluación de requerimientos estructurales para selección de recubrimientos</i> | 111 |
| Tabla 22 | <i>Resultado de la evaluación de requerimientos</i> | 111 |
| Tabla 23 | <i>Materiales propuestos para el recubrimiento/ carcasa de las ramas</i> | 113 |
| Tabla 24 | <i>Evaluación de requerimientos y materiales</i> | 114 |
| Tabla 25 | <i>Cantidad de ramas secundarias y terciarias para cubrir la rama primaria 1</i> | 132 |
| Tabla 26 | <i>Cantidad de componentes necesarios para cubrir la rama primaria 1</i> | 133 |
| Tabla 27 | <i>Cantidad de ramas y componentes necesarios para cubrir el árbol Arcano</i> | 133 |
| Tabla 28 | <i>Cantidad de ramilletes de hojas a utilizar</i> | 134 |
| Tabla 29 | <i>Resultados de análisis de la rama 2a-1</i> | 141 |
| Tabla 30 | <i>Resultados de análisis de la rama 2a-2</i> | 142 |
| Tabla 31 | <i>Resultados de análisis de la rama 2a-3</i> | 143 |
| Tabla 32 | <i>Evaluación del prototipo respecto a requerimientos formales</i> | 156 |
| Tabla 33 | <i>Evaluación del prototipo respecto a requerimientos funcionales</i> | 157 |
| Tabla 34 | <i>Evaluación del prototipo respecto a requerimientos estructurales</i> | 158 |

Introducción

El desarrollo de parques temáticos se ha impulsado en los últimos años, ante la demanda de espacios de entretenimiento que ofrezcan nuevas experiencias. Arboterra se propone como un espacio turístico de la ciudad de Puebla, integrando un aviario y un parque temático para ofrecer una experiencia inmersiva y educativa. Como atracción principal se ha planteado la edificación de un árbol artificial; llamado Arcano, de 23 metros de altura, para el cual, durante la planeación de su construcción se detectó la necesidad de un diseño para la continuación de sus ramas primarias y configurar su copa ajustándose al diseño conceptual del árbol.

Ante el problema detectado, esta tesis presenta la investigación realizada, basada en la metodología de diseño de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, con la cual se diseñó y construyó un prototipo del diseño de las ramas secundarias y terciarias para configurar la copa del árbol Arcano, utilizando polímeros y metales

Este escrito se conforma de 5 capítulos que describen las fases del proceso de diseño. En el capítulo 1, se presentan los antecedentes del proyecto, el planteamiento del problema, y se definen los objetivos y metas. En el capítulo 2, se realiza una recopilación y análisis de información que sirve de referencia para el desarrollo y comprensión del proyecto. El capítulo 3, muestra las alternativas planteadas de acuerdo con los requerimientos identificados y se realiza la selección de alternativas con la cual se realiza un diseño preliminar. En el capítulo 4 se definen las especificaciones del diseño elegido y se elabora el prototipo físico. Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las evaluaciones realizadas al diseño y prototipo, las cuales muestran que el diseño presentado brinda una solución factible.

Capítulo 1

Aspectos preliminares

1.1 Antecedentes

Un parque temático es el nombre que se utiliza para denominar a un recinto, cuyas atracciones y espacios para el ocio, educación y cultura se encuentran organizados entorno a un tema particular.

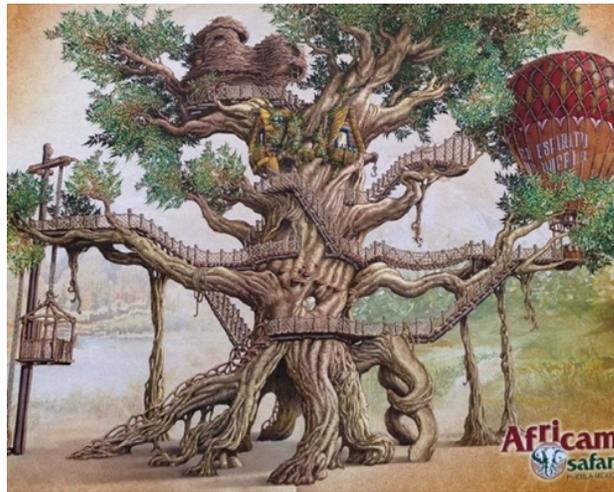
El mundo mágico de Arboterra es un proyecto de la empresa Africam Safari S.A. de C.V., se plantea como un parque temático y de conservación ubicado en el antiguo aviario del parque ecológico de la Ciudad de Puebla, pretende ser uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad; tiene como principal objetivo transmitir el cuidado de la naturaleza a través de la exploración y aventura.

El parque se propone contar con varias atracciones interactivas y servir como recinto de una diversa variedad de aves y otras especies, como reptiles y mamíferos.

Arboterra cuenta la historia de 5 niños aventureros, exploradores y protectores de la naturaleza, que encuentran este mundo mágico y tienen como misión ser los guías por esta tierra para todos los visitantes, mostrarles grandes maravillas de la naturaleza y ayudarles a entender cómo cuidarla y protegerla.

Como atracción principal se proyecta el árbol “Arcano”, un árbol artificial de 23 metros de altura, ubicado al centro del domo existente, se plantea con 5 niveles, cada uno con una actividad diferente y conectada a la historia del lugar y a sus personajes principales, a lo largo del recorrido por el tronco del árbol contará con terrarios para serpientes y ranas, así como también un mirador en su parte más alta. El árbol “Arcano” siendo el elemento más emblemático, también forma parte del logotipo de ArboTerra. En la Figura 1 se muestra el diseño conceptual del árbol definido por los dueños y creativos de la empresa.

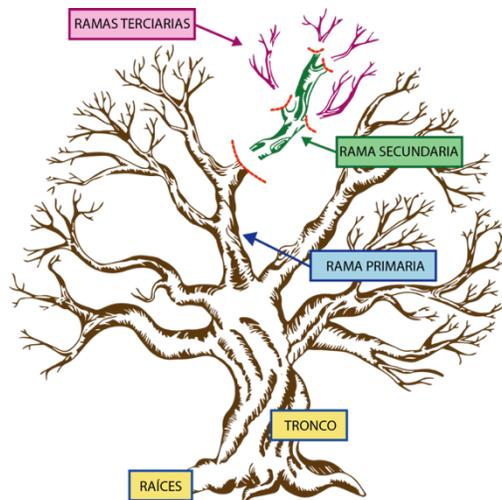
Figura 1 *Diseño conceptual del árbol Arcano*



Nota. Fuente: Luna Silva (2015).

Es muy importante tener clara la anatomía de un árbol para determinar cada una de las piezas necesarias para su construcción, ya que su edificación representa uno de los desafíos más importantes del proyecto. En la Figura 2 se muestra la estructura general de un árbol.

Figura 2 *Estructura general de un árbol*



Nota. Fuente: Propia (2022).

Para pasar del concepto a la construcción, se realizó una maqueta a escala con el objetivo de definir ubicaciones, medidas y gran parte de los aspectos técnicos para la construcción del árbol (Figura 3).

Figura 3 *Maqueta del árbol Arcano*



Nota. Fuente: Gerencia de proyectos, Africam Safari (2022).

En la maqueta del árbol se muestra que el tronco se enlaza a su copa a través de 8 ramas principales, a las que le continúan las ramas secundarias y terciarias, las cuales son fundamentales para poder proporcionar el follaje al árbol.

Por las dimensiones y complejidad de este proyecto se planteó trabajar en 2 partes, la primera abarca la construcción de las raíces, el tronco y las ramas primarias, y la segunda parte, la elaboración de las ramas secundarias y terciarias.

Este proyecto involucra a varios profesionales como ingenieros, diseñadores, arquitectos, escultores, artistas plásticos, carpinteros, soldadores y ayudantes generales.

El árbol "Arcano" como una gran pieza única y de formas orgánicas, representó un reto para lograr el diseño de su estructura, por tal razón se escaneó la maqueta y generó un modelo en tercera dimensión, para obtener la estructura metálica, la cual abarca

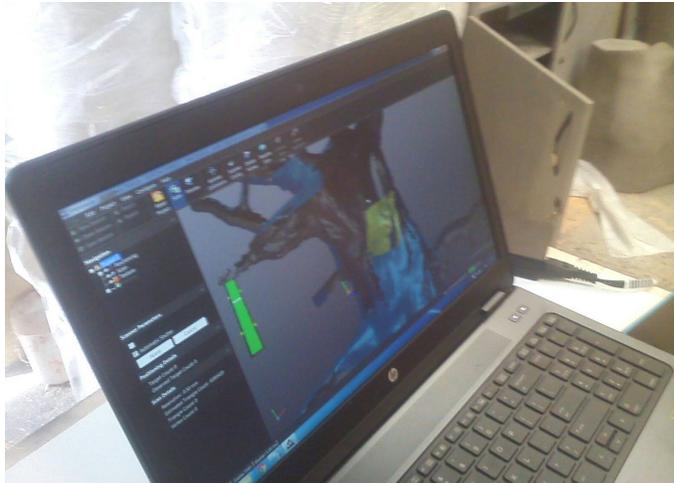
desde la parte de la cimentación hasta el inicio de las ramas principales. En la Figura 4 y 5 se muestra el proceso de escaneo de la maqueta.

Figura 4 *Proceso de escaneo de la maqueta*



Nota. Fuente: propia.

Figura 5 *Modelo 3D obtenido*



Nota. Fuente: propia.

Dado el nivel de detalle requerido para la continuación de las ramas y el follaje, se ha identificado la necesidad de desarrollarlo como un proyecto de manera alterna, para

poder definir formas, cantidad de ramas y follaje necesario para dar forma a la copa del árbol.

En la presente investigación, se propone dar solución a la última etapa de la edificación de este proyecto: el diseño de las ramas secundarias y terciarias, las cuales serán la continuación de las 8 grandes ramas principales y servirán para dotar de follaje, naturalidad y realismo al árbol Arcano.

1.2 Planteamiento del Problema

La construcción del parque Arboterra se plantea en el parque ecológico de la ciudad de Puebla, en el área donde anteriormente se encontraba el antiguo aviario. Este proyecto propone un espacio que funcione como recinto de aves en libertad dentro de las dimensiones del domo existente (Figura 6), también plantea que sirva para que los visitantes vivan una experiencia inmersiva a través de la creación de un parque temático, el cual presenta una historia fantástica, con la que se pretende transmitir a los visitantes la importancia de la conexión que tenemos los seres humanos con la naturaleza.

La construcción de este parque temático se plantea abarcar por fases, enfatizando como prioridad la construcción del árbol “Arcano” que es la atracción central. El área en la cual se edificará el árbol, es al interior de un domo de 60 metros de diámetro y 25 metros de altura. Este domo cuenta con una entrada de 3.6 metros de alto por 6 metros de ancho, además de otras 2 entradas de servicio, datos que son relevantes para la construcción del árbol y sus ramas, ya que estas medidas no solo delimitan el área de trabajo, también ofrecen un panorama del espacio que se tiene para instalar cada rama en su lugar.

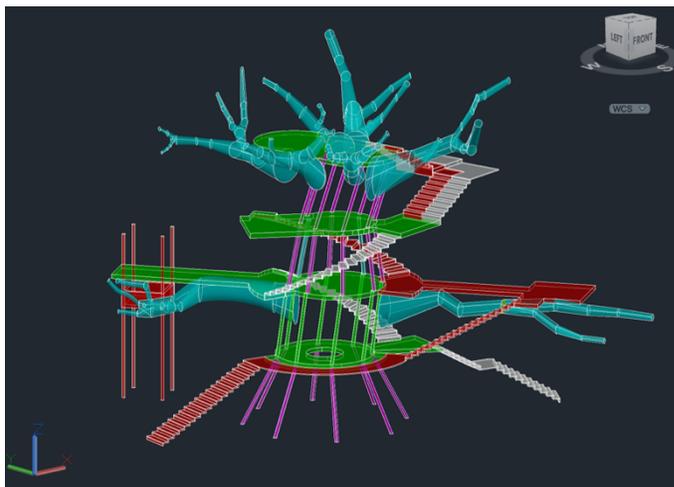
Figura 6 *Domo existente*



Nota. Fuente: Cantorán (2014).

La empresa CtradE Ingeniería de México S.A. de C. V., realizó la propuesta del diseño de la estructura principal del árbol Arcano, realizando el cálculo estructural y los planos necesarios para su construcción. En la Figura 7 se muestra una imagen del modelo 3D de la estructura del árbol generada por esta empresa, la cual abarca las raíces, el tronco y las ramas principales, así como también las escaleras por donde los visitantes tendrán acceso al recorrido por el árbol Arcano.

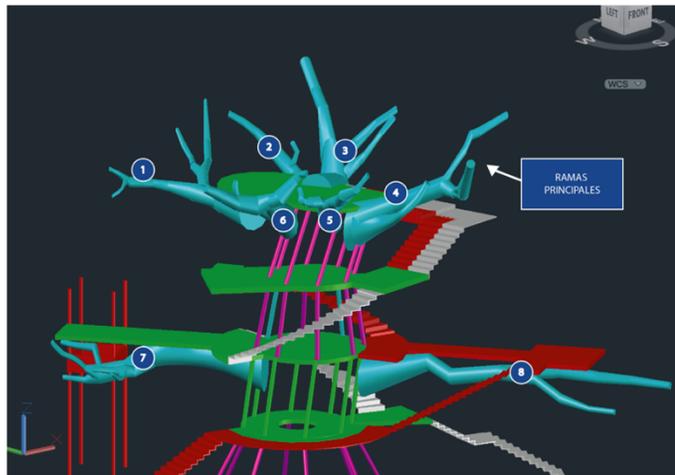
Figura 7 *Modelo 3D de la estructura del árbol Arcano*



Nota. Fuente: Gerencia de Proyectos, Africam Safari (2022).

Partiendo de la propuesta estructural generada por la empresa CtradE, la problemática para el equipo de diseño es resolver la construcción de la continuidad de las ramas primarias, por lo que esta investigación busca proporcionar el diseño de la continuación de las 8 ramas primarias que se aprecian en la Figura 8, las cuales son fundamentales para conformar la copa del árbol y dar soporte al follaje.

Figura 8 *Ramas principales del árbol Arcano*



Nota. Fuente: Gerencia de Proyectos, Africam Safari (2022).

Dentro del domo se plantean aves en libertad, por lo cual también se espera que algunas especies se posen sobre las ramas, sirviendo en algún momento como perchas y así los visitantes puedan apreciar a las aves de cerca, lo cual convierte a las ramas del árbol en un elemento importante de este recinto de aves, y determina la necesidad de un recubrimiento amigable con las aves.

Se requiere resolver la cantidad de ramas secundarias y terciarias necesarias para formar la copa propuesta en el diseño conceptual del árbol, así como también proponer sus dimensiones, considerando que el árbol alcanzará un máximo de 23 metros de altura.

Aunque se plantea como un árbol fantástico y artificial, se busca lograr un aspecto lo más real posible para lograr con mejor éxito la experiencia inmersiva, lo cual determina la necesidad de un alto nivel de detalle en los acabados de las ramas, pues se espera que los visitantes se aproximen a muchas de ellas durante su recorrido a lo largo de los 5 niveles del árbol.

Es un árbol ubicado a la intemperie, lo cual sugiere tomar en cuenta materiales resistentes al exterior y al contacto de las personas, ya que muchas de las ramas pueden llegar a estar cerca de los visitantes a lo largo de su recorrido. También es importante considerar por las dimensiones y complejidad del árbol, que los materiales a utilizar para los acabados sean de bajo o nulo mantenimiento.

Las dos etapas determinadas para la construcción del árbol Arcano se deben trabajar a la par, manteniendo la misma línea temática de acabados para lucir como una sola pieza.

Se requiere proporcionar todas las especificaciones necesarias para su fabricación e implementación futura, tanto para este proyecto como para una posible réplica si la empresa lo llegase a requerir y pueda ser implementada por cualquier equipo de diseño.

Esta investigación proporciona una solución a los problemas existentes para el diseño de las ramas secundarias y terciarias del árbol "Arcano", las cuales representan la última etapa de la edificación de este proyecto y un elemento muy importante para dar sentido a las ramas principales y aportar realismo al árbol.

1.3 Justificación

En México existen varios parques temáticos y su desarrollo se viene impulsando cada día más en los últimos años, debido a la demanda de las personas de contar con espacios de entretenimiento que ofrezcan vivir una experiencia inmersiva, realizando actividades divertidas y buscando desconectarse de las actividades rutinarias y estresantes de la vida diaria.

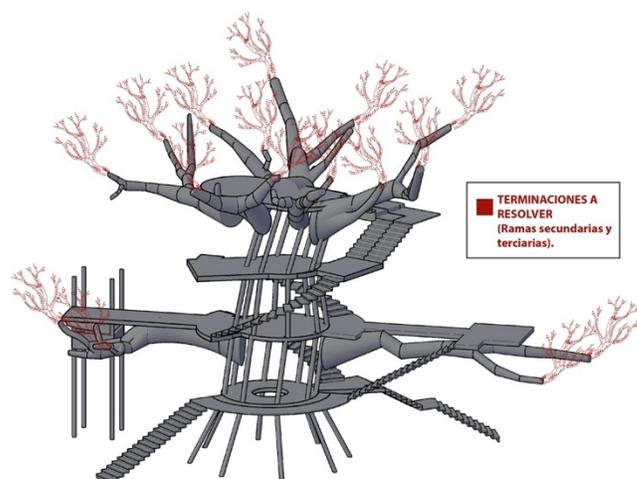
La construcción de este parque temático no solo considera la importancia del rescate de un espacio de lo que era un antiguo aviario, con el desarrollo de este proyecto también se espera proporcionar a la ciudad de Puebla un espacio turístico, donde el árbol se plantea como el elemento principal.

Dentro de los parques existentes en México y Latinoamérica, hasta la fecha no existe registro de la construcción de algún proyecto similar como lo es el desarrollo de este árbol artificial, por lo cual su edificación representa un gran desafío para los involucrados, pues se proyecta como el primero en construirse en Latinoamérica.

El desarrollo de este proyecto aporta una solución de diseño a un modelo de recinto para aves fuera de lo convencional, donde el diseño de las ramas secundarias y terciarias no solo representan la búsqueda de una solución ornamental, si no también funcional.

Con el diseño de estas ramas se busca configurar la copa del árbol Arcano (Figura 9), definiendo su forma y proporcionando el soporte para el follaje, el cual además de ser uno de los elementos más atractivos de un árbol, también le permite proporcionar sombra y definir de qué especie se trata.

Figura 9 Esquema de la copa de árbol a configurar



Nota. Fuente: propia (2022).

Esta investigación es parte del proceso de construcción de un espacio educativo y de esparcimiento, desarrollando una solución de diseño que cubra las necesidades y requerimientos del proyecto, proporcionando una propuesta estructural, estética y funcional para las ramas secundarias y terciarias del árbol Arcano, y que contenga las especificaciones necesarias para ser implementada.

Se propone dar una solución con el enfoque de un Ingeniero en Diseño, aplicando los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de su preparación profesional, en las cuales intervienen diversas disciplinas que permiten encontrar una solución integral a esta problemática y trabajar en conjunto dentro de un equipo multidisciplinario.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar las ramas secundarias y terciarias para el árbol artificial “Arcano” del parque temático “Arboterra”, para dar forma a la copa del árbol, empleando polímeros y metales.

1.4.2 Objetivos específicos y metas

Objetivo específico 1

Identificar las características morfológicas y estructurales de los árboles naturales y artificiales para su aplicación en el proyecto.

Metas:

- Lista de características morfológicas de las ramas de las especies de los árboles inspiración.
- Cuadro comparativo de las características de las ramas de algunos árboles artificiales existentes.
- Lista de la información de los materiales y texturas posibles a implementar para las ramas secundarias y terciarias.

Objetivo específico 2

Definir los requerimientos para la generación del concepto y alternativas de solución.

Metas:

- Lista de requerimientos formales, funcionales y estructurales para la generación de propuestas de ramas secundarias y terciarias.
- Bocetos para la identificación de propuestas.
- Evaluación de los conceptos mediante una matriz de evaluación.
- Tabla comparativa para elección de materiales de acuerdo a los requerimientos identificados.

Objetivo específico 3

Elaborar propuesta de diseño de la estructura y acabados de 3 ramas secundarias y 4 ramas terciarias.

Metas:

- Modelado 3D de estructura para las ramas secundarias y terciarias.
- Planos a detalle (alzado, planta, perfiles y de ensamble).
- Catálogo de recubrimientos y acabados.
- Prototipo de alta fidelidad.

Objetivo específico 4

Evaluar prototipo de alta fidelidad.

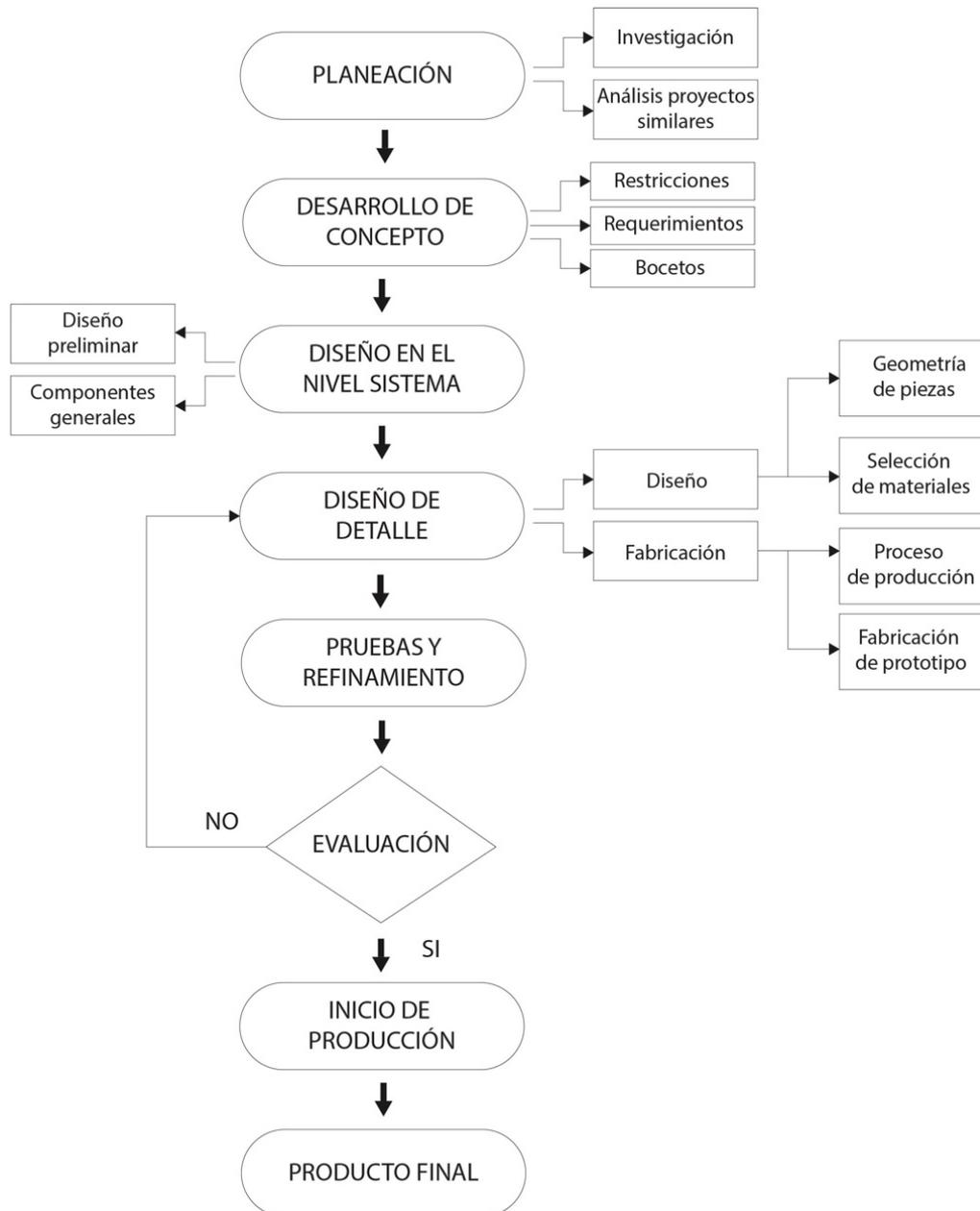
Metas:

- Evaluación del prototipo a través de una tabla de requerimientos.
- Conclusiones.

1.5 Metodología

Para el desarrollo de este tema se propone implementar la metodología de diseño y desarrollo del producto propuesta por Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger (2013), la cual se estructura en 6 fases.

Figura 10 Diagrama de fases de la metodología de Ulrich y Eppinger



Nota. Fuente: Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger (2013).

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Aspectos de parques temáticos

El proyecto del diseño de las ramas secundarias y terciarias del árbol Arcano, busca la solución a una parte que integra todo un complejo, por lo que en este capítulo se revisan algunos conceptos y definiciones, los cuales ayudan a contextualizar la problemática, además de fundamentar y guiar esta investigación, con el fin de contribuir con una base teórica que sirva para llegar a la solución de las necesidades de este proyecto.

Los parques son atracciones y lugares de alto nivel de entretenimiento, donde las personas y familias pueden pasar ratos agradables, en los últimos años el entretenimiento y ocio comenzó a percibirse como una necesidad, y los parques y ferias se han comenzado a desarrollar en más sitios.

Con la expansión de la televisión y la aparición e influencia de Walt Disney en los años 50's, se marcó una nueva era de entretenimiento y de lo que es un parque temático (Belmont, 2022).

2.1.1 Parque temático

La palabra temático proviene del vocablo griego "*thematikos*", donde "tema" significa "asunto" o "materia" y el sufijo "tico" significa "relativo a". Por lo cual un parque temático hace referencia al espacio cuyas atracciones están vinculadas a un tema en particular. Generalmente estos espacios apuntan al entretenimiento de los visitantes. Una película, periodo histórico, conjunto de personajes o un tema científico pueden motivar el desarrollo de un parque temático, los cuales suelen convertirse en sitios de interés turístico. (Pérez y Merino, 2019).

En este tipo de parques se coloca la temática de la experiencia por encima de la necesidad de diversiones tradicionales, estos espacios recreativos reúnen sus

atracciones para generar experiencias inmersivas de acuerdo a la línea argumental que se ofrece.

2.1.2 Experiencia inmersiva

Las experiencias inmersivas consisten en crear un ambiente y un entorno donde el espectador reciba multitud de estímulos y sensaciones a través de los diferentes sentidos, generalmente la vista y el sonido suelen ser los más usuales. Estas experiencias son capaces de transportar al público de su estado normal a un espacio donde física, mental y sensorialmente se conectan sus sentidos.

Estas experiencias se pueden lograr mezclando arte, ciencia y tecnología. Se trata de una vivencia donde el entorno, el mensaje y el concepto son fundamentales. (Ditec, 2022).

2.2 Contexto de los parques temáticos y de conservación

2.2.1 Usuarios de los parques temáticos

En términos generales, los usuarios de los parques temáticos son personas que buscan espacios de esparcimiento donde puedan divertirse en compañía de otras personas, ya sea familia, pareja o amigos, y aprender informalmente de la temática del lugar, por lo cual sus perfiles están determinados en gran medida por la temática del parque elegido para visitar.

Actualmente los parques temáticos o de atracciones y los zoológicos venden experiencias en lugar de productos, por lo cual los usuarios buscan una buena combinación entre infraestructura, y experiencias novedosas y de calidad.

Debido al interés por problemas ambientales y una mayor sensibilidad por el bienestar de los animales, se ha orillado a los zoológicos a que ahora sean establecimientos donde

se puedan desarrollar actividades que puedan contribuir a la conservación de especies, contando cada día con usuarios más exigentes. Los visitantes de estos establecimientos pueden y deben ser testigos de calidad y participar en las actividades educativas contribuyendo a la protección del medio ambiente.

La empresa Africam Safari, quién es generador de la idea del parque temático y de conservación “ArboTerra”; desde 1972 cuenta con experiencia en el cuidado y protección de las especies silvestres, por lo cual plantea un nuevo centro de conservación enfocado principalmente a las aves, rescatando un espacio que funcionó como aviario y proponiendo una manera diferente de recorrerlo y aprender de éstas y otras especies de fauna silvestre. Por lo cual se considera necesario mencionar el impacto que tienen este tipo de espacios en la sociedad, ya que no sólo funcionará como un atractivo turístico, también se plantea compartir la belleza de la fauna silvestre, conocer de ella y apoyar a su conservación.

2.2.2 Importancia de la Conservación ambiental

El continuo crecimiento de la población en los últimos años ha ocasionado la explotación desmedida de los recursos, provocando daños en el entorno que nos rodea, como la contaminación, extinción de especies o el cambio climático.

Los términos de conservación ambiental, conservación de especies, conservación y protección de la naturaleza, son algunos nombres con los que se conoce el objetivo de preservar el entorno que nos rodea por medio de estrategias que permitan el mantenimiento, recuperación, cuidado y conservación de sus elementos, como por ejemplo la flora y fauna, algún ecosistema u otro espacio con valor paisajístico (cumbre-puebloscop20, 2017).

La importancia de la conservación ambiental reside en la importancia del medio ambiente, ya que todos vivimos en él, por lo cual para asegurar nuestra propia

supervivencia y la del resto de los seres vivos, se debe hacer conciencia y preocuparnos por su cuidado y protección. Una de las herramientas más útiles para crear conciencia es la educación ambiental (González, 2019), poniendo en práctica medidas de conservación y desarrollo sostenible que satisfaga las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras.

2.2.3 Centro de conservación ex situ (Parques de conservación)

La conservación de la flora y fauna se ha desarrollado de dos maneras: dentro del hábitat natural o también llamada conservación in situ y fuera del mismo, es decir, conservación ex situ. La conservación ex situ, en cautiverio o colecciones es la aplicación de una amplia variedad de recursos, técnicas e infraestructuras especializadas, que contribuyen a la recuperación y sobrevivencia de individuos o poblaciones fuera de su hábitat. El objetivo principal de este tipo de conservación es reducir el riesgo de extinción de especies o poblaciones, con el propósito de restablecer poblaciones nuevas en el hábitat (Lascuraín et al., 2009).

Los centros de conservación o parques de conservación son una evolución moderna del concepto de zoológico, el cual actualmente para justificar su existencia debe contribuir de forma directa e indirecta a conservar la diversidad biológica, mediante la educación de los visitantes, actividades de comunicación y difusión, apoyo a la investigación, capacitación, reproducción de especies y fomento de una ética en la relación entre seres humanos y la naturaleza (Lascuraín et al., 2009).

2.2.4 Aviario de Puebla

Un aviario se refiere al lugar donde se encierran aves, permitiéndoles tener más espacio para volar a diferencia de una jaula para pájaros convencional. Estos aviarios en su mayoría contienen plantas y arbustos que logran la simulación de un hábitat natural (Diccionario actual, 2022).

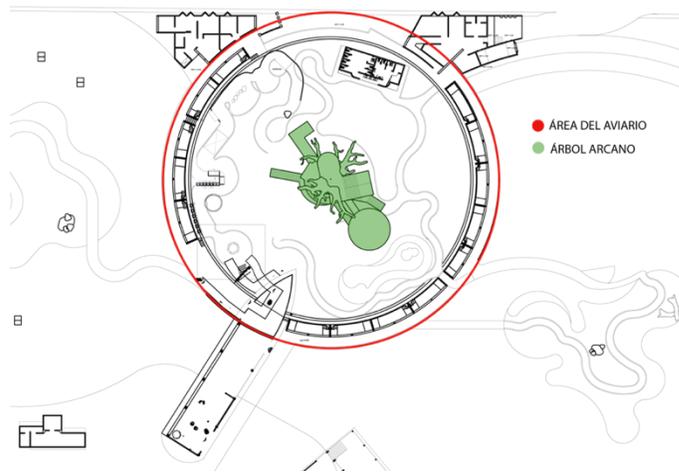
Los aviarios públicos generalmente se encuentran en un establecimiento, como lo pueden ser un zoológico o un parque, por lo cual son de grandes dimensiones, tienen como objetivo mostrar especies de aves en cautiverio dentro de un espacio amplio donde puedan volar y que sea de un aspecto similar a su hábitat natural.

Los comienzos del aviario de Puebla se dan en el año 1989 cuando un grupo de vendedores de aves, formaron la Unión de Capturadores, Transportistas y Vendedores de Aves Canoras y de Ornato del estado de Puebla (UCTVACO) o mejor conocida como Unión de pajareros, con el objetivo de la conservación y preservación de aves silvestres mexicanas, en 1991, la unión de pajareros se hizo cargo de la administración del aviario del parque ecológico, que en ese entonces permanecía en el abandono. En 1994, se elaboró un proyecto de remodelación estética lo cual lo convirtió en unos de los mejores aviarios de América Latina (Turismo en Puebla, 2014).

Lamentablemente en el año 2015, atendiendo reportes ciudadanos por presunto maltrato y tráfico de aves exóticas, la PROFEPA realiza una inspección al aviario y decomisa 105 aves que no demostraban una procedencia legal, e impone una multa a quien fuera responsable del aviario, por infracciones establecidas en el artículo 122, Fracciones II y X de la Ley General de Vida Silvestre (PROFEPA, 2015).

Por lo sucedido, las aves decomisadas se trasladaron a otro espacio para su mejor cuidado y quedaron bajo el resguardo del gobierno del estado (PROFEPA, 2015), durante los siguientes años se lanzó una licitación para la remodelación y manejo del espacio, la cual quedó a cargo del equipo de Africam Safari (angulo7, 2017) y donde se plantea el proyecto de Arboterra, el cuál albergará aves en libertad dentro del aviario y el árbol Arcano funcionará como atracción principal y como un medio importante para conectar al visitante con el espacio. En la Figura 11 se puede observar la planta del espacio que corresponde al aviario y donde se proyecta ahora a Arboterra y el árbol Arcano.

Figura 11 *Planta Aviario*



Nota. Fuente: Gerencia de Proyectos, Africam Safari (2022).

Aunque el proyecto del diseño de las ramas secundarias y terciarias del árbol Arcano no esté directamente relacionado con la conservación ambiental, es un elemento importante para este parque temático y de conservación, el árbol Arcano servirá como medio para mostrar información importante acerca del cuidado de la naturaleza, y a lo largo del recorrido por su tronco servirá como mirador para apreciar varias especies de aves, que probablemente en algún momento lleguen a posarse sobre las ramas del árbol.

2.3 Morfología de un árbol

2.3.1 Partes de un árbol y su funcionalidad

El proyecto del árbol Arcano busca lograr la edificación de un árbol artificial con un aspecto realista, lo que lleva a conocer las partes fundamentales de un árbol real y la función de cada una de ellas, para posteriormente estructurar los elementos que conforman el árbol Arcano.

Un árbol es una planta de tallo leñoso, que regularmente renueva su crecimiento (perenne) y ramifica a cierta altura del suelo. La mayoría de los árboles tienen un solo fuste o tronco, que produce extremidades secundarias llamadas ramas (Pierce, 2022).

Las raíces tienen dos funciones básicas, fijan el árbol al suelo y extraen el agua y los nutrientes minerales existentes en él. El tronco es la estructura que sostiene la copa, cumple con dos funciones fundamentales, dar soporte a la copa y trasladar los nutrientes desde las raíces a las hojas y otros minerales desde las hojas hasta las raíces. El tronco está formado por una capa exterior conocida como corteza, de color y texturas variables, la cual sirve para proteger el tejido vivo del árbol (Bonells, 2016).

Las ramas suelen brotar a cierta altura del suelo, dejando parte del tronco libre; junto con las hojas que crecen en ellas forman la copa. La copa adopta diversas formas según la especie. Las ramas que salen del tronco se subdividen en ramas secundarias. Las características que se encuentran en el tronco también se encuentran en las ramas principales, sin embargo, a veces la capa exterior de las ramas secundarias es menos leñosa y de color diferente (Bonells, 2016).

Las hojas son un elemento muy importante y vistoso de un árbol, junto con las ramas definen la copa del árbol y su especie. Según Sánchez de Lorenzo Cáceres (2016), "Las hojas son expansiones laminares que tienen por misión llevar a cabo la fijación del dióxido de carbono durante la fotosíntesis y la elaboración de los productos fotosintéticos. Cumplen una misión de intercambio gaseoso por medio de estomas" (p.1).

2.4 Características de árboles inspiración

Para este proyecto, los creativos del departamento de arte y diseño de Africam Safari han definido un diseño conceptual del árbol Arcano, el cual será una guía para su desarrollo, incluido el diseño de las ramas, las cuales deben seguir la misma línea temática de las raíces y tronco del árbol, para que fluya con naturalidad cada parte de él a pesar de desarrollarse por diferentes técnicas o equipos de personas.

El árbol Arcano plasmado en la Figura 1, mostrada en los antecedentes de esta investigación, se fue detallando tomando en cuenta características de las tres especies de árboles que fueron referencia e inspiración para su conceptualización, obteniendo un diseño con más claridad en los detalles (Figura 12).

Figura 12 *Diseño del árbol Arcano*



Nota. Fuente: Arboterra (2022).

Los árboles que sirvieron de inspiración para lograr este diseño son: el *Ficus macrophylla*, el *Ficus benjamina* y el *Ficus benghalensis*.

Para el diseño de las ramas secundarias y terciarias del árbol Arcano, se analizarán los árboles inspiración para lograr generar un concepto de diseño acorde al diseño conceptual ya existente.

2.4.1 *Ficus macrophylla*

A esta especie también se le conoce como higuera de Bahía Moreton, higuera australiana o bayán australiano (Figura 13), es un árbol perenne baniano de la familia Moraceae, es nativo de la mayor parte de la costa este de Australia (Sánchez de Lorenzo Cáceres, 2016).

Figura 13 *Ficus macrophylla*



Nota. Fuente: Martín (2020).

Es un árbol siempre verde corpulento, puede alcanzar alturas de 60 metros (Starr F et al., 2003), cuenta con una copa extendida, densa y un tronco grueso de corteza lisa y grisácea. Hojas largas elípticas, de color verde oscuro con nervadura muy fina y poco notable. La característica de apariencia de “derretimiento” se debe a que deja caer raíces aéreas de las ramas, llegando al suelo y al engrosar ayuda al tronco a soportar el gran peso de la parte superior. Es distinguido por sus raíces tubulares, las cuales son conocidas por dañar las aceras.

Como se puede apreciar en la Figura 14, las ramas tienen un color y textura similar al tronco del árbol, la corteza de las ramas es lisa con pequeñas estrías alrededor de la rama, tienen un color verde grisáceo y las formas son tubulares poco caprichosas, con algunos “ojos”.

Figura 14 *Ramas de Ficus macrophylla*



Nota. Fuente: Grasso (2006).

2.4.2 *Ficus benjamina*

Este árbol conocido comúnmente como laurel o laurel de la india (Figura 15), es un árbol nativo del sur y sureste de Asia, y norte y sur de Australia. Es el árbol oficial de Bangkok, Tailandia. Es un árbol perenne baniano de la familia Moraceae, puede alcanzar hasta 20 metros de altura. Es un árbol siempre verde de copa ancha y frondosa. (Sánchez de Lorenzo Cáceres, 2016).

Su tronco tiene la corteza lisa que va de gris claro a blanquecina, posee ramas péndulas, desarrolla raíces aéreas con facilidad. Sus hojas son gruesas de verde oscuro brillante, de forma ovalada y punta acuminada, van de los 6 a los 13 cm de largo (guía verde, 2022).

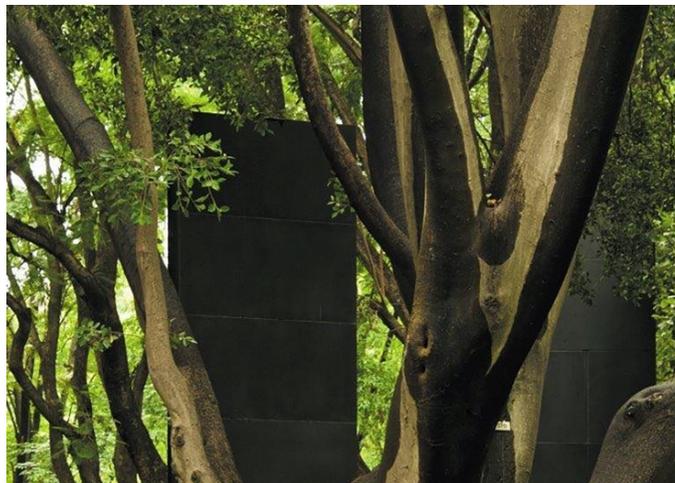
Figura 15 *Ficus benjamina*



Nota. Fuente: ChristianeB (2019).

En la Figura 16, se observa el detalle de las ramas del *Ficus benjamina*, son ramas rectas, con tendencia de crecimiento erecto, con textura un poco más lisa que el tronco, se pueden observar algunas estrías y “ojos” en ellas. Los colores de las ramas son grisáceos.

Figura 16 *Ramas Ficus benjamina*



Nota. Fuente: Iteso (2022).

2.4.3 *Ficus benghalensis*

Este árbol es conocido también como higuera de bengala, baniano o baniano indio (Figura 17), endémico de Bangladesh, India y Sri Lanka.

Es un árbol siempre verde, corpulento de 15 a 20 metros de altura. Produce raíces aéreas en las ramas, las cuales crecen hacia abajo como si fueran lianas, una vez que llegan al suelo, se arraigan volviéndose leñosas, formando así troncos que sirven de apoyo a la copa, de esta manera puede llegar a convertirse en un árbol gigante que se extiende por varias hectáreas. Su tronco tiene corteza gris y lisa, que se exfolia en pequeñas láminas irregulares (Sánchez de Lorenzo Cáceres, 2016). Las hojas van de forma ovada a elíptica, de 8 a 26 centímetros de largo, con un color verde oscuro brillante (Puccio, 2003).

Figura 17 *Ficus benghalensis*

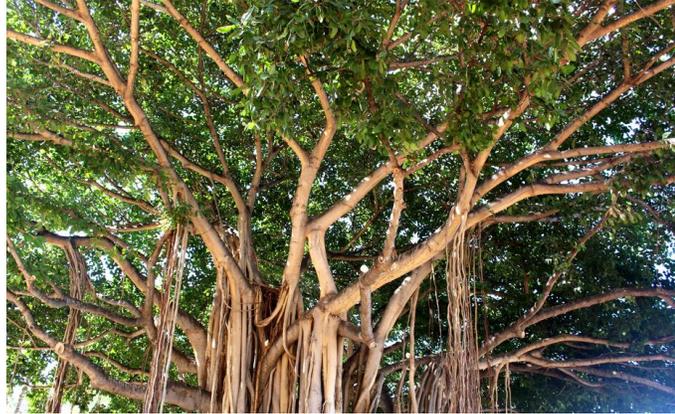


Nota. Fuente: Gobetz (2010).

Como se observa en la Figura 18, las ramas del *Ficus benghalensis* son tubulares, angostas y con poca textura, se observan algunas estrías alrededor, se dividen en varias ramas secundarias y tienden a tirar raíces, estas ramas tienen un crecimiento horizontal,

ya que este árbol se extiende a los extremos apoyándose de las raíces aéreas de sus ramas. Los colores de las ramas son grisáceos.

Figura 18 *Ramas de Ficus benghalensis*



Nota. Fuente: Shutterstock (2017).

Estos árboles pertenecen a la misma familia, por lo cual las ramas comparten varias características similares, las cuales se enlistan a continuación:

- Forma tubular y recta.
- Poca textura, sólo algunas estrías y “ojos” en algunas partes de su corteza.
- Desarrollan raíces aéreas con facilidad.
- Colores grisáceos.
- Conforman copas extendidas.
- Contienen ramilletes de hojas ovaladas con punta acuminada.
- Sus hojas son color verde oscuro brillante.

Estas características serán de gran utilidad para el desarrollo del concepto de las ramas secundarias y terciarias del árbol Arcano.

2.5 Soluciones existentes y análisis de información

2.5.1 Soluciones existentes

Para poder comprender las posibles soluciones a las que se puede llegar en este proyecto, se revisaron algunos proyectos similares construidos en otros parques temáticos y en empresas dedicadas a la escenografía y ambientación.

Alrededor del mundo existen muchos parques temáticos, dentro de los cuales los pertenecientes a Disney son los más famosos, han sido pioneros en la edificación de este tipo de parques, por lo cual han servido de inspiración para muchas otras empresas.

2.5.1.1 *Tree of life*

Uno de los árboles más famosos construidos es el Árbol de la vida o “Tree of life” (Figura 19), ubicado en el parque de Animal Kingdom de Disney World en Orlando Florida, es un árbol de 44 metros de altura, su diseño está basado en un árbol Baobab. A lo largo de todo su tronco y ramas tiene 325 esculturas de animales de especies existentes y extintas. Su creación tuvo una duración de 18 meses (disneyinsidertips, 2022).

Figura 19 *Tree of life*



Nota. Fuente: Disneyworld (2022).

Para su diseño, las ramas se modelaron en un programa 3D y a partir de ese modelo se calculó la cantidad de ramas necesarias para cubrir la copa del árbol, se determinó que se fabricarían en masa, se compondrían de 2 ramas secundarias y 2 ramas terciarias, las cuales se ensamblarían, ajustarían y se rotarían de tal forma que parecieran naturales y aleatorias.

Debido a las dimensiones del árbol, desde su concepción el equipo de Disney determinó que sería necesario ensamblar todos los componentes. Las ramas se diseñaron con un alma de acero y fueron recubiertas con fibra de vidrio estructural, flexible y moldeada por inyección (Figura 20).

Figura 20 *Ramas base*



Nota. Fuente: Malmberg (1998).

Después de tener las ramas listas, cada una fue intervenida por un escultor que dio una textura diferente a cada rama según el diseño del árbol (Figura 21).

Figura 21 *Textura de las ramas*



Nota. Fuente: Malmberg (1998).

El árbol cuenta con 45 ramas secundarias que conducen a 756 ramas terciarias que a su vez llegan a 7,891 ramas finales con 102,583 hojas artificiales fabricadas con termoplástico Kynar. El equipo ensambló las ramas en el suelo en un área aparte de la construcción del tronco, después fueron transportadas y subidas a través de una grúa (Malmberg, 1998). En la Figura 22 se puede observar la unión de las ramas a la estructura principal.

Figura 22 *Unión de rama a estructura*



Nota. Fuente: Stef (2014).

2.5.1.2 *Swiss Family Treehouse*

Otro árbol existente, ubicado en Disneyland California es “Swiss Family Treehouse” (Figura 23), inspirado en la película *Swiss Family Robinson*, se concibió desde un principio para ser una pieza central en la zona de Adventureland del parque y se pudiera recorrer a través de 68 escalones ubicados en el tronco (Weiss,2015).

Figura 23 *Swiss Family Treehouse*



Nota. Fuente: Glover (2012, 18 de noviembre).

Para su diseño, los imagineers (los encargados del diseño y la producción de las atracciones de los parques de Disney), utilizaron como inspiración un gran árbol, el Australian moreton bay fig tree o *Ficus macrophylla* (Figura 24), ubicado en Founder's park a 3km de distancia de Disneyland.

Figura 24 *Australian moreton bay fig tree*



Nota. Fuente: Kidney (2010, 27 de marzo).

Este árbol fue visitado por Walt Disney y su equipo para recolectar la información necesaria y obtener detalles de sus raíces, las texturas y formas. Desde un principio se planeó para la construcción del árbol utilizar los materiales y acabados necesarios para que pareciera real (Kidney,2010).

El Swiss Family Treehouse es un árbol totalmente hecho a mano, de 21 metros de altura, con una estructura de acero y concreto, se calcula que pesa aproximadamente 150 toneladas, sus raíces se extienden por el suelo hasta 12 metros.

La base de acero del tronco y las ramas, junto con los soportes subterráneos, tuvieron que cortarse y moldearse a mano en sus instalaciones de fabricación, luego transportarse en camiones al sitio de construcción y atornillarse en su lugar. Solo el esqueleto estaba compuesto por 50 piezas pre-ensambladas (Pilcher, 2021). Utilizando

andamios y tablonces de madera, el equipo instaló las ramas y las hojas de vinilo a mano (Figura 25).

Figura 25 *Instalación de ramas y hojas*



Nota. Fuente: Kidney (2010).

Figura 26 *Remodelación del árbol para Tarzan's Treehouse*



Nota. Fuente: Bales (1999).

En la Figura 26 se aprecia parte de la estructura de las ramas en su remodelación de 1999. Originalmente tenía 1,400 ramas y 300,000 hojas y flores, posteriormente en una remodelación de la atracción para ser Tarzan's Treehouse, se redujo a 450 ramas para hacerlo más ligero y menos susceptible a los daños ocasionados por los fuertes vientos (JakeAtThePark, 2021).

2.5.1.3 *The Banyan Tree*

El Golisiano Children's Museum, un museo para niños ubicado en Florida, tiene como una de sus atracciones principales una casa de árbol, llamada The Banyan Tree (Figura 27), para la construcción del árbol artificial fue contratada la empresa Nature Maker, ubicada en California. La empresa fabricó en sus instalaciones la totalidad del árbol, modulándolo en partes para su transportación e instalación en el museo.

Figura 27 *The Banyan Tree*



Nota. Fuente: Cmon (2021).

Es un árbol hecho completamente a mano por especialistas, escultores y pintores. Cada parte del árbol, ya sea tronco o ramas tiene un alma de acero como estructura, la cual es recubierta con malla metálica para dar las formas irregulares de cada parte del árbol. Posteriormente esta malla es recubierta por los artesanos completamente a mano con un material compuesto de textura semejante al barro, este procedimiento da como resultado la corteza del árbol. La colocación de las hojas igualmente es colocada una a una. Los acabados son proporcionados por los artesanos sin equipo alguno, dejando que la imaginación individual de cada artista proporcione el acabado final en cada pieza, las cuales resultan únicas (NatureMakerTrees, 2010).

Este árbol fue modulado en 56 piezas, tiene 9.1 metros de alto y 13.7 metros de ancho, y está cubierto por un follaje de 100,00 hojas (NatureMakerTrees, 2010). La Figura 28 muestra la parte superior del Banyan Tree en el taller de Nature Maker, donde se pueden observar las diferentes secciones en las que se encuentra dividido.

Figura 28 *Sección superior del Banyan Tree*



Nota. Fuente: Patton (2010).

Para el ensamble de las piezas del tronco, rama y rama se utilizaron conexiones telescópicas (NatureMaker, s.f.), en la Figura 29 se puede apreciar el tipo de conexión utilizada para las ramas.

Figura 29 *Conexión de ramas utilizada por Nature Maker*



Nota. Fuente: NatureMakerTrees (2011).

Al analizar los proyectos mencionados se identifica que para la construcción de las ramas utilizan un alma metálica y materiales plásticos de alta resistencia, debido a que son árboles en su mayoría ubicados a la intemperie y de alto tránsito de personas. También que, por las grandes dimensiones del árbol, demanda medidas y cantidades grandes de ramas, las cuales se han modulado en varias piezas para su mejor transportación e instalación, y utilizando en algunos casos la fabricación en serie para su producción.

En la Tabla 1, se concentra la información de las características principales de las ramas de los árboles analizados en esta etapa, datos que son un referente para desarrollar este proyecto.

Tabla 1*Características de las ramas de las soluciones existentes*

| | Tree of life | Swiss Family Treehouse | The Banyan Tree |
|---------------------------------|--|--|--|
| Cantidad de ramas | 7,891 piezas | 1,400 piezas | El árbol completo se moduló en 56 piezas |
| Estructura | Alma metálica de acero | Alma metálica de acero | Acero y malla metálica |
| Árbol inspiración | Baobab | Banyan tree o Bayán australiano | Banyan tree o Bayán australiano |
| Proceso de fabricación | Moldeo por inyección. Fabricación en serie | Moldeo a mano | Moldeo y escultura por artesanos |
| Recubrimiento intermedio | Fibra de vidrio estructural | Sin datos específicos | Malla metálica |
| Recubrimiento de acabado | Cemento especial similar al yeso | Yeso y estuco | Material compuesto similar al barro |
| Tipo de ensamble | Conexión bridada | Conexiones atornilladas y telescópicas | Conexiones telescópicas |
| Instalación | Con grúa telescópica | A mano. Con apoyo de tablonos y andamios | A mano y apoyo de grúa tipo Genie |

Nota. La tabla muestra una comparativa de las características principales de las ramas de los árboles artificiales analizados anteriormente. Fuente: Propia (2022).

Otro aspecto a observar son los acabados, los cuales tienen un papel muy importante para generar la experiencia inmersiva en estos parques, pues buscan el aspecto más realista posible e incluso las ramas pueden pasar desapercibidas, lo cual hace que el usuario viva la experiencia que se le ofrece sin revelarse a primera vista que se encuentra viendo o recorriendo un árbol artificial.

2.5.2 Análisis de texturas

Con la finalidad de identificar las posibles texturas que se pueden implementar, en la Tabla 2 se enlistan las texturas reales de los árboles inspiración del árbol Arcano.

Tabla 2

Características de textura de las ramas de los árboles inspiración para el árbol Arcano

| Árbol inspiración | Textura (imagen) | Características de la textura de las ramas |
|----------------------------------|---|--|
| <i>Ficus macrophylla</i> |  | <ul style="list-style-type: none"> • Poca textura • Existencia de algunas estrías horizontales • Formas rectas, poca variación en el diámetro de la rama • Colores grisáceos |
| <i>Ficus benjamina</i> |  | <ul style="list-style-type: none"> • Textura ligeramente granulada • Forma recta, con poca variación en el diámetro de la rama • Poca o nula existencia de “ojos” • Colores cafés y grises |
| <i>Ficus benghalensis</i> |  | <ul style="list-style-type: none"> • Textura granulada • Algunos “ojos” en ramas y tronco • Formas rectas con poca variación en el diámetro • Colores cafés con tonos anaranjados y grises |

Nota. La tabla muestra un listado de las características de la textura de los árboles inspiración utilizados para el diseño del árbol Arcano. Fuente: Elaboración propia (2022). Imagen 1: Grasso (2006). Imagen 2: Propia (2022). Imagen 3: Propia (2022).

A continuación, se hace una comparativa entre los árboles analizados en el apartado de soluciones existentes; Tree of life, The Swiss Family Treehouse y The Banyan Tree, y los árboles que fueron su inspiración, con el objetivo de observar las diferencias o coincidencias de sus formas y texturas

En la Figura 30, se observa que entre el árbol natural y el Tree of life, no existe gran diferencia entre las formas de las ramas y los colores utilizados, sin embargo, se puede apreciar una diferencia importante en la textura de las ramas, en las ramas del árbol Baobab la textura se aprecia poco granulada y de estrías horizontales, y en el Tree of life se utilizó una textura de estrías verticales a lo largo de la rama y con alto relieve, se puede concluir que con la finalidad de resaltar y enfatizar la corteza de todo el árbol, pues cuenta con varias esculturas de animales en alto relieve, por lo cual decidieron utilizar este mismo acabado en todo el árbol.

Figura 30 Comparativa de formas y texturas: Baobab y Tree of Life



Nota. Fuente: Árbol Baobab (izquierda) Kumar(2022), Tree of life (derecha) Allears. (2022).

En la Figura 31, se comparan las ramas del *Ficus macrophylla* y el Swiss Family Tree house, las cuales cuentan con una gran similitud, las formas de las ramas son idénticas, conservan la forma recta, una textura lisa y con algunas estrías horizontales a la rama. Las tonalidades utilizadas son las mismas. Este diseño de árbol fue fiel a las características del árbol que utilizaron de inspiración.

Figura 31 Comparativa de formas y texturas: *Ficus macrophylla* y Swiss Family Treehouse



Nota. Fuente: *Ficus macrophylla* (izquierda) Grasso (2006), Swiss Family Tree House (derecha) ClickOrlando (2021).

En la Figura 32, se observa que para el árbol artificial The Banyan Tree, se conservó la forma y estructura de las ramas de acuerdo con su árbol inspiración; el *Ficus benghalensis*, sin embargo, las tonalidades son diferentes, el The Banyan tree tiene como base un tono café oscuro y se utilizaron colores claros para dar profundidad y resaltar las formas y texturas en las ramas, a diferencia de los colores de su árbol inspiración que tiene tonalidades más claras y menos contrastantes. La textura de las ramas se aprecia similar a distancia, como se analizó con anterioridad en las características de las ramas del *Ficus benghalensis*, se observan texturas granuladas.

Figura 32 Comparativa de formas y texturas: *Ficus benghalensis* y *The Banyan Tree*



Nota. Fuente: *Ficus benghalensis* (izquierda) Attia (2021), *The Banyan Tree* (derecha) Ponushis (2012).

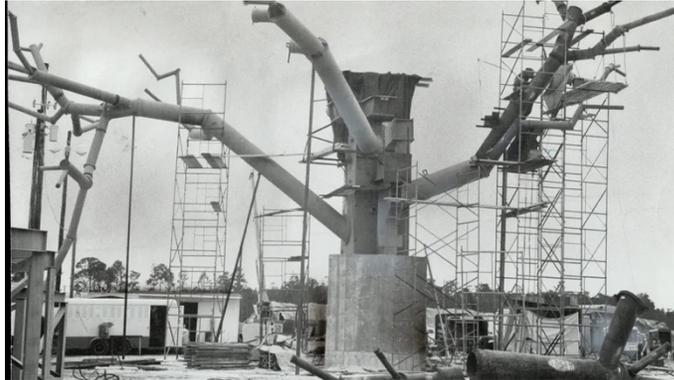
En general estos árboles artificiales se construyeron fieles a la forma de sus árboles inspiración, sin embargo, para fines de sus propios requerimientos estéticos y de uso, las texturas y colores cuentan con cierta variación, al final logran una apariencia natural e integral en todo el cuerpo del árbol conservando la esencia de los árboles que sirvieron de guía.

2.5.3 Estructuras de los árboles existentes

Para la edificación del Swiss Family Treehouse y el Tree of life, los responsables de su construcción diseñaron las estructuras principales del árbol, realizando los cálculos necesarios para la cimentación, la estructura del tronco y la estructura de las ramas principales. Posteriormente estas estructuras fueron cubiertas con los acabados, incluyendo la continuación de las ramas y sus hojas. Para la construcción de las ramas secundarias y terciarias, fueron necesarias estructuras bases para anclarlas a las ramas principales, considerando las dimensiones y formas que deberían cumplir de acuerdo a los requerimientos de diseño en cada uno de los casos.

En la Figura 33, se aprecia la estructura principal del Swiss Family treehouse, donde se observa la estructura metálica del tronco y parte de la instalación de las ramas principales.

Figura 33 *Estructura Swiss Family Treehouse*



Nota. Fuente: Bryant (2021).

En la siguiente imagen, se observa la estructura completa del Swiss Family Treehouse, el tronco y las ramas principales con algunas bifurcaciones, a las cuales continuaron las ramas secundarias y terciarias (Figura 34).

Figura 34 *Estructura ramas principales Swiss Family Treehouse*



Nota. Fuente: Frost (2010).

La Figura 35, muestra el montaje de las ramas principales del Tree of life, se puede observar en las estructuras que, de manera similar al árbol anterior, son estructuras sin acabados, también se aprecia como la estructura de la rama principal contiene listas las conexiones para las siguientes ramas; las ramas secundarias, a diferencia de la estructura del Swiss Family Treehouse, que no es visible la conexión para las siguientes ramas.

Figura 35 *Montaje de estructura de ramas principales Tree of life*



Nota. Fuente: Miles (2021).

En la Figura 36, se puede apreciar la estructura del Tree of life con las ramas secundarias colocadas en su sitio, éstas ramas ya contienen un acabado e igualmente se observa que tienen la conexión que servirá para montar las ramas terciarias.

Figura 36 *Montaje final de ramas secundarias Tree of life*



Nota. Fuente: Miles (2021).

En la Figura 37, se observa la instalación de las ramas terciarias y el follaje para el Tree of life. Estas ramas, al igual que las secundarias, ya tienen todos sus acabados, pues sería complicado realizar detalles después de su instalación por la altura a la que se encuentran.

Figura 37 Montaje de ramas terciarias y follaje Tree of life

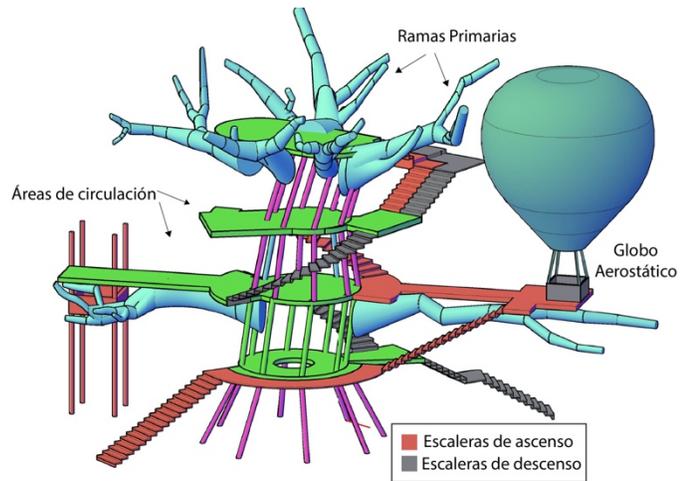


Nota. Fuente: Miles (2021).

2.5.4 Estructura del árbol Arcano

Para el diseño de la estructura del árbol Arcano, la empresa CtradE Ingeniería de México S.A. de C. V., realizó el desarrollo de la estructura del tronco y de las ramas principales a partir del diseño conceptual, y del modelo 3D obtenido del escaneo de la maqueta. En la Figura 38 observa el modelo 3D que sirvió de base para el desarrollo de la estructura. En color azul se aprecian las ramas principales.

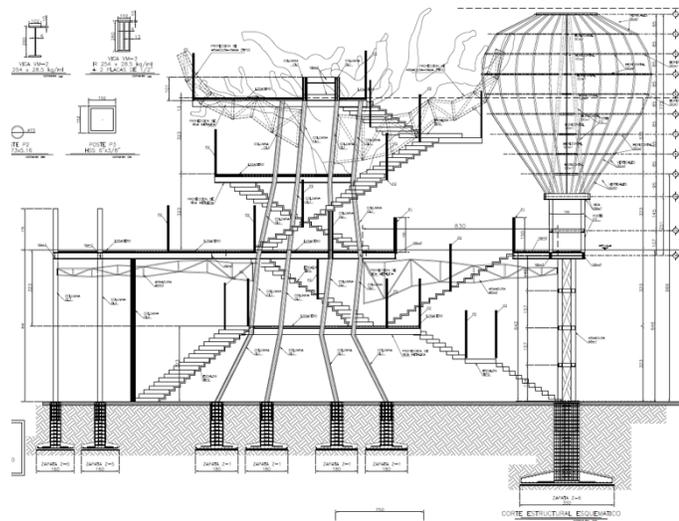
Figura 38 Modelo 3D del árbol Arcano



Nota: Fuente: Gerencia de Proyectos, Africam Safari (2022).

La Figura 39 es una imagen tomada del plano estructural del tronco del árbol Arcano. En el Anexo A, se puede analizar a detalle el plano estructural completo, con las especificaciones ingenieriles para la construcción de la estructura principal del árbol, la cual será de acero estructural, utilizando diferentes perfiles que en el plano se detallan.

Figura 39 Estructura del árbol Arcano

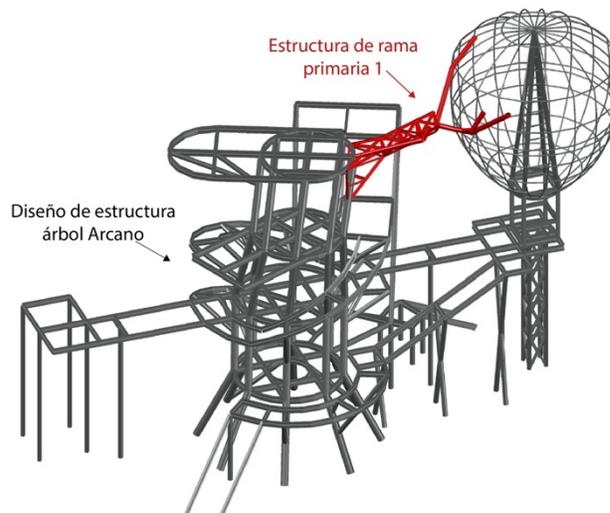


Nota: Fuente: Proyecto Arboterra, Gobierno del Estado de Puebla (2022).

En la Figura 40 se muestra el modelo tridimensional de la estructura del tronco del árbol Arcano y la estructura de la rama principal número 1 en color rojo.

En el Anexo B, se pueden observar a detalle las estructuras de cada una de las ramas, las cuales servirán como guía para el desarrollo de las ramas secundarias y terciarias.

Figura 40 Modelo tridimensional de la estructura del árbol Arcano



Nota: Fuente: Gerencia de Proyectos, Africam Safari (2022).

2.5.5 Acabados del árbol Arcano (tronco y ramas primarias)

En los planos de albañilería (ver Anexo C), se plantean dos procedimientos para los acabados del tronco y las ramas principales, esto con la finalidad de lograr las texturas deseadas según el diseño conceptual, dependiendo el área a trabajar será el procedimiento a utilizar.

A continuación se presentan la descripción de los procedimientos y los materiales a utilizar en cada uno de los acabados.

El procedimiento para el Acabado 1 mostrado en la Figura 41 es el siguiente:

A) Base

- Estructura de acero o varilla corrugada o muro de tabique o block con las formas iniciales.
- Malla electrosoldada calibre de alambre 08-08 cuadro R 6x6 manipulada para conseguir el contorno natural deseado.
- Malla de metal desplegado (falso-plafón).

B) Acabado inicial

- Aplanado de mortero proporción 1:4 de 2 a 3 cm de espesor, acabado repellido.

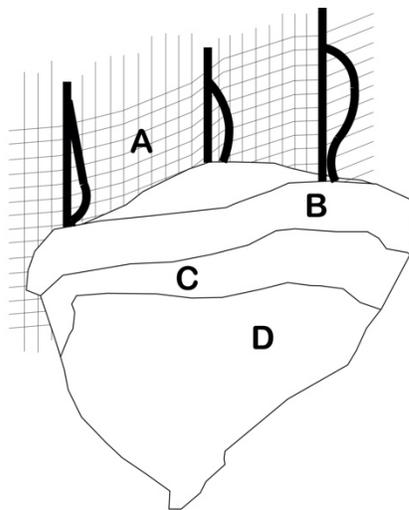
C) Acabado intermedio

- Aplicación de mortero proporción 1:4 con textura modelada manualmente para representar el acabado final requerido.

D) Acabado final

- Aplicación de acabado con oxidante para concreto y pinturas vinílicas.

Figura 41 *Acabado 1 para tronco del árbol Arcano*



Nota: Fuente: Gerencia de Proyectos, Africam Safari (2022).

El procedimiento de Acabado 2 ilustrado en la Figura 42 es el siguiente:

A) Base 1

- Poliestireno expandido modelado manualmente para conseguir el contorno natural deseado.

B) Base 2

- Malla de metal desplegado (falso-Plafón).

C) Acabado inicial

- Aplanado de mortero proporción 1:4 de 2 a 3 cm de espesor, acabado repellido.

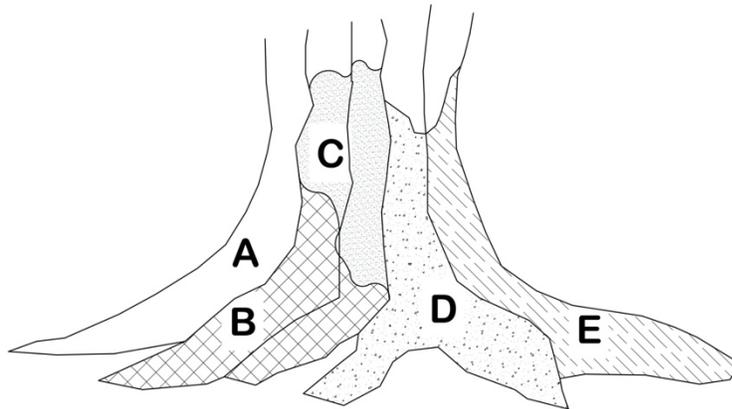
D) Acabado intermedio

- Aplicación de mortero proporción 1:4 con textura modelada manualmente para representar el acabado natural que se requiera.

E) Acabado final

- Aplicación de oxidante para concreto y pinturas vinílicas.

Figura 42 Acabado 2 para tronco del árbol Arcano



Nota: Fuente: Gerencia de Proyectos, Africam Safari (2022).

Para el follaje se utilizará un ramillete de hojas artificiales importado (Figura 43), el cual cuenta con las siguientes características:

Material de la hoja: PVC virgen

Tamaño de la hoja: 7cm por 3cm

Color: Verde PMS 570 y Amarillo PMS 350

Estructura: PVC Virgen con protección anti- UV y tratamiento Fire

Garantía: 4 años.

Figura 43 Ramilletes de hojas a utilizar para el follaje

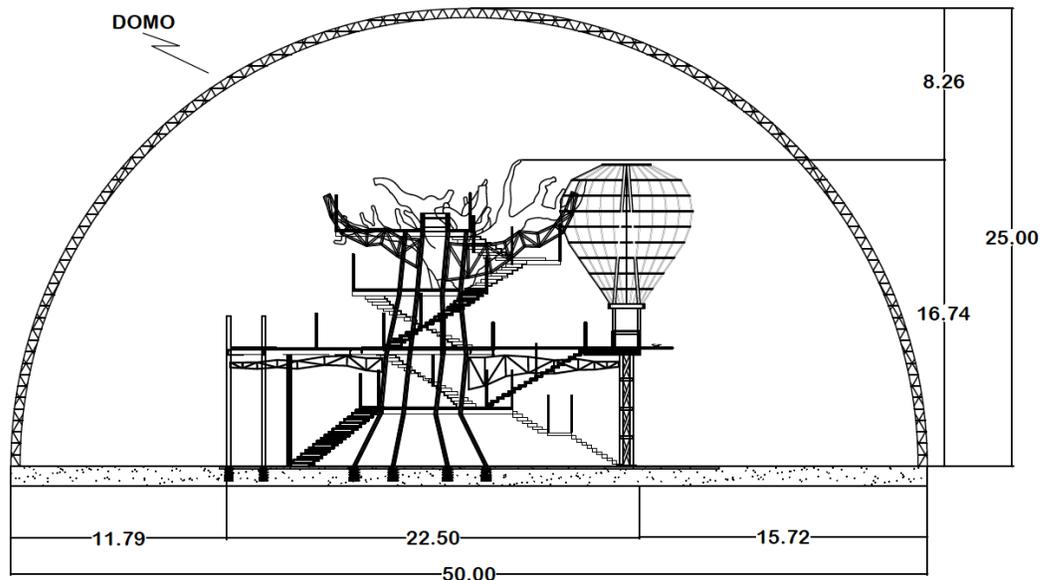


Nota: Fuente: propia.

Es importante considerar cada una de estas especificaciones para el desarrollo de las ramas secundarias y terciarias, ya que las características del tronco y las ramas principales son fundamentales para dar continuidad a las ramas del árbol, y lograr uniformidad en el proyecto.

Otro factor a considerar para el diseño y la instalación de las ramas, es el domo dentro del cual se edificará el árbol, pues delimita el espacio de trabajo y maniobra para la instalación futura de las ramas. En la Figura 44 se muestran las dimensiones generales de la estructura principal del árbol dentro de las dimensiones del domo.

Figura 44 Dimensiones de la estructura principal y domo



COTAS: METROS

Nota: Fuente: Propia (2022).

2.5.6 Análisis de materiales y procesos

2.5.6.1 Análisis de materiales

Con la finalidad de conocer los posibles materiales a aplicar en el diseño de las ramas secundarias y terciarias del árbol Arcano, se analizan conceptos y los materiales utilizados para la construcción de las ramas del “Tree of life”, “Swiss Family Tree House” y “The Banyan Tree” ya descritos en el apartado de soluciones existentes, así como también los mencionados en los acabados utilizados para el tronco del árbol Arcano.

Material compuesto. Un material compuesto se define como la combinación de dos o más materiales a partir de una unión química o no química, se forman para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener por los materiales que lo componen por sí solos. Estos compuestos son usados para lograr rigidez, resistencia,

peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad, entre otras características (Naval Composites, 2016).

Uno de los materiales compuestos más común utilizado en la industria de la ambientación es el PRFV o plástico reforzado con fibra de vidrio.

PRFV o Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio. También denominado con las siglas GFRP (Glass-Fiber Reinforced Plastic), o GRP (Glass Reinforced Plastic), por sus siglas en inglés, es un material compuesto, formado por una matriz de plástico o resina reforzada con fibras de vidrio, obteniendo un producto con mejores propiedades mecánicas. También es común que a este material se le llame simplemente “fibra de vidrio”.

El PRFV está compuesto principalmente por fibra y resina. Las resinas empleadas tienen gran resistencia a la compresión y altas temperaturas, pero no son flexibles y presentan escasa resistencia a flexión y tracción. Para mejorar sus propiedades se refuerzan con otros materiales. Por el costo, el refuerzo más utilizado es la fibra de vidrio, además de tener una gran resistencia a la tracción y alta flexibilidad. La resistencia mecánica del PRFV depende de la cantidad de fibra de vidrio que contenga, a mayor fibra de vidrio, mayor resistencia mecánica (PRFV.Wordpress, 2022).

Las resinas más utilizadas son poliéster, epoxi, viniléster, entre otras. El PRFV es un material ligero, resistente y fácil de moldear, por lo que es muy usado en la elaboración de piezas de diversas formas complejas. Actualmente su uso se extiende por todo tipo de industrias, desde la automovilística o aeronáutica hasta la construcción.

Dentro de la variedad de aplicaciones que tiene este material se encuentra su uso en la arquitectura de elementos interiores y exteriores para parques temáticos y zoológicos, ofreciendo la posibilidad de recrear rocas, árboles, troncos y enredaderas artificiales, entre otros elementos escultóricos (Smooth-on, 2022). En la siguiente tabla (Tabla 3) se enlistan las propiedades del PRFV.

Tabla 3*Propiedades del PRFV*

| | |
|-------------------------------------|---|
| Bajo mantenimiento | Los compuestos no necesitan de ningún mantenimiento especial, incluso años después de haberle dado mucho uso en aplicaciones externas. |
| Versatilidad | Existe una amplia gama de tamaños, filamentos, tipos de fibra y resina, las cuales ofrecen una gran variedad de posibilidades industriales. |
| Excelente aislante térmico | Cuenta con un bajo coeficiente de expansión y una conductividad térmica relativamente alta, lo que permite que el calor se disipe más rápido. |
| Económico | Presenta una gran ventaja frente a otro tipo de tejidos de fibras naturales o sintéticas, cuenta con una larga vida útil y de bajo mantenimiento. |
| Resistencia química | La resina dota de resistencia frente a la erosión química y del medio ambiente, por lo tanto, la fibra no se deteriora, ya que es resistente a la mayoría de los ácidos a excepción del ácido fosfórico y fluorhídrico. |
| Aislamiento eléctrico | No conduce electricidad, por lo cual es ideal para aplicaciones donde se busque un buen aislamiento eléctrico en determinadas instalaciones. |
| Peso ligero | Es fácil de mover e instalar. |
| No se corroe, es impermeable | Por eso puede usarse en proyectos náuticos y a la intemperie. |

Nota. La tabla muestra las propiedades del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio.
Fuente: Uni her (2022). Servei estació (2022).

Fibra de vidrio. Es un material conformado por numerosos y extremadamente finos filamentos cerámicos basados en dióxido de silicio. Se caracteriza por ser un material ligero, resistente, estable y buen aislante térmico. Se utiliza en muchas aplicaciones que involucran la construcción, la impermeabilización, la creación de esculturas y fabricación de diversos objetos. También se utiliza como agente de refuerzo para formar el plástico reforzado con fibra de vidrio o PRFV (Motorex, 2020).

Se puede encontrar en distintos formatos comerciales, siendo los más comunes:

1. Mantas de fibra de vidrio MAT

Se compone de fibras de vidrio no tejidas unidas entre sí utilizando un aglutinante. Es el más utilizado para laminados de PFRV por ser fácil de moldear y tener menor costo (Figura 45).

2. Filamentos de fibra de vidrio ROVING

Es una hebra de hilos continuos de filamentos de fibra de vidrio. Se sirve en bobinas.

3. Tejidos de fibra de vidrio WOVEN ROVING

Están conformadas por rovings tejidos. Son telas de alto rendimiento, pero su costo es mayor.

4. Velos

Son finas telas de fibra de vidrio (tejida y no tejida) que presentan una superficie lisa y uniforme. Se suele utilizar como capa superficial para dar un acabado suave a las piezas. (PFRV.Wordpress, 2022).

Figura 45 MAT de fibra de vidrio



Nota: Fuente: Poliformas (2022).

Resinas poliéster. Es un compuesto químico procedente del petróleo, se clasifica dentro del grupo de los polímeros o mejor conocidos como plásticos. Esta resina es líquida a temperatura ambiente (Figura 46) y se endurece mediante un proceso químico, obteniendo un material de gran resistencia térmica, química y mecánica. La resina poliéster es termoestable, lo que significa que en estado líquido dispone de maleabilidad hasta el proceso de endurecimiento, obteniendo que el material se amolde a cualquier forma o superficie. Dispone de una estructura cristalizada, por lo que puede romperse al someterse a demasiada presión. Se pueden añadir cargas a la resina para mejorar sus propiedades, según la finalidad a la que vaya dirigida (Mafisan, 2022). Por lo general se clasifican en dos tipos:

- **Ortoftálticas:** Es la resina de uso más frecuente, económica y de mayor rigidez, pero menor resistencia al agua.
- **Isoftálticas:** Esta resina dispone de una gran resistencia química y a la exposición prolongada al ambiente, con una gran resistencia al agua (Motorex, 2019).

Debido a su maleabilidad se utiliza en diversos ámbitos como la industria automotriz, ferroviaria, máquinas industriales, parques temáticos o en la artesanía y decoración (Mafisan, 2022).

Figura 46 Resina poliéster



Nota: Fuente: Nevchem (2016).

Espuma de poliuretano. Es un material plástico poroso (Figura 47), se forma por la reacción química gaseosa de dos compuestos, un polioliol (alcohol polihídrico) y un isocianato (compuesto químico, fundamental en la síntesis de poliuretano), dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando burbujas. Su característica más notable es su capacidad de expansión, se puede duplicar o incluso triplicar su volumen al ser aplicada. De manera general la composición de la espuma de poliuretano es petróleo y azúcar, formando una espuma rígida, con un alto coeficiente de aislación térmica, rigidez estructural, baja absorción de humedad y una gran adherencia a diferentes superficies. Es un material ligero y maleable.

Otras de sus características son:

- Alta capacidad de carga, resistencia a la compresión de 130 KPa.
- Flexibilidad.
- Resistencia a la abrasión y al impacto.
- Resistencia al agua, grasa y gasolina.
- Fácil producción.
- Resistencia al moho y a los hongos.
- Resistencia a condiciones climáticas hostiles.
- Excelente adherencia en materiales usados en la construcción.
- Aislante acústico y eléctrico (Termiser, 2017).

Figura 47 *Textura de espuma de poliuretano*



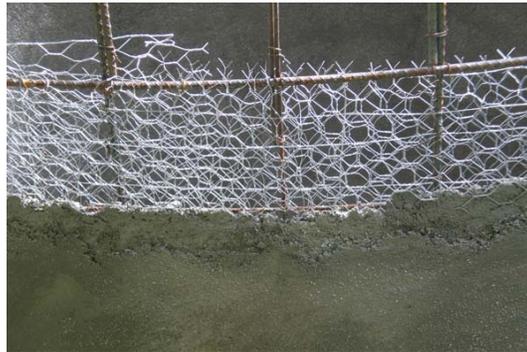
Nota: Fuente: Eriksvoboda (2022).

Ferrocemento. Es un material compuesto que se utiliza en la construcción, consiste en malla de acero y mortero (Figura 48). Para construirlo se aplica mortero de cemento, arena y agua sobre una malla, el espesor llega a ser entre 10 y 30mm. Características:

- Ligero en comparación al concreto.
- Nivel bajo de agrietamiento.
- Gran firmeza.
- Económico.
- Resistencia al fuego.
- Resistencia a los terremotos.
- No se oxida.

Esta técnica proporciona poco espesor y gran flexibilidad, siendo un material muy resistente, duradero y versátil; se utiliza en la construcción de viviendas, barcos, creación de esculturas y características arquitectónicas (Solís, 2011).

Figura 48 *Ferrocemento*



Nota: Fuente: Arneson (2011).

2.5.6.2 *Análisis de proceso de fabricación*

Al analizar los proyectos similares existentes, se detectaron algunos procesos en común para la fabricación de las ramas de dichos árboles, a continuación, se describen

cada uno de ellos para comprender con más detalle cómo es el proceso y posteriormente considerar si alguno es viable para su aplicación en este proyecto.

Fabricación en serie. También es conocida como producción en cadena o producción en masa, consiste en la fabricación de un producto en grandes cantidades, usando diseños estandarizados, y a partir de un ensamblaje de piezas, las cuales se incorporan conforme pasan por las distintas fases del proceso de fabricación. Es ideal para cuando se requieren productos homogéneos o un gran volumen de producción (Rodríguez, 2022). Este tipo de producción es la más común en muchas industrias. Se pueden producir series pequeñas, medianas o grandes. En la Tabla 4, se muestran las ventajas y desventajas de este tipo de producción.

Tabla 4

Ventajas y desventajas de la fabricación en serie

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Alto nivel de precisión • Costos individuales de producción bajos • Aumento de producción • Mayor control de calidad debido a estandarización de procesos • Disminución del tiempo de producción | <ul style="list-style-type: none"> • Trabajo monótono y repetitivo • Alto costo de maquinaria y/o equipo para producción • Poca flexibilidad para cambio en los productos • Costos elevados de mantenimiento a maquinaria o equipo |

Nota. La tabla muestra las ventajas y desventajas de la aplicación de la fabricación en serie. Fuente: enciclopedia económica (2022).

Moldeo. Un molde es una pieza o conjunto de piezas acopladas, su interior es hueco y contiene los detalles e impresiones exteriores del futuro objeto que se desea obtener. El moldeo es un método de fabricación, en el cual se vierte un material fluido; que puede ser plástico, metal, cemento, yeso, entre otros; que al solidificarse adquiere la forma del

molde que lo contiene. Por medio de este método se pueden obtener piezas de formas muy diversas. Los pasos para este método son:

1. Diseñar la pieza a fabricar.
2. Construir o conseguir un modelo, que será la pieza original.
3. Construcción del molde.
4. Vaciado en el molde del material elegido.
5. Desmolde o extracción de la pieza.

Los moldes se pueden clasificar en permanente o molde perdido, esto depende del material usado para la construcción del molde, o bien según el método de vertido, que puede ser por gravedad o presión.

Para la elección del tipo de método de moldeo depende de la complejidad de la pieza, grado de tolerancia, número de piezas a fabricar, costo del molde y el acabado deseado.

Tipos de moldeo:

- Moldeo manual.
- Por gravedad.
- Por presión o compresión.
- Moldeo en arena.
- Moldeo por matriz.
- Moldeo a la cera perdida.
- Moldeo por inyección.
- Moldeo por rotación (Intelángelo y Bonato, 2019).

De acuerdo con los proyectos analizados, los tipos de moldeo más utilizados para la industria de la escenografía y decoración son el moldeo manual y el moldeo por inyección.

Moldeo manual. Es el más antiguo de los procesos y el más conocido por su versatilidad y practicidad. Es un proceso a molde abierto y consiste en la colocación ordenada de capas de resina y capas de refuerzo que se intercalan entre sí, y al terminar el proceso de curado se obtiene una pieza integral de PRFV. En este método la fibra y la resina se colocan de manera artesanal con instrumentos sencillos como rodillos, brochas y espátulas (Siesa, 2022). En la Tabla 5 se enlistan las ventajas y desventajas de este ripo de moldeo.

Tabla 5

Ventajas y desventajas del moldeo manual

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Baja inversión • Simplicidad de proceso • Sin limitaciones de tamaño • No requiere mínimo de piezas • Herramientas básicas, sin equipo o maquinaria especial | <ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza más mano de obra que otros métodos de moldeo • Emisiones de vapores de estireno en caso de usar fibra de vidrio • Bajo control de merma |

Nota. La tabla muestra las ventajas y desventajas de la aplicación del moldeo manual. Fuente: plástiquímica (2016).

Moldeo por inyección. Consiste en inyectar a alta presión la materia prima a un molde del cual se obtendrá la forma deseada. Los moldes pueden ser de una sola cavidad o múltiples cavidades. Dentro del molde el material se enfría y solidifica, y la pieza se obtiene al abrir el molde. Los moldes generalmente se fabrican en aceros para herramientas, aceros inoxidables o de aluminio dependiendo la aplicación. Este método representa la ventaja de poder fabricar piezas de formas complejas de una manera económica y de gran precisión (todo en polímeros, 2022). En la Tabla 6 se presentan las ventajas y desventajas de este proceso.

Tabla 6

Ventajas y desventajas del moldeo por inyección

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Alto nivel de precisión, piezas idénticas• Se logra la obtención de detalles complejos• Se puede automatizar• Mayor cantidad de producción en menor tiempo | <ul style="list-style-type: none">• Costo inicial alto• Mantenimiento de equipo y maquinaria de alto costo• Limitaciones de diseño |

Nota. La tabla muestra las ventajas y desventajas de la aplicación del moldeo por inyección. Fuente: Infinitia (2021).

Escultura Es una forma de expresión artística que consiste en tallar, moldear, esculpir o cincelar un material para crear una forma con volumen. Los materiales para la escultura pueden ser de los más variados, desde el barro, piedra, madera, mármol, cera, yeso hasta diferentes tipos de metales. A medida que se han desarrollado nuevos materiales, la escultura comenzó a utilizar resinas y plásticos que por su resistencia y flexibilidad, permitieron el desarrollo de nuevos estilos artísticos.

La escultura tiene un componente de imitación, y de creación original, la representación puede abarcar desde figuras concretas como personas, animales u objetos, o bien pueden ser esculturas abstractas (Editorial Etecé, 2022).

Escultura de ferrocemento. Para la escultura tradicional en piedra se aplica la eliminación de material y se conoce como método sustractivo. El ferrocemento es un método aditivo de escultura, pues se va añadiendo material para conformar la pieza.

La escultura tradicional de ferrocemento es yeso, cemento o algún material similar sobre una armadura de alambre y acero (Ferrocement, 2021). Una de las técnicas más comunes es dar la forma general de la escultura con malla de acero, alambre y/o alambón; en algunas ocasiones se pueden soldar, mas no es una habilidad necesaria; posteriormente se cubre con una mezcla de cemento y arena. La escultura cementada

debe mantenerse hidratada durante 28 días para que alcance su máxima resistencia. El resultado es una escultura permanente de larga duración.

Otro método es tallar la escultura en espuma de poliestireno y cubrirla con malla de alambre y después cubrirla con una fina capa de cemento, obteniendo como resultado una escultura exterior decorativa de peso ligero (Hough, 2020).

Estas técnicas usadas para el ferrocemento también se han empleado de una manera similar con la fibra de vidrio, utilizando como base la estructura de malla y colocando la fibra de vidrio o algún otro material compuesto utilizando plásticos, generando piezas más ligeras, pero con la firmeza de la estructura.

2.5.7 Uniones de componentes para estructuras

De acuerdo al planteamiento del problema, las ramas secundarias serán la continuación de las ramas primarias, las cuáles cuentan con una estructura metálica, lo cual determina la implementación de una estructura metálica en las ramas secundarias a diseñar. Para la unión de dos o mas componentes metálicos, existen diferentes sistemas de unión los cuales varían de acuerdo a sus características, la primera clasificación es:

- Uniones rígidas
- Uniones móviles

Para este proyecto se describirán solo las uniones rígidas, que es la requerida para la unión de las ramas secundarias y terciarias a la estructura principal del árbol Arcano.

Clasificación de uniones rígidas:

- Rígidas remachadas: unión permanente en la cual se utilizan remaches o roblones, los cuales consisten en un tubo cilíndrico o vástago con cabeza, el cual cuenta con un diámetro mayor para que al ser introducido pueda encajarse. Es un método económico, se pueden unir piezas de diferentes materiales, permite

uniones ciegas. Algunas de las desventajas son que no es adecuado para piezas de gran espesor, su resistencia es menos que la que se puede conseguir con tornillo (aceropedia, 2022).

- Rígidas soldadas: para este tipo de unión se utiliza aportación de calor o presión o ambas, consiguiendo que se fusionen las piezas y dando continuidad a la naturaleza de los materiales.

Es un método rápido, eficaz y seguro, se pueden lograr acabados agradables estéticamente.

Existen diferentes tipos de soldadura, soldadura por forja, con gas, por arco eléctrico, de resistencia o de estado sólido. Siendo la soldadura por arco eléctrico la más común (ypestructuras, 2022).

- Desmontables atornilladas: este tipo de unión es desmontable, es una unión rápida en la cual se utilizan tornillos, tuercas y arandelas para su ejecución. Es un sistema de unión simple, económico y reversible, además de que no requiere electricidad, una de sus desventajas es la degradación del material a lo largo del tiempo por procesos de oxidación (Mario, 2015).
- Desmontables nachavetas o enchavetadas: son comunes en la unión de piezas de máquinas con ejes que deben realizar un movimiento rotativo exacto. Son soltables, para lo cual se usan las chavetas. Dependiendo la función requerida existen la unión de chaveta deslizante, de ajuste y unión de ejes perfilados.
- Desmontables con pasadores: se ajustan con precisión a orificios pretaladrados, que transfieren los esfuerzos de manera perpendicular al eje del pasador. Se emplean generalmente para juntar piezas sueltas (Structuralia, 2020).

Un método de unión que es importante mencionar, es el utilizado en la conexión de ramas del Tree of life, que es la unión bridada, el cual es un método utilizado para

conectar tuberías. Consiste en un anillo de metal unido al extremo de cada tubo a unir, estos anillos cuentan con varias perforaciones concéntricas, y para unir ambas piezas se utilizan pernos y tuercas. Existen diversos accesorios para estas conexiones, los cuales permiten la unión entre tuberías de diámetros diferentes (Villajulca, 2010).

2.6 Aspectos legales

2.6.1 Normatividad

Los zoológicos se han convertido en instituciones que contribuyen de forma importante a la conservación de la diversidad biológica ex situ, ayudando a reducir el riesgo de extinción de algunas especies y/o restableciendo poblaciones silvestres en su hábitat natural, por lo cual se ha planteado la necesidad de establecer parámetros y criterios objetivos que, permitan el funcionamiento estandarizado de estos centros de conservación, mediante un proceso de certificación, reconociéndolos como lugares que proporcionan bienestar a sus animales, cumpliendo los requerimientos médico veterinarios, técnicos, de infraestructura, seguridad, entre otros (Secretaría de Economía, 2014).

2.6.1.1 Norma NMX-AA-165-SCFI-2014

El 19 de agosto de 2014, el Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTEMARNAT) aprobó la norma NMX-AA-165-SCFI-2014, que establece las especificaciones y requisitos para obtener la certificación con respecto al bienestar animal, conservación de especies y seguridad en los centros de conservación o zoológicos (SEMARNAT, 2014). Según el Diario Oficial de la Federación, esta norma aplica para todos los centros de conservación ubicados en territorio nacional, tanto particulares como públicos (DOF, 2014).

El proyecto Arboterra tiene como parte de sus objetivos, promover la investigación y educación ambiental, por lo cual busca tener las certificaciones necesarias en el manejo adecuado de animales en cautiverio.

Para este proyecto, el árbol Arcano y sus ramas son parte de la infraestructura del aviario y parque temático y de conservación Arboterra, por lo cual se analizan los aspectos relativos a las instalaciones, en los cuales la norma mexicana NMX-AA-165-SCFI-2014 menciona lo siguiente:

4.3 Servicios

Atención a la población animal

4.3.1. Instalaciones

Las instalaciones deben:

- a) Dar oportunidad de elección de los ejemplares para cubrir sus necesidades básicas y para esconderse o resguardarse de la vista pública.
- b) Cubrir necesidades de manejo seguro de especies.
- c) Fomentar el desarrollo de las características físicas y biológicas de cada especie o en su caso de algún individuo en específico.
- d) Contar con elementos de seguridad para los animales, público, visitantes y trabajadores.
- e) Estar diseñados acorde con la misión y visión de cada zoológico.
- f) Contar con espacios para el resguardo de los animales de manera temporal.
- g) Contar con pisos, paredes, puertas, techos y mobiliario de fácil limpieza, que eviten la acumulación de agua y polvo, en caso de recintos que cuenten con casa de noche:
- h) Contar con pisos antiderrapantes o de textura no abrasiva, para evitar que los animales se resbalen o se lastimen.

- i) Utilizar suelos o sustratos en los recintos, que permitan mantener las patas de los ejemplares en buen estado.
- j) Contar con mirillas que permitan observar a los animales de manera segura sin causarles molestia o estrés, en los recintos que cuenten con casa de noche y/ o áreas o habitáculos para reproducción y crianza.
- k) Contar con puertas dentro del área de manejo que abran hacia adentro, además de permitir visibilidad total al interior. De tratarse de puertas de guillotina o corredizas, deben contar con un mecanismo que las detenga en cuanto se detecte el paso de un animal o una persona.
- l) Mantener cerrados los candados y puertas de los recintos y pasillos de acceso al área de manejo y colocar las llaves de cualquier cerradura en lugar visible y de fácil acceso para los trabajadores responsables del área y manejo de los animales, así como mantener duplicados accesibles en el área administrativa.
- m) Garantizar que las puertas permitan en todo momento su apertura o cierre correctamente, verificando que en ningún momento el mecanismo represente un riesgo para los animales.
- n) Utilizar para el mantenimiento y limpieza materiales no tóxicos.
- o) Contar con trampas para desechos en los drenajes y para evitar la entrada de roedores.
- p) Contar con pisos cuyo declive evite estancamientos de cualquier desecho, y que a la vez facilite el aseo.
- q) Garantizar que los animales tengan acceso permanente a sitios con sombra en recintos abiertos.
- r) Contar con sistemas de respaldo adecuados para mantener con vida especies que requieren microclimas o ambientes controlados.

- s) Contar con infraestructura para cada condición, incluso previendo recintos cerrados para la exhibición de animales, en caso de zoológicos ubicados en regiones con climas extremos.
- t) Contar con infraestructura para posibles necesidades por separación de grupos o individuos.
- u) Cumplir con los requisitos que marca la NOM-135-SEMARNAT, cuando dentro de la población animal se cuente con cualquier especie clasificada como mamífero marino.
- v) Proveer a los animales de alguna fuente de calor cuando sea necesario, evitando el contacto directo de la misma con el ejemplar, y
- w) Contar con perchas y/ o refugios, según los requerimientos de la especie o individuo.

En caso de contar con anfibios, reptiles, aves, grandes carnívoros, primates no humanos y grandes herbívoros, debe cumplirse además con las especificaciones que marca el apéndice normativo B. (pp. 12-14).

De acuerdo a lo que menciona esta norma, es importante considerar las siguientes características en los recubrimientos y acabados de las ramas secundarias y terciarias:

- Fácil limpieza.
- Evitar la acumulación de agua y polvo.
- Texturas no abrasivas para evitar que los animales se lastimen.
- Utilizar acabados que no requieran de materiales tóxicos para su limpieza.
- Evitar espacios de acumulamiento de desecho.
- Contar con perchas y/ o refugios según los requerimientos del individuo.

Apéndice B. La norma anterior sugiere revisar el apéndice normativo B si se cuenta con aves, como es el caso de este proyecto, el cuál menciona:

Requerimientos por grupos

B.3.3. Aviario de exhibición

Aquellos donde los ejemplares tienen total libertad de movimiento sin que puedan escapar, instalación para la cual deben tomarse en cuenta:

B.3.3.1. Aviaros de inmersión

Cuando se trate de recintos donde el público visitante ingresa, de cumplir con:

- a) El acceso y desalojo del público visitante debe ser a través de un sistema de puerta doble o de cualquier otro tipo de esclusas que impidan la fuga de los ejemplares, cuidando incluso que el espacio no resulte atractivo para los animales.
- b) El recorrido del público visitante debe quedar delimitado, para permitir el paso de las aves en vuelo y sin poder ser alcanzadas por el visitante. (p. 50).

B.3.4. Enriquecimiento y Ambientación:

Los aviaros y jaulas de vuelo deben considerar:

- a) Utilizar ramas naturales, aún para especies que destruyen la madera. No es admisible el uso de tubos de cualquier material, ni piezas de madera completamente rectas y de un solo grosor a todo lo largo de las perchas, que deben colocarse en posiciones y cantidades proporcionales al número de ejemplares alojados.
- b) En los aviaros en que se alojan aves con capacidad de vuelo, es importante contar con elementos que permitan desarrollar esta actividad.

Cuando se trate de aves acuáticas que no cuenten con un cuerpo de agua de dimensiones adecuadas para el nado, los bebederos deben tener suficiente profundidad como para permitirles sumergir el pico completamente, hasta por encima de las narinas en el agua.

B.3.5. No es admisible el manejo de aves encadenadas o sujetas permanentemente, lo que únicamente se aceptará cuando los ejemplares se encuen-

tren en proceso de adaptación a un ambiente nuevo, en cuyo caso deberá documentarse el procedimiento, el seguimiento individual y llevarse a cabo bajo estricta supervisión especializada. (pp. 52-53).

De acuerdo con este apartado, es importante considerar que menciona el uso de ramas naturales como perchas, en el caso de las ramas a diseñar en este proyecto, se tiene contemplada la posibilidad de que las aves lleguen a posarse sobre ellas por encontrarse dentro del aviario, sin embargo, no es su función principal, por lo cual no representa una limitante para su elaboración si se cumplen con los incisos del apartado 4.3.1. de la norma NMX-AA-165-SCFI-2014 mencionada anteriormente y se asegura que los materiales a utilizar son seguros para los animales.

2.6.1.2 COREMUN. Capítulo 17 de la gestión del suelo y construcciones

Para este proyecto también se analizó el Código Reglamentario para el Municipio de Puebla, libro Tercero del Desarrollo Urbano Sustentable, Capítulo 17 de la Gestión del Suelo y Construcciones, de la Ejecución y Terminación de obra, del cual se rescatan los siguientes artículos que son aplicables a este proyecto:

Artículo 1152. El ejecutor de la obra, deberá presentar semanalmente al Director Responsable de Obra, los reportes de los muestreos y las pruebas que acrediten la calidad y resistencia especificadas de los materiales que formen parte de los elementos estructurales, aún en obras terminadas.

La Dirección llevará un registro de los laboratorios o empresas que deban realizar estas pruebas.

Artículo 1153. El muestreo deberá efectuarse siguiendo métodos estadísticos que aseguren que el conjunto de muestra sea representativo de toda la obra.

Artículo 1154. Los materiales y elementos estructurales que se encuentren en ambiente corrosivo o sujetos a la acción de agentes físicos, químicos o biológicos,

que puedan hacer disminuir su resistencia, deben ser protegidos o recubiertos con materiales o sustancias protectoras y tener un mantenimiento preventivo que asegure su funcionamiento dentro de las condiciones previstas en el diseño.

Artículo 1155. Cuando el ejecutor de la obra, proyecte utilizar en una construcción un material nuevo que no esté sujeto a normas de calidad, deberá presentar al DRO, un certificado de garantía expedido por el fabricante o proveedor, en el que se contengan las pruebas de resistencia y de calidad de dicho material.

Siendo obligación del DRO, el exigir el estricto cumplimiento de lo anterior. (pp. 148-149).

De acuerdo con los artículos anteriores, se destaca la importancia de la comunicación con el Director Responsable de Obra para cumplir con los lineamientos que apliquen al proyecto. Es importante considerar la prueba de materiales en elementos estructurales, para comprobar calidad y resistencia.

Según el Artículo 1154, los materiales a utilizar para el recubrimiento de la estructura de las ramas deben asegurar protección contra la intemperie, para evitar la disminución de la resistencia de éstas.

En caso de utilizar algún material de construcción nuevo, se debe presentar un documento que respalde que es un material seguro de aplicar.

Capítulo 3

Desarrollo del concepto

3.1 Fase conceptual

De acuerdo con la metodología de diseño propuesta por Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, después de la recolección de información, se realiza la fase del desarrollo del concepto, en la cual identificar las necesidades del cliente es parte integral del proceso y está relacionado con la generación de conceptos, en los que se determinan las características de un producto, su forma y función.

En este capítulo se generan las alternativas de diseño a partir de un análisis y evaluación de requerimientos, y se selecciona un concepto para su desarrollo.

3.1.1 Análisis de requerimientos

Según Rodríguez (1983):

Los requerimientos son variables que deben cumplir una solución cuantitativa y cualitativa, siendo fijadas previamente por una decisión, por la naturaleza y por requisitos legales, o por cualquier otra disposición que tenga que cumplir el solucionador del problema, son variables que limitan las alternativas del solucionador de productos. Observación: el término requerimiento es sinónimo de restricción, especificación, consideración variable. (p.52)

Por lo cual el planteamiento de los requerimientos son los aspectos a considerarse en la fase inicial del proceso creativo, ayudando a delimitar el problema y proponer una alternativa que cumpla con las necesidades planteadas.

3.1.1.1 *Requerimientos formales*

Son aquellos que por su contenido se refieren a los caracteres estéticos de un producto, tomando en cuenta los siguientes criterios:

Estilo. La apariencia del producto.

Unidad y ritmo. Calidad en la forma, proporción entre componentes.

Interés. Uso de elementos formales que atraigan y mantengan la atención visual.

Equilibrio. Estabilidad visual por el uso de elementos.

Superficie. Percepción por la imagen de su carcasa o cubierta. Color y textura.

3.1.1.2 Requerimientos funcionales

Son aquellos que por su contenido se refieren a los principios físico-químico-técnicos de funcionamiento de un producto. Los criterios correspondientes a estos requerimientos son:

Mecanismo. Principios que darán funcionalidad al producto.

Confiabilidad. Confianza en el funcionamiento del producto.

Versatilidad. Posibilidad de desempeñar distintas funciones.

Resistencia. Esfuerzos a soportar por el producto.

Acabado. Apariencia final.

3.1.1.3 Requerimientos estructurales

Son aquellos que por su contenido se refieren a los componentes, partes y elementos constitutivos de un producto, de acuerdo a los siguientes rubros:

Número de componentes. Cantidad de componentes, partes y elementos del producto.

Carcasa. Medio de protección de los mecanismos.

Centro de gravedad. Estabilidad en su estructuración.

Estructura. Consideraciones de funcionalidad de los componentes.

Unión. Sistema de integración entre componentes.

De acuerdo al planteamiento del problema, la norma NMX-AA-165-SCFI-2014 aprobada por la COTERMANAT, y el Artículo 1152 y 1154 del capítulo 17 del COREMUN, mencionados en el apartado de normatividad, para este proyecto se identificaron las siguientes necesidades enlistadas en la Tabla 7.

Tabla 7*Listado de requerimientos y necesidades identificadas*

| Tipo de requerimiento | Necesidad identificada |
|--------------------------------|--|
| °Formal | <ul style="list-style-type: none"> • Las ramas deberán tener un aspecto lo más real posible para crear una mejor experiencia inmersiva. • Texturas no abrasivas para evitar que los animales se lastimen. • Evitar espacios de acumulamiento de desechos, agua o polvo. • Alto nivel de detalle en los acabados. |
| Funcional | <ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de un recubrimiento amigable con las aves. • Materiales de bajo o nulo mantenimiento. • Utilizar acabados que no requieran de materiales tóxicos para su limpieza. |
| Formal y estructural | <ul style="list-style-type: none"> • Definir las cantidad de ramas secundarias y terciarias para conformar la copa del árbol. • Definir las dimensiones de las ramas. • Estructuras resistentes. Elementos estructurales resistentes. |
| Funcional y estructural | <ul style="list-style-type: none"> • Materiales resistentes a la intemperie. |

Nota. En esta tabla se analizan las necesidades del proyecto, identificando qué tipo de requerimientos de diseño serán necesarios para su posterior conceptualización. Fuente: Elaboración propia (2022).

A continuación, por medio de tablas se detallan los requerimientos de diseño específicos identificados para este proyecto, de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente.

En la Tabla 8, se muestran los requerimientos formales, enlistando cada criterio correspondiente al diseño de las ramas secundarias y terciarias.

Tabla 8*Requerimientos formales*

| | |
|-----------------------|---|
| Estilo | Se deberá definir la forma de las ramas secundarias y terciarias coherentes al diseño conceptual del árbol Arcano. |
| Unidad y ritmo | Deben unificarse los acabados entre las uniones de las ramas secundarias y terciarias para lograr uniformidad en las ramas. |
| Interés | Las formas y texturas de las ramas secundarias y terciarias deberán proporcionar una apariencia lo más real posible, basándose en los árboles inspiración para lograr una mejor experiencia inmersiva. El diseño de las ramas deberá evitar espacios de posible acumulación de agua, polvo o desechos. |
| Equilibrio | El diseño de la estructura de las ramas secundarias deberán dar continuidad a las ramas primarias de manera proporcional para dotar de naturalidad al árbol Arcano. |
| Superficie | Se debe considerar el uso de un alto nivel de detalle en los acabados, tomando en cuenta las características de los árboles inspiración. |

Nota. La tabla enuncia los requerimientos formales detectados dentro de las necesidades del proyecto. Fuente: Elaboración propia (2022).

En la Tabla 9, se enlistan los criterios para determinar los requerimientos funcionales.

Tabla 9*Requerimientos funcionales*

| | |
|----------------------|---|
| Mecanismo | Las ramas secundarias y terciarias deberán tener una estructura metálica interna para su conexión con la rama primaria. |
| Confiabilidad | Las ramas secundarias y terciarias deberán ser fabricadas por materiales seguros para el uso en recintos de animales. |
| Versatilidad | Independientemente de que las ramas cumplan con una función estética, podrán funcionar como perchas para las aves si se llegaran a posar sobre ellas. |
| Resistencia | Los materiales a utilizar en las ramas deberán ser resistentes a la intemperie. |
| Acabado | Se deben emplear formas y texturas seguras para los animales. Se deberá considerar una apariencia lo más real posible a una rama natural, considerando el diseño conceptual existente. Se deberán utilizar acabados que no requieran materiales abrasivos para su limpieza. |

Nota. En la tabla se enuncian los requerimientos funcionales identificados. Fuente: Elaboración propia (2022).

A continuación, en la Tabla 10, se presentan los requerimientos estructurales para el diseño de las ramas secundarias y terciarias.

Tabla 10

Requerimientos estructurales

| | |
|------------------------------|---|
| Número de componentes | Se deberá definir la cantidad de ramas secundarias y terciarias necesarias para conformar la copa del árbol Arcano. |
| Carcasa | La carcasa que dará forma a la rama deberá asegurarse a la estructura y protegerla de la intemperie. La carcasa deberá estar formada por materiales que faciliten la fabricación, traslado e instalación de las ramas. |
| Centro de gravedad | La estructura deberá proporcionar soporte a la rama considerando las diferentes posiciones de las ramas primarias a las que dará continuidad. |
| Estructura | Las estructura deberá soportar el peso de los recubrimientos y acabados al estar instalada. |
| Unión | Deberán contemplarse conexiones que permitan versatilidad en la instalación de las ramas secundarias y terciarias. |

Nota. En la tabla se enuncian los requerimientos estructurales identificados. Fuente: Elaboración propia (2022).

Apartir de estos requerimientos se continuará con el desarrollo de las siguientes etapas de diseño, éstos también muestran los puntos que debe cumplir el diseño y los factores a evaluar en futuras propuestas, con el fin de seleccionar la mejor alternativa.

3.1.2 Diseño de propuestas

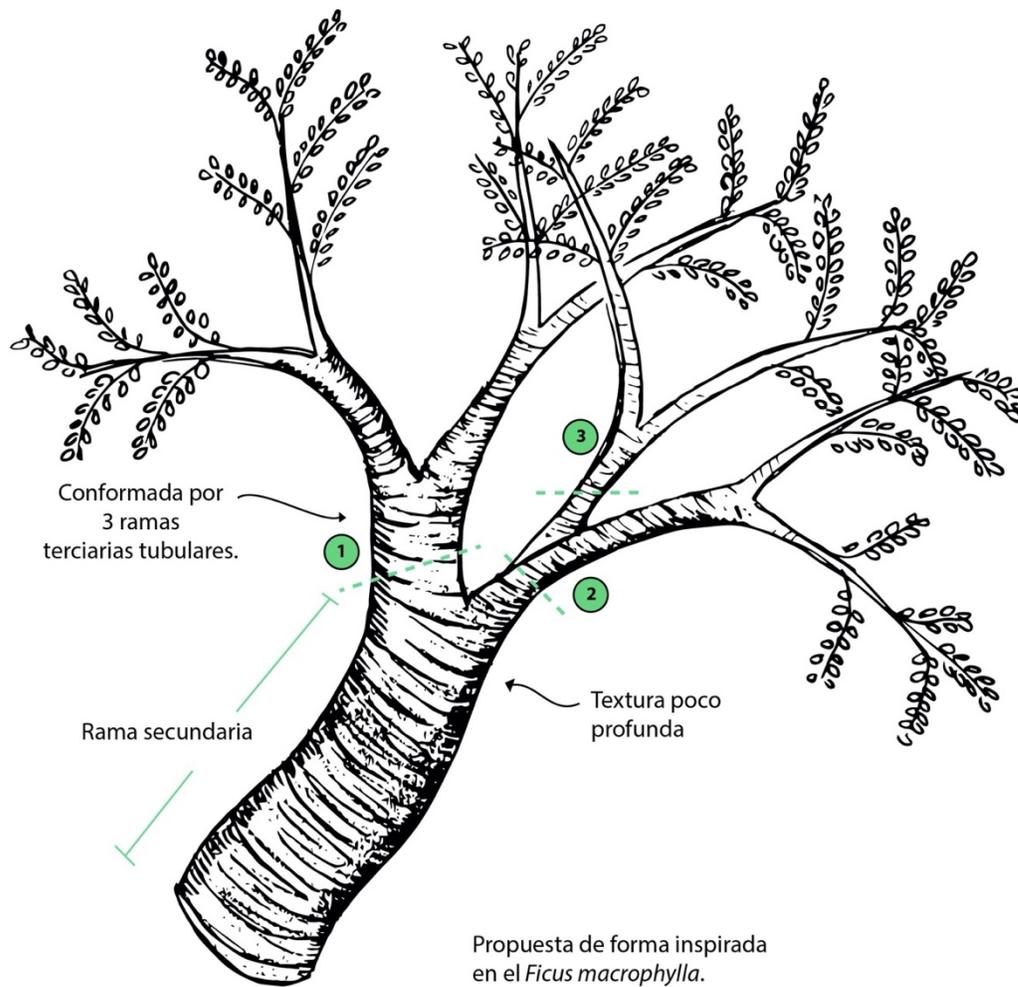
En esta etapa se presentan mediante bocetos, ideas generadas a partir de la información recabada, cada esquema contiene las características generales que son relevantes en la etapa de evaluación, para elegir la mejor opción de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

El primer aspecto a determinar es la forma, para lo cual se toman como referencia las texturas de los árboles inspiración que sirvieron para el diseño conceptual del árbol Arcano.

3.1.2.1 Bocetos de forma

En la Figura 49, se aprecia el diseño propuesto para la forma de la rama secundaria y terciaria, inspirado en las texturas y formas que caracterizan al *Ficus macrophylla*, se propone una nervadura fina, horizontal al tronco, y ramas con formas tubulares. Las ramas terciarias tienen un largo similar a lo largo de la rama secundaria.

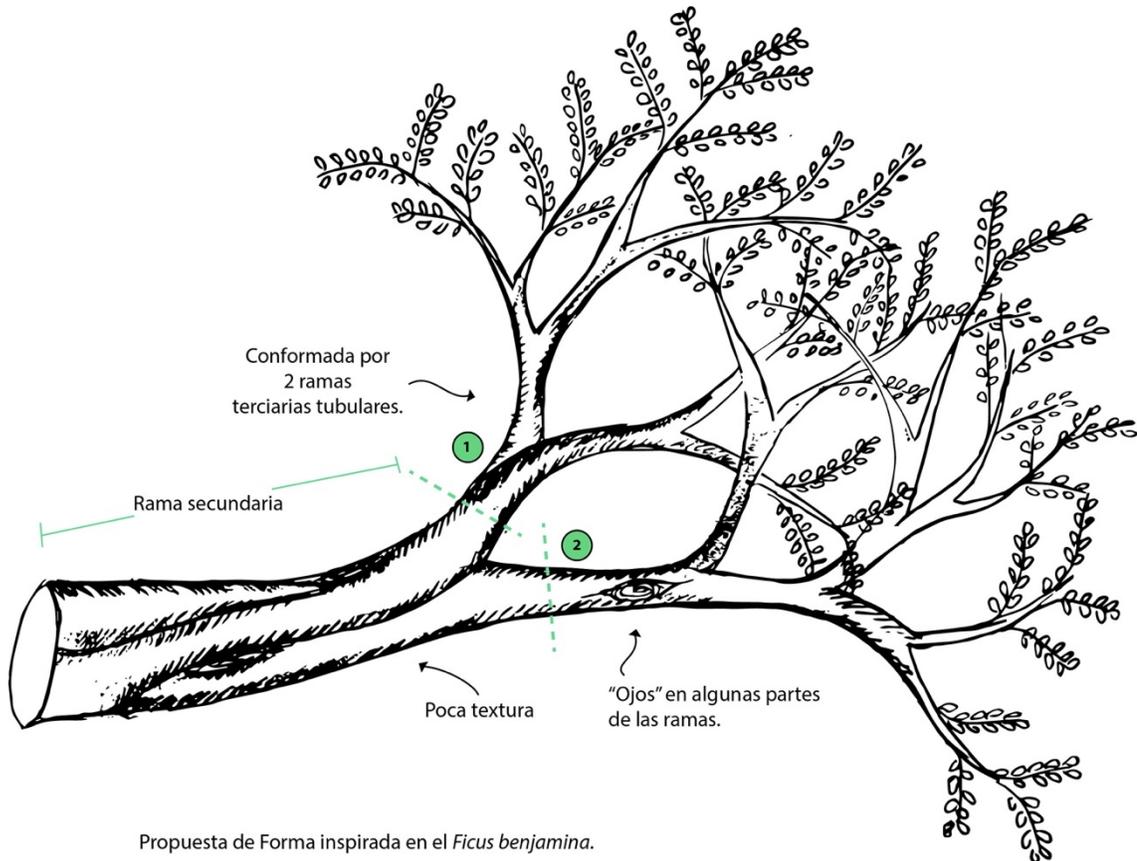
Figura 49 Boceto de forma 1



Nota: Fuente: Propia (2023).

En el Boceto de forma 2 (Figura 50), se propone una rama secundaria inspirada en la forma y textura del *Ficus benjamina*, es una rama de formas tubulares y largas, con poca textura, presenta algunas estrías y “ojos” a lo largo de la rama. La rama secundaria es larga y delgada, las ramas terciarias tienen un largo similar a la rama secundaria.

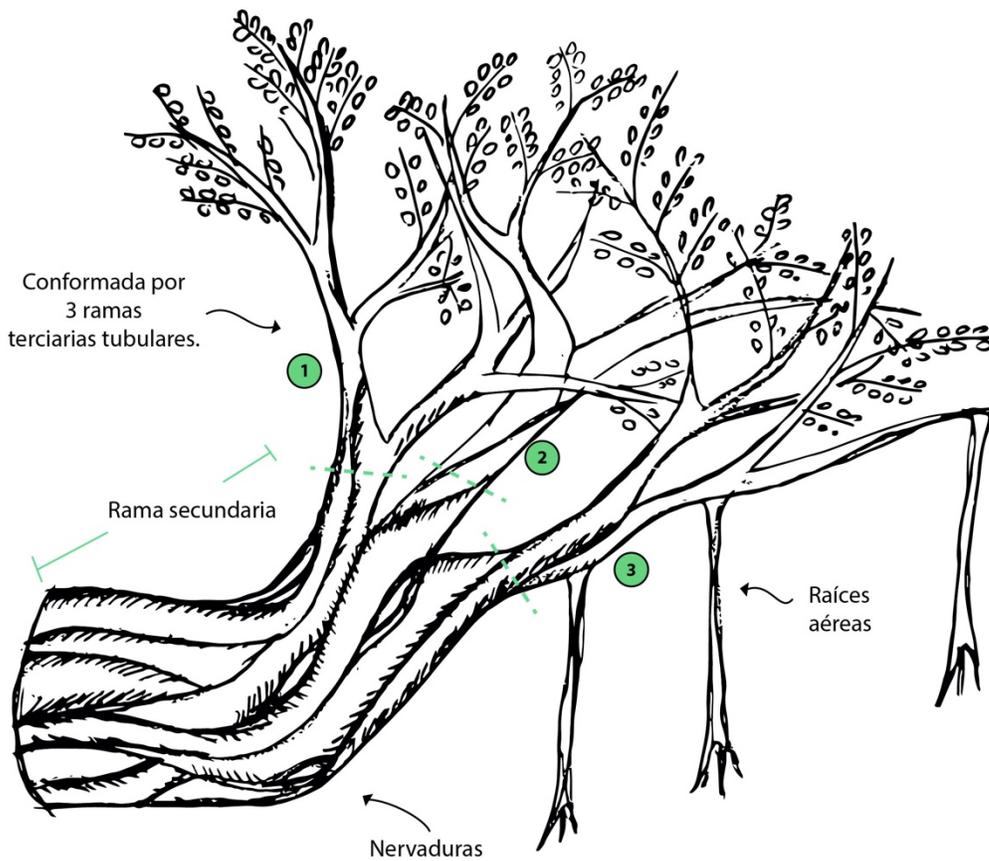
Figura 50 Boceto de forma 2



Nota: Fuente: Propia (2023).

En la Figura 51, se presenta el tercer boceto, inspirado en las características del *Ficus benghalensis*, las ramas secundarias y terciarias presentan más nervaduras y un poco más de textura a consecuencia de las raíces aéreas, las cuáles son muy características de esta especie. Esta propuesta, tiene ramas terciarias más cortas respecto a la rama secundaria y con un crecimiento hacia arriba al presentar las ramas terciarias más verticales.

Figura 51 Boceto de forma 3



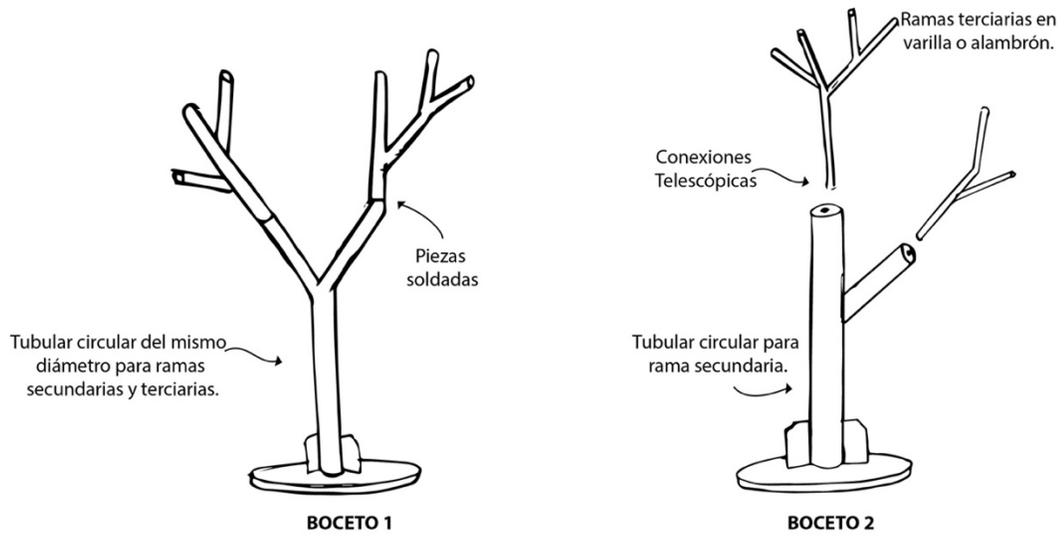
Propuesta de Forma inspirada en el *Ficus benghalensis*.

Nota: Fuente: Propia (2023).

3.1.2.2 Bocetos de estructura

En la Figura 52, se aprecian los Bocetos de estructura 1 y 2, los cuales representan propuestas de las estructuras que se consideran viables utilizar. En el Boceto 1, se sugiere utilizar tubo circular del mismo diámetro para configurar las estructuras de las ramas secundarias y terciarias, como método de unión se sugiere la soldadura. En el Boceto 2, se proponen dos diferentes materiales para las estructuras, para las ramas secundarias se propone el uso de tubular circular y para las ramas terciarias varilla o alambón, y utilizar uniones telescópicas.

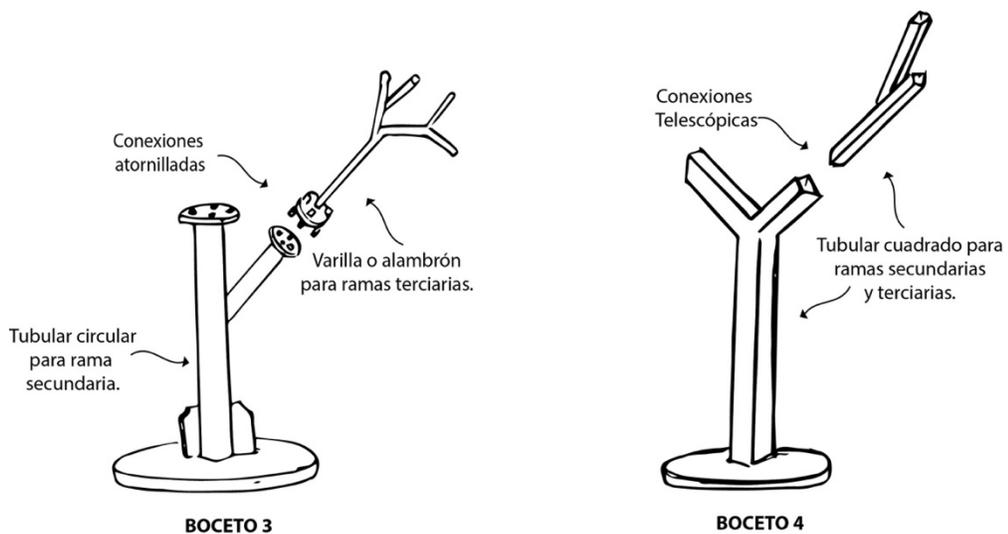
Figura 52 Boceto de estructura 1 y 2



Nota: Fuente: Propia (2023).

Como se puede observar en la Figura 53, el Boceto de estructura 3 propone el uso de tubular circular para las ramas secundarias y varilla o alambón para las ramas terciarias. Para las uniones se contempla la unión por medio de atornillado. En el Boceto 4, se sugiere el uso de tubular cuadrado para las ramas secundarias y terciarias, pero utilizando dos diferentes espesores que permitan conexiones telescópicas entre ellas.

Figura 53 Boceto de estructura 3 y 4



Nota: Fuente: Propia (2023).

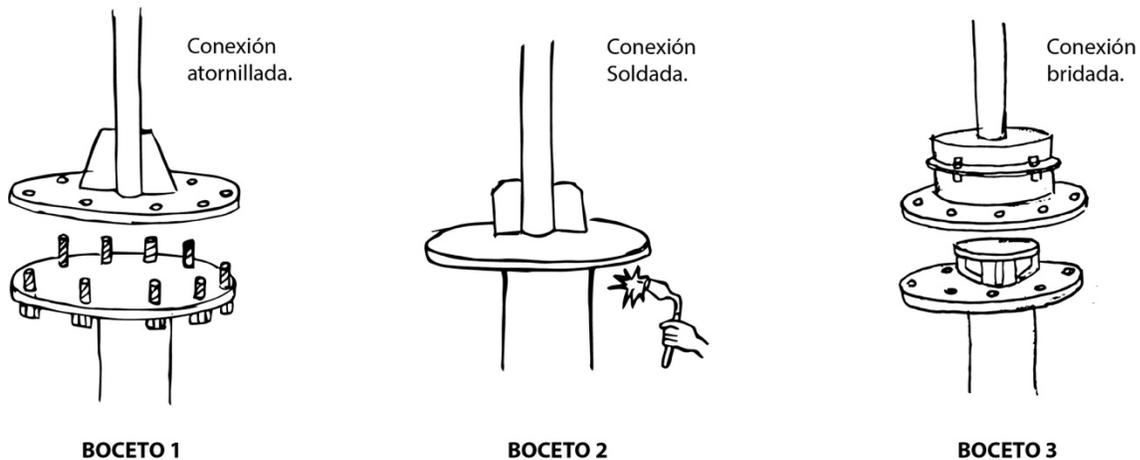
3.1.2.3 Bocetos de unión

Para las uniones entre ramas primarias y secundarias se proponen las opciones mostradas en la Figura 54. El Boceto de unión 1, sugiere el uso de conexiones atornilladas, uniendo la placa base de la rama secundaria a una placa añadida a cada terminación de placa primaria.

En el Boceto de unión 2, se propone una unión soldada, donde al tener la ubicación deseada, se solde directamente a la terminación de la rama primaria.

En el Boceto 3, se propone utilizar un sistema similar al del Tree of life; una de las soluciones existentes analizadas, donde se utilizó la conexión bridada, ideal para diferentes espesores de tubo.

Figura 54 Bocetos de unión 1, 2 y 3

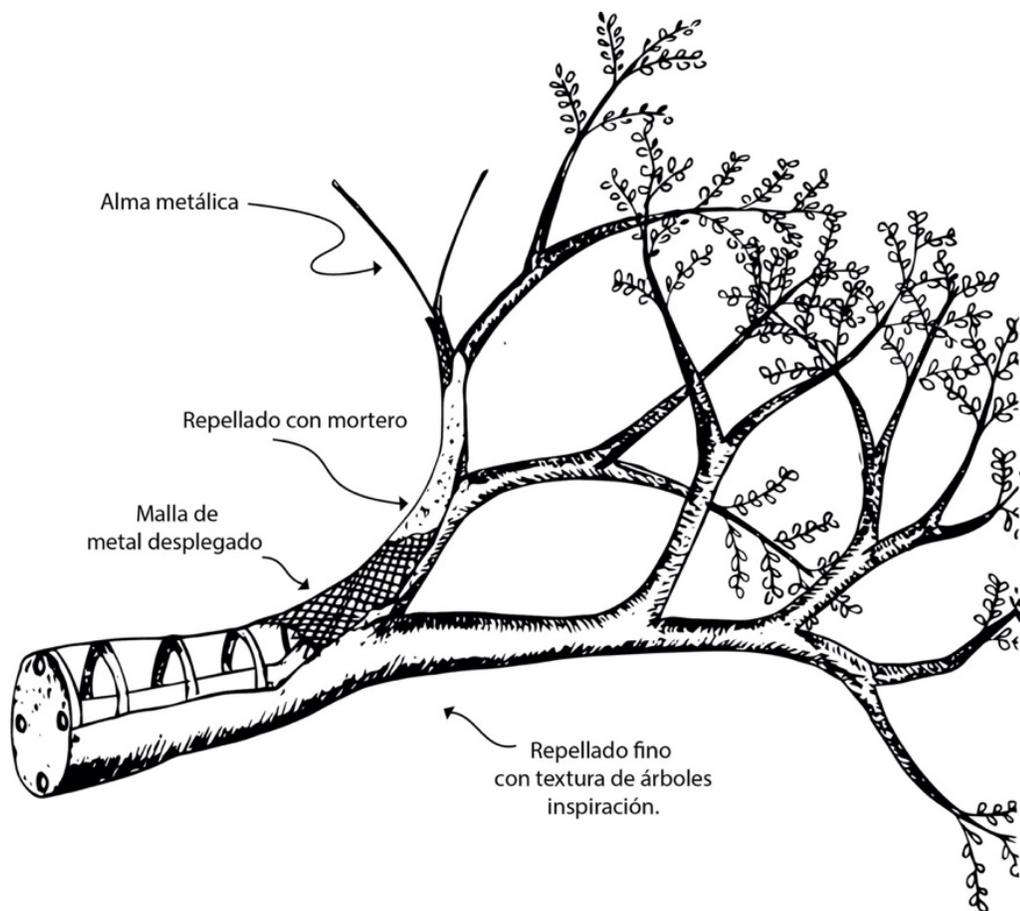


Nota: Fuente: Propia (2023).

3.1.2.4 Bocetos de recubrimientos y acabados

De acuerdo al procedimiento de construcción de la primera parte del árbol (tronco y ramas principales), en la Figura 55, se proponen ramas secundarias y terciarias fabricadas con el método de ferrocemento, utilizando malla de metal desplegado para conformar la silueta de la rama y cubrirla con dos capas de mortero, la última capa de repellido de mortero imitando la textura de alguno de los árboles inspiración.

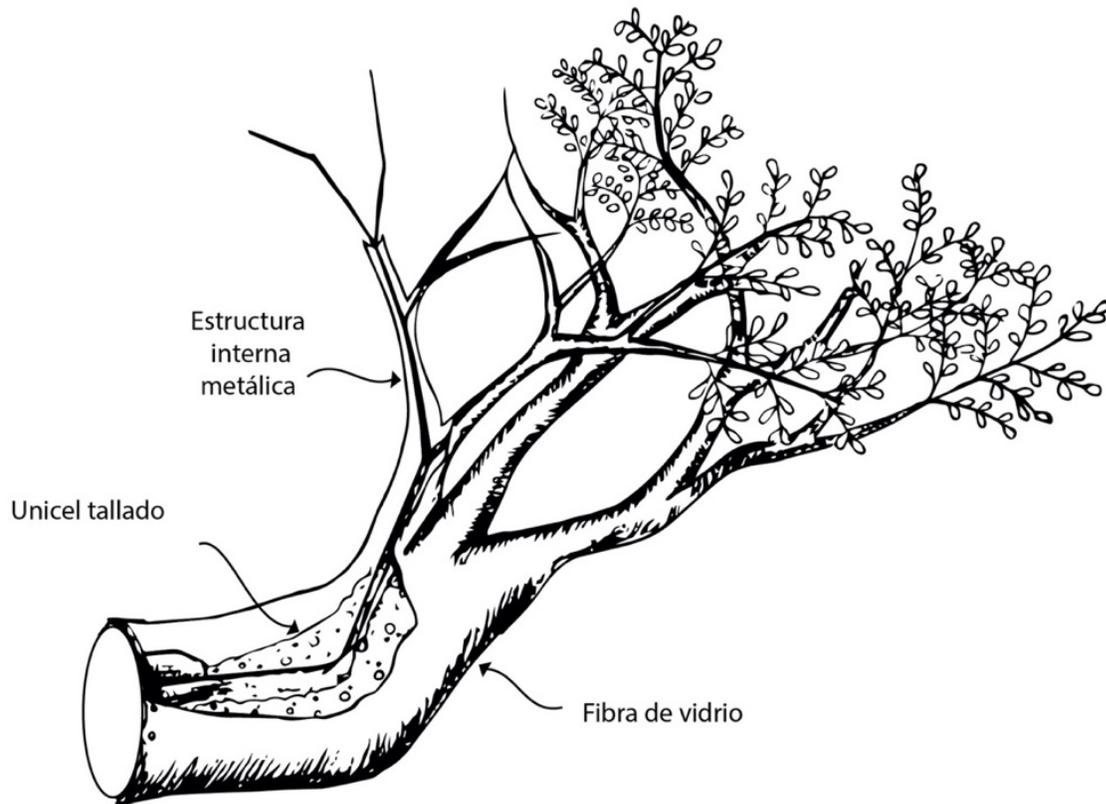
Figura 55 Boceto de recubrimientos y acabados 1



Nota: Fuente: Propia (2023).

Como propuesta 2 (Figura 56), se sugiere recubrir la estructura principal con unisel para esculpir la forma deseada de la rama, después recubrirla con fibra de vidrio, para finalmente dar el acabado similar a la textura elegida.

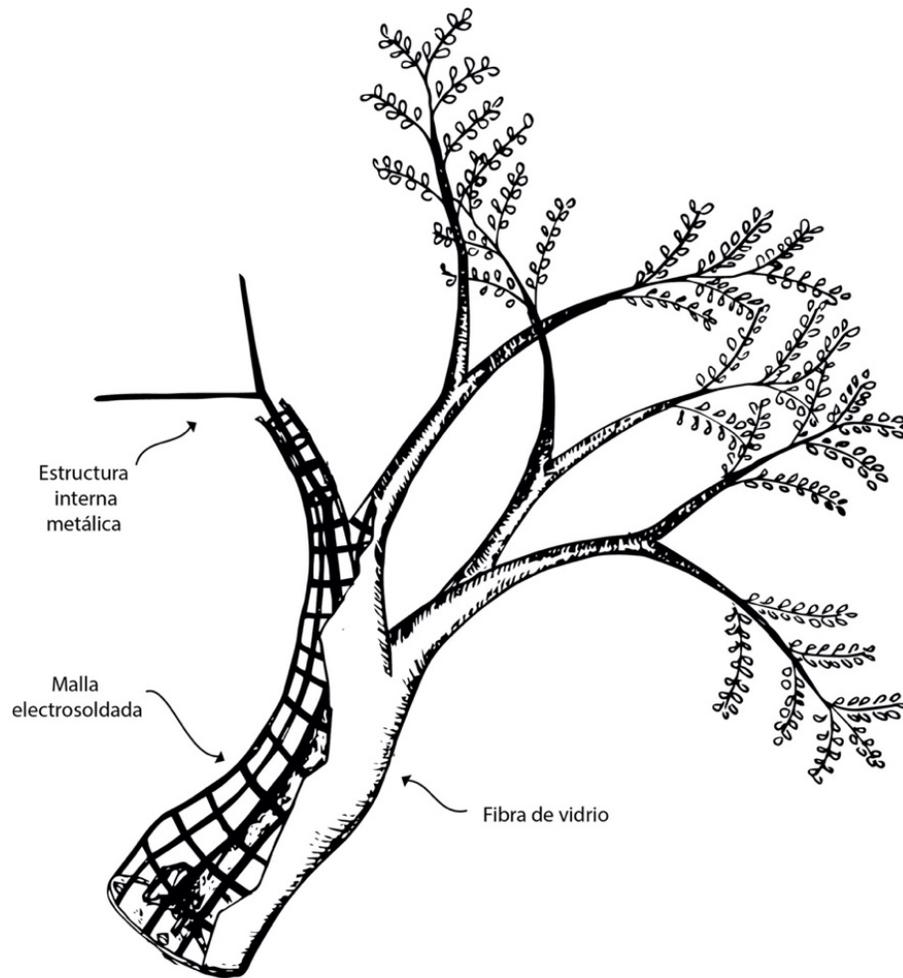
Figura 56 Boceto de recubrimientos y acabados 2



Nota: Fuente: Propia (2023).

En la Figura 57, se propone dar forma a la rama cubriendo la estructura principal con malla electrosoldada de acero, y una malla de metal desplegado en las partes más angostas y pequeñas de la rama, enseguida cubrirla con fibra de vidrio colocada artesanalmente y dar el acabado con la misma fibra de vidrio simulando la textura deseada.

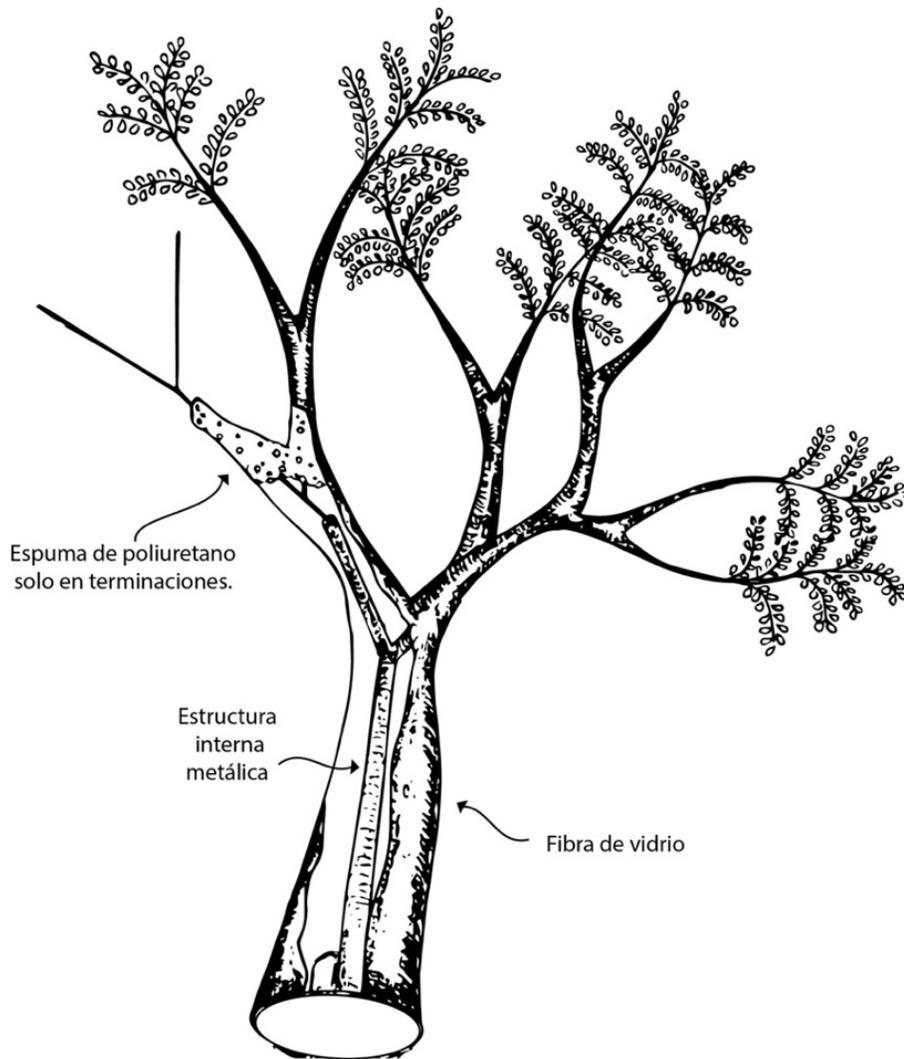
Figura 57 Boceto de recubrimientos y acabados 3



Nota: Fuente: Propia (2023).

En el Boceto 4 (Figura 58), se sugiere el uso de espuma de poliuretano para cubrir la estructura principal, dar forma, y posteriormente cubrir con fibra de vidrio. Para proporcionar la textura, se puede cubrir con una capa de resina final y generar la textura manualmente o utilizar alguna textura previamente moldeada.

Figura 58 Boceto de recubrimientos y acabados 4



Nota: Fuente: Propia (2023).

3.2 Desarrollo a nivel sistema

3.2.1 Selección de alternativas en base a requerimientos

De acuerdo al manual de diseño industrial de Rodríguez (1983), una vez desarrollados los conceptos globales de diseño en función a los problemas planteados, se procede a la evaluación, por medio de la contraposición de las propuestas a los requerimientos.

Rodríguez (1983) sugiere una matriz de evaluación, que contempla en el eje de las X cada uno de los conceptos generados y sobre el eje Y las restricciones a evaluar.

Como criterios de evaluación son los siguientes:

0 - no cumple

1 - cumple medianamente

2 - cumple

Adjudicando la calificación más alta al diseño que satisfaga de mejor manera la restricción estipulada. Al final el concepto con más puntos es la mejor alternativa.

3.2.1.1 Selección de forma y textura

En la siguiente tabla, se analizan los Bocetos de forma 1, 2 y 3, para elegir la propuesta más conveniente según los requerimientos correspondientes (Tabla 11).

Tabla 11

Evaluación de requerimientos formales para selección de forma y textura

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 |
|----------------|-----------|----------|----------|
| Estilo | 2 | 2 | 2 |
| Unidad y ritmo | 2 | 2 | 2 |
| Interés | 2 | 0 | 0 |
| Equilibrio | 2 | 1 | 1 |
| Superficie | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL | 12 | 7 | 7 |

Nota. En la tabla se evalúan los Bocetos 1,2 y 3 de acuerdo con los requerimientos formales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

De acuerdo al resultado de la Tabla 11, se observa que la textura y forma del Boceto 1 es la más conveniente para este proyecto, ya que cuenta con una textura sutil y sin nervaduras, punto que es importante considerar como lo especifica la norma NMX-AA-165-SCFI-2014 aprobada por la COTERMANAT, de acuerdo a esta norma se debe evitar la acumulación de residuos en las ramas y evitar texturas abrasivas que puedan comprometer el bienestar de las aves. También su forma permite más versatilidad para colocarla en las ramas primarias, sin tener una posición definida, a diferencia de como lo sugiere el Boceto de forma 3, con ramas terciarias con crecimiento vertical.

3.2.1.2 Selección de estructura

Para la elección de la estructura a utilizar y los métodos de uniones entre ramas secundarias y terciarias, se evalúan los Bocetos de estructura 1, 2, 3 y 4, contraponiéndolos a los requerimientos formales y estructurales en los rubros que aplique la evaluación (Tabla 12 y 13).

Tabla 12

Evaluación de requerimientos formales para selección de estructura

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 | Boceto 4 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| Estilo | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Unidad y ritmo | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Equilibrio | 2 | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL | 6 | 6 | 5 | 6 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de las estructuras de acuerdo con los requerimientos formales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 13*Evaluación de requerimientos estructurales para selección de estructura*

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 | Boceto 4 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Centro de gravedad | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Estructura | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Unión | 2 | 2 | 2 | 1 |
| TOTAL | 5 | 6 | 6 | 5 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de las estructuras de acuerdo con los requerimientos estructurales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la siguiente Tabla 14, se concentran los resultados de las evaluaciones anteriores.

Tabla 14*Resultado de la evaluación de requerimientos para selección de estructura*

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 | Boceto 4 |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Requerimientos formales | 6 | 6 | 5 | 6 |
| Requerimientos estructurales | 5 | 6 | 6 | 5 |
| Puntuación Final | 11 | 12 | 11 | 11 |

Nota. En la tabla se muestran los resultados de la evaluación de los bocetos de estructuras. Fuente: Elaboración propia (2023).

Como se aprecia en la Tabla 14, el Boceto 2 representa la mejor alternativa para la estructura y tipos de uniones a utilizar entre ramas secundarias y terciarias. La estructura elegida es de tubular circular, el cual se adapta a las formas orgánicas a utilizar en las ramas secundarias y permite diferentes configuraciones a diferencia del perfil cuadrado que delimita el armado a solo 4 posiciones. Para las ramas terciarias se propone un elemento metálico más delgado, que permita proporcionar formas más orgánicas y aligere el peso de toda la rama.

3.2.1.3 Selección de unión

Para la selección del tipo de unión a utilizar, se analizaron los Bocetos de unión 1, 2 y 3, presentados anteriormente. En las Tablas 15, 16 y 17, se muestra la evaluación a estos bocetos de acuerdo con los requerimientos formales, funcionales y estructurales aplicables.

Tabla 15

Evaluación de requerimientos formales para elección de unión

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 |
|----------------|----------|----------|----------|
| Unidad y ritmo | 2 | 2 | 2 |
| Interés | 1 | 2 | 1 |
| Equilibrio | 1 | 2 | 1 |
| TOTAL | 4 | 6 | 4 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de unión de acuerdo con los requerimientos formales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 16

Evaluación de requerimientos funcionales para selección de unión

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 |
|----------------|----------|----------|----------|
| Mecanismo | 2 | 2 | 2 |
| Confiabilidad | 2 | 2 | 2 |
| Versatilidad | 2 | 2 | 2 |
| Resistencia | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL | 8 | 8 | 8 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de unión de acuerdo a los requerimientos funcionales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 17*Evaluación de requerimientos estructurales para selección de unión*

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| Centro de gravedad | 2 | 2 | 2 |
| Estructura | 1 | 2 | 1 |
| Unión | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL | 5 | 6 | 5 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de unión de acuerdo con los requerimientos estructurales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la siguiente tabla se concentran los resultados de las evaluaciones anteriores, para elegir la mejor opción.

Tabla 18*Resultado de la evaluación de requerimientos para selección de la unión*

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Requerimientos formales | 4 | 6 | 4 |
| Requerimientos funcionales | 8 | 8 | 8 |
| Requerimientos estructurales | 5 | 6 | 5 |
| Puntuación Final | 17 | 20 | 17 |

Nota. En la tabla se muestran los resultados de la evaluación de los bocetos de unión. Fuente: Elaboración propia (2023).

Como se observa en la Tabla 18, el Boceto 2 representa la mejor opción de unión, ya que el método de soldadura permite colocar las ramas en la posición y ángulo más conveniente, dando la oportunidad de instalar las ramas secundarias en una posición más orgánica de acuerdo a cada terminación de las ramas primarias. Además de ser un método que presenta mayor flexibilidad en la instalación, proporciona una unión permanente, que es más adecuada para este proyecto.

3.2.1.4 Selección de recubrimiento y acabados

En las Tablas 19, 20 y 21, se evalúan los bocetos relacionados al recubrimiento y acabados contra los requerimientos identificados anteriormente, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 19

Evaluación de requerimientos formales para selección de recubrimientos

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 | Boceto 4 |
|-----------------------|-----------|----------|----------|-----------|
| Estilo | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Unidad y ritmo | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Interés | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Equilibrio | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Superficie | 2 | 1 | 1 | 2 |
| TOTAL | 12 | 9 | 8 | 12 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de acuerdo con los requerimientos formales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 20

Evaluación de requerimientos funcionales para selección de recubrimientos

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 | Boceto 4 |
|----------------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Mecanismo | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Confiabilidad | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Versatilidad | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Resistencia | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Acabado | 2 | 1 | 2 | 2 |
| TOTAL | 10 | 4 | 10 | 10 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de acuerdo a los requerimientos funcionales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 21*Evaluación de requerimientos estructurales para selección de recubrimientos*

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 | Boceto 4 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Número de componentes | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Carcasa | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Centro de gravedad | 0 | 1 | 2 | 2 |
| Estructura | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Unión | 2 | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL | 5 | 8 | 7 | 9 |

Nota. En la tabla se evalúan los bocetos de acuerdo con los requerimientos estructurales identificados. Fuente: Elaboración propia (2023).

A continuación en la Tabla 22, se concentran los resultados de la evaluación de bocetos de recubrimientos y acabados, donde por puntuación el Boceto 4 es la mejor alternativa.

Tabla 22*Resultado de la evaluación de requerimientos*

| Requerimientos | Boceto 1 | Boceto 2 | Boceto 3 | Boceto 4 |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Requerimientos formales | 12 | 8 | 9 | 12 |
| Requerimientos funcionales | 10 | 4 | 10 | 10 |
| Requerimientos estructurales | 5 | 8 | 7 | 9 |
| Puntuación Final | 27 | 20 | 26 | 31 |

Nota. En la tabla se muestran los resultados de la evaluación de los bocetos de recubrimientos y acabados. Fuente: Elaboración propia (2023).

A partir de las evaluaciones realizadas en este apartado, se toman los bocetos elegidos para realizar el diseño a detalle y buscando la mejora donde las propuestas seleccionadas obtuvieron un menor puntaje.

3.2.1.5 Selección de materiales

De acuerdo con los planos estructurales y de armado de las ramas (Anexo A y B), las ramas principales están diseñadas con tubo de acero estructural de 8", al cual continúan las ramas secundarias, que de igual manera se ha elegido utilizar una estructura metálica para una mejor conexión, se sugiere tubo redondo de acero, el cual es un material ligero, fácil de manipular y permite plantear formas orgánicas en el diseño de las ramas secundarias. El tubo de cédula 40, es un perfil comercial, donde la cédula se refiere al espesor de la pared del tubo y el número 40 indica que funciona como un conductor de alta presión, y por lo cual tiene una gran aplicación estructural en una amplia variedad de proyectos arquitectónicos (maxacero, 2022).

Debido a los diámetros diferentes entre la estructura de la rama primaria y la rama secundaria, se ha propuesto el uso de una placa metálica de acero para conectar y dar soporte a la rama secundaria, permitiendo también que el trabajo de unión sea más práctico, usando el mismo material.

Para el recubrimiento o carcasa en los bocetos anteriormente presentados se han sugerido la aplicación de ciertos materiales, los cuales se enlistan en la siguiente tabla, enumerando sus ventajas y desventajas, con la finalidad de evaluarlos, contraponiéndolos a los requerimientos establecidos y seleccionar la mejor alternativa. Los datos contenidos en la Tabla 23, se obtuvieron del análisis de materiales realizado anteriormente.

Tabla 23

Materiales propuestos para el recubrimiento/ carcasa de las ramas

| Material | Ventajas | Desventajas |
|--|---|---|
| Ferrocemento | <ol style="list-style-type: none"> 1. Ligero en comparación al concreto 2. Nivel bajo de agrietamiento 3. Gran firmeza 4. Resistente al fuego 5. Resistente a terremotos 6. No se oxida 7. Nulo mantenimiento | <ol style="list-style-type: none"> 1. Menos resistente a las cargas de impacto 2. Mano de obra especializada 3. Elaboración in situ 4. Necesidad de 28 días para curado |
| PRFV / Fibra de vidrio | <ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo mantenimiento 2. Versatilidad 3. Excelente aislante térmico 4. Resistencia química 5. Densidad de 1460 Kg/m³ 6. No se corroe 7. Es impermeable | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mano de obra especializada 2. Poca flexibilidad |
| Espuma de poliuretano | <ol style="list-style-type: none"> 1. Resistencia a la compresión de 130KPa 2. Flexibilidad 3. Densidad de 25-30 Kg/m³ 4. Resistencia a la abrasión y al impacto 5. Resistencia al agua, grasa y gasolina 6. Fácil producción 7. Resistencia al moho y a los hongos 8. Resistencia a la intemperie 9. Bajo o nulo mantenimiento 10. Excelente adherencia a materiales usados en la construcción. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Material inflamable 2. Mano de obra especializada |
| Unicel / poliestireno expandido | <ol style="list-style-type: none"> 1. Gran ligereza, densidad de 10 Kg/m³ 2. Inocuo 3. Protección térmica 4. Resistencia a la humedad 5. Gran capacidad de absorción a impactos 6. Facilidad de manipulación 7. Moldeable | <ol style="list-style-type: none"> 1. Frágil 2. Facilmente inflamable 3. No resiste el contacto a solventes 4. Mala adherencia a yesos y mortero |

Nota. Ventajas y desventajas de los materiales propuestos. Fuente: Elaboración propia (2023).

Para poder realizar una mejor selección de materiales, se han evaluado cada uno de ellos de acuerdo con los requerimientos del proyecto ya identificados y relacionados a los materiales de la carcasa, los cuales son:

- Requerimiento funcional - Confiabilidad: Materiales seguros para el uso en recintos de animales.
- Requerimiento funcional - Resistencia: Los materiales a utilizar deberán ser resistentes a la intemperie.
- Requerimiento estructural - Carcasa: Deberá estar formada por materiales que faciliten la fabricación, traslado e instalación de las ramas.

En la Tabla 24, se muestra la evaluación de los materiales propuestos y los requerimientos del proyecto, donde el criterio a evaluar es el siguiente:

0 – no cumple

1 – cumple medianamente

2 – cumple

Tabla 24

Evaluación de requerimientos y materiales

| | Ferrocemento | PRFV/ Fibra de vidrio | Espuma de poliuretano | Unicel |
|--|--------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| Uso seguro para recintos de animales | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Resistente a la intemperie | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Bajo o nulo mantenimiento | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Materiales que faciliten la fabricación, traslado e instalación | 0 | 2 | 2 | 1 |
| Suma Total | 6 | 8 | 6 | 1 |

Nota. En la tabla se muestran los resultados de la evaluación de los materiales de acuerdo con los requerimientos del proyecto. Fuente: Elaboración propia (2023).

Como se observa en la Tabla 24, el mejor material a utilizar en la carcasa es la fibra de vidrio, pues cumple con todos los requerimientos evaluados, en segundo lugar, está el ferrocemento y la espuma de poliuretano, donde a pesar de tener el mismo puntaje, se descarta el ferrocemento por necesitar 28 días de curado, fabricación in situ y dificultar su instalación, la espuma de poliuretano también es una buena opción de material a utilizar en alguna parte del proyecto, considerando que en su implementación se cumpla con los requerimientos de diseño ya estipulados.

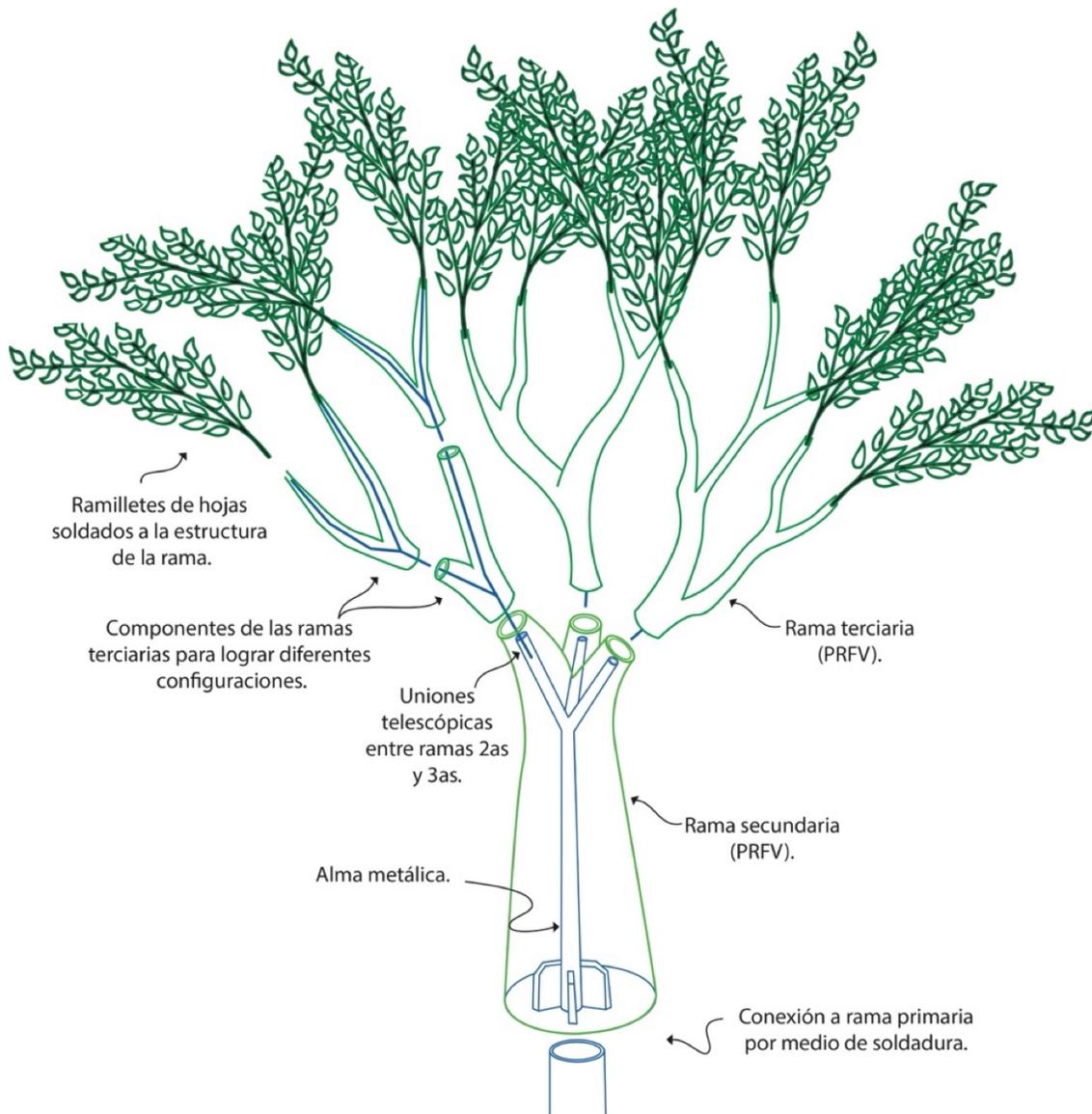
3.2.2 Diseño preliminar

Es esta etapa se define la arquitectura del objeto, detallando los componentes generales que lo conforman, creando subsistemas y obteniendo como resultado final un diseño geométrico del producto con especificaciones funcionales de cada uno de los subsistemas que lo integran (Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, 2013).

En la Figura 59, se muestra a detalle la propuesta de los componentes que conforman el diseño de la rama completa, incluyendo la rama secundaria y las ramas terciarias, donde cada rama crea un subsistema como se especifica en la figura.

Se obtuvo un diseño con una estructura metálica de tubular circular, con conexiones telescópicas para unir las ramas secundarias y terciarias. Como material de recubrimiento y acabado se eligió el uso de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV). Se propone que las ramas terciarias se conformen de varios componentes que permitan configurar diferentes modelos y obtener formas más orgánicas. Para la unión de la rama secundaria a la rama primaria se obtuvo como mejor opción el método de soldadura.

Figura 59 Diseño preliminar de la rama secundaria y terciaria



Nota: Fuente: Propia (2023).

Capítulo 4

Desarrollo del diseño

4.1 Diseño a detalle

Es esta etapa de diseño a detalle, se incluye la especificación completa de la geometría y materiales de las partes que conforman las ramas.

Teniendo un concepto definido, el siguiente paso es determinar las dimensiones para dicho diseño de rama, en primer lugar se trabajó sobre la maqueta a escala, con la finalidad de que el equipo de ingeniería y diseño pudiera visualizar con más claridad las posibles longitudes de ramas que serían útiles fabricar. Como se observa en la Figura 60 se simularon las longitudes de las ramas con piezas de alambre a escala.

Figura 60 *Maqueta del tronco del árbol Arcano*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Posteriormente se analizaron estas propuestas de medidas en el modelo 3D de la estructura del árbol Arcano. Considerando que la estructura alcanza un máximo de 16.74 metros de altura de acuerdo con los planos estructurales del árbol Arcano (Anexo A), y se tiene estipulado como una altura máxima de 23 metros, las ramas secundarias pueden tener como máximo una longitud de 6.26 metros, considerando las ramas terciarias que la conforman y el follaje.

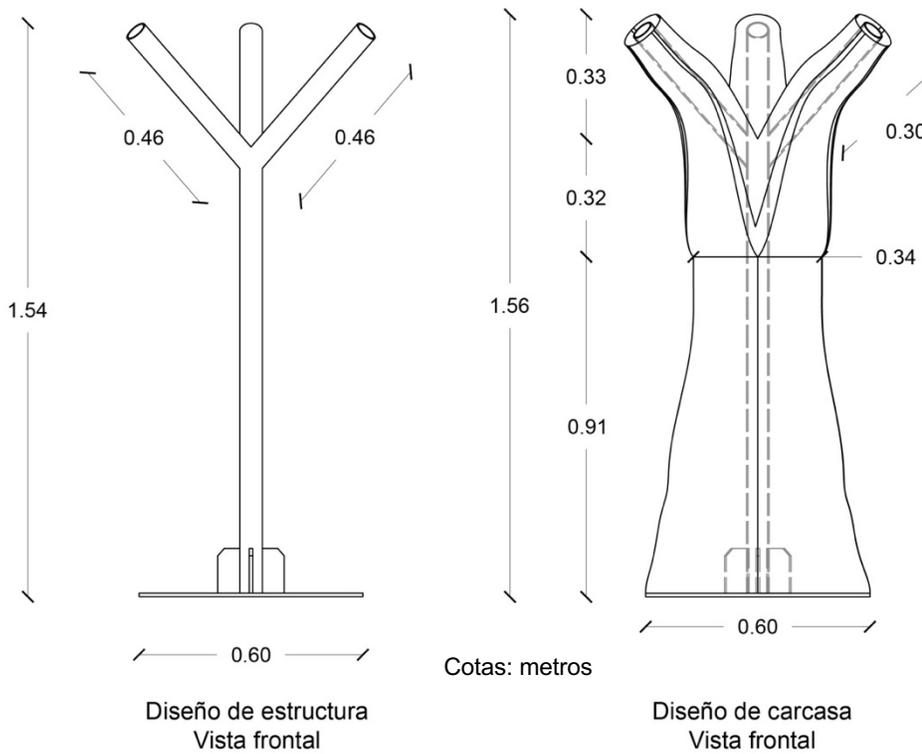
El diseño preliminar de la rama (Figura 59, del capítulo anterior), propone que las ramas secundarias se conformen de varios componentes para poder facilitar la fabricación y el transporte, los componentes son: rama secundaria, las ramas terciarias y el follaje, cada uno con su estructura interna para conectarlas entre sí.

4.1.1 Ramas secundarias

Se proponen 3 diferentes modelos de ramas secundarias, con sus respectivas estructuras para anclarse a la estructura de la rama primaria.

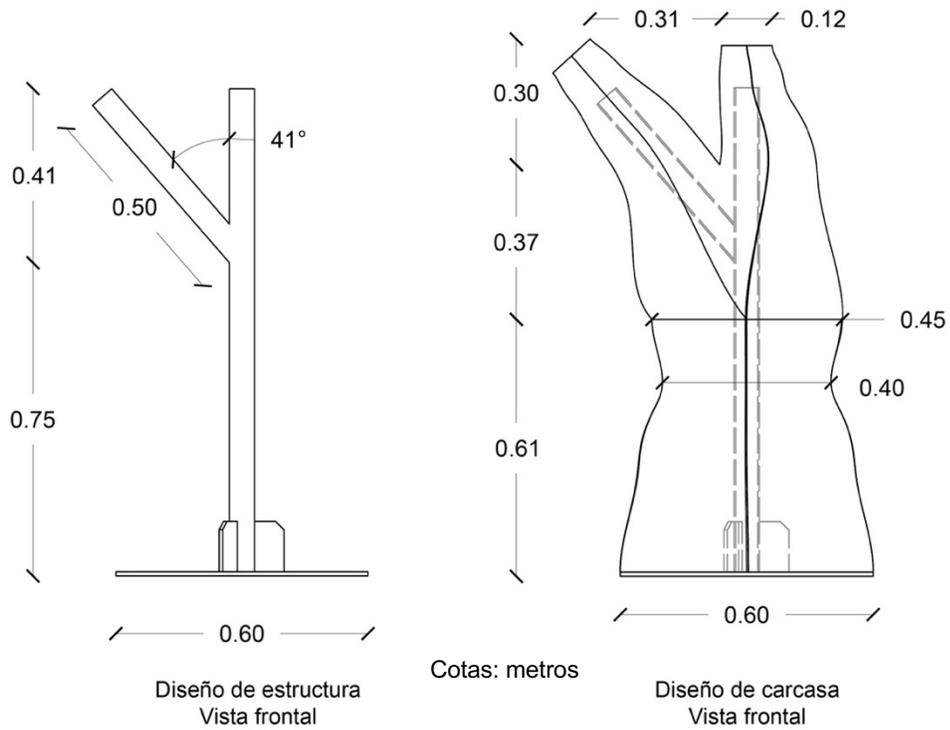
En las Figuras 61, 62 y 63, se observan las propuestas para las estructuras y carcasa de las ramas secundarias, las cuales funcionan como base y soporte para conformar toda la rama, la estructura se propone en tubo circular de acero de 2" cédula 40 y en la base una placa circular de acero de 1/2". Las uniones de las estructuras están propuestas con soldadura y la carcasa con Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio.

Figura 61 *Diseño de estructura y carcasa para rama secundaria 1*



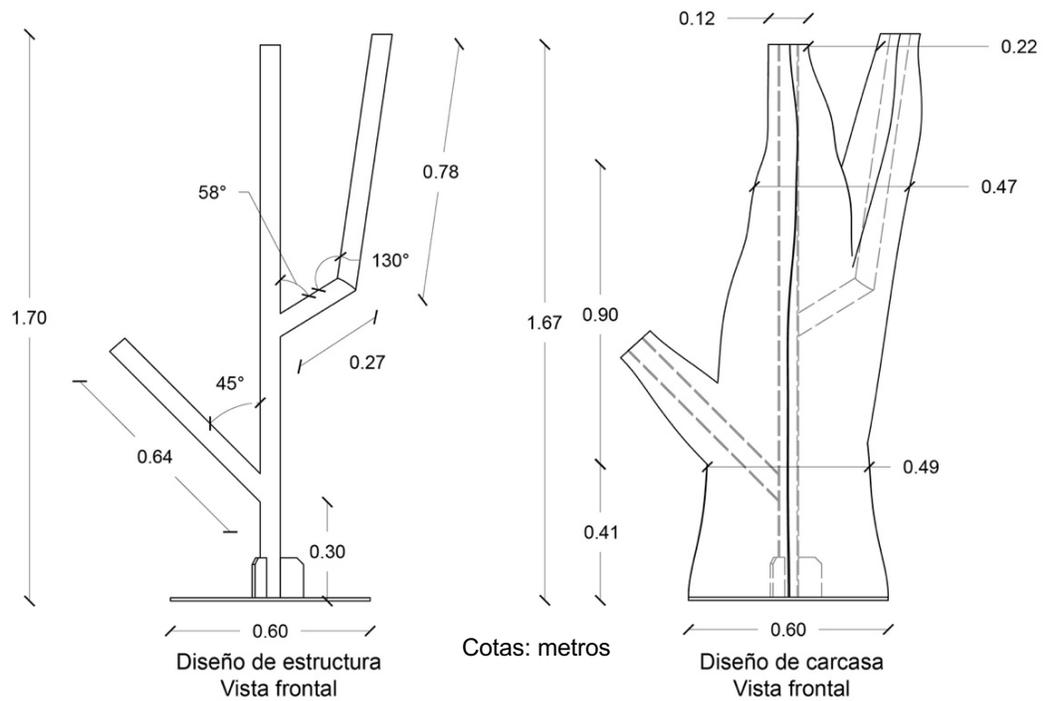
Nota: Fuente: Propia (2023).

Figura 62 Diseño de estructura y carcasa para rama secundaria 2



Nota: Fuente: Propia (2023).

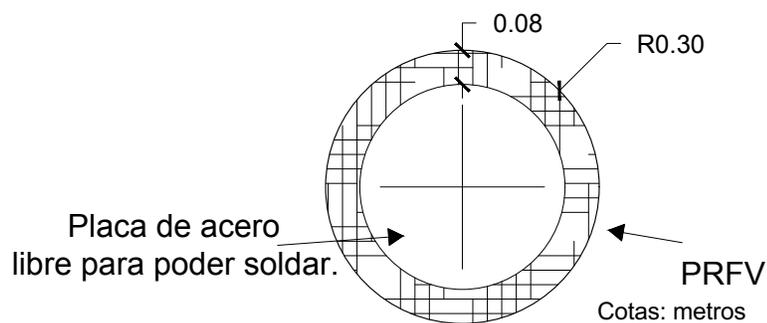
Figura 63 Diseño de estructura y carcasa para rama secundaria 3



Nota: Fuente: Propia (2023).

Para la unión de la carcasa de PRFV y la estructura, se propone que la capa de fibra cubra parte de la placa por la parte inferior como se muestra en la Figura 64, dejando el centro de la placa libre para poder soldarse a las terminaciones de las ramas primarias. Posteriormente, al unir la carcasa y la estructura, se plantea vaciar con espuma de poliuretano el interior de la carcasa, con la finalidad de dar cuerpo al interior y unir los diferentes elementos en una sola pieza (Figura 65).

Figura 64 Unión entre la estructura metálica y el PRFV



Nota: Fuente: Propia (2023).

Figura 65 Vaciado de espuma de poliuretano en ramas secundarias



Nota: Fuente: Propia (2023).

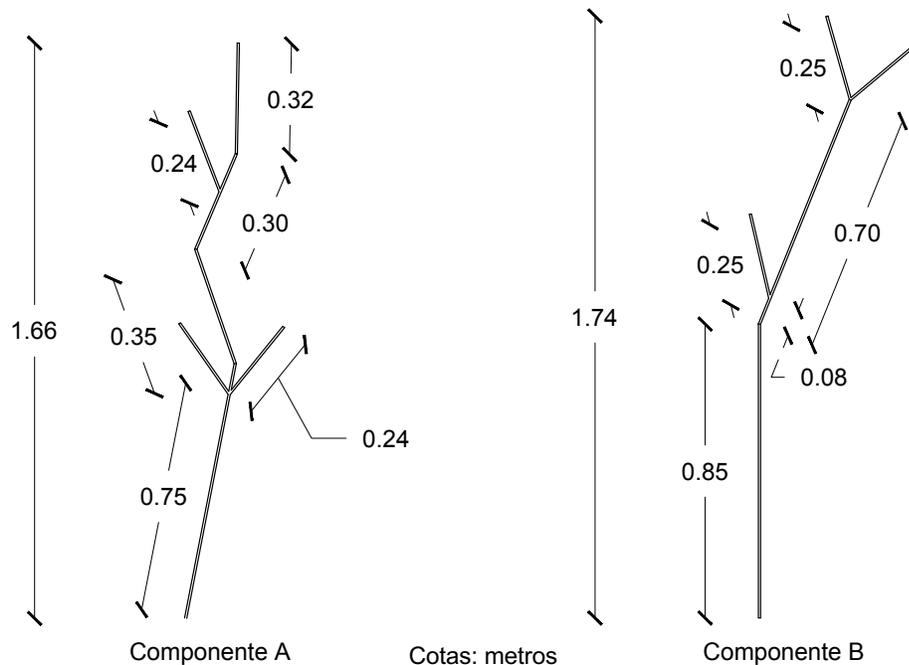
Las planos de las estructura y carcasas de las ramas secundarias propuestas, junto con sus especificaciones de diseño se encuentran en el Anexo D.

4.1.2 Ramas terciarias

Se propone que las ramas terciarias se compongan de varios elementos, mostrados en las Figuras 66-69, con la finalidad de poder tener múltiples configuraciones de ramas, ensamblando estos elementos con diferentes componentes, ángulos y posiciones. Contar con diversos diseños de ramas terciarias ayuda a crear composiciones más orgánicas.

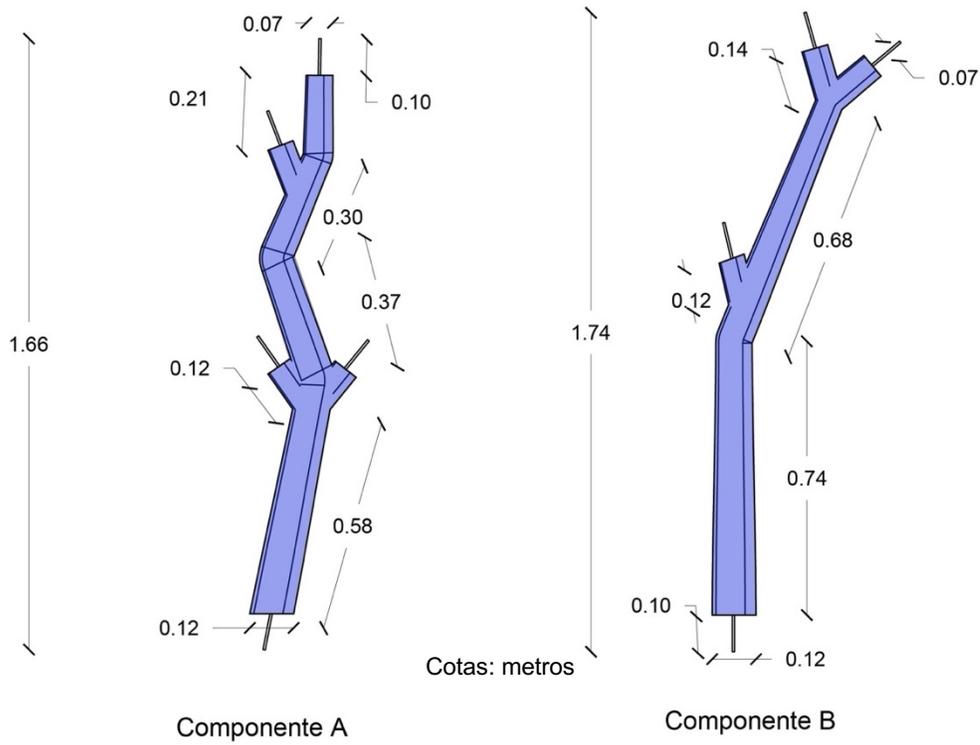
La estructura para estos elementos se sugiere de alambrcn de acero al carb3n de 1/4" de espesor. El alambrcn de acero es resistente a la corrosi3n y maleable, lo cual facilita crear las diferentes formas propuestas. Para la cubierta de estos componentes se propone PRFV para el exterior y espuma de poliuretano para el interior.

Figura 66 Estructuras de componente A y B para ramas terciarias



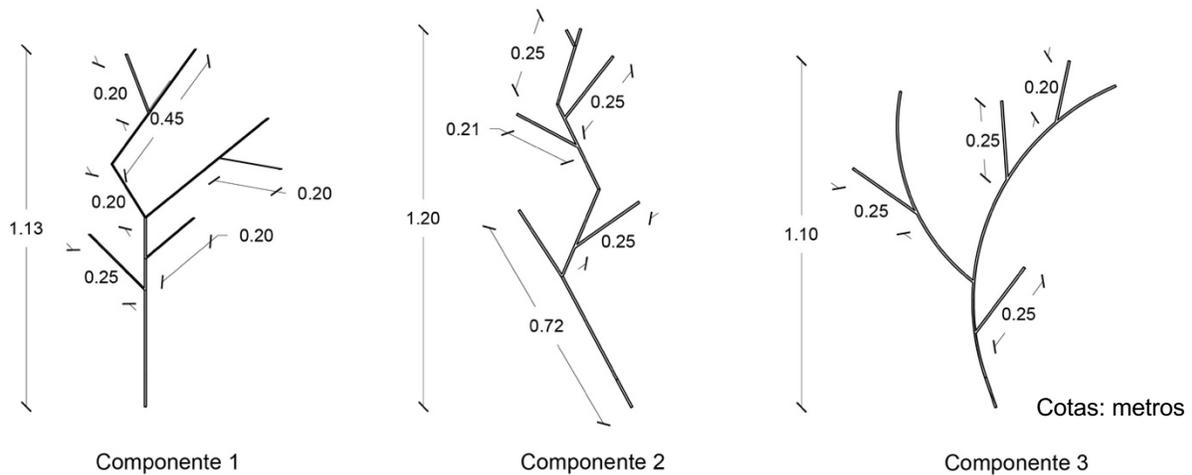
Nota: Fuente: Propia (2023).

Figura 67 Componente A y B para ramas terciarias



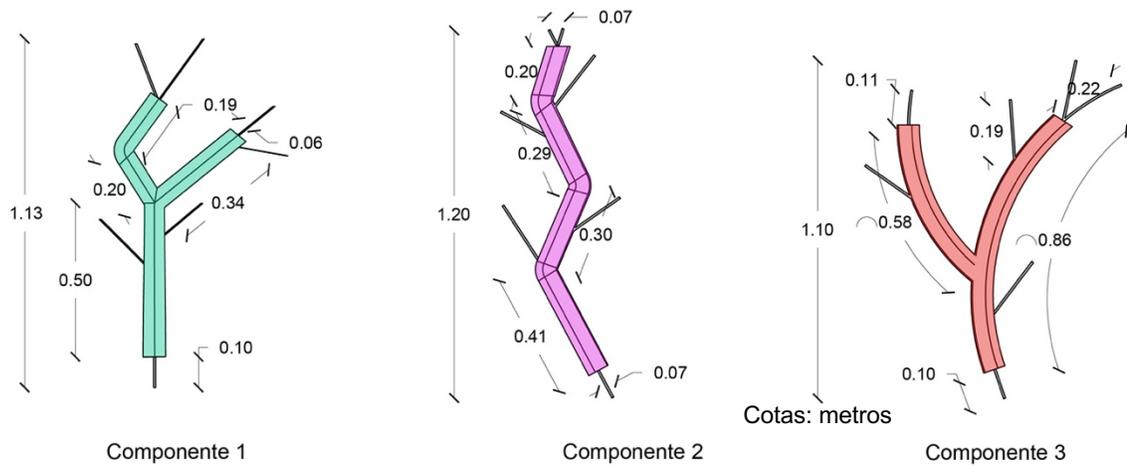
Nota: Fuente: Propia (2023).

Figura 68 Estructuras de componente 1, 2 y 3 para ramas terciarias



Nota: Fuente: Propia (2023).

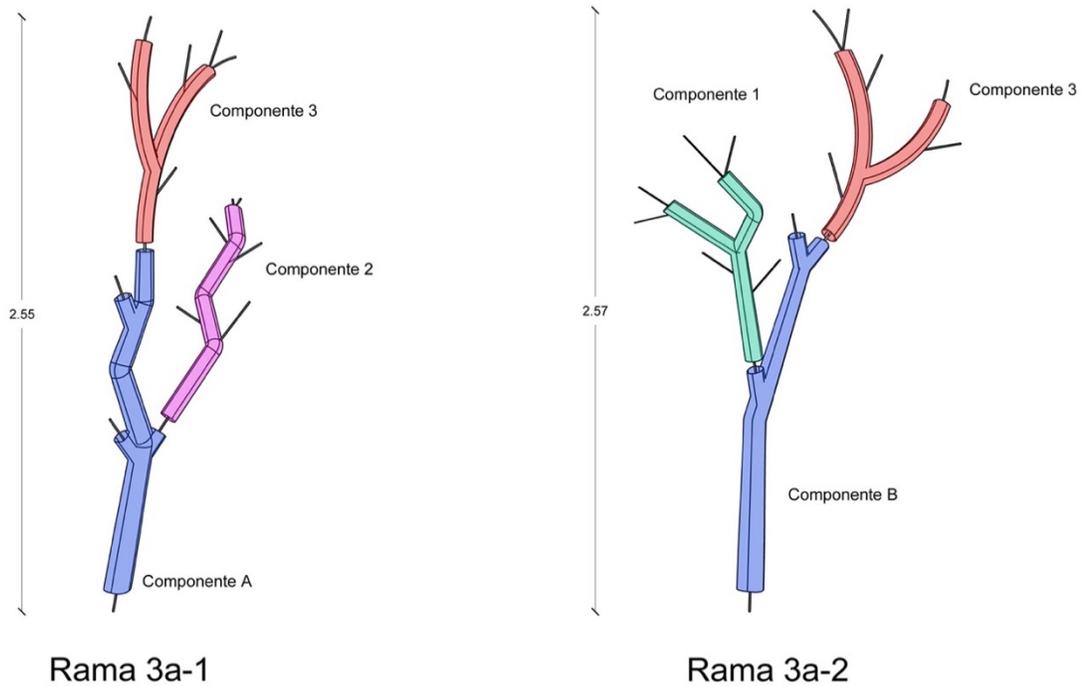
Figura 69 Componentes 1,2 y 3 para rama terciaria



Nota: Fuente: Propia (2023).

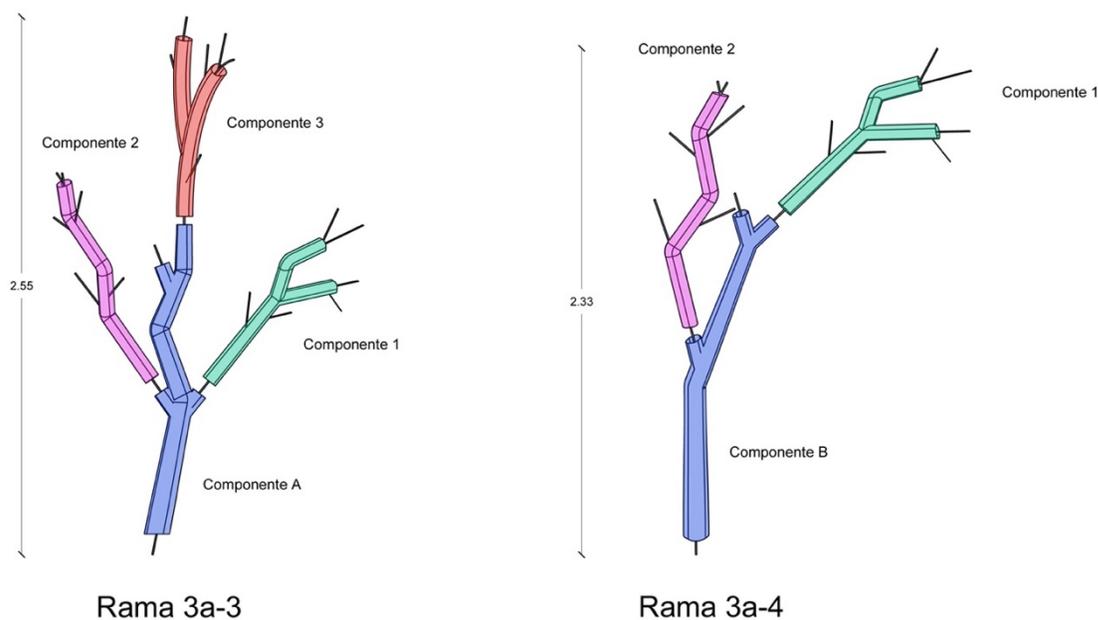
Para la configurar las ramas terciarias, se muestran las siguientes propuestas en las Figuras 70 y 71, en las cuales se utilizan los componentes presentados con anterioridad. Los componentes A y B funcionan como base, a ellos se unen dos o mas componentes nombrados como 1, 2 o 3 por medio de la estructura.

Figura 70 Diseño de rama terciaria 1 y 2



Nota: Fuente: Propia (2023).

Figura 71 *Diseño de rama terciaria 3 y 4*

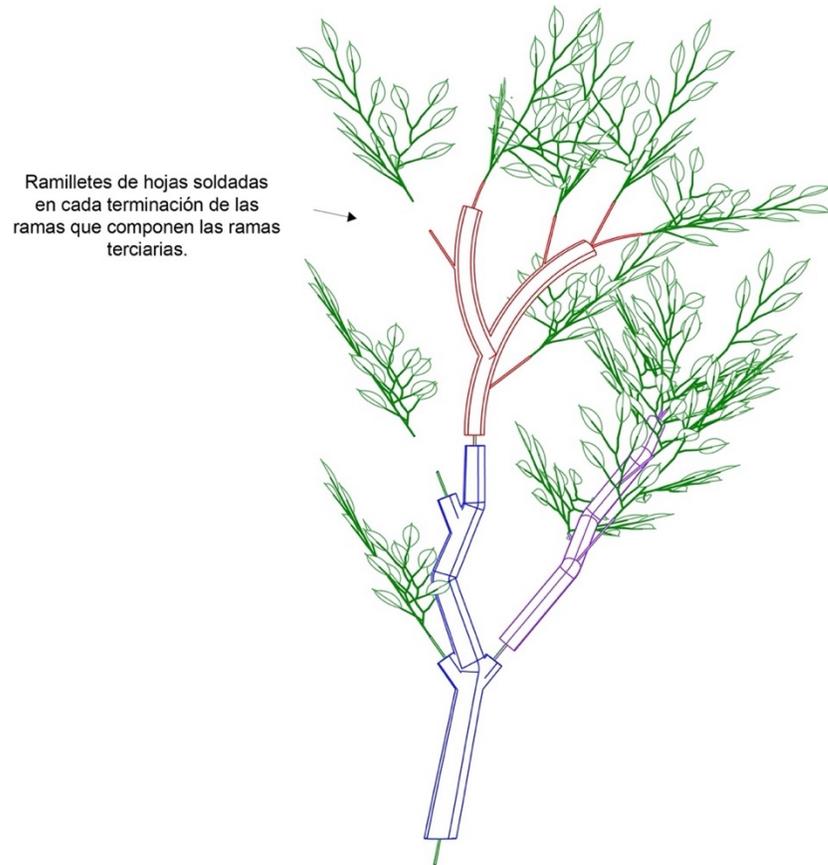


Nota: Fuente: Propia (2023).

Las propuestas presentadas muestran cuatro configuraciones dentro de una amplia gama de posibilidades para las ramas terciarias, las cuales conforman a las ramas secundarias.

Como recubrimiento de las uniones entre piezas, después de soldar cada elemento, se sugiere el uso de espuma de poliuretano para dar volumen y continuidad a cada componente, posteriormente cubrir con PRFV para proporcionar mayor resistencia y uniformizar el acabado. Este mismo proceso se sugiere para cubrir la unión entre los componentes nombrados como 1, 2 y 3 y los ramilletes de hojas, los cuales deben ser soldados en cada terminación de las ramas terciarias como se muestra en la Figura 72. Si el diseño de la rama contiene un componente A o B con alguna terminación libre, también se debe colocar un ramillete de hojas.

Figura 72 *Ensamble ramilletes de hojas*

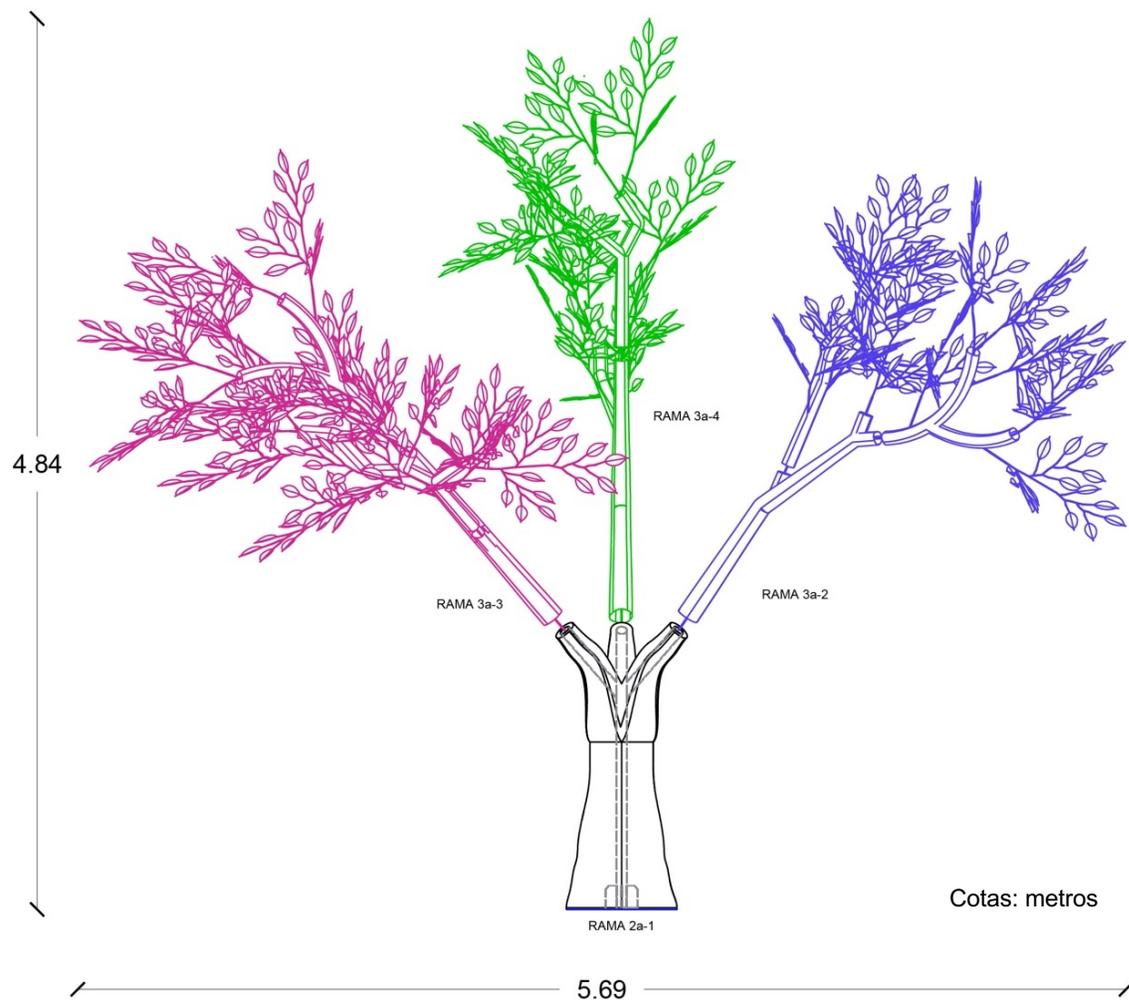


Nota: Fuente: Propia (2023).

Para configurar las ramas, los diseños de las ramas terciarias presentados se ubicaron en cada terminación de las ramas secundarias, poniéndolos en distintas posiciones y orientaciones con la finalidad de conformar ramas diferentes y de formas orgánicas.

En las Figuras 73, 74 y 75, se presentan 3 propuestas de diseño de ramas para dar continuidad a las ramas primarias del árbol Arcano, donde se utilizan todos los componentes mencionados anteriormente.

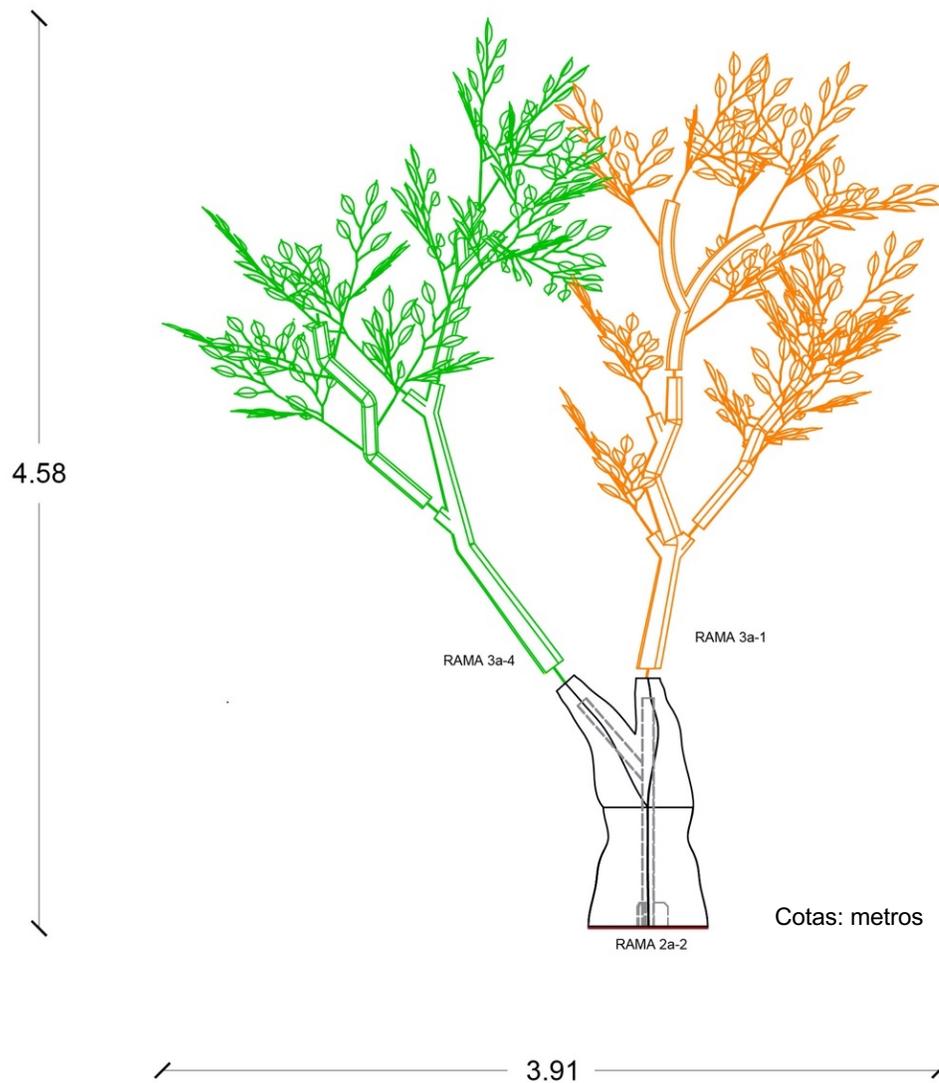
Figura 73 Diseño de rama secundaria 1(Rama 2a-1)



Nota: Fuente: Propia (2023).

En la rama de la Figura 73, se aprecia el modelo nombrado "Rama 2a-1", el cual se conforma de 3 ramas terciarias, las cuales se pueden colocar en diferentes posiciones. Esta rama tiene una copa amplia, con la finalidad de abarcar más espacio en el lugar donde se vaya a colocar. Sus medidas son 5.69 x 4.84 metros.

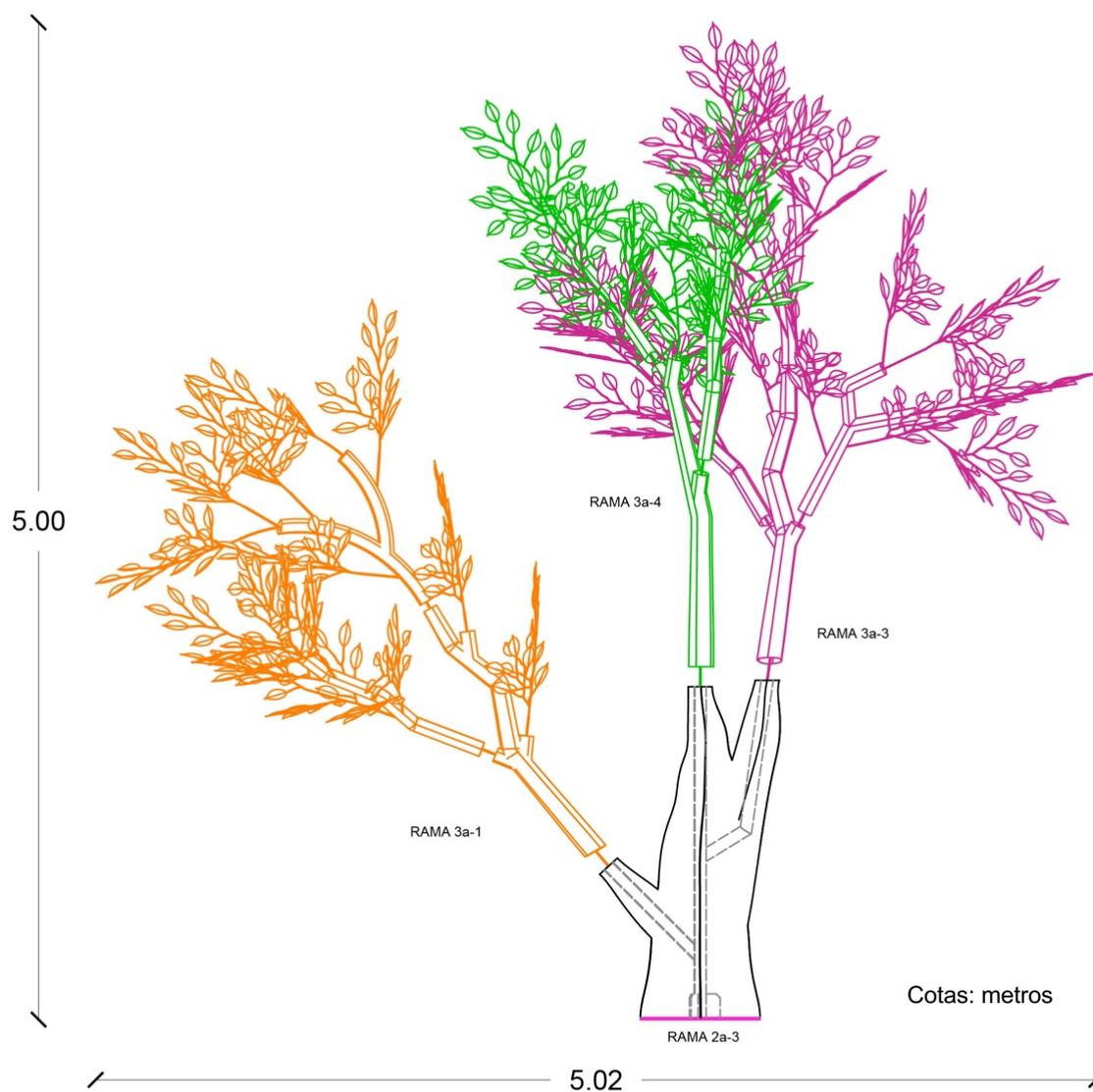
Figura 74 Diseño de rama secundaria 2 (Rama 2a-2)



Nota: Fuente: Propia (2023).

La rama 2a-2 (Figura 74), se conforma de solo 2 ramas terciarias, de igual forma que en la propuesta anterior, se pueden colocar en distintas orientaciones y lograr de esta propuesta una configuración diferente, esta rama tiene una copa más angosta en comparación a la rama anterior. Sus medidas son 3.91 x 4.58 metros.

Figura 75 Diseño de rama secundaria 3 (Rama 2a-3)

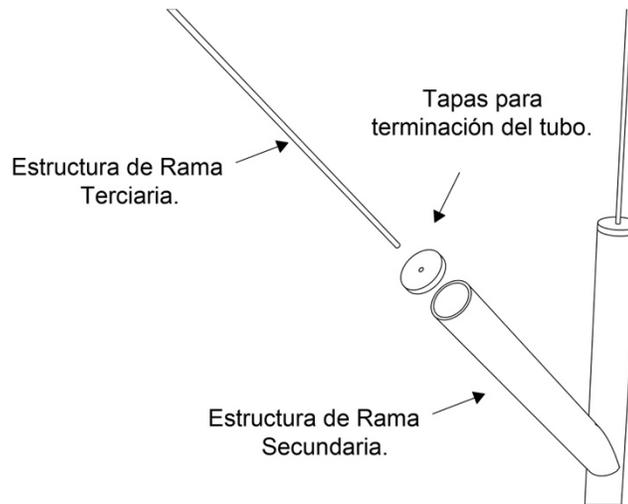


Nota: Fuente: Propia (2023).

La última rama presentada es la Rama 2a-3 (Figura 75), esta rama es la más alta de las tres propuestas presentadas, y se conforma de 3 ramas terciarias, su copa presenta una configuración diferente, es más amplia que la anterior y más angosta que la primera propuesta. Sus medidas son 5.02 x 5.00 metros.

Para las uniones entre ramas secundarias y terciarias se propone la unión telescópica, cada rama terciaria se ubica en la terminación de la rama secundaria dentro del tubo de su estructura (Figura 76), esto permite girar la rama terciaria a la orientación y posición deseada, teniendo la posibilidad de diferentes configuraciones.

Figura 76 Unión telescópica



Nota: Fuente: Propia (2023).

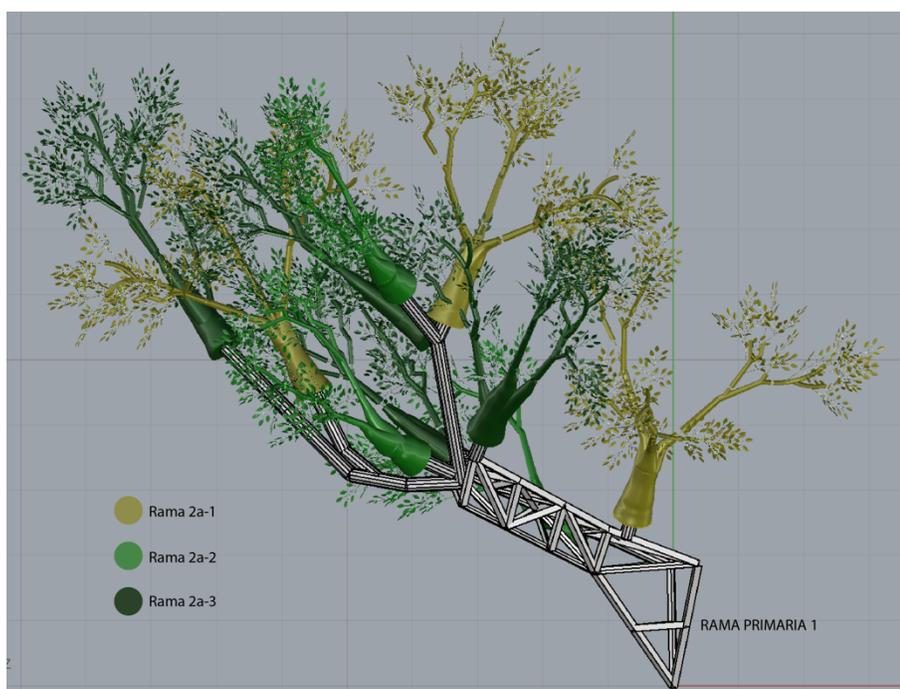
Posteriormente se soldan las estructuras de las ramas entre sí, y se cubre con espuma de poliuretano y PRFV para dar continuidad a las ramas.

En el Anexo D, se pueden analizar con detalle los planos de las ramas y sus componentes.

4.1.3 Cantidad de componentes

Uno de los requerimientos estructurales de este proyecto, es definir la cantidad de ramas secundarias y terciarias necesarias para conformar la copa del árbol Arcano. Para realizar el cálculo, se utilizó el modelo 3D de la Rama primaria 1 y los modelos de las ramas secundarias propuestas, ubicándolas en diferentes posiciones con la finalidad de dar continuidad a la rama primaria y cubrirla de follaje (Figura 77).

Figura 77 Rama primaria con ramas secundarias y follaje



Nota: Fuente: Propia (2023).

Para cubrir esta rama primaria se necesitan 9 ramas secundarias, en la Tabla 25, se presenta por modelo, la cantidad de Ramas secundarias necesarias para cubrir la Rama primaria 1, también se muestra la cantidad total y los modelos de ramas terciarias necesarias para conformar las 9 ramas secundarias, de acuerdo con los diseños propuestos.

Tabla 25

Cantidad de Ramas secundarias y terciarias necesarias para cubrir la Rama primaria 1

| Pieza | R2a's | R3a-1 | R3a-2 | R3a-3 | R3a-4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rama 2a-1 | 3 | | 3 | 3 | 3 |
| Rama 2a-2 | 3 | 3 | | | 3 |
| Rama 2a-3 | 3 | 3 | | 3 | 3 |
| TOTAL | 9 | 6 | 3 | 6 | 9 |

Nota. En la tabla se muestran las cantidades de ramas secundarias y terciarias necesarias para cubrir la rama primaria 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la Tabla 26, se observa el desglose de componentes para conformar las ramas terciarias necesarias de acuerdo con los resultados de la tabla anterior.

Tabla 26

Cantidad de componentes necesarios para cubrir la Rama primaria 1

| Componente | A | B | 1 | 2 | 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| R3a-1 | 6 | | | 6 | 6 |
| R3a-2 | | 3 | 3 | | 3 |
| R3a-3 | 6 | | 6 | 6 | 6 |
| R3a-4 | | 9 | 9 | 9 | |
| TOTAL | 12 | 12 | 18 | 21 | 15 |

Nota. En la tabla se muestran las cantidades de componentes necesarios para cubrir la rama primaria 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Por lo cual, tomando como referencia la cantidad de ramas a fabricar para una rama primaria de acuerdo con las Tablas 25 y 26, se multiplica el resultado por 8, que son las ramas primarias que conforman el árbol Arcano, se obtienen las cantidades totales para conformar la copa del árbol Arcano como se enlista en la Tabla 27.

Tabla 27 *Cantidad de ramas y componentes necesarios para cubrir el árbol Arcano*

| | # Piezas para 1 Rama primaria. | # Piezas para cubrir 8 Ramas primarias. |
|--------------|--------------------------------|---|
| Rama 2a-1 | 3 | 24 |
| Rama 2a-2 | 3 | 24 |
| Rama 2a-3 | 3 | 24 |
| R3a-1 | 6 | 48 |
| R3a-2 | 3 | 24 |
| R3a-3 | 6 | 48 |
| R3a-4 | 9 | 72 |
| Componente A | 12 | 96 |
| Componente B | 12 | 96 |
| Componente 1 | 18 | 144 |
| Componente 2 | 21 | 168 |
| Componente 3 | 15 | 120 |

Nota. En la tabla se muestran las cantidades de ramas y componentes necesarios para conformar la copa del árbol Arcano. Fuente: Elaboración propia (2023).

Como se puede observar en la Tabla 27, se necesitarán fabricar 72 ramas secundarias para las cuales es necesario armar 192 ramas terciarias conformadas por 192 Componentes A y B, y 432 Componentes 1, 2 y 3.

Para el cálculo de la cantidad de ramilletes a utilizar, se concentra en la Tabla 28 la cantidad de terminaciones de cada rama terciaria y se multiplica por la cantidad de ramas necesarias para todo el árbol según cada modelo, tomando como referencia los diseños establecidos y los resultados de la tabla anterior, obteniendo así un total de 3,120 ramilletes.

Tabla 28

Cantidad de ramilletes de hojas a utilizar

| Modelo | No. De terminaciones | Cantidad de ramas necesarias | Cantidad de ramilletes |
|-----------|----------------------|------------------------------|------------------------|
| Rama 3a-1 | 14 | 48 | 672 |
| Rama 3a-2 | 13 | 24 | 312 |
| Rama 3a-3 | 25 | 48 | 1,200 |
| Rama 3a-4 | 13 | 72 | 936 |
| | | TOTAL | 3,120 |

Nota. En la tabla se muestran la cantidad de ramilletes de hojas necesarios para conformar la copa del árbol Arcano. Fuente: Elaboración propia (2023).

Por la cantidad de ramas necesarias a fabricar, el proceso de producción más viable sería la producción en serie, utilizando el método de moldeo para reproducir las piezas que conforman las ramas secundarias y terciarias. Una ventaja de este proceso es la obtención de piezas con texturas fieles al modelo original a utilizar, donde se toman en cuenta los requerimientos mencionados por la norma NMX-AA-165-SCFI-2014 aprobada por la COTERMANAT, para proporcionar acabados de alta calidad y seguros para los animales, evitando algún material en la textura que los pueda dañar, acabado que sería más complicado de lograr si se realizara la aplicación del PRFV de manera artesanal.

Por lo tanto, para el proceso de moldeo se sugiere generar los originales esculpiéndolos de acuerdo a las especificaciones de los planos y proporcionándoles la textura elegida según los requerimientos analizados y evaluados anteriormente.

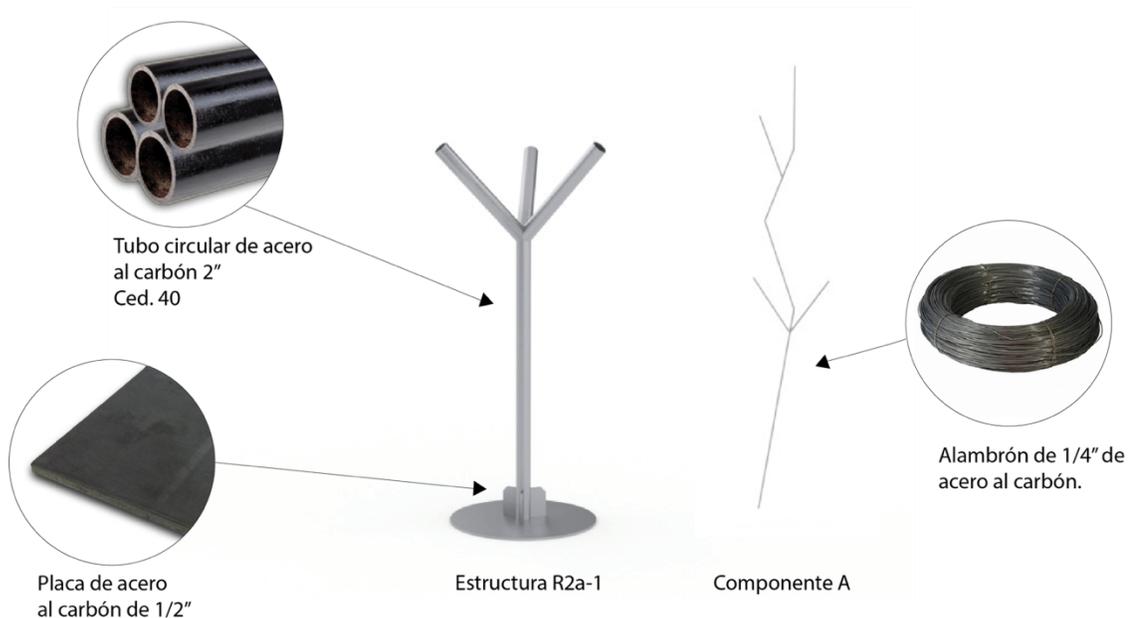
4.1.4 Materiales para recubrimientos y acabados

Tomando en cuenta la elección de materiales previa de acuerdo con los requerimientos de diseño, en esta sección se especifican con detalle los materiales a utilizar en la fabricación de las ramas secundarias y terciarias. Esta información también se presenta en el Anexo E.

4.1.4.1 Estructura

Los materiales especificados en la Figura 78, son los materiales a utilizar para todas las estructuras de las ramas secundarias y terciarias.

Figura 78 *Materiales para estructura de ramas*

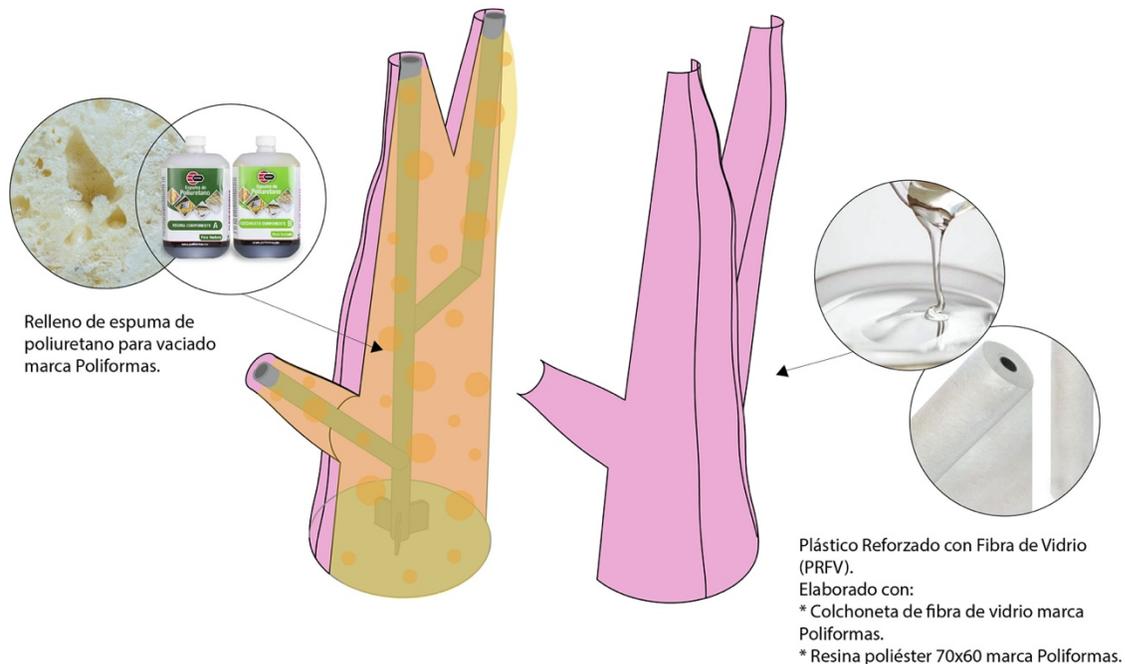


Nota: Fuente: Propia (2023).

4.1.4.2 *Cuerpo, carcasa y uniones*

La Figura 79, presenta un esquema de los materiales propuestos para el cuerpo y carcasa de todas las ramas secundarias y terciarias, estos materiales también se utilizan para cubrir las uniones entre ramas para lograr un acabado uniforme.

Figura 79 *Materiales para cuerpo, carcasa y uniones de ramas*



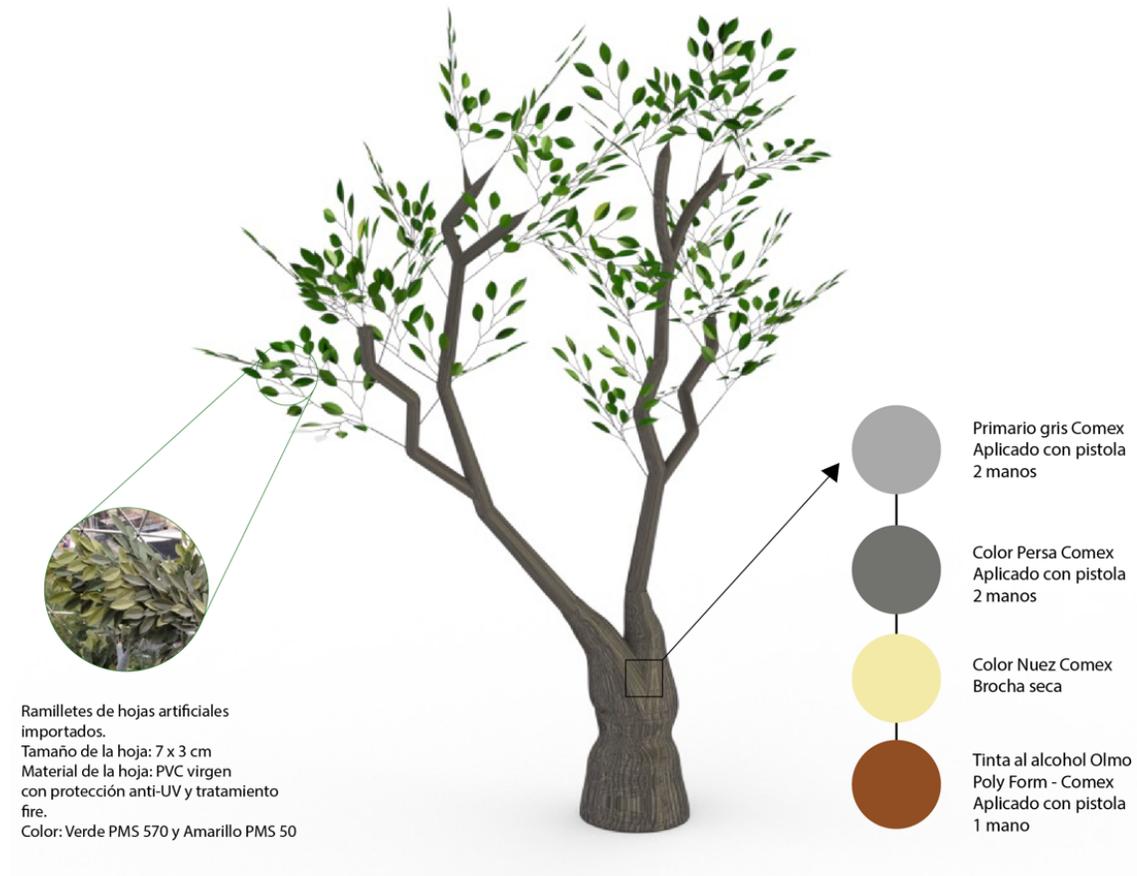
Nota: Fuente: Propia (2023).

4.1.4.3 *Acabados*

En la Figura 80, se especifican los materiales utilizados para los acabados, donde se sugieren los colores de acuerdo a las tonalidades de los árboles inspiración de este proyecto. Por la cantidad de ramas a cubrir, se sugiere el pintado con pistola de aspersión, sin embargo, para resaltar las texturas implementadas, se propone la aplicación de brocha seca en una tonalidad más clara para crear contraste. Como último, en algunas zonas se aplica con pistola de aspersión, una ligera capa de tinta al alcohol

en color olmo, con la finalidad de generar sombras y lograr diferentes tonalidades en las ramas, haciéndolas lucir más naturales.

Figura 80 *Materiales para acabados de las ramas.*



Nota: Fuente: Propia (2023).

4.2 Análisis de Elemento Finito.

De acuerdo con Artículo 1152 del COREMUN; mencionado en el apartado de normatividad, en conjunto con el departamento de proyectos de la empresa y el Director Responsable de Obra del proyecto Arboterra, se determinó realizar un análisis a las estructuras principales de las ramas secundarias, ya que son las que cuentan con un valor estructural, y sirven para complementar el reporte de los muestreos y pruebas de resistencia del DRO.

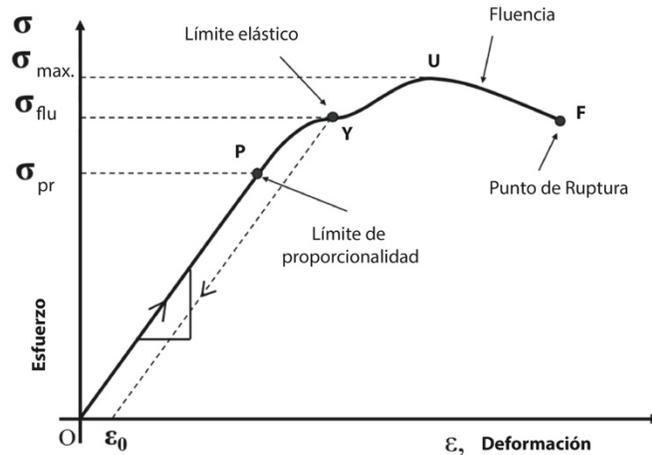
El análisis de elemento finito es un método computarizado que sirve para predecir cómo reaccionará un elemento, evaluando esfuerzos, deformaciones, desplazamientos, entre otros efectos físicos. El resultado de tensión de Von Mises es uno de los más importantes en el análisis de componentes metálicos y plásticos (Pereiras, 2018).

Para comprender los resultados que arroja este estudio, es importante comprender el diagrama de esfuerzo-deformación (Figura 81), el cual representa el comportamiento de un material cuando está sometido a una fuerza deformadora.

El esfuerzo se define como la fuerza aplicada a cada unidad de área de un material, y la deformación como el cambio de forma original que sufre un material al estar sometido a esfuerzos.

Existen las deformaciones elásticas, que se refieren a una deformación temporal en un material y al eliminar la fuerza vuelve a sus dimensiones originales. Las deformaciones plásticas son las deformaciones permanentes, en las que un material pierde sus propiedades elásticas (Deingenierias, 2019).

Figura 81 *Diagrama Esfuerzo – Deformación*



Nota: Fuente: Fitzgerald (2015).

De acuerdo con el diagrama de la Figura 81, el esfuerzo y deformación son directamente proporcionales hasta que se alcanza el límite de proporcionalidad (P), el límite de elástico (Y) representa la tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes, en el punto de fluencia el material ha dejado su propiedad elástica, superando su capacidad y ahora se comporta como un material plástico, donde ya no recupera su forma original, el esfuerzo máximo U es el punto donde un material ha alcanzado su capacidad máxima de resistir un esfuerzo, si la fuerza sigue actuando, el material colapsará hasta llegar a su punto de ruptura, donde ocurre la fractura (Fitzgerald, 2015).

Las figuras presentadas a continuación, son el resultado del análisis de Von Mises de las estructuras de las ramas secundarias, del lado derecho se aprecia un diagrama con una gama de colores, que van de la zona azul que representa los esfuerzos de deformación mínimos, a zonas en color rojo donde se presentan los esfuerzos de deformación máximos.

Para los análisis de estas estructuras se configuró el material correspondiente al acero al carbono (acero A36), se consideró la gravedad y se aplicó una carga de 50 kg, que es el peso estimado para los materiales de la carcasa y acabados de la rama.

Otro dato importante a considerar para el análisis, son los ángulos en los que se ubicarán las ramas secundarias sobre las ramas primarias, ya que los esfuerzos no se comportan de la misma manera. De acuerdo con los planos de las ramas primarias, las ramas secundarias pueden llegar a estar ubicadas dentro de un rango de los 17 a los 45 grados, siendo su comportamiento más crítico el ángulo más horizontal, con fines prácticos, se analizaron las ramas en 2 posiciones: totalmente en horizontal a 0 grados y a 45 grados, con la finalidad de observar el posible comportamiento de las ramas dentro de estos parámetros. En el Anexo F, se encuentran todos los gráficos correspondientes a los análisis realizados a estas estructuras.

En las siguientes tablas, se concentran los resultados obtenidos del análisis de las ramas secundarias en las 2 diferentes posiciones, se presentan los resultados del análisis de tensiones de Von Mises, el de desplazamiento; que indica el máximo desplazamiento que sufrirá la estructura en milímetros, y el factor de seguridad; el cual es un múltiplo que representa cuántas veces soporta el peso asignado.

En la Figura 82, se observa el análisis de tensión de Von Mises realizado a la estructura de la Rama Secundaria 1 (Rama 2a-1), en su posición más crítica. El límite elástico del material es $2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ y el resultado obtenido para la estructura se encuentra en el rango de 701 N/m^2 y $1.25 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, donde al comparar el valor máximo obtenido, se encuentra por debajo del límite del material y se puede deducir que el diseño y el material propuesto es óptimo. En la Tabla 29, también se muestran los desplazamientos máximos de este modelo, 7.26 mm a los 0 grados y 5.19 mm a los 45 grados, lo que representa que las cargas se distribuyen mejor a los 45 grados al tener

un desplazamiento menor. El resultado de los factores de seguridad de esta estructura indican que puede soportar 2 y 2.5 veces la carga configurada en el análisis.

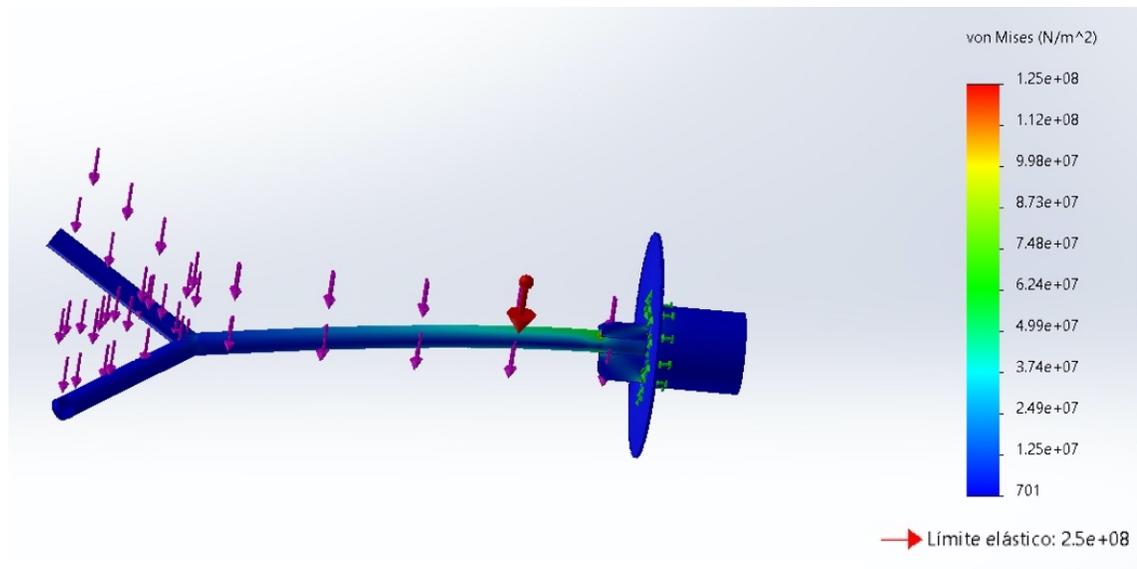
Tabla 29

Resultados de análisis a la Rama 2a-1

| Rama 2a-1 | 0 grados | 45 grados |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tensión Von Mises (N/m ²) | 701 – 1.25x10 ⁸ | 767 – 9.86x10 ⁷ |
| Desplazamiento (mm) | 7.26 | 5.19 |
| Factor de Seguridad | 2 | 2.5 |

Nota. En la tabla se muestran los resultados de Análisis de esfuerzos realizados a la Rama 1 en diferentes posiciones. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 82 Resultado de tensión de Von Mises para Rama 2a-1



Nota: Fuente: Propia (2023).

En la siguiente tabla (Tabla 30), se enlistan los datos correspondientes a los resultados de los análisis de la Rama 2a-2. El resultado de tensiones de Von Mises muestra como valor máximo $2.17 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ a 0 grados (Figura 83) y $7.04 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ a los 45 grados, valores que se encuentran por debajo del límite elástico del material ($2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$), lo que indica que soportará el peso configurado, y de acuerdo con los datos de la Tabla 30, puede soportar entre 1.2 y 3.6 veces la carga dependiendo la posición en la que se encuentre. Según el análisis realizado presenta un desplazamiento máximo de 6.85 mm a los 0 grados y 2.18 mm a los 45 grados.

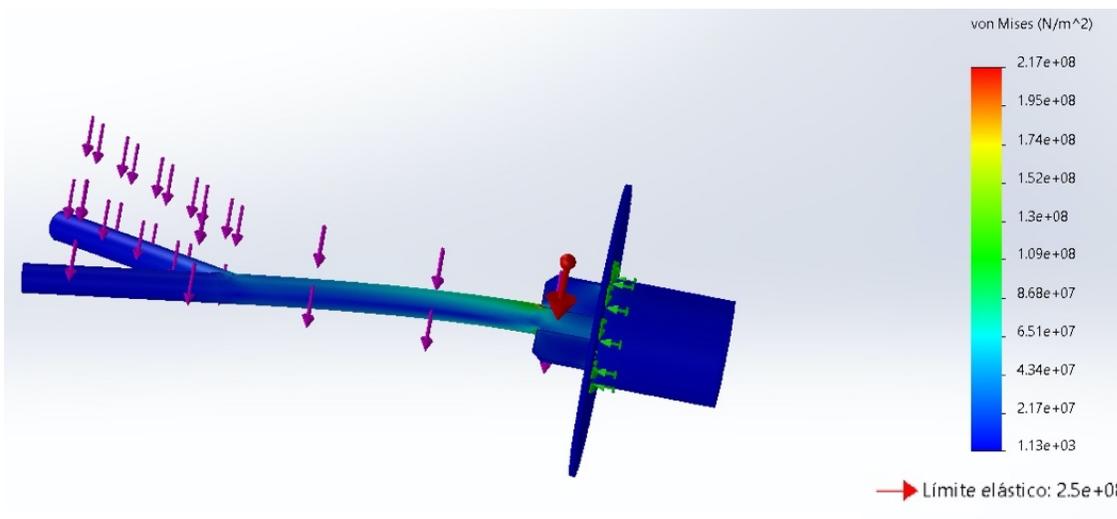
Tabla 30

Resultados de análisis a la Rama 2a-2

| Rama 2a-2 | 0 grados | 45 grados |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Tensión Von Mises (N/m ²) | $1.13 \times 10^3 - 2.17 \times 10^8$ | $1.02 \times 10^3 - 7.04 \times 10^7$ |
| Desplazamiento (mm) | 6.85 | 2.18 |
| Factor de Seguridad | 1.2 | 3.6 |

Nota. En la tabla se muestran los resultados de Análisis de esfuerzos realizados a la Rama 2 en diferentes posiciones. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 83 Resultado de tensión de Von Mises para Rama 2a-2



Nota: Fuente: Propia (2023).

En la Tabla 31, se concentran los resultados obtenidos de los análisis realizados a la Rama 2a-3. En la Figura 84, correspondiente al análisis de tensión de la Rama 2a-3 en su posición más crítica, se obtuvo como resultado valores entre 599 N/m² y 2.46x10⁸ N/m², donde el valor máximo se encuentra por debajo del límite del material, indicador de que la resistencia es adecuada. Para esta estructura se obtuvo un desplazamiento máximo de 25.7 mm a los 0 grados y 18.2 mm a los 45 grados (Tabla 31), presenta un desplazamiento mayor en comparación con las anteriores estructuras, pues es la rama con más longitud. Como factor de seguridad se obtuvo 1 y 1.6 respectivamente.

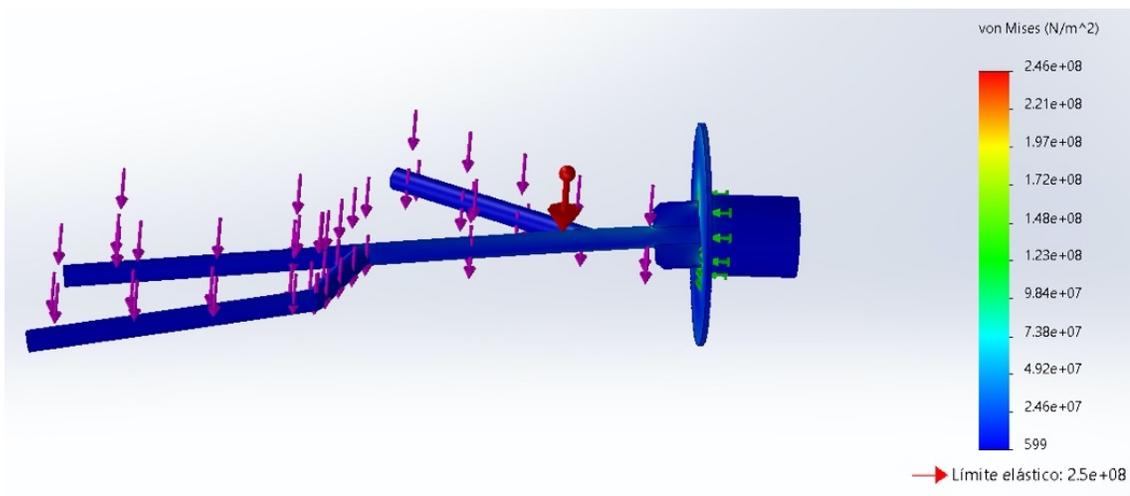
Tabla 31

Resultados de análisis a la Rama 2a-3

| Rama 2a-3 | 0 grados | 45 grados |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tensión Von Mises (N/m ²) | 599 – 2.46x10 ⁸ | 537 – 1.57x10 ⁸ |
| Desplazamiento (mm) | 25.7 | 18.2 |
| Factor de Seguridad | 1 | 1.6 |

Nota. En la tabla se muestran los resultados de Análisis de esfuerzos realizados a la Rama 3 en diferentes posiciones. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 84 Resultado de tensión de Von Mises para Rama 2a-3



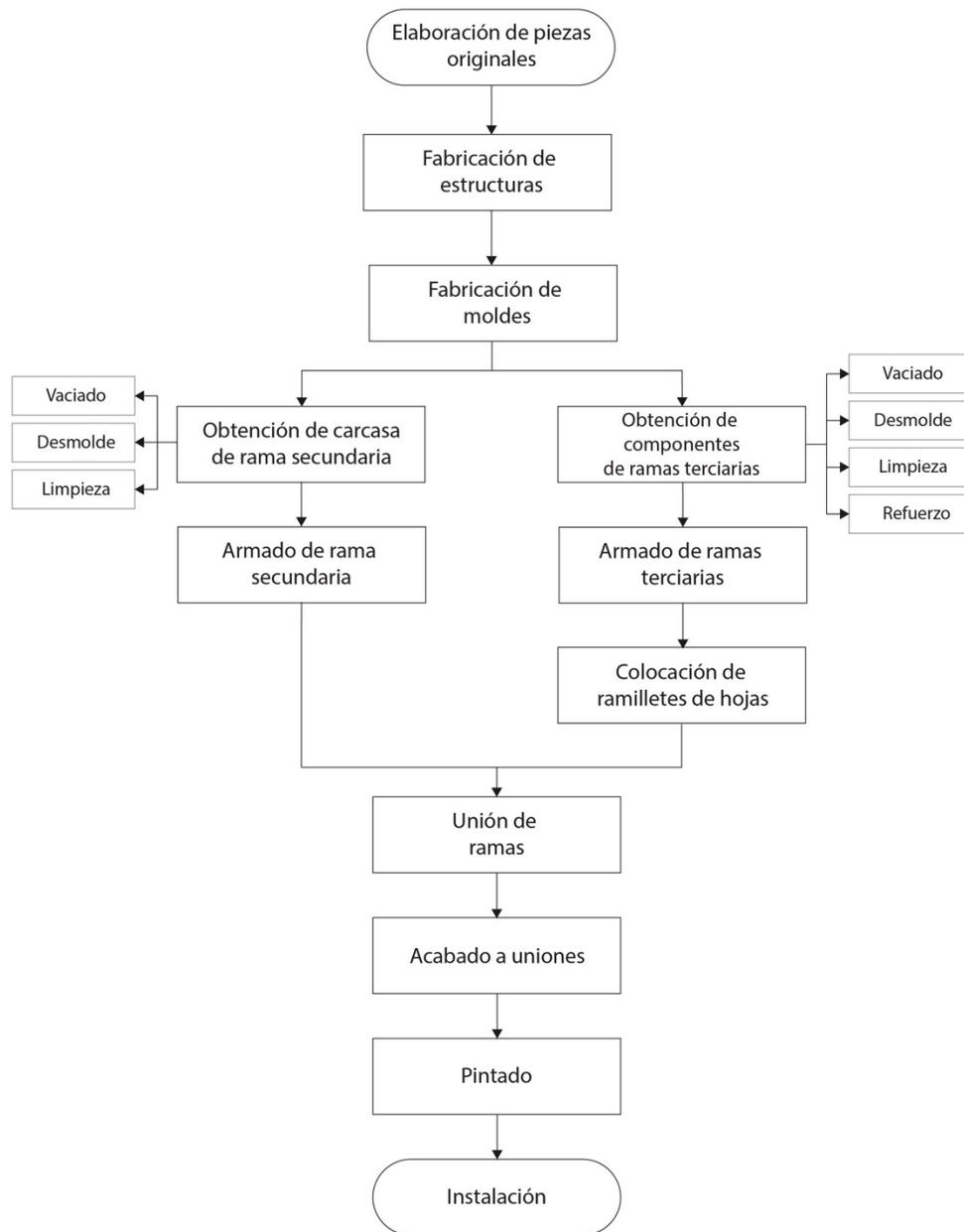
Nota: Fuente: Propia (2023).

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis realizados, y mostrados en las figuras y tablas anteriores, se puede concluir que el diseño de las estructuras y los materiales elegidos cumplen con la resistencia adecuada, y los criterios de “centro de gravedad” y “estructura” de los requerimientos estructurales establecidos en el apartado 3.1.3.1, ya que las ramas pueden ser colocadas en diferentes ángulos dentro del rango de posiciones analizado sin representar riesgo alguno, pues soportan la carga estimada de los recubrimientos y acabados.

4.3 Fabricación del prototipo

En la Figura 85 se muestra el diagrama del proceso realizado para la fabricación del prototipo, posteriormente se detalla cada etapa, describiendo las acciones realizadas y materiales utilizados.

Figura 85 Proceso de fabricación del prototipo



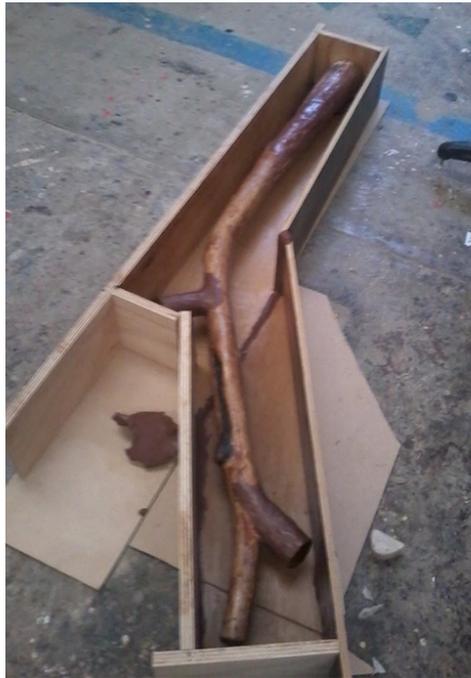
Nota: Fuente: Propia (2023).

Para la fabricación del prototipo, el primer paso es determinar qué piezas funcionarán como originales, y con ellos fabricar los moldes de las ramas secundarias y de los componentes de las ramas terciarias.

Por el diseño y dimensiones de las ramas secundarias, el primer paso es esculpir los originales en unicel, proporcionándoles las características de diseño ya elegidas (formas, dimensiones y texturas), posteriormente se generan los moldes rígidos en PRFV.

Para las ramas terciarias, se sugiere conseguir ramas naturales de árboles, con formas y dimensiones similares a las indicadas en los planos, y modificarlas agregando más terminaciones con otras ramas o utilizando plastilina para que cumplan con las especificaciones de diseño. Teniendo las ramas originales listas, se procede a la fabricación de los moldes de dos piezas utilizando caucho de silicón (Figura 86).

Figura 86 *Fabricación del molde para los componentes de ramas terciarias*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Las piezas para conformar la carcasa de la rama secundaria, se obtienen de un molde rígido de 2 piezas fabricado con PRFV. Al molde se aplican 4 capas de fibra de vidrio y resina para conformar el PRFV, para que las piezas de la carcasa y el molde no se unan, se utiliza vaselina industrial como desmoldante. Después de obtener las carcasas, se ensamblan a las estructuras cubriendo las uniones con PRFV. En el Anexo D, se encuentran los detalles de armado para las carcasas para las ramas secundarias.

Posteriormente la carcasa de PRFV se rellena de espuma de poliuretano, este proceso une la estructura a la carcasa, y evita el movimiento de la estructura dentro de ella, conformando una sola pieza que es más fácil de manipular (Figura 87).

Figura 87 *Elaboración de la rama secundaria*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Las estructuras de los componentes de las ramas terciarias se fabrican con alambρόn, siguiendo las especificaciones de diseño según los planos de ensamble (Anexo D).

A los moldes obtenidos para los componentes de las ramas terciarias, se les aplica desmoldante en aerosol y dos capas de fibra de vidrio y resina, cuando la resina se encuentra en punto de gel; 12 minutos después de su aplicación (Poliformas, 2023), se introduce la estructura correspondiente, se cierra el molde y se vierte espuma de poliuretano al interior, permitiendo que los materiales se unan en una sola pieza, al desmoldar se obtienen las ramas terciarias como se muestra en la Figura 88.

Figura 88 *Componente de rama terciaria obtenido de los moldes*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Las piezas obtenidas de los moldes, se detallan eliminando con cúter los excedentes de espuma de poliuretano generados, para posteriormente sellar y reforzar las partes de las uniones con dos capas de PRFV (Figura 89).

Figura 89 *Sellado y refuerzo de uniones en componentes*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Después de obtener los componentes, se procede a armar las ramas terciarias, uniendo los elementos con soldadura y cubriendo la unión aplicando espuma de poliuretano y PRFV, con la finalidad de ocultar la unión y dar continuidad a la rama, como se muestra en la Figura 90.

Figura 90 *Configuración de ramas terciarias*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Como siguiente paso, se configuran las ramas secundarias con las ramas terciarias de acuerdo a los diseños establecidos, utilizando conexión telescópica, soldando las piezas y cubriendo estas uniones con espuma y PRFV.

Posteriormente, se soldan los ramilletes de hojas en cada terminación de los componentes de las ramas terciarias, para después cubrir las uniones con espuma de poliuretano y PRFV, proporcionando una terminación más orgánica (Figura 91).

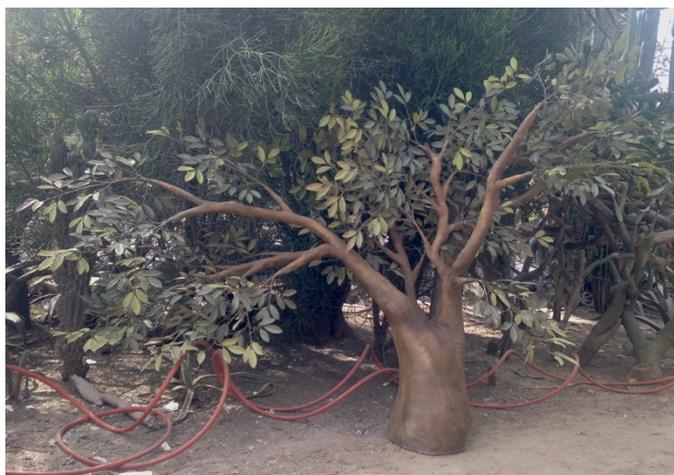
Figura 91 *Recubrimiento para terminaciones*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Finalmente se procede a pintar la rama utilizando pistola de aspersion, se aplica como base primario color gris y enseguida los esmaltes, después ya seca la pintura, se utiliza la técnica de brocha seca con un tono beige para resaltar las texturas de la carcasa y tinta al alcohol color olmo para dar sombras. En la Figura 92 se observa el resultado del prototipo de la rama secundaria.

Figura 92 *Prototipo de rama*



Nota: Fuente: Propia (2023).

El prototipo fue elaborado en los talleres de diseño de Africam Safari, utilizando los materiales elegidos de acuerdo a los requerimientos del proyecto, y siguiendo las especificaciones de los planos del Anexo D. Como dato adicional, para este proceso se involucraron 5 personas; el diseñador, 3 ayudantes generales y un maestro herrero.

Capítulo 5

Evaluación de prototipo

5.1 Evaluación en sitio

Con el objetivo de evaluar la propuesta de diseño en condiciones reales, el prototipo fabricado se mantuvo a la intemperie por 15 días, para valorar el comportamiento de los materiales de recubrimiento y acabados antes de instalarla en el sitio. Después de este tiempo y sin ocurrir ningún imperfecto, se procedió a instalarla en la estructura del árbol Arcano. Previamente la rama fabricada se pesó y se obtuvo como resultado 78.5 Kg, dato que fue importante para elegir un procedimiento de traslado y montaje.

Para su instalación, se montó un brazo giratorio con garrucha sobre la estructura de la rama primaria, y se subió con una cuerda utilizando este mecanismo, el cual fue útil y práctico, pues se puede montar y demontar en cualquier parte del árbol. El equipo de soldadores ubicó la rama en la terminación elegida, la cual se mantuvo sujeta a las cuerdas mientras fue manipulada y se soltó hasta completar el trabajo de soldadura. Para este procedimiento intervinieron 3 personas del equipo de soldadores y el diseñador que eligió la ubicación y posición de la rama. En la Figura 93, se puede observar la instalación de la rama.

Figura 93 *Instalación de rama en sitio*



Nota: Fuente: Propia (2023).

5.2 Evaluación por requerimientos

Para la validación del prototipo, se realizó una evaluación de los requerimientos formales, funcionales y estructurales, los cuales fueron determinados para este proyecto en el apartado de 3.1.1.1 de esta investigación. En las Tablas 32, 33 y 34 se enlistaron los criterios de cada uno de los requerimientos, para evaluar si las características del prototipo responde a ellos. Para esta evaluación se utilizaron los siguientes parámetros:

Satisfactorio – cumple con el requerimiento

Regular – cumple medianamente con el requerimiento

Insatisfactorio -no cumple con el requerimiento

Tabla 32

Evaluación del prototipo de acuerdo a los requerimientos formales

| | | |
|-----------------------|--|---------------|
| Estilo | ¿La forma de la ramas secundarias y terciarias son coherentes al diseño conceptual del árbol Arcano? | Satisfactorio |
| Unidad y Ritmo | ¿Hay uniformidad de los acabados entre ramas secundarias y terciarias? | Satisfactorio |
| Interés | ¿Las formas y texturas de las ramas secundarias y terciarias logran una apariencia real? | Satisfactorio |
| | ¿Se evitan espacios de posible acumulación de agua, polvo o desechos? | Satisfactorio |
| Equilibrio | ¿Se da continuidad a las ramas primarias? | Satisfactorio |
| Superficie | ¿Se logra un alto nivel de detalle en los acabados? | Satisfactorio |

Nota. En la tabla se evalúa la propuesta resultante de esta investigación respecto a los requerimientos formales establecidos. Fuente: Elaboración propia (2023).

De acuerdo con la Tabla 32, el prototipo cumple satisfactoriamente con todos los criterios de los requerimientos formales, como se observa en la imagen del prototipo (Figura 92); presentada en el capítulo anterior, el diseño de la rama es coherente al

diseño conceptual del árbol Arcano, puesto que sus características se basaron en el *Ficus macrophylla*; uno de los árboles inspiración del árbol Arcano. En el prototipo existe uniformidad entre los acabados de las ramas secundarias y terciarias, ya que se utilizaron los mismos materiales y técnicas de aplicación. La corteza o superficie no presenta espacios donde puedan existir posibles acumulamientos de agua, polvo o desechos. En la Figura 93 se muestra como el prototipo da continuidad a la rama primaria, y las formas y acabados muestran una apariencia orgánica. Se aplicó un alto nivel de detalle en los acabados, pues el prototipo es una reproducción fiel del modelo original, al cual se aplicó la textura elegida antes de fabricar los moldes. Por estas características se calificaron como satisfactorios todos los criterios correspondientes a los requerimientos formales, pues se cumple con cada uno de ellos.

Tabla 33

Evaluación del prototipo de acuerdo a los requerimientos funcionales

| | | |
|----------------------|--|---------------|
| Mecanismo | ¿Se cuenta con una estructura metálica interna para su conexión con la rama primaria? | Satisfactorio |
| Confiabilidad | ¿Los materiales utilizados en las ramas son seguros para su uso en recintos de animales? | Satisfactorio |
| Versatilidad | ¿Cumplen con una función estética y funcional? | Satisfactorio |
| Resistencia | ¿Los materiales utilizados son resistentes a la intemperie? | Satisfactorio |
| Acabado | ¿Se emplean formas y texturas seguras para los animales? | Satisfactorio |
| | ¿Se logra la apariencia a una rama natural, de acuerdo al diseño conceptual? | Satisfactorio |
| | ¿Los materiales utilizados evitan el uso de materiales abrasivos para su limpieza? | Satisfactorio |

Nota. En la tabla se evalúa la propuesta resultante de esta investigación respecto a los requerimientos funcionales establecidos. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la Tabla 33, se presentan los resultados de la evaluación de los requerimientos funcionales. El prototipo fabricado cuenta con una estructura metálica que permite su conexión a la rama primaria. El diseño de las ramas muestra versatilidad al cumplir con una función estética y al poder funcionar como percha para las aves. Las características de los materiales empleados; descritos en el análisis de materiales en el apartado 2.5.6.1 y en la Tabla 23 del apartado 3.2.1.5 de esta investigación, se menciona que son comúnmente utilizados en la industria de la ambientación de zoológicos y parques de conservación, ya que después de su tiempo de curado y su correcta aplicación no presentan un riesgo para la aves, otra de sus características es que son materiales de bajo o nulo mantenimiento y factibles de utilizar a la intemperie. Por estas características mencionadas se calificó que el prototipo cumple con los requerimientos funcionales enunciados.

Tabla 34

Evaluación del prototipo de acuerdo a los requerimientos estructurales

| | | |
|------------------------------|--|---------------|
| Número de componentes | ¿Se definió la cantidad de ramas secundarias y terciarias necesarias para conformar la copa del árbol? | Satisfactorio |
| Carcasa | ¿La carcasa que da forma a la rama está asegurada a la estructura y la protege de la intemperie? | Satisfactorio |
| | ¿La carcasa está formada por materiales que facilitan la fabricación, traslado e instalación de las ramas? | Satisfactorio |
| Centro de gravedad | ¿La estructura proporciona soporte a la rama considerando las diferentes posiciones de las ramas primarias a las que dará continuidad? | Satisfactorio |
| Estructura | ¿Las estructura soporta el peso de los recubrimientos y acabados al estar instalada? | Satisfactorio |
| Unión | ¿Las conexiones permiten versatilidad en la instalación de las ramas secundarias y terciarias? | Satisfactorio |

Nota. En la tabla se evalúa la propuesta resultante de esta investigación respecto a los requerimientos estructurales establecidos. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la Tabla 34, se presentan los resultados de la evaluación a los requerimientos estructurales. En el apartado 4.1.3 se definió la cantidad de componentes necesarios para cubrir las 8 ramas primarias y conformar la copa del árbol, cumpliendo así con el primer criterio evaluado para estos requerimientos. En el apartado 4.1.1 se muestra cómo asegurar la carcasa a la estructura, método que se empleó en la fabricación del prototipo mostrando ser una buena opción de unión para estos componentes. Para poder calificar si el diseño propuesto proporciona un buen soporte, se realizó un análisis de elementos finitos a la estructuras, los cuales muestran que soportan la carga estimada para los recubrimientos y acabados de las ramas, y que se pueden colocar en diferentes ángulos según lo requiera la terminación de la rama primaria, esto sin representar riesgo alguno. Los factores de seguridad obtenidos, indican que las estructuras pueden soportar más peso del considerado. Para la carcasa se emplearon materiales que facilitan la fabricación, el transporte y la instalación de las las ramas. Finalmente los métodos de unión elegidos permiten colocar las ramas en diferentes posiciones, proporcionando versatilidad a la unión de componentes de las ramas terciarias, a la configuración de la rama secundaria y al instalarlas en la rama primaria.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las tablas anteriores, se determina que la propuesta de diseño cumple con todos los requerimientos de diseño planteados, estos resultados fueron evaluados por el diseñador y presentados a los responsables del departamento de diseño y proyectos para su aprobación y ejecución, finalmente, teniendo el visto bueno de los involucrados en las decisiones del proyecto Arboterra, se procedió a la fabricación de todas las ramas necesarias para cubrir las 8 ramas primarias del árbol Arcano (Figura 94).

Figura 94 *Árbol Arcano concluido*



Nota: Fuente: Propia (2023).

Conclusiones

La presente tesis tuvo como objetivo general diseñar las ramas secundarias y terciarias para el árbol artificial “Arcano” del parque temático Arboterra, para dar forma a la copa del árbol, empleando polímeros y metales. Como resultado se generó el diseño de 3 ramas secundarias conformadas por 4 modelos de ramas terciarias, a partir de los cuales se fabricó un prototipo de alta fidelidad, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos y metas planteadas al inicio de esta investigación.

Siguiendo la metodología de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, en la fase de planeación, se efectuó una revisión bibliográfica que sirvió como base teórica para conocer los posibles alcances de la investigación. Se realizó un análisis de las soluciones existentes a proyectos similares, para identificar sus características principales que sirvieron como referencia para desarrollar la propuesta. Es esta etapa se aporta una investigación acerca de los materiales y procesos utilizados en aplicaciones temáticas.

En la fase de desarrollo de concepto, se identificaron los requerimientos de acuerdo a las necesidades del proyecto del árbol Arcano y a la normatividad aplicable. La obtención de los requerimientos de diseño representó uno de los pilares más importantes en esta tesis, ya que a partir de ellos se generaron diferentes propuestas de diseño que se plasmaron en bocetos. Por medio de la evaluación de bocetos contrapuestos a los requerimientos; propuesta por Gerardo Rodríguez en el manual de diseño industrial, se seleccionó la mejor alternativa, la cual cumplía con los requerimientos establecidos. A partir de esta propuesta se realizó un diseño preliminar de la rama y sus componentes generales.

En la siguiente fase, llamada diseño a detalle se realizó un modelo 3D de los componentes de la propuesta elegida, presentando 3 diseños de ramas secundarias

conformadas por el diseño de 4 ramas terciarias. Con esta propuesta de diseño se pueden configurar una amplia gama de posibilidades, utilizando pocos elementos en comparación con la cantidad de alternativas.

A partir del modelo 3D de las ramas secundarias y terciarias diseñadas, se generaron los planos de todas las piezas que las componen. Este modelo tridimensional fue de utilidad para calcular la cantidad de ramas necesarias para conformar la copa del árbol Arcano, realizando una simulación del montaje de las ramas diseñadas sobre la estructura de una de las ramas primarias.

En esta etapa también se realizó un análisis de elementos finitos para corroborar que el diseño de las estructuras de las ramas es adecuado y soportará la carga estática configurada. Posteriormente se fabricó un prototipo de alta fidelidad de uno de los diseños propuestos, este prototipo se elaboró en los talleres de diseño de la empresa Africam Safari, utilizando el método de moldeo para obtener cada componente y utilizando los materiales definidos en esta investigación.

En la última fase de este proyecto, se realizó la evaluación del prototipo, a partir de la cual se concluye que el diseño da solución a la problemática planteada y a los requerimientos generados a partir de las necesidades identificadas.

La propuesta de diseño no solo cumple con los requerimientos establecidos, también con la normatividad analizada, entre las que se encuentran el uso de materiales seguros en recintos para animales, de bajo mantenimiento y resistentes a la intemperie.

El concepto desarrollado durante esta investigación con la metodología aplicada, mostró tener una buena integración al diseño del árbol Arcano, al implementar el diseño y fabricar las piezas necesarias para finalizar su edificación.

Con esta investigación se mostró la efectividad de la evaluación de requerimientos propuesta por Gerardo Rodríguez en el manual del diseño industrial, así como también

se comprueba la aplicación de la metodología de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger en el diseño de productos.

También es importante mencionar que se identificó un área de oportunidad para ejercer como Ingeniero en Diseño, ya que en el diseño y ambientación de parques temáticos se integran la ingeniería y las tres principales áreas del diseño.

Esperando que esta investigación sea de utilidad para diseñadores, profesores o personas interesadas en trabajos de ambientación y tematización de espacios, como posibilidades de trabajo a futuro de este proyecto se propone lo siguiente:

- Desarrollo de un manual para la fabricación de moldes de piezas orgánicas y de grandes dimensiones.
- Desarrollo de un manual de armado de los componentes diseñados en este proyecto, plasmando una mayor variedad de configuraciones.
- Propuesta de las fases del proceso de producción de las piezas diseñadas en este proyecto.

Referencias

- Aceropedia. (2022). *¿Qué es un remache?*. Recuperado el 2022 de
<https://aceropedia.com/materiales/remache/>
- Allears. (2022). *Animal Kingdom at Disney World- What you need to know*. [Fotografía].
<https://allears.net/wp-content/uploads/2022/02/2022-wdw-disneys-animal-kingdom-discovery-island-tree-of-life-atmos.jpg>
- Angulo 7. (2017, 22 de enero). *Reabren aviario ahora se llama mundo secreto Arboterra*.
<https://www.angulo7.com.mx/2017/01/22/reabren-aviario-ahora-se-llama-mundo-secreto-arboterra/>
- Arneson, Phil A. (2011, 26 de junio). *A ferrocement ceiling: an adobe house retrofit*. [Fotografía]. El Ocotil. <http://elocotil-hn.blogspot.com/2011/06/ferrocement-ceiling-adobe-house.html>
- Attia, AJ. (s.f.). *How to grow the Banyan Tree (Ficus benghalensis)*. [Fotografía].
<https://www.diys.com/banyan-tree/>
- Bales, Chris. (1999). *Tarzan's Treehouse*. [Fotografía].
<https://www.yesterland.com/tarzan.html>
- Belmont, Efrén. (2022). *Érase una vez. Parques temáticos*. Real State.
<https://realestatemarket.com.mx/articulos/mercado-inmobiliario/turistico/11390-erases-una-vez-parques-tematicos>
- Bonells, José Elias. (2016, 22 de octubre). *Historias en verde. Anatomía de un árbol. Cómo se desarrolla*. Jardinessinfronteras.
<https://jardinessinfronteras.com/2016/10/22/anatomia-de-un-arbol-como-se-desarrolla/>
- Bryant, George (2021, 1 de octubre). *What attractions were open when Magic Kingdom*

- debuted in 1971*. [Fotografía]. Fox 35 Orlando.
<https://www.fox35orlando.com/news/what-attractions-were-open-when-magic-kingdom-debuted-in-1971>
- Cantorán, Josué. (2014, 18 de septiembre). *En riesgo 1200 aves por cierre de parque ecológico*. [Fotografía]. Ladobe.
<https://www.ladobe.com.mx/2014/09/en-riesgo-1200-aves-por-cierre-del-parque-ecologico/>
- ChristianeB (2019). *Ficus benjamina San José*. [Fotografía]. Wikipedia.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Ficus_benjamina#/media/Fichier:Ficus_benjamina_San_José.jpg
- Click Orlando. (2021). *Swiss Family Treehouse: an overlooked icon*. [Fotografía].
<https://www.clickorlando.com/features/2021/08/16/swiss-family-treehouse-an-overlooked-icon/>
- Cmon. (2021). *The Banyan Tree*. [Fotografía].
<https://www.cmon.org/exhibits/the-banyan-tree/>
- COREMUN. (2018, 16 de marzo). *Capítulo 17, de la gestión del suelo y construcciones*.
https://gobiernoabierto.pueblacapital.gob.mx/transparencia_file/cgt/77.fracc01/77.01.coremun.puebla.pdf
- Cumbrepuebloscop20. (2017, 28 de septiembre). *Protección del medio ambiente: qué es, importancia y características*.
<https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/proteccion/>
- Deingenierias. (2019, 24 de julio). *Diagrama Esfuerzo-Deformación*.
<https://deingenierias.com/el-acero/diagrama-esfuerzo-deformacion/>
- Diario Oficial de la Federación. (2014, 22 de septiembre). *Declaratoria de vigencia de las normas mexicanas NMX-AA-165-SCFI-2014, NMX-AA-170-SCFI-2014 y NMX-AA-171-SCFI-2014*.

[https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5360986&fecha=22/09/2014#gsc.ta
b=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5360986&fecha=22/09/2014#gsc.tab=0)

Diccionario actual. (2022). *¿Qué es aviario?* <https://diccionarioactual.com/aviario/>

Disneyinsidertips. (2022). *10 Animal Kingdom Tree of life facts.*

<https://www.disneyinsidertips.com/10-animal-kingdom-tree-of-life-facts/>

Disneyworld. (2022). *Tree of life.* [Fotografía].

<https://disneyworld.disney.go.com/es-mx/attractions/animal-kingdom/tree-of-life/>

Ditec. (2022, 6 de mayo). *¿Qué es una experiencia inmersiva?* Ditec.

<https://ditec.es/noticias/que-es-una-experiencia-inmersiva/>

Editorial Etecé. (2022, 2 de febrero). *Concepto de escultura.* Enciclopedia Concepto.

<https://concepto.de/escultura/>

Enciclopedia económica. (2022, marzo). *Producción en serie.*

<https://enciclopediaeconomica.com/produccion-en-serie/>

Eriksvoboda. (2022). *Textura de la espuma de la construcción.* [Imagen].

Dreamstime. [https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-textura-de-la-espuma-
espuma-de-la-construcci%C3%B3n-superficie-del-primer-del-poliuretano-vista-
del-top-textura-macra-de-la-image97139091](https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-textura-de-la-espuma-espuma-de-la-construcci%C3%B3n-superficie-del-primer-del-poliuretano-vista-del-top-textura-macra-de-la-image97139091)

Ferrocement. (2021). *Ferrocement Sculpture.*

<https://ferrocement.com/Sculpture/sculpture.en.html>

Fitzgerald, Robert. (2015). *Mecánica de materiales.* Alfaomega.

Frost, John. (2010, marzo 23). *Swiss Family Robinson Treehouse – Rare photos of 1962 construction.* [Fotografía]. The Disney blog.

[https://thedisneyblog.com/2010/03/23/swiss-family-robinson-treehouse-rare-
photos-of-1962-construction/](https://thedisneyblog.com/2010/03/23/swiss-family-robinson-treehouse-rare-photos-of-1962-construction/)

Glover, Erin. (2012, 18 de noviembre). *Today in Disney History: Swiss Family Treehouse opens in Disneyland park.* [Fotografía]. Disney parks blog.

<https://disneyparks.disney.go.com/blog/2012/11/today-in-disney-history-swiss-family-tree-house-opens-in-disneyland-park/>

Gobetz, Wally. (2010). *Banyan tree*. [Fotografía]. Flickr.

<https://www.flickr.com/photos/wallyg/4744041629/in/photostream/>

González, Beatriz. (2019, 25 de febrero). *Conservación y protección del medio ambiente: importancia y medidas*. Ecología verde.

<https://www.ecologiaverde.com/conservacion-y-proteccion-del-medio-ambiente-importancia-y-medidas-1804.html>

Grasso, Tato. (2006). *Ficus macrophylla*. [Fotografía]. Wikipedia.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ficus_macrophylla017.jpg

Grasso, Tato. (2006). *Ficus macrophylla*. [Fotografía]. Wikipedia.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Ficus_macrophylla#/media/Fichier:Ficus_macrophylla009.jpg

Guía verde. (2022). *Ficus benjamina*.

<https://www.guiaverde.com/guia-de-plantas/ficus-benjamina-677/>

Hough, Lori. (2020). *Ferro- concrete Technique*. Lori Hough.

<http://www.lorihough.com/FerroConcreteTechnique.aspx>

Infinitia. (2021, 7 de junio). *El moldeo por inyección de plástico: una garantía de éxito en la producción a gran escala de piezas*.

<https://www.infinitiaresearch.com/noticias/moldeo-inyeccion-de-plastico-que-es/>

Intelágelo Roque y Bonato Alberto. (2019). *Fundición y moldeo. Taller II*. Universidad Regional del Rosario. Argentina.

<https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/14246/9201->

[19%20TALLER%20Fundición%20y%20Moldeo.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/14246/9201-19%20TALLER%20Fundición%20y%20Moldeo.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Iteso (s.f.). *Laurel de la india*. [Fotografía]. Iteso.

https://iteso.mx/web/general/detalle?group_id=19245414

- JakeAtThePark. (2021, 15 de enero). *The real tree that inspired Walt Disney to create The Swiss Family Treehouse in Disneyland*. [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=hemKwkJqooM>
- Julián Pérez Porto y María Merino. (2019). *Definición de parque temático*. Definicion.de.
<https://definicion.de/parque-tematico/>
- Justia México. (s.f.). *Ley general de vida Silvestre, Título VIII, Capítulo V-Infracciones y Sanciones administrativas, Artículo 122*.
<https://mexico.justia.com/federales/leyes/ley-general-de-vida-silvestre/titulo-viii/capitulo-v/#articulo-122>
- Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (5ª Ed.). Editorial McGraw-Hill/ Interamericana Editoriales, S.A. de C.V.
- Kidney, Kevin. (2010, 21 de marzo). *The Swiss Family Tree Sprouts*. [Fotografía]. Miehana.blogspot.
<http://miehana.blogspot.com/2010/03/tree-grows-in-disneyland.html>
- Kidney, Kevin. (2010, 27 de marzo). *Some really REALLY big roots [Algunas raíces realmente muy grandes]*. Miehana.blogspot.
<http://miehana.blogspot.com/2010/03/some-really-really-big-roots.html>
- Kidney, Kevin. (2010, 27 de marzo). *Some really REALLY big roots*. [Fotografía]. Miehana.blogspot.
<http://miehana.blogspot.com/2010/03/some-really-really-big-roots.html>
- Kumar K, Amit. (s.f.). *A Baobab tree*. [Fotografía]. Citizen Matters.
<https://mumbai.citizenmatters.in/can-baobab-trees-in-mumbai-be-given-heritage-status-28910>
- Lascuraín Maite, List Rurik, Barraza Laura, Díaz Pardo, Gual Sill Fernando, Maunder Mike, Dorantes, Jesús, E. Luna Víctor. (2009). *Conservación de especies ex situ*. (p.519).

https://web.archive.org/web/20151010152437/http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II12_Conseervacion%20de%20especies%20ex%20situ.pdf

Lascuraín Maite, List Rurik, Barraza Laura, Díaz Pardo, Gual Sill Fernando, Maunder Mike, Dorantes, Jesús, E. Luna Víctor. (2009). *Conservación de especies ex situ*. (p.531).

https://web.archive.org/web/20151010152437/http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II12_Conseervacion%20de%20especies%20ex%20situ.pdf

Luna Silva, Arturo. (2015, 16 de febrero). *El espíritu de Puebla: el gran árbol de Africam Safari en el parque Ecológico* [Ilustración]. Pueblaonline.

http://www.pueblaonline.com.mx/garganta_prof/?p=7272#.YoKJ7hPMLUI

Mafisanpoliéster. (2022). *Resinas de poliéster: tipos, propiedades y usos*.

<https://www.mafisanpoliester.es/resinas-de-poliester-tipos-propiedades-y-usos/>

Malmberg, Melody (1998) *The making of Disney's Animal Kingdom Theme Park* [Imagen]. Editorial Hyperion.

Malmberg, Melody (1998) *The making of Disney's Animal Kingdom Theme Park* [La fabricación del parque temático de Disney Animal Kingdom]. Editorial Hyperion.

Mario. (2015, 13 de abril). *Uniones atornilladas*. El rincón del ingeniero.

<http://www.elrincondelingeniero.com/Uniones+atornilladas>

Martín Campos, Javier. (2020, 21 de noviembre). *Ficus macrophylla*. [Fotografía]. EcuRed.

https://www.ecured.cu/Ficus_macrophylla#/media/File:Ficus_macrophylla.jpg

Master en logística. (s.f.). *Producción en serie y cómo se aplica*.

<https://www.masterlogistica.es/produccion-en-serie-que-es-y-como-se-aplica/>

Maxacero. (2022). *Tubo cédula 40: Especificaciones y calibres*.

<https://maxacero.com/perfiles-de-acero/tubo-de-cedula/#:~:text=El%20tubo%20de%20cédula%2040,permiten%20ofrecer%20un%20buen%20desempeño.>

Miles, Brian. (2021, 22 de abril). *Animal Kingdom construction photos*. [Fotografía]. Retrowdw.

<https://www.retrowdw.com/imageworks/slides/animal-kingdom-construction-photos/>

Miles, Brian. (2021, 22 de abril). *Animal Kingdom construction photos*. [Fotografía]. Retrowdw.

<https://www.retrowdw.com/imageworks/slides/animal-kingdom-construction-photos/#gallery/a8b1f3f15842b763ad9d85c3b21b21c1/19121>

Motorex. (2020, 31 de agosto). *Propiedades y usos de la fibra de vidrio*.

<https://www.motorex.com.pe/blog/propiedades-usos-fibra-vidrio/>

Motorex. (2019, 14 de mayo). *¿Qué es la resina poliéster?*

<https://www.motorex.com.pe/blog/que-es-la-resina-poliester/>

NatureMaker (s.f.). *FAQs*. <https://naturemaker.com/faqs/>

NatureMakerTrees. (2010, 14 de octubre). *Golisiano Children's Museum of Naples* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=vyJFmljIMRM>

NatureMakerTrees. (2010, 28 de octubre). *Handcraft Steel Art Trees* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=W0XhFNU-kt0>

NatureMakerTrees. (2011). *The Making of a Tree* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=BB3GmFnw3nc>

Naval Composites. (2016). *Conceptos de los materiales compuestos*. <https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos>

Nevchem. (2016, 12 de abril). *Nevtac – LT Liquid resin*. [Imagen] <https://www.nevchem.com/news/2016/4/11/nevchem-lt-product-release>

Patton, Heather. (2010, 13 de septiembre). *First exhibit set to be installed at Children's Museum*. [Fotografía]. Naples Daily News.

<https://archive.naplesnews.com/entertainment/arts-and-culture/first-exhibit-set-to-be-installed-at-childrens-museum-ep-393938337-334736731.html/>

Pereiras, José Manuel. [@josepereiras]. (2018, 7 de agosto). *¿Qué es y para qué sirve el análisis de Von Mises?* LinkedIn. <https://es.linkedin.com/pulse/qué-es-y-para-sirve-la-tensión-de-von-mises-jose-manuel-pereiras>

Pierce, Graeme. (2022, 21 de septiembre). *Tree*. Britannica.
<https://www.britannica.com/plant/tree>

Pilcher, Ken. (2021, 16 de agosto). *Swiss Family Treehouse overlooked icon [Swiss Family Treehouse un ícono pasado por alto]*. Clickorlando.
<https://www.clickorlando.com/features/2021/08/16/swiss-family-treehouse-an-overlooked-icon/>

Poliformas. (2022). *Fibra de vidrio*. [Imagen] Recuperado el 2022 de
<https://poliformas.mx/tienda/productos/basicos/fibras-de-vidrio>

Poliformas. (2023). *Resina poliéster PP-60 x 70*. Recuperado el 2023 de
https://www.poliformas.mx/front/files/pdf/Ficha_RESINAPP-70x605796.pdf

Ponushis, Athena. (2012, 29 de marzo). *C'MON Out*. Bonita Springs Florida Weekly.
[Fotografía]. <https://bonitasprings.floridaweekly.com/articles/cmon-out/>

PRFV. Wordpress. (2022). *Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio*.
<https://prfv.wordpress.com>

PROFEPA. (2015, 11 de febrero). *Inspección de PROFEPA al aviario "Parque ecológico Revolución Mexicana de Puebla", en atención a denuncias ciudadanas: PROFEPA*.

https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/6829/1/mx.wap/inspeccion__de_profepa_al_aviario_“parque_ecologico_revolucion_mexicana_de_puebla”_en_atencion_a_denuncias_ciudadanas:_profepa.html

PROFEPA. (2015, 4 de marzo). *Ejemplares de aviario “Parque Ecológico Revolución Mexicana de Puebla” ubicados en UMA “Flor del bosque”*: PROFEPA.

https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/6886/1/mx.wap/ejemplares_de_aviario_“parque_ecologico_revolucion_mexicana_de_puebla”_ubicados_en_uma_“flor_del_bosque”:_profepa.html

Puccio, Pietro. (2003). *Ficus Benghalensis*. Monaco Nature Encyclopedia.

<https://www.monaconatureencyclopedia.com/ficus-benghalensis/?lang=es>

Pytel, Andrew y Singer, Ferdinand L. (2008). *Resistencia de materiales*. Editorial Alfaomega.

Real Academia Española. (2022). *Diccionario de la lengua española. Tematizar*.

Del.rae.es. <https://dle.rae.es/tematizar>

Rodríguez, Gerardo. (1983). *Manual de diseño industrial*. (3ª. Edición). México: Gilli.

Rodríguez, Manuel. (2022). *Definición de fabricación en serie*. Recuperado el 2022 de

<https://www.eactivo.es/glosario/fabricacion-en-serie/>

Sánchez de Lorenzo Cáceres, José Manuel. (2016). *El árbol*. Árboles ornamentales.

<https://www.arbolesornamentales.es/elarbol.htm>

Sánchez de Lorenzo Cáceres, José Manuel. (2016). *Ficus Benghalensis*. Árboles ornamentales. <https://www.arbolesornamentales.es/Ficusbenghalensis.htm>

Sánchez de Lorenzo Cáceres, José Manuel. (2016). *Ficus benjamina*. Árboles ornamentales. <https://www.arbolesornamentales.es/familias.htm>

Sánchez de Lorenzo Cáceres, José Manuel. (2016). *Ficus macrophylla*. Árboles ornamentales. <https://www.arbolesornamentales.es/familias.htm>

Secretaría de Economía. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-165-SCFI-2014*. (p.1.).

<http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-165-scfi-2014.pdf>

Secretaría de Economía. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-165-SCFI-2014*. (p.52-53.).

<http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-165-scfi-2014.pdf>

SEMARNAT. (2014, 23 de agosto). *Aprueba COTEMARNAT Norma Mexicana para adecuado manejo de animales en zoológicos*. Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

<https://www.gob.mx/semarnat/prensa/aprueba-cotemarnat-norma-mexicana-para-adecuado-manejo-de-animales-en-zoologicos>

Servei stació. (2022). *Propiedades de la fibra de vidrio*. Recuperado el 2022 de

<https://serveiestacio.com/blog/propiedades-de-la-fibra-de-vidrio/>

Shutterstock (2017, 4 de noviembre). *Este asombroso bosque está formado por un solo árbol*. [Fotografía]. Univision.

<https://www.univision.com/explora/este-asombroso-bosque-esta-formado-por-un-solo-arbol>

Siesa. (2022). *Procesos de fabricación de materiales de fibra de vidrio*.

<https://siesa.global/procesos-de-fabricacion-de-materiales-de-fibra-de-vidrio-pultrucion-moldeado-manual/>

Smooth-on. (2022). *Aquariums, zoos and themed environments*. Recuperado el 2022 de

<https://www.smooth-on.com/applications/aquariums-zoos-themed-environments/>

Solís, Michael. (2011, 6 de septiembre). *Taller en Piedra. Técnica 1: Ferrocemento*.

<http://taller-piedra.blogspot.com/2011/09/tecnica-1-ferrocemento.html>

Starr F., Starr K., & Loope L. (2003, Enero). *Ficus macrophylla- moreton bay fig – Moraceae. United States Geological Survey-Biological Resources Division Haleakala Field Station*. (p.2).

https://web.archive.org/web/20050113162332/http://www.hear.org/starr/hiplants/reports/pdf/ficus_macrophylla.pdf

Stef. (2014). *The Making of Disney's Animal Kingdom Theme Park*. [Imagen]. YouTube.

https://www.youtube.com/watch?v=_aH5nlcKQZg&t=429s

Structuralia. (2020, 16 de noviembre). *Tipos de uniones mecánicas en ingeniería*.

Structuralia blog. <https://blog.structuralia.com/uniones>

Termiser. (2017). *Las propiedades físicas de la espuma de poliuretano*.

<http://termiserprotecciones.com/propiedades-fisicas-de-la-espuma-de-poliuretano/>

Todo en polímeros. (2022). *Procesos de moldeo*. Recuperado el 2022 de

<https://todoenpolimeros.com/procesos-de-moldeo/>

Turismo en Puebla. (2014). *Aviario de Puebla*.

https://www.turismoenpuebla.com/portal/art109_Aviario_de_Puebla.html

Uni Her. (2022). *Características fibra de vidrio*. Recuperado el 2022 de

<https://www.uni-her.com/blog/caracteristicas-fibra-de-vidrio/>

Villajulca, José Carlos. (2010, 20 de diciembre). *Conexiones a procesos de instrumentación: uniones bridadas*. Instrumentación y control.

<https://instrumentacionycontrol.net/conexiones-a-proceso-de-instrumentacion-uniones-bridadas/>

Weiss, Werner. (2015, 6 de enero). Swiss Family Treehouse. Yesterland.

<https://www.yesterland.com/treehouse.html>

Worldironsteel. (2019, 29 de agosto). Una introducción completa de los tubos 1020.

<http://es.worldironsteel.com/news/a-complete-introduction-of-1020-tubing-26929316.html>

Ypestructuras. (2022). *Tipos de soldadura: ventajas y desventajas*.

<https://www.ypestructuras.com/blog/tipos-de-soldadura-ventajas-y-desventajas/>

Anexos

LOCALIZACION

ARBOL ESCULTORICO EN AVIARIO

NOTAS

| MODIFICACIONES Y REVISIONES | |
|-----------------------------|-----------|
| FECHA | CONTENIDO |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |



CTraE Ingeniería de México S.A. de C.V.
 Consultoría en Ingeniería y Transformados Estructurales

PROYECTO: ARBOL ESCULTORICO

UBICACION: AVIARIO DE AVIACIONES, PUEBLA, PUEBLA

PROPIETARIO: RAMA S

CONTENIDO DEL PLANO: RAMA 5

FECHA DE ELABORACION: 01/04/2011

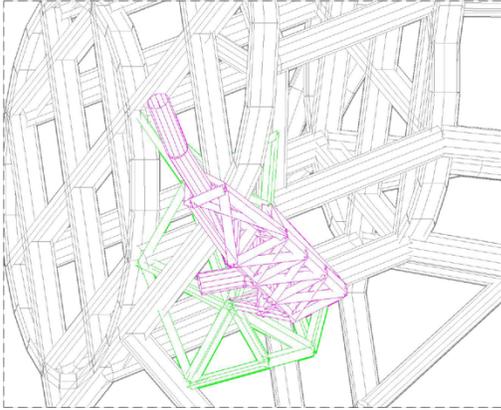
ELABORADO POR: J. GARCIA

REVISADO POR: J. GARCIA

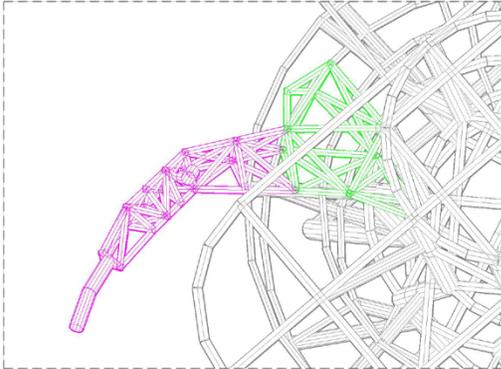
OTRO ID: RAMA - 5

CLAVE: RAMA - 5

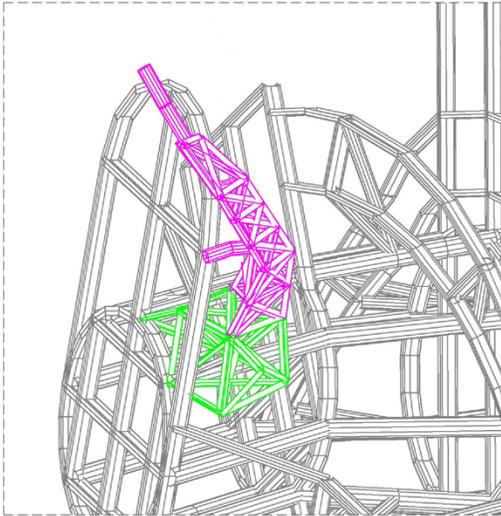
CTraE Ingeniería de México, S.A. de C.V.
 107 calle 229, col. Anillo de las Lunas, Puebla, Puebla
 Tel: (022) 4641261, info@ctrae.com.mx



ALZADO SUPERIOR DE ARMAZURA RAMA 5



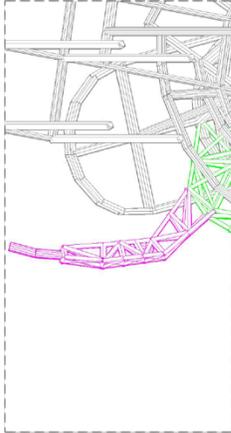
PLANTA DE ARMAZURA RAMA 5



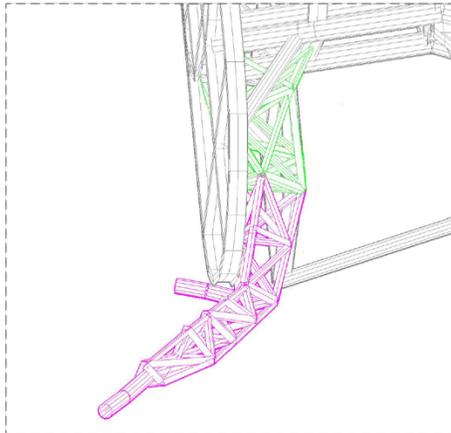
UBICACION DE ARMAZURA DE RAMA 5



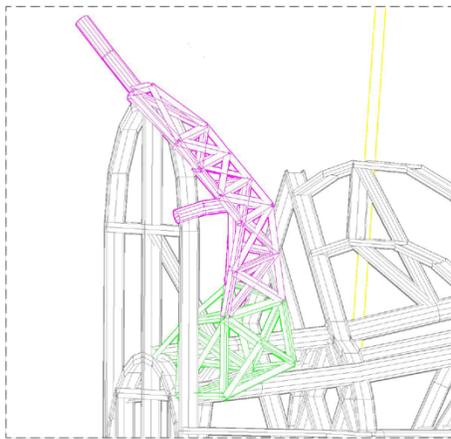
VISTA INFERIOR DE ARMAZURA RAMA 5



VISTA INFERIOR DE ARMAZURA RAMA 5



ALZADO LATERAL DE ARMAZURA RAMA 5



ALZADO LATERAL DE ARMAZURA RAMA 5

LOCALIZACION

NOTAS

ARBOL ESCULTORICO EN AVIARIO

MODIFICACIONES Y REVISIONES

FECHA REV. CONTENIDO AUTORIZADO



PROYECTO: ESTRUCTURAL DE ARBOL ESCULTORICO

UBICACION: PARQUE AVIARIO, PUEBLA, VERMEX

PROPIETARIO: INGENIERIA DE MEXICO S.A. DE C.V.

CONTENIDO: ESTRUCTURAL DE ARMAADURA

RAMA 6

FECHA: 15/07/2015

OTRA ID: RAMA - 6

PROYECTO: ESTRUCTURAL DE ARBOL ESCULTORICO

UBICACION: PARQUE AVIARIO, PUEBLA, VERMEX

PROPIETARIO: INGENIERIA DE MEXICO S.A. DE C.V.

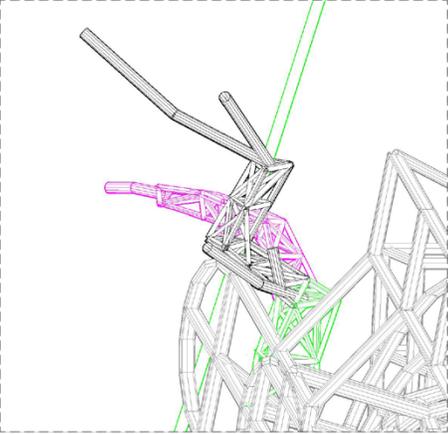
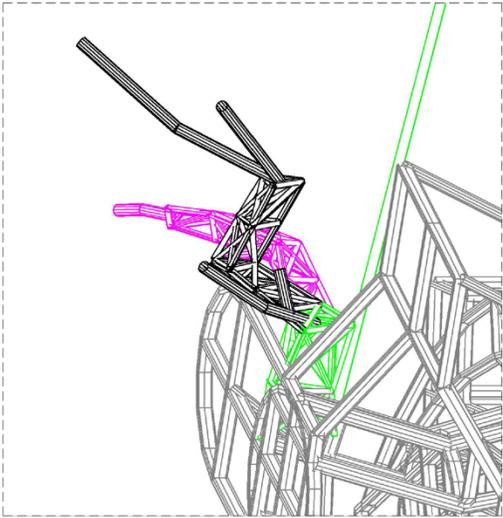
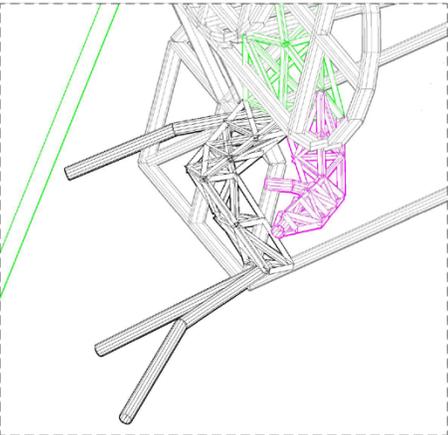
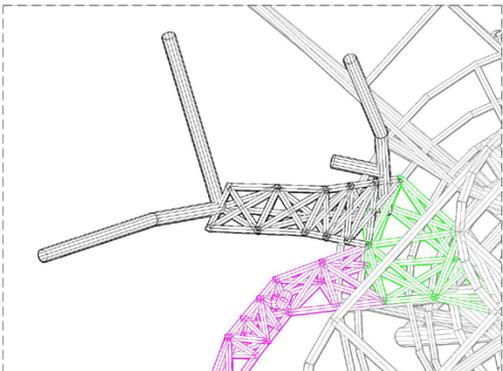
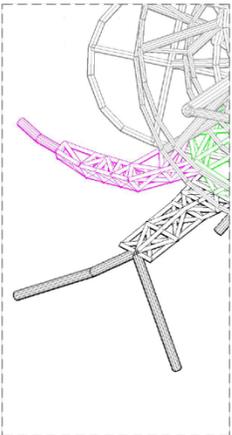
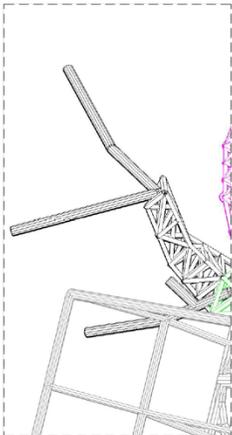
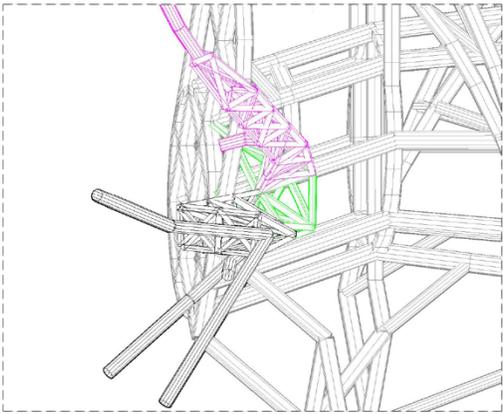
CONTENIDO: ESTRUCTURAL DE ARMAADURA

RAMA 6

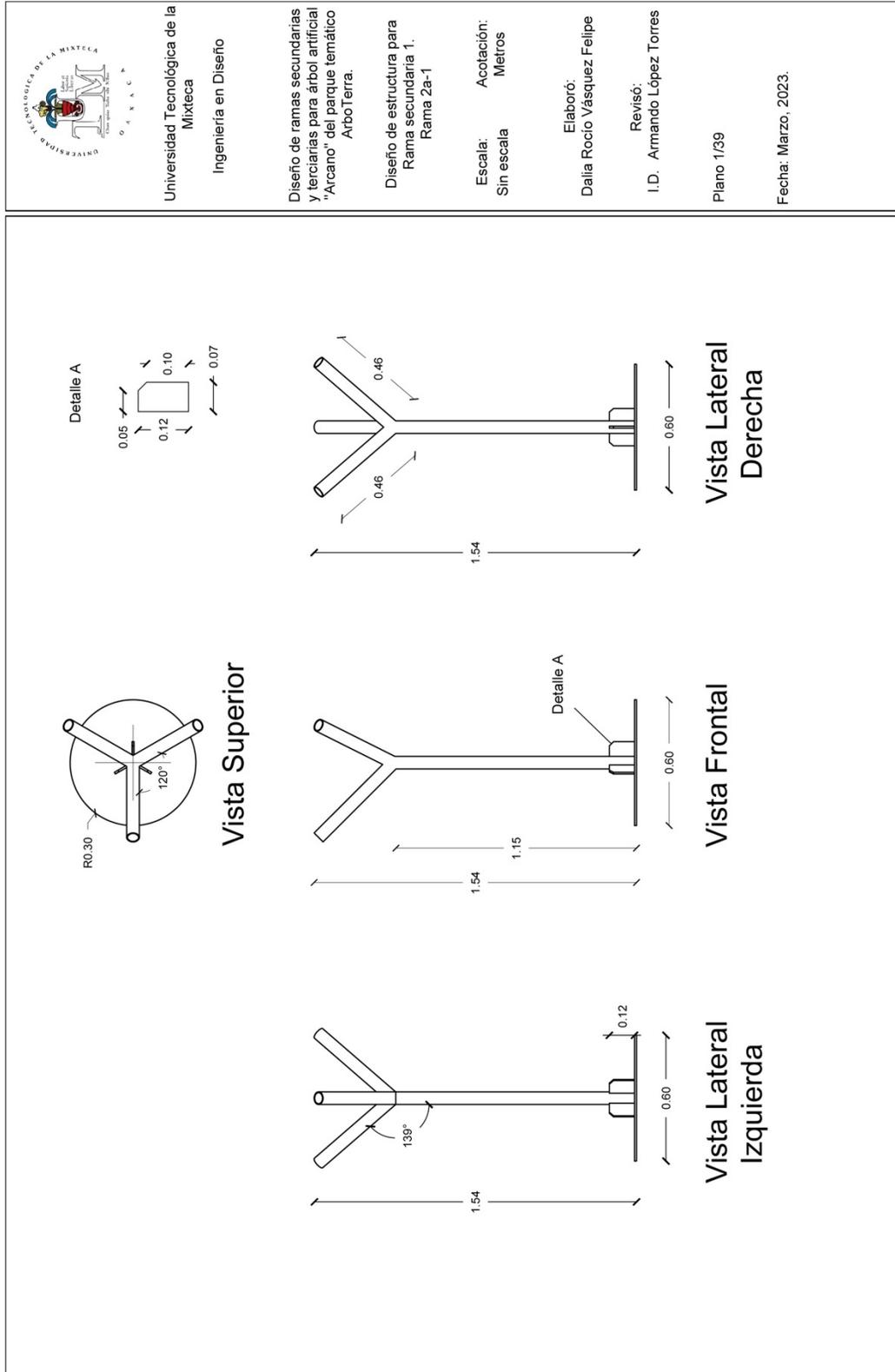
FECHA: 15/07/2015

OTRA ID: RAMA - 6

PROYECTO: ESTRUCTURAL DE ARBOL ESCULTORICO



Anexo D: Planos de las Ramas secundarias y terciarias





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Ensamble y soldadura.
Rama 2a-1

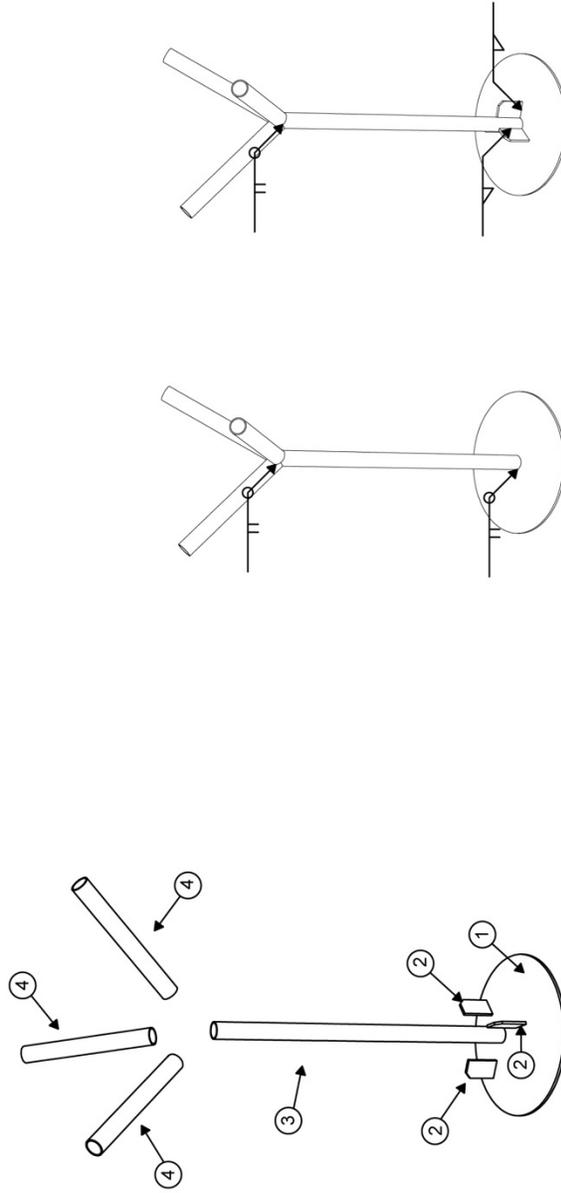
Escala: Sin escala
Acotación:

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 2/39

Fecha: Marzo, 2023.



| Listado de Piezas | |
|-------------------|--|
| Elemento | Descripción |
| 1 | Base metálica de placa de acero de 1/2" |
| 2 | Cartela de placa metálica de acero de 1/2" |
| 3 | Tubo de 2" de acero sin costuras Ced. 40 |
| 4 | Tubo de 2" de acero sin costuras Ced. 40 |

| Simbología | |
|---|----------------------|
| | Soldadura en filete |
| | Soldadura perimetral |
| Soldadura en arco, Electrodo E6013 3/8" x 14" | |



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de carcasa para Rama secundaria 1.
Rama 2a-1

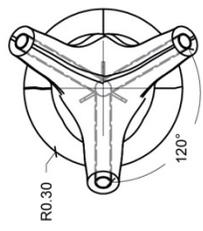
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocio Vásquez Felipe

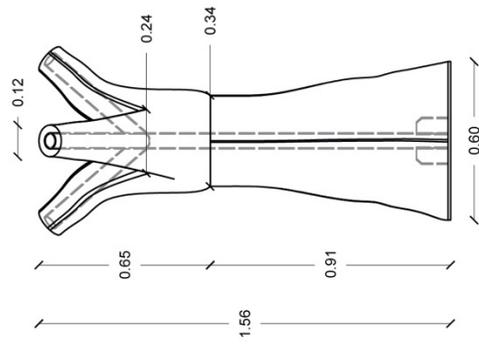
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 3/39

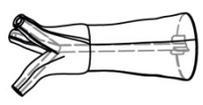
Fecha: Marzo, 2023.



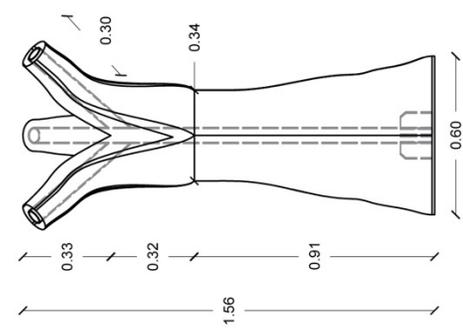
Vista Superior



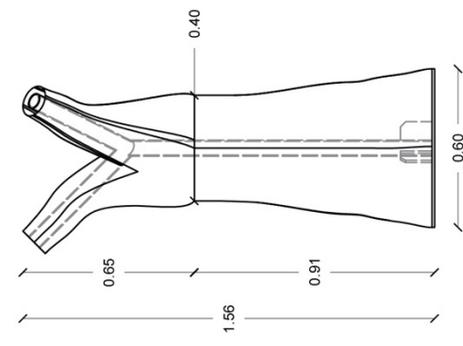
Vista Lateral Izquierda



Isométrico



Vista Lateral Derecha



Vista Frontal



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de estructura para Rama secundaria 2.

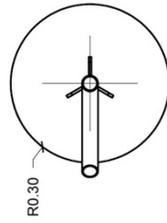
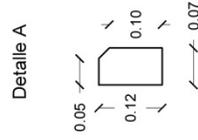
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe

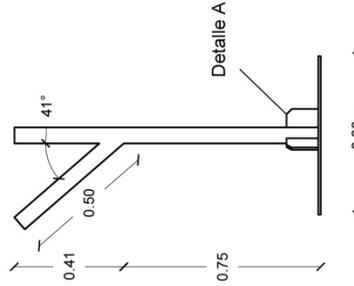
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 5/39

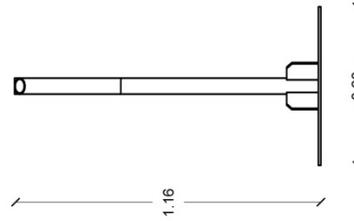
Fecha: Marzo, 2023.



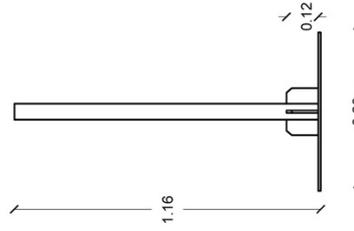
Vista Superior



Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda



Vista Lateral Derecha



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Ensamble y soldadura.
Rama 2a-2

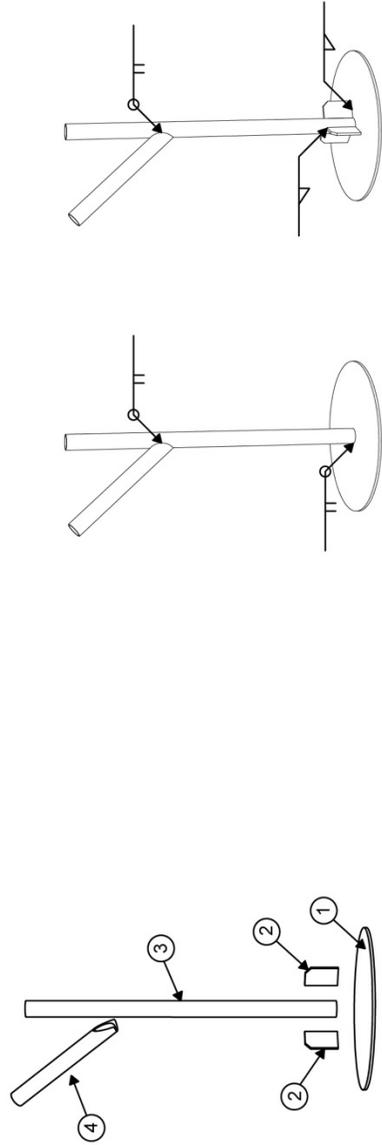
Escala: Sin escala
Acotación:

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 6/39

Fecha: Marzo, 2023.



| Listado de Piezas | | |
|-------------------|----------|---|
| Elemento | Cantidad | Descripción |
| 1 | 1 | Base metálica de placa de acero de $\frac{1}{2}$ " |
| 2 | 3 | Cartela de placa metálica de acero de $\frac{1}{2}$ " |
| 3 | 1 | Tubo de 2" de acero sin costuras Ced. 40 |
| 4 | 1 | Tubo de 2" de acero sin costuras Ced. 40 |

| Simbología | |
|--|----------------------|
| | Soldadura en filete |
| | Soldadura perimetral |
| Soldadura en arco, Electrodo E6013 $\frac{1}{8}$ " x 14" | |



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de carcasa para Rama secundaria 2.
Rama 2a-2

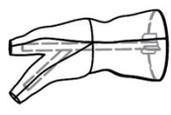
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 7/39

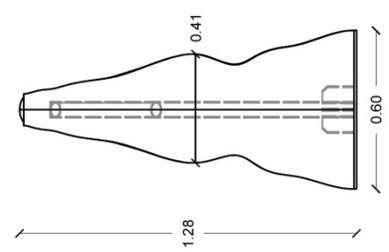
Fecha: Marzo, 2023.



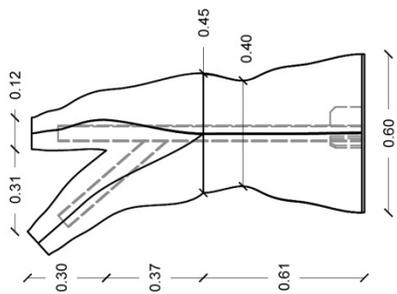
Isométrico



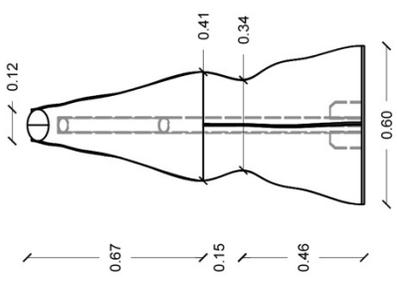
Vista Superior



Vista Lateral Derecha



Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Armado de carcasa Rama 2a-2.

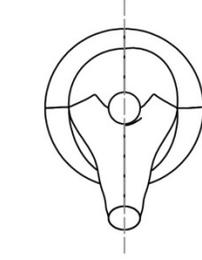
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

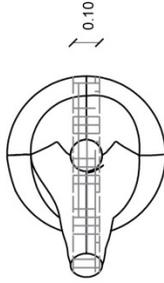
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 8/39

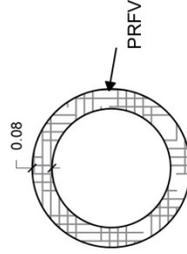
Fecha: Marzo, 2023.



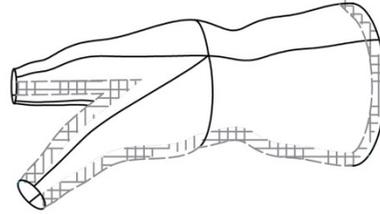
Vista Superior



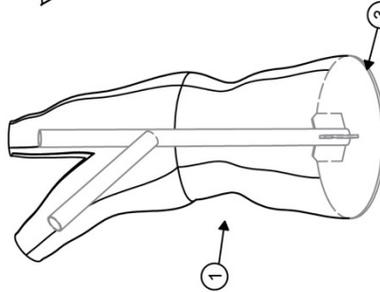
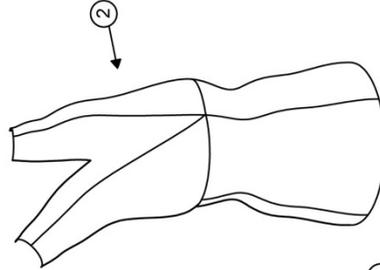
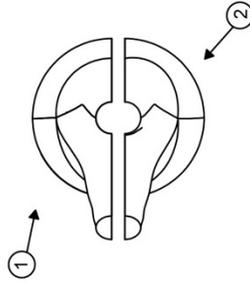
Unir con PRFV.



Vista Inferior



Unir con PRFV.



| Listado de Piezas | |
|-------------------|---|
| Elemento | Descripción |
| 1 | Parte 1 de Carcasa fabricada en PRFV. |
| 2 | Parte 2 de Carcasa fabricada en PRFV. |
| 3 | Estructura metálica según diseño de rama. |



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de carcasa para Rama secundaria 3.
Rama 2a-3

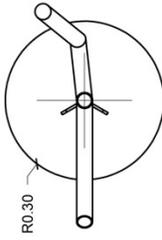
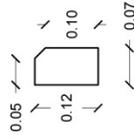
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe
Revisó: I.D. Armando López Torres

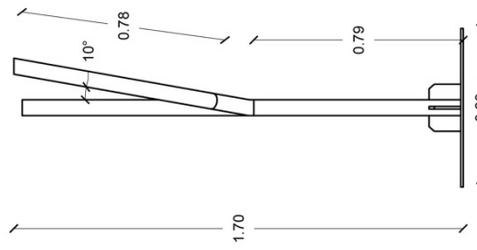
Plano 9/39

Fecha: Marzo, 2023.

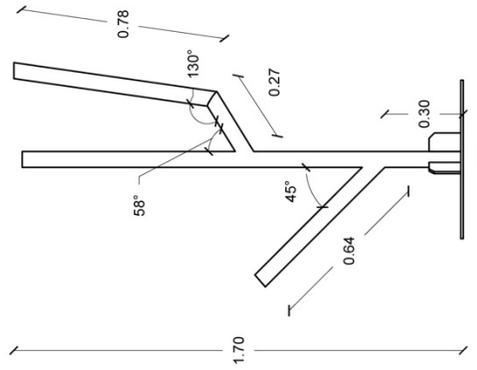
Detalle A



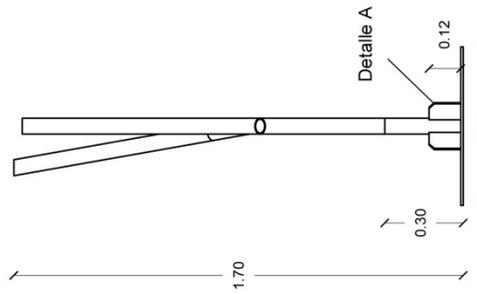
Vista Superior



Vista Lateral Derecha



Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Ensamble y soldadura.
Rama 2a-3

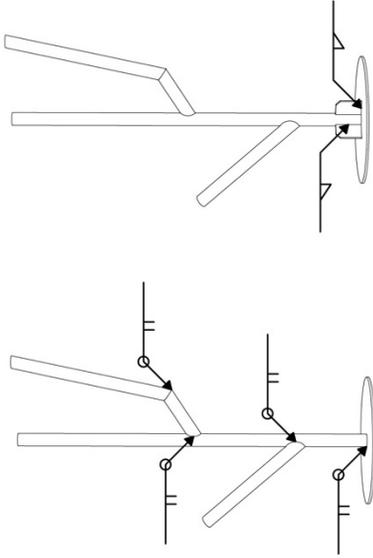
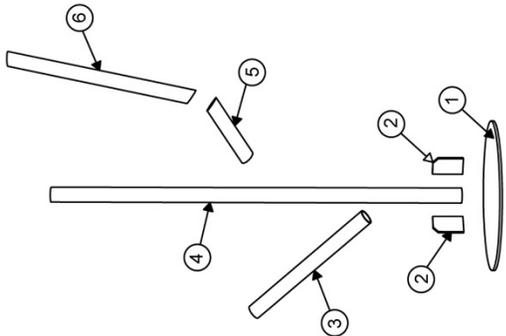
Escala: Sin escala
Anotación:

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 10/39

Fecha: Marzo, 2023.



| Listado de Piezas | |
|-------------------|----------|
| Elemento | Cantidad |
| 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 1 |
| 4 | 1 |
| 4 | 1 |
| 4 | 1 |

| Simbología | |
|---|----------------------|
| | Soldadura en filete |
| | Soldadura perimetral |
| Soldadura en arco, Electrodo E6013 1/8" x 14" | |



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de carcasa para Rama secundaria 3.
Rama 2a-3

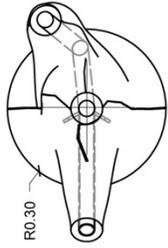
Escala: Sin escala
Acartación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

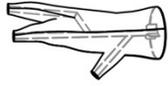
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 11/39

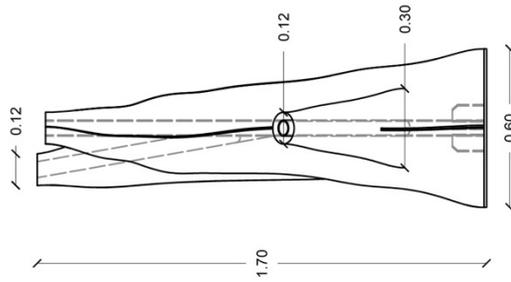
Fecha: Marzo, 2023.



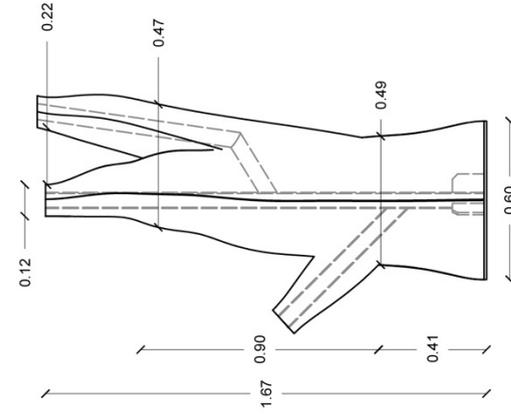
Vista Superior



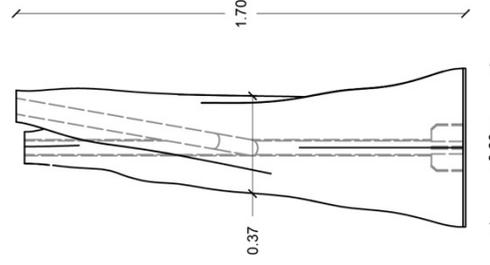
Isométrico



Vista Lateral Izquierda



Vista Frontal



Vista Lateral Derecha



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Armado de carcasa Rama 2a-3.

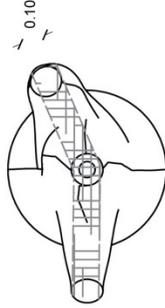
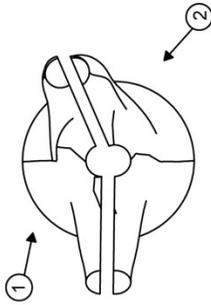
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

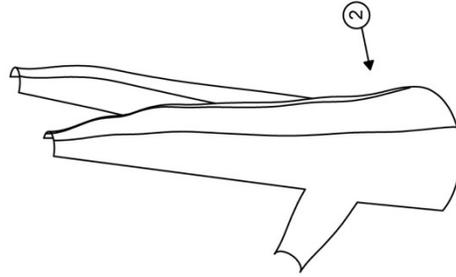
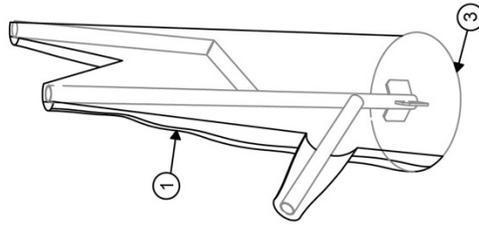
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 12/39

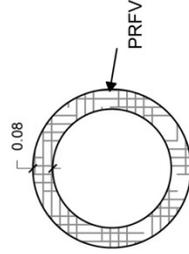
Fecha: Marzo, 2023.



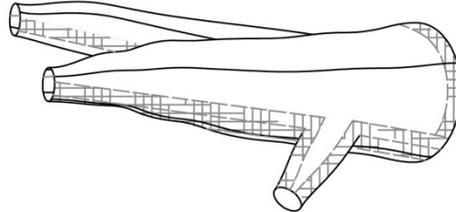
Unir con PRFV.



Vista Superior



Vista Inferior



Unir con PRFV.

| Listado de Piezas | |
|-------------------|---|
| Elemento | Descripción |
| 1 | Parte 1 de Carcasa fabricada en PRFV. |
| 2 | Parte 2 de Carcasa fabricada en PRFV. |
| 3 | Estructura metálica según diseño de rama. |



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Diseño de estructura de Componente A.

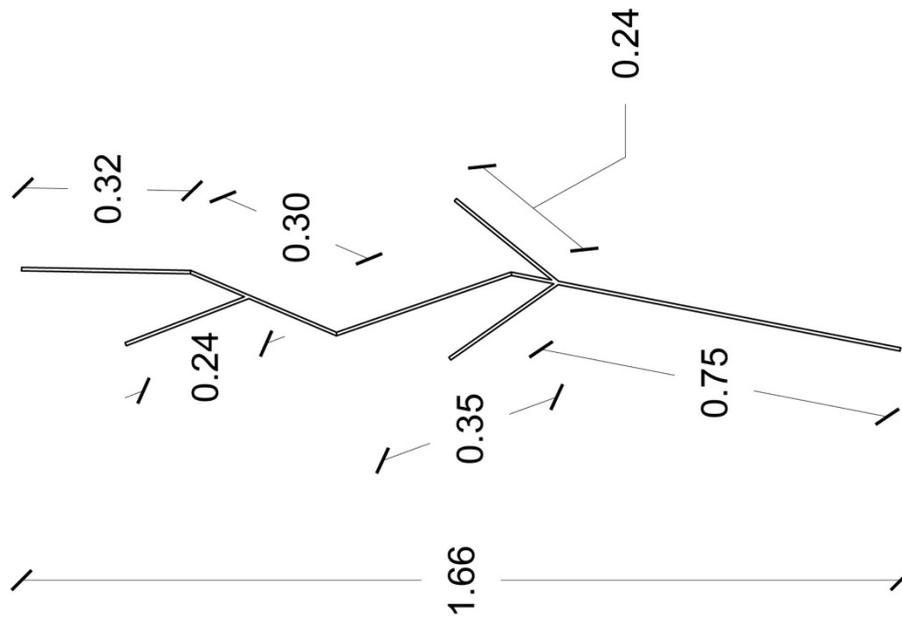
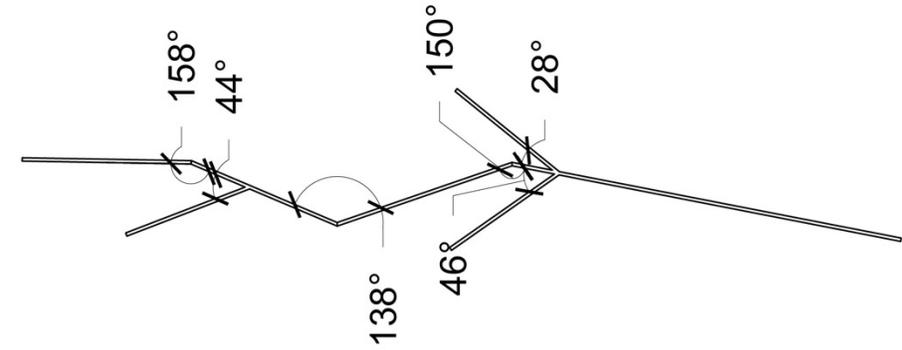
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 13/39

Fecha: Marzo, 2023.



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Ensamble y soldadura. Componente A

Escala: Sin escala **Acotación:**
Sin escala

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 14/39

Fecha: Marzo, 2023.

| Listado de Piezas | |
|-------------------|--|
| Elemento | Descripción |
| 1 | Pieza de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". Pieza doblada según medidas del plano. |
| 2 | Piezas de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ " de 24 cm. de largo |

| Simbología | |
|--|------------------------------|
| | Soldadura a tope en V doble. |
| Soldadura en arco, Electrodo E6013 $\frac{3}{8}$ " x 14" | |



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Componente A.

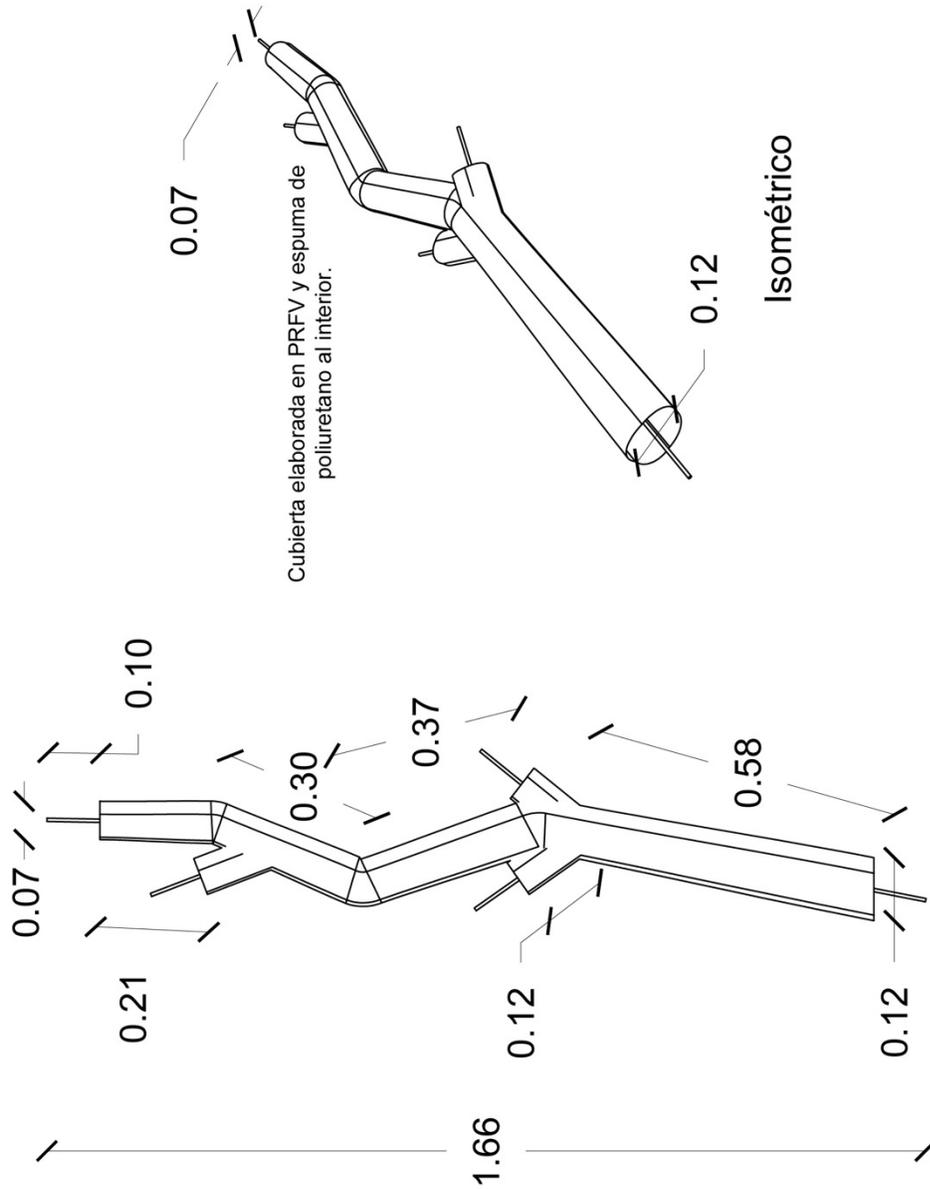
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 15/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de estructura de Componente B.

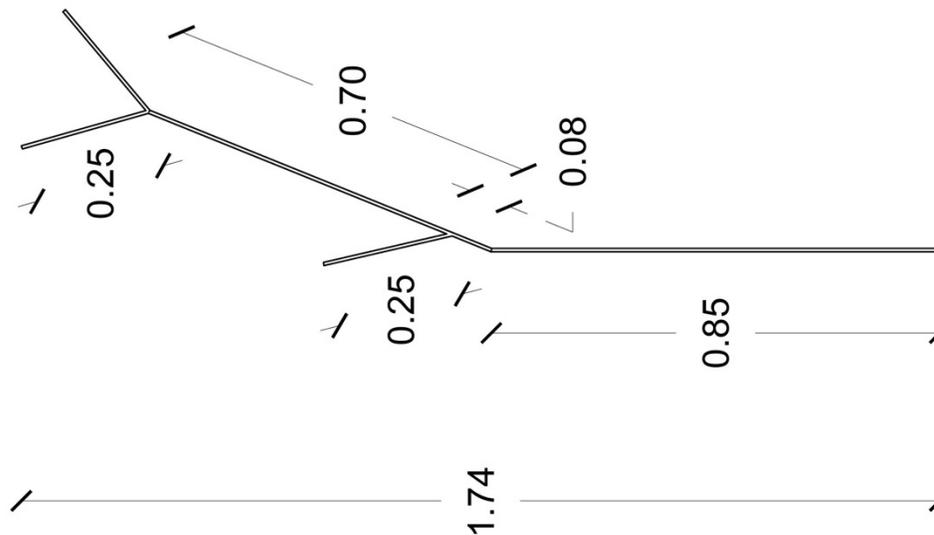
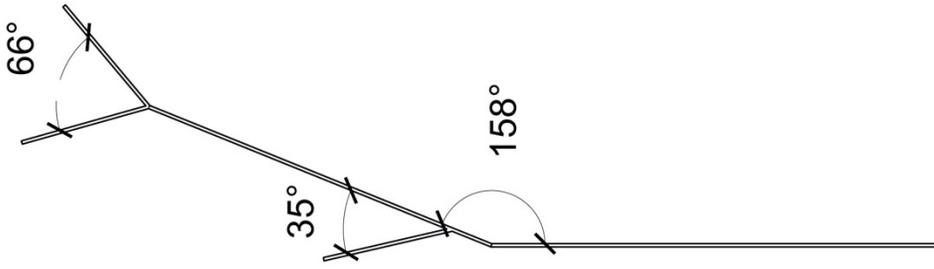
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 16/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Ensamble y soldadura.
Componente B

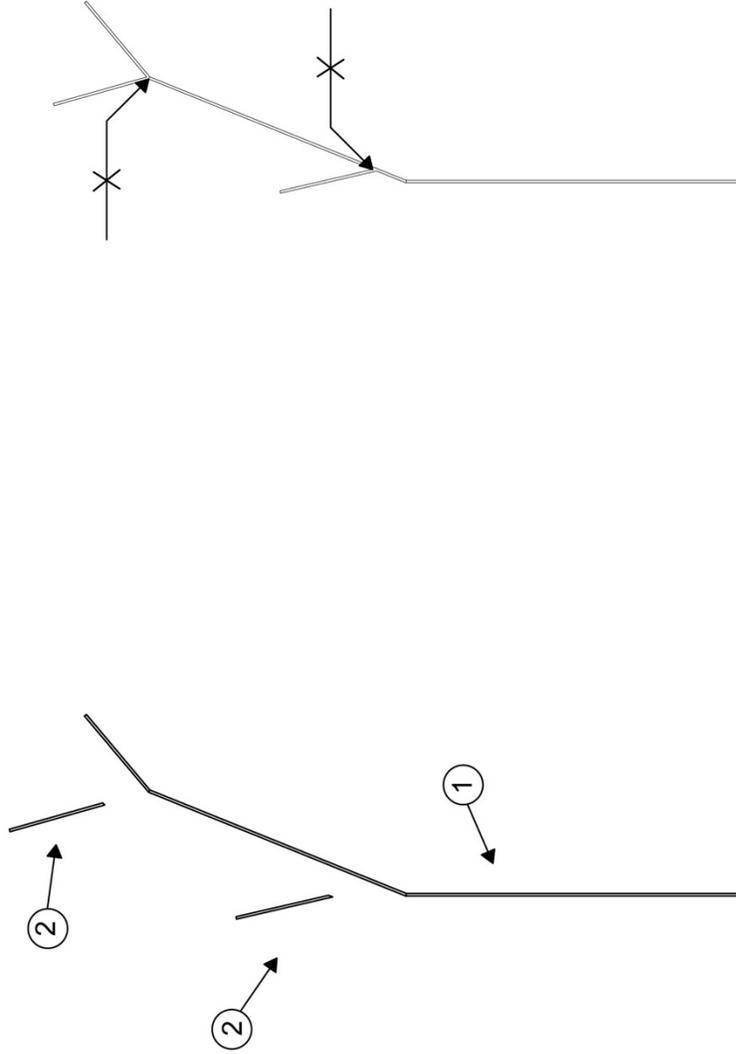
Escala: Sin escala
Acotación:

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 17/39

Fecha: Marzo, 2023.



| Listado de Piezas | | |
|-------------------|----------|--|
| Elemento | Cantidad | Descripción |
| 1 | 1 | Pieza de alambrión de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ " Pieza doblada según medidas del plano. |
| 2 | 3 | Piezas de alambrión de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ " de 25 cm de largo. |

| Simbología | |
|------------|--|
| | Soldadura a tope en V doble. |
| | Soldadura en arco, Electrodo E6013 $\frac{1}{8}$ " x 14" |



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Componente B.

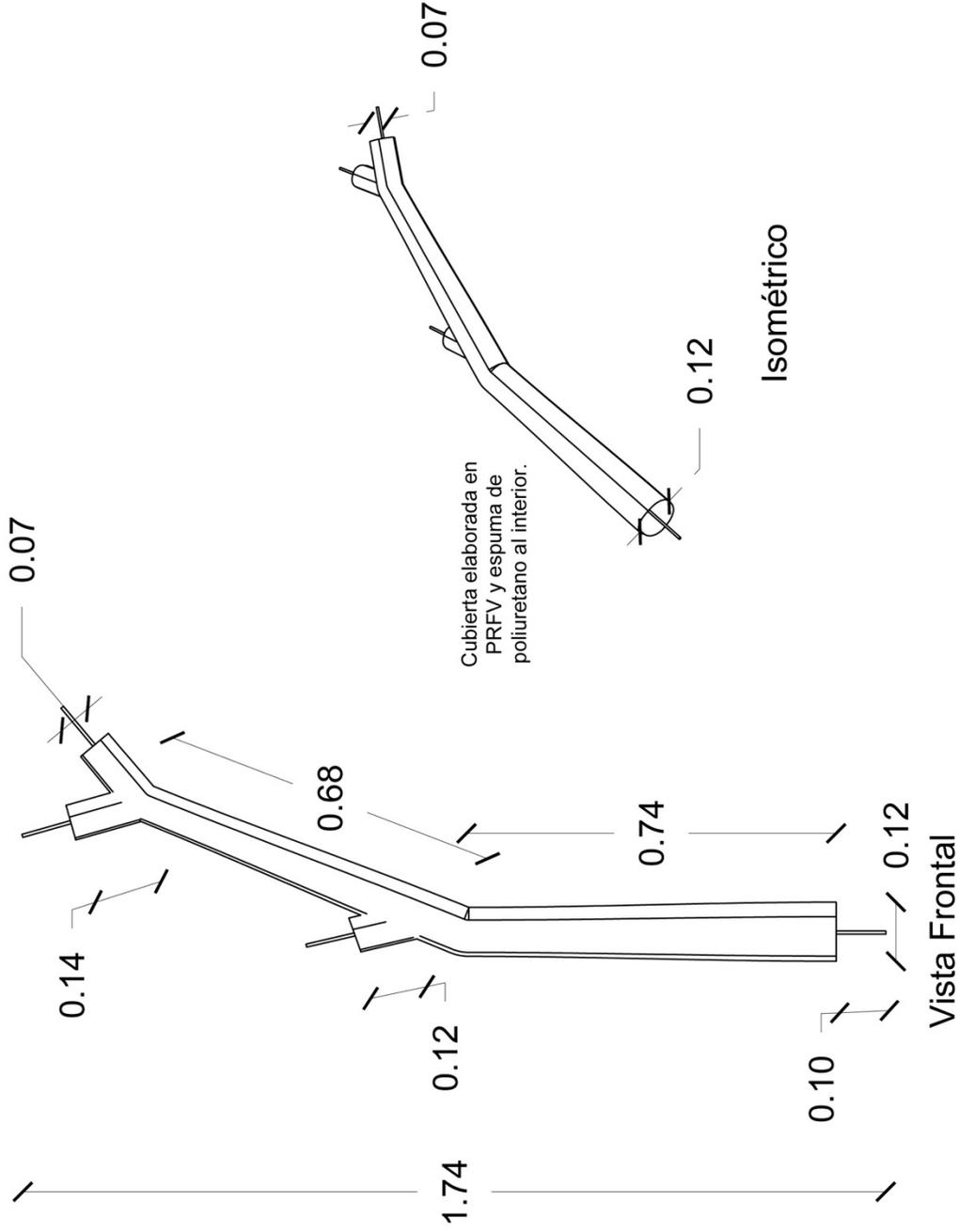
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 18/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Diseño de estructura de Componente 1.

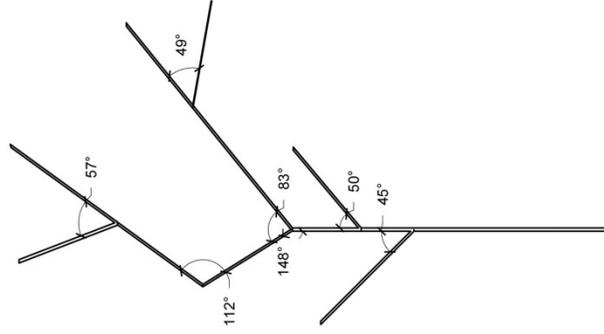
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocio Vásquez Felipe

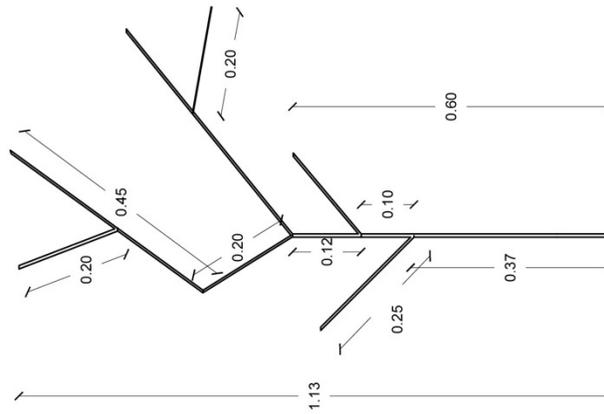
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 19/39

Fecha: Marzo, 2023.



Vista Frontal



Vista Frontal



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcaño" del parque temático Arbo Terra.

Ensamble y soldadura.
Componente 1

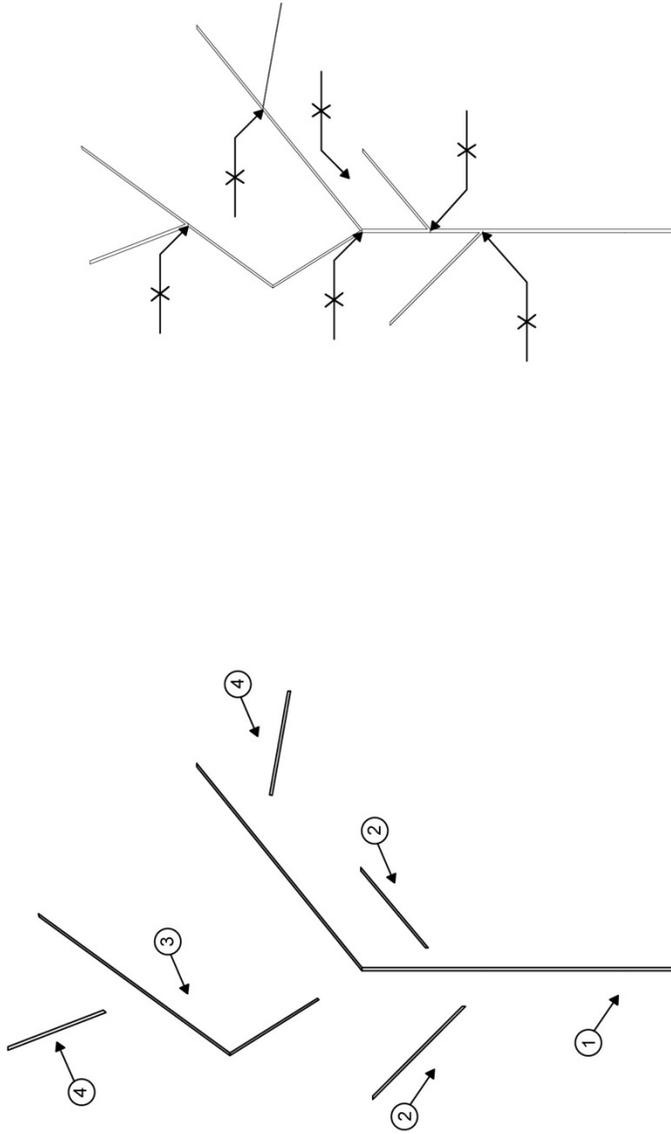
Escala: Sin escala
Anotación:

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 20/39

Fecha: Marzo, 2023.



| Simbología | |
|------------|--|
| | Soldadura a tope en V doble. |
| | Soldadura en arco, Electrodo E6013 ¹ / ₈ " x 14" |

| Listado de Piezas | | |
|-------------------|----------|---|
| Elemento | Cantidad | Descripción |
| 1 | 1 | Pieza de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". Pieza doblada según medidas del plano. |
| 2 | 2 | Piezas de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". de 25 cm de largo. |
| 3 | 1 | Pieza de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". Pieza doblada según medidas del plano. |
| 4 | 2 | Piezas de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". de 20 cm de largo. |



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Diseño de estructura de Componente 2.

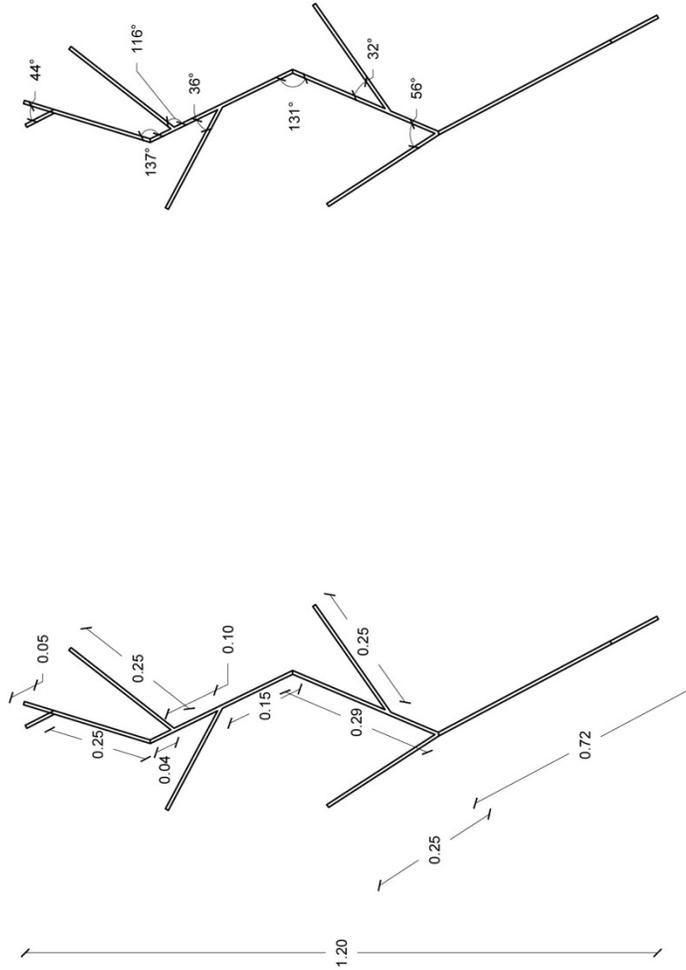
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 21/39

Fecha: Marzo, 2023.



Vista Frontal

Vista Frontal



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Ensamble y soldadura.
Componente 2

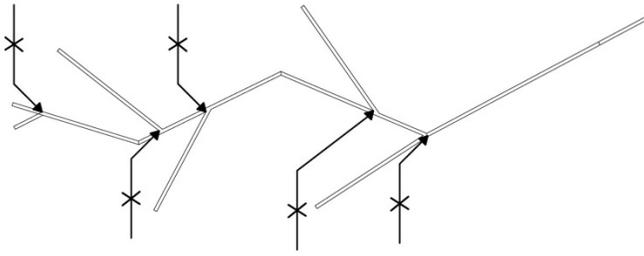
Escala: Sin escala
Anotación:

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

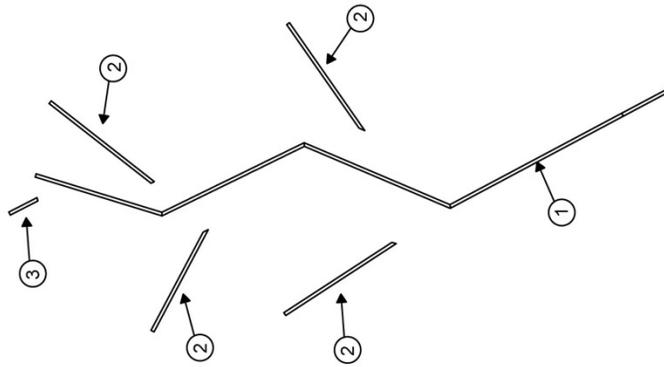
Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 22/39

Fecha: Marzo, 2023.



| Simbología | |
|--|------------------------------|
| X | Soldadura a tope en V doble. |
| Soldadura en arco, Electrodo E6013 ^{1/8"} x 14" | |



| Listado de Piezas | | |
|-------------------|----------|---|
| Elemento | Cantidad | Descripción |
| 1 | 1 | Pieza de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". Pieza doblada según medidas del plano. |
| 2 | 4 | Piezas de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". de 25 cm de largo. |
| 3 | 1 | Piezas de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ ". de 5 cm de largo. |



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Diseño de estructura de Componente 3.

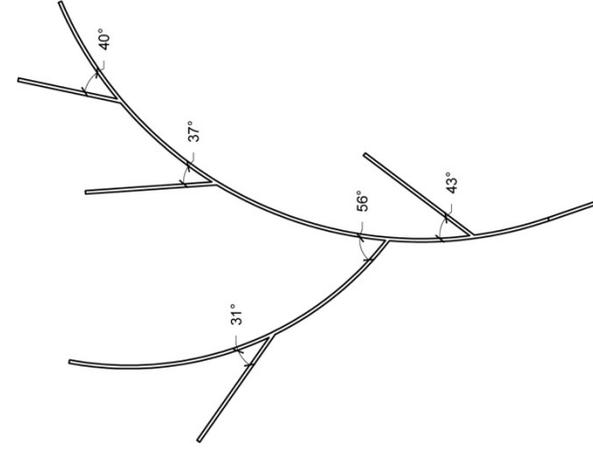
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

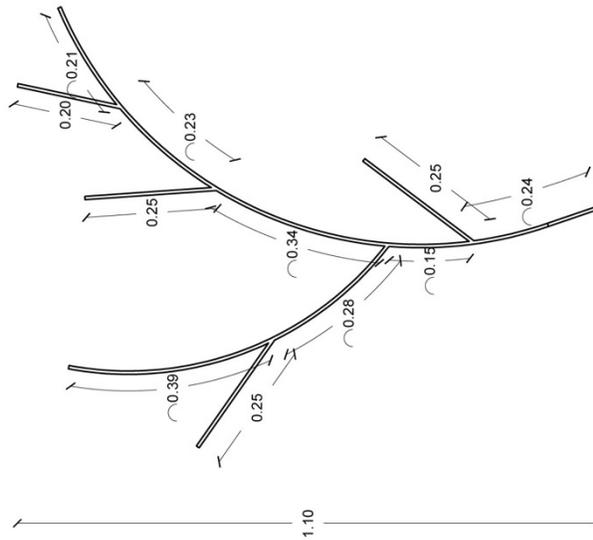
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 23/39

Fecha: Marzo, 2023.



Vista Frontal



Vista Frontal



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Ensamble y soldadura.
Componente 3

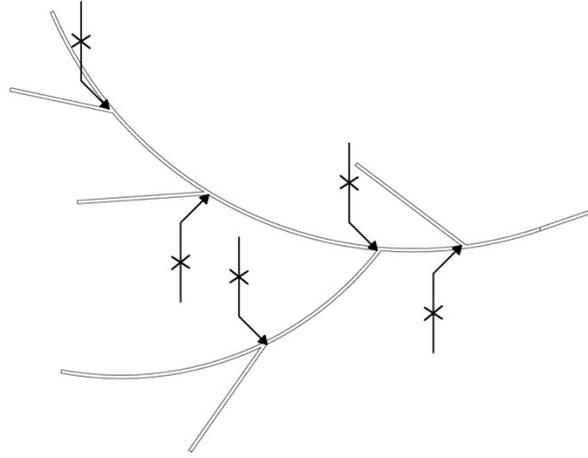
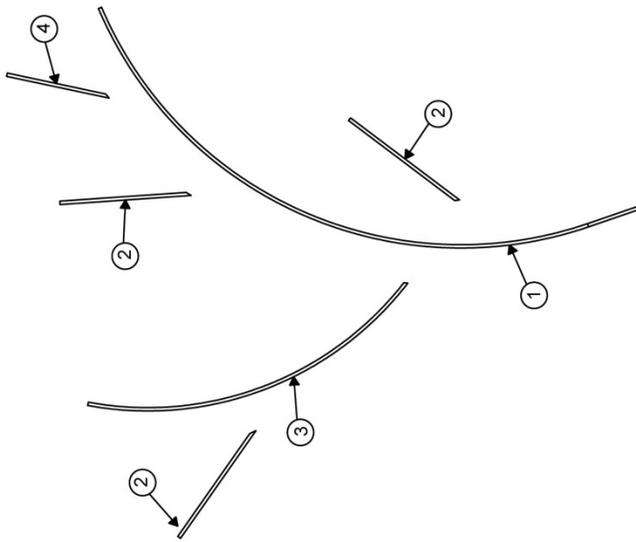
Escala: Sin escala
Anotación:

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 24/39

Fecha: Marzo, 2023.



| Listado de Piezas | | |
|-------------------|----------|--|
| Elemento | Cantidad | Descripción |
| 1 | 1 | Pieza de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ " Pieza doblada según medidas del plano. |
| 2 | 3 | Piezas de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ " de 25 cm de largo. |
| 3 | 1 | Pieza de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ " Pieza doblada según medidas del plano. |
| 4 | 1 | Piezas de alambón de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ " de 20 cm de largo. |

| Simbología | |
|------------|--|
| | Soldadura a tope en V doble. |
| | Soldadura en arco. Electrodo E6013 $\frac{1}{8}$ " x 14" |



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Componente 1 y Componente 2.

Escala: Sin escala
Acotación: Metros

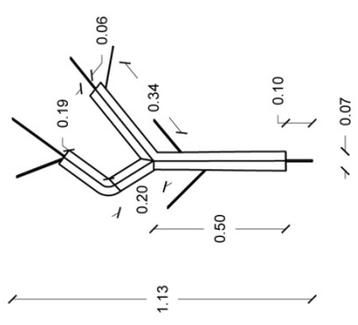
Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 25/39

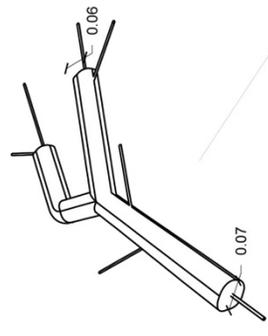
Fecha: Marzo, 2023.

COMPONENTE 1



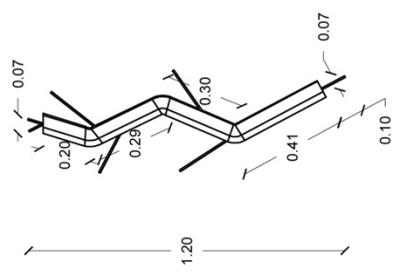
Vista Frontal

Isométrico



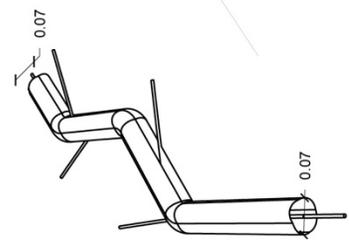
Cubierta elaborada en PRFV y espuma de poliuretano al interior.

COMPONENTE 2



Vista Frontal

Isométrico





Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Componente 3.

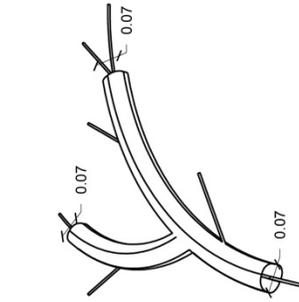
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

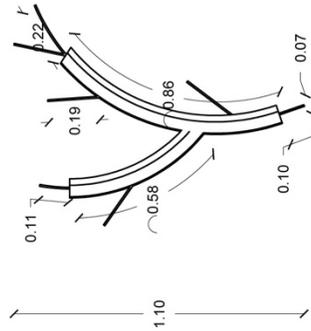
Plano 26/39

Fecha: Marzo, 2023.



Isométrico

Cubierta elaborada en PRFV y espuma de poliuretano al interior.



Vista Frontal



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Rama terciaria R3a-1.

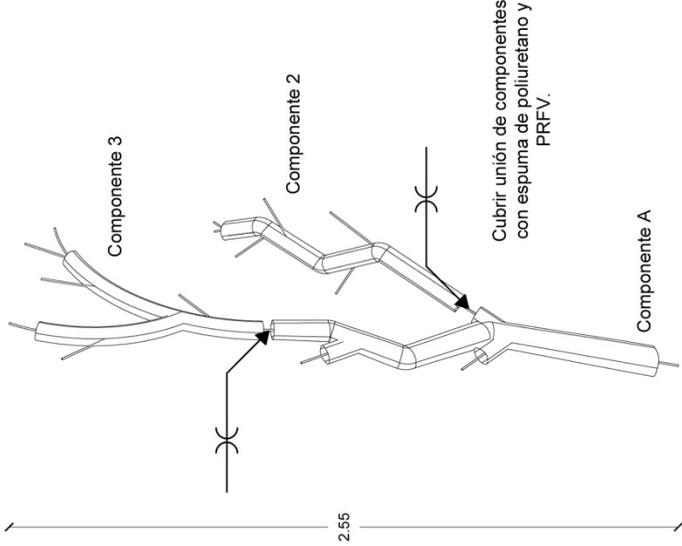
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 27/39

Fecha: Marzo, 2023.



Componente 3

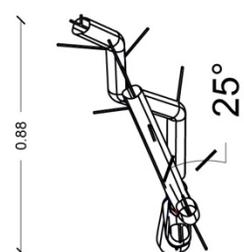
Componente 2

Componente 1

Componente A

Cubrir unión de componentes con espuma de poliuretano y PRFV.

2.55



0.88

25°

Componente 3 girado 25°

Vista Superior

| Simbología | |
|---|--|
|  | Soldadura con bisel redondeado doble |
|  | Soldadura en arco, Electrodo E6013 $\frac{3}{8}$ " x 14" |

Isométrico



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Diseño de Rama terciaria R3a-1.

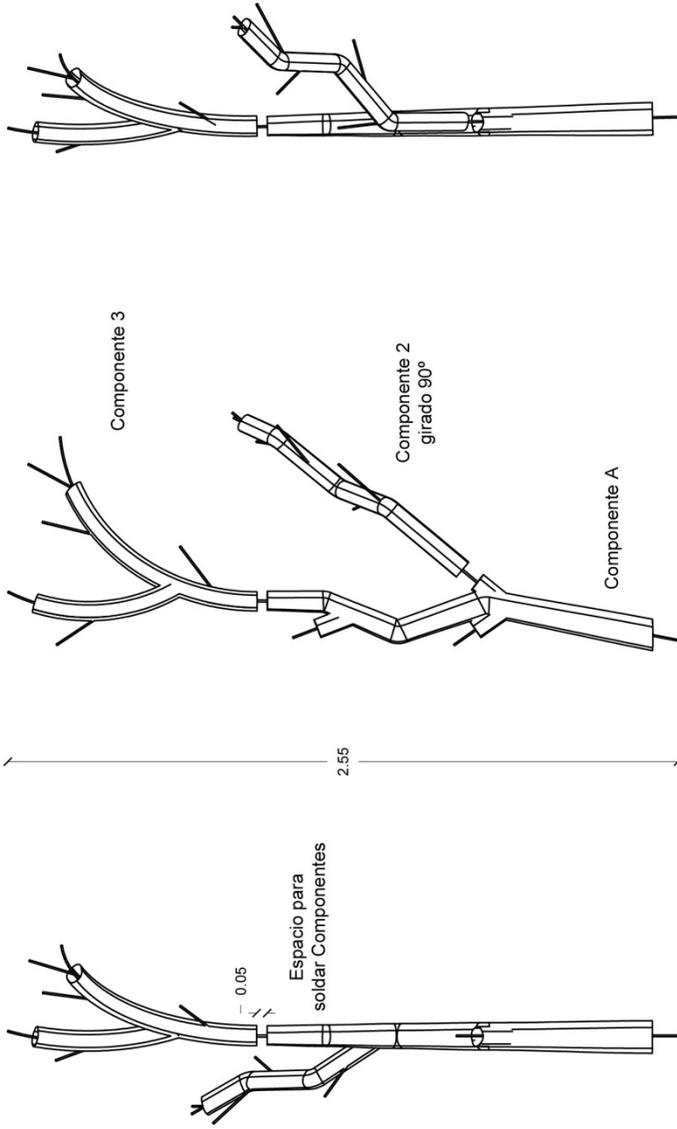
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 28/39

Fecha: Marzo, 2023.



0.68

0.68

0.57

Vista Lateral Izquierda

Vista Frontal

Vista Lateral Derecha



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

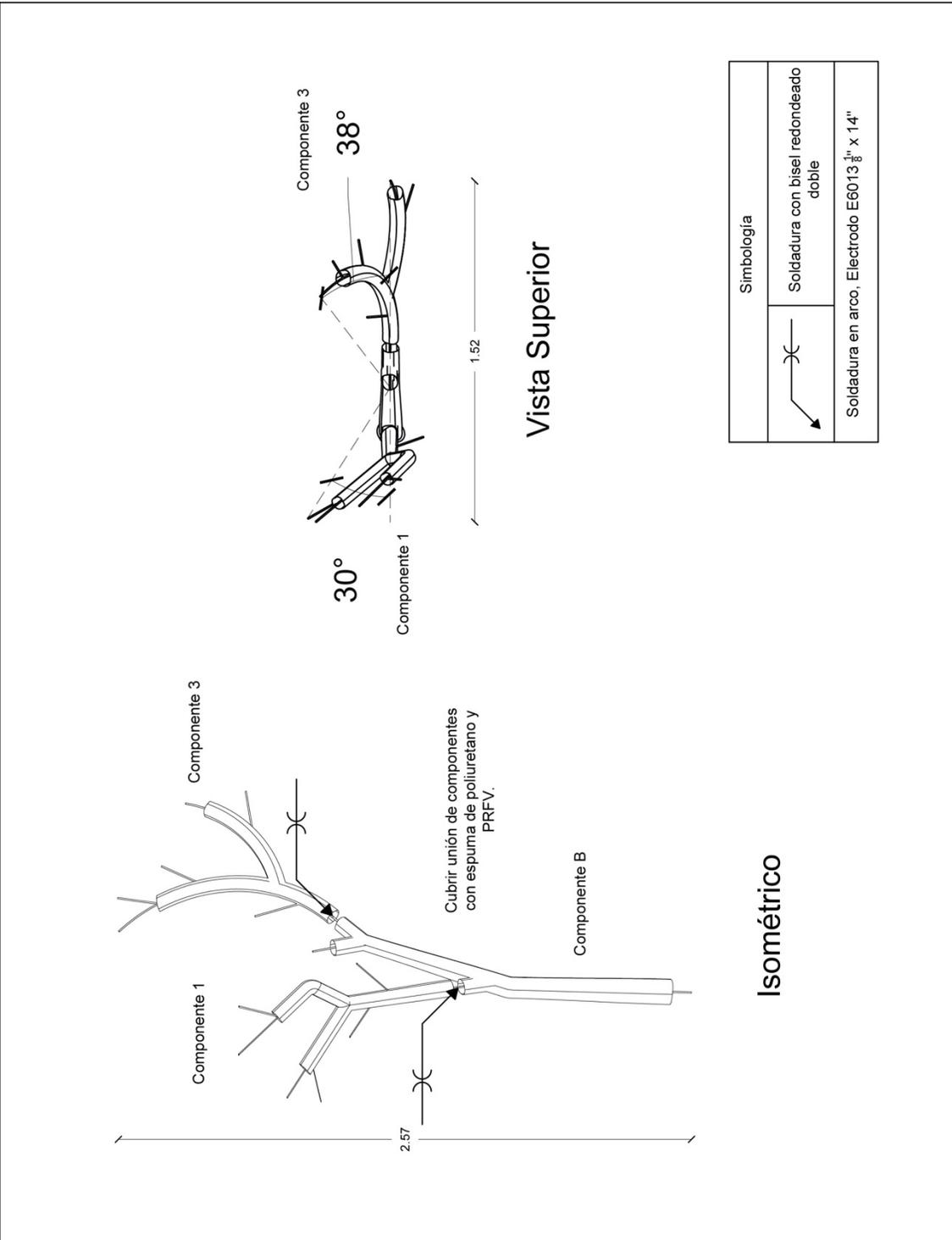
Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Rama terciaria R3a-2.

Escala: Sin escala
Acartación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 29/39
Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Rama terciaria R3a-2.

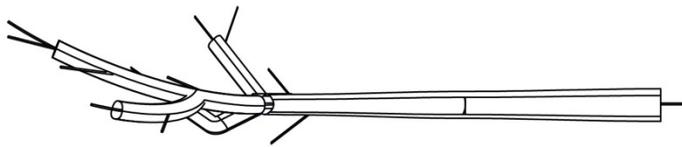
Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

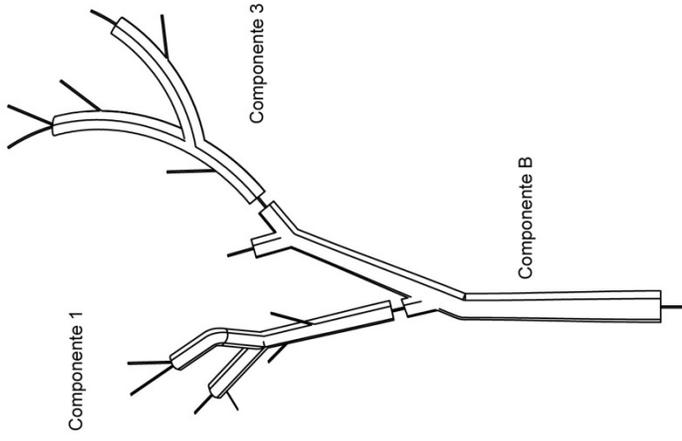
Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 30/39

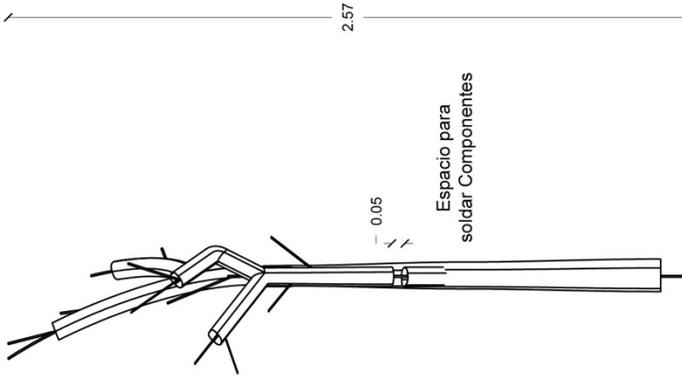
Fecha: Marzo, 2023.



Vista Lateral Derecha



Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda



Universidad Tecnológica de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

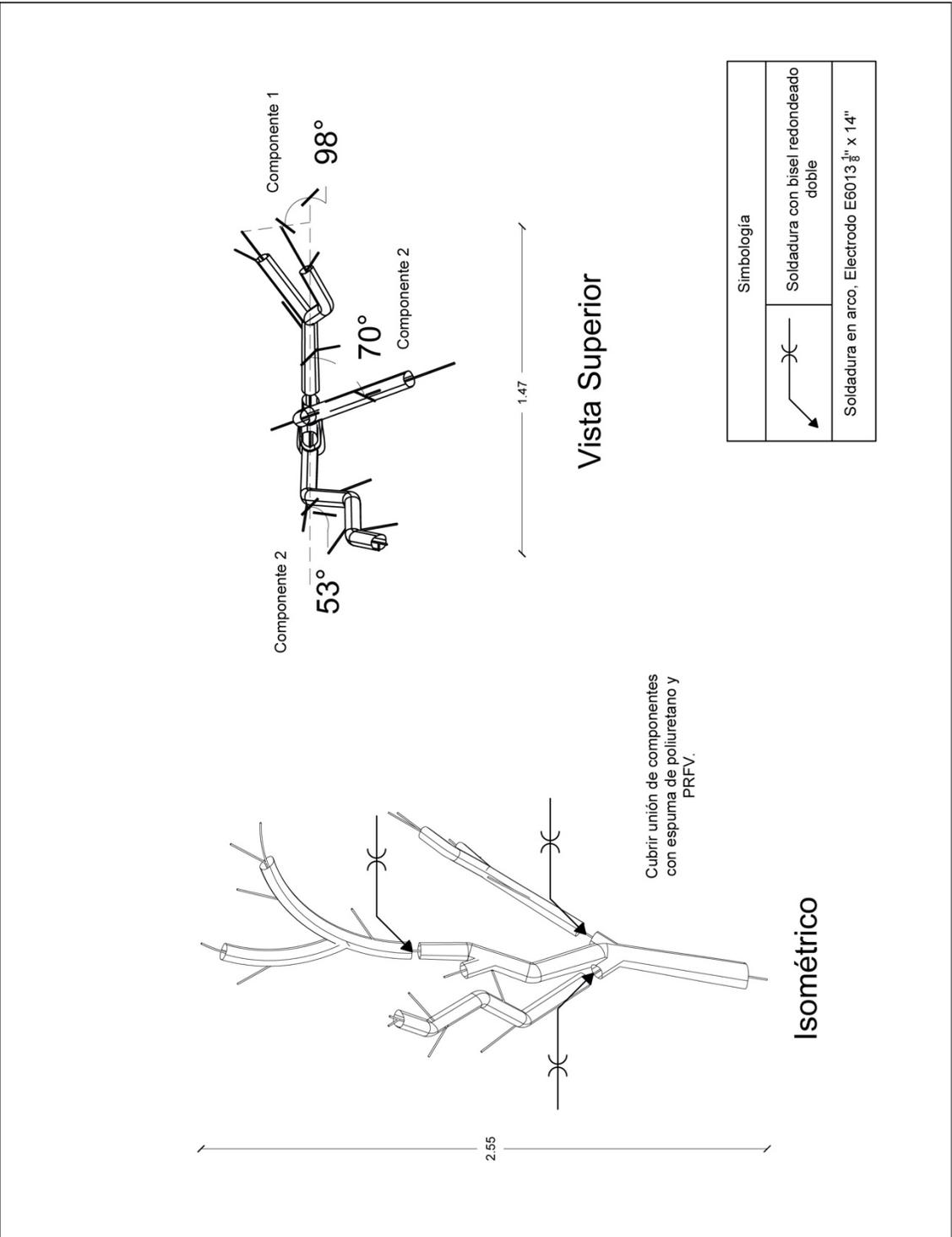
Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Rama terciaria R3a-3.

Escala: Sin escala
Acotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 31/39
Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Rama terciaria R3a-3.

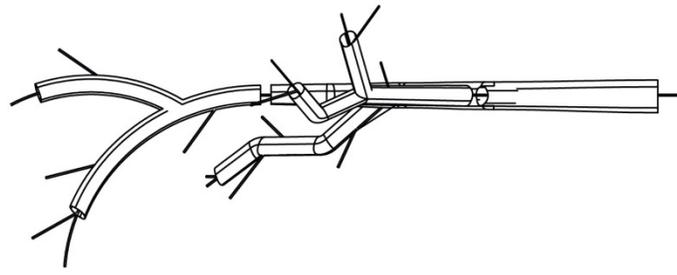
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

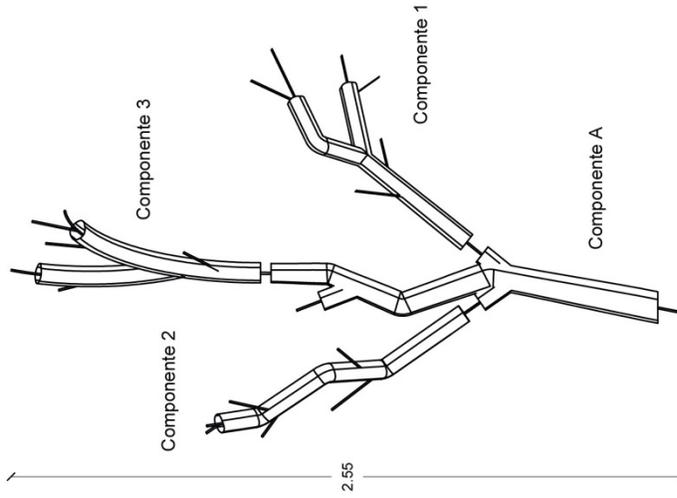
Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 32/39

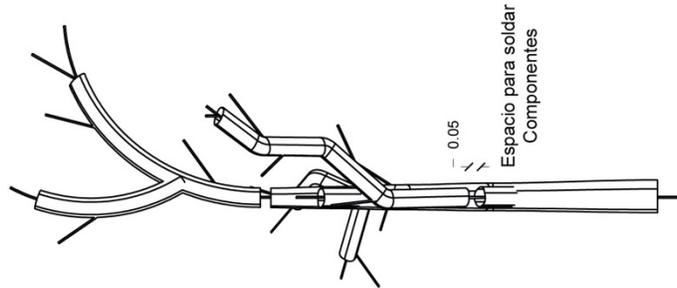
Fecha: Marzo, 2023.



Vista Lateral Derecha



Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Rama terciaria R3a-4.

Escala: Sin escala

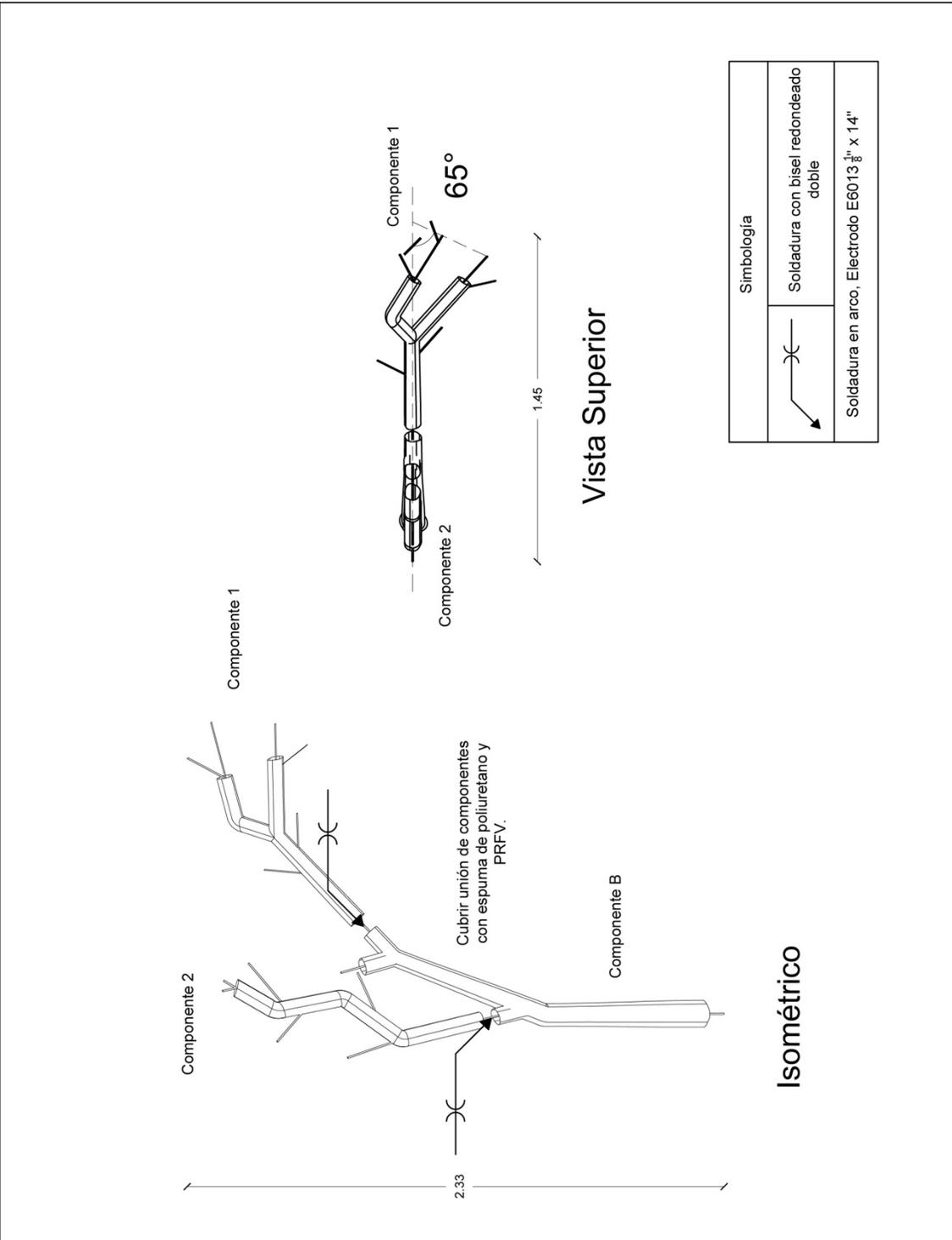
Acotación: Metros

Elaboró: Dalila Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 33/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático Arbo Terra.

Diseño de Rama terciaria R3a-4.

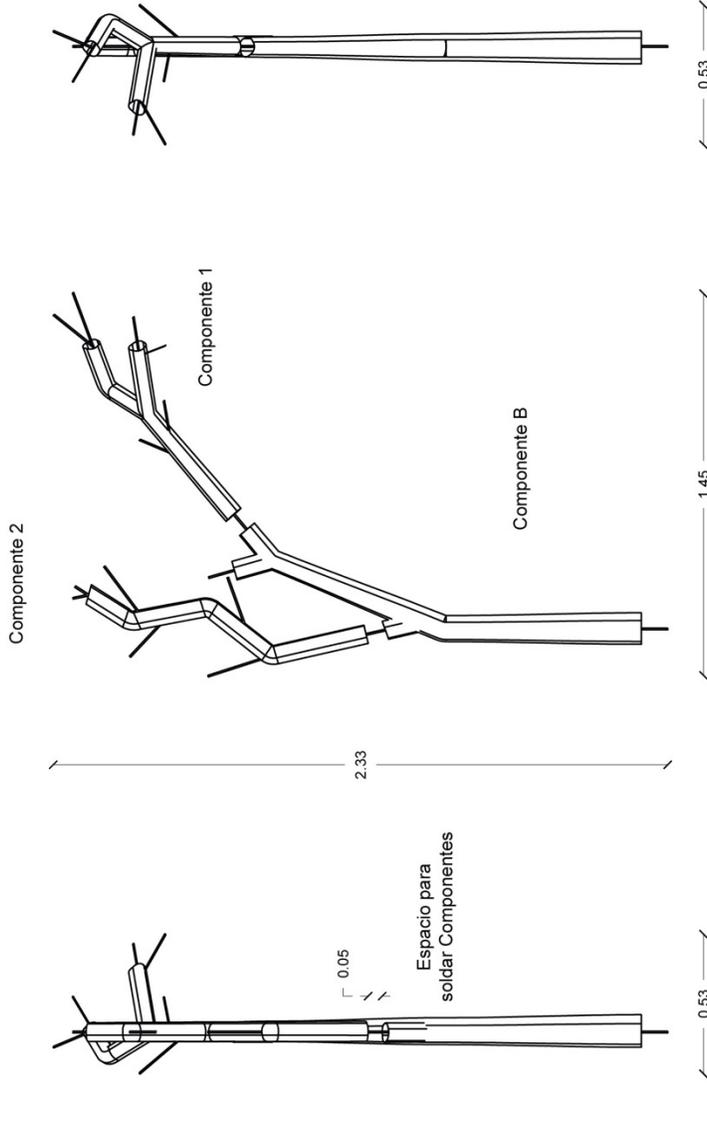
Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 34/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Ensamble de ramilletes de hojas.

Escala: Sin escala
Anotación: Metros

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 35/39

Fecha: Marzo, 2023.



Ramilletes de hojas soldadas en cada terminación de las ramas que componen las ramas terciarias.

Vista Frontal R3a-1



Universidad Tecnológica
de la Mixteca
Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas
secundarias y terciarias
para árbol artificial "Arcano"
del parque temático
ArboTerra.

Diseño y ensamble de
piezas para Rama
Secundaria Rama 2a-1.

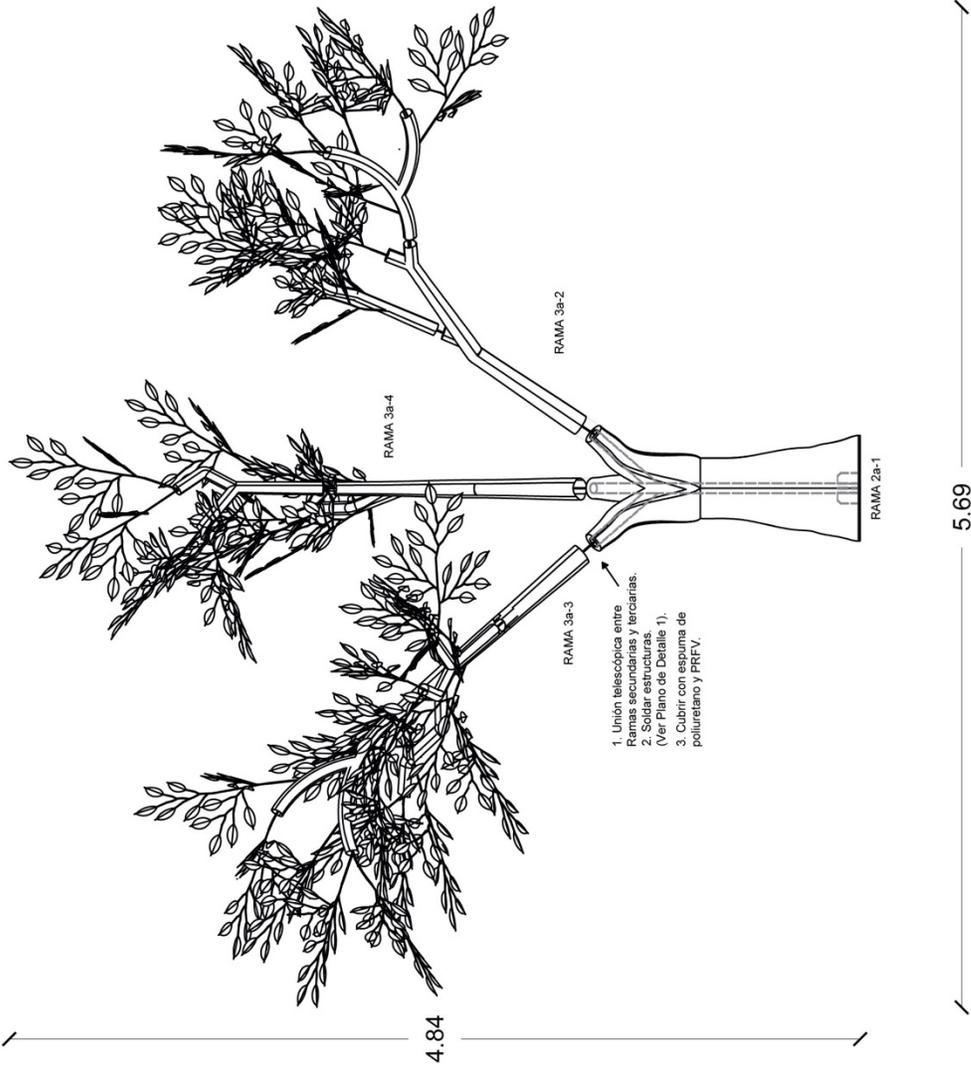
Escala: Acotación:
Sin escala Metros

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 36/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica
de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas
secundarias y terciarias
para árbol artificial "Arcano"
del parque temático
ArboTerra.

Diseño y ensamble de
piezas para Rama
Secundaria Rama 2a-2.

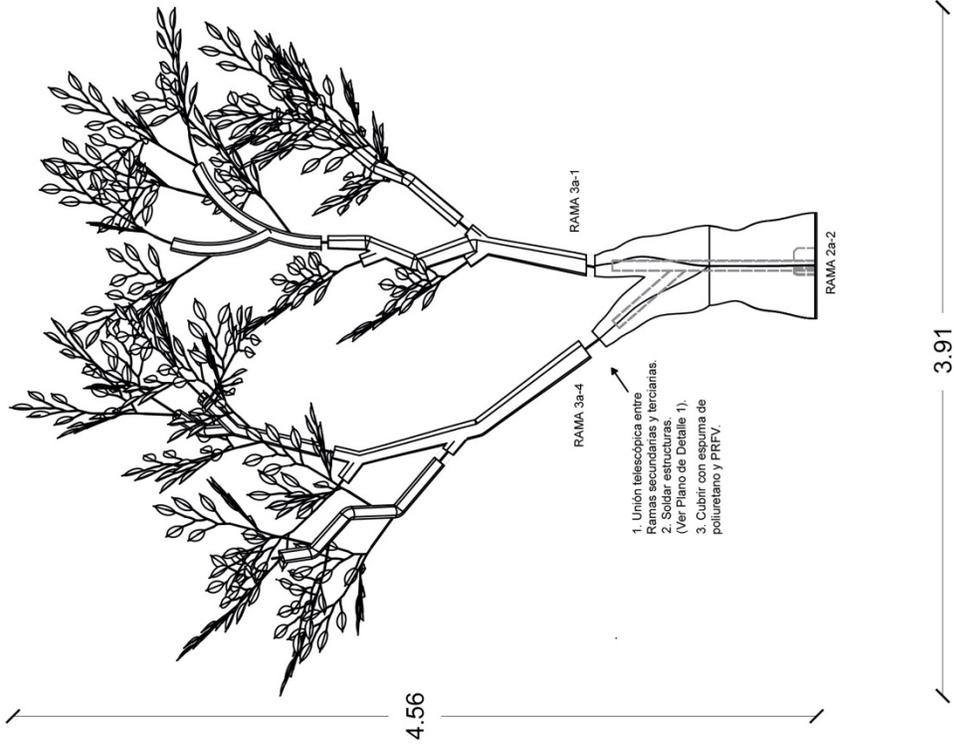
Escala: Acotación:
Sin escala Metros

Elaboró:
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:
I.D. Armando López Torres

Plano 37/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica
de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas
secundarias y terciarias
para árbol artificial "Arcano"
del parque temático
ArboTerra.

Diseño y ensamble de
piezas para Rama
Secundaria Rama 2a-3.

Escala: Acotación:
Sin escala Metros

Elaboró:

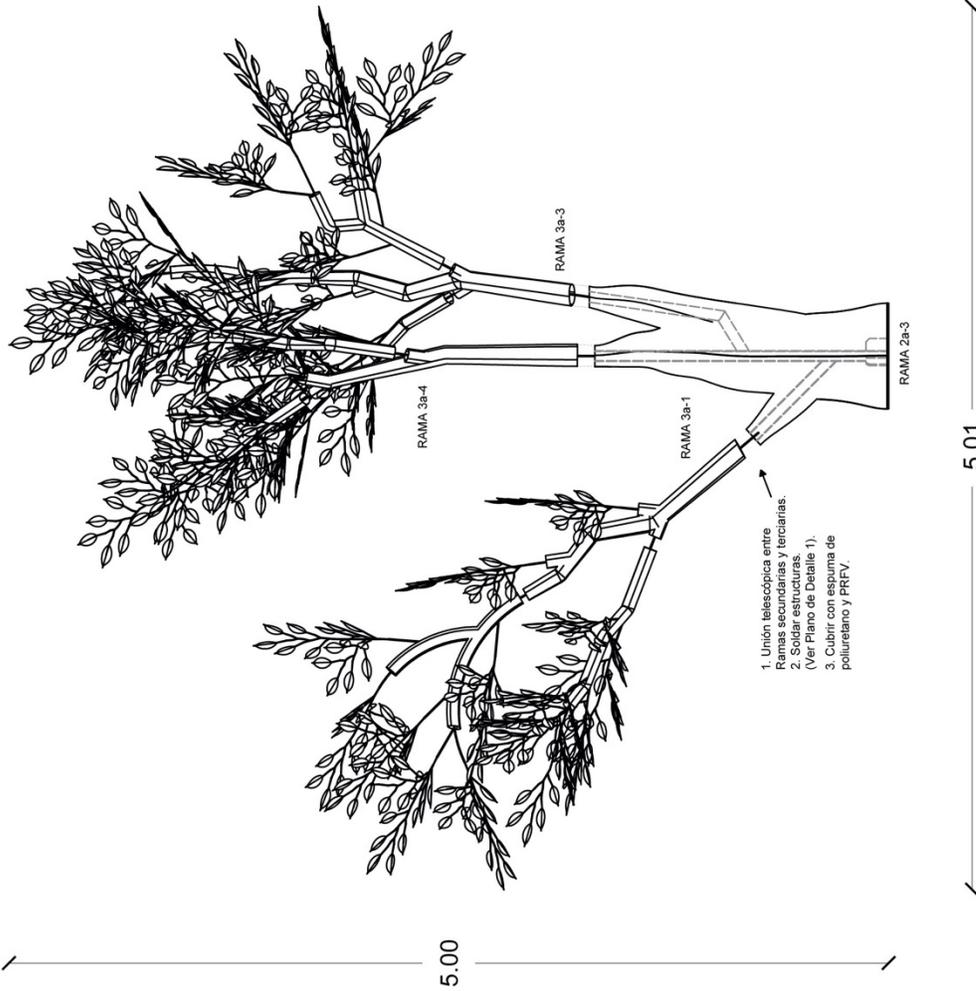
Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó:

I.D. Armando López Torres

Plano 38/39

Fecha: Marzo, 2023.





Universidad Tecnológica de la Mixteca

Ingeniería en Diseño

Diseño de ramas secundarias y terciarias para árbol artificial "Arcano" del parque temático ArboTerra.

Detalle 1

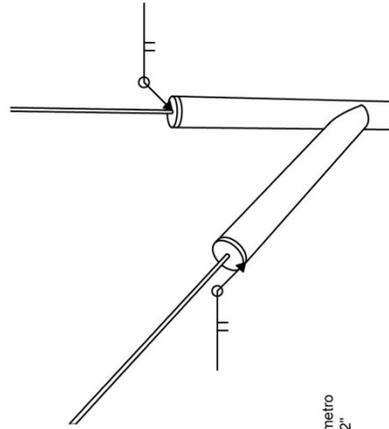
Escala: Sin escala
Anotación:

Elaboró: Dalia Rocío Vásquez Felipe

Revisó: I.D. Armando López Torres

Plano 39/39

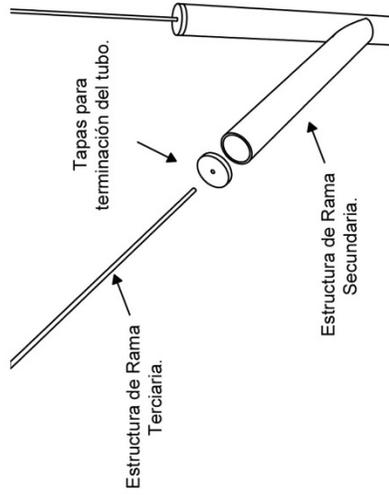
Fecha: Marzo, 2023.



Detalle de tapas.



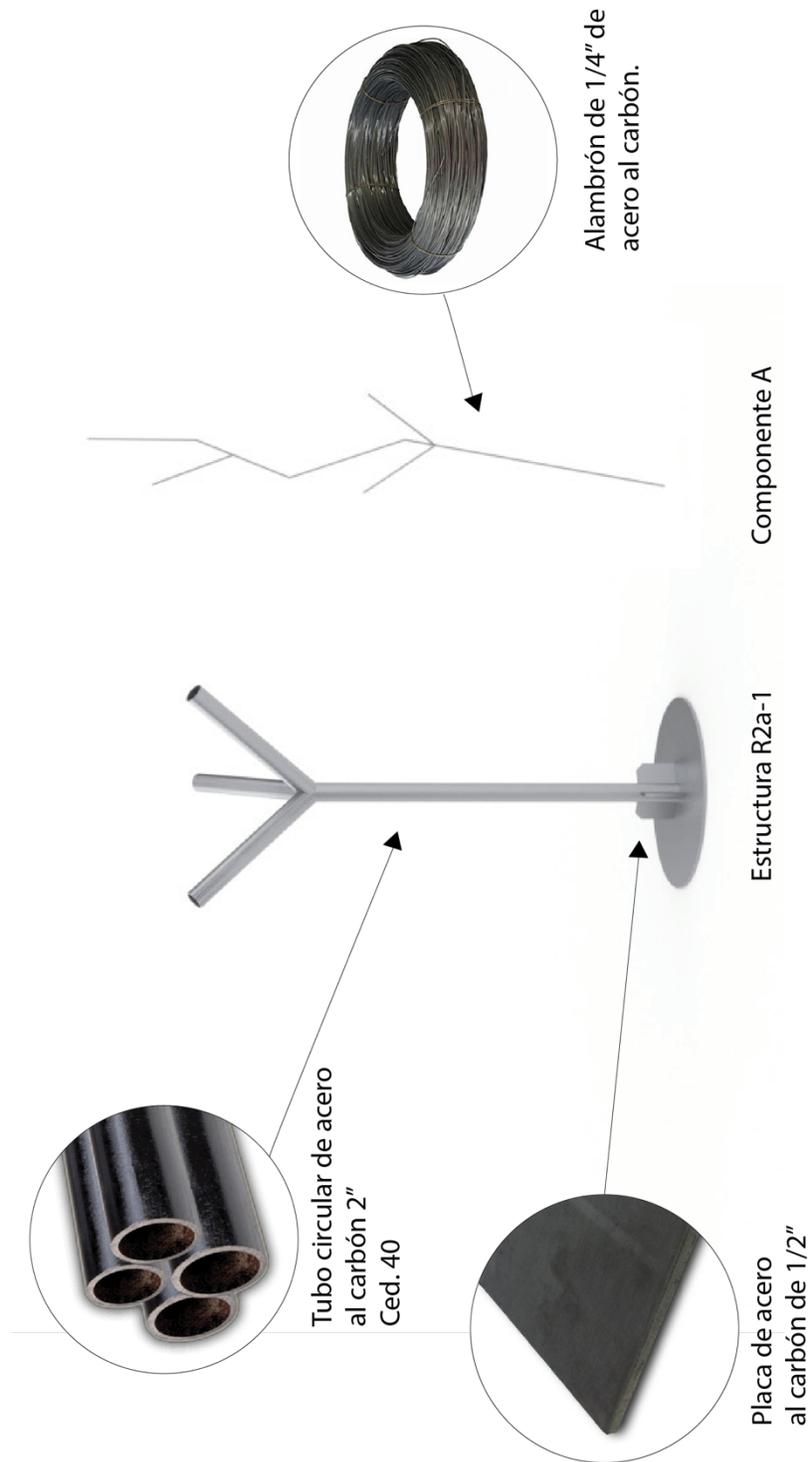
Placa de acero al carbón de $\frac{1}{4}$ "



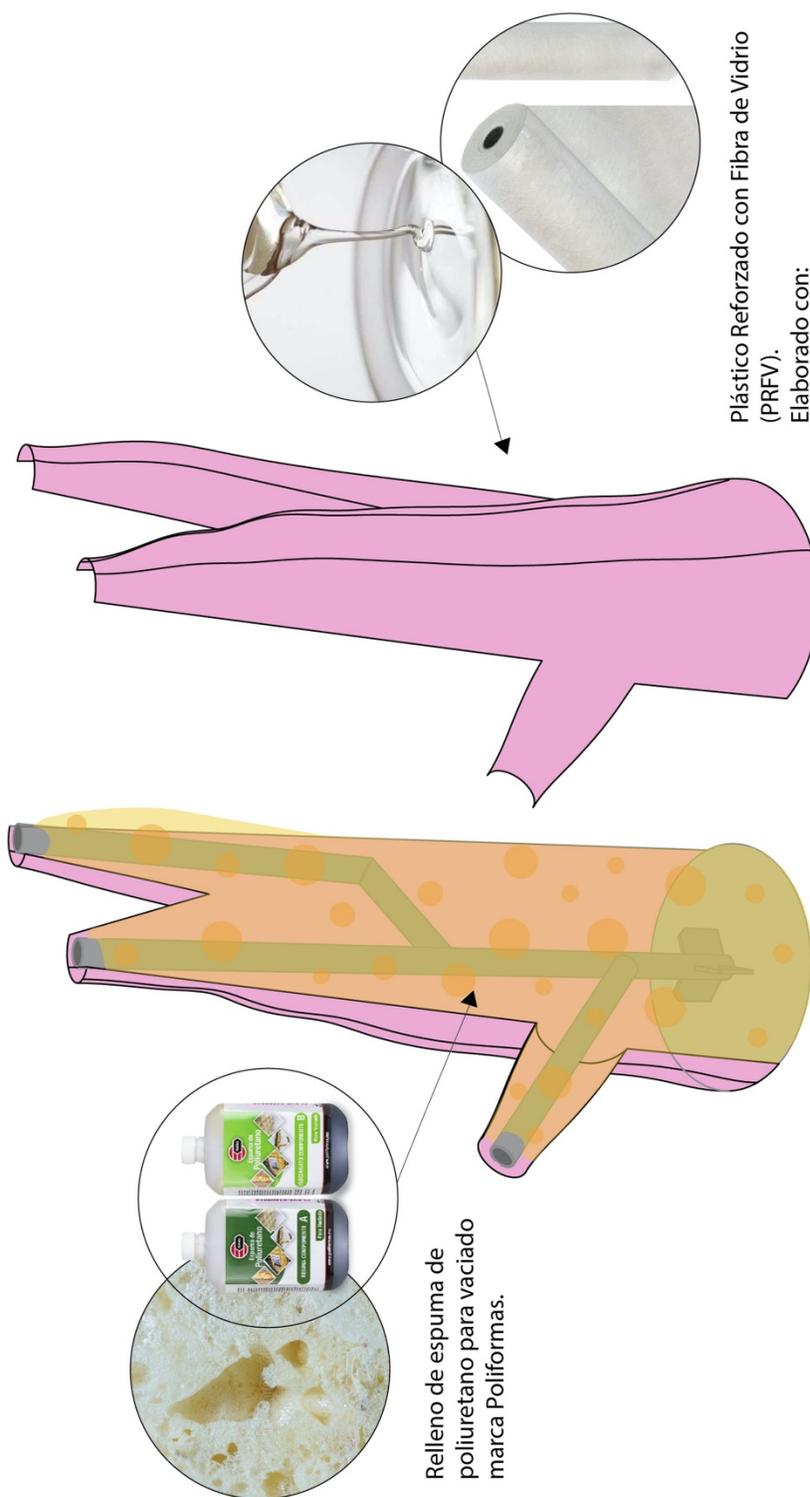
| Simbología | |
|------------|--|
| | Soldadura perimetral |
| | Soldadura en arco. Electrodo E6013 $\frac{1}{8}$ " x 14" |

Anexo E: Catálogo de materiales

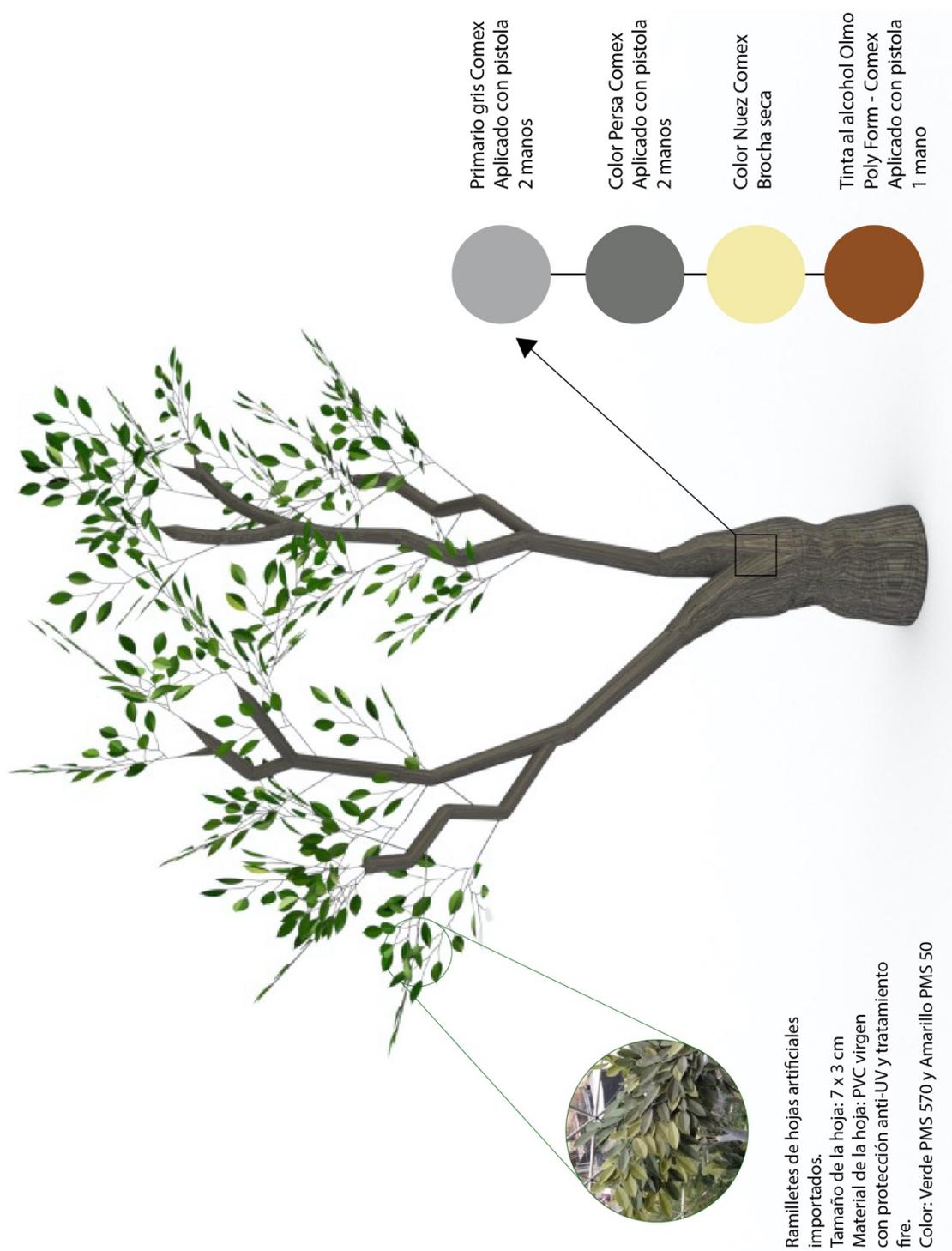
Materiales a utilizar para elaboración de estructuras.



Materiales a utilizar en las carcasas de ramas secundarias y terciarias.

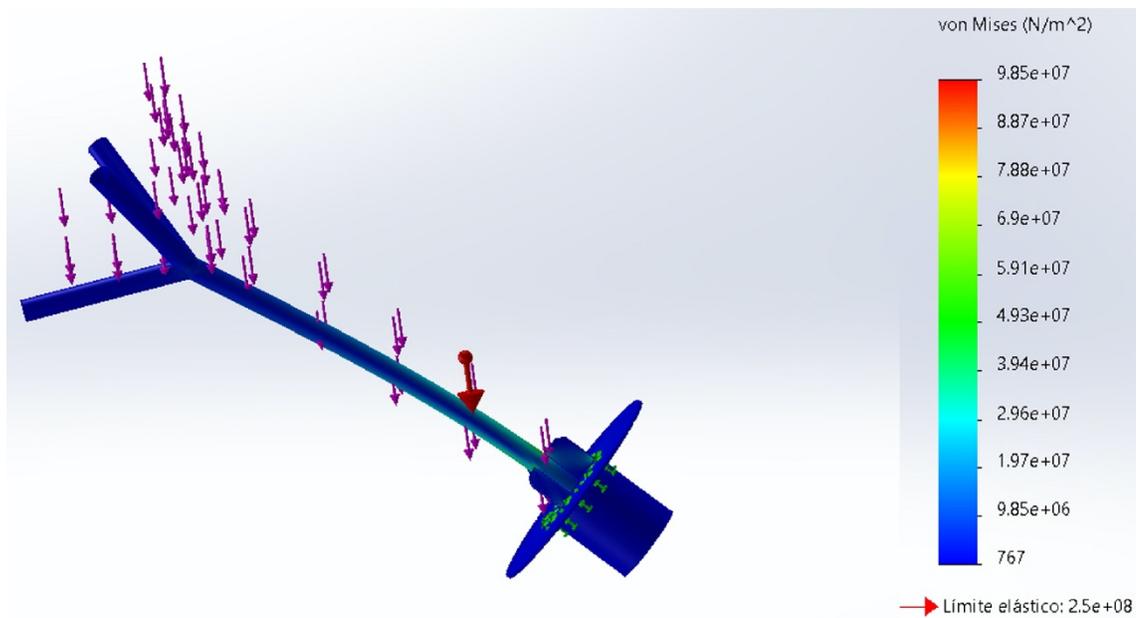
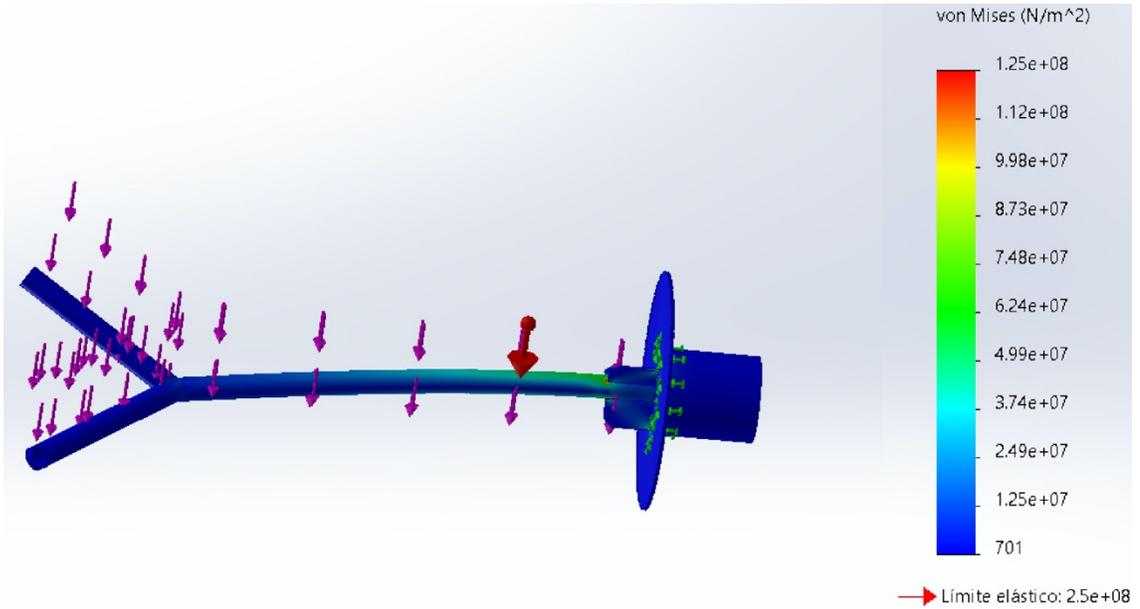


Acabados para las ramas.

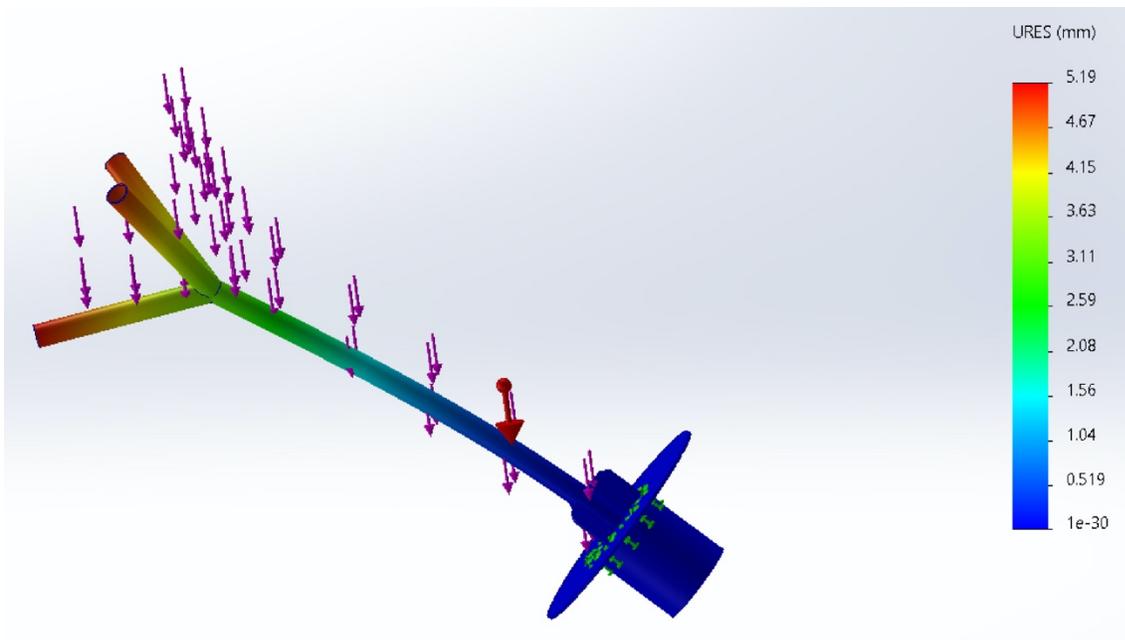
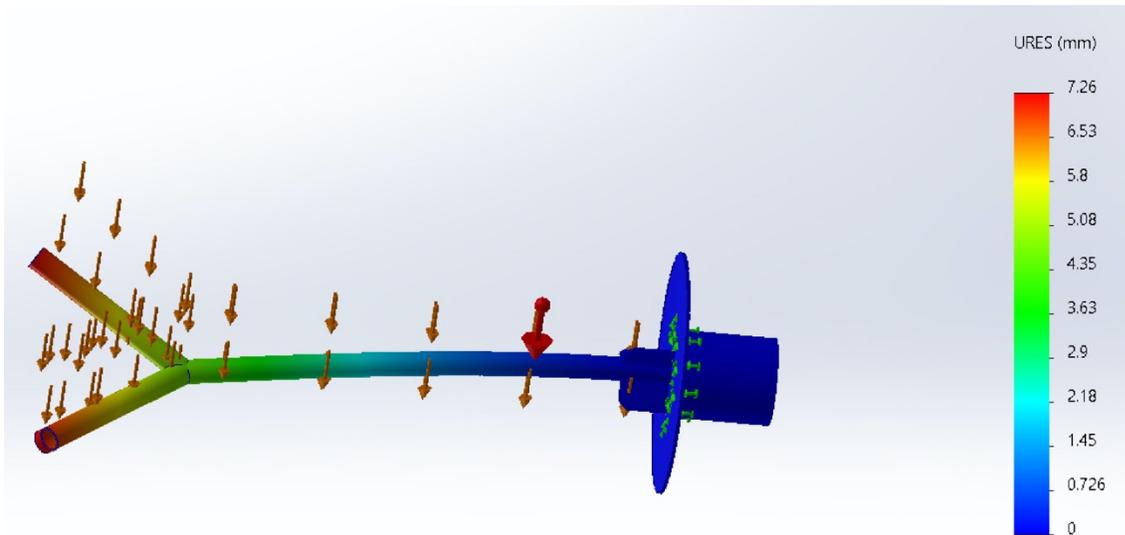


Anexo F: Análisis de elemento finito

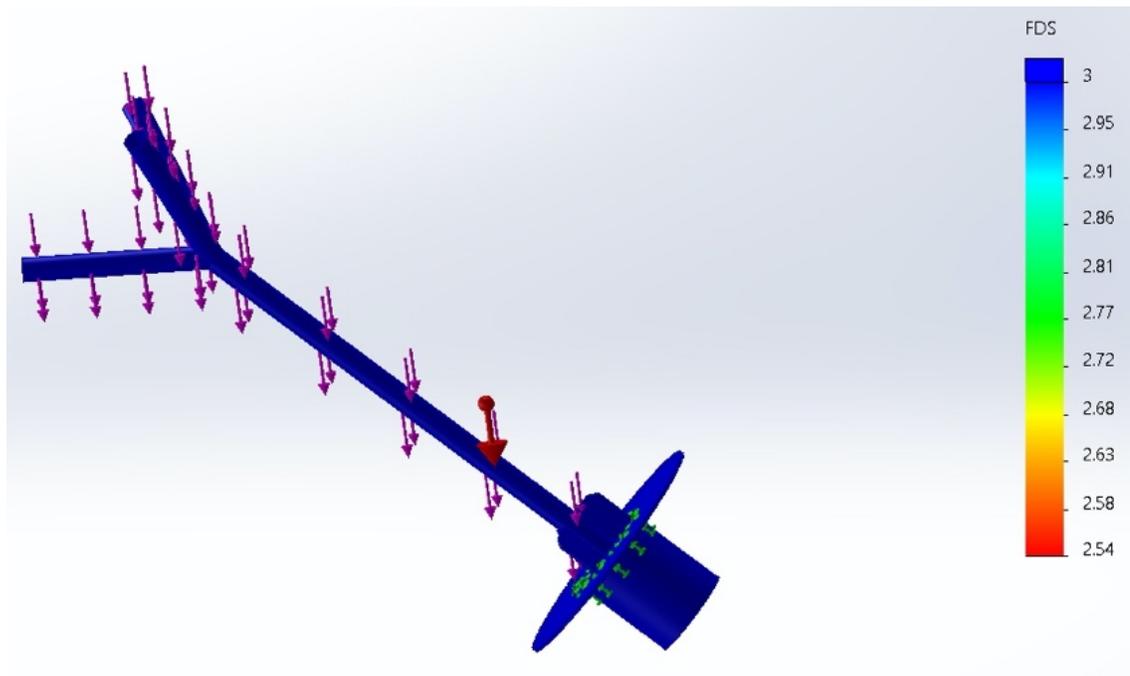
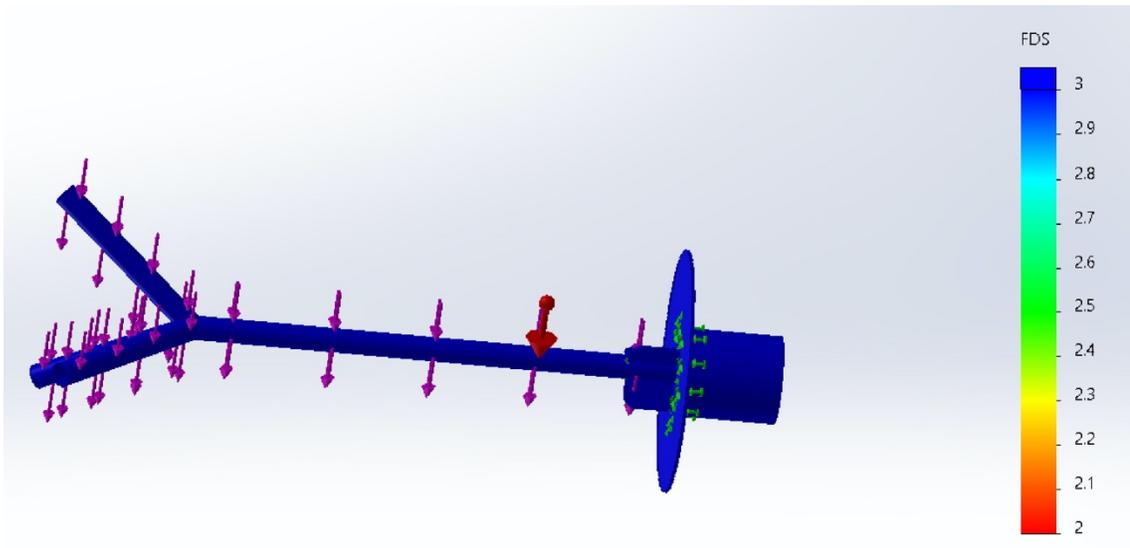
Análisis de tensión de Von Mises de Rama 2a-1.



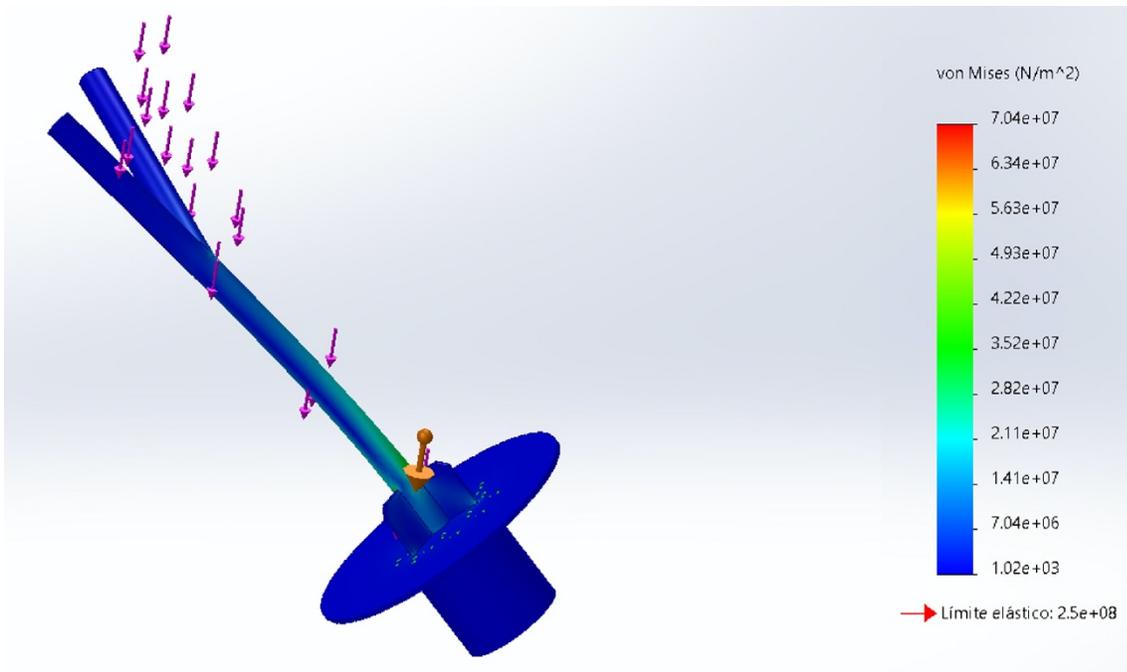
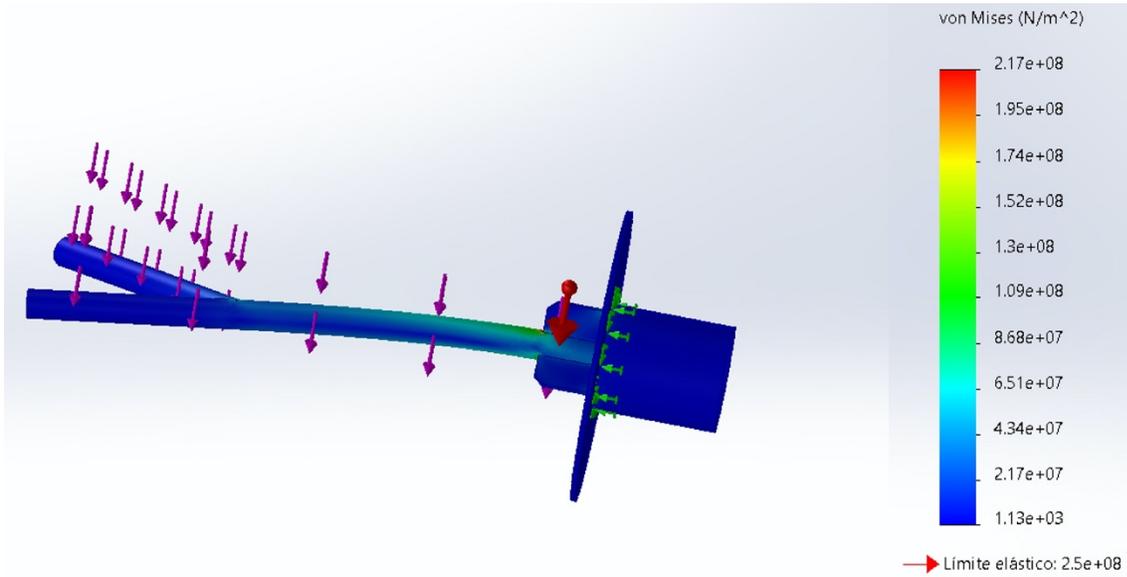
Análisis de desplazamientos de Rama 2a-1.



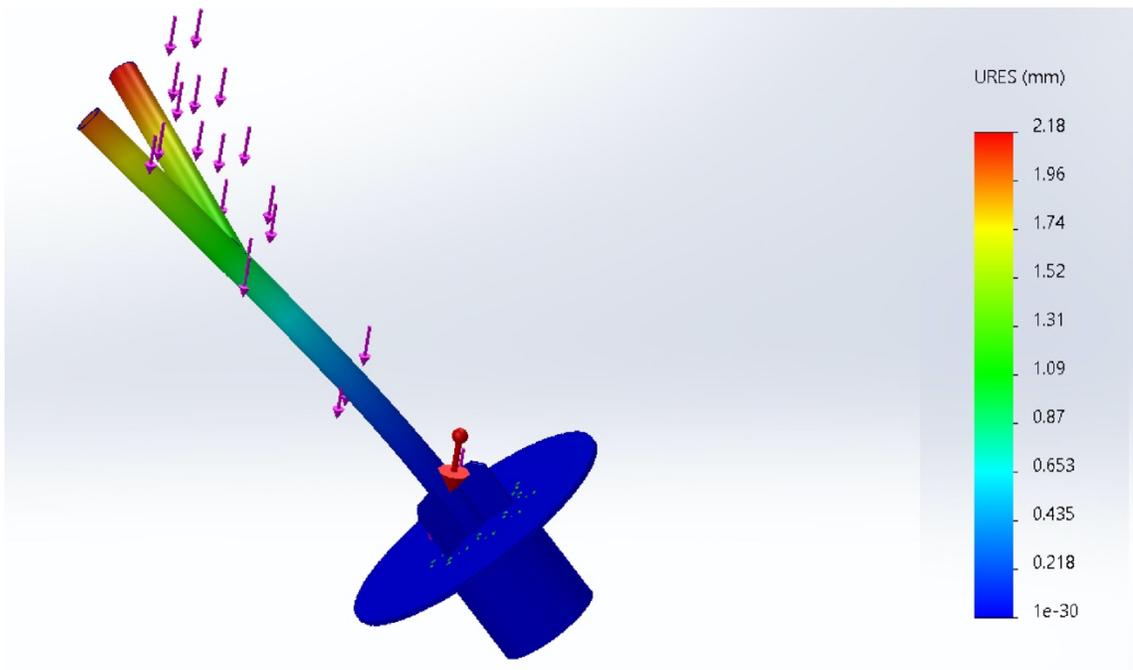
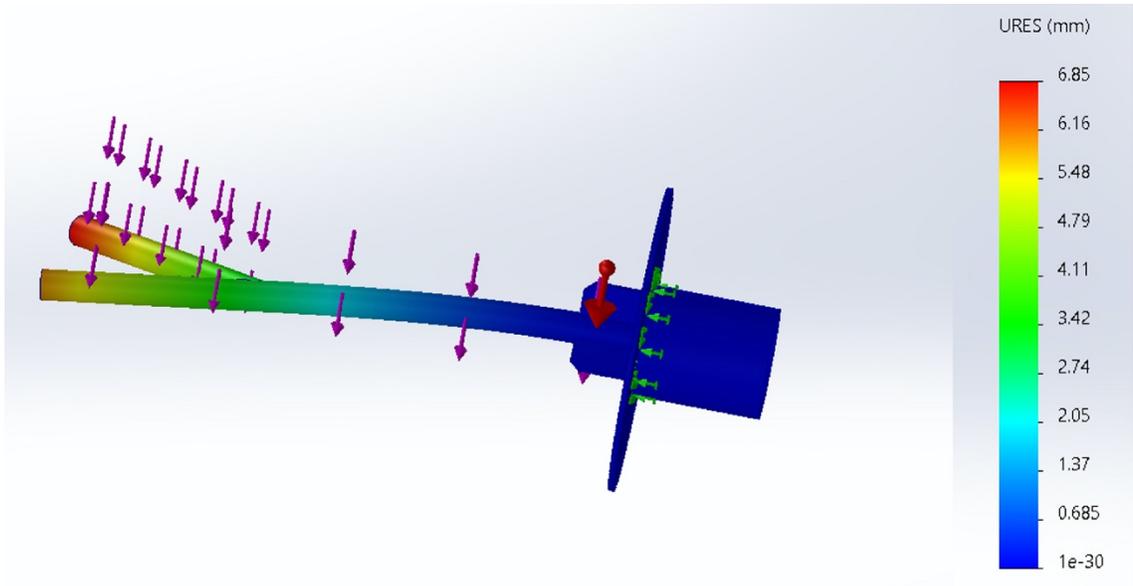
Análisis de factor de seguridad de Rama 2a-1.



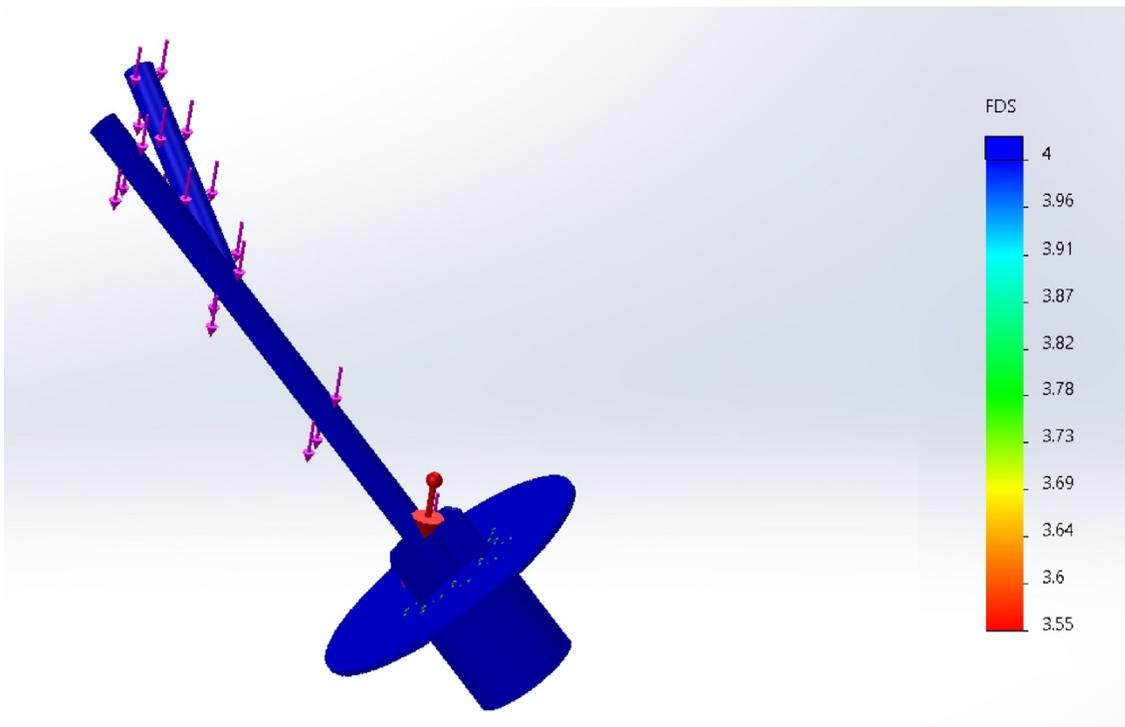
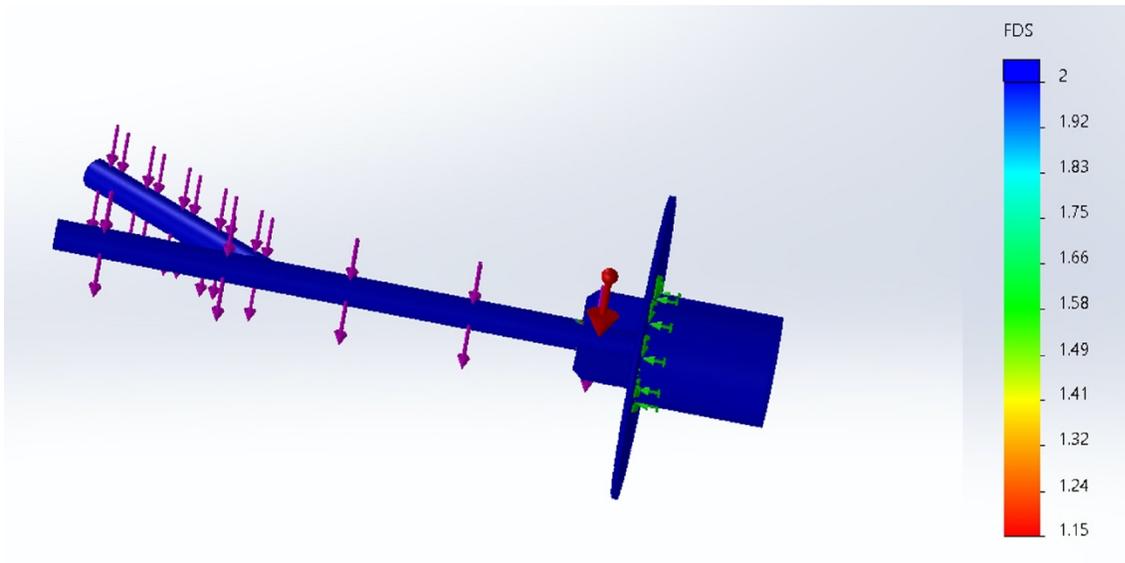
Análisis de tensión de Von Mises de Rama 2a-2.



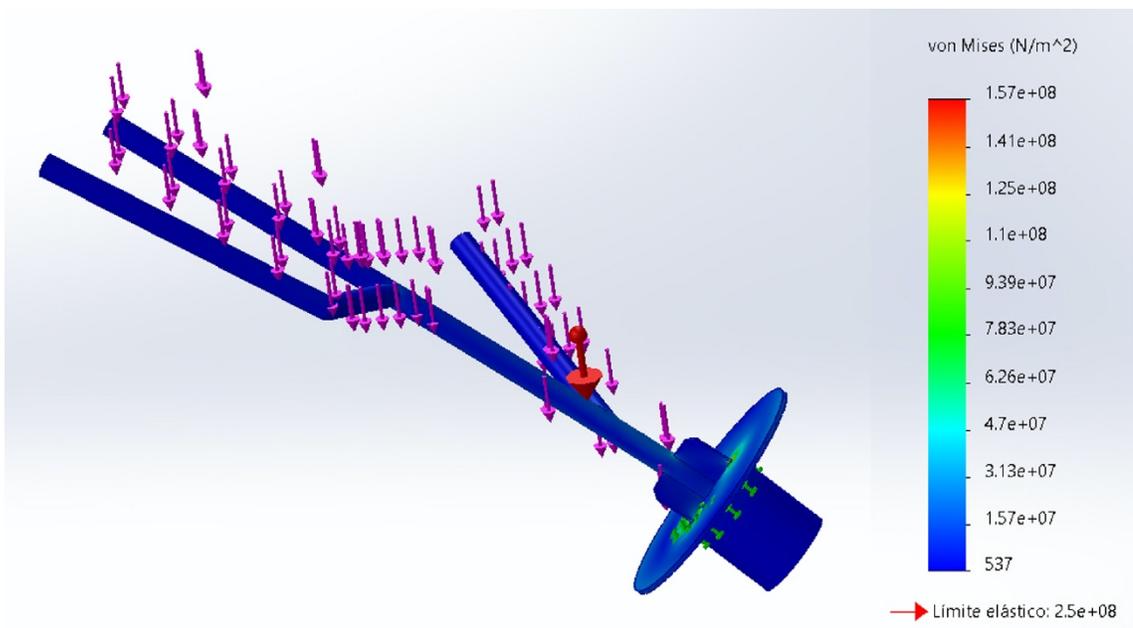
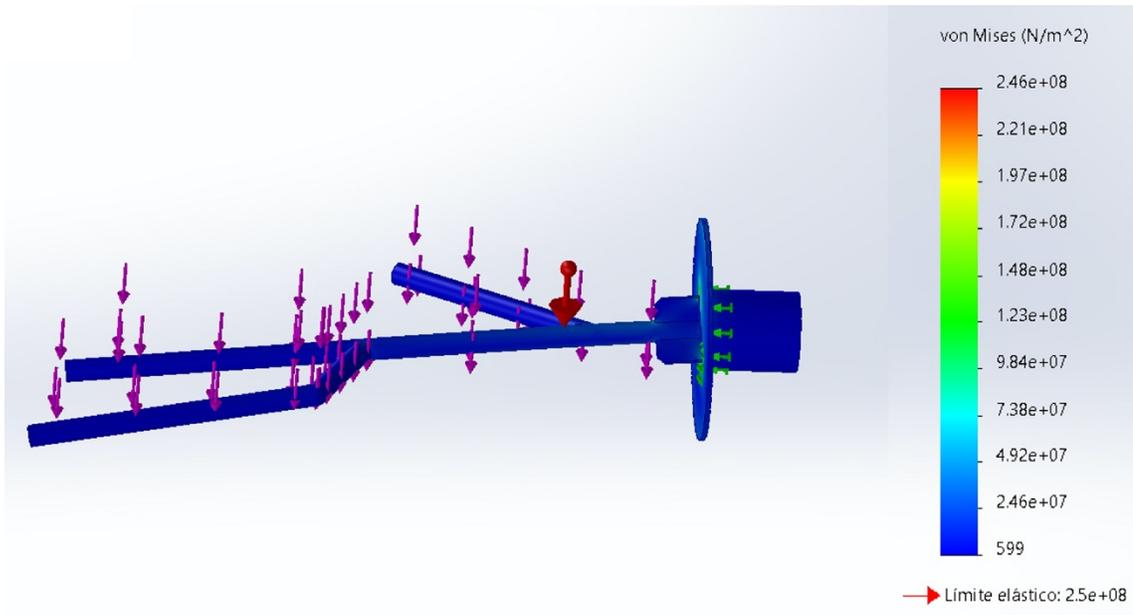
Análisis de desplazamientos de Rama 2a-2.



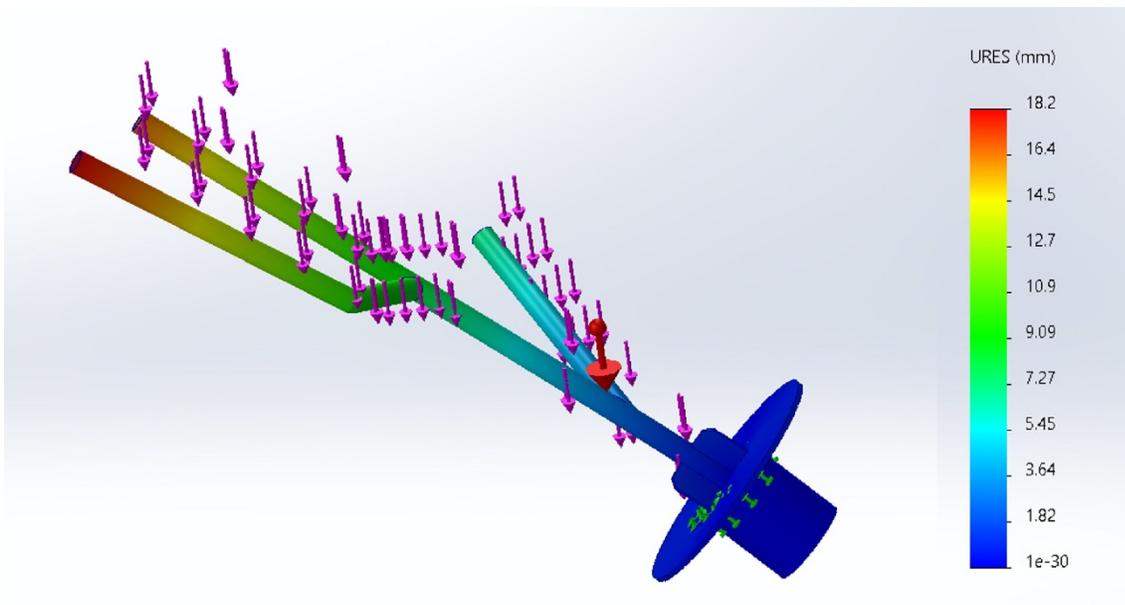
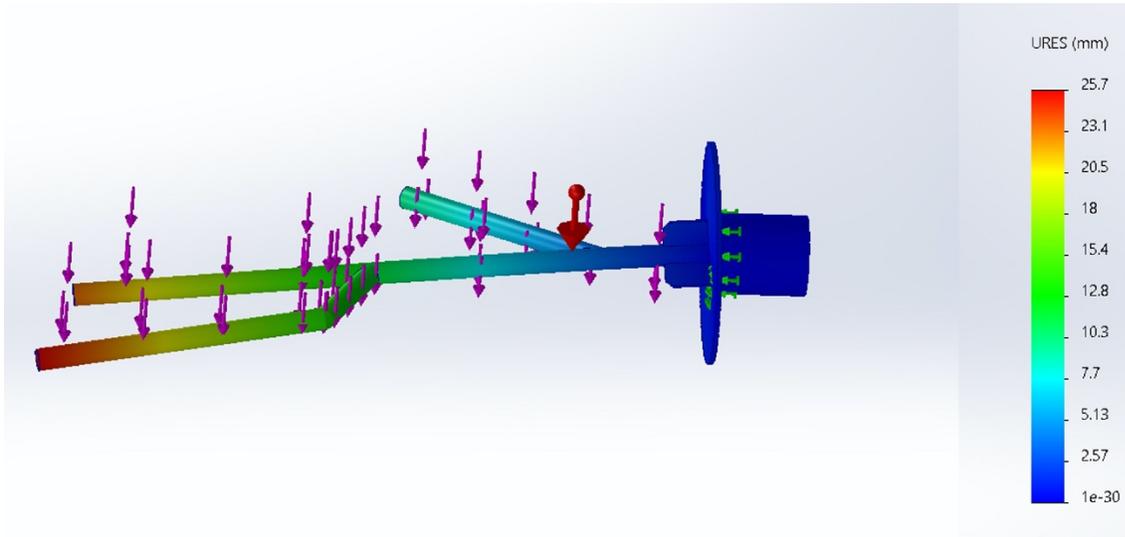
Análisis de factor de seguridad de Rama 2a-2.



Análisis de tensión de Von Mises de Rama 2a-3.



Análisis de desplazamientos de Rama 2a-3.



Análisis de factor de seguridad de Rama 2a-3.

