



Universidad Nacional  
Autónoma de México  
Facultad de Arquitectura

# TEATRO ITINERANTE

Proyecto arquitectónico de un  
teatro itinerante con cubierta  
neumática en Tlayacapan,  
Morelos, México

## Director de tesis:

Arq. Esp. D.C.L. Marcos Javier Ontiveros Hernández

## Sinodales:

Arq. Mariano del Cueto Ruiz-Funes

Arq. Jorge Galaviz Hernández

Tesis que para obtener el título de  
**Arquitecta** presenta:

Maria Ilwikal Verhulst Babb

Ciudad Universitaria, CDMX,  
diciembre 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



# Resumen

---

En el presente trabajo se realiza una investigación acerca de las condiciones del arte escénico en México para plantear el diseño arquitectónico de un teatro itinerante y así acercar la cultura a la población. Este diseño se generó a partir del análisis de las características necesarias para un teatro en la actualidad y de la investigación de diferentes sistemas adaptables para transportar el total del edificio. Dentro de estos se profundizó en el sistema neumático para proponer una cubierta que protegiera el espacio interior y ayudara al acondicionamiento acústico del recinto. El proyecto generado cuenta con un espacio adecuado para que los artistas muestren sus propuestas y proyectos sobre un escenario equipado con maquinaria e iluminación y con espacios para su preparación. De igual manera se logra que los espectadores disfruten tanto visualmente como auditivamente de la función al cuidar el diseño de la isóptica y de las condiciones acústicas del recinto. Este diseño puede ayudar a aumentar la oferta de eventos culturales para la población mejorando así su bienestar y ayudando a la formación completa de los individuos.



---

Agradezco a mis padres Kathy y Yup por todo su apoyo. A Gus, Abraham y Rox por todas las risas y ánimos brindados y por haberme acompañado en la realización de este trabajo. Al doctor Juan G. Oliva y al Laboratorio de Estructuras Ligeras de la Facultad de Arquitectura de la UNAM por la sabiduría, experiencia y por mostrarme las puertas del asombroso mundo de las estructuras ligeras. Y a mis asesores; Arq. Mariano del Cueto, Arq. Jorge Galaviz y Arq. ECL. Marcos Ontiveros por haber compartido conmigo su amplia experiencia y conocimientos que me sirvieron como base y guía para este trabajo.

Gracias.

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IG400517 “Diseño y construcción de estructuras ligeras hacia una arquitectura e ingeniería sustentables”. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.



# Índice

---

# Tabla de contenidos

<b>Introducción</b>	<b>3</b>
Problemática	8
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Hipótesis	11
Metodología	11
<b>El Teatro</b>	<b>13</b>
Antecedentes históricos	14
El teatro en México	20
Partes que conforman el teatro	25
Diseño del auditorio	28
Diseño acústico	33
Diseño del escenario	37
<b>Estructuras adaptables</b>	<b>43</b>
Definición	44
Antecedentes históricos	45
Clasificación de sistemas convertibles	48
<b>Estructuras neumáticas</b>	<b>51</b>
Definición	52
Antecedentes históricos	52
Clasificación	56
Búsqueda formal (Form finding)	61
Criterios constructivos	62
<b>Casos de estudio</b>	<b>67</b>
Emilio Pérez Piñero: Teatro Ambulante	68

Tadao Ando: Karaza Theater	70
Arata Isozaki&Anish Kapoor: Ark Nova	72

---

## **Teatro itinerante 75**

Descripción del proyecto	76
Relación de espacios y necesidades	78
Diseño del auditorio	80
Diseño del escenario	84
Diseño del vestíbulo	86
Diseño del camerino	87
Sistema constructivo de la cubierta	88
Búsqueda formal del sistema neumático	90
Cubierta neumática	93
Diseño acústico del auditorio	98
Ventilación	100
Sistemas de conexión	100
Análisis de armadura principal	104
Proceso de montaje	106
Sitio de montaje: Tlayacapan	108

---

## **Conclusiones 111**

---

## **Referencias 117**

Fuentes consultadas	118
Créditos de imágenes	120

---

## **Anexos 127**

Láminas de presentación	128
Planos arquitectónicos	130
Plano de montaje	137
Cortes por fachada	138
Detalles constructivos	140
Planos de instalaciones	145



---

# Introducción

---

El presente trabajo se realizó con el fin de generar una propuesta arquitectónica de un teatro itinerante para apoyar a la realización y difusión de las artes escénicas en México. Un teatro itinerante tiene la característica de poder montarse en un sitio específico y una vez terminada la función se pueda recoger y transportar a otro sitio o almacenarse para ser usado en otra ocasión.

La realización de este trabajo surge por el interés de proponer un teatro itinerante que apoye a disminuir la falta de espacios adecuados para la realización de las artes escénicas en México mejorando las condiciones en la que los artistas exponen su trabajo y aumentando la oferta de artes escénicas que puede consumir la población.

A lo largo de mi vida he tenido la oportunidad de participar en diferentes grupos de danza y de música que me han permitido conocer la situación de diferentes escenarios, desde teatros importantes como la Sala Miguel Covarrubias hasta espacios improvisados para dar espectáculos. Con estas experiencias he tenido la oportunidad de conocer los edificios teatrales desde la puerta de artistas hasta el vestíbulo de acceso para los espectadores. Esto generó en mi un gran interés para realizar este trabajo y de igual manera, de proponer un espacio adecuado en donde los artistas puedan dar a conocer su arte de manera digna y cómoda.

Además de las experiencias propias fue necesario realizar, en primer lugar, una investigación bibliográfica acerca de las características de los teatros para plantear un teatro de tamaño y características adecuadas para la situación actual en México. En segundo lugar, se investigó acerca de los diferentes sistemas estructurales adaptables, ligeros y transportables existentes para utilizar el más adecuado para la construcción del teatro. Por último, se realizaron una serie de propuestas arquitectónicas, tanto en planos como en modelos tridimensionales, para llegar a la mejor opción para el diseño arquitectónico.

En el primer capítulo se estudia la evolución de los teatros desde los griegos hasta la actualidad para comprender cómo las características de este edificio se han transformado en la historia. De igual manera se revisan los cambios que han ocurrido en los edificios teatrales en México para comprender su importancia en la actualidad. Posteriormente se describen las características de

cada uno de los espacios que conforman el edificio teatral y las condiciones de diseño que se deben de tomar en cuenta como la acústica, isóptica y maquinaria teatral.

El segundo capítulo se compone por una recopilación de sistemas adaptables ligeros existentes, el cómo se conforman, sus características y su clasificación. También se aborda el proceso histórico de estos sistemas y cómo han evolucionado desde el uso de las sombrillas para el sol hasta los mecanismos más complejos utilizados actualmente en la industria de la construcción.

En el tercer capítulo se abordan los sistemas neumáticos empezando con su definición y su desarrollo histórico. Se analiza su clasificación partiendo de cómo funciona la membrana y la teoría para la búsqueda de la forma de este sistema, junto con las



Fig.1.Kiosco Zócalo Capitalino

combinaciones morfológicas existentes. También se estudian los criterios constructivos como las uniones del patronaje, los anclajes y la inyección del aire necesario para soportar la membrana.

El cuarto capítulo es el estudio de tres casos de teatros itinerantes para comprender el sistema constructivo que se utilizó en cada caso, las complicaciones que tienen cada uno de estos y entender tanto las ventajas como desventajas de las propuestas. Con esto fue posible tomar mejores decisiones al momento de desarrollar la propuesta arquitectónica.

El quinto y último capítulo aborda el desarrollo completo del edificio teatral, desde la relación de los espacios y el planteamiento formal y arquitectónico de la propuesta, hasta los aspectos constructivos de la cubierta como los puntos de anclaje y el montaje de todos los elementos que conforman el recinto.

A partir del análisis de la información obtenida se generó el proyecto arquitectónico de un teatro para 160 espectadores y un escenario apto para recibir hasta diez artistas al mismo tiempo. Este espacio cuenta con:

- Una zona de camerinos donde los artistas pueden prepararse antes del espectáculo y guardar sus pertenencias.
- Un escenario con tramoya para generar una caja negra, colocar escenografía, luminarias y sistemas de sonido.
- Un auditorio con isóptica y gradas, con butacas y paredes que difunden el sonido al interior del recinto.
- Un vestíbulo que permite una transición lumínica y auditiva desde el exterior hasta el interior del auditorio permitiendo a los espectadores protegerse del sol y la lluvia y adquirir mercancía oficial.
- Una zona de servicios donde la gente puede adquirir comidas y bebidas, al igual que hacer uso de los servicios sanitarios.

Estas zonas se cubren con una membrana neumática que protege y aísla el espacio del exterior, además de que internamente esta cubierta funciona como una serie de difusores acústicos en la parte del auditorio. Las dimensiones de este edificio son de 20 x 31 m lo que permite que se coloque en sitios cercanos a la población como plazas públicas o campos deportivos.

Este proyecto se realizó buscando que los elementos tuvieran más de una función, de esta manera los armaduras principales sirven para evitar accidentes si la cubierta se llega a romper y también funcionan para generar las separaciones internas del espacio y

soportar las luminarias necesarias. De igual manera la neumática no solo cubre el espacio, sino que apoya al acondicionamiento acústico del recinto. Se buscó simplificar y sintetizar los componentes del teatro para facilitar tanto su transporte como su montaje.

Los parámetros tomados en cuenta para la realización de este proyecto concluyen en el diseño de un teatro itinerante que toma en cuenta las necesidades tanto de artistas como de espectadores, que ayudará a la promoción del trabajo de los artistas mexicanos y acercará las artes escénicas a la población en diferentes puntos de la nación.



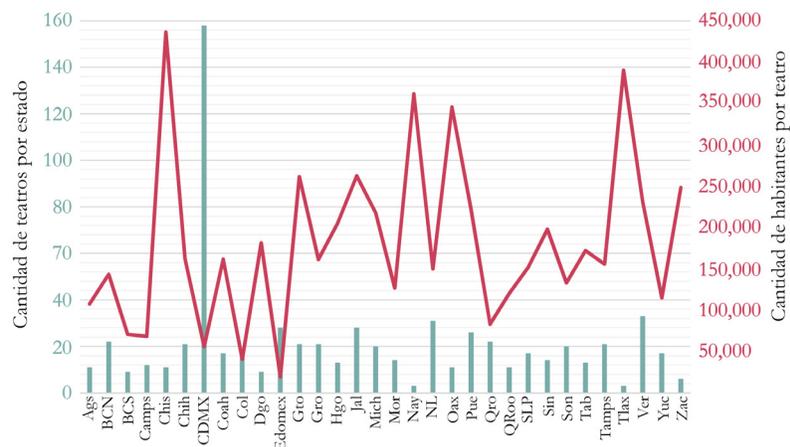
Fig.2. Músicos en calle 16 de Septiembre

## Problemática

Toda persona tiene el derecho fundamental a participar en actividades culturales y gozar de las artes.<sup>1</sup> La cultura es un elemento fundamental en los procesos de desarrollo de las personas<sup>2</sup> y por ello es necesario que el estado cuente con los organismos e infraestructura necesaria para garantizar este derecho. Dentro de las actividades culturales se encuentran eventos como las obras de teatro, conciertos de música en vivo y espectáculos de danza, que son las actividades de interés para este trabajo.

Según el Sistema de Información Cultural de México<sup>3</sup> (2019), existen un total de 679 teatros en la nación, de los cuales 158 se encuentran en la Ciudad de México. De igual manera se reportan 165,444 habitantes por teatro a nivel nacional. En la *Gráfica 1* se aprecia la relación existente entre la cantidad de teatros que existen en cada estado y los habitantes existentes por teatro.

En la siguiente gráfica se observa:



Gráfica.1. Teatros por estado y habitantes por teatro

- La mayoría de los estados cuentan con menos de 20 teatros.
- La CDMX es el estado con mayor cantidad de teatros mostrando una centralización de la infraestructura.
- Chiapas cuenta con la mayor cantidad de habitantes por teatro, mostrando una falta de teatros.

<sup>1</sup>Artículo 27, Declaración de los derechos humanos, <https://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights/>

<sup>2</sup>Derechos culturales, cultura y desarrollo, Que son los derechos culturales en: <https://culturalrights.net/es/principal.php?c=1>

<sup>3</sup>Datos tomados de: “Mapa Teatros, Cantidad de Recursos por Alcance”, Sistema de Información Cultural México, en: <https://sic.cultura.gob.mx/index.php?table=teatro> consultado (25/01/2020)

- El Estado de México cuenta con la menor cantidad de habitantes por teatro, mostrando una cantidad suficiente de teatros.

Con esta información se puede concluir que la mayoría de los estados no cuenta con la infraestructura de espacios escénicos suficiente para cubrir la demanda de cultura de la población existente.

Asistencia a eventos culturales



Gráfica.2. Asistencia a eventos culturales

Por otro lado el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realiza la *Encuesta Nacional de Hábitos, Prácticas y Consumo Culturales*<sup>4</sup>, mediante el Módulo de eventos culturales seleccionados (MODECULT), donde recauda información acerca de la asistencia a obras de teatro, conciertos de música en vivo, espectáculos de danza, exposiciones y proyecciones de películas. En la encuesta generada en el año 2019<sup>5</sup> se obtuvo que el 57.8% de la población mayor a 18 años asistió a algún evento cultural. Esto muestra una disminución en relación con el 64.0% alcanzado en el 2016. En esta encuesta también se muestra que el 43% de la población asistió al cine, 23% a conciertos de música en vivo y cerca de un 20% asistió a obras de teatro y espectáculos de danza, como se muestra en la Gráfica 2. *Asistencia a eventos culturales*.

Relacionado con este trabajo queda en claro que el teatro y la danza son los eventos con menor asistencia. Esto, aunado a la distribución y cantidad de los teatros existentes en la nación nos ayuda a comprender que es necesario fomentar estos espacios para generar un mayor interés por parte de la población y brindarles los espacios necesarios para cubrir la demanda de cultura.

Es necesario aumentar el apoyo a la cultura y la infraestructura cultural de la nación ya que la asistencia a espectáculos y el constante contacto con el arte y la cultura ayudan a la formación y al bienestar de las personas<sup>6</sup>. Además de que se generan nuevas formas de convivencia comunitaria<sup>7</sup> alejando a niños y jóvenes de situaciones de violencia y disminuyéndola. Esto sucede ya que a través de los diferentes espectáculos las personas pueden mejorar su educación, adquirir sensibilización emocional y fomentar el respeto a la vida digna ,disminuyendo así la discriminación, el racismo y la violencia en general.

<sup>4</sup>Encuesta Nacional de Hábitos, Prácticas y Consumo culturales, Secretaría de Cultura, 2010, en: [https://www.cultura.gob.mx/encuesta\\_nacional/#.Xixqa2gzaUk](https://www.cultura.gob.mx/encuesta_nacional/#.Xixqa2gzaUk)

<sup>5</sup>Resultados del módulo de eventos culturales seleccionados (MODECULT), INEGI, 2019, en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/EstSociodemodemocult2019\\_07.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/EstSociodemodemocult2019_07.pdf)

<sup>6</sup>Calderón, Diego, Martín Carol, et al. , 2017, “La influencia de las Artes como motor de bienestar: un estudio exploratorio” en: <https://revistas.ucm.es/index.php/ARIS/article/view/56350>

<sup>7</sup>Ms en Excélsior, “Urge inundar de cultura al país”, en: <http://mexicosocial.org/urge-inundar-de-cultura-al-pais-e-impulsar-eventos-culturales/>

Para cubrir la demanda cultural actual se suelen utilizar escenarios al aire libre, o plataformas que se instalan en plazas públicas invitando al transeúnte a quedarse un momento a observar la escena, o como en el caso de los artistas callejeros que en diferentes calles buscan dar a conocer su arte. También existen compañías que recorren la nación presentándose en teatros que en muchas ocasiones no cuentan con las características necesarias para el correcto desarrollo del espectáculo. Todo esto presenta una problemática para la difusión y realización de los espectáculos.

Dentro de los problemas más comunes de estos escenarios al aire libre se encuentra el hecho de que muchas veces el espectador no tiene donde sentarse, o protegerse del sol, viento y la lluvia, provocando que no se quede a observar el total del espectáculo. Por otro lado los artistas no suelen contar con un espacio adecuado para prepararse o guardar sus objetos antes de subir al escenario lo que les puede generar problemas y verse afectados. Si bien hay artistas que aseguran que un espacio en el piso es todo lo que necesitan para dar a conocer su arte, el espectáculo y los artistas se pueden ver beneficiados al contar con instalaciones adecuadas a este objetivo.

El trabajo presente busca atacar los problemas antes planteados al generar un proyecto arquitectónico de un teatro itinerante que lleve la cultura a la población y cubra la demanda de los artistas por espacios adecuados para la realización y la difusión de su arte. Este proyecto permitiría organizar festivales artísticos donde más de una agrupación muestre su trabajo y se transporte a los diferentes estados ampliando la oferta cultural y llegando a más espectadores.



Fig.4. Músicos en Av. Juárez



Fig.3. Escenario Derechos laborales, Alameda Central

## Objetivo general

- Acercar la cultura a la población mexicana para complementar y mejorar la formación de las personas mediante la propuesta de un espacio adecuado para la realización y difusión de las artes escénicas.

## Objetivos específicos

- Determinar las características adecuadas de un espacio escénico para su correcta construcción mediante una investigación bibliográfica y el análisis de diferentes teatros.
- Generar un proyecto arquitectónico para disminuir la falta de difusión de las artes escénicas en México mediante la realización de planos y modelos tridimensionales que reflejen la investigación realizada.
- Proponer un teatro móvil para llevar la cultura a diferentes puntos de la nación mediante el uso de sistemas estructurales convertibles y móviles.

## Hipótesis

- La construcción de un espacio teatral desarmable y transportable ayudará a la difusión de las artes escénicas en México.
- La inversión necesaria para la construcción de este espacio es menor a la necesaria para la construcción de un teatro fijo, dándole viabilidad sostenible y constructiva.
- El uso de sistemas estructurales adaptables permite el almacenamiento, transporte, montaje y desmontaje de todos los elementos que conforman el teatro.
- El uso de un sistema neumático para la cubierta del teatro permitirá proteger el espacio interno del sol, viento, la lluvia y posibilitará el acondicionamiento acústico del auditorio.

## Metodología

- Se realizará una investigación bibliográfica acerca de las características de los edificios teatrales para definir un programa arquitectónico y las cualidades necesarias para cada espacio.
- Se realizará una investigación bibliográfica sobre sistemas adaptables para determinar el más adecuado para cubrir y transportar el total del edificio. De igual manera se investigarán las características de este sistema y su método constructivo.
- Se analizarán casos de estudio de teatros itinerantes para observar soluciones ya dadas a problemas similares.
- Se generará una propuesta arquitectónica constituida por planos y modelos tridimensionales.



# El Teatro

---

¿Va usted a menudo a la ópera? Imagínese que esta noche va a la ópera por mí, a la inauguración del festival con *El oro del Rin*. Más de dos mil personas con vestidos largos y trajes oscuros. ... Las puertas se cierran con suavidad, la araña se eleva, las luces se apagan, todo es perfume y expectación. ... Aparece Giulini. ... Levanta los brazos, busca el contacto con la mirada del primer violín, asiente con la cabeza, otra mirada, la última tos. Y (es) entonces, en este momento sublime en que la ópera se convierte en un universo y el momento en el origen del universo ...

-Patrick Süskin, 1986

01

## Antecedentes históricos

Desde su comienzo la humanidad ha realizado diferentes rituales que involucran el movimiento corporal, sonidos rítmicos y vocalizaciones. En un principio todo esto se juntaba en una ceremonia ritual para pedir por comida y buena caza. Estos rituales se realizaban en sitios naturales como cuevas, bosques o planicies y fueron evolucionando junto con la humanidad especificándose de acuerdo a las diferentes creencias. Estos actos se han transformado provocando que los griegos delimitaran y construyeran sitios específicos y se preocuparan por la producción de los espectáculos desde la vestimenta y máscaras para amplificar la voz, hasta maquinaria teatral. En este trabajo se analizan las características generales del cómo eran los edificios donde estas presentaciones se realizaban basándose en la literatura generada por Oliva y Torres<sup>1</sup> y Wickham<sup>2</sup>.

### TEATRO EN GRECIA 550 A.C. - 220 A.C.

Las primeras representaciones teatrales se realizaban al aire libre sin ningún tipo de construcción, esto fue cambiando a lo largo del tiempo pasando por teatros construidos con madera a construcciones de piedra que se ubicaban en la confluencia de dos colinas para situar el theatron (lugar para ver)<sup>3</sup>. En la parte baja de las colinas se situaba la orquesta de forma circular donde se colocaban los actores y el coro. El auditorio rodeaba tres cuartas partes de la orquesta y se enfrentaba con un edificio destinado para las habitaciones de los actores y la maquinaria teatral.

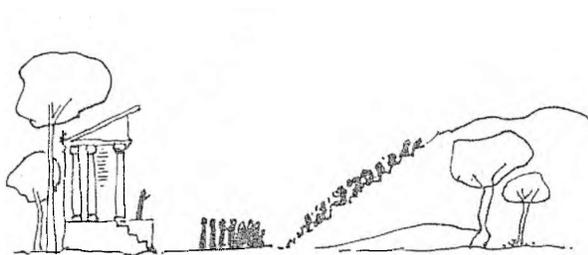


Fig.1.1. Teatros griegos

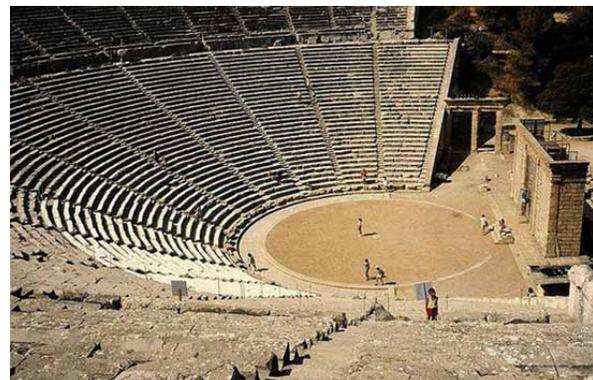


Fig.1.2. Teatro Epidauro, Policeto el Joven, Peloponeso, Grecia, siglo IV a.c.

<sup>1</sup>Oliva, César; Torres, Francisco, 1992, *Historia básica del arte escénico*, España, Ediciones Cátedra, S.A., pp 10-216

<sup>2</sup>Wickham, Glynne, *A history of the theatre*, 1992, Phaidon Press Limited, pp 14-325

<sup>3</sup>Olivia, C., Torre, F., *Historia del arte escénico*, Madrid, Ediciones Cátedra, 1944, p. 12

## TEATRO EN ROMA

27 A.C. - 427 D.C.

En sus comienzos el teatro romano no tenía un edificio como tal, sino que las representaciones se llevaban a cabo sobre estructuras de madera. Posteriormente estas estructuras se construyeron con piedra para dar lugar a los anfiteatros donde el público se situaba alrededor de una arena. El ingenio de los romanos les permitió hacer uso de maquinaria teatral para modificar el escenario, inundarlo, hacer volar a los actores o girar la escena. Actualmente se siguen utilizando los mecanismos inventados en esa época cambiando únicamente los materiales de la maquinaria.

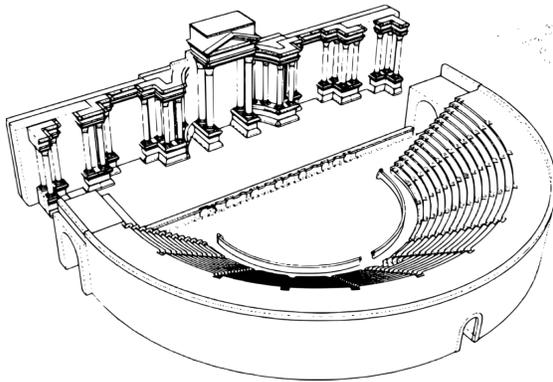


Fig.1.3. Teatro romano

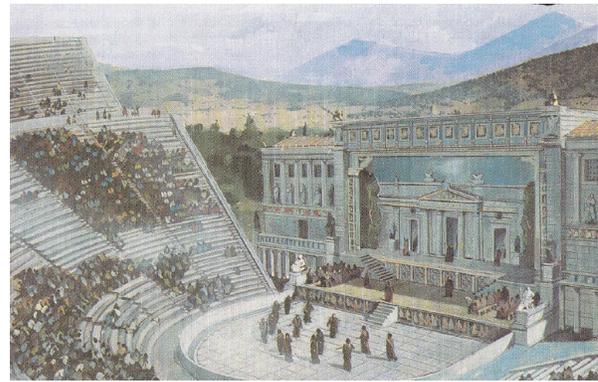


Fig.1.4. Teatro de Pompeyo, Campo Marte, Roma, Italia, 55 a.c.

## TEATRO EN LA EDAD MEDIA

476 D.C - 1453

En esta época las representaciones se llevaban a cabo al interior de las iglesias, pero por la necesidad de un mayor espacio para el público y decoraciones, la representación se movió al acceso del templo. Posteriormente estas representaciones se llevaron a otros sitios como plazas, calles y cementerios. Para lograr la movilidad de las representaciones se construyeron estructuras transportables de madera conocidas como los “carros de comedia”. Cada carro recibía el nombre de mansión, la cual representaba una escena específica y altamente decorada. Los carros de comedia se alineaban dejando un espacio entre ellas que era utilizado por los actores durante las presentaciones. Las representaciones se hacían en silencio mientras un orador recitaba las escenas narrando en su mayoría temas religiosos y algunas comedias.

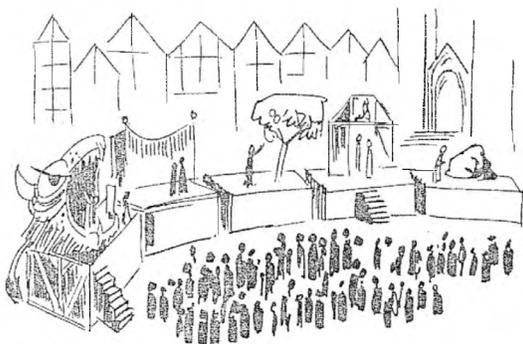


Fig.1.5. Carros de comedia



Fig.1.6. Representación de los Tres Reyes Magos, Castilla, España, siglo XII

## INGLATERRA Y EL TEATRO ISABELINO

1578 - 1642

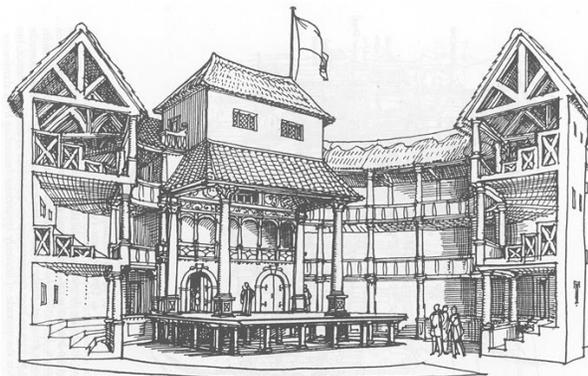


Fig.1.7. Teatro isabelino

Durante el gobierno de la reina Isabel se construyeron decenas de teatros permanentes con madera, ladrillo y techos de paja que contaban con una planta poligonal. El público se situaba de pie en un patio frente al escenario o bien sobre los dos o tres niveles de galerías situadas a los lados. El teatro Isabelino se desarrollaba con grandes presentaciones y elementos escenográficos que representaban la vida diaria de la monarquía. El mayor exponente del teatro Isabelino fue William Sheakespeare.



Fig.1.8. Shakespeare's Globe Theater, compañía de Shakespeare, Londres, Inglaterra, 1599

## ESPAÑA Y EL SIGLO DE ORO

1492 - 1681

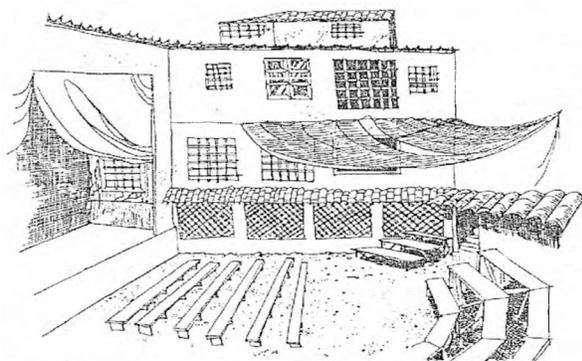


Fig.1.9. Corrales de comedia

En España las presentaciones comienzan a desarrollarse en los patios de las casas que tenían la función de corrales para el ganado, de aquí el nombre de "corral de comedia". Esta condición impedía el montaje de elementos teatrales complicados como escenografía e iluminación. Por esta razón se dependía de la luz natural y de la hora de la puesta de sol como determinante temporal. Las casas de alrededor del patio rentaban sus cuartos ya que funcionaban como palcos desde donde se observaba el escenario. En el suelo se colocaban las gradas en forma de semicírculo dejando un espacio enfrente del escenario de madera para dar cabida a espectadores de pie. El espacio se cubría con lonas para proteger al público de la intemperie.

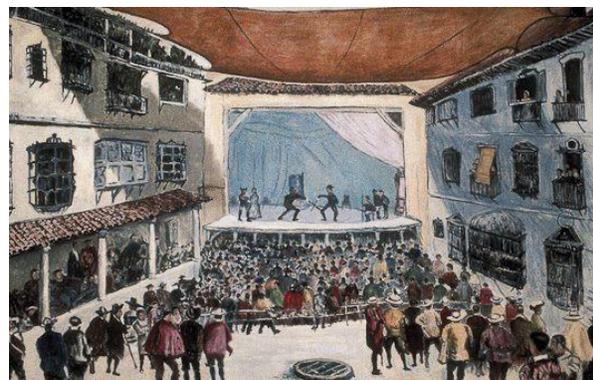


Fig.1.10. Teatro de Cervantes, Sevilla, España, 1615

## FRANCIA Y EL TEATRO CLÁSICO

1628 - 1685

En Francia las representaciones se desarrollaban en las salas de juego de pelota de los palacios. El público, principalmente hombres, se colocaban de pie en un patio enfrente del escenario. A partir de 1640 las mujeres comenzaron a frecuentar el teatro y se colocaban en las galerías y los palcos situados a los laterales. En el escenario la decoración se utilizaba para representar el sitio donde tomaba lugar la escena, la necesidad de representar diferentes lugares llevó a la utilización de la tramoya y la maquinaria teatral para poder cambiar los elementos escenográficos. Posteriormente, el asistir al teatro se volvió un acto social en donde los aristócratas y la monarquía podían ser observados por la sociedad. Esto llevó a mejorar el vestíbulo de acceso y los palcos enfrentados que, como sucedía en las salas de juego, se colocaban perpendicularmente con respecto al escenario.

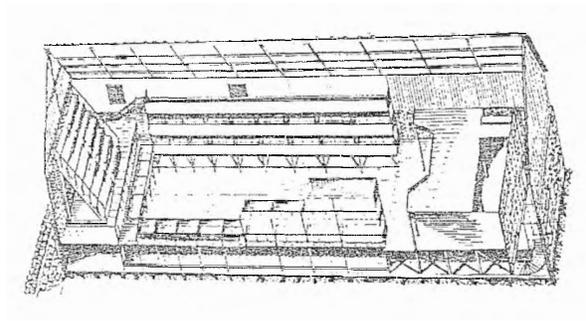


Fig.1.11. Teatro frances



Fig.1.12. Teatro Palais-Cardinal, Jacques Lemercier, Paris, Francia, 1641

## TEATRO NEOCLÁSICO

1606 - 1700

Los primeros teatros de la época se desarrollaban dentro de los palacios tratando de imitar a los teatros romanos. Posteriormente se construyeron edificios únicamente para hospedar a los teatros con un escenario rectangular y una gradería que se abre desde el escenario. Una aportación importante en estos teatros fue el uso de la perspectiva en los escenarios para dar la ilusión de realidad al espacio representado. Esto se complementaba con el uso de telones pintados a mano y escenarios inclinados para controlar la visual. El deseo de cambiar los elementos decorativos llevó al desarrollo de un espacio de tramoya para poder manipular la maquinaria teatral y a la búsqueda constante para mejorar las técnicas de la misma.

El teatro Olímpico de Vicenza, inaugurado en 1585 se considera como el primer teatro de sala permanente. Se construyó dentro de un edificio romano y ubica la gradería en curva frente a un escenario inclinado que juega con la perspectiva. Este tipo de configuración dentro de la sala, conocido como teatro Milán, sigue siendo utilizado en la actualidad con modificaciones como el uso de luz eléctrica, ciclorama, telones y la variación del espacio escénico.

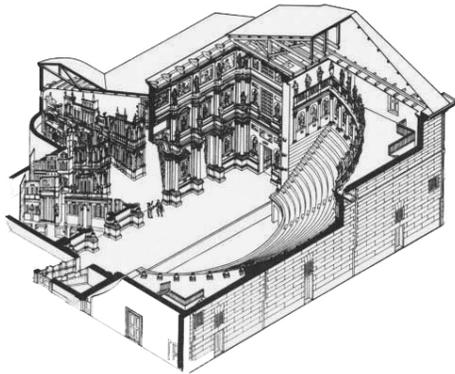


Fig.1.13. Teatro neoclásico



Fig.1.14. Teatro Olímpico de Vicenza, Andrea Palladio, Vicenza, Italia, 1585

## TEATRO DE BAYREUTH

Siguiendo el formato de “teatro Milán” Richard Wagner en 1876 cambió la concepción de cómo se debían construir los teatros<sup>4</sup>. Wagner fue un músico que consideraba a la ópera como el arte absoluto, ya que sintetizaba las artes poéticas, visuales, musicales y escénicas. Sus ideales lo llevaron a construir un espacio óptimo para la presentación de sus obras en Bayreuth, Alemania, con el apoyo del rey Luis II de Baviera.

Este teatro fue innovador en varios aspectos. Para comenzar el auditorio se realizó democráticamente colocando el piso de las butacas de manera inclinada y en herradura para que todos tuvieran una buena visión del escenario., con la excepción de tres pequeños palcos colocados en la inauguración para el rey. Wagner también deseaba que los espectadores se concentraran en sus óperas y no en la gente que asistía a verlas, por esta razón elimina los pasillos en el auditorio, obligando a los espectadores a sentarse en su sitio una vez que se haya ingresado a la sala, y apaga la luz de la sala durante la función para que el público solo vea el escenario. De igual manera coloca a la orquesta abajo del escenario en un foso donde solo el director es capaz de observar lo que sucede en el escenario. Y para impedir que el público se

<sup>4</sup>ANM, “Wagner y el teatro de Bayreuth” en Asignatura de Historia de la Música, Villena, 2013, en: <http://amayahistoriadela musica.blogspot.com/2015/02/wagner-y-el-teatro-de-bayreuth.html> (consultado 20/06/2019)

durmiera al estar cinco horas en una sala oscura, Wagner colocó asientos hechos de madera dura, sin cojines, ni descansa brazos y con un respaldo especialmente incómodo.

La mayoría de las características del teatro de Bayreuth son bien aceptadas y utilizadas actualmente, pero para su época fueron innovaciones que no todos aceptaron con buen agrado. Este teatro sigue funcionando en la actualidad y únicamente se representan las obras de Wagner respetando sus ideales originales.



Fig.1.15. Ilustración del Teatro de Bayreuth, Otto Brückwald, Bayreuth, Alemania, 1876

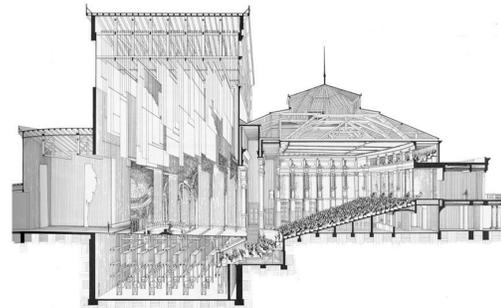


Fig.1.16. Corte del Teatro de Bayreuth, Otto Brückwald, Bayreuth, Alemania, 1876

**TEATRO EN LA ACTUALIDAD**  
**1975 - ACTUALIDAD**

Aunque el formato de “teatro Milán” es el acomodo más utilizado para la construcción de teatros, en la actualidad es necesario conocer que no es la única manera utilizada. La dramaturgia y el arte han buscado nuevas maneras de romper la cuarta pared<sup>5</sup> que genera la enfrentación de las gradas con el escenario. Por esta razón se han propuesto regresar a acomodos como el esquema de arena utilizado en Roma y romper con el frente del escenario colocando al público alrededor de la escena, o incluso dentro de ella.



Fig.1.17. Posiciones del teatro actual

<sup>5</sup> Pared imaginaria existente entre el actor y el espectador, normalmente ubicada en la parte frontal del escenario, la boca escena.

## El teatro en México

Las representaciones han estado unidas a la humanidad desde el comienzo de ésta, y México no es la excepción como lo demuestra Conde<sup>6</sup>. En la época prehispánica se realizaban representaciones con fines rituales en sitios ubicados en la naturaleza como en las cuevas, montañas y los ríos.

Después de la conquista española los evangelizadores utilizaron las representaciones teatrales como una manera de enseñar la religión a los nativos. Estas representaciones se realizaban al interior de las iglesias y posteriormente se realizaban recorriendo las calles surgiendo las procesiones y actos como la crucifixión de Cristo. El auge de estos actos se combinó con cantos, danzas y rituales prehispánicos, lo que llevó al Fray Juan de Zumárraga a expulsar las representaciones banales fuera del espacio de la iglesia.

Por el interés de la sociedad en seguir disfrutando de las representaciones teatrales se solicitó a la corona española establecer casas de comedia. Estas comenzaron siguiendo el formato de los corrales de comedia que se realizaban en España y tenían un fin comercial. Los tablados se improvisaban en los callejones y la gente asistía a observar las obras representadas. Los materiales que se utilizaban para estas construcciones no tenían una larga vida y los escenarios se perdían constantemente a causa del fuego y de las inundaciones.

Fue en 1683 cuando se solicitó y se construyó el primer espacio teatral, *El Coliseo*, ubicado entre las calles de Victoria, Dolores, Artículo 123 y San Juan de Letrán. Éste se estableció bajo el mayorazgo del Hospital Real de Naturas, también conocido como de Indios, con el fin de que el dinero recaudado en el teatro fuera destinado a los enfermos. El edificio se construyó sobre una cimentación de mampostería para evitar inundaciones y contaba con una cubierta textil que protegía a los espectadores. Estos se ubicaban en diferentes partes de las galerías dependiendo su género, su clase social y la casta a la que pertenecían. *El Coliseo* se incendió en 1722 generando la separación de los teatros de los hospitales para proteger a los enfermos. Esto permitió una mayor inversión e interés por parte de empresarios privados.

---

<sup>6</sup>Conde, Arton, *Teatros de México*, 1991, Banamex, México, 10-21 pp





Fig.1.19. Palacio de Bellas Artes

A pesar de esto se le encarga al arquitecto Adamo Boari en 1898 la construcción de un teatro para ópera, que era considerada la comunión de todas las artes, para la celebración del centenario de la independencia de México. Boari, con la intención de construir un teatro *art-nouvé* junto a escultores, pintores y diseñadores para comenzar la construcción de este teatro en 1905. Las obras continúan hasta 1910 cuando se detienen por la revolución mexicana.

Después del movimiento revolucionario muchos de los grandes teatros se dejan de utilizar, no se renuevan o son demolidos. Algunos terminan convirtiéndose en salas de cine como los teatros Colón, Esperanza Iris y Regis. En cambio, surge el teatro de “género chico” impulsado por un movimiento nacionalista que llega a tener mucha producción teatral de carácter nacional en todo el país.

En 1928 surge el interés de renovar el teatro mexicano y se logra gracias a personajes como Xavier Villaurrutia, Salvador Novo y Celestino Gorostiza y con pintores como Roberto Montenegro y Julio Castellanos. Al mismo tiempo la Secretaría de Educación promueve y le da difusión al repertorio nacional apoyando a la compañía “El Periquillo” para viajar por el país llevando escenarios portátiles realizados por Julio Castellanos y Diego Rivera.

En 1934 aumenta la actividad experimental en el teatro con un sentido vanguardista. También en este año se inauguró la obra inconclusa del arquitecto Adamo Boari, *El Palacio de Bellas Artes*. Los interiores de esta construcción los realizó el arquitecto Federico Mariscal con intenciones *art-decò* y de generar una reivindicación internacional de la estética indígena. Esto llevó a que en 1938 se declarara como el Teatro oficial de la República y se activara una política de promoción y consolidación de la cultura nacional llegando a organizar festivales artísticos que recorrieran toda la nación.

En 1947, después de una crisis teatral, Xavier Rojas lleva el repertorio teatral nacional con el *Teatro Juvenil Autónomo* a las calles con escenarios portátiles. También brinda la oportunidad para que diferentes grupos teatrales puedan experimentar las nuevas tendencias teatrales.

Entre 1960 y 1970 el Instituto Nacional de las Bellas Artes (INBA) promueve la construcción de teatros a nivel nacional en colaboración con el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Estos teatros contaban con la misma configuración, una planta libre para el auditorio, ya fuera con o sin graderías, una buena maquinaria teatral y espacios muy pobres para el servicio del escenario.

En el transcurso de la década surgen pequeñas salas teatrales que funcionan como laboratorios para que diferentes grupos teatrales puedan experimentar nuevas puestas en escena. Estos grupos no tenían acceso a salas oficiales, pero junto con algunos arquitectos empezaron a proponer nuevas formas de construir teatros cambiando la relación del escenario con el público.

La forma de construir teatros en México no ha cambiado mucho realmente, se siguen construyendo teatros que siguen el modelo de “Teatro Milán” y en muchas ocasiones estas construcciones responden a deseos comerciales y de taquilla. Aun así, existen espacios que permiten la experimentación escénica como el Centro Cultural Universitario realizado en 1976 por el ingeniero Francisco de Pablo Galán y el arquitecto Orso Núñez. Este espacio cuenta con diferentes salas para la puesta en escena de diferentes artes escénicas como teatro, teatro experimental, danza, música de cámara, música de orquesta y explanadas donde constantemente se presentan pequeñas compañías teatrales.



Fig.1.21. Teatro Juan Ruiz de Alarcón y Foro Sor Juana Inés de la Cruz

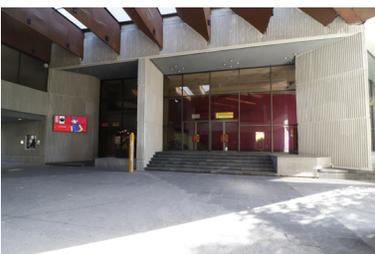


Fig.1.22. Sala Miguel Cobarrubias y Sala Carlos Chávez



Fig.1.20. Sala Nezahualcōyotl,

Actualmente los espectáculos escénicos no se realizan únicamente al interior de un edificio, sino que los artistas salen a la calle y a las plazas o van a escuelas, hospitales y cárceles para llegar a un mayor público. El repertorio de las obras presentadas incluyen tanto obras clásicas como obras experimentales que buscan que el espectador reflexione sobre un tema en específico. La realización de estos proyectos es posible por la participación de compañías independientes que, con mucho esfuerzo, logran montar sus obras contando con pocos estímulos económicos y, en muchas ocasiones, sin contar con un sitio adecuado para practicar y presentar su trabajo.

La situación se ve desfavorecida por la falta de espacios adecuados para la realización de los espectáculos, su centralización en la Ciudad de México, los recortes a programas para el apoyo, la creación y difusión de la cultura y las artes por parte del gobierno y la creciente competencia con otros medios de entretenimiento como el cine y las plataformas de *streaming*.

Lucina Jiménez<sup>8</sup>, ex directora del Centro Nacional de las Artes (Cenart) hace un énfasis continuo en que las artes escénicas ayudan a disminuir la violencia y apoyan el desarrollo completo de los individuos. Por esta razón es importante generar espacios para la creación y difusión de las artes escénicas para apoyar a los artistas mexicanos y aumentar el consumo de cultura artística en el país.



Fig.1.23. Representación estudiantil de “Esperando a Godot” en el Centro de Arte Dramático CADAC

<sup>8</sup>Peralta, Monserrat, 2018, “Rebeldía creativa y colectiva”, en: *El Universal*, en: <https://interactivo.eluniversal.com.mx/2018/arte-violencia/>

## Partes que conforman el teatro

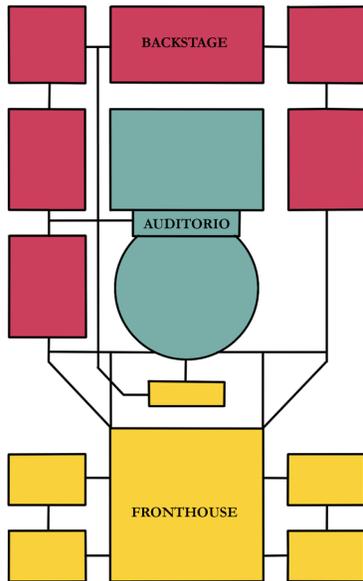


Fig.1.24. Partes del teatro

El escenario como tal es todo lugar en el cuál se pueda llevar a cabo una representación, pero a lo largo de la historia se han construido diferentes recintos que dan cabida a la representación y mejoran la calidad de la experiencia del público. El edificio teatral consiste entonces en una serie de elementos organizados en un complejo arquitectónico coherente. La escala de cada parte varía dependiendo del espectáculo que se vaya a realizar, pero sus características, función y relación de flujos entre los espacios se mantienen constantes.

Para comprender la composición del conjunto teatral, Strong<sup>9</sup>, diferencia tres zonas principales; el *fronthouse*, donde el público accede al edificio, el auditorio, que comprende el espacio que comparten la zona de butacas y el escenario y el *backstage*, donde los artistas se preparan para la función. En este trabajo se utilizará la palabra auditorio para definir la zona de butacas y el escenario como la plataforma en la que los actores realizan su presentación.

### F R O N T H O U S E (VESTÍBULO)

El vestíbulo, *fronthouse*, es el área pública del teatro. Es la entrada al edificio y genera un espacio de interacción social que atrae al transeúnte al recinto. Se configura por una parte pública que sirve de transición entre la escena urbana y el auditorio. Aquí la luz y el ruido van disminuyendo hasta conseguir los parámetros necesarios para la realización del espectáculo. En esta área también se encuentra una parte administrativa que coordina las funciones y el control del teatro.

En el vestíbulo se encuentran los siguientes espacios:

Áreas públicas	Áreas administrativas
Vestíbulo	Oficinas
Taquilla	Sanitarios
Puesto de venta de alimentos y mercancías	Bodega de alimentos y mercancías
Guardarropa	Bodega de limpieza
Sanitarios	Espacio para manejo de residuos
Espacios para actos informales	

<sup>9</sup>Strong, Judith, 2010, *Theater buildings a design guide*, Inglaterra, Association of British Theatre Technicians, 290 pp

Las circulaciones en este espacio deben de ser claras y amplias permitiendo a los asistentes fluir sin complicaciones durante el acceso y desalojo de la sala. De igual manera se diseña la iluminación, acústica, acabados y mobiliario para generar un ambiente de transición desde la calle hasta el escenario. Este debe ser un espacio agradable en el que los asistentes puedan estar de manera cómoda y funcional.

Por ejemplo el vestíbulo del Palacio de Bellas Artes cuenta con un restaurante, una librería, tienda y salas de museo. Cada uno de estos espacios le da vida al teatro en los horarios en los que no se lleva a cabo una función. Además, se generan ingresos extras para el mantenimiento y correcto funcionamiento del recinto.

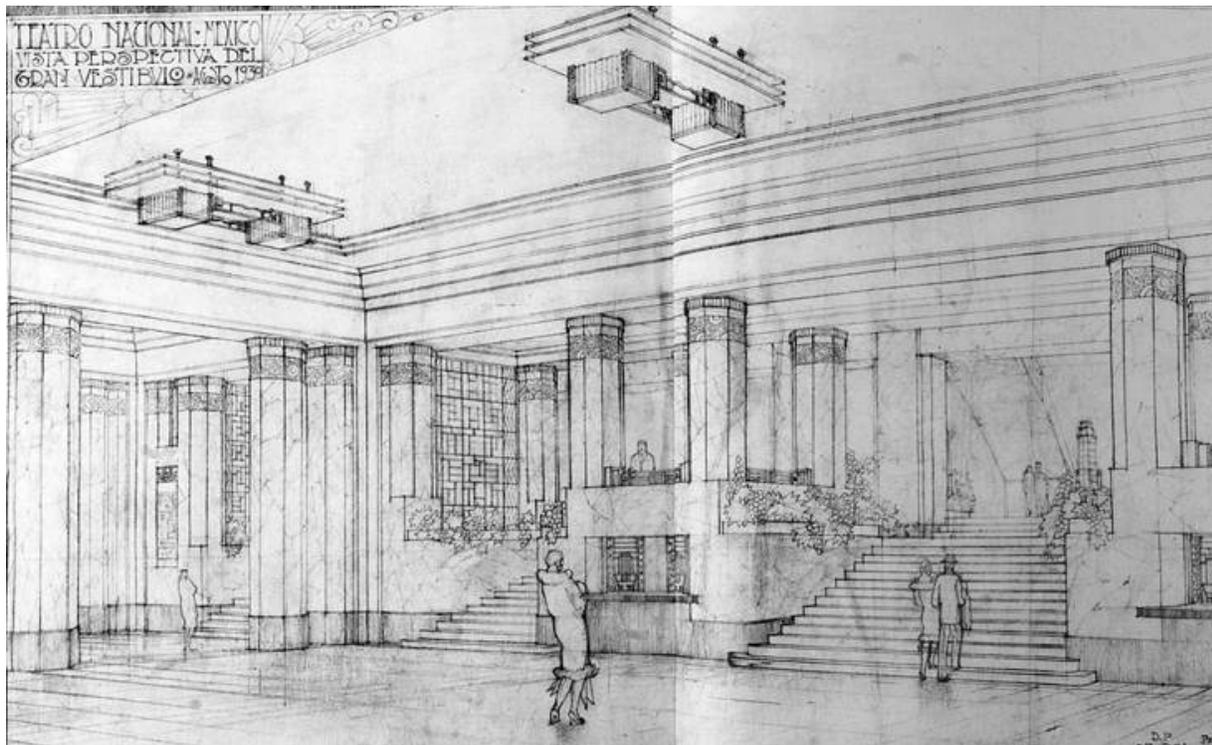


Fig1.25. Vestíbulo del Palacio de Bellas Artes

## AUDITORIO

El auditorio es el espacio en donde los asistentes se sitúan. En la mayoría de las ocasiones el público toma lugar en butacas acomodadas sobre una gradería, pero esto puede cambiar dependiendo del espectáculo que se realice. En algunos conciertos de música las graderías se pueden retirar para invitar a los espectadores a bailar y moverse, o en ciertas obras de teatro y danza los actores buscarán interactuar con los espectadores fusionando el espacio del escenario y del auditorio en uno mismo.

La cantidad de asistentes por función influirá en los ingresos y ganancias del teatro y también en la inversión que se puede realizar en la producción de la obra. Un ejemplo de esto sucede en las casas de ópera donde suelen contar con más espectadores para cubrir los gastos realizados en la producción, los vestuarios, la escenografía, los actores y tramoyistas.

Por ejemplo el Palacio de los Deportes se configura con una planta circular que le permite modificar la relación del escenario con el auditorio sin la necesidad de modificar el edificio. Las gradas pueden cubrir en su totalidad los 360° del escenario o se puede disminuir este ángulo para tener una relación frontal. De igual manera se puede utilizar únicamente la pista central.

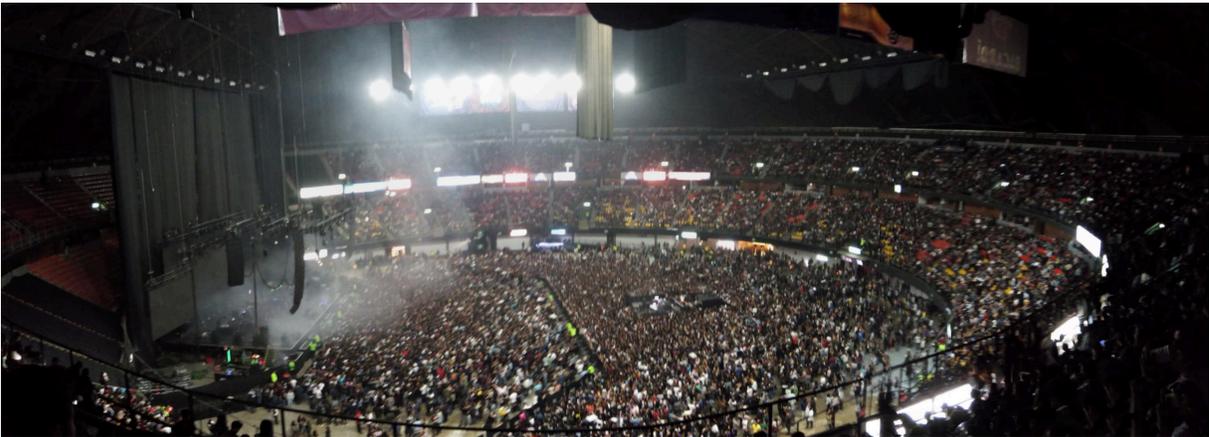


Fig.1.26. Gradas del Palacio de los Deportes, Félix Candela, Antonio Peyrý y Enrique Castañeda, Ciudad de México, 1968

## ESCENARIO

El escenario es el área en donde se lleva a cabo el espectáculo. Suele ser una plataforma elevada que permite que los espectadores tengan una mejor vista de lo que los actores están realizando. Para que el espectáculo se lleve a cabo de manera correcta este espacio debe de contar con iluminación especial para los efectos dramáticos y con luz de trabajo para que el personal y los actores puedan ver lo que hacen sin correr el riesgo de accidentarse. Dependiendo del espectáculo el escenario contiene elementos escenográficos que van desde telones, plataformas y mecanismos para mover diferentes elementos.

**BACKSTAGE (CAMERINOS)**

En este espacio se cubren las necesidades de los actores, técnicos y de la gente que produce el espectáculo. Se ubica separado del público para evitar que el artista y el espectador se encuentren antes de que comience la función. Dependiendo de las necesidades de los artistas esta zona debe contar con:

Áreas para los artistas	Áreas técnicas
Camerinos	Bodega para el equipo de la función
Vestidores	Acceso al escenario
Sanitarios	Tramoya
Guardarropa	Cuarto de control
Espacio de trabajo	Auxiliares
Espacio de preparación para el artista	Salones

El cuarto de control se ubica frente al escenario para poder controlar la iluminación, las grabaciones de sonido y/o video y los elementos escenográficos. Este espacio tiene sistema de comunicación con la tramoya y el traspunte<sup>10</sup> para poder coordinar el uso de medios audiovisuales durante la función.

## Diseño del auditorio

Al diseñar un teatro es necesario cuidar que los diferentes espacios sean coherentes entre sí. Siempre se ha de tomar en cuenta las necesidades físicas y psicológicas de cada usuario. Al realizar y diseñar los aspectos técnicos-constructivos se debe poner atención en los detalles estructurales, las condiciones acústicas, instalaciones y buscar la sustentabilidad del proyecto.

**AFORO**

A la cantidad de gente que asiste al teatro se le conoce como aforo. Este determina el tamaño del auditorio, de las circulaciones y del vestíbulo. Entre mayor sea el aforo será necesario, tanto por reglamento como por seguridad, aumentar el tamaño y cantidad de pasillos, escaleras y salidas de emergencia. La cantidad de aforo del auditorio está relacionado con el precio de las butacas y con el volumen con el que debe de contar el auditorio para una mejor

<sup>10</sup>El traspunte es el encargado de coordinar las entradas de los artistas con los tramoyistas y los trabajadores del cuarto de control para el correcto desarrollo de la función.

acústica. Carrión<sup>11</sup>, 1998, toma en consideración los siguientes parámetros para un primer cálculo del volumen necesario en el auditorio:

Aforo	m <sup>3</sup> por persona
< 500	2 a 3
> 500 < 1,500	4 a 6
> 1,500	6 a 9

La cantidad de m<sup>3</sup> partiendo del aforo cambia para los diferentes géneros artísticos dependiendo de la capacidad que tiene la fuente de sonido para llenar el volumen del auditorio, siendo necesario un mayor volumen para espectáculos musicales que para obras de teatro.

## SEGURIDAD

La seguridad es un tema importante en este tipo de edificaciones. En caso de una emergencia como sismo o incendio, el teatro debe contar con circulaciones de buen tamaño y bien iluminadas, al igual que salidas de emergencias para permitir un rápido desalojo.

Si bien estas reglas cambian dependiendo del estado, el Reglamento de construcciones de la Ciudad de México, 2018, en las Normas Técnicas Complementarias establece en el capítulo 4.2 *Pasillos* que:

Los pasillos entre los asientos deben tener un ancho libre mínimo de 0.30m y:

- Cuando los pasillos desembocan a dos pasillos laterales deben contar con un máximo de 100 asientos y su tamaño debe incrementarse en 8 mm por cada asiento adicional a 14 con un ancho máximo de 0.70 m.
- Cuando los asientos desembocan a un solo pasillo lateral el recorrido máximo entre un asiento y el pasillo no debe superar los 9 m y se debe aumentar el espacio entre las butacas 16 mm por cada asiento adicional a 8.

El ancho libre mínimo en los pasillos no debe ser menor a:

- 1.20 m para escaleras con asientos a ambos lados o 0.90 m cuando el pasillo sirve a un máximo de 50 asientos.
- 0.90 m para escaleras con asientos solo en uno de sus lados.
- 1.10 m para pasillos con asientos a ambos lados o 0.90 m cuando el pasillo sirve a un máximo de 50 asientos.
- 0.90 m para pasillos con asientos en uno de sus lados.

## ILUMINACIÓN

Junto con las circulaciones y salidas es importante contar con una buena iluminación para guiar a los espectadores a la salida. Por reglamento se establece que la iluminación de emergencia debe corresponder mínimamente al 5% de la iluminación

<sup>11</sup>Carrión, Antoni, 1998, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Edicions de la Universitat Politecnica de Catalunya, España, p. 121

general. El uso adecuado de la luz en el teatro sirve para generar los ambientes deseados y permite a los usuarios ubicar tanto sus asientos como las salidas. En el capítulo tres de las Normas Técnicas Complementarias se indican los luxes necesarios para el correcto funcionamiento de la sala:

Área	Cantidad de luxes
Salas durante la función	1 lux
Iluminación de emergencia	25 luxes
Salas durante los intermedios	50 luxes
Circulaciones	150 luxes
Circulaciones y sanitarios durante una emergencia	30 luxes

La iluminación de la sala, al igual que las llamadas para comenzar la función, se manejan desde la cabina de control para coordinar lo que sucede en el auditorio con lo que se desarrolla en el escenario.

### VENTILACIÓN

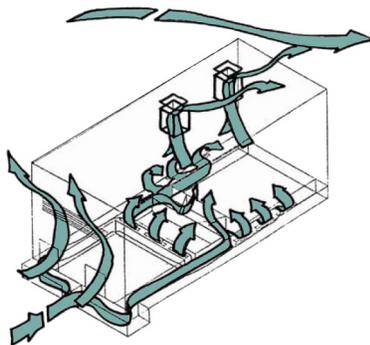


Fig1.27. Ventilación natural

Otro aspecto que se debe cuidar, tanto por seguridad como por confort ambiental, es la ventilación dentro del auditorio. En la mayoría de los teatros se utilizan sistemas de aire acondicionado para filtrar el aire y controlar su humedad y temperatura. También es posible utilizar ventilación natural si el teatro no es muy grande y la locación lo permite.

Si se utiliza aire acondicionado es recomendable inyectar aire frío en la parte superior del auditorio y extraer el aire caliente en la parte inferior de las butacas, esto para evitar la sensación de corriente de aire en los pies. Se deben considerar el diámetro del ducto de ventilación y la velocidad de inyección del aire para evitar que se genere ruido en la sala y el aire se renueve en un promedio de ocho litros por segundo por persona.

### ISÓPTICA

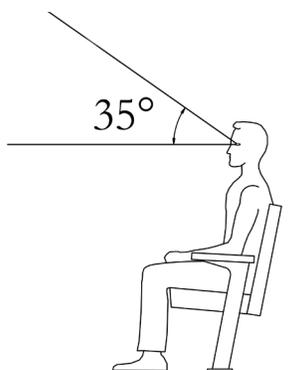


Fig1.28. Rango visual vertical

La isóptica es un elemento de diseño que se aplica dentro del auditorio con el que se busca lograr que todos los espectadores tengan una vista directa de lo que está sucediendo en el escenario y así generar una mejor experiencia. Históricamente, antes de utilizar la isóptica como variable de diseño, el público se colocaba en el espacio dependiendo de su clase social dándole preferencia a la monarquía y aristocracia para que vieran el espectáculo. Con el surgimiento de los movimientos democráticos se busca que todos en la sala puedan ver y escuchar correctamente el espectáculo.

Para lograr esto se toman en cuenta dos determinantes, en primer lugar, se considera el ángulo de visión del humano que corresponde a  $35^\circ$  en vertical y  $80^\circ$  en horizontal, pudiendo

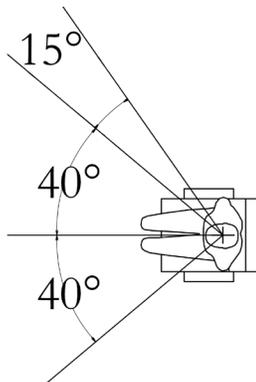


Fig.1.29. Rango visual horizontal

aumentar 15° hacia un lado por el giro cómodo de la cabeza en dirección al punto de arribo visual (PAV). Este punto se ubica sobre el escenario y se define por ser el punto más bajo y cercano que el espectador debe ser capaz de observar. La posición de este punto depende del tipo de espectáculo que se realice. En presentaciones musicales el aspecto visual no suele tener el mismo peso que en el teatro o la danza.

Espectáculo	Punto de Arribo Visual
Música	1 m, 1 m
Teatro	0 m, 0.5 m
Danza	0 m, 0 m



Fig.1.30. Vista entre cabezas

La isóptica vertical se define geoméricamente como una curva ascendente, similar a media parábola, cuyos puntos relacionan la posición de los ojos del espectador con el PAV. La línea imaginaria que se genera entre estos dos puntos debe situarse preferentemente 15 cm por encima de la cabeza de la persona sentada enfrente del espectador. Esta medida puede disminuir a 6.50 cm si las butacas se acomodan desfasadas permitiendo a los espectadores observar el escenario por el espacio entre las cabezas de la fila inmediata. Esto disminuye la altura total de las gradas y la inclinación de la isóptica.

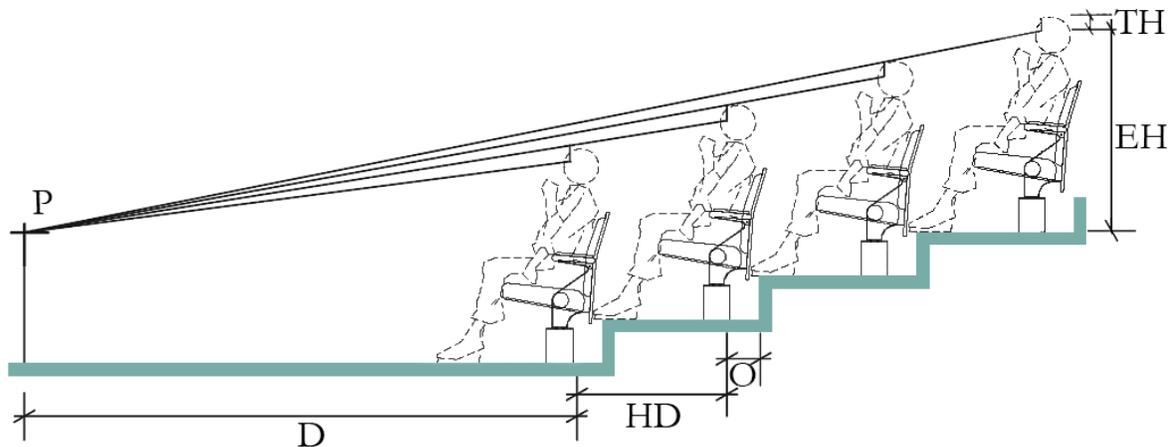


Fig.1.31. Medidas para el cálculo de la isóptica vertical

Para realizar el cálculo de la isóptica vertical se toman en cuenta los siguientes parámetros para así poder trazar las líneas de visión y que estas sean ininterrumpidas desde el ojo del espectador hasta el PAV

- **P: Punto de Arribo Visual:** Entre más alto se encuentre, la curva de la isóptica será menos abrupta.

- **D: Distancia desde la primera fila al PAV:** Entre más corta sea esta distancia la pendiente del auditorio será más pronunciada.
- **HD: Distancia Horizontal:** Distancia entre espalda y espalda de los asistentes sentados en filas consecutivas.
- **O: Offset:** Distancia entre el escalón y el asiento, se define por la butaca y para diseño se utiliza 10 cm.
- **EH: Promedio de altura de ojo:** Considerada 1.12 m del piso a la altura de los ojos de una persona sentada.
- **TH: Tope de cabeza:** Distancia entre los ojos y el tope de la cabeza.

Al calcular la isóptica horizontal se busca que todos los espectadores sean capaces de observar mínimamente dos terceras partes de la pared trasera del escenario. El ancho del bloque de asientos se define por la apertura visual máxima permitida desde el escenario, esta cambia dependiendo del espectáculo que se realice:

Espectáculo	Apertura visual
Danza	9°
Teatro	12°
Música	≥ 30°

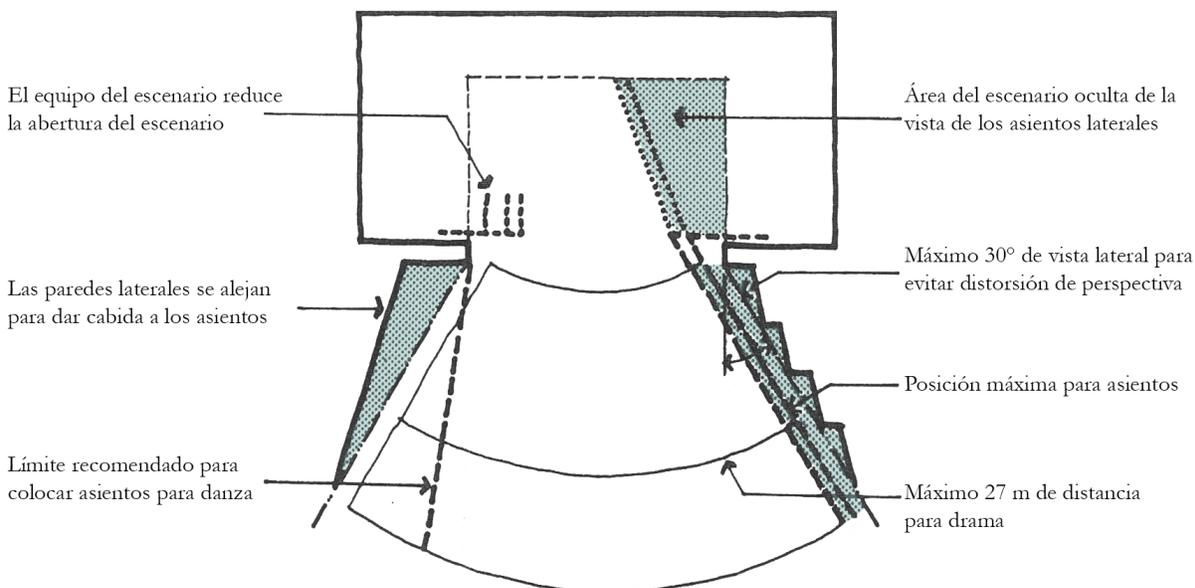


Fig.1.32. Disposición de asientos en planta

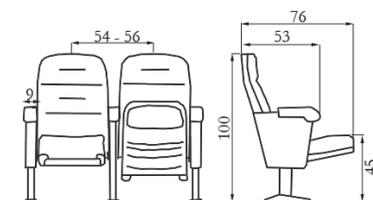


Fig.1.33. Medidas de butaca

Las butacas que se coloquen en el auditorio deberán contar con las dimensiones correctas para no lastimar ni incomodar a los espectadores y tendrán que fabricarse tomando en cuenta las necesidades de la sala.

## Diseño acústico

La mayoría de las artes escénicas hacen uso del sonido, ya sea voz, instrumentos, música grabada o sonidos amplificados, por lo que es necesario que el teatro tenga las condiciones óptimas para que el sonido llegue a todos los espectadores por igual. En esta situación es necesario diferenciar dos conceptos; sonido y ruido. La Real Academia de la Lengua Española define el sonido como “Sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire.” En cambio, el ruido se define como un “Sonido inarticulado, por lo general desagradable.” Con estas definiciones entendemos que el ruido es todo sonido no deseado, y por lo tanto debe de ser evitado.

Si los espectadores tienen una buena visión del escenario se considera que también escucharán lo que sucede en él con claridad. Pero para que esto realmente suceda se consideran otros aspectos empezando por el silencio. Para que el sonido producido en el escenario se pueda escuchar con claridad es necesario que al interior del recinto no llegue ruido del exterior. Esto se logra cuando la envolvente del edificio está construida con materiales aislantes acústicamente.

El factor de aislamiento acústico del edificio depende de la cantidad de ruido externo que se transmite por la envolvente y cuanto de este se absorbe al interior del recinto. La cantidad del ruido al interior del teatro, conocido como Noise Criteria (NC), debe ser de entre 28 y 30 db<sup>12</sup> para permitir la correcta realización del espectáculo.

Wallace Clement Sabine estableció en 1895 una fórmula que relaciona el tiempo de reverberación de un recinto con su volumen, la cantidad de materiales absorbentes y la intensidad del sonido. Con estos factores es posible calcular la cantidad de ruido que llega al interior del teatro siguiendo el siguiente procedimiento:

---

<sup>12</sup>La unidad bel (db), llamada así por Alexander Graham Bell, relaciona la intensidad del sonido con la intensidad de la sensación al escucharlo. Esta escala fue propuesta por Ernst Weber y Gustav Fechner en 1860.

$$I = (1 \times 10^{-12}) \left( \text{Antilog} \frac{db}{10} \right)$$

$$P = I(4\pi r^2)$$

$$I_e = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$I_r = I_e \left( \frac{S_1 T_1 + S_2 T_2 + S_n T_n}{ABS} \right)$$

$$ABS = \frac{0.16V}{TR}$$

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

$$\tau = \frac{1}{\text{Antilog} \left( \frac{db}{10} \right)}$$

$$db = 10 \log \frac{I}{1 \times 10^{-12}}$$

1. Medir la cantidad de ruido externo en decibeles
2. Convertir los decibeles a watts/m<sup>2</sup>
3. Calcular la potencia de la fuente de ruido
4. Calcular la intensidad sonora en la fachada externa
5. Calcular la intensidad de ruido interno utilizando los m<sup>2</sup> de absorción total del lugar y el coeficiente de absorción y m<sup>2</sup> de cada material.
6. Convertir la intensidad de watts/m<sup>2</sup> a decibeles
7. Comprobar que la cantidad de ruido interno en db cumpla con el Noise Criteria necesario para el proyecto

Quando se cuenta con silencio al interior de la sala se busca que el sonido llegue de manera uniforme y envolvente a los espectadores. Esto se logra cuando al diseñar el auditorio se toma en cuenta la forma, materiales y dispositivos acústicos necesarios. Por lo tanto, se considera que al espectador llegan dos ondas sonoras. Una directa del escenario y otra que es reflejada en el techo o en las paredes. Estas ondas deben llegar al espectador con una diferencia menor a 1/17 segundos (0.06 s) ya que de lo contrario se generará un efecto de eco. Para evitar esto se realiza un estudio de diagrama de rayos en donde se mide la distancia de la onda directa y la suma de la onda reflejada buscando que la diferencia entre estas sea menor a 10.4 m. Este resultado puede cambiar al modificar la forma del auditorio en planta o en corte y al colocar dispositivos como paneles reflejantes o difusores.

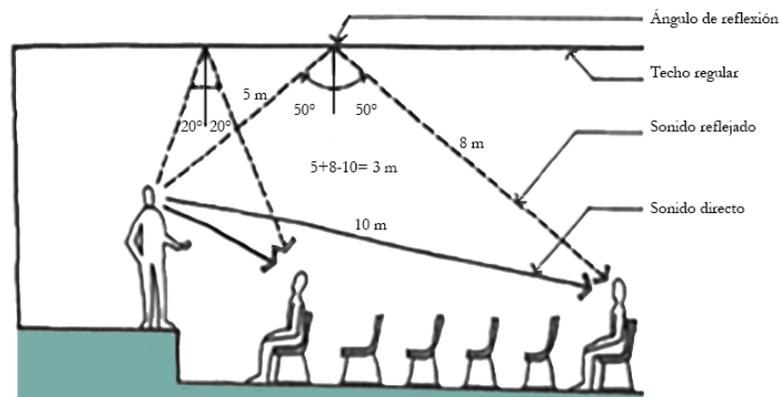
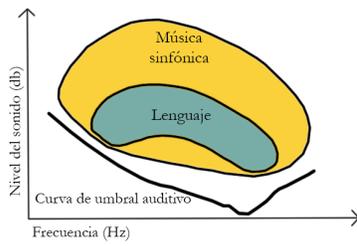


Fig.1.34. Diagrama de reflexión acústica



Gráfica.1.1. Percepción del sonido

Cuando el sonido llega correctamente a los espectadores es necesario ecualizar<sup>13</sup> correctamente el lugar. De esta manera es posible equilibrar los sonidos generados en el escenario con la manera y sensibilidad de escuchar del humano, ya que es más sensible a las frecuencias medias correspondientes al habla y menos sensible en las frecuencias bajas.

Al ecualizar el recinto se busca que las diferentes frecuencias tengan un tiempo de reverberación conveniente para la realización del espectáculo. El tiempo de reverberación es el tiempo que tarda un sonido en dejar de ser perceptible al ser menor de 60 db. Entre mayor sea el tiempo de reverberación se tendrá una mayor presencia en la sala. Dependiendo del sonido generado se necesitan diferentes condiciones de tiempo de reverberación. Por ejemplo en obras musicales rápidas como *El invierno* de Vivaldi se necesita escuchar con claridad las notas que se tocan por lo que el tiempo de reverberación debe de ser menor. En cambio si se busca que el sonido perdure, como en las iglesias, se necesita que el tiempo de reverberación sea mayor.

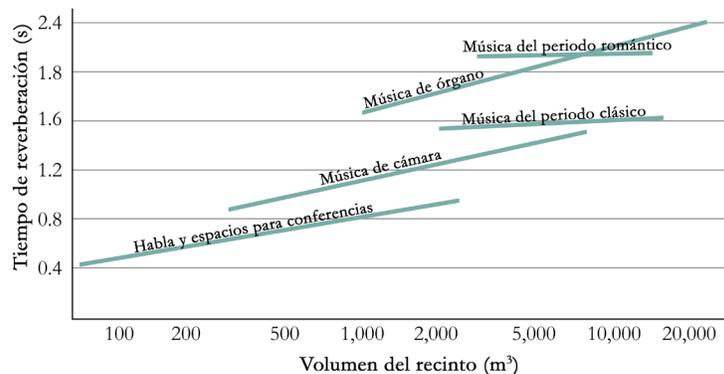
$$TR = \frac{0.16V}{ABS}$$

Tr = Tiempo de reverberación

V = Volúmen

ABS = m<sup>2</sup> de absorción<sup>5</sup>

Para calcular el tiempo de reverberación dentro de un recinto Wallace Clemente Sabine desarrolló una fórmula donde relaciona el volumen de la sala con la absorción acústica que tengan los materiales de construcción. Como el volumen del recinto es proporcional al tiempo de reverberación de las frecuencias, Rodríguez<sup>14</sup> (2017) genera una gráfica donde se aprecia la relación entre el volúmen de la sala y el tiempo de reverberación necesarios para diferentes estilos de música.



Gráfica.1.2 Tiempo de reverberación por tipo de espectáculo

Además del volumen, los materiales juegan un papel importante ya que algunos absorben más las frecuencias graves, reflejando las agudas mientras otros hacen lo contrario. Por esta razón es importante colocar de manera adecuada los materiales dentro del auditorio.

<sup>13</sup>RAE: Ajustar dentro de determinados valores las frecuencias de reproducción de una señal, como, por ejemplo, el sonido.

<sup>14</sup>Rodríguez, Fausto, 2017, *Espacio, sonido y arquitectura*, Editorial Limusa, México, pp.58

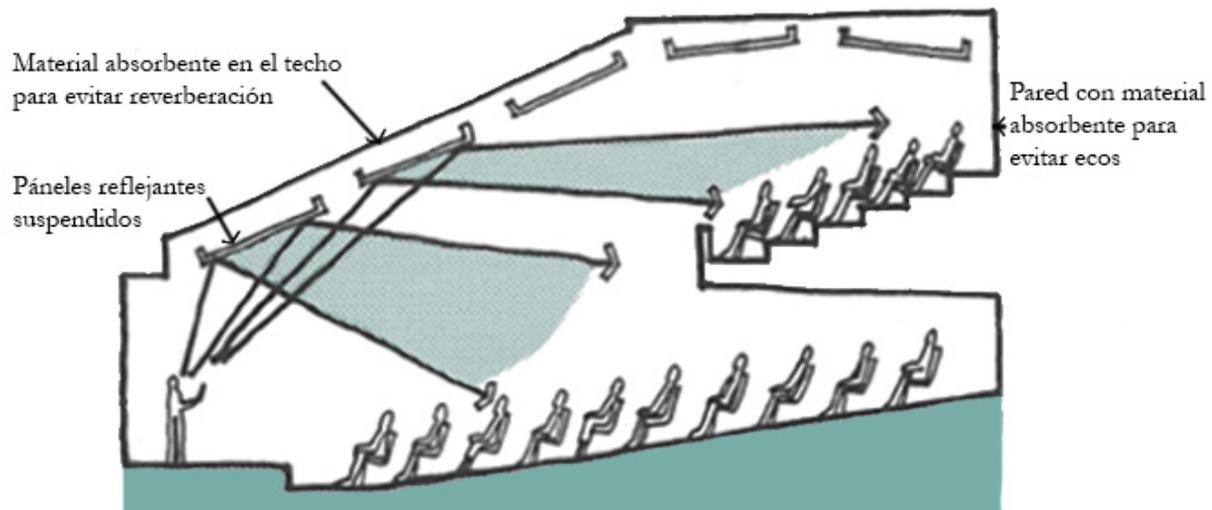


Fig.1.35. Reflexiones acústicas en el auditorio

Utilizando la fórmula anterior se realizan diferentes propuestas de materiales, considerando la cantidad de material que se utilizará en  $m^2$  y su coeficiente de absorción, como se puede observar en la tabla. Teniendo estos datos es posible estudiar cómo se percibirá el sonido en la sala al comparar el tiempo de reverberación de las diferentes frecuencias con la sensibilidad del oído humano a estas. Este estudio se realiza tomando en cuenta las frecuencias de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz, para cubrir el umbral auditivo del humano.

#### Cálculo de reverberación de auditorio para música de cámara

	Material	$m^2$	125 hz	250 hz	500 hz	1000 hz	2000 hz	4000 hz
Butacas	Butacas bien tapizadas ocupadas	234	0.52	0.68	0.85	0.97	0.93	0.85
			121.68	159.12	198.9	226.98	217.62	198.9
Pasillo	Loseta de linoleum sobre concreto	66	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
			2.64	1.98	2.64	2.64	1.98	1.32
Escenario	Madera de 1/2" con cámara de aire	20	0.3	0.25	0.2	0.17	0.15	0.1
			6	5	4	3.4	3	2
Plafond	Tablero de yeso	320	0.2	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05
			64	25.6	16	16	16	16
Muro lateral	Concreto pulido	203	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
			2.06	2.03	4.12	4.12	4.12	6.18
Muro posterior	Fibra de vidrio	300	0.1	0.32	0.55	0.66	0.73	0.77
			10	32	55	66	73	77
Muro del escenario	Mármol	70	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
			0.7	0.7	0.7	0.7	1.4	1.4
Total de $m^2$ va			207.08	226.46	281.36	319.84	317.12	302.8
5 $m^3$ p/persona (600 espectadores)		$m^3$	3000					
Tiempo de reverberación en segundos			2.32	2.12	1.71	1.50	1.51	1.59

Con la información obtenida se tiene una idea de cómo se escuchará el sonido dentro del recinto. Cuando el edificio se ha construido puede suceder que ciertas frecuencias cuenten con una mayor reverberación de la deseada. Para controlar esto se pueden colocar dispositivos como resonadores de membrana para las frecuencias graves, o resonadores de cavidad múltiple para las frecuencias medias y agudas.

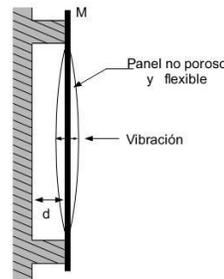


Fig.1.36. Resonador de membrana

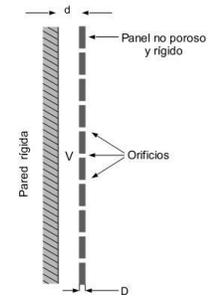


Fig.1.37. Resonador de cavidad múltiple

## Diseño del escenario

El escenario es la plataforma donde se realiza el espectáculo. Su tamaño depende de la cantidad de gente que se encuentre en escena al mismo tiempo y del tipo de espectáculo que se realice. Los escenarios más grandes los encontramos en las casas de ópera y en las grandes producciones musicales, pero su tamaño puede reducirse para un solo actor dependiendo de la interpretación de la obra. Los espectáculos de menor producción se realizan en escenarios más pequeños.

Espectáculo	Gente en escenario	Ancho escenario (m)	Profundidad escenario (m)
Danza	5 - 15	15 - 20	8 - 10
Teatro	5 - 10	10 - 14	5 - 7
Música	2 - 12	7 - 12	6 - 10

El área del escenario se complementa con un área de tramoya desde donde se maneja la maquinaria teatral. Esta es utilizada para modificar el espacio escénico y los elementos escenográficos. Se tiene conocimiento de que los romanos ya hacían uso de máquinas que “elevaban a los espíritus” para ayudar a representar de mejor manera la historia que se contaba.

El desarrollo de la energía eléctrica, de nuevos materiales y de la tecnología mecánica, ha permitido mejorar las maquinarias que se utilizaban desde el tiempo de los romanos. Actualmente se puede clasificar el tipo de maquinaria que se utiliza dependiendo de su posición con respecto al piso del escenario.

### MAQUINARIA SOBRE EL ESCENARIO

Para manejar los elementos escenográficos, así como para colocar luminarias, sistema de sonido y el ropaje del escenario se utilizan una serie de elementos que se sitúan por encima del escenario:

- **Varales:** Elementos desde donde se cuelgan dispositivos de iluminación, sonido, escenografía y ropería. Los varales se amarran a un sistema de poleas para poder controlar su posición.

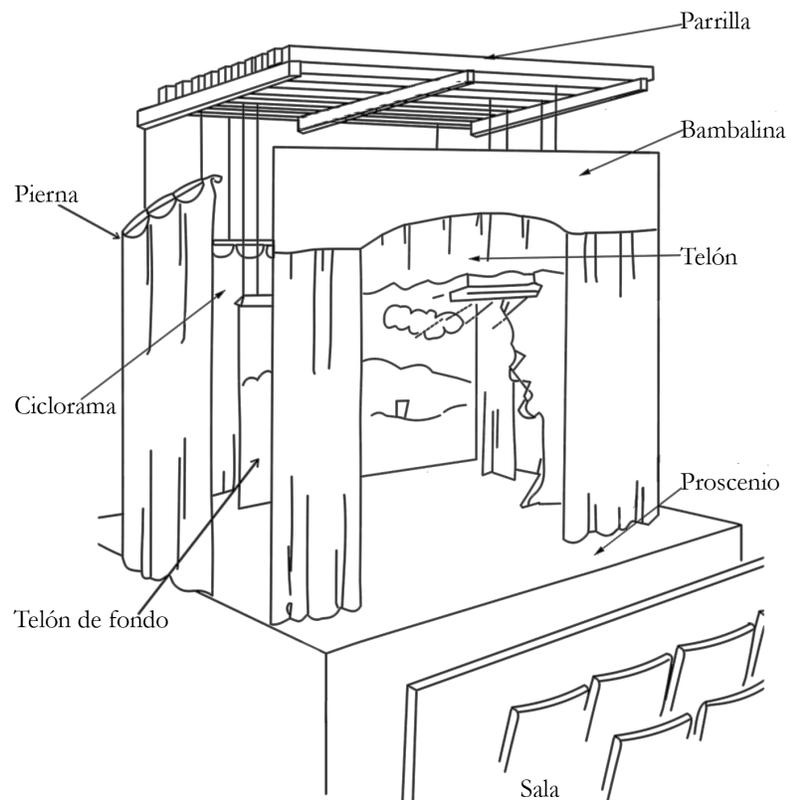


Fig.1.38. Maquinaria sobre el escenario

- **Ropería:** Telas que conforman la caja negra del escenario. Estas impiden que el espectador observe la maquinaria teatral y a los actores que se preparan. Estas telas son pesadas para servir como absorbentes de luz y sonido.
- **Cortinas de seguridad:** Se utilizan para separar acústica y visualmente el escenario del auditorio. En caso de incendio impiden que el fuego se extienda.
- **Objetos colgantes:** Elementos escenográficos que ayudan en la representación de la escena, cuando no son usados deben de estar fuera de la vista de los espectadores por encima del escenario.

### MAQUINARIA DEBAJO DEL ESCENARIO

De manera similar se puede contar con elementos ubicados debajo del escenario que permiten realizar otro tipo de escenas teatrales como entradas, salidas y cambios de escenarios:

- **Trampas:** Permiten al actor entrar y salir por el piso del escenario.
- **Elevadores:** Se utilizan para subir y bajar objetos o actores del escenario, pueden funcionar como un espacio de doble piso.
- **Plataformas giratorias:** Plataforma circular que permite construir dos o más escenografías sobre el escenario y girarla durante la presentación mostrando cada una.
- **Vagones:** Estructura móvil que permite desplazar elementos sobre el escenario.

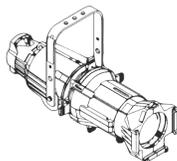
### ILUMINACIÓN DEL ESCENARIO

Otro aspecto necesario para la producción escénica es la iluminación teatral. La evolución de estos sistemas comenzó utilizando la luz natural y luego lámparas de aceite y sistemas de gas que llegaron a provocar muchos incendios. Posteriormente, con la llegada de la electricidad a finales del siglo XIX, se comenzaron a utilizar focos incandescentes que generan demasiado calor sobre el escenario. Actualmente los sistemas LED<sup>15</sup> se empiezan a utilizar más en la escena ya que permiten generar una mayor variedad de luces utilizando el mismo equipo.

Cada producción teatral hace uso de un diseño de iluminación diferente y este se adapta a los equipos con los que cuente el teatro para su producción. El teatro debe contar con diferentes sitios donde se puedan colocar los sistemas de iluminación para dar solución a diferentes diseños de iluminación.

<sup>15</sup>LED-*Light-Emitting Diode*, “diodo emisor de luz” es un material semiconductor que emite radiación electromagnética en forma de luz

Elipsoidal



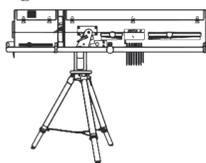
Fresnel



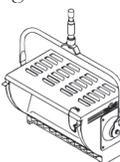
Par



Seguidor



Halógeno



Multiparámetro



Los focos más utilizados son:

- **Elipsoidal:** Genera un haz de luz al que se le puede modificar la intensidad, ángulo o color mediante el uso de micas.
- **Fresnel:** Produce un haz de luz redondo cuyo borde es difuso, su tamaño puede variar al mover los lentes dentro del equipo.
- **Par:** El foco más común y económico, solo es posible modificar la potencia de la luz.
- **Seguidor:** Es un foco similar al elipsoidal solo que su operación se hace manualmente.
- **Halógeno:** Este foco se utiliza para cubrir grandes superficies como los cicloramas. Se pueden colocar tanto en varales, como en el suelo.
- **Multiparámetros:** También se les conocen como focos robotizados. Sus parámetros se pueden controlar desde una consola cambiando su color, forma y ángulo.

Los focos se pueden colocar sobre el escenario en varales de distribución. Estos varales son tubos que funcionan como ductos de instalaciones. En su interior pasan cables de electricidad que van desde la caja de distribución hasta los contactos colocados al exterior del tubo. También es posible colocar los focos a los laterales del escenario haciendo uso de varales fijos. Estos tienen forma de escalerilla y se fijan al suelo haciendo uso de barras de gallo y contrapesos. En esta posición los focos se conectan a la electricidad a través de una trampilla en el suelo. Dependiendo de la configuración del teatro será posible colocar focos en la parte del auditorio o en estructuras formadas por *truss* para complementar el diseño de iluminación. Todos los focos se conectan a un centro de contactos, conocido como caja de distribución, que se ubica a un costado del escenario. Esta caja se comunica con la cabina de control para manipular las luces del escenario.

Fig.1.39. Luminarias teatrales

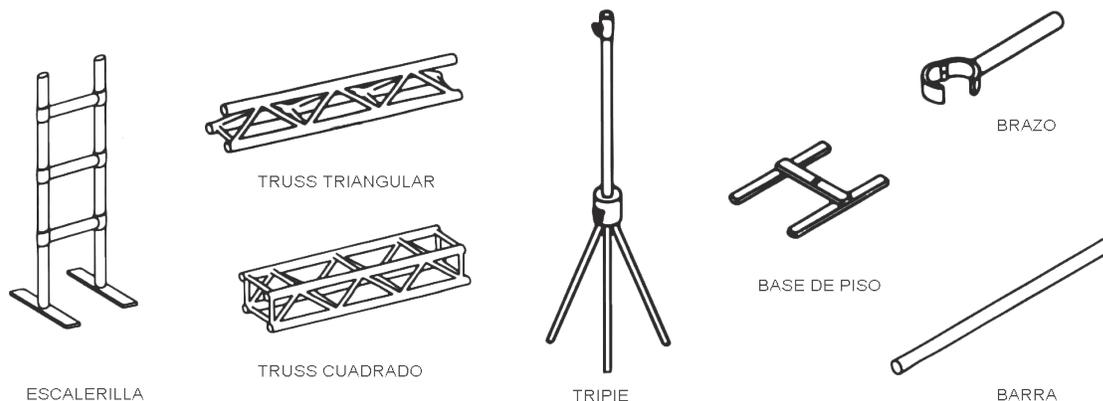


Fig.1.40. Soportes para luminarias

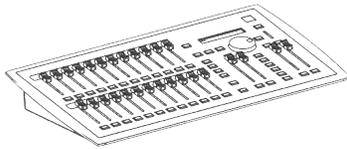


Fig.1.41. Consola de control de luces

El control y cambio de la iluminación se realiza desde el cuarto de control mediante un protocolo de comunicación DMX. La consola se comunica con los dimmers y este con los diferentes focos. La conexión se puede realizar mediante un cable de Ethernet, de USB o inalámbricamente. De esta manera se hacen los cambios de iluminación ya marcados con anterioridad en el diseño de iluminación de la obra.

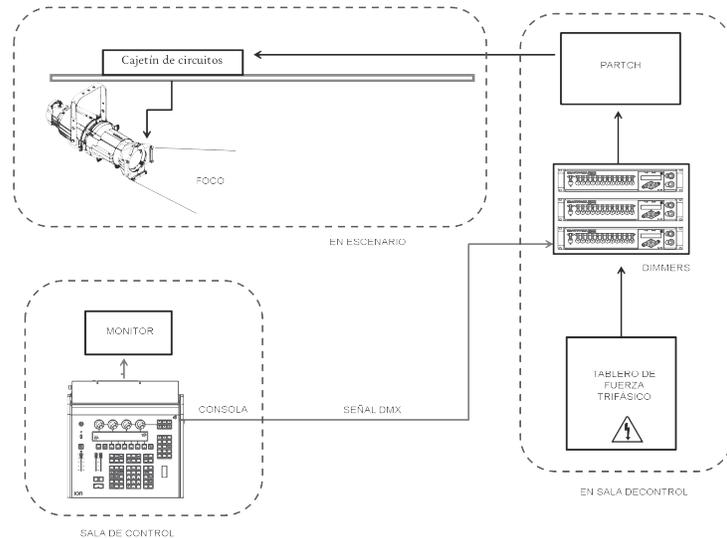


Fig.1.42. Sistema de conexión de luces

El diseño de iluminación cambia en cada obra y casa teatral. Tom Skelton genera un diseño de iluminación al dividir el área del escenario en secciones que se cubren utilizando diferentes focos y posiciones.

- 1, 4 - Columna izquierda
- 2, 5 - Columna central
- 3, 6 - Columna derecha
- 7 - Área central
- 8 - Diagonal de arriba der./abajo izq.
- 9 - Diagonal arriba izq./abajo der.
- 10, 11 - Primera calle
- 12, 13 - Segunda calle
- 14, 15 - Tercera calle

- 1 a 6 - Bañado frontal
- 11, 13, 15 - Bañado derecho
- 10, 12, 14 - Bañado izquierdo

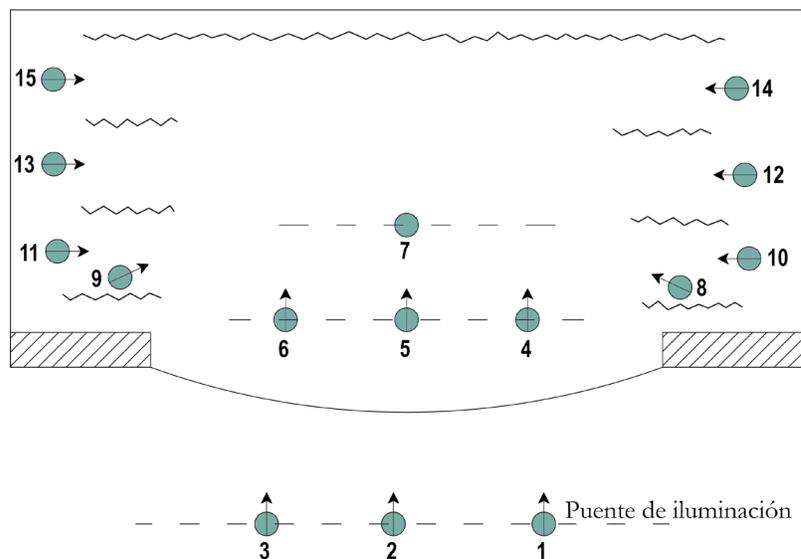


Fig.1.43. Posicionamiento de luces



# Estructuras adaptables

---

Los edificios se ven afectados por un número infinito de fuerzas como el tiempo, clima y las funciones y necesidades humanas, estas fuerzas no son estáticas ni fijas, sino que son dinámicas y transitorias. Como resultado, es necesario desarrollar los edificios como complejos sistemas adaptables a estas fuerzas.

-Elmokadem, Ashraf, 2016

02

## Definición

Una estructura adaptable es aquella cuyos componentes tienen la capacidad de adecuarse a diferentes situaciones. En el campo de la construcción se han utilizado los términos de arquitectura dinámica, plegable, transformable, convertible, adaptable y móvil para hacer referencia a estas estructuras, pero en muchas ocasiones sin entender del todo el término utilizado.

Dentro del concepto de adaptabilidad Frei Otto<sup>1</sup> distingue entre la convertibilidad y la movilidad en un edificio. El primer término hace referencia a la variación del edificio mismo, ya sea externamente al modificar el techo y las fachadas o internamente al modificar los muros internos y los niveles del suelo. En cambio, la movilidad se relaciona con la variación de la locación o los componentes de una construcción. El edificio puede cambiarse de lugar sin cambiar su forma, ya sea al desarmarlo y volverlo a armar, o bien al cambiar su configuración al añadir, cambiar de lugar o quitar unidades en un sistema modular.

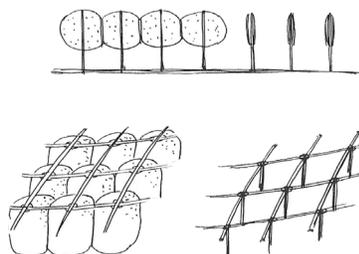


Fig.2.1. Estructura convertible

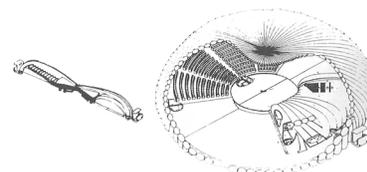


Fig.2.2. Estructura móvil

Esta distinción no siempre es clara. Por ejemplo, un techo retráctil se moverá como pieza rígida de un sitio a otro sin perder su forma, por lo que será una estructura móvil. En cambio, el sistema que lo acciona y lo transporta es convertible ya que modifica su forma al adaptarse a la nueva posición del techo. Lo mismo ocurre con otros sistemas adaptables como las gradas retráctiles.

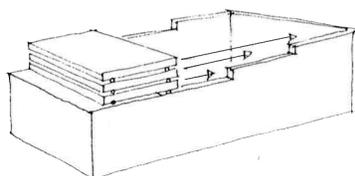


Fig.2.3 Techo retráctil

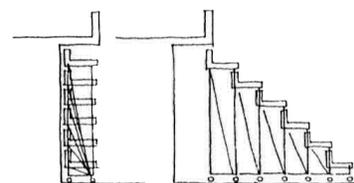


Fig.2.4. Gradas retráctiles

<sup>1</sup>Otto, Frei; 1971, IL5 Convertible Roofs, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), pp 12

## Antecedentes históricos



Fig.2.5. Venus atrapamoscas

Para el estudio de los sistemas adaptables se debe observar en primera instancia el cuerpo humano. Nuestro cuerpo se adapta a las condiciones cambiantes de nuestro entorno desde el movimiento de nuestro esqueleto que es accionado por los músculos hasta la adaptación de los sistemas internos como el nervioso, digestivo y cardíaco. Esta adaptabilidad se observa en todos los seres vivos. Un ejemplo interesante es cómo las plantas giran sus hojas para obtener una mayor radiación solar o como la venus atrapamoscas cierra sus trampas para atrapar a sus presas.

En la naturaleza observamos esta adaptabilidad a diario, pero resulta complicado concebir estructuras adaptables en la arquitectura, sin embargo, estos sistemas han estado presentes desde el comienzo de la humanidad<sup>2</sup>, algunos ejemplos son:



Fig.2.6. Tienda de campaña del desierto

**Tiendas de campaña:** Los elementos de estas viviendas temporales varían dependiendo del clima de la zona y de la necesidad de movilidad de los habitantes.

**Cortinas y marquesinas:** Elementos que protegen los accesos a un edificio del sol y la lluvia. En el siglo XVII en Francia se volvieron populares aquellas formadas por membranas traccionadas.

**Toldos sobre las calles:** Estos se han utilizado principalmente en el mediterráneo para brindar protección del sol durante eventos importantes.



Fig.2.7. Sombrillas

**Paraguas/sombrillas:** Objeto que se utiliza para protegerse del sol o de la lluvia que han sido utilizados desde los egipcios.

**Estructuras plegables:** Elemento cuya configuración puede cambiar por el movimiento de una o más piezas rígidas como las ventanas de tela en los barcos y las puertas de cristal.

<sup>2</sup>Ibíd, p 13

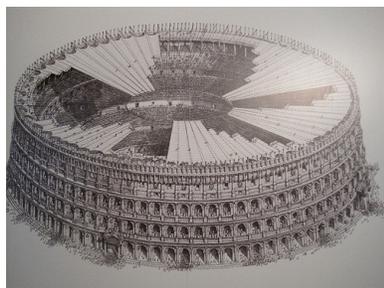


Fig.2.8. Velum romano

**Velaria:** *Velum*, era el toldo de tela que se colocaban sobre los teatros romanos para generar sombra sobre la audiencia. Estas estructuras tenían grandes claros y el textil colgaba de los soportes. En la actualidad son tensoestructuras textiles que llegan a cubrir grandes claros.

En 1900 las ideas funcionalistas tomaron fuerza dejando a un lado la adaptabilidad de las edificaciones para expresar la contemporaneidad y el ideal de belleza de cada época<sup>3</sup>. Aun así, los futuristas de la época reconocieron en 1914 la necesidad de renovar constantemente nuestro medio, incluyendo a la arquitectura ya que esta debería de ser flexible para dar solución a las diferentes necesidades de los habitantes. Por esta razón varios arquitectos retomaron las ideas de adaptabilidad para poder realizar diferentes proyectos, arte y trabajos. Algunas de las propuestas más destacadas fueron:

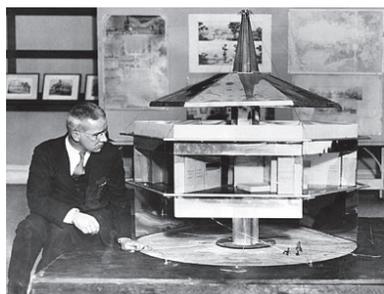


Fig.2.9. Vivienda Dymaxion

1927

Buckminster Fuller desarrolla su propuesta de vivienda *Dymaxion House* que permitía a los inquilinos modificar la distribución de los espacios según sus necesidades.

1931-1939

Le Corbusier genera una propuesta de un museo que puede crecer indefinidamente siguiendo el patrón de una espiral.

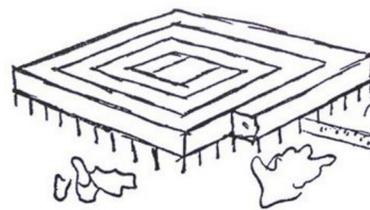


Fig.2.10. Museo expandible



Fig.2.11. Space Modulator Experiment, Aluminum 5, 1931

1931

László Moholy-Nagy reemplaza el principio estático del arte clásico por un principio dinámico de la vida universal que se ve reflejado en su obra.



<sup>3</sup>Ibíd, p 37

1931 —>>>

Hans Poelzig lleva a cabo un concurso para desarrollar una vivienda capaz de crecer para adaptarse a las necesidades de los habitantes. Las propuestas ganadoras de 24 arquitectos, entre ellos Walter Gropius, fueron publicados en 1932 por Martin Wagner.

1950

Más arquitectos e ingenieros buscan, desarrollan y retoman los principios de adaptabilidad tanto en sus ideas proyectuales como en sus construcciones.

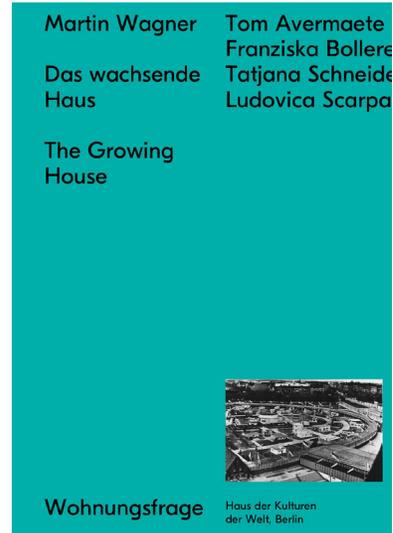


Fig.2.12. Libro The Growing House



Fig.2.13. Techo convertible

<<< 1958

Frei Otto construye un techo convertible utilizando una membrana textil para el teatro al aire libre en Killesberg.

1972 —>>>

Publicación de *Convertible roofs* por el IL Universität Stuttgart donde se reportan los avances tecnológicos y constructivos sobre techos convertibles.



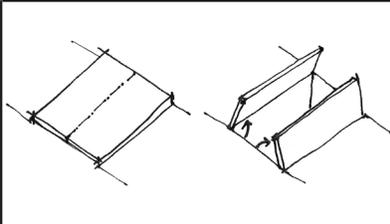
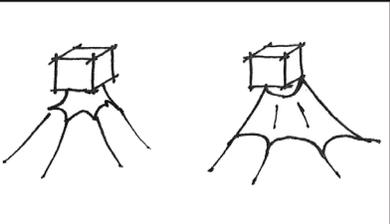
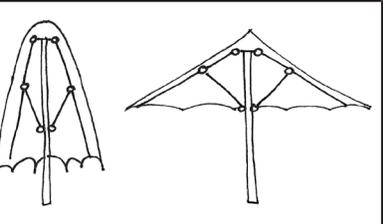
Fig.2.14. Portada IL5 Convertible roofs

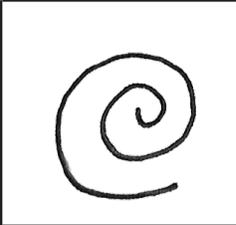
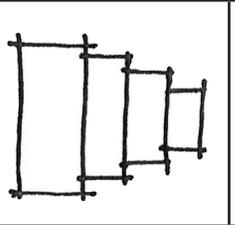
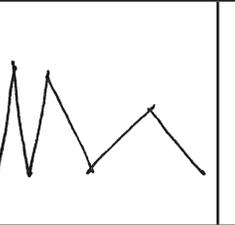
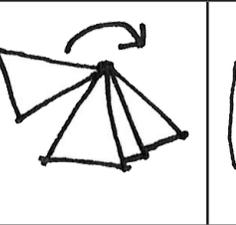
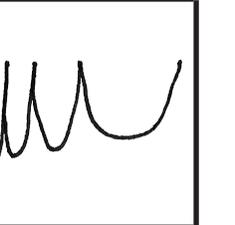


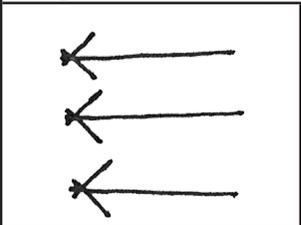
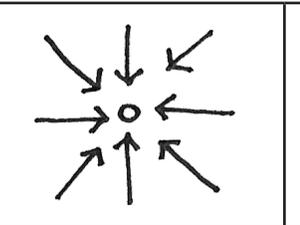
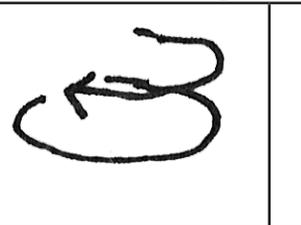
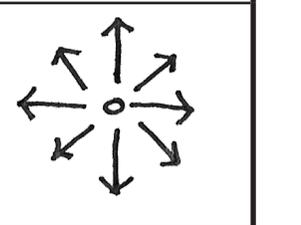
Estas ideas evolucionaron con el tiempo, la experimentación y sobretodo con el avance tecnológico de materiales, sistemas eléctricos y la implementación de sistemas computacionales que permiten identificar la necesidad de adaptar el sistema y accionarlo sin la necesidad de la intervención humana. El avance ha sido tal, que el arquitecto David Fischer ha propuesto construir la “Dynamic Tower”, una torre de 80 niveles que giran independientemente para que el habitador pueda apreciar la vista que desee. Originalmente se tenía planeado que la en Dubai se empezara a construir en el año 2008, lamentablemente la construcción no se pudo comenzar por problemas económicos.

## Clasificación de sistemas convertibles

Para el estudio y clasificación de los sistemas convertibles Otto<sup>4</sup> toma en cuenta dos variables principales, la manera en la que está construido el sistema y el tipo y dirección de movimiento que realiza al adaptarse.

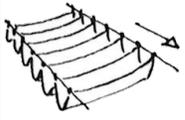
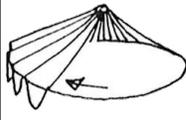
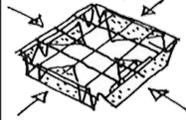
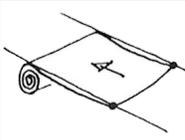
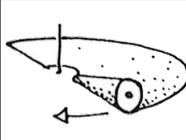
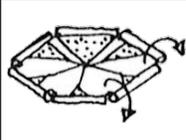
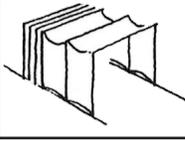
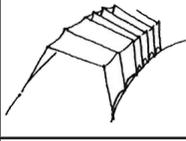
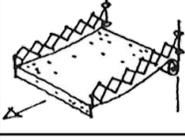
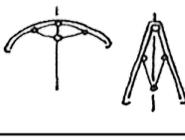
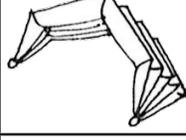
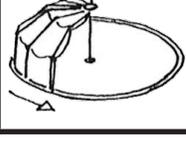
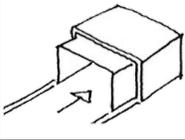
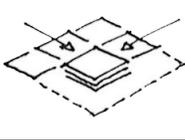
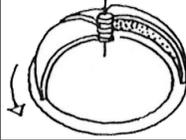
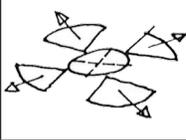
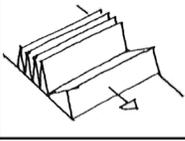
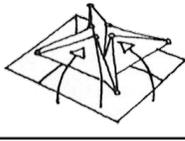
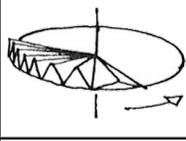
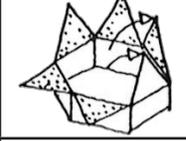
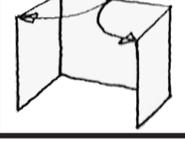
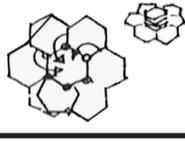
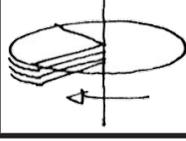
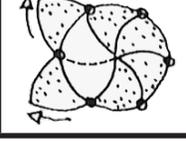
Tipo de construcción		
		
Elementos rígidos	Membrana con soporte estático	Membrana con estructura portante móvil

Tipo de movimiento				
				
Enrollable	Deslizante	Plegable	Rotable	Estirable

Tipo de dirección (Tomando en cuenta el área a cubrirse desde un punto de referencia dado)			
			
Paralelo	Central	Circular	Periférico

Tomando en cuenta estas variables Otto (1971) genera una tabla en la que muestra las posibles combinaciones entre las formas de construcción y su movimiento. Es necesario entender que esta tabla no considera la factibilidad técnica para la construcción del sistema, solo la formal. De igual manera presenta espacios vacíos ya que no todas las variables se han realizado.

<sup>4</sup>Otto, Frei; 1971, IL5 Convertible Roofs, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), pp 44-45

Sistema constructivo	Tipo de movimiento	Dirección de movimiento			
		Paralelo	Central	Circular	Periférico
Membrana con soporte estático	Plisible				
	Enrollable				
Membrana con estructura portante móvil	Deslizable				
	Plegable				
	Rotable				
Elementos rígidos	Deslizable				
	Plegable				
	Rotable				

Con el entendimiento y estudio de las posibilidades presentadas en esta tabla es posible proponer nuevas soluciones técnicas y combinaciones añadiendo diferentes sistemas como el neumático o la fabricación digital.



# Estructuras neumáticas

---

“The pneu is the essential basis of the world of living nature”\*

-Frei Otto, 1976

03

\*La neumática es la esencia  
básica del mundo de lo natural

## Definición

El término neumática proviene del griego *pneuma* que hace referencia a “soplo de aire”. Otto<sup>1</sup> define la neumática como un sistema en donde una capa que funciona únicamente a tracción envuelve un medio. Este sistema es capaz de absorber tanto las fuerzas internas, como las externas y su forma y estabilidad se logra por la diferencia de presión existente entre el espacio contenido y el exterior.

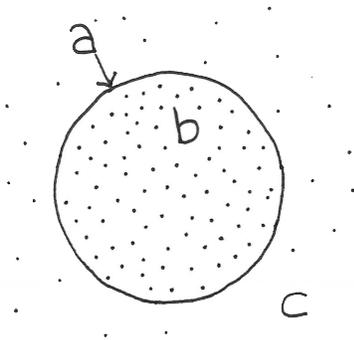


Fig.3.1. Sistema neumático

El sistema neumático se compone de tres elementos:

a. Membrana flexible y resistente: Capaz de transmitir esfuerzos a tracción, la membrana puede estar constituida por redes, pieles o una combinación de estas dos.

b. Relleno: Usualmente es aire o agua, pero también es posible utilizar gases, diferentes líquidos o sustancias granulares.

c. Medio externo: Este puede ser de la misma sustancia que el relleno, o bien, una diferente.

## Antecedentes históricos



Fig.3.2. Murciélago con alas traccionadas por el aire

Los sistemas neumáticos han existido desde el principio de la vida en la naturaleza. Helmcke<sup>2</sup> estudia estas formas, desde su formación y composición, hasta su evolución y comportamiento. De esta manera muestra cómo las células, tejidos, piel, órganos y cuerpos tanto de animales como de plantas se constituyen por sistemas neumáticos. Algunos ejemplos de esto son las alas de los murciélagos que se tensan neumáticamente durante el vuelo o el saco inflable en la garganta de los sapos que les permite emitir su característico sonido.

A lo largo de la historia el ser humano ha utilizado los sistemas neumáticos para su beneficio. En los medios de transporte las velas de los barcos funcionan como neumáticas de membrana abierta, al igual que los paracaídas y los dirigibles modernos *zeppelin* como neumáticas de membrana cerrada. Otro uso que se le dio a estos sistemas fue durante la segunda guerra mundial donde

<sup>1</sup>Otto, Frei, 1976, IL9 Pneus in nature and technics, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL) pp 23

<sup>2</sup>Helmcke, Johann-Gerhard, 1976, IL9 Pneus in nature and technics, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), 136 pp



Fig.3.3. Sapo con bolsa inflada

se utilizaron inflables para proteger a los ejércitos, sus antenas de comunicación y también para construir refugios y puentes. Pero no fue hasta 1960, al disminuir el costo de producción del plástico, que más arquitectos e ingenieros estudiaron y exploraron las posibilidades constructivas de las neumáticas. Los siguientes acontecimientos aparecen en los textos de Mclean y Silver<sup>3</sup> y Francis<sup>4</sup> y muestran cómo han evolucionado los sistemas neumáticos.

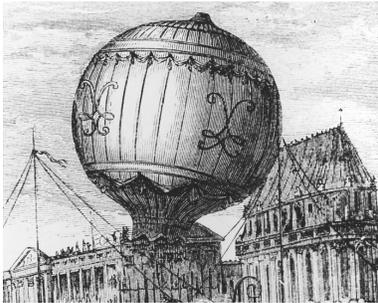


Fig.3.4Globo Montgolfier

1782  
Globo de aire caliente de los hermanos Montgolfier

1784

Dirigible de Jean Baptiste Meusnier

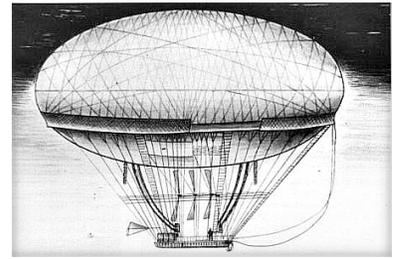


Fig.3.5.Dirigible Meusnier



Fig.3.6.Dirigible Von Zeppelin

1893  
Dirigible exitoso de Count Ferdinand von Zeppelin

1932

Vuelo al espacio en un globo de helio de Auguste Piccard

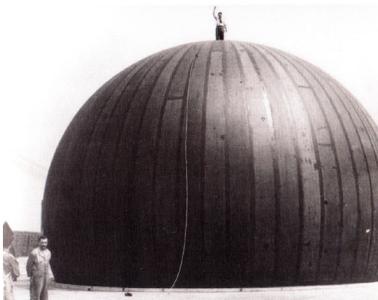


Fig.3.8.Radomes de Walter Bird

1940-1950  
Walter Bird construye "Radomes" para proteger antenas de radar para el *Cornel Aeronautical Lab*

1944-1945  
En la Segunda Guerra Mundial el ejército fantasma utilizaba tanques y aviones de caucho inflado para dar la apariencia de una tropa más grande y poderosa.

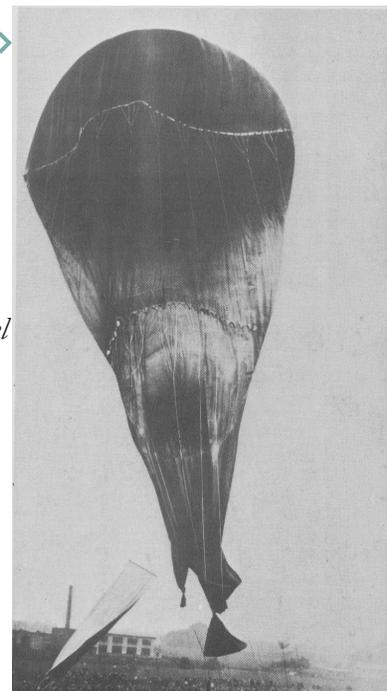


Fig.3.7.Globo Piccard



Fig.3.9.Tanque inflable



<sup>3</sup>Mclean, Will; Silver, Pete, 2015, Air structures, Form + Technique, Inglaterra, Laurence King, pp 10-15

<sup>4</sup>Francis, Sharon, 2019, Bubbletecture, Inflatable architecture and design, Inglaterra, Phaidon, pp 7-13



Fig.3.10. Cloud nine floating tensegrity spheres

1950

Propuesta de Buckminster Fuller de colocar un domo sobre la ciudad y genera el proyecto *Cloud nine floating tensegrity spheres* en 1958

1956

Fundación de *Birdair Structures inc.* Empresa que construye silos, invernaderos y techos para albercas con estructuras neumáticas. Construye el *Pentadome exhibition* en 1958

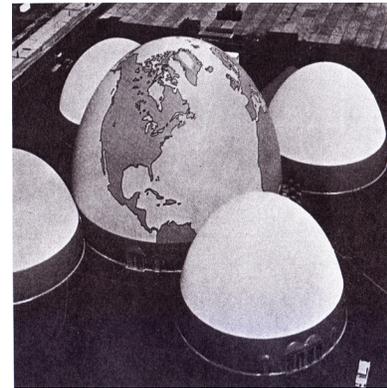


Fig.3.11. Pentadome exhibition



Fig.3.12. Airhouses de Frank Lloyd Wright

1956

Propuesta de Frank Lloyd Wright de *Fiberthin Airhouses*, una villa de caucho inflado

1960

La NASA pone en el aire el *Echo 1*, el primer satélite de comunicaciones pasivo



Fig.3.13. Echo 1 de la NASA

1961-1974

Archigram experimenta con estructuras neumáticas

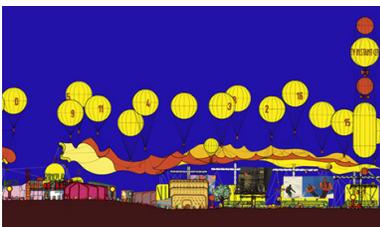


Fig.3.14. Instant city in a field de Archigram

1965

La ingeniería militar inglesa construye un puente inflable



Fig.3.15. Puente inflable

1965-1970

Graham Stevens construye *Atmosfield*, proyecto de un ambiente multimedia e inflable

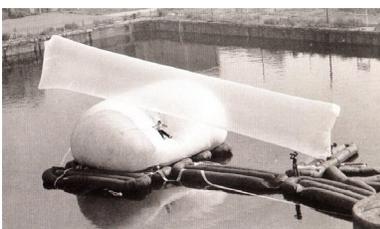


Fig.3.16. Atmosfield de Stevens



1967 —>>>

Primer Coloquio Internacional de “Estructuras Neumáticas” en la Universidad de Stuttgart por Feri Otto



Fig.3.17.Coloquio *Pneus in nature and technics*, 1973

<<< — 1967-1992

Haus-Rucker-Co construye *Oase No.7* en 1972



Fig.3.18.Oase No.7

1968-1978 —>>>

Ant Farm construye diversos proyectos generando exploraciones formales



Fig.3.19.Pillow instalacion de Antfarm

<<< — 1968-actualidad

Coop Himmelb(L)au proyecta *La nube que sale de un envase de hojalata*

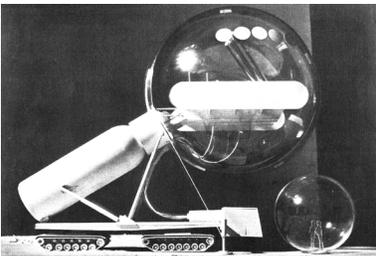


Fig.3.20.Coop Himmelb(L)au

1969-2005 —>>>

*Spatial Effects* construye neumáticas para transportarse en el agua



Fig.3.21.Spatial effects

<<< — 1970

DuPont diseña el Etileno Tetra Fluoretileno (ETFE) para la industria aeronáutica



Fig.3.22.Productos de ETFE

1974 —>>>

Gilles Ebersolt crea *The Ballule* como medio de transporte esférico, inflable y “todo terreno”



Fig.3.23.Ballule

<<< — 1984

Stefan Lehnert es el primero en utilizar el ETFE para las cubiertas del zoológico en Arnhem



Fig.3.24.Zoológico de Arnhem



Las exploraciones y propuestas arquitectónicas realizadas por las oficinas antes mencionadas, respondieron con crítica al movimiento brutalista del momento, al uso masivo de materiales y la contaminación que lleva consigo este tipo de construcciones. Estos arquitectos abrieron la brecha para el estudio y la exploración formal y constructiva de las neumáticas al crear viviendas, ambientes controlados e instalaciones artísticas que ponen en tela de juicio la percepción del habitador.

## Clasificación

Actualmente, con la producción masiva de plásticos, encontramos en la vida cotidiana ejemplos de construcciones con neumáticas como objetos, muebles, prendas de vestir y técnicas constructivas que hacen uso de estas ideas.

Los sistemas neumáticos que se utilizan actualmente se clasifican dependiendo de su uso, el tipo de presión que se utiliza para darle la forma o por su tipo de construcción. La clasificación aquí presentada se realizó tomando en cuenta los textos generados por Mclean y Silver<sup>5</sup>; Yun Chi y de Oliveira<sup>6</sup>; y Francis<sup>7</sup>.

### USO

**Transporte:** Globos aerostáticos, zeppelín, globos de helio, paracaídas y veleros.

**Arte:** Instalaciones tanto en interiores como en exteriores que buscan generar una reinterpretación del espacio.

**Muebles, accesorios y ropa:** Sillas, cubiertos y sacos formados al inyectar aire en membranas dobles.

**Constructivo:** Estructuras, cubiertas, puentes y fachadas.

**Mecánico:** Músculos, resortes, actuadores, bisagras y aisladores activados por la inyección o extracción del aire.

---

<sup>5</sup>Mclean, Will; Silver, Pete, 2015, Air structures, Form + Technique, Inglaterra, Laurence King, 160 pp

<sup>6</sup>Yun, Jung; Pauletti, Ruy, 2018, Design and Analysis of Pneumatic Structures, Brazil, Conference paper, 10 pp

<sup>7</sup>Francis, Sharon, 2019, Bubblectecture, Inflatable architecture and design, Inglaterra, Phaidon, 287 pp

## TIPO DE PRESIÓN

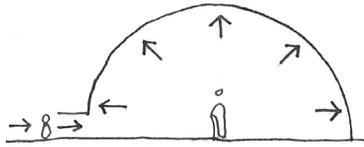


Fig.3.25. Insuflado

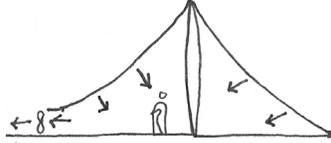


Fig.3.26. Succión

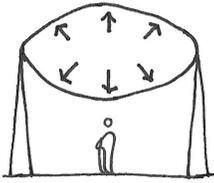


Fig.3.27. Inflado

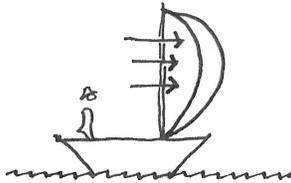


Fig.3.28. Neumática abierta

**Insuflado** (Introducir un gas en una cavidad, inyectar aire): Este sistema consiste en una membrana que encierra un espacio con una presión un poco mayor a la atmosférica.

**Succión** (Atraer y retener un líquido o un gas): La membrana se tracciona al sacar el aire dentro del espacio encerrado.

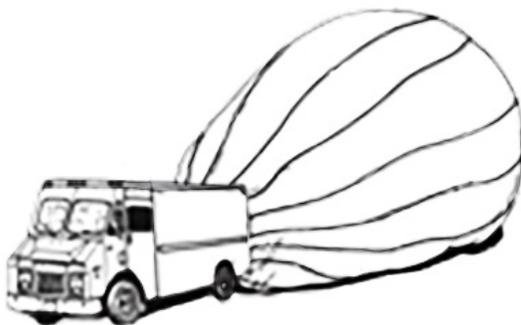
**Inflado** (Hinchar algo con aire u otro gas): Espacio confinado por una doble membrana que se infla como un globo presurizado. Este sistema necesita de una mayor presión que las neumáticas insufladas.

**Neumáticas abiertas:** Generado por una membrana traccionada por el movimiento del fluido a su alrededor, esto ocurre en las velas de los barcos y paracaídas.

## PAREDES SOPORTADAS POR AIRE

## TIPO DE CONSTRUCCIÓN

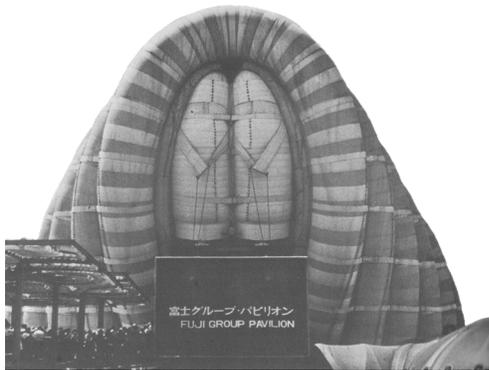
Estas neumáticas están formadas por una membrana anclada al suelo en su perímetro. La forma se sostiene al mantener una presión baja al interior de la membrana inyectando aire constantemente mediante el uso de ventiladores. Estas estructuras neumáticas suelen tener un par de puertas que funcionan como esclusa para prevenir la pérdida de aire y presión interna. Esta se puede aumentar para que la estructura resista las inclemencias del tiempo como fuertes vientos y la caída de nieve.



Spacebuster, Raumlabor, New York, EUA, 2009, Fig.3.29. Vista exterior. Fig.3.30. Croquis

## VIGAS DE AIRE

Estas estructuras son tubos inflados independientes que pueden funcionar como vigas o arcos de soporte en estructuras textiles. Estos tubos se pueden colocar unidos paralelamente para generar espacios cerrados cubriendo un gran claro y mantienen su forma mediante la inyección constante de aire, o bien, al mantener una alta presión interna estando presurizada y contar con una válvula de mantenimiento al sistema.



Fuji Pavilion, Mamoru Kawaguchi y Yukata Murata, Osaka, Japón, 1970, Fig.3.31. Fachada principal. Fig.3.32. Fachada lateral

## CÉLULAS DE AIRE

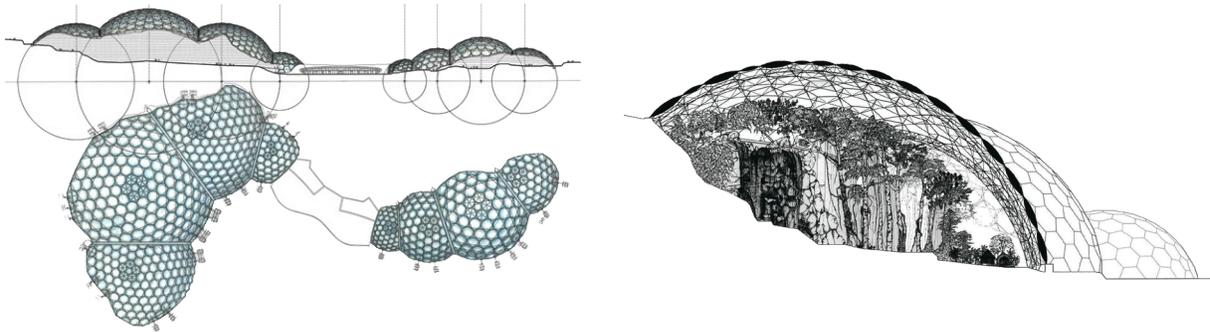
Las estructuras formadas por células de aire se conforman con una doble membrana inflada con baja presión, estas dos membranas se unen mediante lazos o redes de diafragmas para formar un par de superficies rigidizadas producto de la presión interna. Este tipo de configuración permite la construcción de diferentes formas geométricas sin la necesidad de puntos de apoyo, pero necesita refuerzos en las uniones, los anclajes y los puntos de inyección de aire. Es necesario que los ventiladores funcionen al máximo mientras se monta la estructura y posteriormente solo es necesario que los ventiladores se activen cuando la presión interna descende. A diferencia del sistema de vigas de aire, donde cada neumática es independiente, aquí las células se encuentran interconectadas.



Pillow tent, Lambert Kamps, Alemania, 2011. Fig.3.33. Vista exterior. Fig.3.34. Vista interior

## COJINES DE AIRE

Estas estructuras son utilizadas principalmente en fachadas reemplazando el vidrio. Están constituidas por dos o más capas de material que se rigidizan por la presión interna de aire. Cada cojín es independiente, lo que permite el reemplazo de una pieza en caso de desgarrar o rompimiento. Suelen construirse utilizando láminas de ETFE combinando diferentes capas de colores y opacidad para controlar la transmisión lumínica al interior del edificio.



Eden project, Nicholas Grimshaw, Inglaterra, 2001. Fig.3.35. Planta. Fig.3.36.Corte

Aparte de la clasificación aquí propuesta, Thomas Herzog<sup>8</sup> propone una clasificación morfológica de las neumáticas partiendo de la esfera como forma óptima. La primera clasificación toma en cuenta las proporciones de las neumáticas, estas permanecen iguales sin importar el tamaño final del sistema.

- Neumáticas con tres dimensiones similares: globos y burbujas
- Neumáticas con dos dimensiones similares y una mayor: tubos y columnas
- Neumáticas con dos dimensiones similares y una menor: colchones y almohadas

La segunda clasificación se basa en el tipo de curvatura que tiene la superficie exterior.

- Simplemente curvada
- Doblemente curvada en la misma dirección (Sinclástica)
- Doblemente curvada en direcciones opuestas (Anticlástica)

Y por último hace una distinción del cómo se constituye el sistema.

- Estructuras separables (Sistema aditivo)
- Estructuras inseparables (Sistema combinado)

<sup>8</sup>Herzog, Thomas, 1977, Construcciones neumáticas, Manual de arquitectura hinchable, España, Editorial Gustavo Gilli, pp 11-13

Tipo de membrana Tipo de estructura	Membrana abierta Estructura abierta	Membrana cerrada Estructura cerrada	Membrana abierta Estructura cerrada
Proporción de la estructura	Una dimensión dominante	Dos dimensiones dominantes	Tres dimensiones de similar tamaño
Tipo de curvatura	Curvatura simple	Curvatura doble en la misma dirección (Sinclástica)	Curvatura doble en dimensiones opuestas (Anticlástica)
Tipo de conexión	Sin conexión	Estructuras separables (Sistema aditivo)	Estructuras inseparables (Sistema combinado)

Esta tabla generada por Herzog muestra el comportamiento morfológico que surge al combinar estas características. Aunque esta tabla no esquematiza todas las posibilidades formales que se pueden crear, más de dos mil, sí contribuye al entendimiento de las neumáticas y sus posibles configuraciones.

## Búsqueda formal (Form finding)

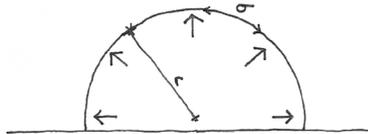


Fig.3.37. Presión interna de una burbuja

Partiendo de la idea del sistema neumático como una membrana traccionada que cubre un medio, se pueden considerar las burbujas de jabón como la forma ideal para las neumáticas, ya que todos los puntos de la superficie cuentan con la misma tensión. Este fenómeno permite optimizar la forma generando la mínima superficie necesaria para cubrir el mayor volumen posible dentro de los bordes determinados.

A partir de la esfera que se genera en la burbuja de jabón Thomas Herzog<sup>9</sup> utiliza la siguiente fórmula para comprender la relación existente entre la tensión superficial, presión interna y el radio de curvatura de las superficies fluidas estables.

$p$  = presión interna

$\sigma$  = tensión superficial de la membrana

$r_1$  = Radio mayor de curvatura en la superficie

$r_2$  = Radio menor de curvatura en la superficie

En la esfera se considera que  $r_1$  es igual a  $r_2$ , por lo tanto:

$$p = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$p = \frac{2\sigma}{r}$$

$$\sigma = \frac{p \cdot r}{2}$$

Al observar esta fórmula se deduce que entre menor sea el radio de una esfera, su presión será mayor. Esto es notorio al estudiar el comportamiento de dos burbujas de jabón juntas. La burbuja de menor tamaño, y mayor presión, empujará a la de mayor tamaño, arqueando la lámina que las divide hacia la burbuja grande. El radio de este arco tiene relación con el radio de las burbujas como se muestra en la siguiente fórmula:

$$r_3 = r_1 \cdot r_2 (r_1 + r_2)$$



Fig.3.38. Comportamiento morfológico de una sola burbuja

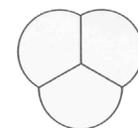
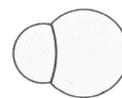
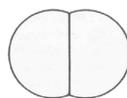


Fig.3.39. Comportamiento morfológico entre dos burbujas



Fig.3.40. Comportamiento morfológico entre tres burbujas

<sup>9</sup>Herzog, Thomas, 1977, Construcciones neumáticas, Manual de arquitectura hinchable, España, Editorial Gustavo Gilli, pp 8

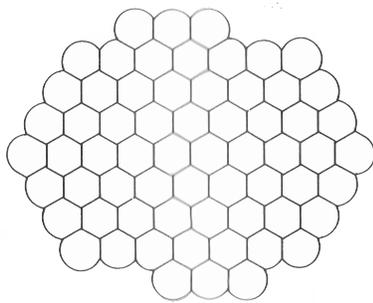


Fig.3.41. Comportamiento morfológico entre varias burbujas de igual presión

Si esta fórmula se aplica a dos burbujas del mismo tamaño, mismos radios, el resultado para el radio del arco será igual a cero, por lo tanto, la lámina que se forma entre las burbujas será plana. Si en cambio se cuenta con más de dos burbujas, estas tenderán a agruparse de manera circular buscando ocupar la menor superficie posible y conservando uniones entre tres esferas formando un ángulo de  $120^\circ$  entre ellas. Este efecto se aprecia claramente si las burbujas son del mismo tamaño ya que la superficie de contacto que se forma entre las burbujas serán láminas planas y se generarán hexágonos.

Al diseñar la forma del sistema neumático se realizan modelos físicos de películas de jabón o de membranas textiles y simulaciones virtuales para estudiar y definir la forma final del sistema en un proceso de prueba y error.

## Criterios constructivos

Los modelos físicos que se realizan para el estudio de las neumáticas se construyen utilizando películas de jabón o de caucho elástico ya que su flexibilidad permite modificar la forma sin mayor esfuerzo. En cambio, en las neumáticas habitables se utilizan materiales menos deformables que resisten los esfuerzos a los que se somete la membrana y que no se desgastan rápidamente ante los efectos climatológicos.

Herzog<sup>10</sup>, enlista y describe los elementos constructivos de las neumáticas, generando un compendio de información que sirve para comprender los sistemas y el funcionamiento de este tipo de sistemas permitiendo a los arquitectos explorar y proponer nuevas soluciones.

Existen dos posibles materiales para las membranas, los isotrópicos que tienen las mismas propiedades y resistencia en todas sus direcciones, y los materiales anisotrópicos cuyas propiedades dependen de la orientación de sus elementos.

### Materiales Isotrópicos

- Películas plásticas de PVC, poliamida, caucho sintético
- Tejidos de fibras sintéticas revestidas
- Membranas de caucho utilizadas en ensayos formales
- Láminas metálicas utilizadas en proyectos espaciales

<sup>10</sup>Tbíd. pp 138-181

### Materiales Anisotrópicos

- Telas tejidas
- Telas tramadas formadas por varias capas de tejidos

Es importante que las membranas conformadas por tejidos tengan un recubrimiento sintético que puede ser de PVC o algún engomado para asegurar la hermeticidad de la membrana, su resistencia al agua, a los rayos ultravioletas, al fuego y en el caso de fibras orgánicas para evitar la putrefacción de la tela por hongos o bacterias.

La mayoría de las neumáticas se construyen utilizando una membrana simple y solo se colocan dos o tres capas de membrana en las zonas de unión, anclaje y de mayor presión para evitar desgarres y rasgaduras. Es importante tener en cuenta que tanto la humedad, como la temperatura del ambiente pueden modificar las propiedades de la membrana y sus refuerzos.

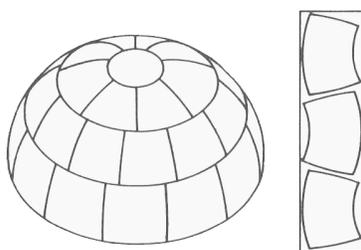


Fig.3.42. Patronaje

A diferencia de las películas de jabón la membrana de la neumática habitable no se puede construir utilizando únicamente una pieza de material ya que en la superficie aparecerán arrugas, o bien, no se obtendrá la geometría deseada. Por esto es necesario tomar en cuenta las propiedades y medidas de fabricación del material para realizar un patronaje. El patronaje es un proceso por el cual la superficie se separa en diferentes piezas buscando que cada una se adapte a la forma deseada y se pueda obtener dentro de las medidas establecidas del material elegido, que será plano. Este proceso hace posible la construcción de estructuras de mayor tamaño que del material disponible.

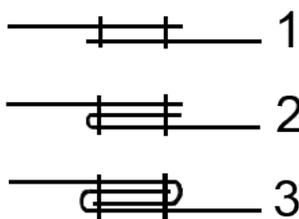


Fig.3.43. Uniones con dobladillo

Las piezas obtenidas por el patronaje se unen cuidando que la resistencia de la junta sea igual o mayor que de la membrana, que sea flexible para evitar arrugas y de alta densidad para que no haya escape de aire ni filtraciones de agua. Para lograr esto se utilizan diferentes métodos en la unión de las piezas.

- Cementado: Se aplica un adhesivo entre las piezas.
- Vulcanización: Se realiza una reacción química con azufre para pegar el caucho.
- Costuras: La resistencia de la costura depende de la resistencia del hilo y la cantidad de costuras que tengan, se recomienda que estas sean dobles y en la cantidad adecuada ya que si son demasiadas la membrana se puede rasgar y si son muy pocas se perderá resistencia.
- Soldadura: Este método se utiliza en termoplásticos sintéticos, los materiales se funden al aplicar calor, aire caliente o una alta frecuencia entre dos electrodos y bajo la presión de dos rodillos.
- Reblonadura: Se utilizan remaches de tipo “pop” o ciegos. Este método es poco utilizado.
- Grapado: Se colocan grapas metálicas con pistola de aire.

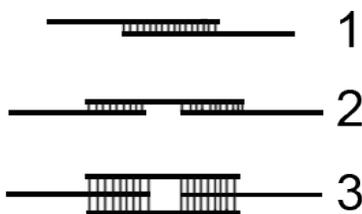


Fig.3.44. Uniones sobrepuestas

Para realizar la unión de las piezas de membrana estas se deben solapar de dos a cuatro centímetros para asegurar una buena unión. Dependiendo del esfuerzo que soportará la membrana la unión puede ser sencilla, una pieza sobre otra, o doble generando un dobladillo en ambas orillas.

Las uniones realizadas con estos métodos son inseparables, pero también es posible generar juntas separables que sirven al contar con partes móviles o intercambiables, si es necesario separar la neumática para su transporte, o si la construcción se puede aumentar mediante módulos. Existen diferentes métodos para realizar este tipo de juntas.

- Cierres de cremallera
- Cierres a presión
- Cordones
- Juntas espigadas
- Fajas de conexión
- Diferentes mecanismos formados por anillos y cables

Por la ligereza de las estructuras neumáticas es necesario que estén ancladas, ya sea al suelo o a una estructura. Estos anclajes deben de soportar tanto los esfuerzos de las presiones internas del sistema como las cargas causadas por viento, nieve y succión. La membrana se fija realizando un dobladillo en la zona de tracción donde se inserta un cable, varilla o tubo que es el que transfiere los esfuerzos de tracción al anclaje. A esto se le puede añadir un faldón, que puede ser del mismo material que la membrana para evitar la pérdida de viento y volver hermética la estructura.

En el caso de los anclajes al suelo se utilizan elementos de carga para soportar las fuerzas verticales, de ser necesario la carga puede aumentarse. Estos elementos pueden ser de cemento, lajas de construcción o hasta botes de agua dependiendo de la duración de la obra y las características del suelo. También se pueden utilizar anclajes de lastre, estos consisten en piezas que se clavan al suelo para dar la estabilización necesaria.

Para lograr la correcta forma y estabilización de la estructura neumática es necesario producir y mantener una presión constante. Esto se logra utilizando equipos mecánicos como ventiladores de baja capacidad, impulsores de aire o compresores de alta capacidad que pueden funcionar de una manera axial donde la corriente del aire fluye en el mismo sentido del eje del ventilador, radial cuando el aire se succiona lateralmente y se expulsa en un ángulo recto o tangencialmente si tanto la toma como la expulsión del aire se realiza tangencialmente. Al escoger el equipo mecánico que se utilizará es necesario tomar en cuenta

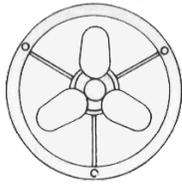


Fig.3.24. Ventilador de baja capacidad

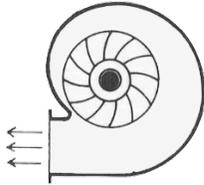


Fig.3.25. Impulsor de aire

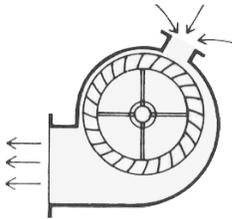


Fig.3.26. Impulsor de aire tangencial

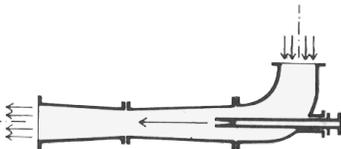


Fig.3.27. Compresor de alta capacidad

la potencia que se necesita, al igual que el suministro de energía eléctrica y la cantidad de ruido que pueden generar. En este último aspecto los equipos tangenciales son los más silenciosos.

En la construcción de estructuras neumáticas, ya sean permanentes o móviles, es necesario resolver el transporte de la membrana como la manera en la que se colocará en el sitio. La dificultad de este proceso dependerá de la cantidad de elementos que se utilicen y de la relación entre el peso y volumen de la membrana desinflada. Al variar estos factores se pueden disminuir los tiempos de construcción y de desmantelamiento del montaje.

Mientras la membrana está desinflada puede sufrir daños por lo que es necesario manejarla con cuidado, para poder almacenarla y volverla a utilizarla en otra ocasión. Por la facilidad que se tiene para reutilizar estos sistemas se han propuesto construcciones de estructuras neumáticas en zonas remotas como en los círculos polares o hasta en otros planetas.

Las dificultades constructivas existentes en este tipo de estructuras han disminuido mientras la tecnología ha avanzado. Actualmente se desarrollan materiales más flexibles, resistentes y ligeros que permiten generar diferentes formas y soluciones. Lo mismo ocurre con las uniones a otras estructuras y el uso de gases ligeros como el helio para generar instalaciones que desafían la gravedad.

Como se ha revisado, las estructuras neumáticas permiten generar construcciones temporales, portables y móviles gracias a la flexibilidad de su membrana y al poco volumen que ocupan al estar desinfladas. Estas características permiten que se utilicen sistemas neumáticos en proyectos que responden a catástrofes ambientales, en instalaciones temporales y en construcciones que se lleven a diferentes sitios.



# Casos de estudio

---

“Desde luego resulta muy interesante la capacidad que estas arquitecturas provisionales presentan a la hora de poder poner a prueba otras realidades urbanas. Unas veces desde lo improvisado, la inteligencia y colaboración colectiva, y otras desde el diseño experimental, la generación de espacios subversivos y el impacto visual, dichas estructuras nos ayudan a vislumbrar nuevos imaginarios de lo urbano y lo colectivo y a descubrir otras formas de experimentar nuestras ciudades.”

-Carmelo Rodríguez, 2019

## Emilio Pérez Piñero: Concurso de Teatro Ambulante

El “Teatro Ambulante” de Emilio Pérez Piñero es una propuesta que surge por un concurso de estudiantes convocado por la UIA en Londres en 1961<sup>1</sup>. El jurado de este concurso estaba integrado por Richard Buckminster Fuller y Félix Candela. La propuesta de Pérez Piñero cumplía con las condiciones establecidas en el concurso de contar con un aforo de 500 personas y que el teatro se pudiera transportar fácil y rápidamente.

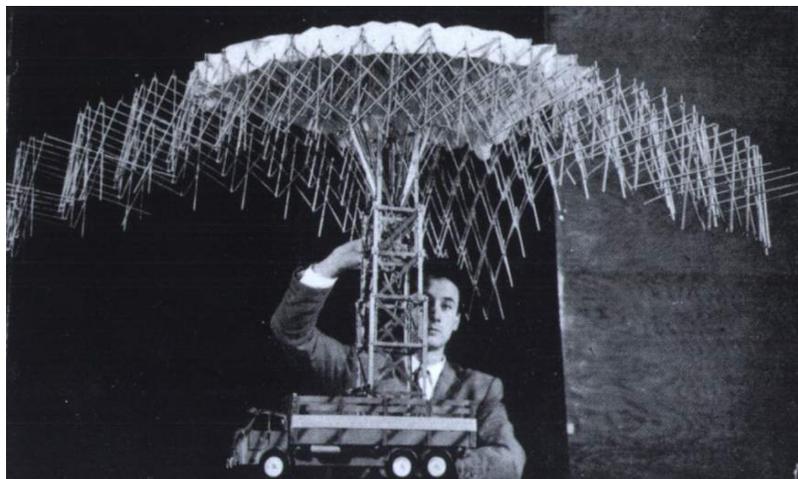


Fig.4.1. Demostración del funcionamiento de la cubierta

Las necesidades internas del teatro; el escenario, las gradas, los camerinos y el vestíbulo, se resuelven utilizando sistemas desplegados a partir de camiones. Las gradas las diseña tomando en cuenta una correcta isóptica y cubre el escenario para ocultar la maquinaria teatral. Pero el aspecto más importante del proyecto fue la cubierta.

Para cubrir el área del teatro Piñero utiliza una estructura plegable cuyo desarrollo sigue la geometría de una cúpula rebajada. Este sistema se conforma por barras unidas por un nudo intermedio cuya posición genera el radio de curvatura necesaria para la esfera. Para estabilizar esta estructura hace uso de tres juegos de cables, los primeros unen todos los nodos superiores, los segundos todos los nodos inferiores y el tercer juego une los nodos inferiores con los superiores. Este sistema también cuenta con una membrana

<sup>1</sup>Peña, Martino, 2015, “El Teatro Ambulante de Emilio Pérez Piñero. Un viaje espacio-temporal” en *II Congreso nacional de arquitectura, pioneros de la arquitectura moderna española*, España, Fundación Alejandro de la Sota, pp 469

textil para proteger el espacio interno de las inclemencias ambientales. Posteriormente Piñero realiza la patente *Estructura Reticular Estérea Desplegable* con el desarrollo total de su sistema.

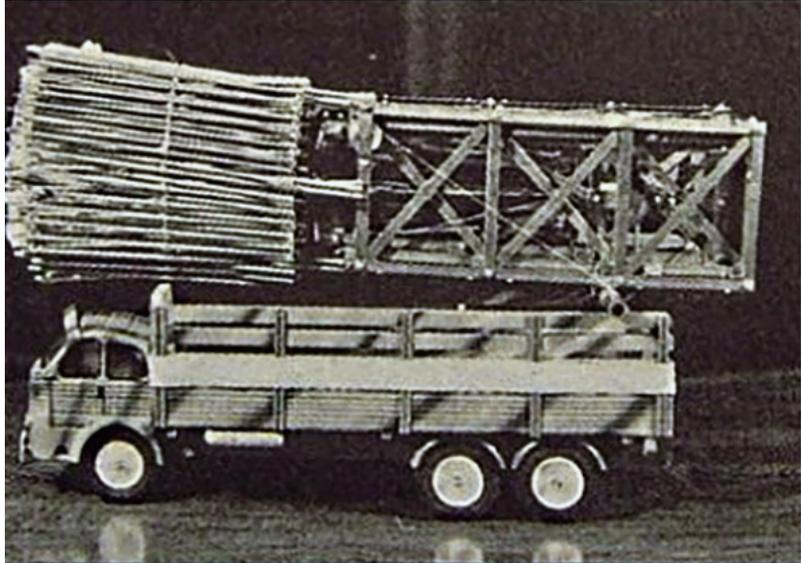


Fig.4.2. Modelo de la cubierta plegada para su transporte

Sin duda alguna la aportación del sistema desplegable de Piñero es impresionante y resuelve la necesidad planteada desde un principio en el concurso. De igual manera la solución de utilizar camiones resulta útil y adecuado. Sin embargo, surgen incógnitas como el aislamiento ambiental del teatro y si las condiciones acústicas resultan óptimas al interior del auditorio.

Esta propuesta no se llegó a construir, pero sentó las bases para el desarrollo del sistema y de la lamentablemente corta carrera de Emilio Pérez Piñero.

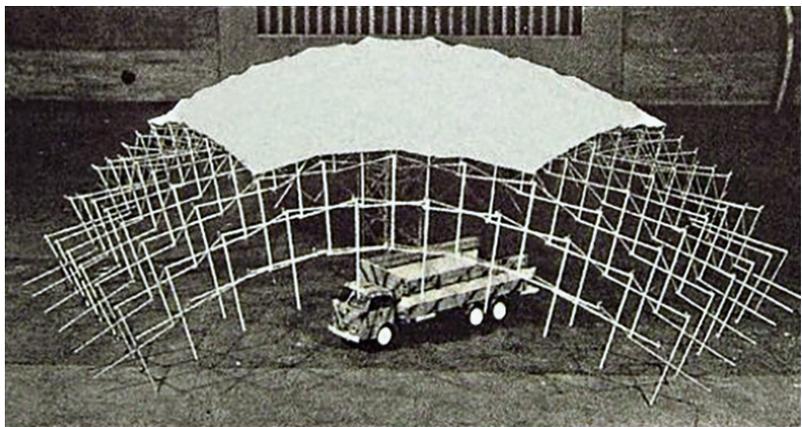


Fig.4.3. Modelo de la cubierta desplegada con membrana

## Tadao Ando: Karaza Theater

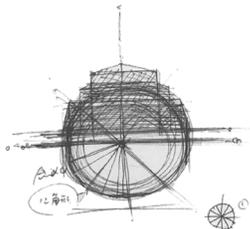


Fig.4.4. Croquis conceptual

El *Karaza Theatre* fue diseñado por Tadao Ando en 1985 para la compañía viajera de teatro y performance vanguardista dirigida por Kara Juro. Fue construido por primera ocasión en 1987<sup>2</sup>.

Este es un teatro móvil que se rige por la cosmovisión e ideales tradicionales de Japón. El escenario es una plataforma que es dividida por un río simbólico y para acceder a la zona de graderías es necesario subir unas escaleras que forman un puente arqueado. A este tipo de puente se le conoce como *taikobashi* y simboliza la transición del mundo que habitamos al mundo que existe después de la muerte según el budismo.

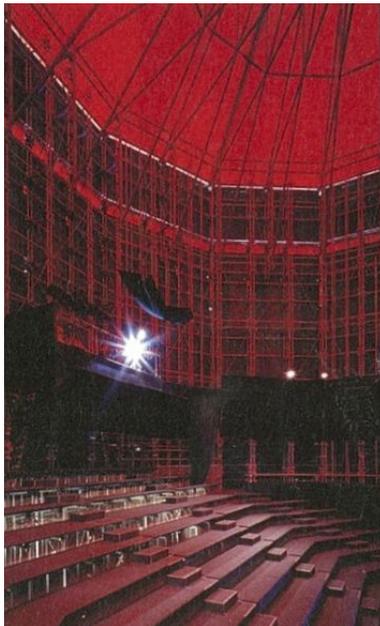


Fig.4.6. Espacio interno

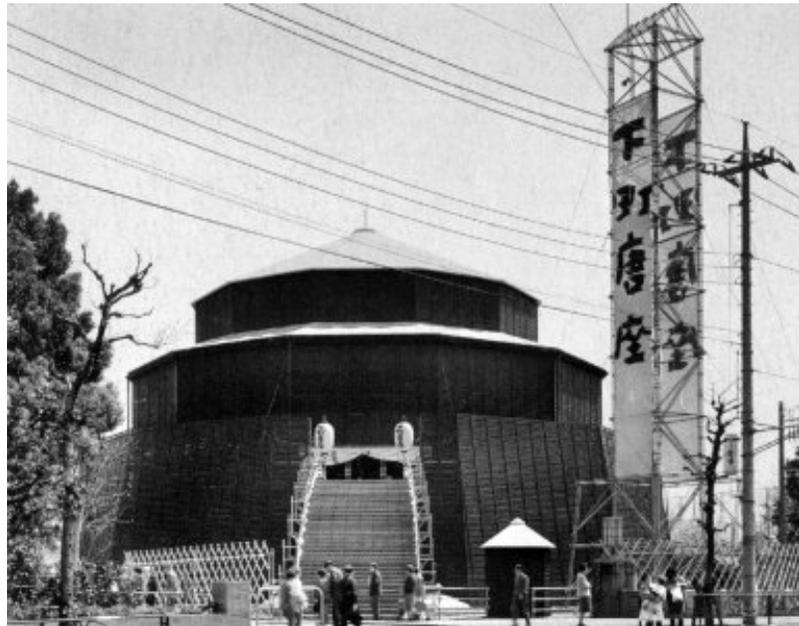


Fig.4.5. Fotografía del exterior

El edificio está construido con madera y su estructura se resuelve utilizando elementos de andamio. Para su montaje primero se marca en el piso la geometría del edificio, que está inscrita dentro de un dodecaedro, y posteriormente se utilizan dos grúas para colocar todos los elementos del andamio, mobiliario y techo. Para proteger el espacio interior de la lluvia y el sol el techo se cubre con una membrana textil roja que recuerda a los principios de esta compañía cuando se presentaban bajo una lona roja. Todo el proceso de montaje toma alrededor de quince días.

<sup>2</sup>Kronenburg, Robert, 2008, *Portable Architecture, Design and Technology*, Germany, Architectural Press, pp 63

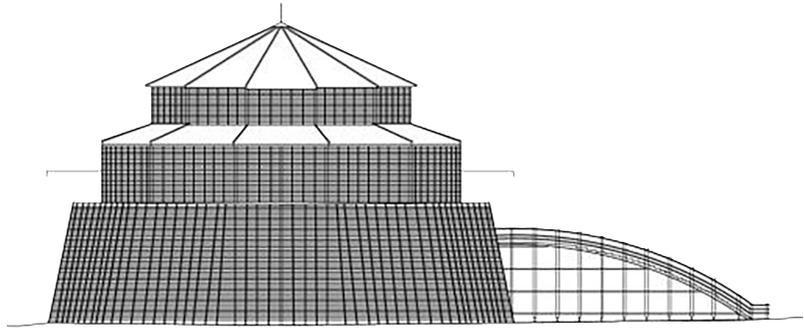


Fig.4.7. Fachada

El tiempo de montaje y esfuerzos necesarios para el montaje y desmontaje de este teatro conformado por tantos elementos pueden llegar a ser un inconveniente. Si el ciclo de presentaciones que se hará es corto, por ejemplo, de una semana, el tiempo necesario para su montaje y desmontaje sería de un mes, cuatro veces la estancia del festival. Esta situación no es siempre viable.

A pesar de esto Ando logra combinar conceptos de la tradición japonesa con nuevas tecnologías y métodos constructivos logrando un edificio armonioso y bien aceptado por la sociedad. Este teatro fue diseñado tomando en cuenta las necesidades únicas de la compañía teatral de Kara Juro logrando expresar sus ideales en el edificio mismo.

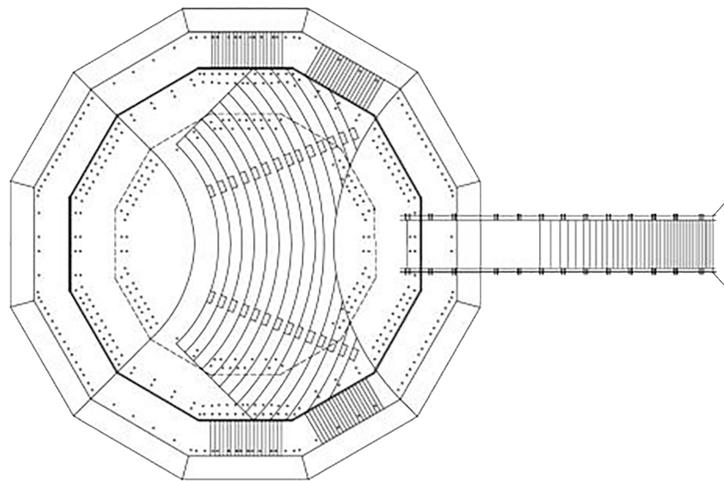


Fig.4.8. Planta

## Arata Isozaki & Anish Kapoor: Ark Nova

La sala de conciertos “Ark Nova” fue diseñada por el arquitecto Arata Isozaki en colaboración con el artista Anish Kapoor en el 2011 y materializada en el 2013 con el fin de llevar música y un espacio para la cultura a las zonas afectadas por el terremoto, y consecuente tsunami, que sufrió Japón en el 2011<sup>3</sup>.

El diseño de la sala se vio influenciado por las esculturas inflables de “Leviathan” realizadas por Kapoor en París en el 2011. De esta manera surge una forma ovoide de planta libre que permite acomodar el escenario de diferentes maneras, o hasta contar con más de un escenario dentro de la sala, con una capacidad de hasta 500 personas.



Fig.4.9. Interior del auditorio

El diseño fue pensado para la realización de obras de orquestas, música de cámara, jazz, teatro, danza y arte multimodal. Esta sala cuenta con butacas realizadas a mano que se colocan a nivel de suelo para permitir que los espectadores estén cómodos durante la función. Aunque esto llega a afectar la isóptica al escenario en el caso de obras con un gran peso visual.

La membrana plástica que cubre el espacio se encuentra anclada en el perímetro y se rigidiza por la presión interna del aire. Gracias a la flexibilidad del material la membrana se puede inflar y desinflar rápidamente y doblar con facilidad para su transporte en la caja de un camión que sirve a su vez como esclusa de acceso a esta estructura neumática.

<sup>3</sup>Frearson, Amy, 2013, “Ark Nova by Arata Isozaki and Anish Kapoor”, en Dezeen, en: <https://www.dezeen.com/2013/09/26/ark-nova-by-arata-isozaki-and-anish-kapoor-completes/>



Fig.4.10. Vista interna del escenario

Esta sala no cuenta con un espacio adecuado para la preparación de los artistas antes de subir al escenario. Pero propone una solución innovadora y práctica para cubrir un espacio de 30 m de claro que resulta interesante a la vista y agradable de vivir, con la función de ser transportable y llegar a donde la población lo necesita, acercando la cultura, música y el arte a la sociedad.



Fig.4.11. Vista exterior



# Teatro itinerante

---

“This structure (the pneu) is the most efficient structural form available to date ... no other type of structure has the potential of providing free-span coverage for so large an área ... as this structure is constructed of light-weight, flexible materials, it can be made easily portable and lends itself really to the design of demountable or removable structures.”\*

**-Walter Bird, 1967**

# 05

\*Esta estructura (la neumática) es la forma estructural disponible más eficiente a la fecha ... ningún otro tipo de estructura tiene el potencial de proveer una cobertura de claro libre para un área tan grande ... como la estructura es construida con materiales ligeros y flexibles, se puede hacer fácilmente transportable y se presta para el diseño de estructuras desmontables o removibles.

## Descripción del proyecto

El teatro aquí propuesto busca generar un espacio adecuado para la realización y difusión de las artes escénicas en México y así acercar la cultura a la población. Con esto en mente se desarrolló un edificio que se pudiera transportar mediante camiones y así permitir la posibilidad de que el mismo espectáculo se presente en diferentes zonas del país sin importar la infraestructura existente. De esta manera se pueden realizar festivales artísticos abriendo espacios para grupos emergentes.

Se cuidó que el edificio resultante fuera adecuado para la realización de espectáculos escénicos tomando en cuenta un tamaño adecuado para un escenario para diez artistas y un espacio cómodo para la preparación de los artistas. De igual manera se calculó la isóptica de las gradas para 150 asistentes y se tomaron en cuenta aspectos de diseño acústico en la cubierta para permitir que los espectadores disfruten al máximo la función.

En este teatro el escenario se enfrenta a las gradas que se abren en abanico para tener una mejor vista al escenario. Esta disposición permite la realización de diferentes espectáculos teatrales y presenta una clara división del espacio en tres zonas importantes; una para los artistas, una para los asistentes y una en donde los dos se encuentran. Esto se ve reflejado en la cubierta donde un ritmo diferente marca cada zona. En la primera zona se encuentran los camerinos junto con el escenario, la boca de la escena marca la transición del escenario y de la primera zona a la segunda que es más grande, donde se encuentran las gradas. En la tercera zona se encuentra el acceso al teatro por medio de un vestíbulo donde se encuentra la taquilla y puntos de venta para mercancía. Los servicios sanitarios y de compra de alimentos se ubican al exterior de la cubierta para permitir una mejor conexión con el contexto y un fácil mantenimiento de los servicios.

Fue importante para la transportabilidad del edificio sintetizar los elementos constructivos del edificio. Por esta razón se utilizó una cubierta neumática que al mismo tiempo funciona como dispositivo acústico para el auditorio. Se utilizaron travesaños como punto de apoyo y seguridad para dicha cubierta que a la vez funciona como soporte para las separaciones del espacio y los sistemas de iluminación y de sonido. Los camiones para el transporte de los diferentes elementos funcionan como la

estructura de soporte en el sitio para las gradas, el escenario y los componentes administrativos en el vestíbulo que se sitúan en la parte inferior de las gradas.

En la parte constructiva se buscó seguridad y concordancia entre los diferentes elementos. Por esto se utilizan los mismos sistemas; cajas de camión y camiones plegables para dar forma a los pisos, traveses de sección triangular para soportar los sistemas de funcionamiento del teatro y una cubierta ligera anclada en su perímetro a una cimentación por lastre para evitar la succión generada por viento.

Esta propuesta busca generar un espacio adecuado para la realización de espectáculos a pequeña escala con obras como *Esperando a Godot* de Samuel Becket, presentaciones de danza contemporánea como *Concierto en Re*, coreografía de Gloria Contreras, o presentaciones musicales de grupos emergentes como *Russel* o cuartetos de música clásica con piezas como *Tres piezas para cuerdas* de Igor Stravinsky.

El objetivo de que sea un teatro itinerante tiene el fin de apoyar la difusión de las artes escénicas dentro del territorio mexicano sin la necesidad de invertir en la construcción de casas teatrales en cada ciudad.



Fig.5.1. Corte longitudinal perspectivado

## Relación de espacios y necesidades

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TEATRO

Al comenzar el diseño del teatro se tomó en cuenta la investigación realizada para determinar los elementos principales y características necesarias con las que debe contar el recinto para la producción adecuada de espectáculos de danza, teatro y música.

Se consideraron tres zonas generales. (1) Un vestíbulo por donde los espectadores entran al edificio, (2) los camerinos por donde los artistas ingresan y (3) una sala donde el auditorio y el escenario se encuentran al igual que los espectadores con los artistas. Estas zonas se dispusieron de manera lineal considerando dos accesos separados, uno para el público y otro para los artistas con un punto de reunión al centro.

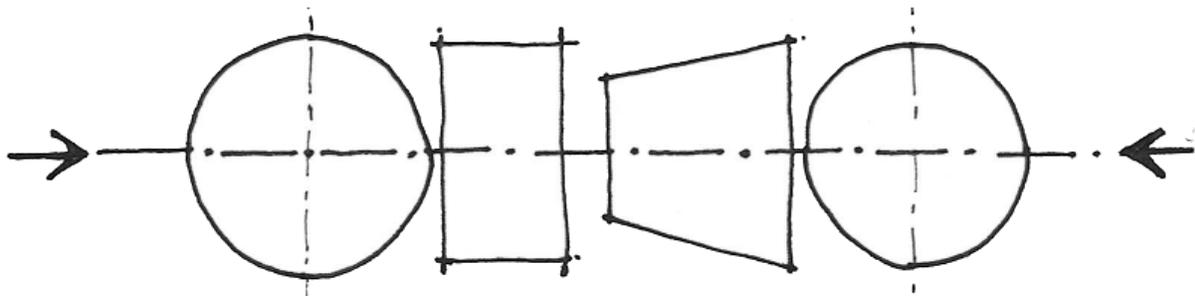


Fig.5.2. Relación de espacios en planta

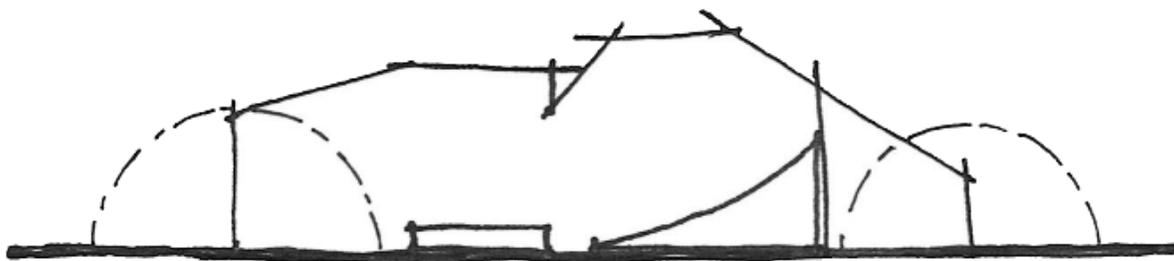


Fig.5.3. Relación de espacios en corte

Camerinos apropiados para los artistas	Escenario de tamaño y maquinaria funcional	Auditorio con buena isóptica y acústica	Vestíbulo que funciona como zona de transición del exterior al interior
--	--	---	---

Las características de estas zonas tienen que ver con la función de cada espacio y de su usuario, ya sea espectador, artista o empleado. De esta manera se hace la diferencia entre las áreas públicas y las privadas.

	Camerinos	Escenario	Auditorio	Vestíbulo
Privado	Vestidores	Zona de espectáculos	Consola de control	Bodega
	Cuarto de preparación			
	Sanitarios	Tramoya		
	Espacio de trabajo	Maquinaria teatral		
Público			Gradas	Sanitarios
				Taquilla*
				Tienda de mercancías*
				Tienda de bocadillos*
		Circulaciones		

\*Estos espacios son de venta y por lo tanto una barrera entre un área pública y privada.

Los espacios aquí esquematizados cumplen con las necesidades de un teatro itinerante para el arte escénico emergente. Por esta razón no se consideran ciertos espacios como una cabina de control, pasos de gato, cuarto de máquinas o bodegas para escenografía.

La separación de las áreas públicas y privadas se ve reflejada en las circulaciones internas del teatro y sus accesos. Los artistas acceden por un lado del edificio a los camerinos e inmediatamente se encuentra el acceso al escenario por la parte posterior. Del otro lado del edificio accede el público a un vestíbulo desde el cual se accede a las gradas. Por seguridad del público se colocaron dos salidas al frente de las gradas para permitir una rápida evacuación en caso de un accidente.

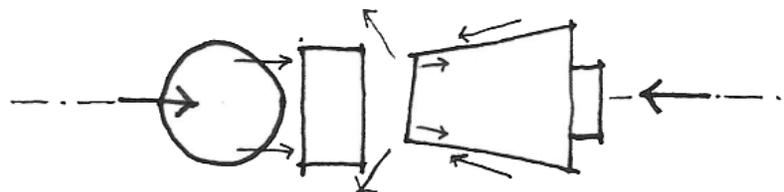


Fig.5.4. Circulaciones generales

Es importante que la iluminación y el ruido al interior de la sala sean controlados, por ello debe existir una barrera física entre los camerinos y el escenario, y entre el vestíbulo y las gradas. También se tiene una separación física y virtual entre el escenario y las gradas para controlar la visual hacia el escenario y poder controlar posibles incendios en el escenario.

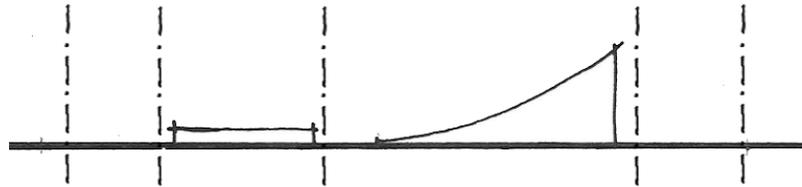


Fig.5.5. Separación entre los espacios

Estas barreras pueden ser elementos rígidos como paredes o elementos deformables como cortinas pesadas y plisadas para impedir la transmisión lumínica y acústica.

## Diseño del auditorio

El elemento principal del auditorio son las gradas. Al tener claro la relación entre el escenario y el auditorio, así como las circulaciones, accesos y salidas, se optó por colocar las circulaciones de manera lateral para así mantener una sola fila de asientos al centro. También se optó por dejar las consolas de iluminación y sonido en la parte central y trasera de las gradas.

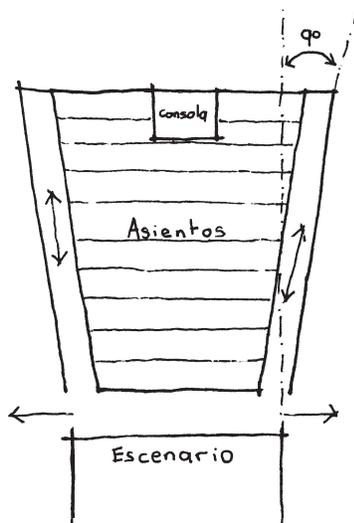


Fig.5.6. Circulación dentro de gradas

El tamaño del auditorio se define por la cantidad de asistentes. En un principio se consideró un aforo de 400 personas, pero las características y el tamaño del teatro resultante no concordaba con los objetivos principales del proyecto. Por esta razón se redujo el aforo a 150 espectadores. Por lo tanto, el tamaño del auditorio se predimensionó tomando en cuenta los siguientes factores:

### Mínimo admisible NTC

$$150 \text{ personas} \times 1.75 \text{ m}^3 = 262.5 \text{ m}^3$$

$$150 \text{ personas} \times 0.50 \text{ m}^2 = 75 \text{ m}^2$$

### Deseable

$$150 \text{ personas} \times 5 \text{ m}^3 = 750 \text{ m}^3$$

$$150 \text{ personas} \times 0.50 \text{ m}^2 = 75 \text{ m}^2$$

Para el diseño de la isóptica se tomó en cuenta las condiciones visuales para la danza, un punto de arribo visual PAV (0,0) y una apertura horizontal desde el escenario de 9°, ya que estas son las más acotadas y permiten observar otros géneros de espectáculos. También se buscó que las filas de asientos no superaran las 15 butacas por seguridad y que la vista entre las butacas fuera entre las cabezas considerando una distancia desde el tope de la cabeza a la línea visual de 15 cm. Estas condicionantes llevaron a que las gradas tuvieran un total de 12 filas de asientos.

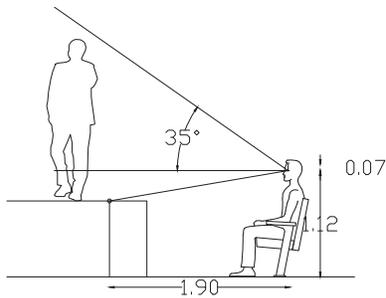


Fig.5.7.Distancia a butaca frontal

La posición de la butaca frontal se definió tomando en cuenta el ángulo de visión vertical del humano para permitir que el espectador sea capaz de observar la totalidad del cuerpo del actor al estar parado al frente del escenario, por esto se usa una distancia de 1.90 m. Los siguientes escalones de la grada miden 90 cm para que el espectador se sienta cómodamente en su butaca y permita el paso de otra persona de ser necesario.

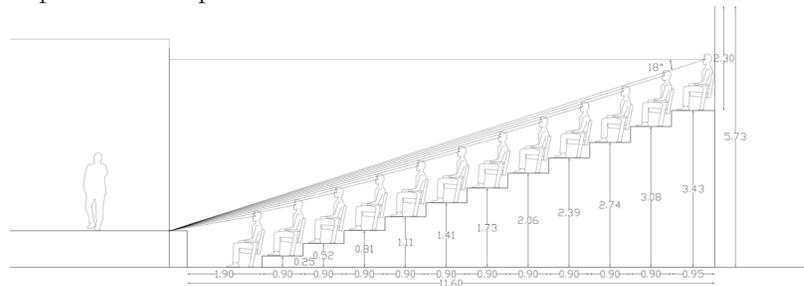


Fig.5.8.Cálculo de isóptica vertical

Para el cálculo de la isóptica horizontal los asientos se colocaron siguiendo la curvatura del proscenio y cuidando que los asientos entre las filas estén intercalados. De igual manera se cuidó que no se superaran los 9° de apertura visual desde el escenario y que todos los asientos pudieran observar mínimamente  $\frac{3}{4}$  partes del escenario.

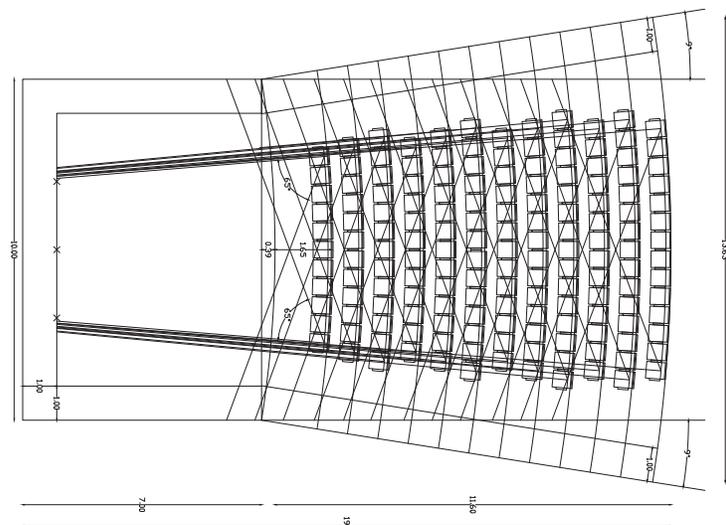


Fig.5. |9.Cálculo de isóptica horizontal

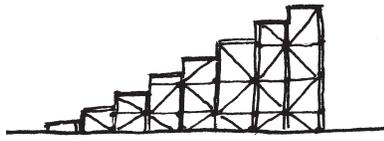


Fig.5.10. Estructura de andamios

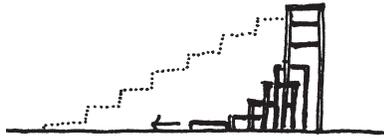


Fig.5.11. Estructura telescópica

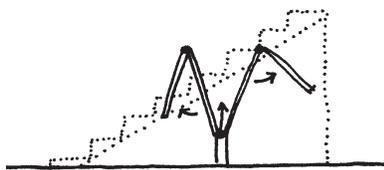


Fig.5.12. Estructura plegable

Como el teatro no cuenta con una cabina de control se optó por colocar las consolas para controlar tanto el sonido como las luces en la parte posterior y central de las gradas. De esta manera se puede tener un buen control sobre lo que ocurre en el escenario y en la sala.

Por la condición del teatro es necesario que las gradas sean un elemento portátil. Para ello se consideraron estructuras compuestas por andamios, sistemas telescópicos o sistemas plegables. Se optó por este último sistema ya que utiliza una menor cantidad de material, lo que reduce el peso total de la estructura. El sistema viene integrado a un camión lo que facilita su transporte y reduce significativamente los tiempos de montaje y desmontaje. El desarrollo de este sistema se observa en la patente realizada por Uhl, Robert, 2012, Estados Unidos, con número US8,296,99 y en el sistema desarrollado por *Touartube*, “*Mobilseats*”.



Fig.5.13. Sistema Mobil seats-Gradas desplegadas



Fig.5.14. Sistema Mobil seatsd-Gradas plegadas

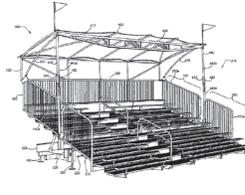


Fig.5.15. Patente Uhl-Gradas desplegadas

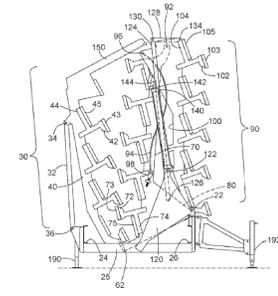


Fig.5.16. Patente Uhl-Gradas plegadas

La iluminación en el auditorio se resuelve utilizando luminarias integradas en el sistema de gradas que permiten al espectador encontrar su asiento al llegar y la salida en caso de una emergencia. También se colocaron reflectores en los elementos de soporte de la cubierta para una iluminación general de la sala.

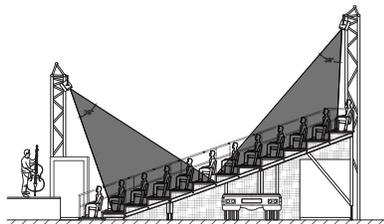


Fig.5.17. Iluminación del auditorio

Por el tamaño del auditorio se utiliza una ventilación natural aprovechando el acceso abierto al teatro y la separación existente entre la cubierta y el suelo. De esta manera se tiene un flujo de aire constante que controla la temperatura al interior del recinto y lo oxigena.

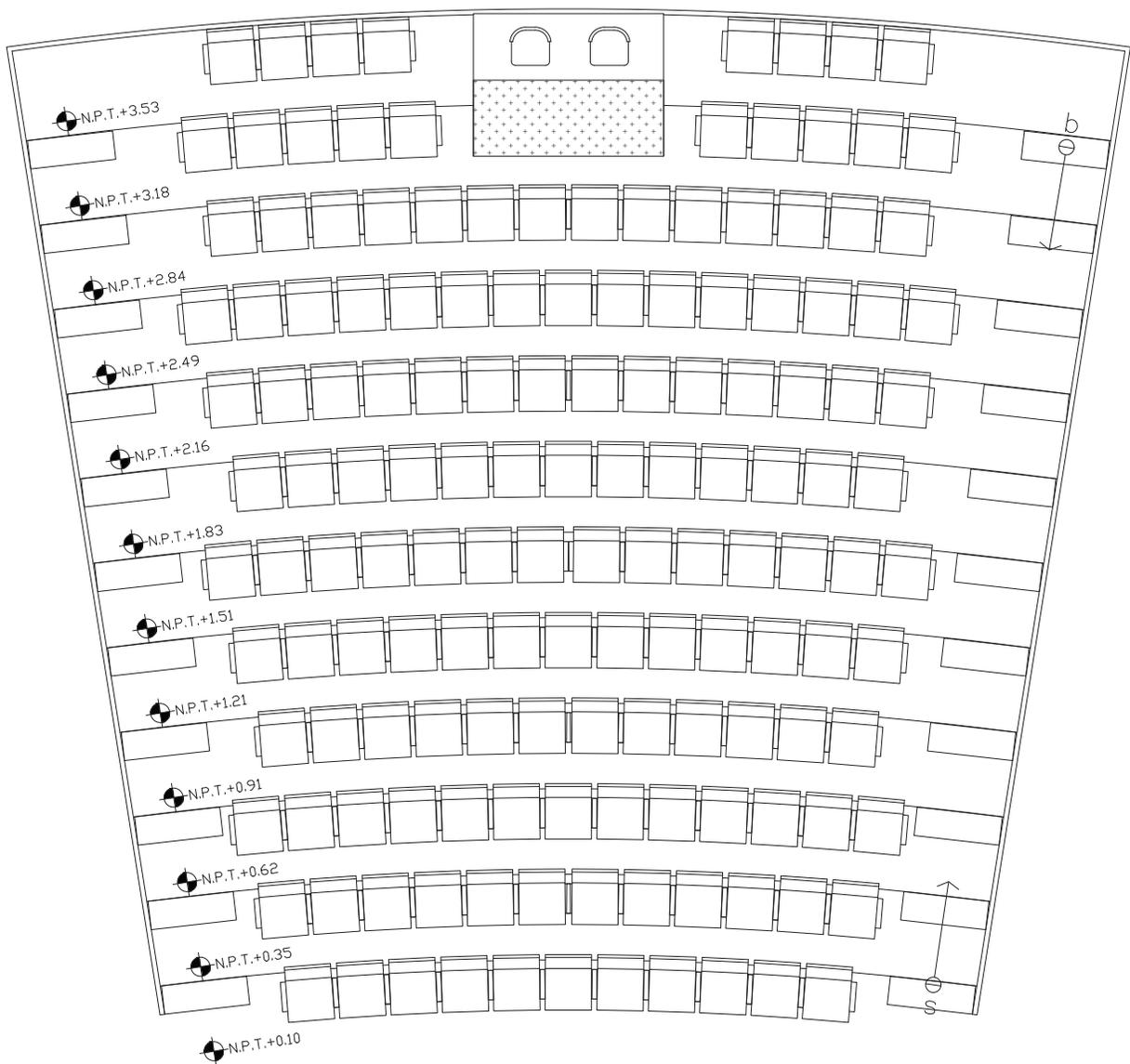


Fig.5.18.Planta del auditorio

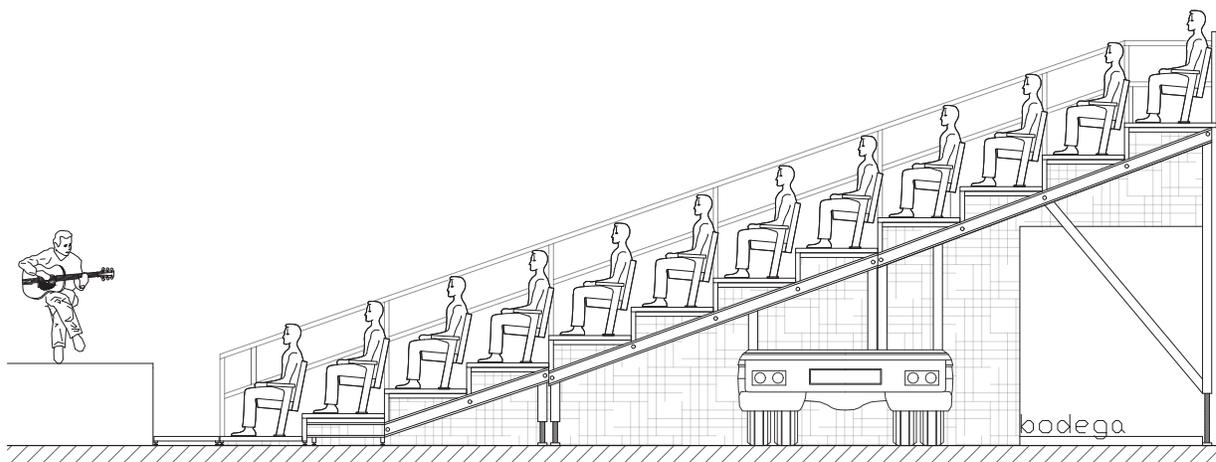


Fig.5.19.Gradas en corte

## Diseño del escenario

La plataforma del escenario se conforma por un área visible para el público en donde los artistas realizan su actuación. Y un área oculta a la vista del público por donde los artistas acceden desde los camerinos. En esta área se manejan los elementos escenográficos y las iluminarias.

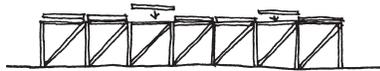


Fig.5.20. Escenario de andamios



Fig.5.21. Escenario plegable de barras

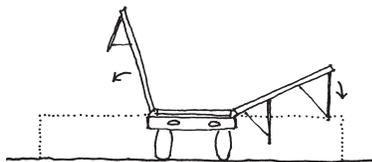


Fig.5.22. Escenario plegable desde camión

Se buscó que las dimensiones de esta plataforma siguieran una proporción de 1 de ancho por 0.75 de profundidad, proporción que siguen la mayoría de los teatros de formato Milán. De igual manera se cuidó que las dimensiones de las circulaciones fueran seguras y que en el área visible al público hubiera el espacio necesario para que mínimamente seis actores pudieran moverse con libertad.

Al igual que las gradas, esta plataforma debe ser portátil. Por esta razón se optó por utilizar un sistema integrado a un camión. Este sistema resulta más eficaz en tiempos de montaje que sistemas compuestos por andamios o estructuras de barras plegables a las que posteriormente se le coloca el piso del escenario. Este sistema ya ha sido desarrollado por la empresa *Touartube* con su “Mobilstage” y también por Boers, Arie, como se muestra en la patente 5,152,102, realizada en 1990 en E.U.A.

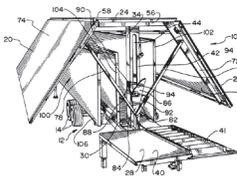


Fig.5.23. Patente Boers-Escenario plegado

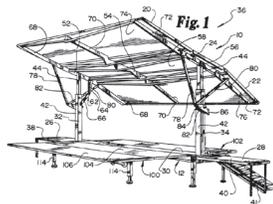


Fig.5.24. Patente Boers-Escenario desplegado



Fig.5.25. Mobilstage-Escenario plegado



Fig.5.26. Mobilstage-Escenario desplegado

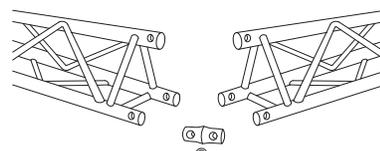


Fig.5.27. Detalle de unión de armadura

Para la tramoya se optó por utilizar una estructura independiente al escenario y que se apoyara en la cimentación de la cubierta para brindarle una mayor estabilidad. La estructura se conforma por seis armaduras de sección triangular que forman un arco de sección circular como varios sistemas existentes. Para su transporte estas armaduras se separan en secciones mediante una unión machimbrada.

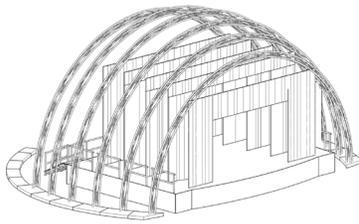


Fig.5.28. Perspectiva del escenario con ropaje

De estas armaduras cuelgan los varales para el ropaje y los elementos escenográficos, así como las luminarias necesarias. Estos elementos se podrán modificar dependiendo de las características del espectáculo.

Para la iluminación en el escenario se propone utilizar focos robotizados en la parte superior por la variación de luces que se puede obtener. Focos elipsoidales a los costados montados en escalerillas fijas al suelo para iluminar las calles y baterías de focos halógenos en la parte superior y posterior del escenario para iluminar el ciclorama.

Los equipos de iluminación se conectan a una caja de dimmers ubicada a un costado del escenario que se controla inalámbricamente desde la consola de control ubicada en la parte superior de las gradas.

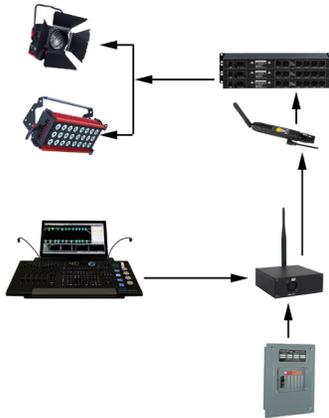


Fig.5.29. Esquema de conexión de sistemas

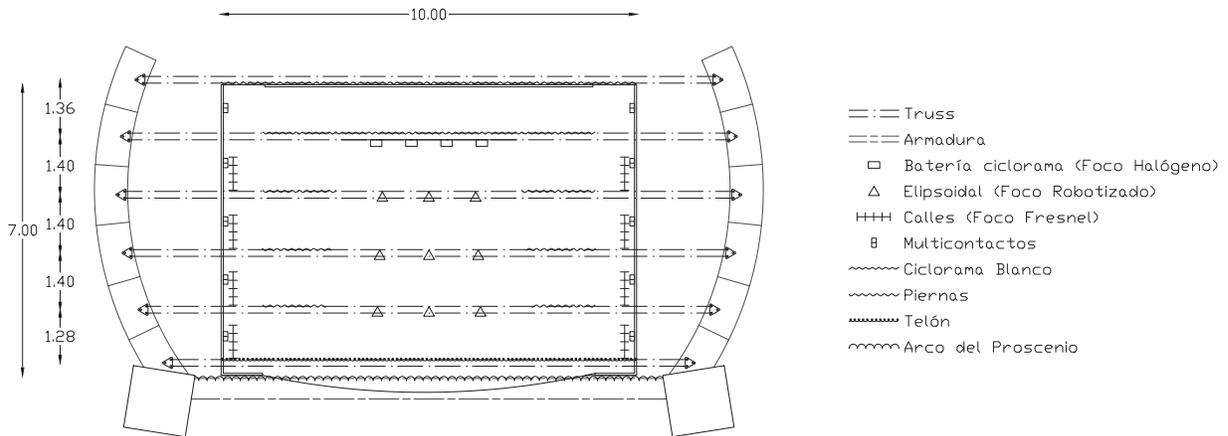


Fig.5.30. Posición de ropaje y luminarias en el escenario

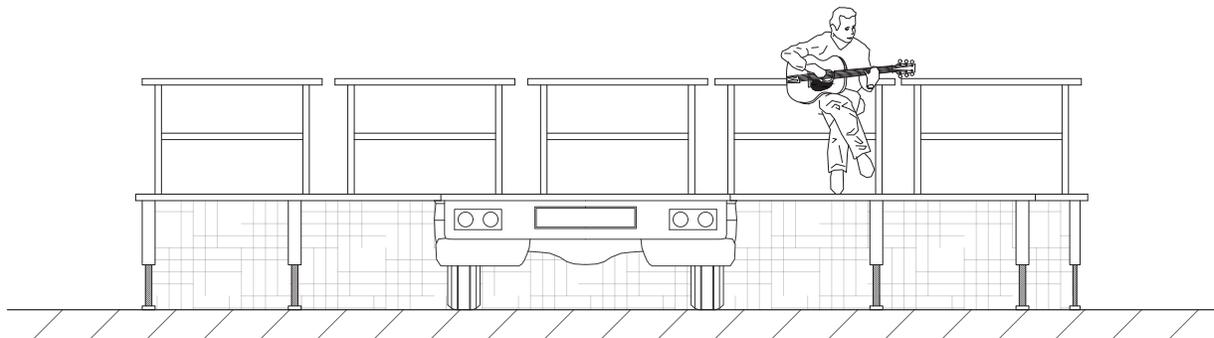


Fig.5.31. Escenario plegable desde camión

## Diseño del vestíbulo

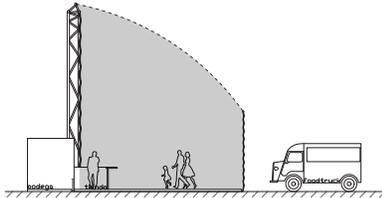


Fig.5.32. Separación interna y externa del vestíbulo



Fig.5.33. Foodtruck



Fig.5.34. Sistema Washbox

La intención del vestíbulo es generar interés por el edificio en los transeúntes y de esta manera invitarlos a ingresar al teatro. Por las características de este proyecto se tomó la decisión de que parte del vestíbulo se ubicara en el exterior para permitir una mejor configuración entre el teatro y su contexto y de igual manera facilitar el mantenimiento de los servicios portátiles.

Con esta disposición se busca generar un recorrido en el cual la luz y el ruido vayan disminuyendo desde el exterior hasta el interior del auditorio.

Al exterior del teatro se encuentran los puestos de comida sobre camiones, conocidos como *foodtrucks*, y sanitarios portátiles como los desarrollados por la empresa *Washbox* cuyo sistema es ahorrativo tanto en la parte eléctrica como en la hídrica. El utilizar estos sistemas facilita el transporte de los elementos al igual que su mantenimiento y permite configurar el vestíbulo de diversas maneras dependiendo del contexto y el espectáculo a presentarse.

En la parte interna del vestíbulo el público tiene acceso al puesto de venta para adquirir boletos, mercancía relacionada con el evento y algunos alimentos. Mientras en la parte privada se tienen las bodegas. En esta área se tiene control sobre el acceso a las gradas y funciona para el desalojo de la sala una vez terminada la obra. Esta área se encuentra cubierta lo que permite a los espectadores estar afuera del auditorio sin el riesgo de mojarse en caso de lluvia o estar debajo del sol directo.

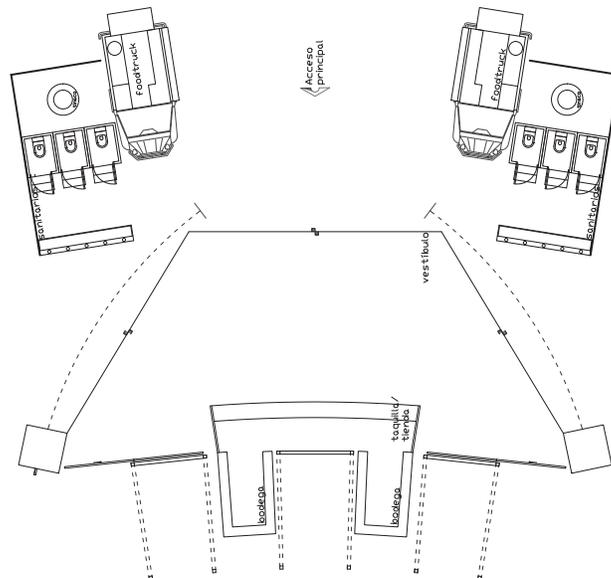


Fig.5.35. Planta del vestíbulo

## Diseño del camerino

Los artistas necesitan de un espacio adecuado, privado y conectado con el escenario para poder prepararse. Este debe contar con una buena iluminación y ventilación y tener accesos controlados desde el exterior y hacia el escenario. Estas separaciones se realizan utilizando cortinas de tela pesada que se sujetan a la estructura de la cubierta.

El área del camerino se resuelve utilizando una caja de camión que en su interior contiene sanitarios portátiles y un espacio de vestidor con armarios, espejos y luces especiales para que los artistas se preparen. Este tipo de camiones se utilizan frecuentemente en los sets de grabación de películas y series de televisión.

El camión se coloca a espaldas del escenario generando un área de trabajo donde los artistas pueden calentarse o descansar y en donde se pueden guardar los elementos escenográficos, arreglar vestuarios o realizar encuentros con los artistas.

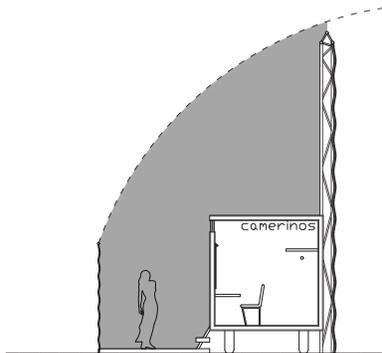


Fig.5.36. Separación interna y externa del camerino



Fig.5.37. Camión camerino para grabaciones

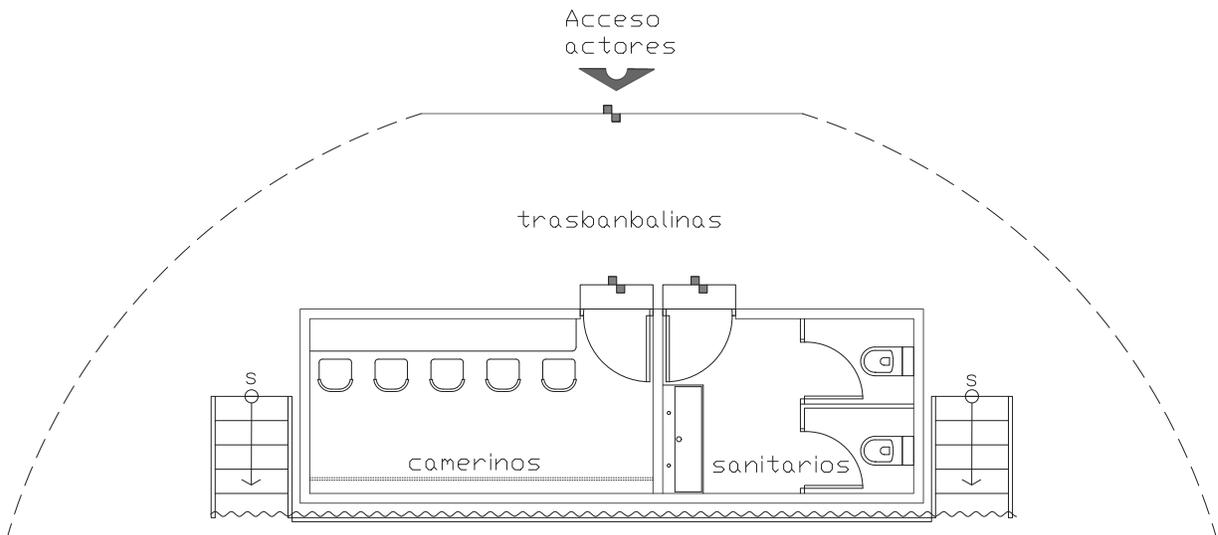


Fig.5.38. Planta del camerino

## Sistema constructivo de la cubierta

Al tener en claro cómo se transportan y funcionan los elementos internos del teatro se buscó diferentes posibilidades para resolver la cubierta de manera que fuera móvil y transportable fácil y rápidamente. Para esto se buscó que:

- La cubierta protegiera del sol, la lluvia y de ser posible aislara acústicamente.
- Que fuera ligera, fácil de armar, desarmar y transportar.
- Que la forma interna de la cubierta ayudara a la difusión acústica del espectáculo sin la necesidad de colocar dispositivos acústicos.

### PROPUESTAS

Para lograr esto se consideraron diferentes propuestas. La primera resuelve el espacio utilizando elementos de andamio. Este sistema hace uso de muchos elementos por lo que el montaje y desmontaje se vuelve complicado y tardado, además de que es necesario agregar dispositivos acústicos para que funcione correctamente el auditorio.

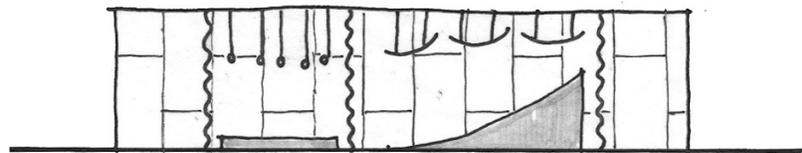


Fig.5.39. Estructura de andamios

La segunda propuesta utiliza una armadura desplegable, siguiendo la propuesta realizada por el arquitecto Emilio Pérez Piñero. Este sistema es más rápido de montar, pero cuenta con las mismas condiciones acústicas que la estructura formada por andamios, por lo que sería necesario agregar dispositivos acústicos.

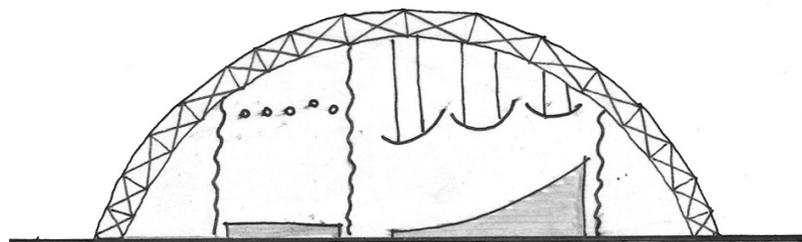


Fig.5.40. Estructura de barras plegables

También se consideraron propuestas resueltas con membranas como velarias y neumáticas, Las primeras no se desarrollaron en este proyecto ya que su geometría no se acerca a las necesidades acústicas de manera sencilla y su parecido visual con las lonas cirquenses no genera la imagen deseada.

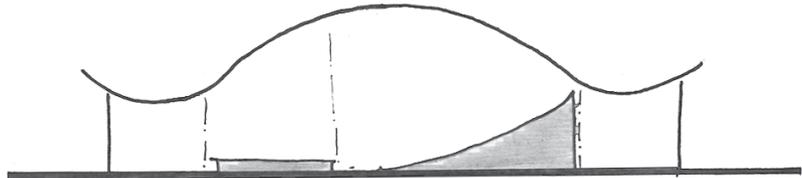


Fig.5.41. Estructura de membrana

Por otro lado las estructuras neumáticas cumplen con los requisitos mencionados al principio del capítulo. Al utilizarse de manera tal en la que la superficie interna funcione como difusores acústicos. Esto se logra utilizando neumáticas con forma de tubos o vigas de aire, en una dirección paralela al desarrollo de las gradas. Con esto en mente surge la propuesta de utilizar arcos rígidos que siguen la curva catenaria como rieles que guían la estructura neumática.

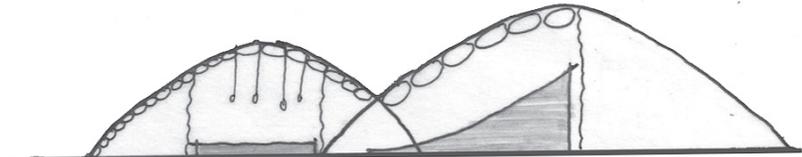


Fig.5.42. Estructura de arcos de catenaria con sistema neumático

Estos arcos propuestos delimitan la forma natural de la neumática y sustituyen su función estructural. Por esto se optó por utilizar únicamente la membrana traccionada por el aire soportada por la presión interna existente. Al eliminar los rieles la forma de la neumática tiende a una esfera, al igual que las burbujas de jabón.

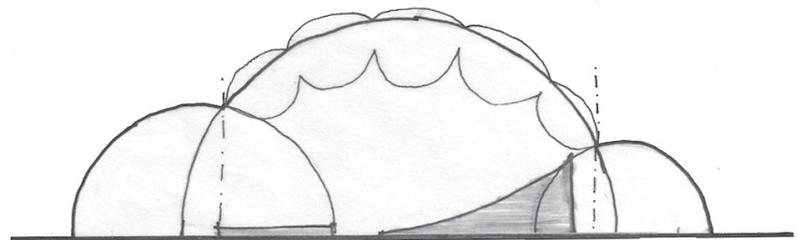


Fig.5.43. Corte de propuesta de sistema neumático

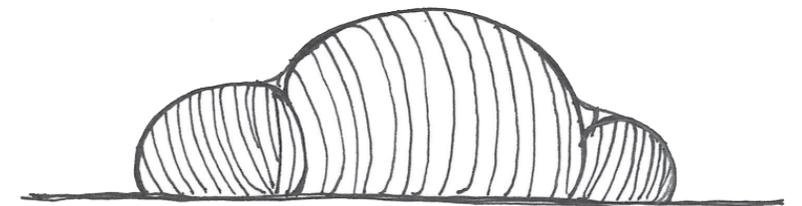


Fig.5.44. Fachada de propuesta de sistema neumático

## Búsqueda formal del sistema neumático

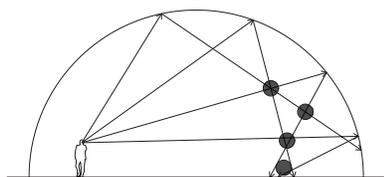


Fig.5.45. Diagrama de reflexión acústica en una esfera hueca

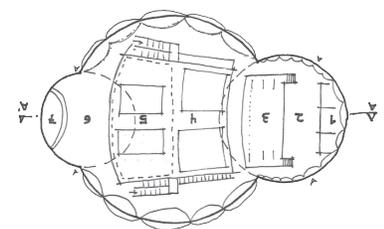


Fig.5.46. Primera imagen en planta

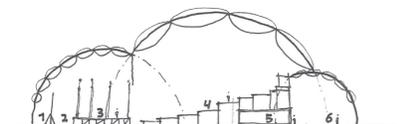


Fig.5.47. Primera imagen en corte

La esfera, como ya se vio, es la forma óptima de las neumáticas y su geometría se ve simplificada por el uso de circunferencias. Esto permite su representación y un mejor estudio para la realización de las propuestas. Pero la geometría de la esfera hueca, como funcionaría un sistema de presión pasiva, perjudica el comportamiento acústico dentro del recinto ya que las reflexiones de las ondas sonoras chocan entre sí generando ruido. Por esta razón se optó por utilizar la esfera como guía y generarla a partir de arcos de tubos de aire que funcionen como difusores acústicos.

Al conocer las medidas necesarias del espacio interno se generaron propuestas utilizando esferas de diferentes tamaños y variando su posición tanto en planta como en corte. El problema con estas propuestas fue que la proporción entre el claro y la flecha de la esfera choca con la propuesta del espacio habitable o se vuelve demasiado alta al ampliar su diámetro. Por esta razón se buscó otra geometría, aprovechando la libertad formal que tiene el sistema neumático, que cumpliera las necesidades ya planteadas.

Teniendo en cuenta las medidas necesarias para las gradas, el escenario, camerino, vestíbulo y las circulaciones se realizaron esquemas tanto en planta como en corte, en ambos sentidos, para definir las proporciones justas y las curvas que sirven de guía para la forma final de la cubierta.

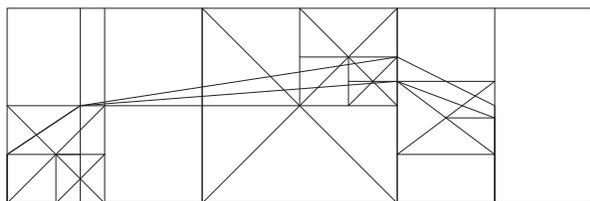


Fig.5.48. Proporción del teatro en corte

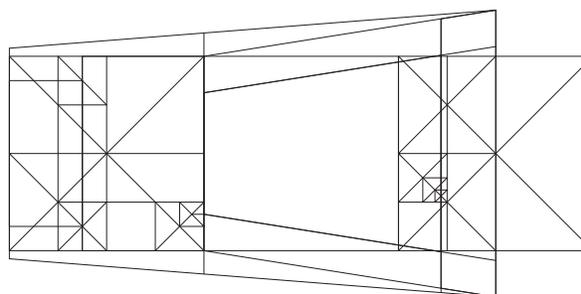


Fig.5.49. Proporción del teatro en planta

Las curvas resultantes son secciones de circunferencia. Estas responden a las diferentes zonas del teatro y se buscó que fueran continuas. En las secciones transversales se definió una curva compuesta por tres secciones de circunferencia, dos idénticas en los laterales y una diferente en la parte superior. De esta manera se obtuvo una proporción mayor en el claro que en la flecha.

Esta curva transversal se repitió a lo largo de las curvas guía ya establecidas modificando su proporción claro-flecha como se fue necesitando. De esta manera se obtuvo una superficie que sirvió de guía para plantear y definir los tubos de aire finales.



Fig.5.50. Curvas guía en planta

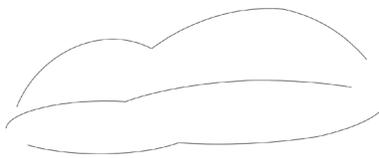


Fig.5.51. Curvas guía tridimensionales

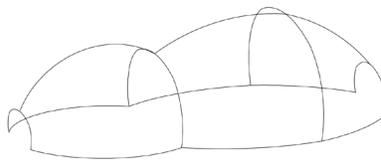


Fig.5.52. Curvas guía transversales

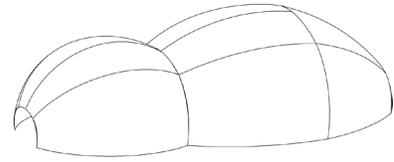


Fig.5.53. Superficie guía

Los tubos del sistema neumático se dimensionaron partiendo del espacio que se debía cubrir y tomando en cuenta que en la parte de la sala los tubos deben ser más grandes para que funcionen como difusores acústicos. Con esto en mente se utilizaron tubos de sección elíptica manteniendo una dimensión menor en la altura que en el largo.

Las curvas guías ya establecidas en planta se dividieron en secciones iguales por cada zona. Diez secciones en los camerinos, cinco en la sala y seis en el vestíbulo. Siguiendo esto se trazaron las elipses correspondientes de cada tubo.

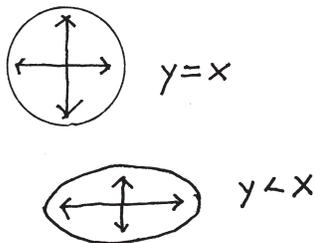


Fig.5.54. Sección de tubos de aire

Como se observa estas elipses se superponen unas con otras, cosa que no es posible construir. Por esta razón las elipses se interseccionan con una línea con la intención de que, al verlo tridimensionalmente, exista una membrana poco deformable que mantenga la forma deseada de los tubos una vez inflada, impidiendo la deformación natural del sistema neumático hacia un círculo. Los tubos siguen la superficie ya generada para obtener la forma final de la cubierta.

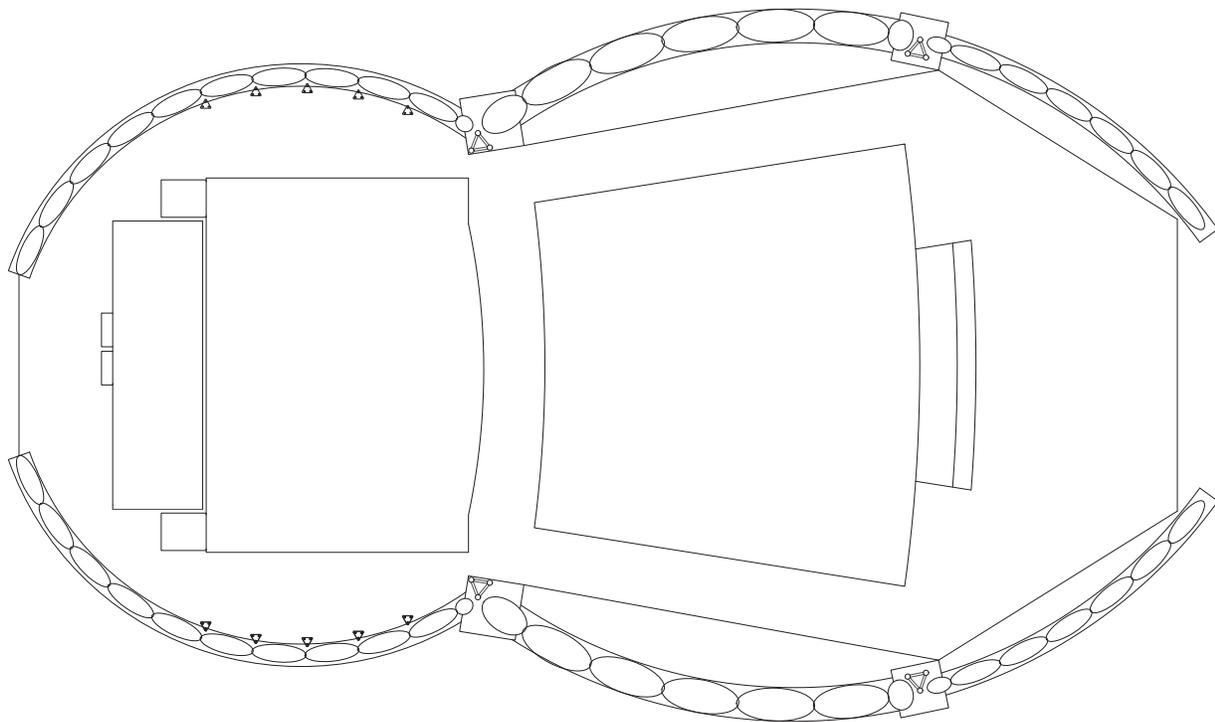


Fig.5.55.Elipses en planta

El objeto resultante cuenta con las siguientes características:

- La cubierta protege del sol, la lluvia y aísla acústica y lumínicamente.
- Es ligera, fácil de armar, desarmar y transportar.
- La forma interna de la cubierta ayuda a la difusión acústica
- Transmite al exterior la distribución interna del edificio.

La mayoría de los elementos del edificio se resuelven al estar integrados a un camión, esto facilita su transporte y disminuye los tiempos de montaje y desmontaje. En cambio, la cubierta, si bien será transportada dentro de un camión, es independiente a este.



Fig.5.56. Cubierta inflada

## Cubierta neumática



Fig.5.57. Flexlight Classic, Serge Ferrari

Para la construcción de la cubierta se utiliza una membrana textil recubierta con PVC que sea flexible y de alta duración para permitir que la membrana se pueda doblar para su transporte y que proteja el espacio cubierto de la lluvia, los rayos UV y el calor. La marca *Serge Ferrari*, cuenta con un producto que cumple con estas cualidades y que además el proceso de soldadura de las piezas es más sencilla, el *Flexlight Classic 602*.<sup>1</sup>

La cubierta se conforma por una serie de tubos conectados entre sí y se encuentra dividida en tres secciones que responden a la disposición interna de los espacios del edificio. La dimensión de los tubos corresponde a la función interna de los espacios, de esta manera los tubos son de mayor tamaño en el auditorio para que funcionen como dispositivos acústicos.

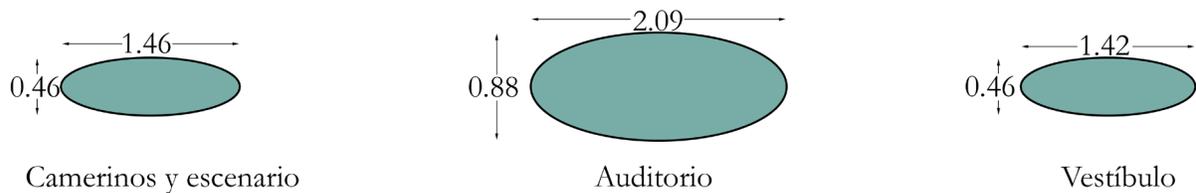


Fig.5.58. Tamaño de tubos



Fig.5.59. Esfuerzos en membrana

La sección de los tubos planteados es una elipse, estas tienden a deformarse hacia un círculo por la presión interna del aire, para evitarlo las elipses se interseccionan entre sí formando un plano, como ocurre en las burbujas de jabón del mismo tamaño. Esta membrana plana restringe la deformación natural de los tubos y define la forma de la cubierta. Es necesario que esta membrana tenga perforaciones para permitir que el aire fluya entre los tubos.

Por la forma curva de la cubierta y las medidas en las que se fabrica el textil es necesario realizar el patronaje para construir la cubierta partiendo de sus partes. Para la construcción de un tubo de la cubierta se necesitan cuatro elementos; la parte superior del tubo que se curva hacia arriba, la membrana plana que une dos tubos, la parte inferior del tubo que se curva hacia abajo y dos tapas para cerrar los extremos del tubo. Cada uno de estos elementos se forma con más de una pieza del textil.

<sup>1</sup>Serge Ferrari, Flexlight Classic 402N, 602 y 782 S2, en: <https://www.sergeferrari.com/es-es/productos/gama-flexlight/flexlight-classic-402n-602-y-782-s2>

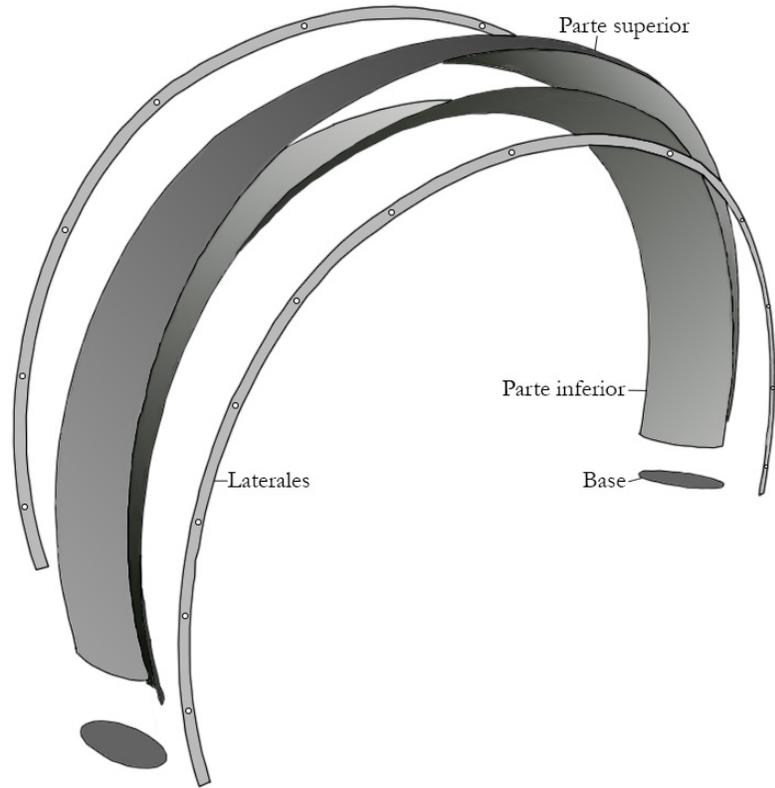
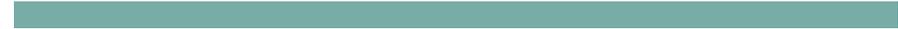


Fig.5.60. Partes que conforman un tubo

Para obtener el patronaje la cubierta se modeló utilizando el software *Rhinoceros 5* y mediante los comandos de “Explode” y “unroll” se obtuvieron las superficies planas que generan la superficie. Estas se unieron para formar piezas más grandes que estuvieran dentro de las medidas del textil y que deformaran lo menos posible el total de la superficie de la cubierta.

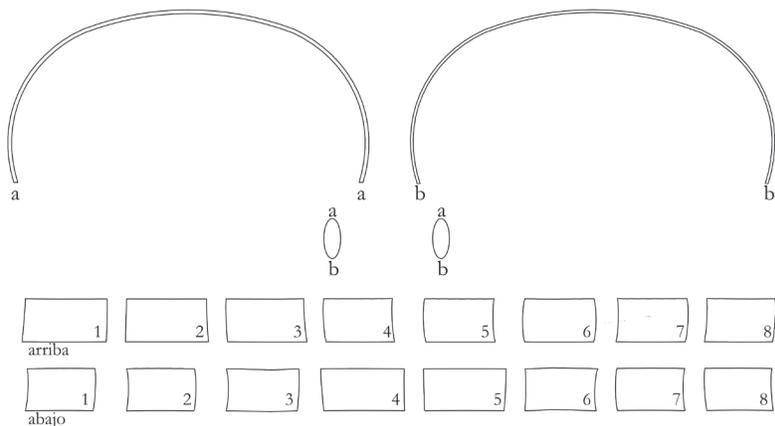


Fig.5.61. Patronaje de un tubo

Es necesario soldar las piezas resultantes para unir las e impedir la fuga de aire. Al unir las piezas planas del patronaje se obtiene una membrana que no se puede extender sobre el suelo sin pliegues o arrugas, pero una vez que se infla ésta toma la forma deseada y las arrugas desaparecen.

Para que la cubierta neumática funcione en sitio se resolvieron los puntos de anclaje, tanto a la cimentación como a la estructura y se realizaron dos separaciones más, en los accesos para los artistas y los espectadores, para tener un mayor control y cerrar el espacio mientras no haya función.

Para evitar la succión de la cubierta generada por el viento es necesario que ésta esté sujeta a una cimentación. Este proyecto busca que el teatro sea itinerante, por lo que la cimentación debe resolverse por lastre para evitar perforar el terreno y causar daños en el sitio.

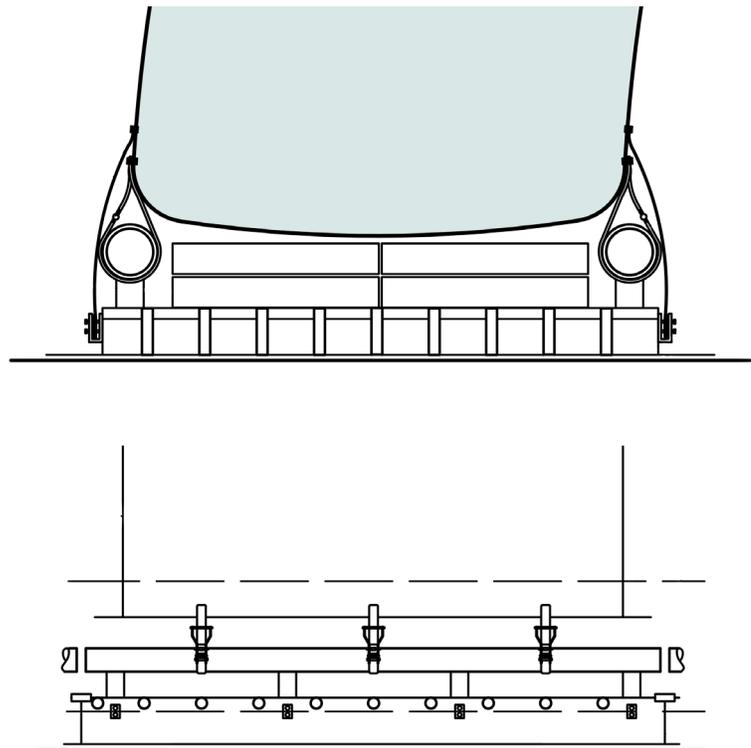


Fig.5.62.Detalle de cimentación de cubierta

La cimentación sigue las curvas guía de la cubierta en la planta y se construye utilizando rejillas de acero inoxidable<sup>2</sup> que son cortadas en secciones curvas para formar el total de la curva. Sobre la plantilla se suelda un tubo redondo de aluminio estructural<sup>3</sup> fijado mediante una abrazadera soldada. A este tubo se sujeta la membrana utilizando correas de amarre<sup>4</sup> permitiendo una mejor adaptación a terrenos no planos. Para evitar filtraciones de luz, viento y lluvia se colca una membrana soldada a la base de la cubierta que se sujeta a la rejilla de acero inoxidable mediante clips de presión.

De igual manera la cubierta se sujeta a las traveses de sección triangular que dividen el espacio. De esta manera la cubierta quedaría colgando si la membrana se llegara a romper protegiendo a los espectadores y permitiéndoles salir del recinto. En cada trabe se sujetan dos secciones de la cubierta neumática, por esta razón se coloca un manto que está soldado a una sección de la cubierta y se sujeta mediante clips de presión a la otra sección. Esta membrana evita que entre luz, viento o lluvia al recinto.

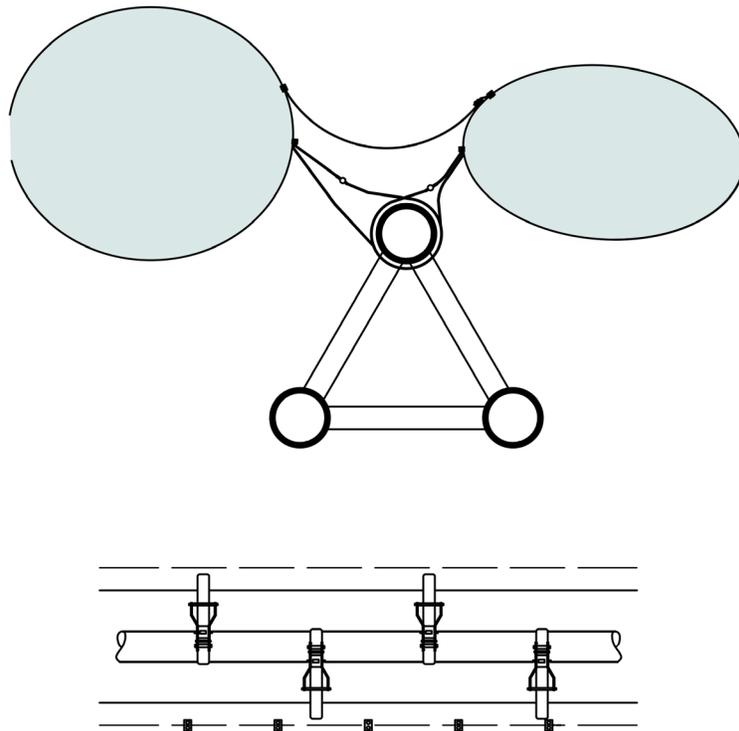


Fig.5.63.Detalle de sujeción de la cubierta a la trabe

<sup>2</sup>Rejillas IRVING, “Rejillas de Aluminio”, en: <https://www.irving.mx/soluciones/#sc-tabs-1581206570125>

<sup>3</sup>Catálogo aluminio estructural, <http://www.extrusax.com/imagenes/descargas/es/12/STANDARD%20PROFILES%20-%20PERFILES%20NORMALIZADOS.pdf>

<sup>4</sup>Correas de amarre, [https://www.kyangyhe.com/es/finished-products/Finished\\_Product-Ratchet-Strap.html](https://www.kyangyhe.com/es/finished-products/Finished_Product-Ratchet-Strap.html)

Para tener un control de acceso, tanto para los artistas como para los espectadores, se coloca un tubo de aluminio aleado<sup>5</sup> en los extremos de la cubierta. De esta manera el borde se rigidiza permitiendo colocar cortinas para controlar el acceso e impedir la entrada de luz al recinto. De igual manera estas cortinas se anclan al suelo para impedir el acceso al recinto en horario no laboral.

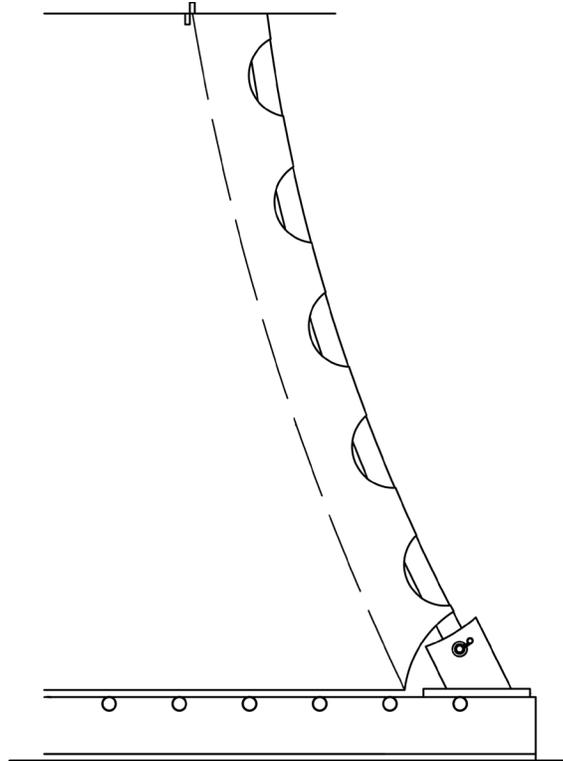


Fig.5.64.Detalle de borde rígido en accesos

Para el inflado de la cubierta, y que esta mantenga su forma, es necesario contar con dos ventiladores por sección para evitar que si uno llega a fallar, la cubierta se desinfe. El equipo utilizado son impulsores de aire que trabajen tangencialmente ya que estos equipos cuentan con la capacidad necesaria para mantener una inyección de aire constante y no producen tanto ruido al funcionar.

<sup>5</sup>Tubo de aluminio aleado, <https://www.yieh.com/es/aluminum-alloy-tube-pipe-2>

## Diseño acústico del auditorio

Durante la realización del proyecto se tuvieron en cuenta los principios del diseño acústico para generar la forma de la cubierta, las gradas y los elementos que separan las diferentes zonas del edificio. Para complementar estas premisas se realizó el cálculo de reverberación y el trazado de los diagramas de reflexión acústica al interior del auditorio.

Por las dimensiones reducidas del recinto el sonido llega a todos los espectadores sin la necesidad de una concha acústica posterior. Además de esto, la forma de la cubierta ayuda a la difusión del sonido desde el escenario hasta los espectadores y la última fila como se nota en el diagrama de reflexión acústica.

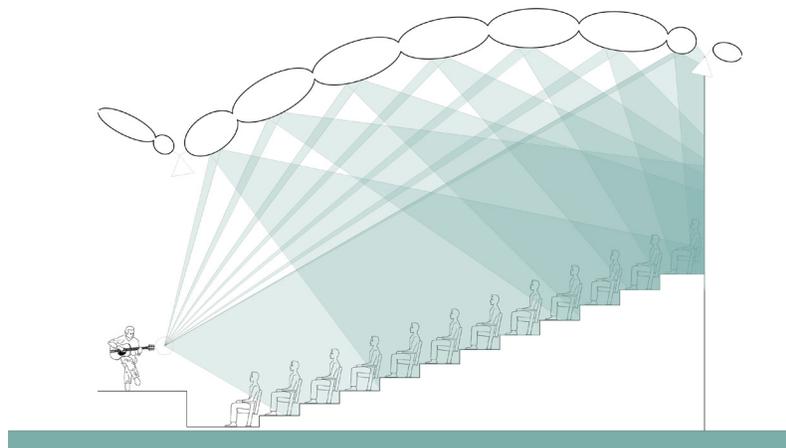


Fig.5.65. Diagrama de reflexión acústica

En la gráfica se observa como los tubos de la cubierta neumática ayudan a dispersar el sonido dentro del auditorio apoyando a que las últimas filas de las gradas tengan una percepción del sonido con la misma intensidad que las filas delanteras.

Al realizar este diagrama también se verificó que no se genera el efecto de eco ya que la distancia de la onda directa menos el total de la onda reflejada es menor a 10 m. Esta distancia tuvo un máximo de 6 m en el sexto globo y un mínimo de 0.1 m en el último globo que marca la diferencia de los cuerpos entre el auditorio y el vestíbulo.

De esta manera se confirma que la forma de la cubierta es la adecuada para difundir el sonido y mantener una buena acústica en el auditorio.

Junto con el diagrama de reflexiones acústicas se realizó el cálculo de reverberación del auditorio para tener una idea de cómo se comportarán las diferentes frecuencias al interior del recinto. Para esto se utilizaron los datos de *Bunker Audio*<sup>6</sup> de los coeficientes de absorción acústica de los materiales que se utilizarán en la construcción del teatro. Actualmente no existen estos datos para el material utilizado *Flexlight Classic 602*, ni el comportamiento que este tendrá al estar tenso por la presión del aire. Por esta razón se utilizaron los datos del material *spandex* que es un textil de características similares.

### Cálculo de reverberación

Zona	Material	m <sup>2</sup>	125 hz	250 hz	500 hz	1,000 hz	2,000 hz	4,000 hz
Butacas	Butaca tapizada con plástico	81.55	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30
			16.31	16.31	20.39	24.47	24.47	24.47
Pasillo	Alfombra de goma	21.02	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.10
			0.84	0.84	1.68	2.52	0.63	2.10
Piso	Madera 3 cm con 5 cm de cámara de aire	77.46	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.07
			19.37	26.34	13.94	7.75	7.75	5.42
Cubierta	Panel de spandex	350	0.51	0.63	0.60	0.42	0.40	0.40
			178.50	220.50	210.00	147.00	140.00	140.00
Muro posterior	Terciopelo fruncido	27.81	0.07	0.13	0.49	0.81	0.66	0.54
			1.95	3.62	13.63	22.53	18.35	15.02
Total de m <sup>2</sup> de ABS			216.96	267.60	259.64	204.26	191.20	187.01
m <sup>3</sup> del recinto			1,500					
Tiempo de reverberación en segundos			1.11	0.90	0.92	1.17	1.26	1.28

Con este cálculo se observa que las frecuencias agudas son las que tendrán una mayor presencia en el auditorio, seguido por las frecuencias graves manteniendo las frecuencias del habla humana a un buen nivel. Como se vió en la *Gráfica 1.2 Tiempo de reverberación por tipo de espectáculo*, pág. 35, los tiempos de reverberación son los adecuados para espacios de habla y conferencia, con un volumen de 50 a 3,000 m<sup>3</sup> y tiempos de reverberación de 0.4 a 1 segundo. De igual manera el espacio es adecuado para algunos espectáculos de música de cámara cuyas necesidades son 300 a 10,000 m<sup>3</sup> y 0.9 a 1.5 segundos. Por estas razones este auditorio sirve para la realización de diferentes espectáculos escénicos de danza, teatro y presentaciones musicales.

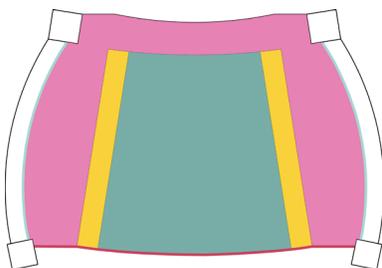


Fig.5.66. Áreas para cálculo de reverberación

<sup>6</sup>Furet, Ronald, 2012, “Coeficientes de Absorción Acústica de Materiales”, en Bunker Audio, en: <https://www.bunker-audio.com/bunker-audio-portal-sonido-documentos.php?id=3>

## Ventilación

Por las características del teatro, sus dimensiones y aberturas al exterior, se propone una ventilación natural. El aire fresco entra continuamente al recinto. Una vez en su interior se calienta y tiende a subir, al llegar a la cubierta el calor se transmite al exterior ya que las membranas ligeras no cuentan con capacidad aislante térmica. La cubierta al ser opaca y blanca refleja los rayos solares impidiendo que el interior se caliente. Estas condiciones provocan que la temperatura al interior del recinto no supere los dos grados de diferencia con el exterior.

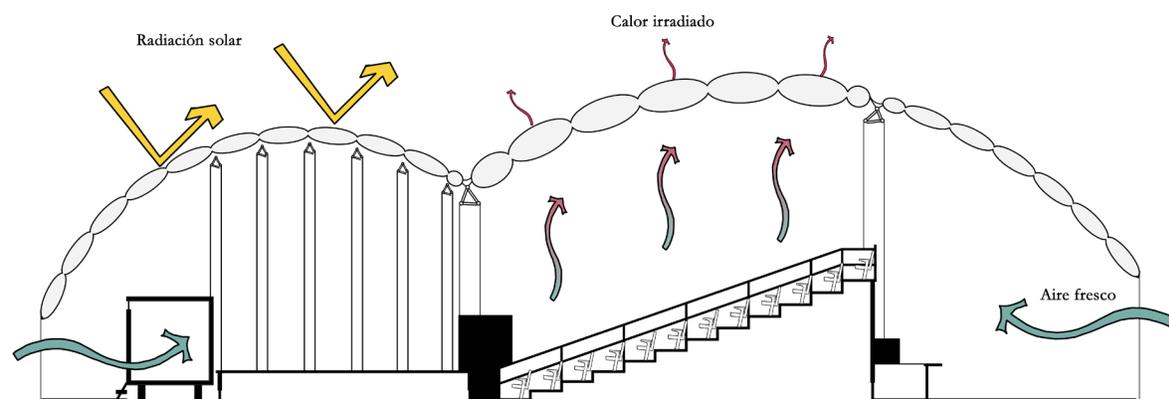


Fig.5.67. Esquema de ventilación

## Sistemas de conexión

Para que el teatro funcione y se puedan llevar a cabo las presentaciones debe contar con instalación de iluminación, de sonido y de energía eléctrica. Esta última alimenta a las primeras dos que se controlan a través del uso de sistemas inalámbricos para una instalación más sencilla en el sitio.

El sistema de iluminación incluye todas las luces del edificio, excepto las del camerino. De esta manera es posible adecuar la iluminación interna del recinto según se necesite. Estas luces se

controlan desde la mesa de control ubicada en la parte posterior de las gradas desde una mezcladora que se comunica con los dimmers de manera inalámbrica.

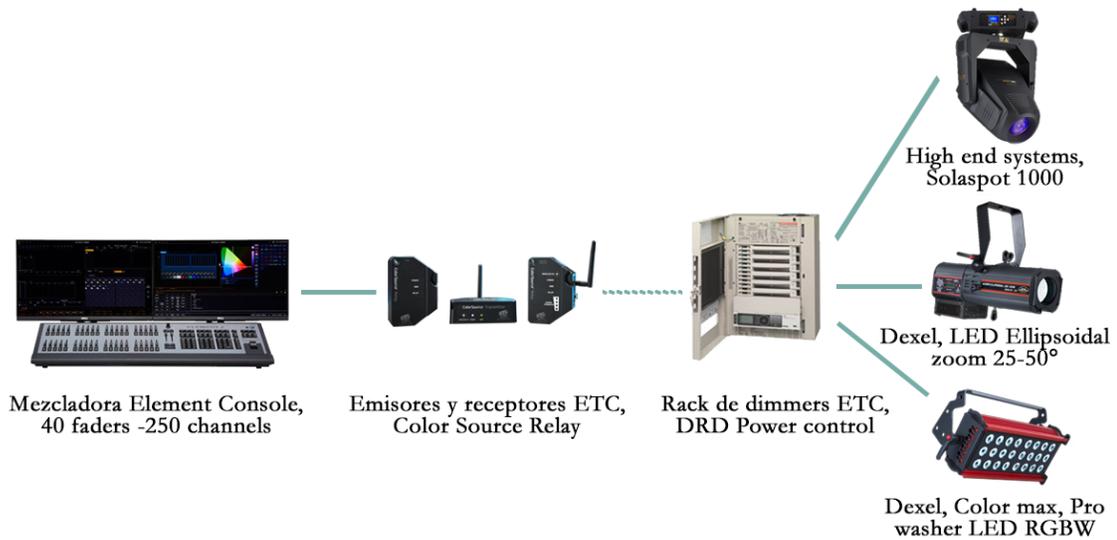


Diagrama.5.1. Conexión del sistema de iluminación

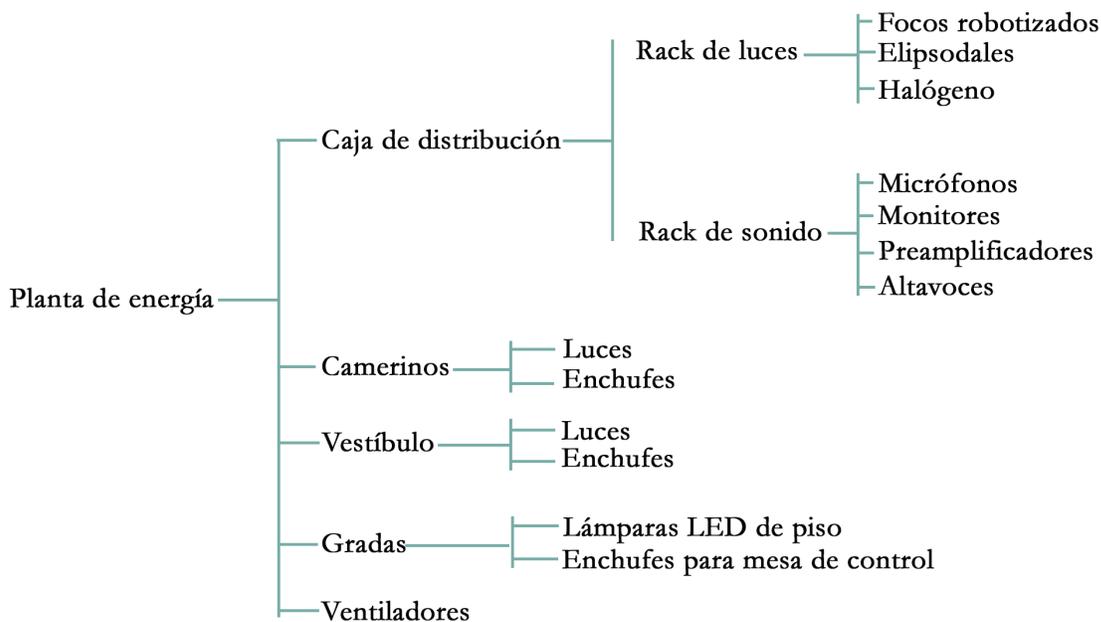
El sistema de sonido se conforma por un lado por micrófonos, instrumentos eléctricos y reproductores de audio, y por el otro extremo con altavoces para reproducir los sonidos. Estos se controlan a través de una mezcladora de sonido ubicada en la parte posterior de las gradas. La comunicación entre la mezcladora, y el escenario y altavoces se realiza de manera inalámbrica para facilitar la instalación durante el montaje del teatro.



Diagrama.5.2. Conexión de sistema de audio

Las especificaciones y elementos del sistema de audio se deben modificar dependiendo del espectáculo que se realice. Para conciertos de música se tendrán que adecuar los micrófonos y monitores necesarios dependiendo de la agrupación, mientras que para espectáculos de danza se utiliza sonido grabado y en los espectáculos de teatro se podrá hacer uso del sonido natural sin la necesidad de un apoyo extra.

Los dos sistemas antes mencionados necesitan de energía eléctrica para poder funcionar al igual que los camerinos, vestíbulos y escenario. También es necesario que los ventiladores que mantienen la presión interna de la cubierta cuenten con un suministro de energía constante. La instalación eléctrica se puede comprender en el siguiente diagra conjunto con los planos IE-1 e IE-2.



Dependiendo de la configuración y elementos que se utilicen para el espectáculo el consumo de energía puede variar. Si consideramos una configuración básica siguiendo el diagrama pasado, se tiene el siguiente consumo eléctrico estimado:

- Focos robotizados            440 w x 24 = 10,560 w
- Elipsoidales                    250 w x 6 = 1,500 w
- Halógeno                        200 w x 4 = 800 w
- Monitores                        400 w x 4 = 1,600 w
- Preamplificador                50 w x 1 = 50 w
- Altavoces                        600 w x 4 = 24,00 w

• Luces camerino	10 w x 10	= 100 w
• Enchufes camerino	150 w x 4	= 300 w
• Luces vestíbulo	10 w x 5	= 50 w
• Enchufes vestíbulo	150 w x 4	= 300 w
• Luces de piso gradas	10 w x 20	= 200 w
• Enchufe mesa de control		1,000 w
• Amplificadores	2100 w x 6	= 12,600 w
• Luces escénicas		= 12,860 w
• Equipo de sonido		= 4,050 w
• Enchufes		= 1,600 w
• Luces LED		= 350 w
• Amplificadores		= 12,600 w
• <b>Total</b>		<b>= 31,460 w</b>

Una configuración básica de los sistemas del teatro consumirán un estimado de 32,000 w. Idealmente esta energía puede ser suministrada en el contexto donde se ubique el teatro, pero en caso de que no exista esa posibilidad será necesario contar con una planta de energía insonorizada para el correcto funcionamiento del teatro y de todas sus partes. Se propone el uso del Generador XQ45 de Toromont<sup>7</sup> que provee 45 Kw ya que cuenta con una potencia mayor a lo calculado lo que permitirá utilizar un mayor número de elementos de ser necesario.



Fig.5.67. Generador XQ45

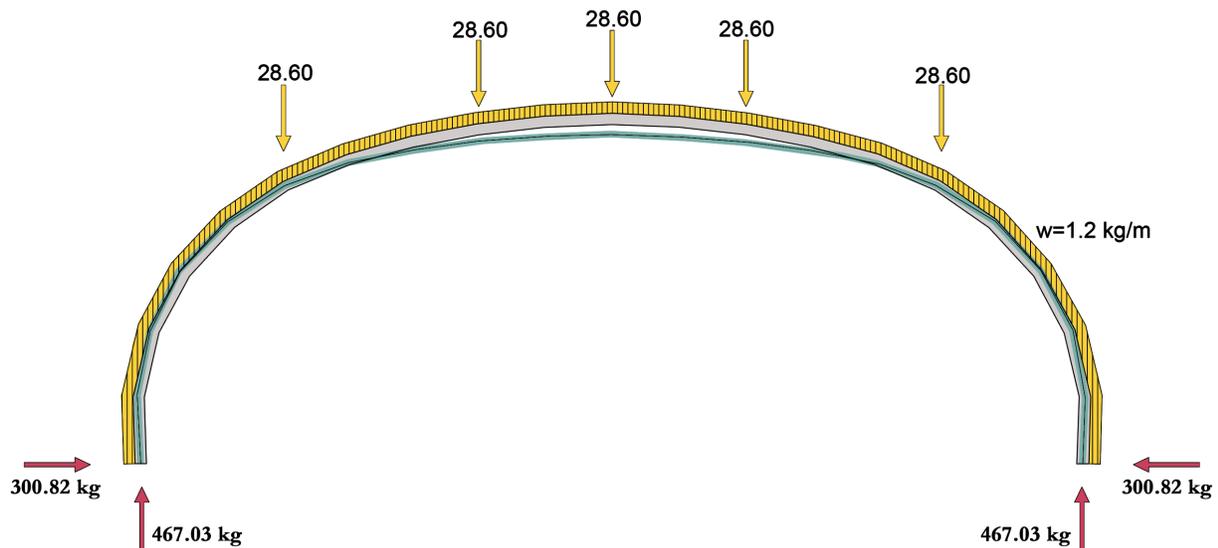
<sup>7</sup> Toromot Power Systems, XQ45 Generator, en: <https://www.toromontpowersystems.com/rental/generators-power-products/45-kw-diesel-generator-rental>

## Análisis de armadura principal

El proyecto cuenta con dos armaduras principales cuya función primordial es la de brindar seguridad a los espectadores en caso de que ocurra un accidente con la cubierta, cuyo peso es de  $750 \text{ gr/m}^2$ . Si la membrana se llega a romper o rasgar esta se desinflará lentamente permitiendo que los asistentes salgan del edificio sin ninguna complicación y cuando ya no tenga aire suficiente para mantenerse por sí misma, quedará colgando de estas armaduras.

Además de la función de seguridad de las armaduras, estas se utilizan para soportar luminarias y las cortinas que sirven de separación entre los espacios, vestíbulo - gradas y gradas escenario.

Por lo tanto aquí se analizan las fuerzas que actúan sobre la armadura de mayor tamaño para asegurar que soporta el peso de estos elementos y que su deformación es despreciable.

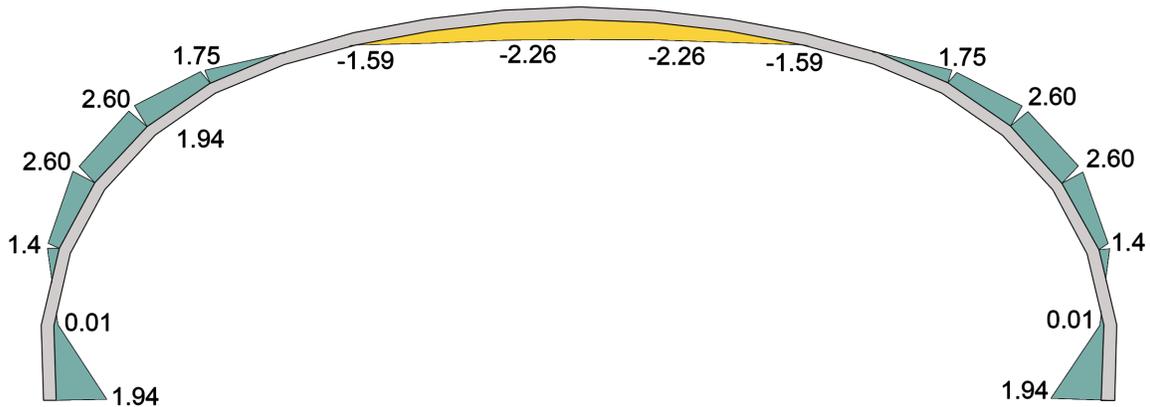


Gráfica.5.1. Sistema de cargas de armadura principal

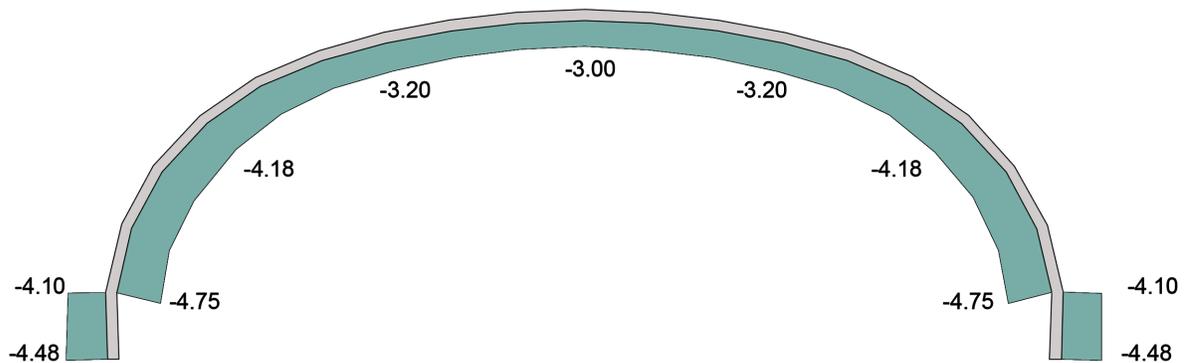
El sistema de cargas que se estudia toma en cuenta el peso propio de la armadura, las luminarias y el telón que sirve de separación entre los espacios. La línea verde muestra que la deformación de la estructura es mínima, por lo tanto las cargas realmente no afectan a la estructura.

En la *Gráfica.5.2. Momentos en armadura principal* se puede apreciar los puntos de inflexión de la armadura, los primeros coinciden con el cambio de radio de los arcos utilizados y los segundos con la parte final del arco, al igual que en la *Gráfica.5.3. Cortantes en*

*armadura principal.* En estos puntos la estructura tiende a abrirse como sucede en las bóvedas de cañón. De igual manera es notorio que los esfuerzos causados por los momentos y cortantes son mínimos, esto indica que la armadura propuesta soporta las cargas necesarias.



Gráfica.5.2. Momentos en armadura principal



Gráfica.5.3. Cortantes en armadura principal

Al obtener las reacciones en los apoyos se prosiguió a realizar el cálculo del área de la cimentación tomando una resistencia del terreno de  $5 \text{ ton/m}^2$ , ya que esta es la menor resistencia del terreno por reglamento, resultando:

$$AC = P(1.1) / RT$$

AC= Área de cimentación

$$P = \text{Carga en toneladas} = 0.46703 \text{ ton}$$

$$RT = \text{Resistencia del terreno} = 5 \text{ ton m}^2$$

$$AC = (0.467 \text{ ton})(1.1) / (5 \text{ ton/m}^2)$$

$$AC = 0.103 \text{ m}^2 \text{ equivalente a un cuadrado con un lado de } 0.321 \text{ m}$$

La base propuesta para la armadura cuenta con un área de apoyo de  $1.2 \times 1.2 \text{ m}$  y una placa para empotrar la armadura, por lo tanto es una cimentación adecuada para la estructura y las cargas que ésta soporta.

## Proceso de montaje

Al contar con todos los elementos que conforman el edificio teatral es importante entender el proceso de montaje en sitio y así comprender cómo se relacionan los diferentes elementos y en que momento es necesario desplegar los camiones de las gradas y el escenario. El proceso es el siguiente:

1. Se sitúan los camiones correspondientes a las gradas, al escenario y camerino tomando como guía las marcas pintadas en el suelo previamente siguiendo el plano *M-01 Líneas guía para montaje*.

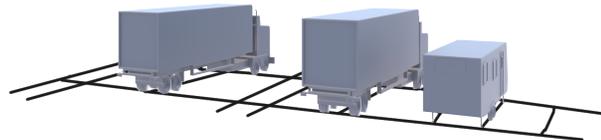


Fig.5.69.Etapa 1

2. Se colocan las puertas de seguridad, las bases de las armaduras principales, la cimentación y los elementos del vestíbulo siguiendo las mismas guías.

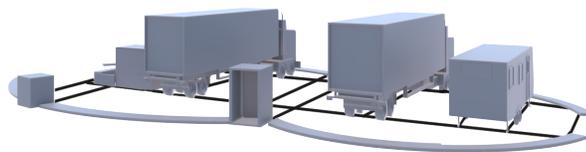


Fig.5.70.Etapa 2

3. Los camiones de las gradas y del escenario se despliegan y se les colocan las protecciones, la lona, las escaleras del escenario y la cabina de control en las gradas.

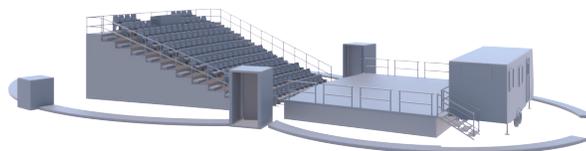


Fig.5.71.Etapa 3

4. Se colocan las armaduras principales y las armaduras de la tramoya del escenario con el apoyo de una grúa. También se colocan las tarimas que conforman el piso del teatro.

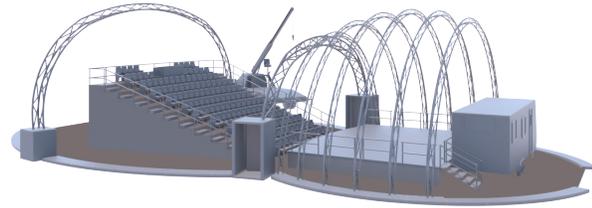


Fig.5.72.Etapa 4

5. Con apoyo de la grúa se colocan los sistemas de audio e iluminación y las cortinas que sirven de separación y el ropaje del escenario.

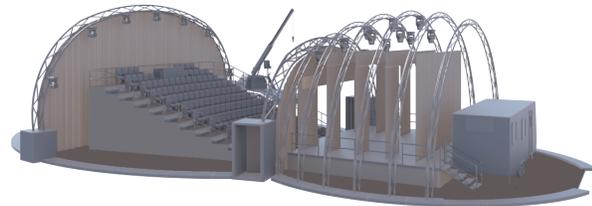


Fig.5.73.Etapa 5

6. Finalmente se coloca la membrana neumática desinflada y con el apoyo de la grúa se va levantando conforme se va inflando. La cubierta se ajusta a las armaduras principales y la cimentación y se colocan los bordes rígidos en los accesos.



Fig.5.74.Etapa 6

Para completar este proceso en un día será necesario contar con una tropa de seis trabajadores para que se puedan realizar varios pasos simultáneamente como colocar las protecciones de las gradas y el escenario.

## Sitio de montaje: Tlayacapan

Si bien este teatro se puede colocar en diferentes estados de la república Mexicana en este trabajo se estudia la posibilidad de colocarlo en el municipio de Tlayacapan ubicado en la parte noreste de Morelos. Se optó por este municipio principalmente porque no cuenta con edificios teatrales, además de que cuenta con grupos artísticos de danza y canto que podrían hacer uso de esta instalación.

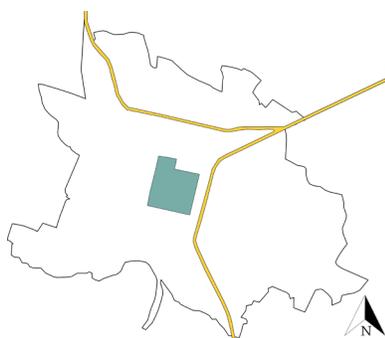


Fig.5.75. Tlayacapan

El nombre de Tlayacapan viene del náhuatl y significa “sobre la punta de la tierra”<sup>8</sup>. Sus tierras se encuentran a 1,630 msnm y se encuentran rodeadas por diferentes cerros. No cuenta con ríos o arroyos naturales, pero sí con arroyos de temporal que aumentan con las lluvias de verano. Esto genera que su clima sea templado subhúmedo y con vientos dominantes del sur, proliferando así los bosques de pino, encino y oyamel, al igual que la selva caducifolia. De esta manera su fauna se compone de venados de cola blanca, coyotes, pumas, conejos, tlacuaches, lechuzas, pájaros carpinteros, víboras y ranas, entre otros.

La actividad económica principal de la región es la agricultura, tanto de riego como de temporal produciendo jitomate, maíz, frijol, calabaza y pepino. También se fabrican velas y se realizan trabajos de cerámica de barro como cazuelas, chimeneas y macetas que se han comercializado desde la época prehispánica cuando era necesario pasar por Tlayacapan para llegar a Tenochtitlán desde el sur.

Los primeros habitantes de estas tierras fueron los olmecas, quienes fueron conquistados por los xochimilcas y posteriormente los mexicas. Durante la conquista española Hernán Cortés reclama las tierras en 1539 y permite a los evangelistas Agustinos<sup>9</sup> asentarse en 1544. Ellos construyen el convento de San Juan Bautista, donde actualmente se encuentra el Museo de Tlayacapan y 26 capillas de barrio de las cuales 18 siguen existiendo. Es en este periodo cuando nace la figura del Chinelo, danzante en los carnavales y festejos y las bandas de viento que le acompañan. Por todo esto la UNESCO nombró a Tlayacapan patrimonio de la humanidad en 1996.

<sup>8</sup>“Tlayacapan”, en Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Morelos, en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/17026a.html>

<sup>9</sup>Barragán, Carolina, 2017, “Tlayacapan, naturaleza e historia en Morelos”, en *WARPArchitecture*, en: <http://warp.la/editoriales/tlayacapan-naturaleza-e-historia-en-morelos-warparchitecture>

En el centro de Tlayacapan se encuentra la mayor parte de la infraestructura del municipio, aquí se encuentra el mercado, la casa de cultura, una escuela primaria y el Ex-Convento de San Juan Bautista, generando que mucha gente asista continuamente a esta zona. Por esta razón es una zona adecuada para colocar el teatro itinerante. Este se situaría en la plaza pública que se encuentra al sur de la Casa de Cultura “Cerería” que actualmente funciona como estacionamiento público y cuenta con el espacio suficiente para la colocación del teatro.

En esta plaza se realizó, al aire libre, el Moretón de Teatro<sup>10</sup> del 2018 demostrando así el interés de la población por los espectáculos escénicos y la factibilidad de realizar este tipo de eventos. De esta manera se demuestra la viabilidad de llevar un teatro itinerante ya que habrá asistentes y personas interesadas en llevar su arte a Tlayacapan.

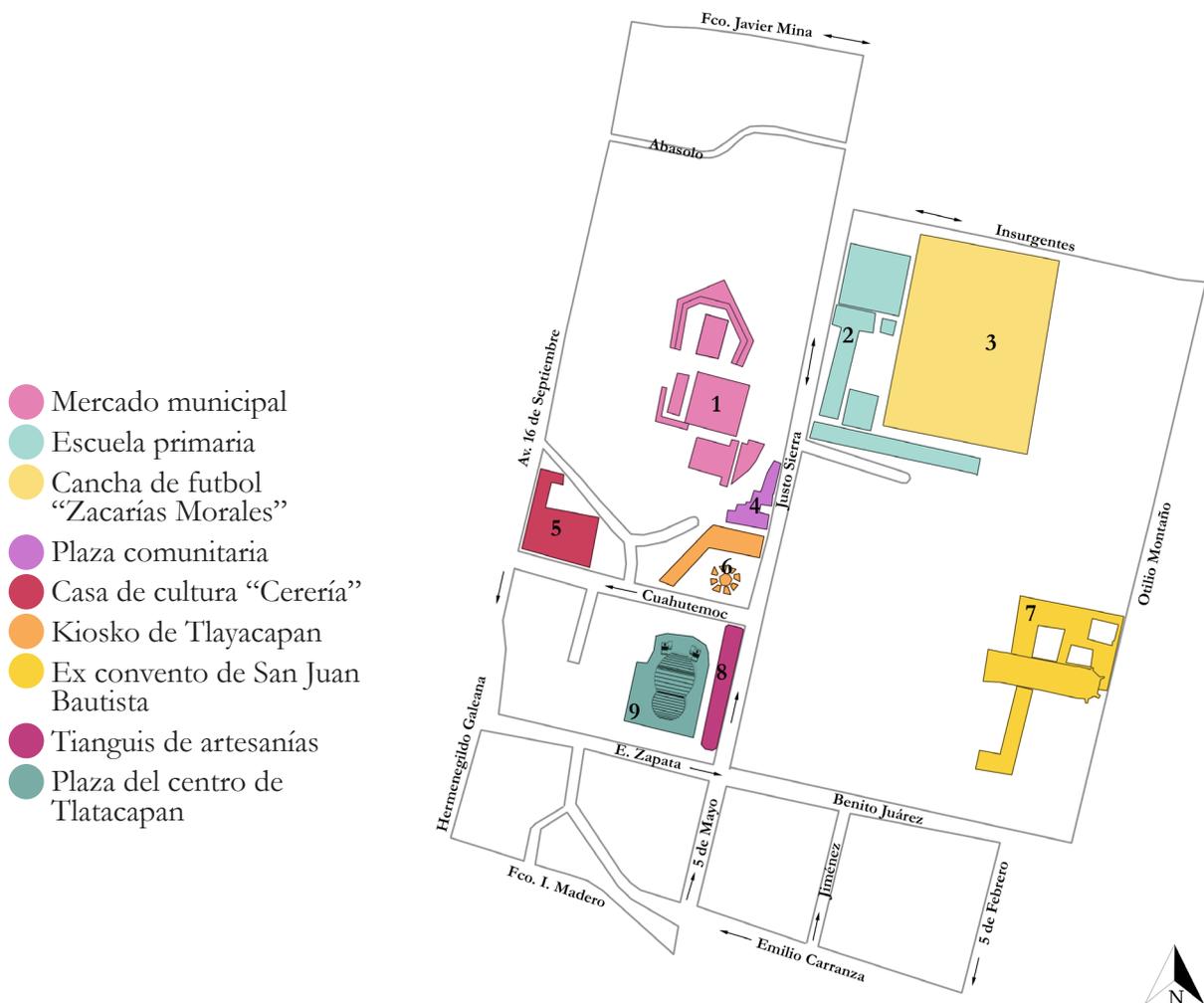


Fig.5.76. Centro de Tlayacapan

<sup>10</sup>Álvarez, Rosendo, 2018, “Con éxito concluyó el Moretón de Teatro 2018 en Tlayacapan”, en *La Unión*, en: <https://www.launion.com.mx/morelos/cuautla/noticias/122758-con-exito-concluyo-el-moreton-de-teatro-2018-en-tlayacapan.html>



---

# Conclusiones

---

La construcción de este proyecto permitirá acercar las artes escénicas a la población mexicana mediante un espacio adecuado. A través de una investigación histórica se comprendieron cuáles son las características de las partes elementales de un teatro y se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los camerinos son un espacio privado para que los artistas se preparen antes de la función. Deben contar con vestidores, sanitarios y una zona de trabajo donde se guarden elementos escenográficos.
- El escenario es una plataforma elevada en donde se realiza el espectáculo. Si bien cada género artístico lo utiliza de manera diferente, este espacio cuenta con una estructura para colocar diferentes elementos escenográficos como el ropaje, la iluminación y los sistemas de sonido.
- El espacio para el público puede ser plano, pero al colocar butacas sobre gradas se logra tener una mejor visual del escenario. Esta característica apoya a la acústica permitiendo que los espectadores escuchen con mayor claridad lo reproducido en el escenario.
- El vestíbulo es el espacio que conecta el teatro con su contexto. Por un lado funciona como regulador de luz y sonido entre el exterior y el interior y por el otro lado invita a los transeúntes a ingresar al edificio y asistir a las funciones.

Estos espacios no existen independientemente, sino que están conectados entre sí. Al utilizar un esquema lineal fue posible tener una separación clara entre los artistas y los asistentes, entrando cada uno por lados contrarios y encontrarse en medio. Esto refleja la idea de un teatro itinerante en donde el arte y los espectadores se encuentran en el mismo sitio.

La decisión de generar un vestíbulo híbrido, interno y externo, permite que el proyecto tenga una mayor flexibilidad para adaptarse a diferentes contextos. También fomenta que negocios locales de comida se unan al proyecto y abra el espacio para que diferentes empresarios participen en el teatro.

Fue posible darle forma a los espacios planteados al utilizar tecnología existente de sistemas adaptables. De esta manera se utilizaron sistemas integrados a camiones para el escenario, las gradas, parte del vestíbulo y los camerinos para facilitar su

transporte y disminuir los tiempos de montaje. Los elementos restantes, como la cubierta y partes del vestíbulo, si bien no están integrados a un camión, sus características permiten lograr el mismo objetivo.

Al adquirir elementos y sistemas que ya existen de manera comercial se logra construir el teatro en varias ocasiones y en sitios diferentes. Esto reduce los costos de la inversión inicial, que se recupera después de algunas funciones, y el impacto ambiental de la construcción. Por estas razones es una opción válida al compararse con la construcción de una casa teatral fija.

Los sistemas constructivos del escenario y las gradas podrían construirse utilizando un sistema más sencillo que no involucre elementos mecánicos integrados a un camión. Una posibilidad sería generar una estructura de andamios, pero hay que tener en cuenta que esto aumentará la complejidad del montaje del teatro aumentando así el tiempo de armado y la necesidad de personal capacitado.

Para la cubierta del edificio se optó por utilizar un sistema neumático ya que la libertad formal de este sistema permite generar una forma que cubra el espacio y que internamente funcione como difusor acústico para obtener las mejores condiciones espaciales y acústicas. En segundo lugar la membrana flexible permite que la cubierta se guarde de una manera compacta facilitando su transporte y guardado para futuros usos. Por último, su montaje es sencillo, ya que se compone de pocas piezas y depende principalmente del aire, y la ligereza del sistema disminuye el riesgo de daños para los habitantes en caso de un accidente como un sismo.

Para analizar la factibilidad, los beneficios y problemas de este teatro se propone su montaje en el centro histórico de Tlayacapan, Morelos. Este municipio cuenta con una falta de infraestructura para la realización de artes escénicas, pero a la vez su población tiene una creación artística activa en la “Casa de cultura Cerrería” y tanto ellos como los visitantes muestran gran interés por disfrutar de este tipo de arte. Este análisis también permitió demostrar que la construcción temporal del teatro no afecta el suelo en donde se encuentra ni sus alrededores, por lo tanto, es posible utilizarlo en plazas históricas sin perjudicarlas y es una opción para hacer uso de plazas o predios subutilizados sin causarles algún daño a futuro.

Los elementos que conforman este teatro se pueden modificar de ser necesario ya que cada parte es independiente. Esto serviría para responder a diferentes necesidades, por ejemplo en caso de climas extremos se puede habilitar aire acondicionado ya sea para enfriar o calentar el interior del recinto. También sería factible modificar los camerinos para admitir grupos de artistas más grandes, o se podrían eliminar las gradas para que el público se sitúe de pie y tenga espacio para bailar. Será importante considerar estas modificaciones dependiendo de las necesidades expresadas para un proyecto en específico.

De igual manera la acústica se puede mejorar para la realización de espectáculos de música sin amplificación añadiendo conchas acústicas en el escenario y las gradas y colocando absorbentes acústicos encima del escenario para evitar ecos. Será necesario realizar una mayor investigación para proponer una cubierta con una capa de absorbente acústico en la parte externa y una capa de reflejante acústico en la parte interna para apoyar la reducción del ruido al interior del recinto y la transmisión de los sonidos a los espectadores.

Este proyecto podrá ayudar a disminuir la falta de espacios para la difusión de las artes escénicas en México por su facilidad de transporte. Y servirá como plataforma física para la organización de festivales artísticos compuestos por más de un grupo de artistas que puedan viajar junto con el edificio a diferentes puntos de la nación. Si bien en este trabajo no se propone la logística de estos eventos, si se resuelve el espacio físico que los beneficiarían.

Este trabajo aporta un grano de arena a los esfuerzos de generar proyectos que promuevan la cultura y las artes ya que estas son fundamentales para el desarrollo completo de los individuos y apoyan a la disminución de la violencia al transmitir valores y educar. No olvidemos que los espacios escénicos nos invitan a un placer y reflexión que no se obtienen en otros lugares.

---

# Referencias

---

## Fuentes consultadas

### TEATRO

- Strong, Judith, 2010, *Theater buildings a design guide*, Inglaterra, Association of British Theatre Technicians, 290 pp
- Beranek, Leo, 1996, *Concert halls and Opera houses*, USA, Springer-Verlag
- Dorado, Ivan, 2010, *Introducción al Manejo del Espacio Escénico*, México, Ediciones Abcénicas, 182 pp
- Carrión, Antoni, 1998, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Ediciones de la Universitat Politecnica de Catalunya, España, 433 pp.
- Conde, Arton, *Teatros de México*, 1991, Banamex, México, 269 pp
- Cruciani, Fabrizio, 2005, *Arquitectura Teatral*, México, Escenología A.C., 292 pp
- Orozco, Valentín, 2005, *Manual básico de Iluminación escénica*, México, Escenología A.C., 97 pp
- Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, *Manual Escenotecnia*, 2014, Chile, Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 60 pp
- Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, *El diseño teatral, iluminación, vestuario y escenografía*, 2014, Chile, Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 81 pp
- Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, *El escenario, lugar de trabajo en equipo*, 2014, Chile, Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 77 pp
- Oliva, César; Torres, Francisco, 1992, *Historia básica del arte escénico*, España, Ediciones Cátedra, S.A., 109 pp
- Wickham, Glynne, *A history or the theatre*, 1992, Phaidon Press Limited, Inglaterra, 287 pp
- ANM, “Wagner y el teatro de Bayreuth” en *Asignatura de Historia de la Música*, Villena, 2013, en: <http://amayahistoriadelamusica.blogspot.com/2015/02/wagner-y-el-teatro-de-bayreuth.html> (consultado 20/06/2019)
- Rodríguez, Carmelo, “Crítica. No tan Efímeras”, en *Arquine*, No. 90, México, Arquine, 2019, p. 61
- Rodríguez, Fausto, *Espacio, sonido y arquitectura*, 2017, Editorial Limusa, México, 177 pp

## ESTRUCTURAS

- Süskind, Patrick, 1987, *El Contrabajo*, Grupo Editorial Planeta, México, 92 pp.
- Blümel, Dieter; Graefe, Rainer; Hennicke, Jürgen; Kugel, Friedemann; Pabkoke, Uta; Otto, Frei; Schock, Hnas-Joachim; Wagner, Jörg, 1971, *IL5 Convertible Roofs*, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), 398 pp
- Bach, Klaus; Bereiter-Han, Jürgen; Gutmann, Wolfgang; Helmcke, Johann-Gerhard; Nachtigall, Werner; Otto, Frei; Raccanello, Roberto; Schaur, Eda; Schill, Rainer, 1976, *IL9 Pneus in nature and technics*, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), 334 pp
- Bubner, Ewald; Burkhardt, Berthold; Denner, Jean-Francois, Kurzweg, Rolf; Von Lieven, Alf; Otto, Frei; Papakostas, Georgios; Schaur, Eda, Van Schoor, Berthold, *IL12 Convertible pneus*, 1975, *IL9 Pneus in nature and technics*, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), 186 pp
- Francis, Sharon, 2019, *Bubblectecture, Inflatable architecture and design*, Inglaterra, Phaidon, 287 pp
- Mclean, Will; Silver, Pete, 2015, *Air structures, Form + Technique*, Inglaterra, Laurence King, 160 pp
- Herzog, Thomas, 1977, *Construcciones neumáticas, Manual de arquitectura hinchable*, España, Editorial Gustavo Gilli, 185 pp
- Yun, Jung; Pauletti, Ruy, 2018, *Design and Analysis of Pneumatic Structures*, Brazil, Conference paper, 10 pp
- Sill, Bernhard; Rückert, Klaus, 2006, *On convertible Structures: Two Design Proposals for a Retractable Roof*, en la “International Conference on Adaptable Building Structures”, Holanda, 2006, 5 pp
- Zetina, Carlos, 2008, *Sistemas Convertibles y Arquitectura Transformable*, Tesis de Licenciatura de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, UNAM
- Peña, Martino, 2015, “El Teatro Ambulante de Emilio Pérez Piñero. Un viaje espacio-temporal” en *II Congreso nacional de arquitectura, pioneros de la arquitectura moderna española*, España, Fundación Alejandro de la Sota, pp 469-479
- Kronenburg, Robert, 2008, *Portable Architecture, Design and Technology*, Alemania, Architectural Press, 160 pp.
- Elmokadem, Ashraf, Akram, Magd, et. all., 2018, “Kinetic Architecture: Concepts, History and Applications”, en *International Journal of Science and Research*, Vol. 7, Egipto, pp. 750-758

# Créditos de imágenes

## FIGURAS

- **Fig.1.**Kiosco Zócalo Capitalino, **Fig.2.**Músicos calle 16 de Septiembre, **Fig.3.**Escenario Derechos laborales, Alameda Central, **Fig.4.**Músicos Av. Juárez. Material propio
  
- **Fig.1.1.**Teatro griego, **Fig.1.5.**Carros de comedia, **Fig.1.7.**Teatro isabelino, **Fig.1.9.**Corrales de comedia, **Fig.1.11.**Teatro frances. Oliva, César; Torres, Francisco, 1992, Historia básica del arte escénico, España, Ediciones Cátedra, S.A., pp 45, 90, 148, 184, 224
- **Fig.1.2.**Teatro Epidauro. “Cacheiro, Roberto, “”Epidauro-Grecia””. Diplomatura en relaciones internacionales, en: <http://cacheirofrias.com.ar/epidauro.htm>”
- **Fig.1.3.**Teatro romano. “De Ory, Carlos, Teatro Romano de Cartagena, en: <https://www.carlosdeory.com/teatro-romano-de-cartagena/>”
- **Fig.1.4.**Teatro de Pompeyo. “Valderas, Xavier, “”Teatro de Pompeyo””, Apasionados del imperio Romano, 2015, en: <http://imperiromanodexaviervalderas.blogspot.com/2015/08/teatro-de-pompeyo.html>”
- **Fig.1.6.**Representación de los Tres Reyes Magos. “Guadalajara, José, La representación de los Reyes Magos, en: <https://www.joseguadalajara.com/lm-16-la-representacion-de-los-reyes-magos/>”
- **Fig.1.8.**Shakespeare’s Globe Theatre. “Greig, David, “”Emma Rice’s exit from Shakespeare’s Globe feels a bit Brexit”” en NewStatesman American, 2016, en: <https://www.newstatesman.com/culture/music-theatre/2016/10/emmarices-exit-shakespeares-globe-feels-bit-brexit>”
- **Fig.1.10.**Teatro de Cervantes. “Tabuenca, Elía, “”Teatro en el Siglo de Oro Español: características principales””, en Unprofesor, 2018, en: <https://www.unprofesor.com/lengua-espanola/teatro-en-el-siglo-de-oro-espanol-caracteristicas-principales-2842.html>”
- **Fig.1.12.**Teatro del Palais-Cardinal. “Reyes, Belén, “”Palais Royal”” en La aventura de vivir en París, en: <https://belparisrm65.blogspot.com/2014/09/palais-royal.html>”
- **Fig.1.13.**Teatro neoclásico. “Monica, “”Teatro Olímpico de Vicenza (Andrea Palladio)”” en Arte y Arquitectura, en: <http://monica-arq.blogspot.com/2014/07/teatro-olimpico-de-vicenza-andrea.html>”
- **Fig.1.14.**Teatro Olímpico de Vicenza. “Teggelaar, Ruud, Vicenza, en: <https://www.teggelaar.com/en/vicenza-continuation-1/>”
- **Fig.1.15.**Ilustración del Teatro de Bayreuth. “Librería Trippini Sergio, “”Il teatro Wagner a Bayreuth”” en MareMagnum, en: <https://es.maremagnum.com/stampe/il-teatro-wagner-a-bayreuth-interno-del-teatro/130063744>”
- **Fig.1.16.**Corte del Teatro de Bayreuth. “Reizen, Hannick, “”Richard Wagner en de Bayreuther Festspiele”” en Wagneritus, 2019, en: <https://www.hannick.nl/blog/wagneritus-/21>”
- **Fig.1.17.**Posiciones del teatro actual, **Fig.1.24.**Partes del teatro, **Fig.1.27.**Ventilación, **Fig.1.30.**Vista entre cabezas, **Fig.1.31.**Medidas para el cálculo de la isóptica vertical, **Fig.1.32.**Disposicion de los asientos en relación con el escenario. Strong, Judith, 2010, Theater buildings a design guide, Inglaterra, Association of British Theatre Technicians, pp 67, 35, 73, 65, 67, 68.

- **Fig.1.18.**Planta del nuevo Coliseo. “Conde, Arton, Teatros de México, 1991, Banamex, México, pp 47”
- **Fig.1.19.**Palacio de Bellas Artes, **Fig.1.20.**Sala Nezahualcóyotl, **Fig.1.21.**Teatro Juan Ruiz de Alarcón y Foro Sor Juana Inés de la Cruz, **Fig.1.22.**Sala Miguel Cobarrubias y Sala Carlos Chávez, **Fig.1.23.** Representación estudiantil de “Esperando a Godot” en el Centro de Arte Dramático CADAC, **Fig.1.26.** Gradas del Palacio de los Deportes, Fig.1.28.Rango visual vertical, **Fig.1.29.** Rango visual horizontal. Material propio
- **Fig.1.25.**Vestíbulo de Bellas Artes. “Ventura, Abida, “”Recogen la historia del Palacio de Bellas Artes””, El Universal.mx, 2014, en: <https://archivo.eluniversal.com.mx/cultura/2014/impreso/recogen-la-historia-del-palacio-de-bellas-artes-75868.html>”
- **Fig.1.33.**Medidas de butacas. “Josper la butaca, Romea 3500, en: <http://josper.com/butaca-romea/>”
- **Fig.1.34.**Diagrama de reflexión acústica, **Fig.1.35.**Reflexiones acústicas en el auditorio. “Beranek, Leo, 1996, Concert halls and Opera houses, USA, Springer-Verlag, pp 21, 23”
- **Fig.1.36.**Resonador de membrana, **Fig.1.37.**Resonador de cavidad múltiple. “Elementos absorbentes selectivos (resonadores), en: [http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_07\\_08/io6/public\\_html/Paginas/reso.html](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_07_08/io6/public_html/Paginas/reso.html)”
- **Fig.1.38.**Maquinaria sobre el escenario, **Fig.1.39.**Luminarias teatrales, **Fig.1.40.** Soportes para luminarias, **Fig.1.41.**Consola de control de luces, **Fig.1.42.**Sistema de conexión de luces. “Campos, Daniela, Manual Escenotecnia, 2014, Chile, Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, pp 15, 37, 38, 23, 35, 31”
- **Fig.1.43.**Posicionamiento de luces. “Rosso, Paco, “”Dos modelos para iluminar la escena 2: Skelton””, Apuntes de fotografía e iluminación, 2014, en: <https://pacorossofoto.wordpress.com/tag/skelton/>”
  
- **Fig.2.1.**Estructura convertible, **Fig.2.2.**Estructura móvil, **Fig.2.3.**Techo retráctil, **Fig.2.4.**Gradas retráctiles, **Fig.2.13.**Techo convertible, **Fig.2.14.** Portada IL5 Convertible roofs, “Blümel, Dieter; Graefe, Rainer; Hennicke, Jürgen; Kugel, Friedemann; Pabkoke, Uta; Otto, Frei; Schock, Hnas-Joachim; Wagner, Jörg, 1971, IL5 Convertible Roofs, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), pp 95, 317, 152, 189, portada”
- **Fig.2.5.**Venus atrapamoscas. “Atracción fatal, Fotografía, en National Geographic en Español, en: <https://www.ngenespanol.com/fotografia/atraccion-fatal/>”
- **Fig.2.6.**Tienda de campaña del desierto. “Otazu, Javier, 2018, “El otro desierto de Marruecos”, en *La vanguardia*, en: <https://www.lavanguardia.com/ocio/viajes/20180321/441772734148/marruecos-otros-desiertos-assa-zag.html>”
- **Fig.2.7.**Sombrillas. “CurioSfera Historia, 2020, “Historia del paraguas - Inventor, origen y evolución”, en *CurioSfera*, en: <https://curiosfera-historia.com/historia-del-paraguas-inventor/>”
- **Fig.2.8.**Velum romano. “Goldman, Norma, 2012, “Velarium”, en *Queen city awning*, en: <https://queencityawning.wordpress.com/2012/05/14/velarium>”
- **Fig.2.9.**Vivienda Dymaxion. “Fracalossi, Igor, 2013, “Clásicos de Arquitectura: La Casa Dymaxion / Buckminster Fuller”, en *Archdaily*, en: <https://www.archdaily.mx/mx/02-288162/claicos-de-arquitectura-la-casa-dymaxion-buckminster-fuller>”
- **Fig.2.10.**Museo expandible. “Chin, I., 2015, “Le Corbusier’s Musée a croissance illimitée: A Limitless Diagram for Museology”, en *Le Corbusier, 50 years later International Congress*, en: <http://dx.doi.org/10.4995/LC2015.2015.584>”

- **Fig.2.11.**Space Modulator Experiment, Aluminium 5, 1931. “Moholy-Nagy, Lazlo, 1931, “Space Modulator Experiment, Aluminium 5”, en *WikiArt, encyclopedia de artes visuales*, en: <https://www.wikiart.org/es/laszlo-moholy-nagy/space-modulator-experiment-aluminium-5-1931>”
- **Fig.2.12.**Libro The Growing House. “Wagner, Martin, 1931, “The Growing House”, en *Haus de Kulturen der Welt*, en: [https://www.hkw.de/en/media/publikationen/2015\\_1/2015\\_publikation\\_das\\_wachsende\\_haus\\_1.php](https://www.hkw.de/en/media/publikationen/2015_1/2015_publikation_das_wachsende_haus_1.php)”
  
- **Fig.3.1.**Sistema neumático. **Fig.3.17.**Coloquio Pneus in nature and technics, 1973. **Fig.3.11.**Pentadome exhibition. “Otto, Frei, 1976, “The structural system pneu”. Schaur, Eda y Bach, Klaus, IL9 Pneus in nature and technics, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), Stuttgart, p. 23, 10, 55”
- **Fig.3.2.**Murciélago con alas traccionadas por el aire. Sicilia Miguel, tomada de: Enciclo vida, Conabio, en: <http://enciclovida.mx/especies/36775> (Fecha de consulta 29/07/2019)”
- **Fig.3.3.**Sapo con bolsa inflada. “Toby Hibbitts, tomada de: Enciclo vida, Conabio, en: <http://enciclovida.mx/especies/35429> (Fecha de consulta 29/07/2019)”
- **Fig.3.4.**Globo Mongolfier. **Fig.3.7.**Globo Piccard. **Fig.3.20.**Coop Himmelb(L) au. “Herzog, Thomas, 1977, *Construcciones neumáticas, Manual de arquitectura binchable*, España, Editorial Gustavo Gilli, pp. 33, 42”
- **Fig.3.5.**Dirigible Meusnier. “Wikipedia, “Jean Baptiste Meusnier” en *Wikimand*, en: [https://www.wikiwand.com/es/Jean\\_Baptiste\\_Meusnier](https://www.wikiwand.com/es/Jean_Baptiste_Meusnier)”
- **Fig.3.6.**Dirigible Von Zeppelin. “Ashworth, William, 2016, “Scientist of the day - Ferdinand von Zeppelin”, en *Linda Hall Library*, en: <https://www.lindahall.org/ferdinand-von-zeppelin/>”
- **Fig.3.8.**Radomes de Walter Bird. **Fig.3.9.**Tanque inflable. **Fig.3.10.**Cloud nine floating tensegrity spheres. **Fig.3.13.**Echo 1 de la NASA. **Fig.3.15.**Puente inflable. **Fig.3.16.**Atmosfield de Stevens. **Fig.3.18.**Oase No.7. **Fig.3.23.**Blallule. “Mclean, Will; Silver, Pete, 2015, *Air structures, Form + Technique*, Inglaterra, Laurence King, pp. 9, 30, 62, 63, 75, 11, 22, 102”
- **Fig.3.12.**Airhouses de Frank Lloyd Wright. “Frank Lloyd Wright Foundation, 2019, *Frank Lloyd Wright's Inflatable Architecture Experiment*, en: <https://franklloydwright.org/frank-lloyd-wrights-inflatable-architecture-experiment/>”
- **Fig.3.14.**Instant city in a field de Archigram. “Cook, Peter, 1969, “Instant City in a Field, Typical set-up”, en *Archigram Archives*, en: <https://www.archigram.net/portafolio.html>”
- **Fig.3.19.**Pillow instalation de Antfarm. ““Ant Farm”, en *Spatial Agency*, en: <https://www.spatialagency.net/database/ant.farm>”
- **Fig.3.21.**Spatial effects. “Francis, Sharon, 2019, *Bubbletecture, Inflatable architecture and design*, Inglaterra, Phaidon, 287 pp
- **Fig.3.22.**Productos de ETFE. “ETFE Durable fluoropolymer with an outstanding balance of mechanical, thermal, and electrical properties”, en *Curbell Plastics*, en: <https://www.curbellplastics.com/Research-Solutions/Materials/ETFE>”
- **Fig.3.42.**Zoológico de Arnhem. “Romaine, 2019, “Burgers Zoo-Mangrove”, en *Wikimedia commons*, en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Burgers\\_Zoo-Mangrove\\_\(2\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Burgers_Zoo-Mangrove_(2).jpg)”
- **Fig.3.25.**Insuflado, **Fig.3.26.**Succión, **Fig.3.27.**Inflado, “Yun, Jung; Pauletti, Ruy, 2018, Design and Analysis of Pneumatic Structures, Brazil, Conference paper, pp 3”
- **Fig.3.28.**Neumática abierta. Material propio

- **Fig.3.29.**Spacebuster, Raumlabor-Vista exterior, **Fig.3.30.**Spacebuster, Raumlabor-Croquis. "Raumlabor, Spacebuster, 2009, EUA, en: <http://raumlabor.net/spacebuster/>"
- **Fig.3.31.**Fuji Pavilion, Mamoru Kawaguchi-Fachada principal, **Fig.3.32.** Fuji Pavilion, Mamoru Kawaguchi-Fachada lateral. "Kawaguchi & Engineers, 1970, Japón, en: <https://kawa-struc.com/expo70-2/?ref=langjp>"
- **Fig.3.33.**Pillow tent-Vista exterior, **Fig.3.34.**Pillow tent-Vista interior. "Lee, Joyce, 2011, "Lambert Kamps: pillow tent at DMY Berlin 2011" en designboom, en: <https://www.designboom.com/design/lambert-kamps-pillow-tent-at-dmy-berlin-2011/>"
- **Fig.3.35.**Eden Project, Nicholas Grimshaw-Planta, **Fig.3.36.**Eden Project, Nicholas Grimshaw-Corte. "Grimshaw, The Eden Project: The Biomes, Inglaterra, en: <https://grimshaw.global/projects/the-eden-project-the-biomes/>"
- **Fig.3.37.**Esquema de presión interna de una burbuja, **Fig.3.38.**Comportamiento morfológico en una sola burbuja, **Fig.3.39.**Comportamiento morfológico entre dos burbujas, **Fig.3.40.**Comportamiento morfológico entre tres burbujas, **Fig.3.41.**Comportamiento morfológico entre varias burbujas de igual presión, **Fig.3.42.**Patronaje, **Fig.3.43.**Uniones con dobladillo, **Fig.3.44.**Uniones sobrepuestas, **Fig.3.45.**Ventilador de baja capacidad, **Fig.3.46.**Impulsor de aire, **Fig.3.47.**Impulsor de aire tangencial, **Fig.3.48.**Compresor de alta capacidad. "Herzog, Thomas, 1977, "Construcciones neumáticas", Editorial Gustavo Gili, Barcelona, p. 11, 147, 159"
  
- **Fig.4.1.**Demostración de funcionamiento de cubierta. "Peña, Martino, 2015, "El Teatro Ambulante de Emilio Pérez Piñero. Un viaje espacio-temporal" en II Congreso nacional de arquitectura, pioneros de la arquitectura moderna española, España, Fundación Alejandro de la Sota, pp 469"
- **Fig.4.2.**Modelo de la cubierta plegada para su transporte, **Fig.4.3.**Modelo de la cubierta desplegada con membrana. "Metamaterial, "Emilio Perez Piñero", 2012, en: <http://metamaterialescultura.blogspot.com/p/emilio-perez-pinero.html>"
- **Fig.4.4.**Croquis conceptual, **Fig.4.5.**Fotografía del exterior. "Design Library Image Collection, Karaza Theater, en: <https://images.lib.ncsu.edu/luna/servlet/detail/NCsulib~1~1~109542~184865:Karaza-Theater>"
- **Fig.4.6.**Espacio interno. "Innes, Alan, en: <https://pin.it/x6umucfj3hyu4u>"
- **Fig.4.7.**Fachada, **Fig.4.8.**Planta. "Kroon, Brittney, 2009, RISD Architecture, en: <https://www.coroflot.com/bkkroon/risd-architecture-2009>"
- **Fig.4.9.**Interior del auditorio, **Fig.4.10.**Vista interna del escenario, **Fig.4.11.** Vista exterior. "Frearson, Amy, 2013, "Ark Nova by Arata Isozaki and Anish Kapoor" en Dezeen, en: <https://www.dezeen.com/2013/09/26/ark-nova-by-arata-izozaki-and-anish-kapoor-completes/>"
  
- **Fig.5.1.**Corte longitudinal perspectivado, **Fig.5.2.**Relación de espacios en planta, **Fig.5.3.**Relación de espacios en corte, **Fig.5.4.**Circulaciones generales, **Fig.5.5.**Esquema de separaciones entre los espacios, **Fig.5.6.**Circulación dentro de las gradas, **Fig.5.7.**Distancia butaca frontal, **Fig.5.8.**Cálculo de isóptica vertical, **Fig.5.9.**Cálculo de isóptica horizontal, **Fig.5.10.**Estructura de andamios, **Fig.5.11.**Estructura telescópica, **Fig.5.12.**Estructura plegable, **Fig.5.17.**Iluminación del auditorio, **Fig.5.18.**Planta del auditorio, **Fig.5.19.** Gradas en corte, **Fig.5.20.**Escenario de andamio, **Fig.5.21.** Escenario plegable de barras, **Fig.5.22.** Escenario plegable desde camión, **Fig.5.27.**Detalle de unión de armadura, **Fig.5.28.**Perspectiva del escenario con ropaje, **Fig.5.29.**

Esquema de conexión de sistemas, **Fig.5.30**. Posición de ropaje y luminarias en el escenario, **Fig.5.31**. Escenario plegable desde camión, **Fig.5.32**. Separación interna y externa del vestíbulo, **Fig.5.35**. Planta del vestíbulo, **Fig.5.36**. Separación interna y externa del camerino, **Fig.5.38**. Planta del camerino, **Fig.5.39**. Estructura de andamios, **Fig.5.40**. Estructura de barras plegables, **Fig.5.41**. Estructura de membrana, **Fig.5.42**. Estructura de arcos de catenaria, **Fig.5.43**. Corte de propuesta de sistema neumático, **Fig.5.44**. Fachada de propuesta de sistema neumático, **Fig.5.45**. Diagrama de reflexión acústica en una esfera hueca, **Fig.5.46**. Primera imagen en planta, **Fig.5.47**. Primera imagen en corte, **Fig.5.48**. Proporción del teatro en planta, **Fig.5.49**. Proporción del teatro en corte, **Fig.5.50**. Curvas guía en planta, **Fig.5.51**. Curvas guía tridimensional, **Fig.5.52**. Curvas transversales, **Fig.5.53**. Superficie guía, **Fig.5.54**. Sección de tubos de aire, **Fig.5.55**. Elipses en planta, **Fig.5.56**. Cubierta inflada, **Fig.5.58**. Tamaño de tubos, **Fig.5.59**. Esfuerzos en membrana, **Fig.5.60**. Partes que conforman un tubo, **Fig.5.61**. Patronaje de tubo, **Fig.5.62**. Detalle de cimentación de cubierta, **Fig.5.63**. Detalle de sujeción de la cubierta a la trabe, **Fig.5.64**. Detalle de borde rígido en accesos, **Fig.5.65**. Diagrama de reflexión acústica, **Fig.5.66**. Áreas para cálculo de reverberación, **Fig.5.67**. Diagrama de ventilación, **Fig.5.69**. Etapa 1, **Fig.5.70**. Etapa 2, **Fig.5.71**. Etapa 3, **Fig.5.72**. Etapa 4, **Fig.5.73**. Etapa 5, **Fig.5.74**. Etapa 6, **Fig.5.75**. Tlayacapan, **Fig.5.76**. Centro de Tlayacapan. Material propio.

- **Fig.5.13**. Sistema Mobil seats-Gradas desplegadas, **Fig.5.14**. Sistema Mobilseats - Gradas plegadas “Touartube TAT, Mobile bleacher MOBILSTAIRS, 2015, en: <https://www.youtube.com/watch?v=BZKjv1LsDik>”
- **Fig.5.15**. Patente Uhl- Gradas desplegadas, **Fig.5.16**. Patente Uhl-Gradas plegadas, “Patente US8,296,99, Uhl, Robert, 2012, Estados Unidos”
- **Fig.5.23**. Patente Boers-Escenario plegado, **Fig.5.24**. Patente Boers-Escenario desplegado. “Patente 5,152,102, Boers, Arie, 1990, Estados Unidos”
- **Fig.5.25**. Mobilstage-Escenario plegado, **Fig.5.26**. Mobilstage-Escenario desplegado. “Touartube TAT, Stage trailer MOBILSTAGE ARC, 2015, en: <https://www.youtube.com/watch?v=TpL4dqOimfs>”
- **Fig.5.33**. Foodtruck. “Castro, Mariana, “Los 10 mejores foodtrucks en la ciudad”, Voz Allende, en: <http://cerveceriaallende.mx/gastronomia/los-10-mejores-foodtrucks-en-la-ciudad-de-mexico>”
- **Fig.5.34**. Woshbox. “Woshbox, Wosjbox Mark V, en: <http://www.woshbox.com/products/>”
- **Fig.5.37**. Camión para grabaciones. “Options, All in one films, Camerino 9,8 M, en: <http://optionsfilms.com/un-portfolio/camerino-98-m/>”
- **Fig.5.57**. Flexlight Classic, Serge Ferrari. “Serge Ferrari, Flexlight Classic 402N, 602 y 782 S2, en: <https://www.sergeferrari.com/es-es/productos/gama-flexlight/flexlight-classic-402n-602-y-782-s2>”
- **Fig.5.57**. Generador XQ45, “Tormot Power Systems, XQ45 Generator, en: <https://www.toromontpowersystems.com/rental/generators-power-productos/45-kw-diesel-generator-rental>”

## GRÁFICAS

- **Gráfica1**. Gráfica teatros por estado vs. Habitantes por teatro. “Datos tomados de: “Mapa Teatros, Cantidad de Recursos por Alcance”, Sistema de Información Cultural México, en: <https://sic.cultura.gob.mx/index.php?table=teatro> consultado (25/01/2020)”
- **Gráfica2**. Porcentaje de la población mayor de edad que asistió a eventos culturales seleccionados, 2019. “Resultados del módulo de eventos culturales seleccionados (MODECULT), INEGI, 2019, en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/EstSociodemo/moddecult2019\\_07.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/EstSociodemo/moddecult2019_07.pdf)”

- **Gráfica1.1.**Percepción del sonido. “Beranek, Leo, 1996, Concert halls and Opera houses, USA, Springer-Verlag, pp 22”
- **Gráfica1.2.**Tiempo de reverberación por tipo de espectáculo. “Rodríguez, Fausto, 2017, Espacio, sonido y arquitectura, México, Editorial Limusa, pp. 58”
- **Gráfica5.1.**Sistema de cargas de armadura principal, **Gráfica5.2.**Momentos en armadura principal, **Gráfica5.3.**Cortantes en armadura principal. Material propio generado con Rhinoceros 5.0 + Grasshopper + Karamba 3D

## TABLAS

- **Tabla1.1.**Áreas públicas y administrativas del vestíbulo, **Tabla1.2.**Áreas técnicas y para artistas del backstage, **Tabla1.3.**Aforo de diferentes teatros, **Tabla1.5.**Punto de Arribo Visual de diferentes espectáculos, **Tabla1.6.**Apertura visual desde el escenario, **Tabla1.8.**Medidas para el escenario. “Datos obtenidos de: Strong, Judith, 2010, Theater buildings a design guide, Inglaterra, Association of British Theatre Technicians, 290 pp”
- **Tabla1.4.**Cantidad de luxes por área. “Datos obtenidos de: Normas Técnicas Complementarias, “Capítulo III”, Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, 2018”
- **Tabla1.7.**Cálculo de reverberación en la sala. Material propio
- **Tabla2.1.**Tabla de clasificación de sistemas convertibles. “Zetina, Carlos, 2008, Sistemas Convertibles y Arquitectura Transformable, Tesis de Licenciatura de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, UNAM, pp 29”
- **Tabla2.2.**Tabla de sistemas convertibles. “Blümel, Dieter; Graefe, Rainer; Hennicke, Jürgen; Kugel, Friedemann; Pabkoke, Uta; Otto, Frei; Schock, Hnas-Joachim; Wagner, Jörg, 1971, IL5 Convertible Roofs, Alemania, Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), pp 45”
- **Tabla3.1.**Comportamiento morfológico del sistema neumático. “Herzog, Thomas, 1977, Construcciones neumáticas, Manual de arquitectura hinchable, España, Editorial Gustavo Gilli, pp 12-13”
- **Tabla5.1.**Espacios privados y públicos, **Tabla5.2.**Cálculo de reverberación. Material propio

## DIAGRAMAS

- **Diagrama.5.1.**Conexión del sistema de iluminación
  - Mezcladora: Element Console, 40 faders -250 channels, en: <https://www.etconnect.com/Products/Consoles/Eos-Family/Element/Features.aspx>
  - Emisor y receptor: ETC, Color Source Relay, en: <https://www.etconnect.com/Products/Power-Controls/Distributed/ColorSource/Relay/Features.aspx>
  - Dimmers: ETC, DRd Powe Control, en: <https://www.etconnect.com/Products/Power-Controls/Racks-and-Panels/DRd-Power-Control/Overview.aspx>
  - Robotizado x 9: High end Systems, Solaspot 1000 (440 W), en: <https://www.highend.com/products/lighting/solaspot-lights>
  - Elipsoidal x 6: Dixel, LED Elipsoidal zoom 25-50° (250 w), en: <http://dixel.com/en/ficha.php?id=26&lin=stage&sline=led-lighting>
  - Halógeno x 4: Dixel, Color max, Pro washer LED RGBW (10 W), en: <http://dixel.com/en/ficha.php?id=17&lin=stage&sline=led-lighting>
- **Diagrama.5.2.**Conexión del sistema de audio
  - Micrófonos de voz, o instrumentales dependiendo del espectáculo o instrumentos eléctricos, en: <https://www.ecobadajoz.es/microfonia-sistemas-inalambricos/microfono-inalambrico-1-de-mano-y-1-diadema-vhf-skytec-mod-stwm-712c.html>

- Monitor de suelo (de ser necesario): Yamaha, CM12V, Sistema Srt, en: [https://mx.yamaha.com/es/products/proaudio/speakers/concert\\_club\\_v\\_series/index.html](https://mx.yamaha.com/es/products/proaudio/speakers/concert_club_v_series/index.html)
- Preamplificador: Yamaha Tio1608-D I/O Rack con software R Remote para control inalámbrico, en: <https://mx.yamaha.com/es/products/proaudio/interfaces/tio1608-d/index.html>
- PC para control y reproducción de sonidos grabados
- Mezcladora: Yamaha, QL-1 de 32 canales mono y 8 estéreo, en: [https://mx.yamaha.com/es/products/proaudio/mixers/ql\\_series/index.html](https://mx.yamaha.com/es/products/proaudio/mixers/ql_series/index.html)
- Receptor y emisor incluidos en la mezcladora, altavoces y preamplificador
- Altavoces: Yamaha, DZR315-D, Altavoz autoamplificado (31 hz- 20 khz, 143 db) x2-4, en: [https://es.yamaha.com/es/products/proaudio/speakers/dzr\\_dxs\\_xlf/index.html](https://es.yamaha.com/es/products/proaudio/speakers/dzr_dxs_xlf/index.html)

## FÓRMULAS

Realizadas utilizando HostMath, A online LaTeX formula editor and math equation editor, en: <https://www.HostMath.com/>

- **Fórmula1.1.**Fórmula de reverberación, **Fórmula1.2.**Cálculo de ruido interno. “Beranek, Leo, 1996, Concert halls and Opera houses, USA, Springer-Verlag, pp 23”
- **Fórmula3.1.**Fórmula de presión interna, **Fórmula3.2.**Fórmula de tensión superficial, **Fórmula3.3.**Fórmula de relación entre radios. “Herzog, Thomas, 1977, “Construcciones neumáticas”, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, p. 11, 12, 13”

# Anexos

---

Láminas de presentación

Planos arquitectónicos

Plano de montaje

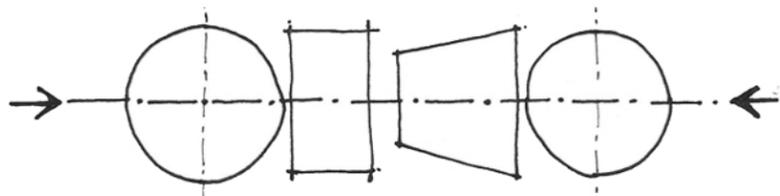
Cortes por fachada

Detalles constructivos

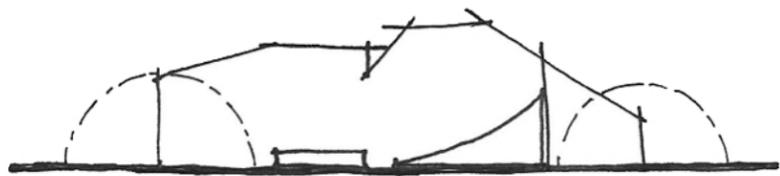
Planos de instalaciones

# Teatro Itinerante con Cubierta Neumática

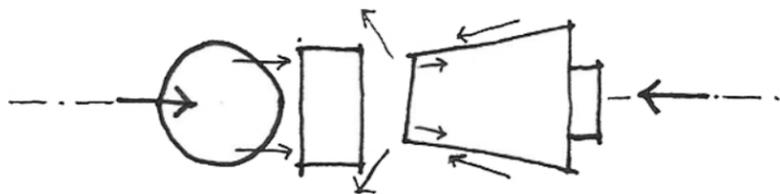
Este teatro apoyará a la difusión de las artes escénicas en México. Su diseño toma en cuenta las relaciones entre los espacios y sus características para obtener un recinto con las mejores cualidades para la producción de espectáculos escénicos.



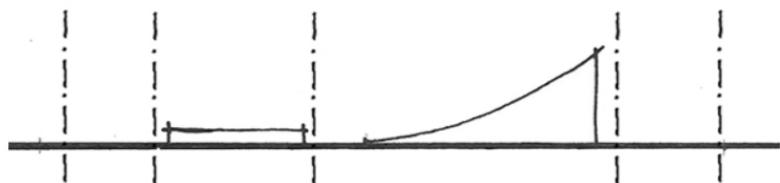
Disposición lineal para contar con dos accesos separados y un punto de encuentro céntrico.



Alturas variables dependiendo de la necesidad del espacio.

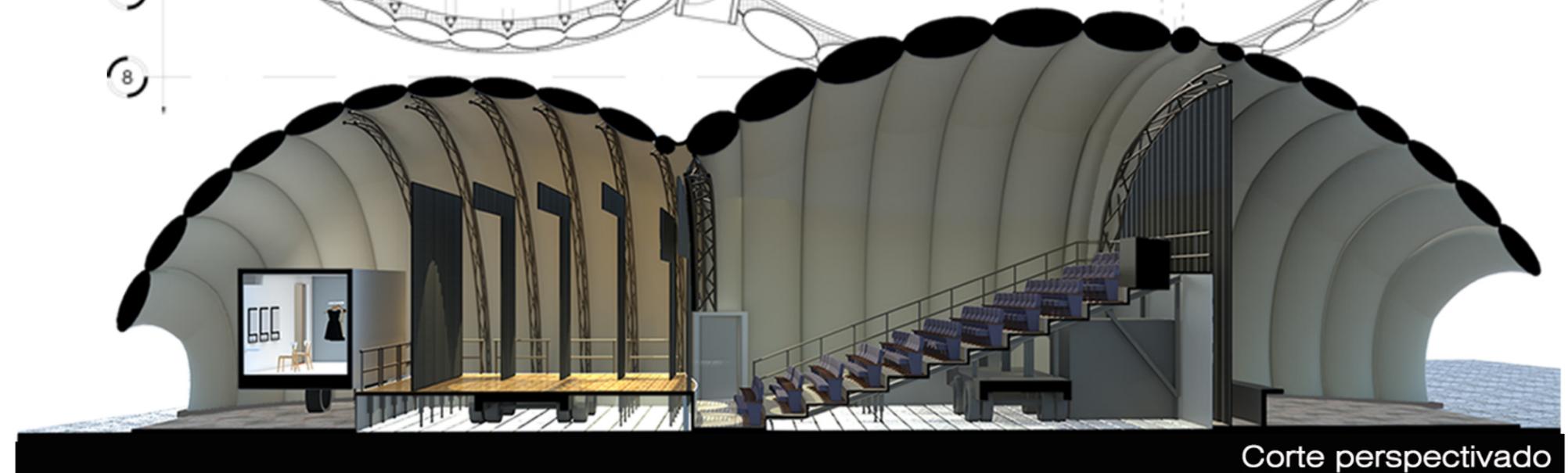
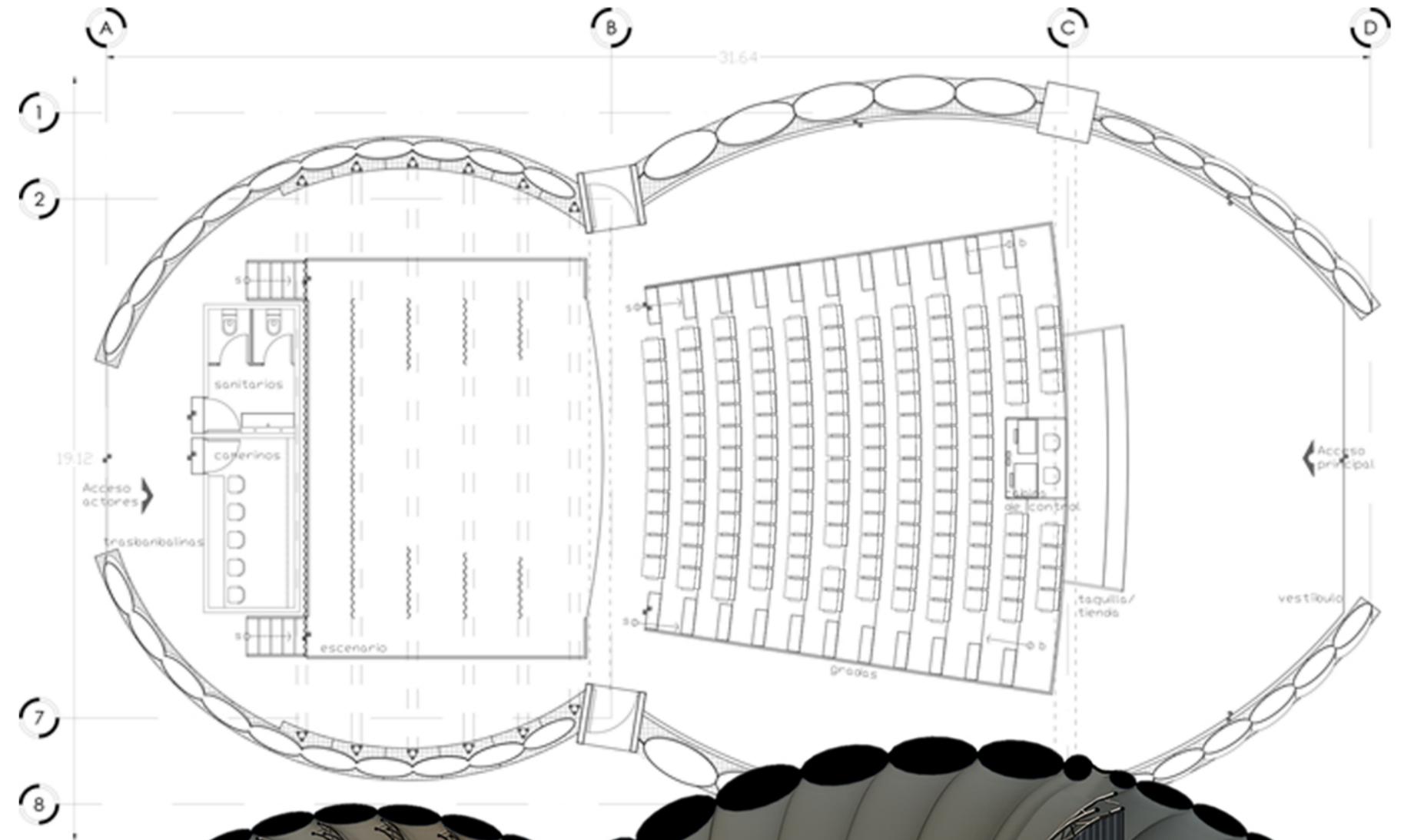


Circulaciones hacia el centro y salidas de emergencia.



Separaciones para lograr aislamiento lumínico y acústico.

## Planta arquitectónica



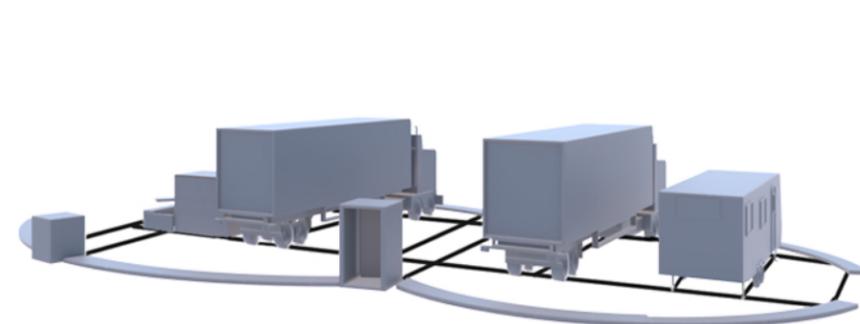
Corte perspectivo

# Teatro Itinerante con Cubierta Neumática

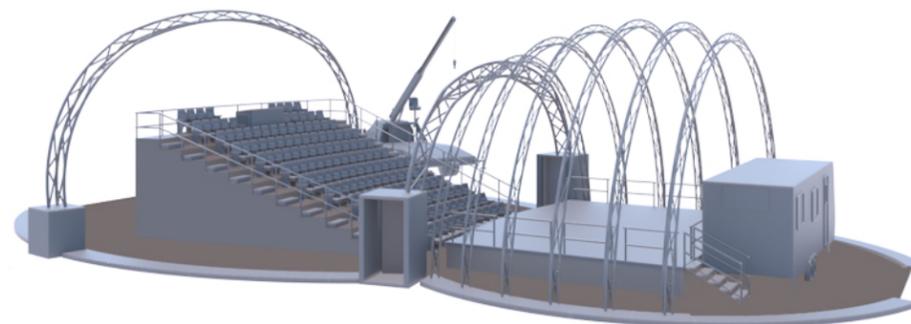


▲ Acceso de espectadores

Una vez colocados los camiones en el sitio correspondiente se despliegan y se colocan el resto de las estructuras con el apoyo de una grúa.



Colocación de camiones



Armado de estructuras

Vista del escenario ▶



Vista de las gradas ▶



A partir del uso de **sistemas ligeros** y **móviles** fue posible darle forma a este proyecto para poder **transportarlo** a diferentes puntos de la **nación** y **acercar las artes escénicas** a la población mexicana.

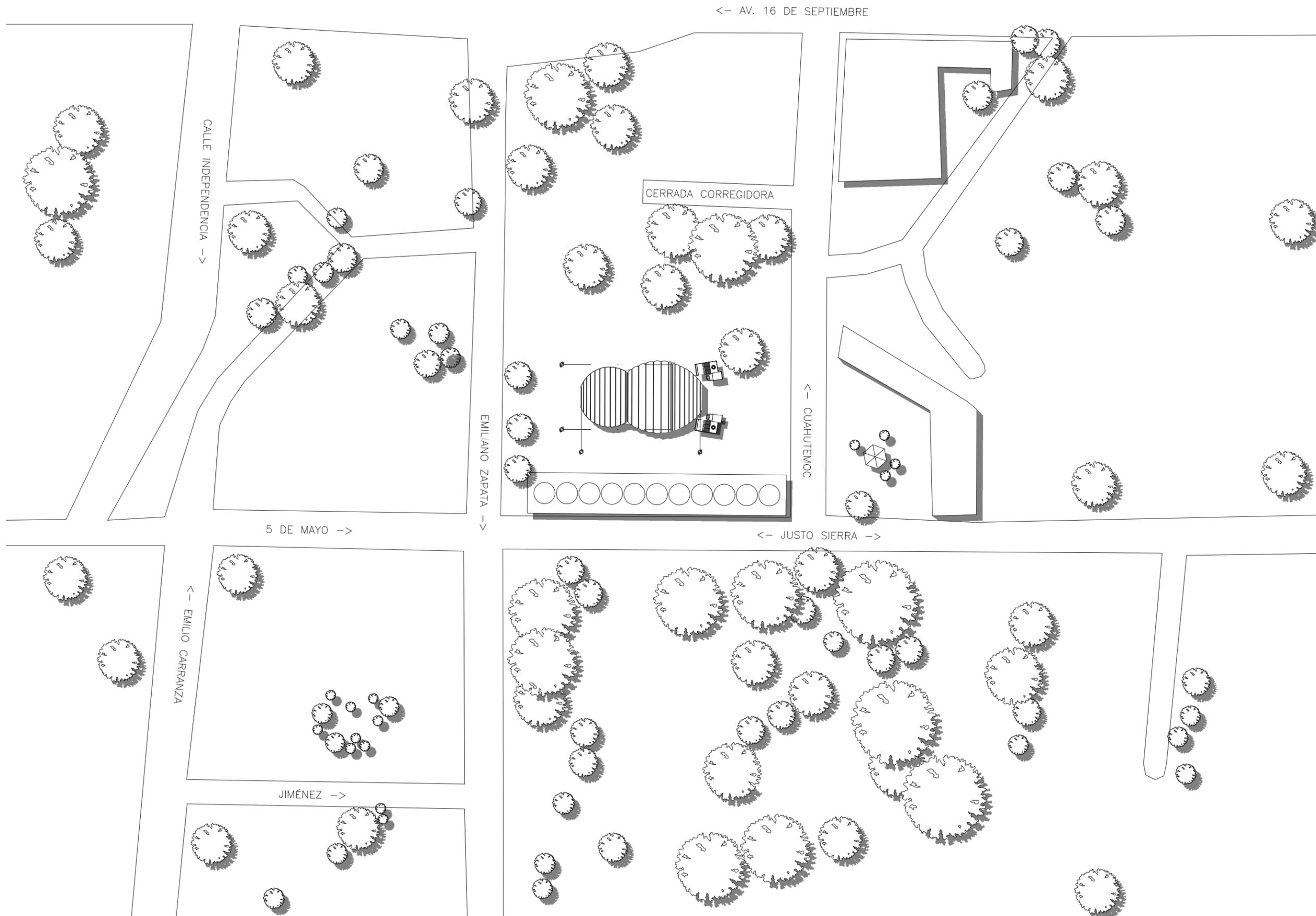
Con **elementos desplegables** de camiones y una cubierta formada por un **sistema neumático** se asegura un **rápido y fácil montaje** en diferentes sitios.



Universidad Nacional Autónoma de México



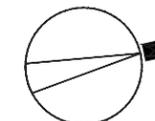
Facultad de Arquitectura



Simbología

- Construcción
- Kiosko de Tlayacapan
- Centro de la cultura "Cereria"
- Sentido de flujo de la calle
- Vegetación

Norte



Contexto

Proyecto:

Teatro itinerante con cubierta neumática

Escala: 1:125 Acotaciones: metros

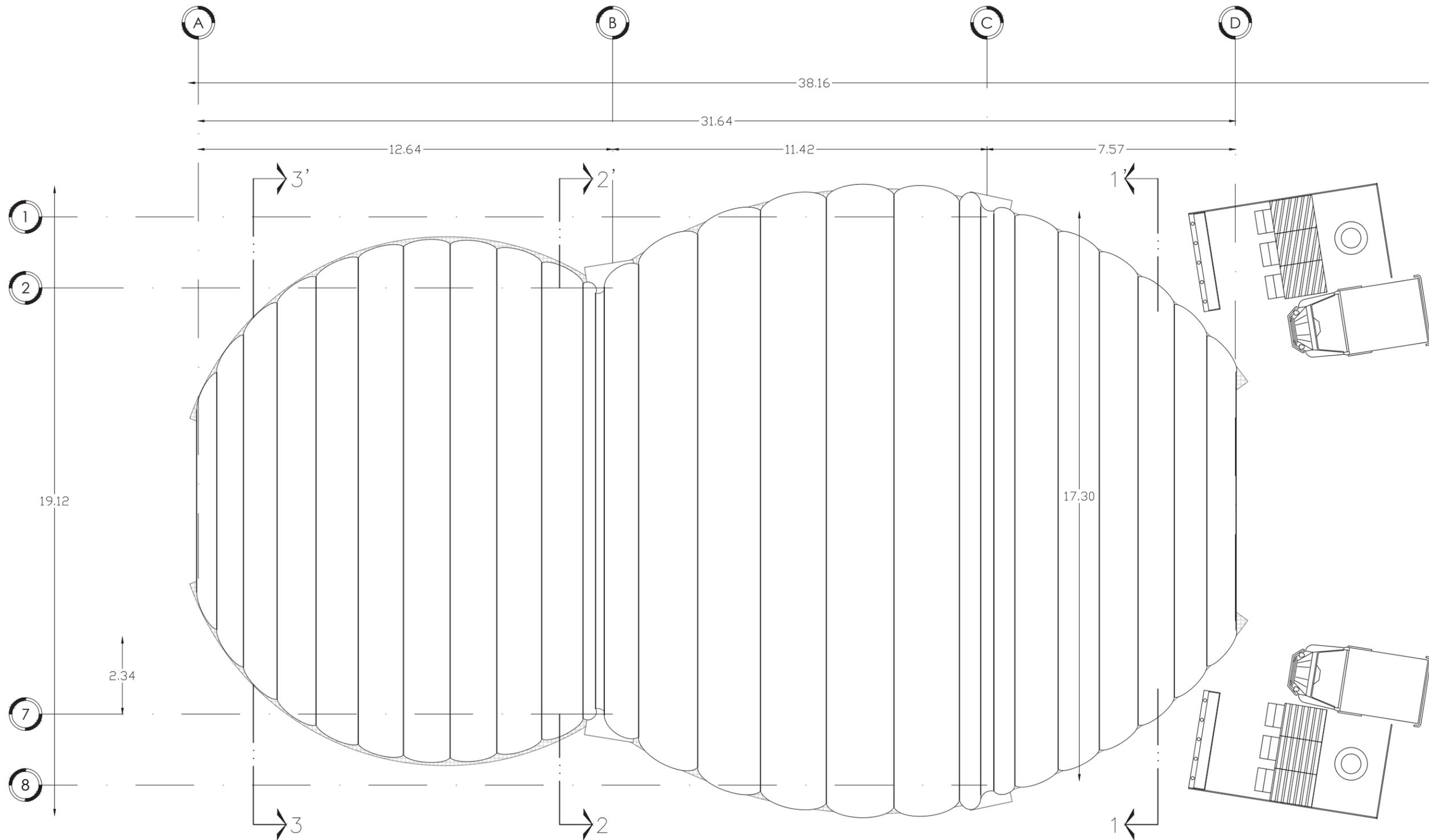
Realizó:

Maria Ilwikal Verhulst Babb

Fecha:

Agosto-2020

Clave: ARQ-01



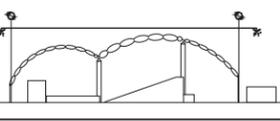
PLANTA DE CONJUNTO

**Simbología**

-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Planta de conjunto

Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

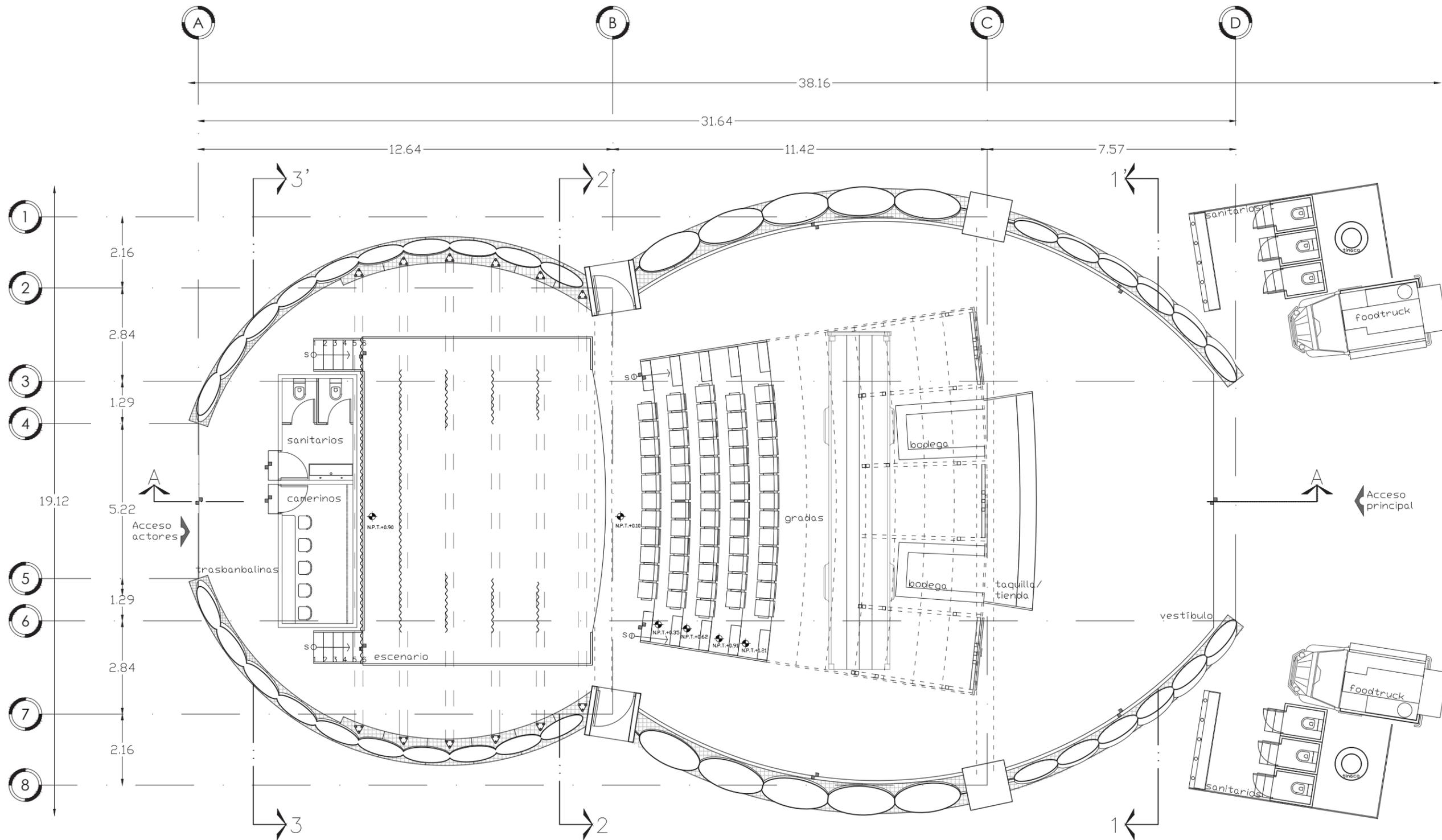
Escala: 1:125      Acotaciones: metros

Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: ARQ-02





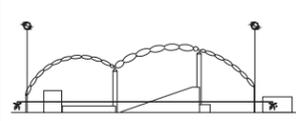
PLANTA A 1.50 m

**Simbología**

-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Planta arquitectónica

Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

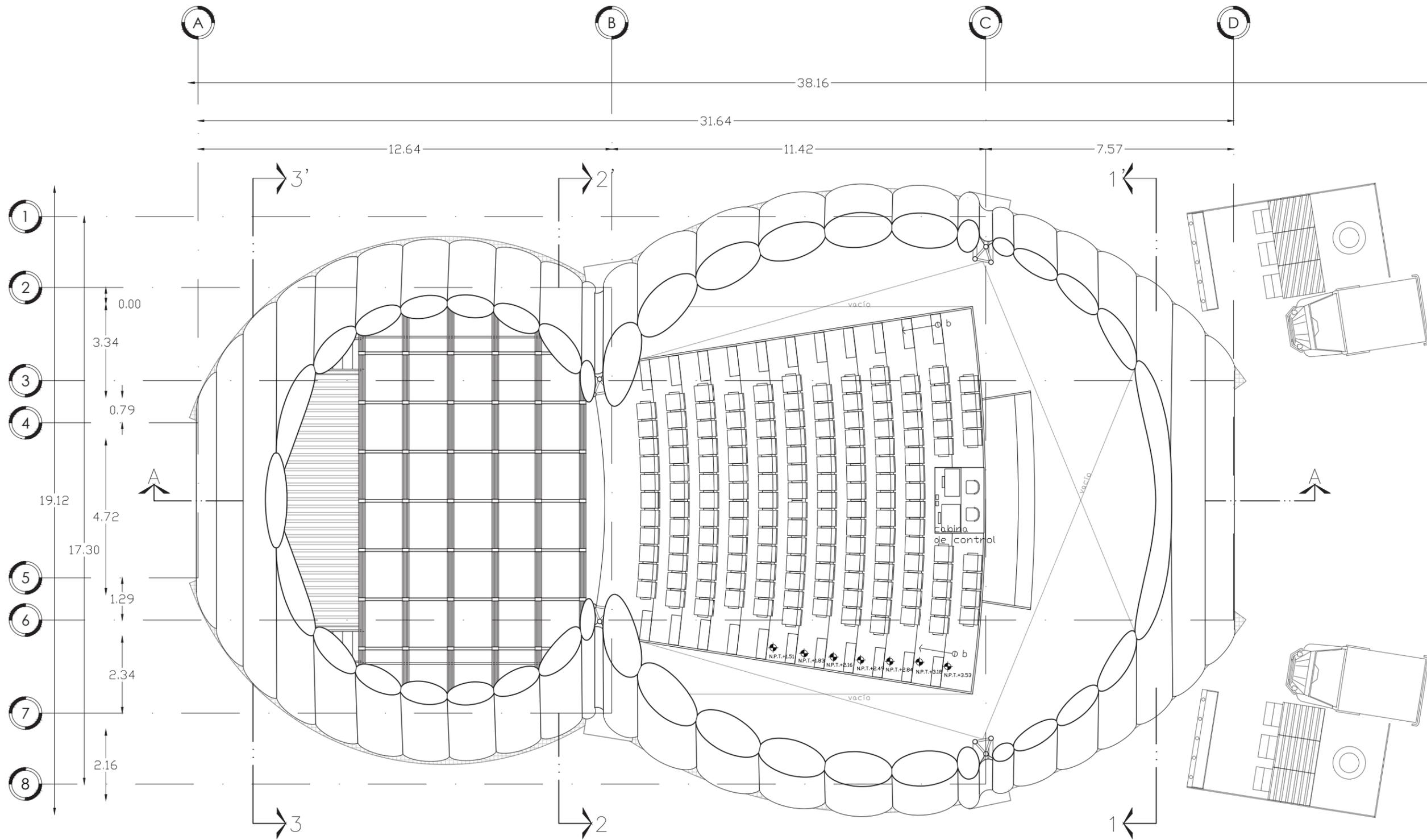
Escala: 1:125      Acotaciones: metros

Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
Agosto-2020

Clave: ARQ-03





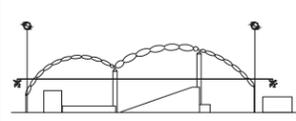
PLANTA A 5.80 m

**Simbología**

-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Planta arquitectónica 5.8 m

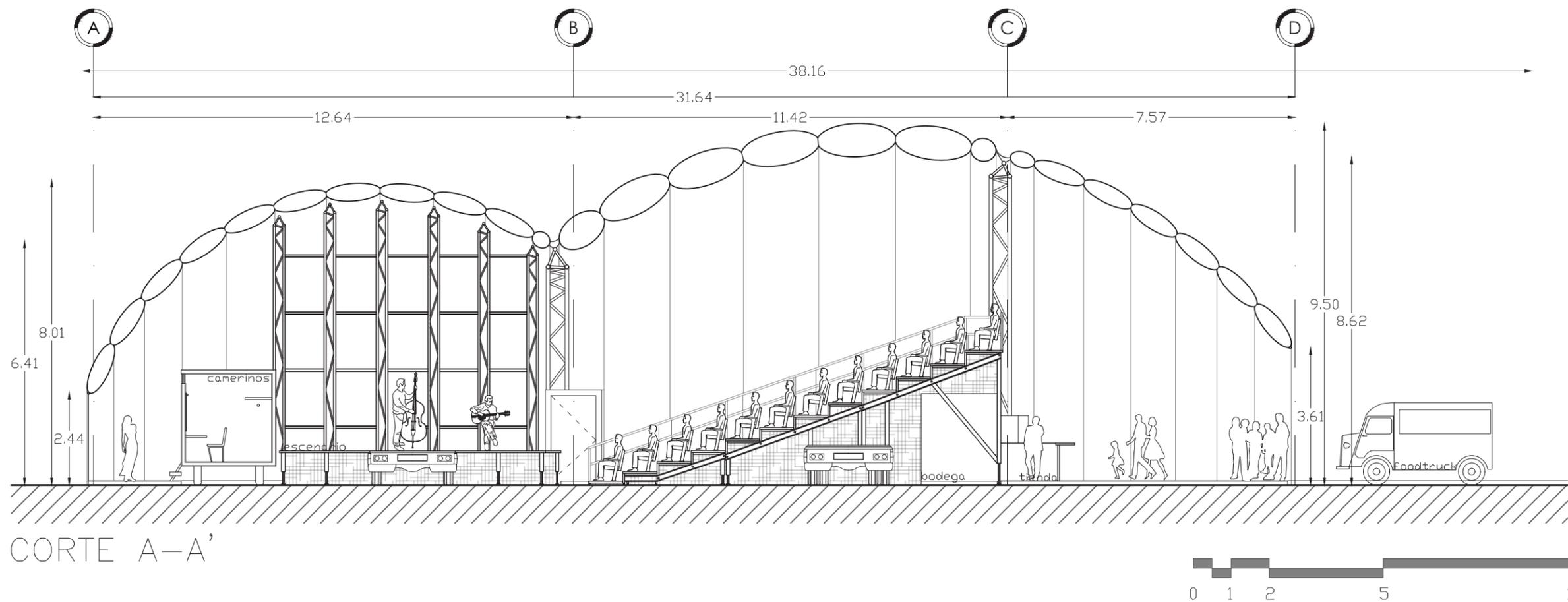
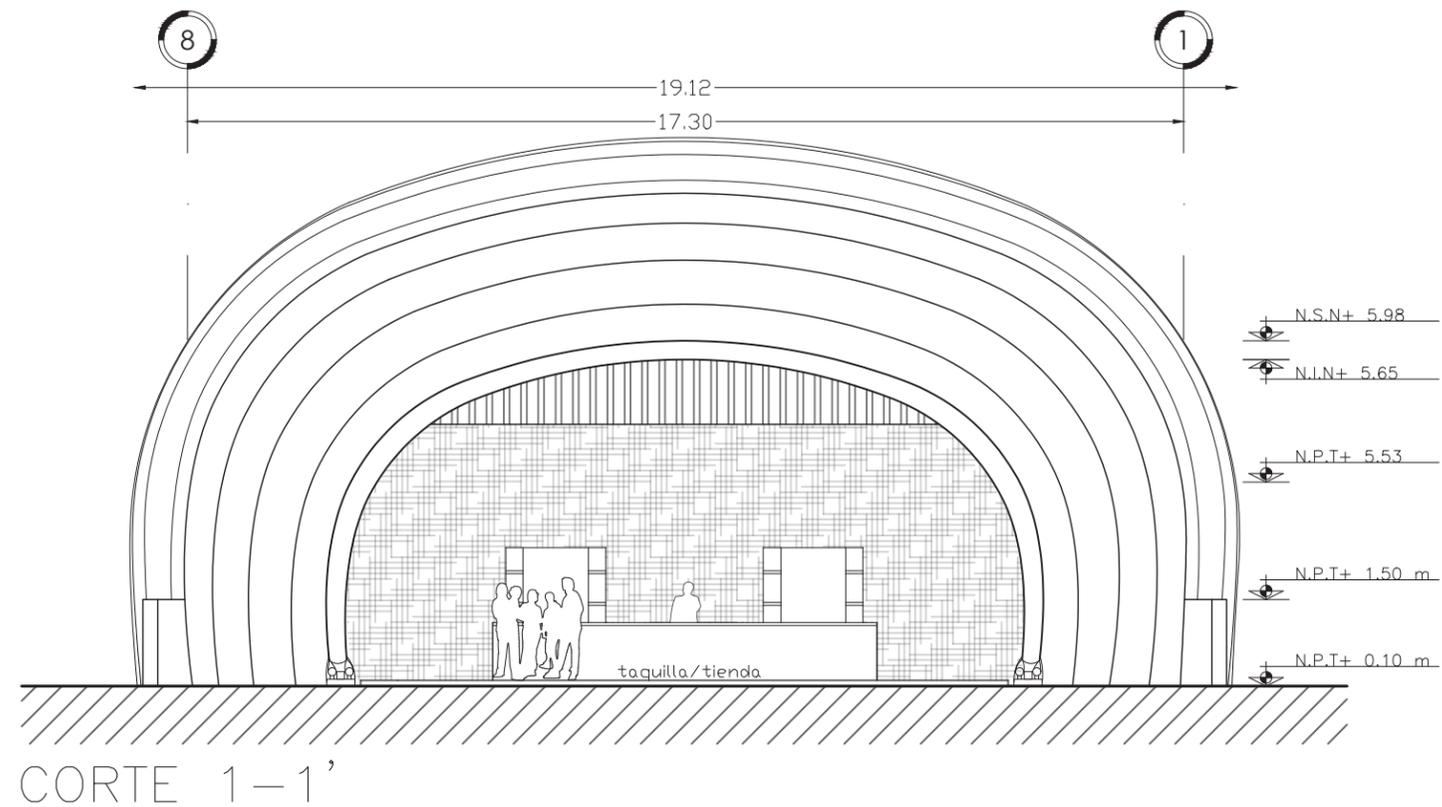
Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: 1:125      Acotaciones: metros

Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: ARQ-04

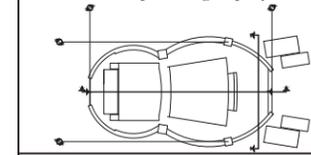


Simbología

-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Cortes arquitectónicos

Proyecto:

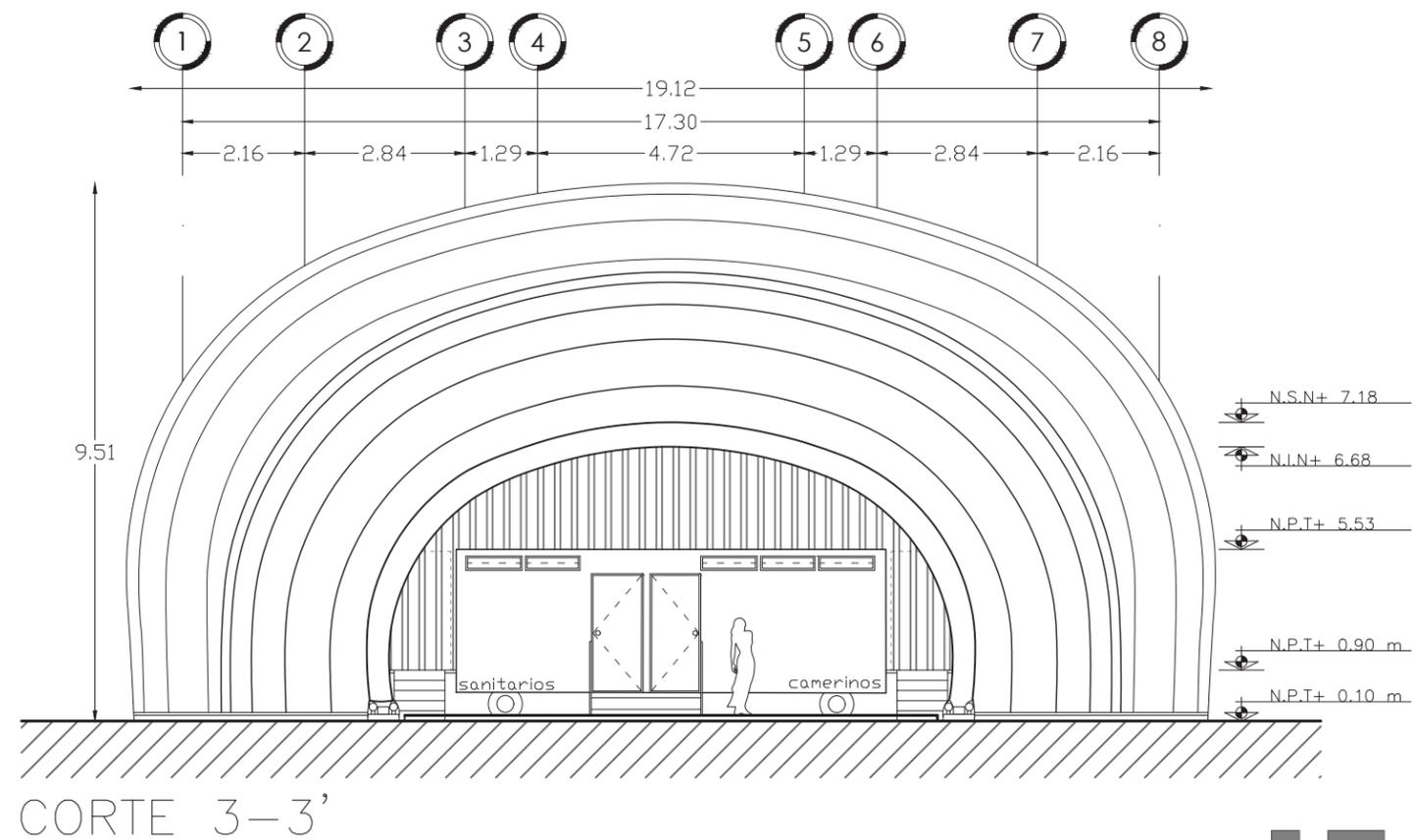
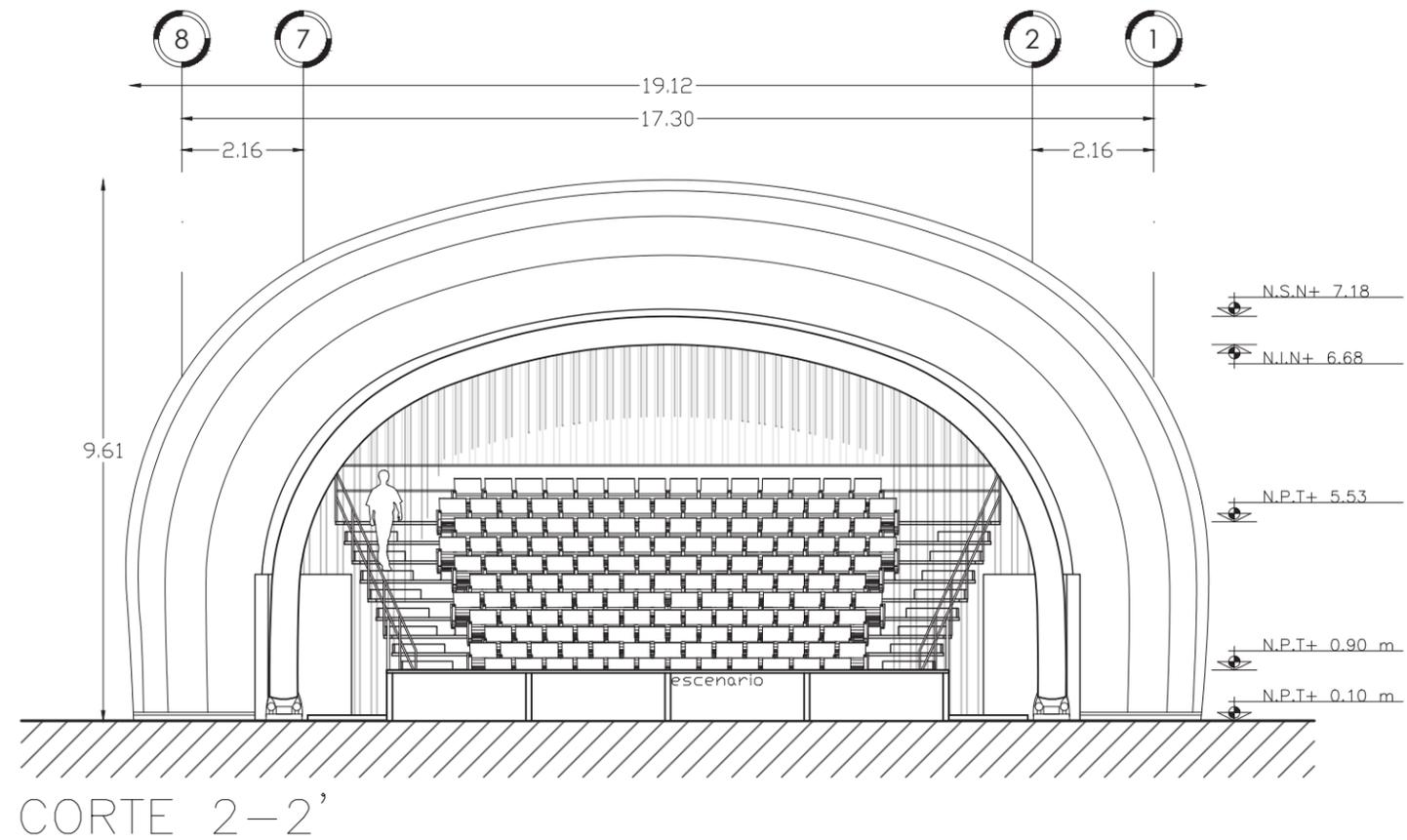
Teatro itinerante con cubierta neumática

Escala: 1:125  
Acotaciones: metros

Realizó:  
Maria Ilwikal  
Verhulst Babb

Fecha:  
Agosto-2020

Clave: ARQ-05

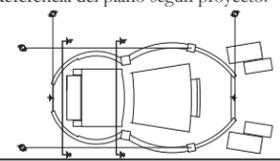


**Simbología**

- Nivel de piso
- Cambio de nivel
- Proyección
- N.P.T. Nivel de piso terminado
- N.I.N. Nivel inferior de neumática
- N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Cortes arquitectónicos

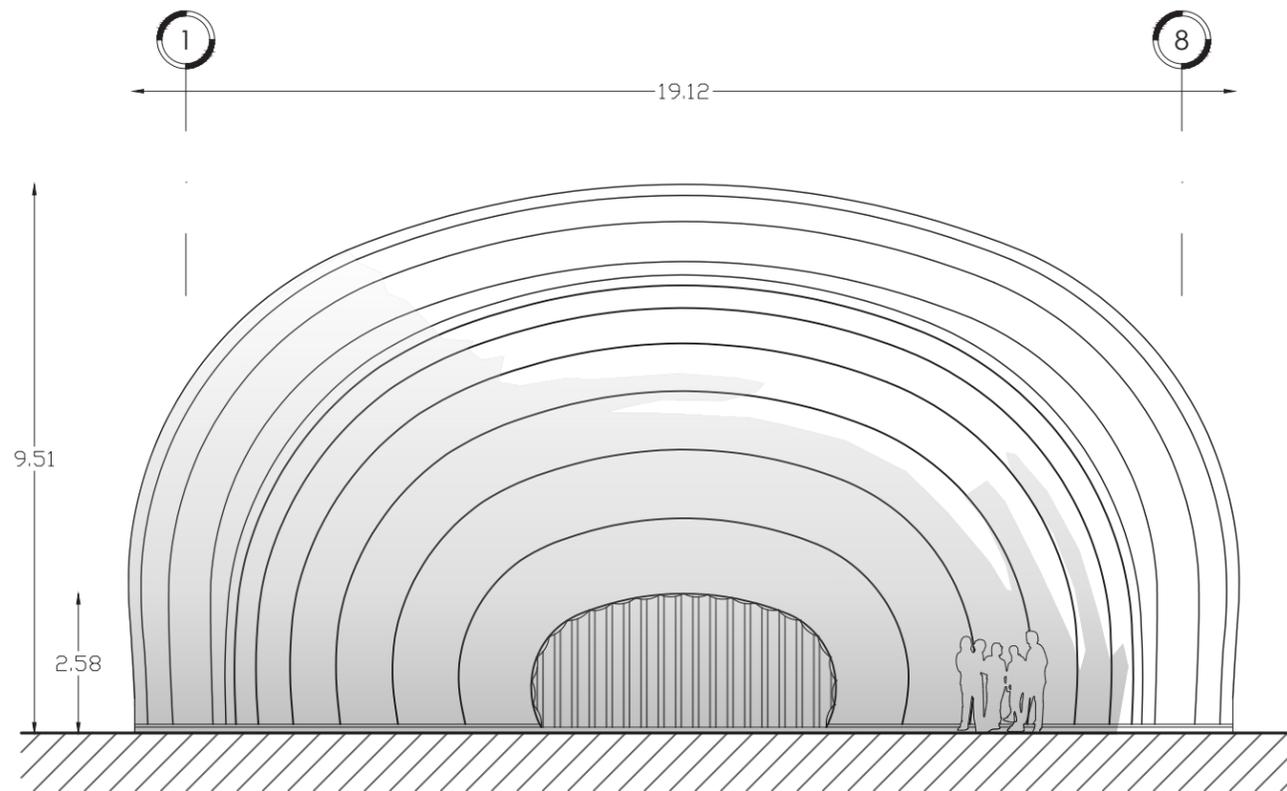
Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: 1:125      Acotaciones: metros

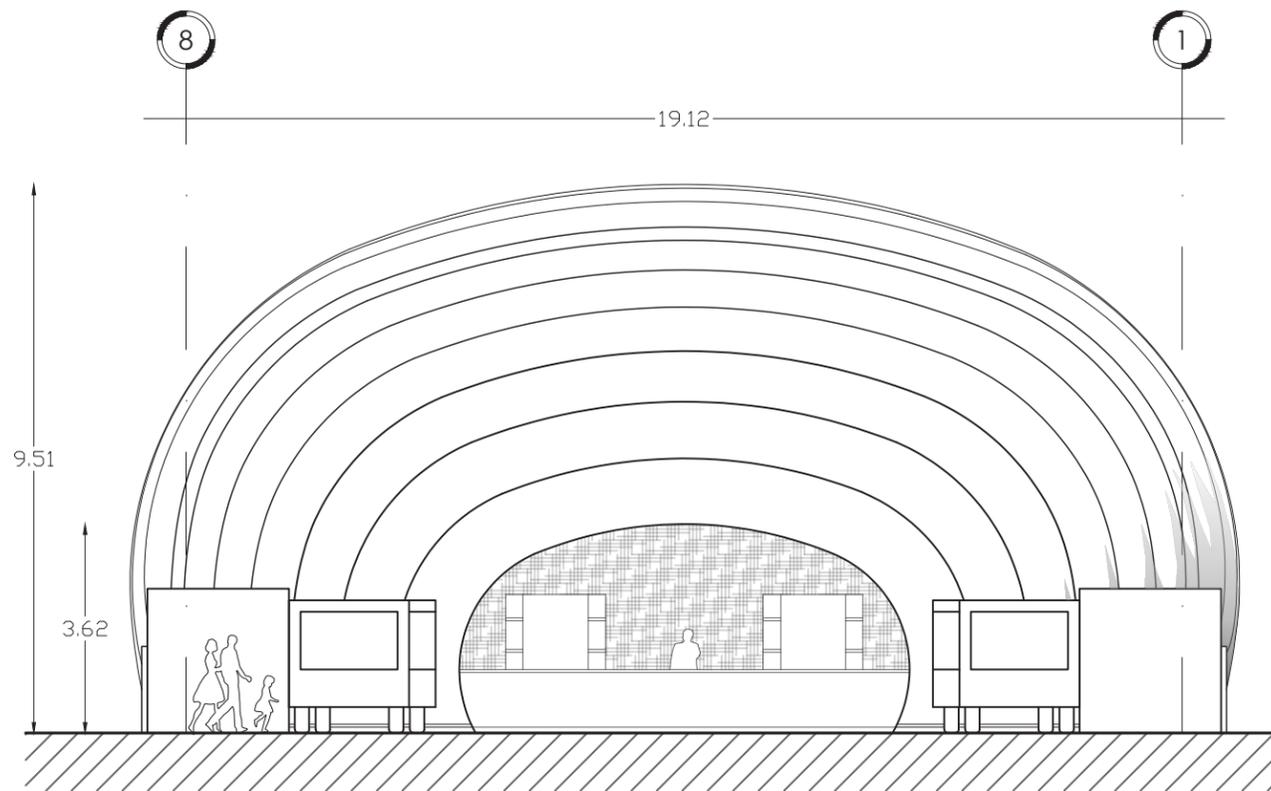
Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
Agosto-2020

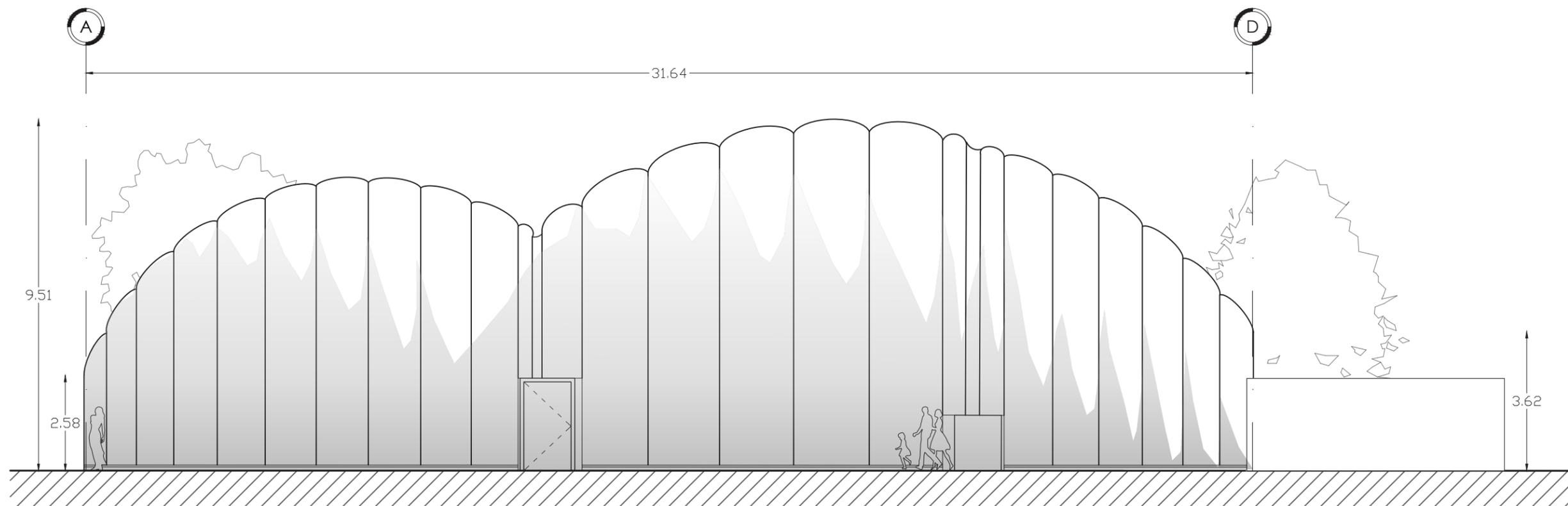
Clave: ARQ-06



FACHADA ACCESO ARTISTAS



FACHADA ACCESO PRINCIPAL



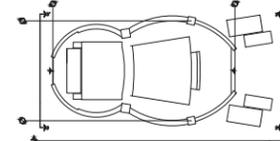
FACHADA LATERAL

**Simbología**

- Nivel de piso
- Cambio de nivel
- Proyección
- N.P.T. Nivel de piso terminado
- N.I.N. Nivel inferior de neumática
- N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Fachadas

Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

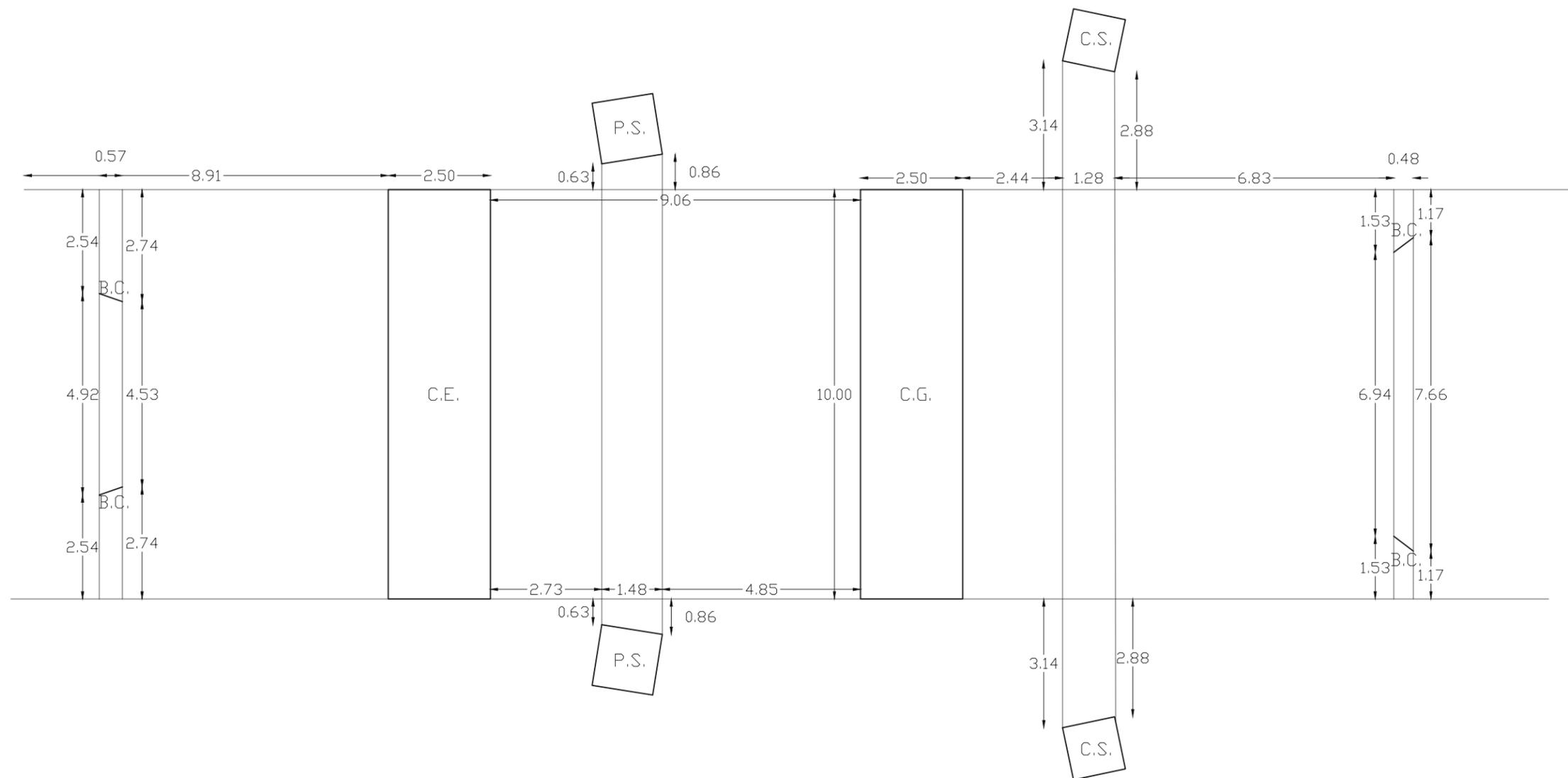
Escala: 1:125      Acotaciones: metros

Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: ARQ-07

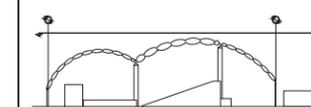




### Simbología

- B.C. - Base de cimentación
- C.E. - Camión de escenario
- P.S. - Puerta de seguridad
- C.G. - Camión de gradas
- C.S. - Caja de seguridad

### Referencia del plano según proyecto:



Plano de montaje

### Proyecto:

Teatro itinerante con cubierta neumática

Escala: 1:125  
Acotaciones: metros

### Realizó:

Maria Ilwikal  
Verhulst Babb

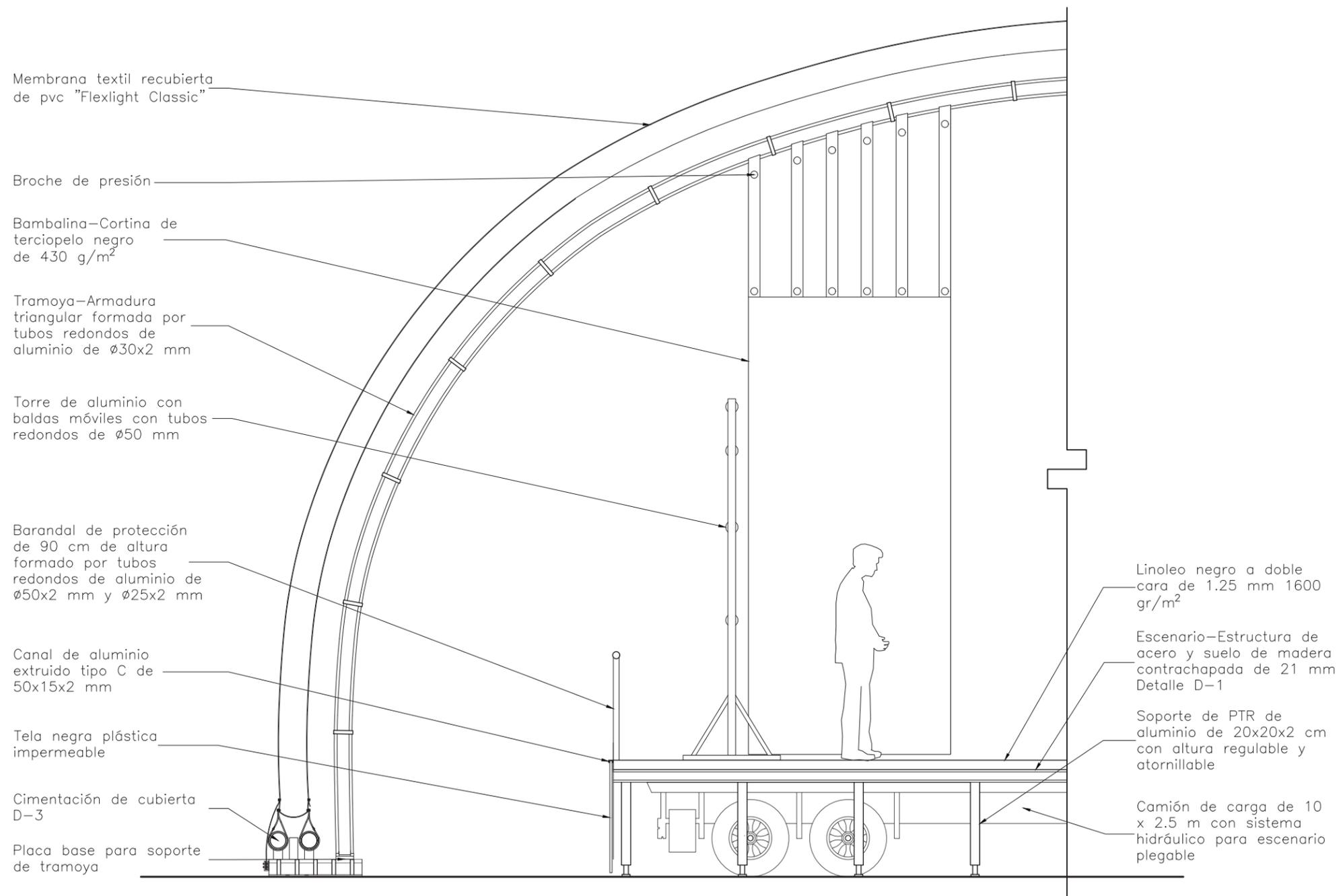
### Fecha:

Agosto-2020

Clave: M-01

LINEAS GUÍA PARA MONTAJE DE TEATRO





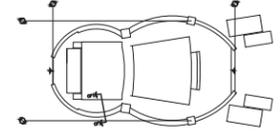
CF1-CF1'  
Corte por fachada Escenario

**Simbología**

- ◊ Nivel de piso
- ⊕ Cambio de nivel
- Proyección
- ⬇ N.P.T. Nivel de piso terminado
- ⬇ N.I.N. Nivel inferior de neumática
- ⬆ N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Corte por fachada

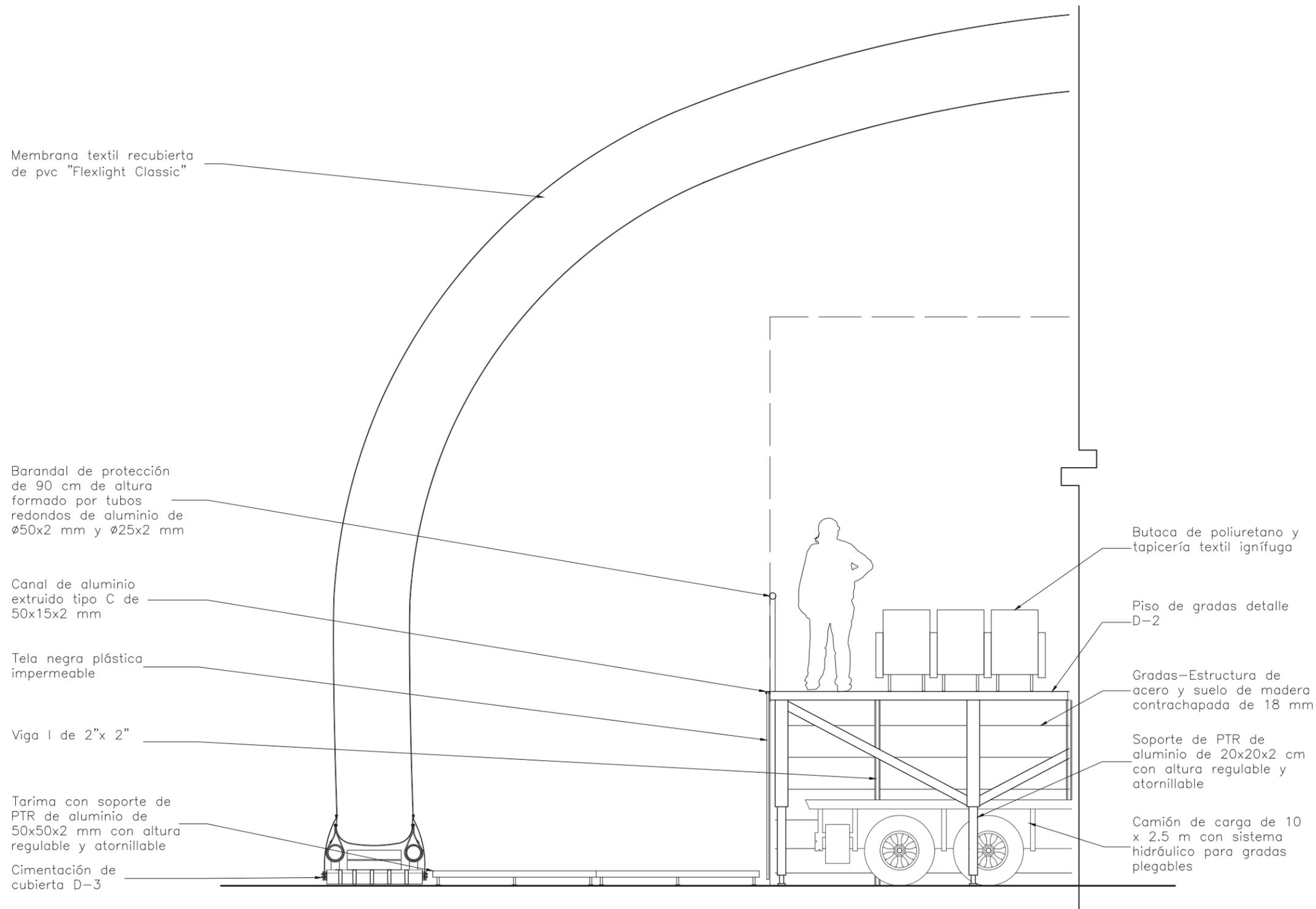
Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: Acotaciones:  
metros

Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: CF-01

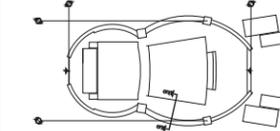


#### Simbología

-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

#### Referencia del plano según proyecto:



Corte por fachada

#### Proyecto:

**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: Acotaciones:  
metros

#### Realizó:

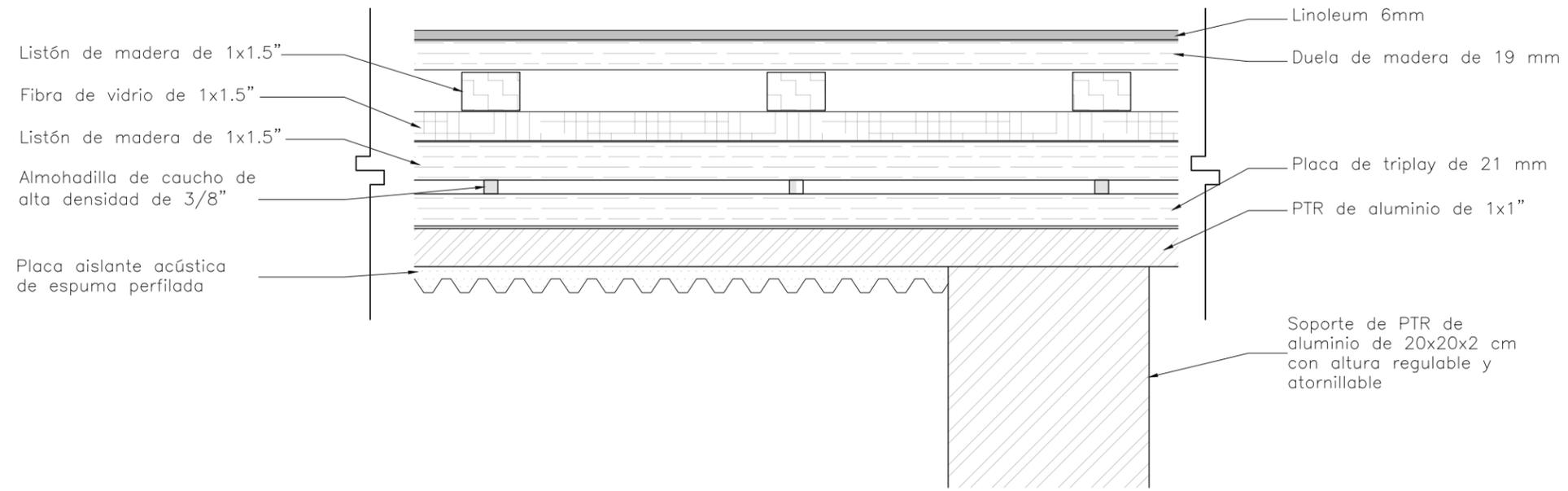
**Maria Ilwikal  
Verhulst Babb**

#### Fecha:

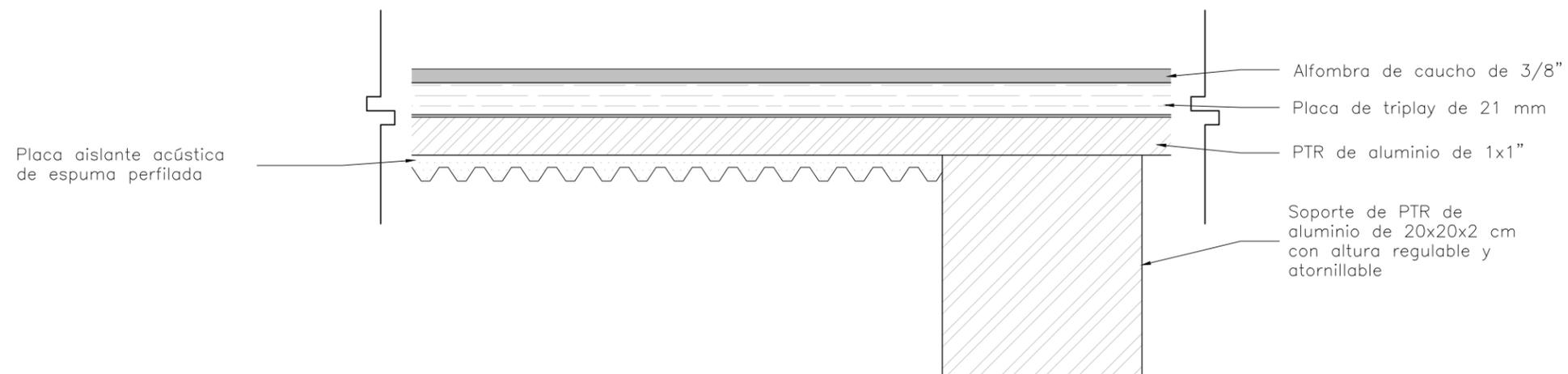
**Agosto-2020**

Clave: CF-02

CF2—CF2'  
Corte por fachada Auditorio



D-1. Piso del escenario



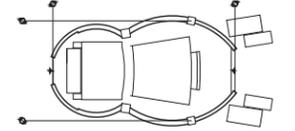
D-2. Piso de gradas

**Simbología**

- ⊕ Nivel de piso
- ⊕ Cambio de nivel
- Proyección
- ⊕ N.P.T. Nivel de piso terminado
- ⊕ N.I.N. Nivel inferior de neumática
- ⊕ N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Detalles constructivos

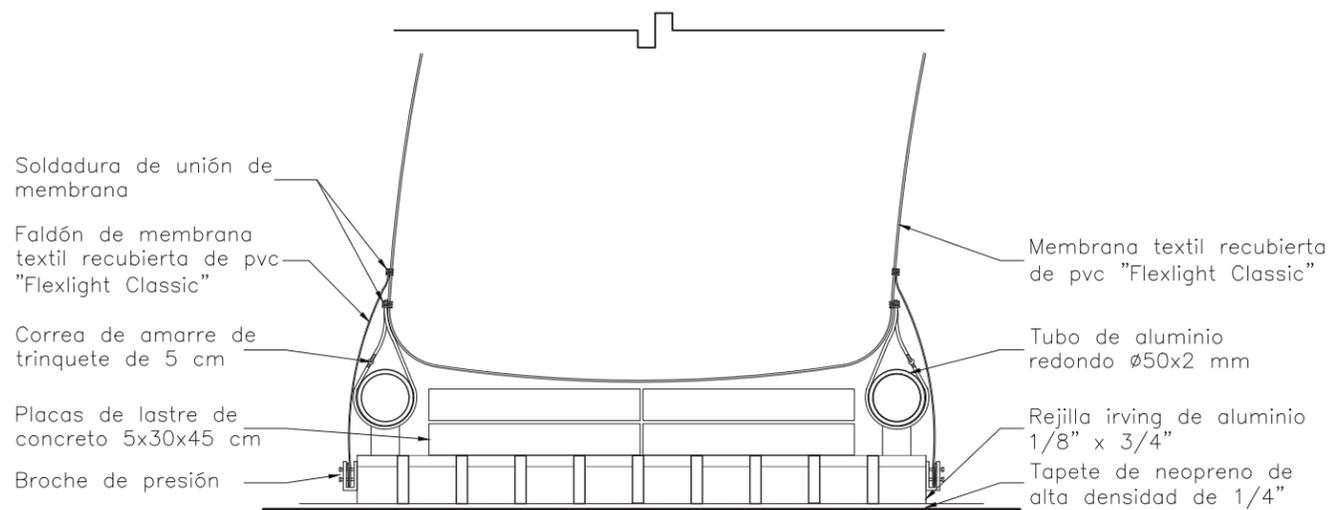
Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: Acotaciones:  
**metros**

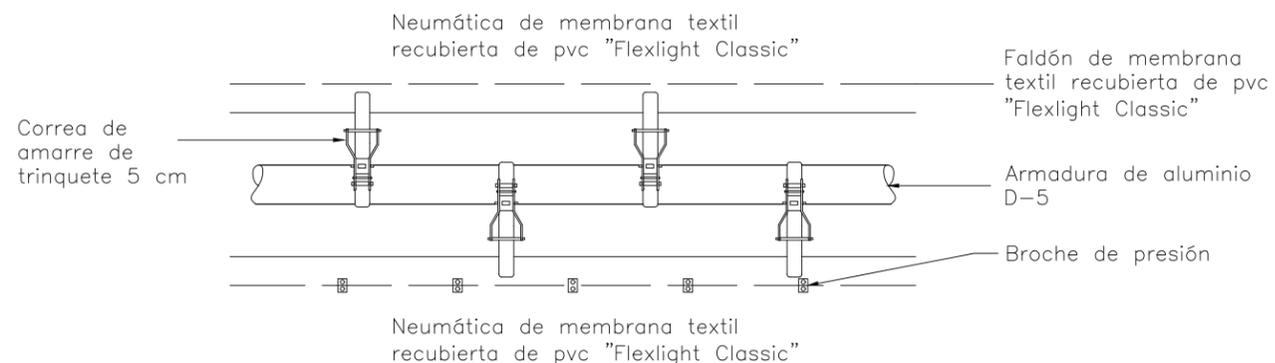
Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: **D-01**



D-1. Corte

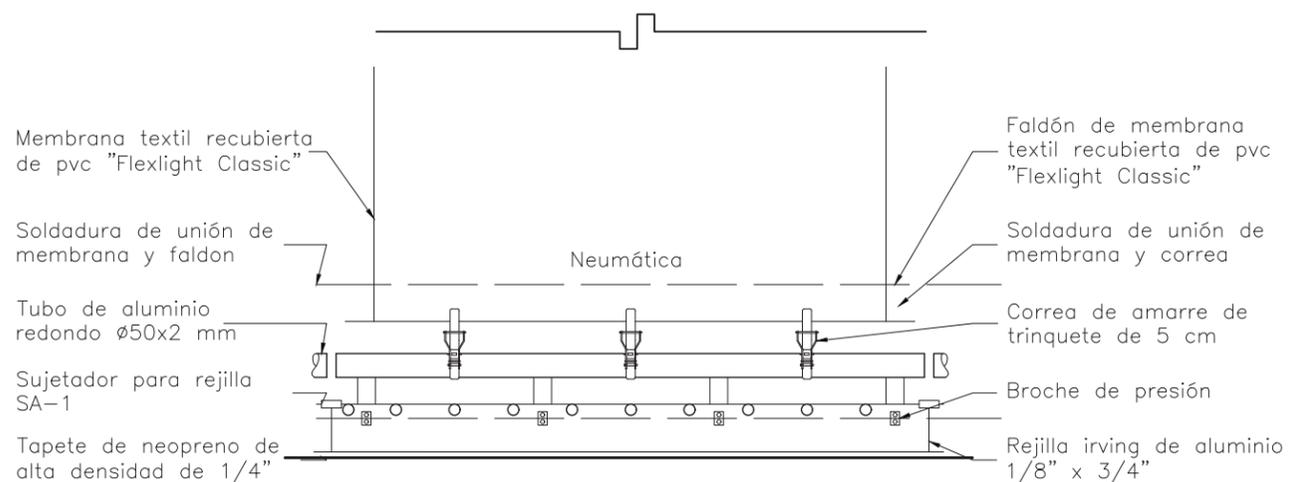


D-2. Vista superior

**Simbología**

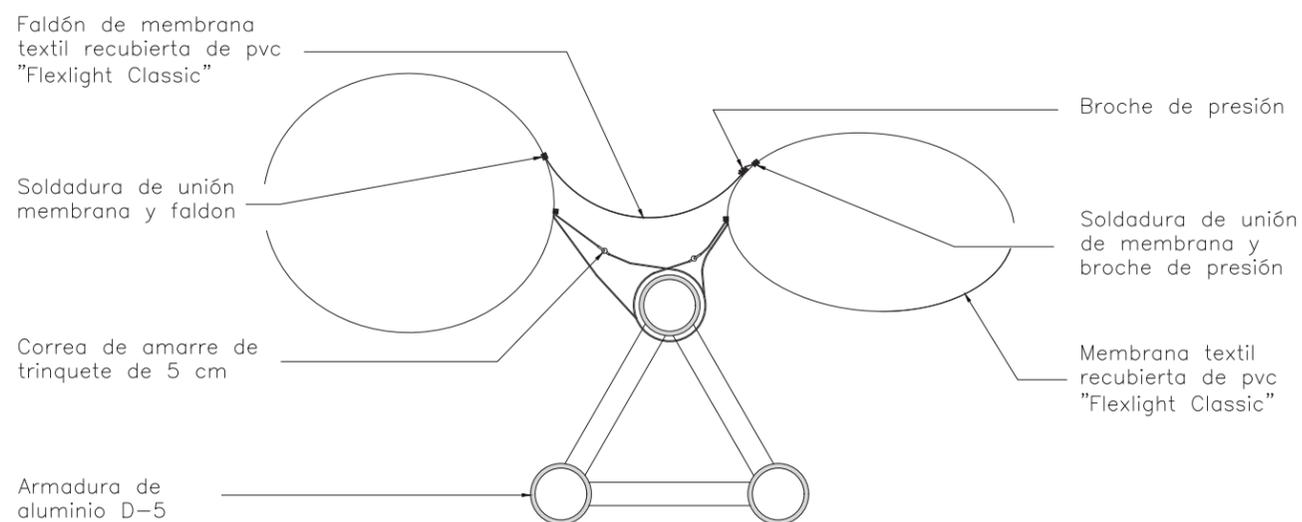
-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros



D-1. Frente

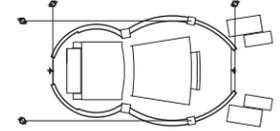
D-3. Cimentación de neumática



D-2. Corte

D-4. Union membrana a armadura

Referencia del plano según proyecto:



**Detalles constructivos**

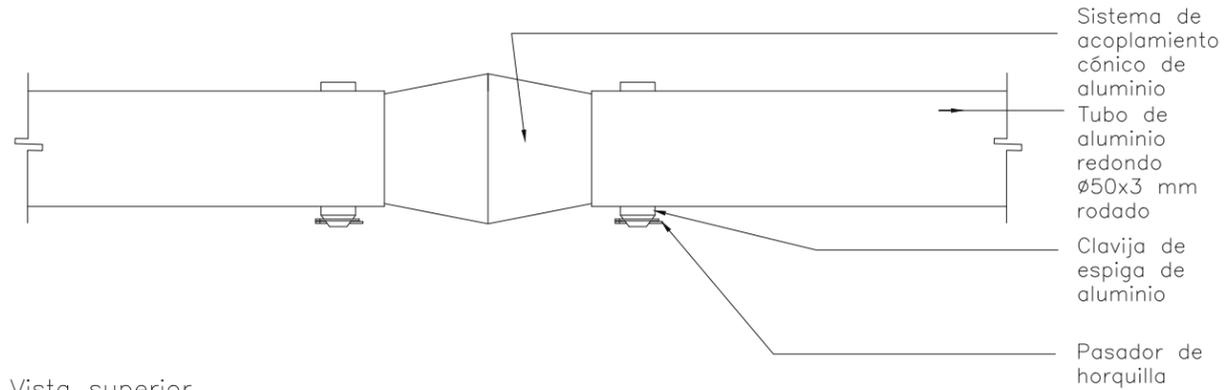
Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: Acotaciones:  
**metros**

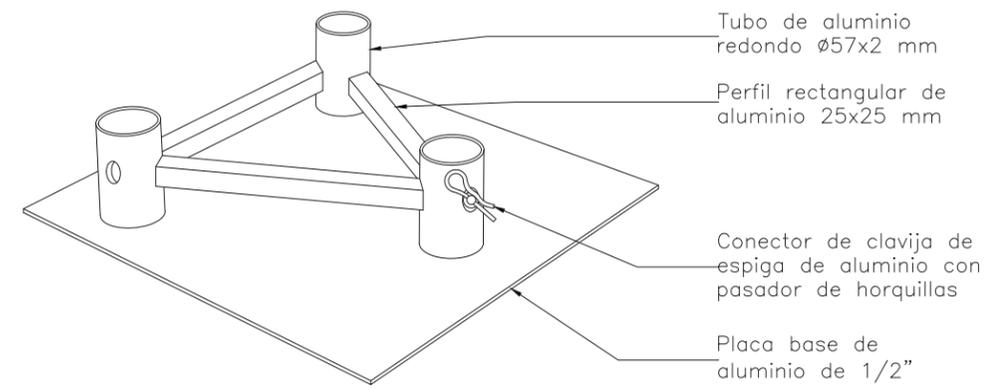
Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: **D-02**



D-3. Vista superior

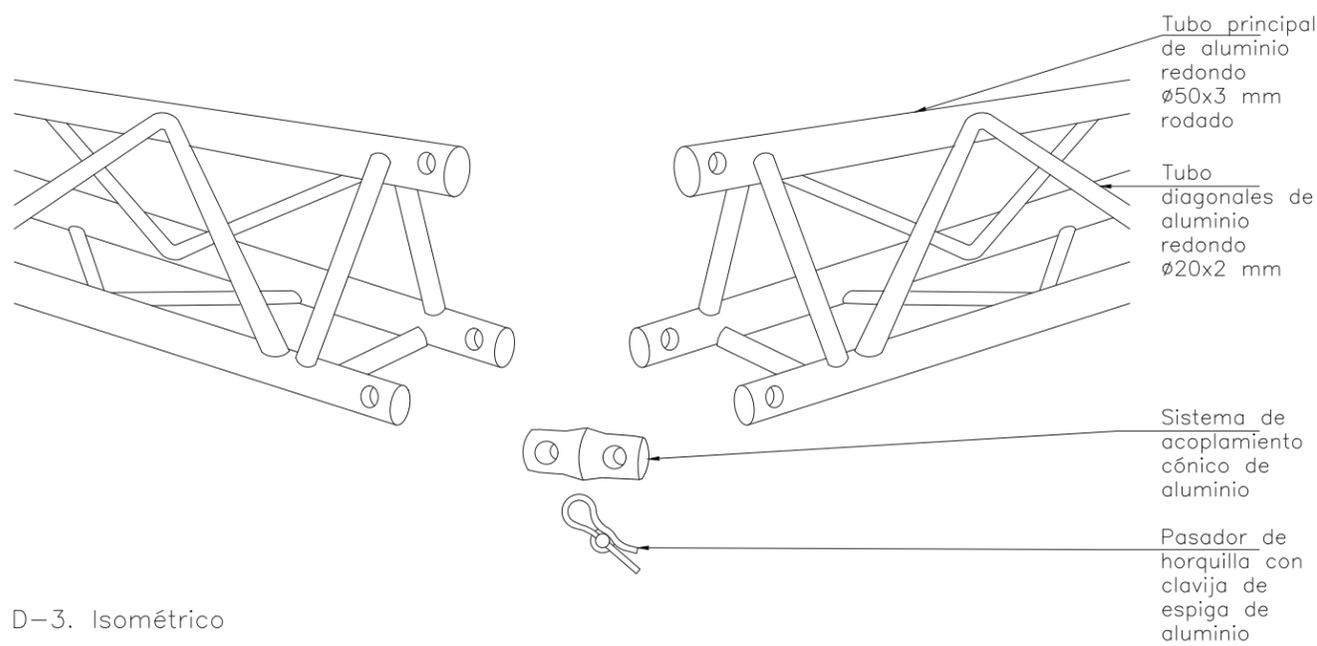


D-6. Placa de cimentación de armadura

**Simbología**

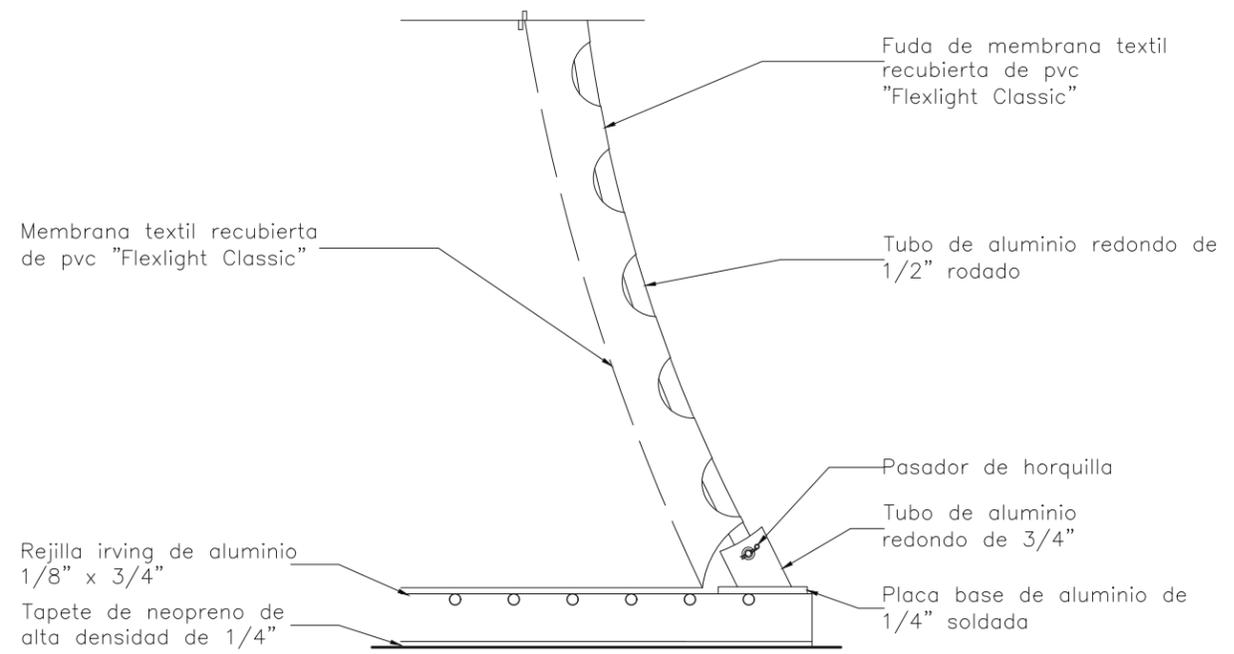
-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros



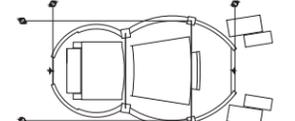
D-3. Isométrico

D-5. Union secciones de armadura



D-7. Borde rígido en accesos

Referencia del plano según proyecto:



**Detalles constructivos**

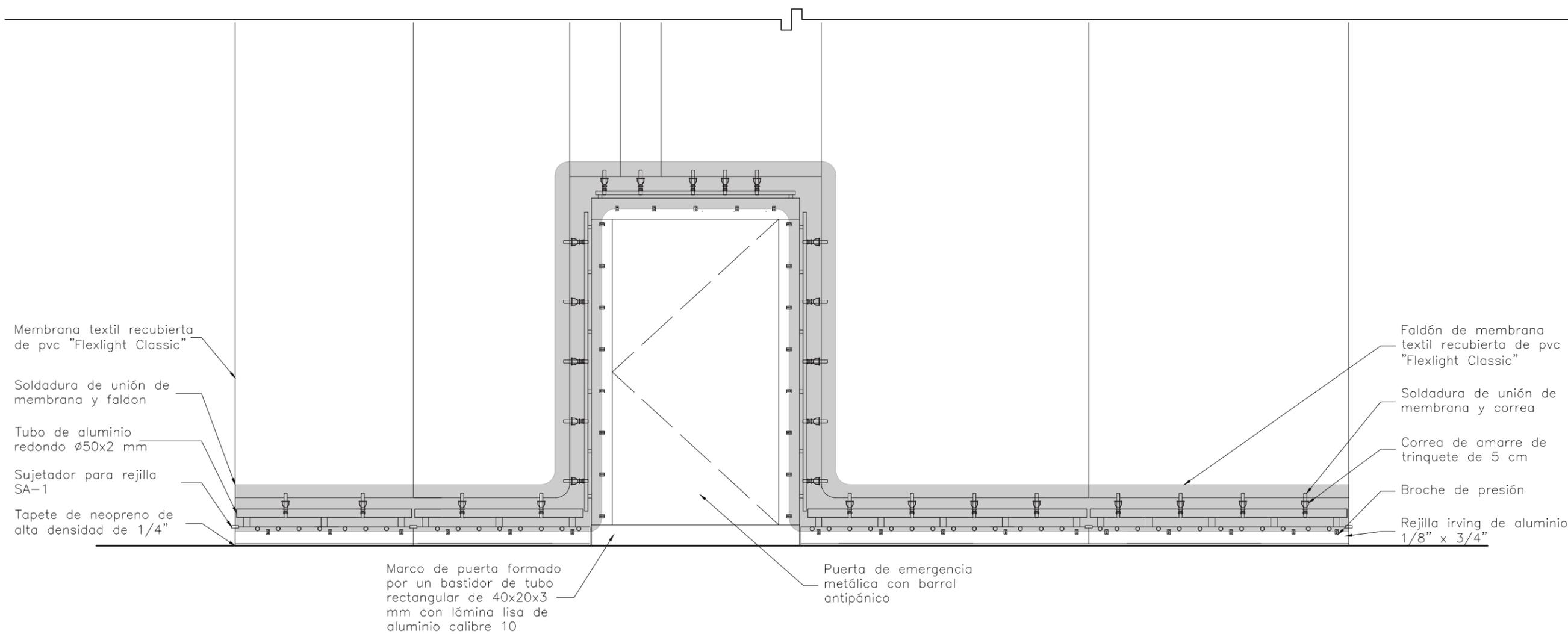
Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: Acotaciones:  
**metros**

Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: **D-03**

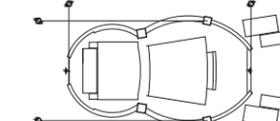


Simbología

-  Nivel de piso
-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  N.P.T. Nivel de piso terminado
-  N.I.N. Nivel inferior de neumática
-  N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Detalles constructivos

Proyecto:

Teatro itinerante con cubierta neumática

Escala: Acotaciones: metros

Realizó:

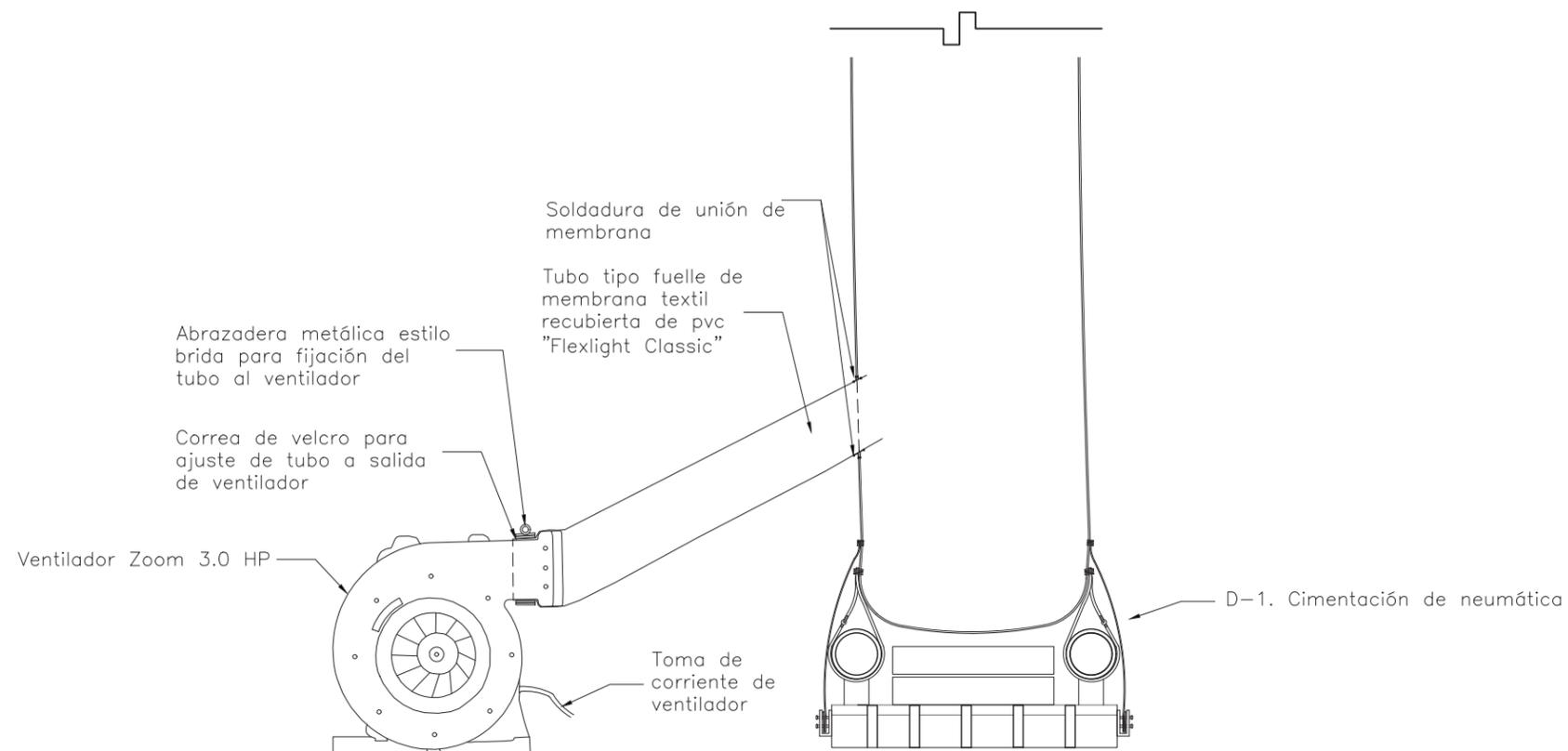
Maria Ilwikal  
Verhulst Babb

Fecha:

Agosto-2020

Clave: D-04

D-8. Puerta de emergencia



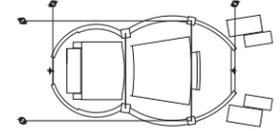
D-9. Conexión de cubierta a ventilador

**Simbología**

- ◊ Nivel de piso
- ⊕ Cambio de nivel
- Proyección
- ⬇ N.P.T. Nivel de piso terminado
- ⬇ N.I.N. Nivel inferior de neumática
- ⬆ N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:

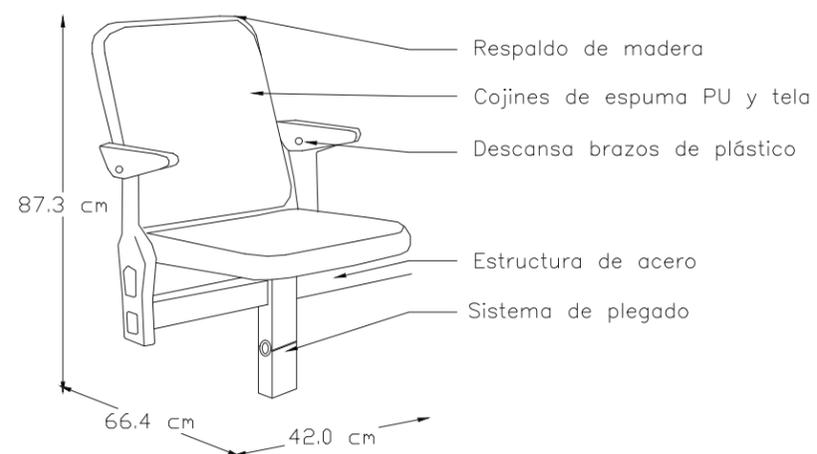


Detalles constructivos

Butaca HISHINE de la marca SYSPROTEC

- Butaca con sistema de plegado
- Acabados de madera, espuma PU y Tela
- Estructura de acero

Dimensiones:  
Alto: 87.3 cm  
Ancho: 42.0 cm  
Profundidad: 66.4 cm



D-10. Butacas plegables en gradas

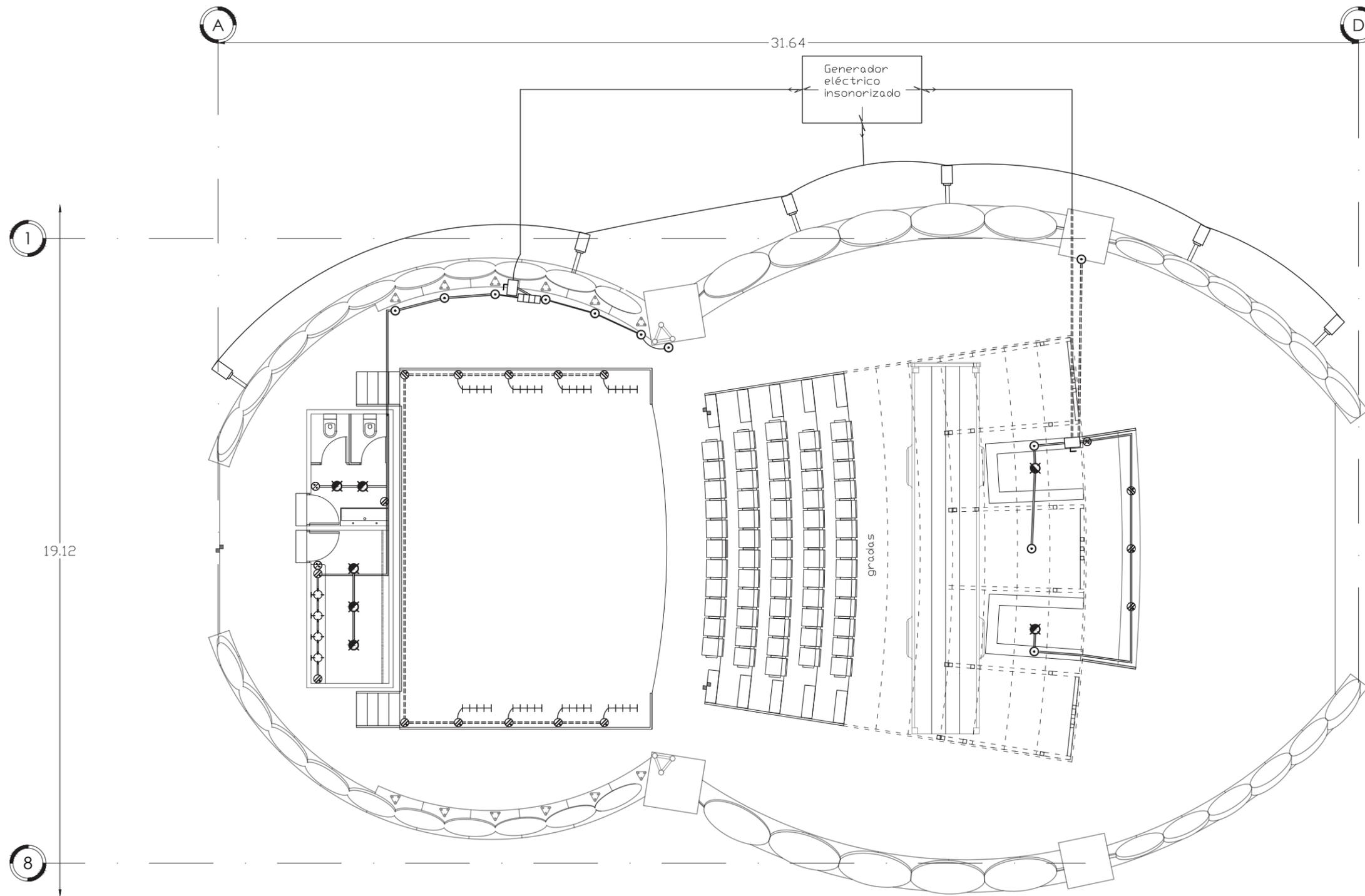
Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: Acotaciones:  
**metros**

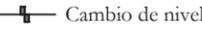
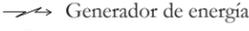
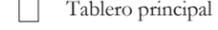
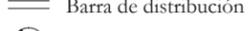
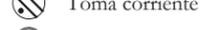
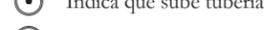
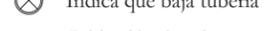
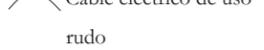
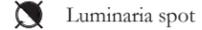
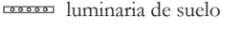
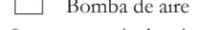
Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: D-05

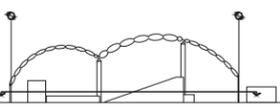


**Simbología**

-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  Generador de energía
-  Tablero principal
-  Dimmer
-  Barra de distribución
-  Toma corriente
-  Indica que sube tubería
-  Indica que baja tubería
-  Cable eléctrico de uso rudo
-  Luminaria spot
-  Foco robótico
-  Luminaria arbotante
-  luminaria de suelo
-  Bocina
-  Bomba de aire

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Instalación eléctrica

Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: 1:125      Acotaciones: metros

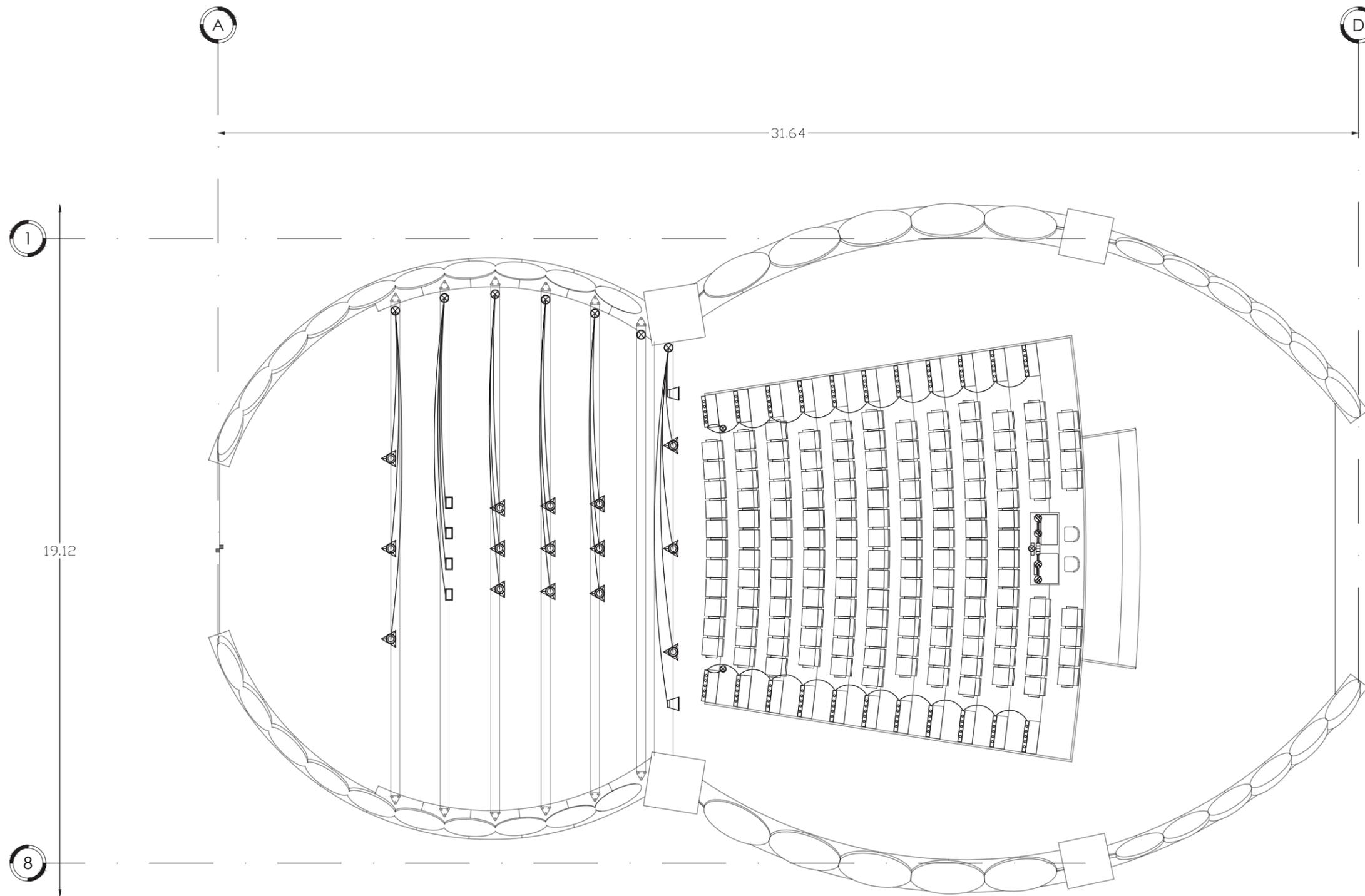
Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

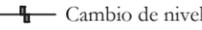
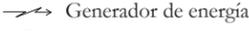
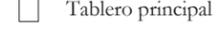
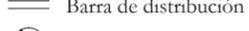
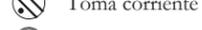
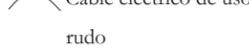
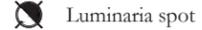
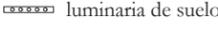
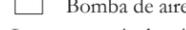
Clave: IE-01

PLANTA ELÉCTRICA BAJA



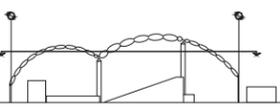


**Simbología**

-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  Generador de energía
-  Tablero principal
-  Dimmer
-  Barra de distribución
-  Toma corriente
-  Indica que sube tubería
-  Indica que baja tubería
-  Cable eléctrico de uso rudo
-  Luminaria spot
-  Foco robótico
-  Luminaria arbotante
-  luminaria de suelo
-  Bocina
-  Bomba de aire

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Instalación eléctrica

Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: 1:125      Acotaciones: metros

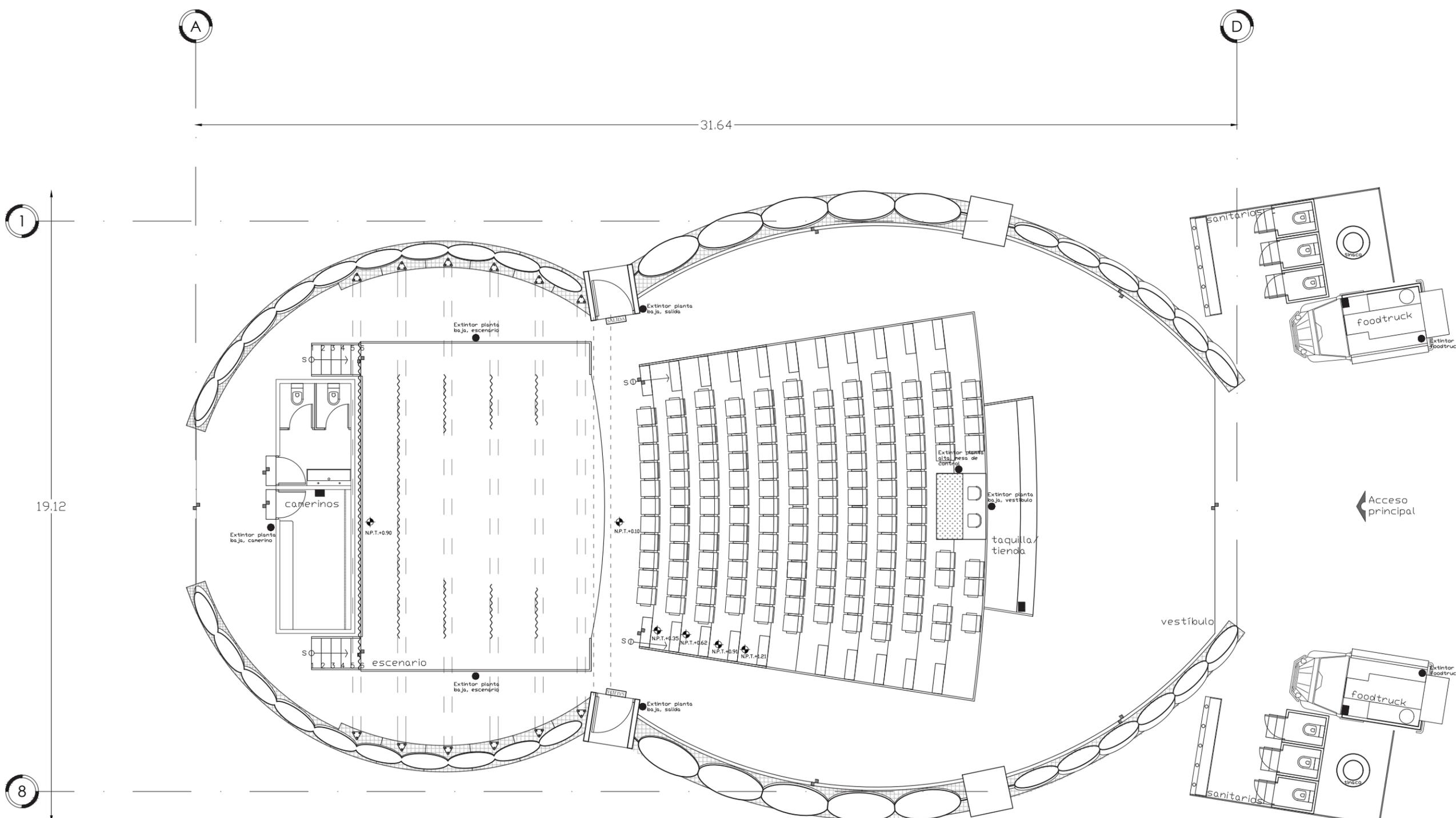
Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: IE-02

PLANTA ELÉCTRICA ALTA



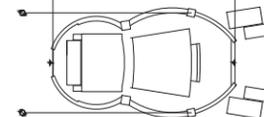


**Simbología**

- Extintor de espuma para fuegos A, B y C
- Botiquín de primeros auxilios
- SALIDA Señalización de salida de emergencia

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

**Referencia del plano según proyecto:**



Instalación acústica

**Proyecto:**

**Teatro itinerante con cubierta neumática**

Escala: Acotaciones:  
metros

**Realizó:**

**Maria Ilwikal  
Verhulst Babb**

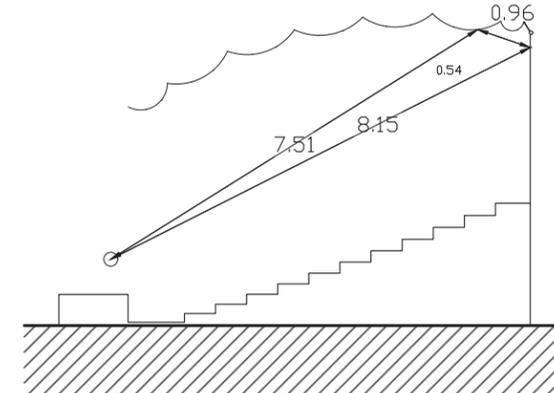
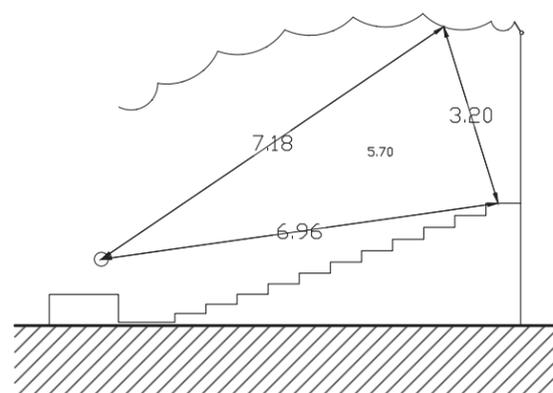
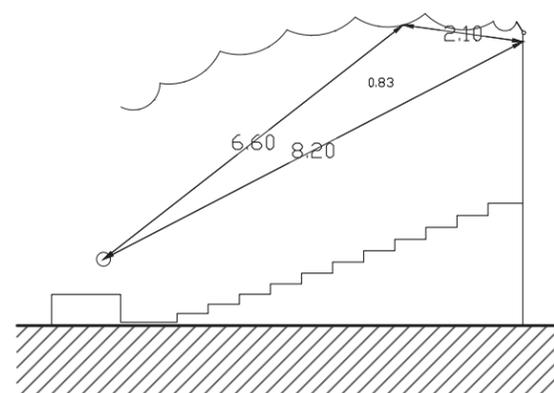
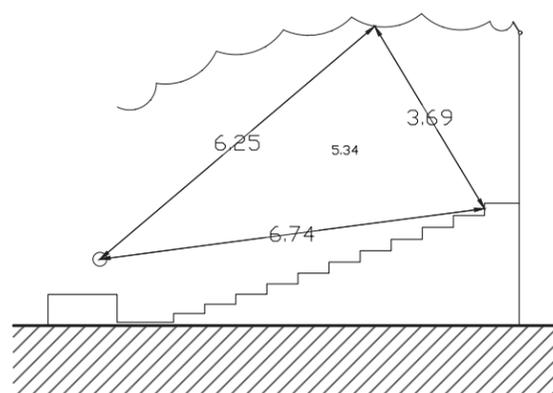
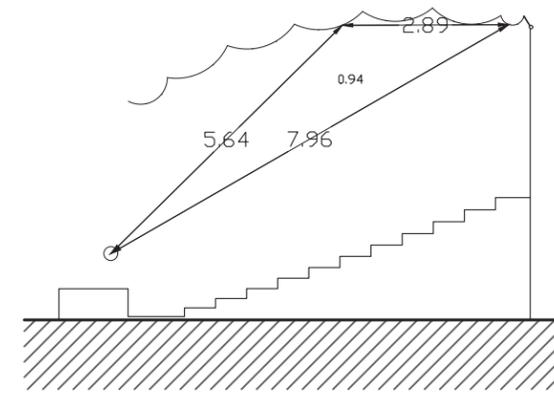
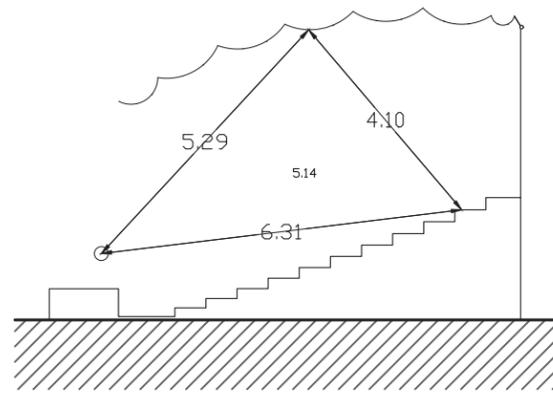
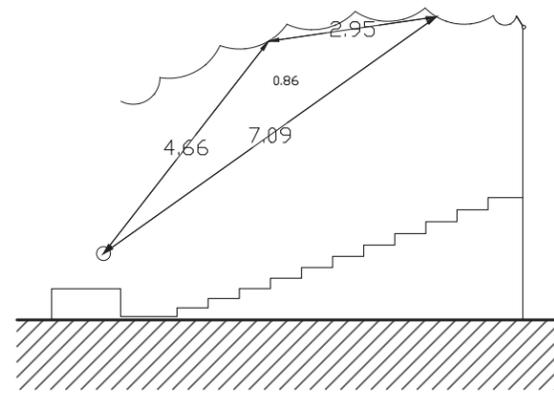
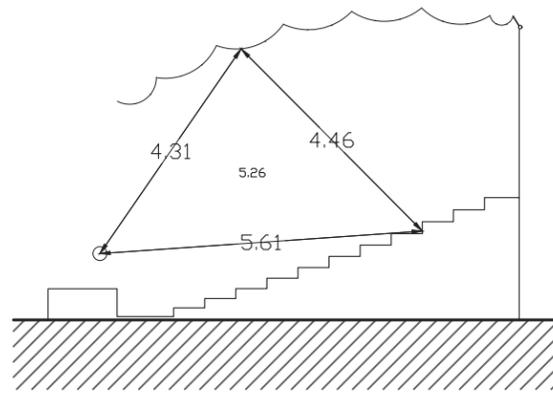
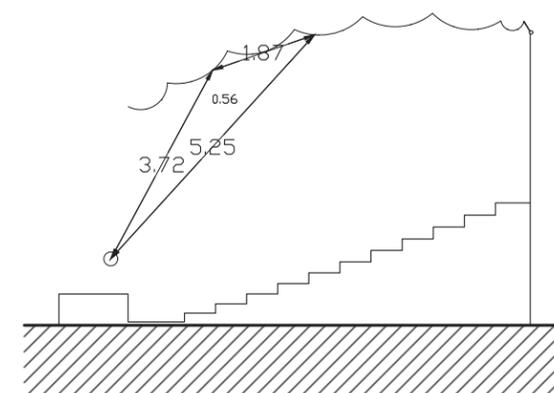
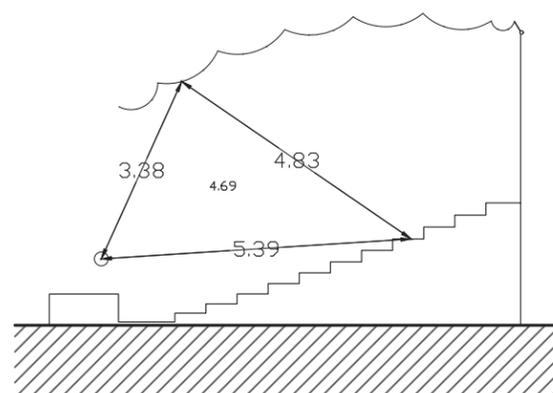
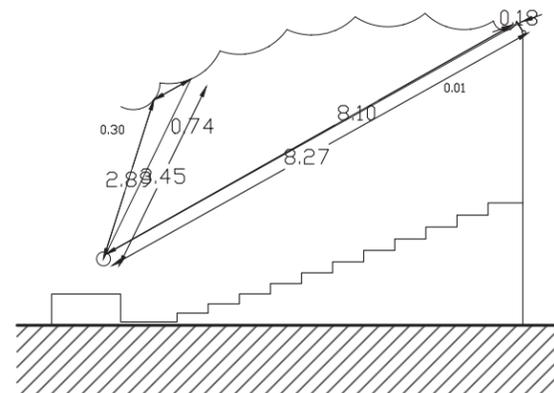
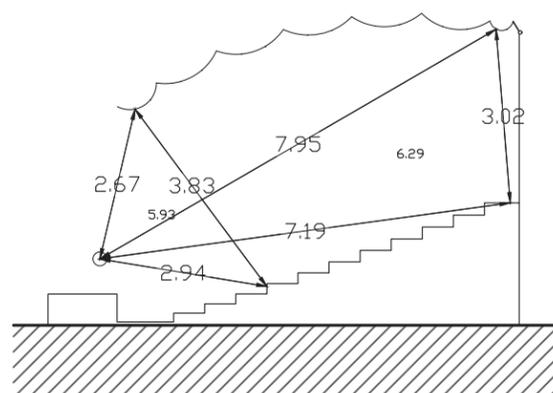
**Fecha:**

**Agosto-2020**

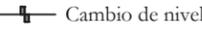
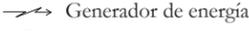
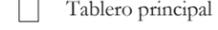
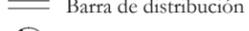
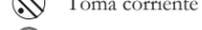
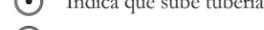
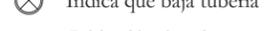
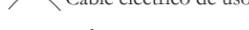
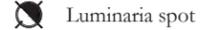
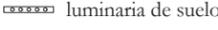
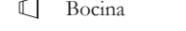
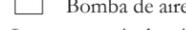
**Clave: ISg-01**

SEGURIDAD



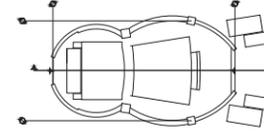


**Simbología**

-  Cambio de nivel
-  Proyección
-  Generador de energía
-  Tablero principal
-  Dimmer
-  Barra de distribución
-  Toma corriente
-  Indica que sube tubería
-  Indica que baja tubería
-  Cable eléctrico de uso rudo
-  Luminaria spot
-  Foco robótico
-  Luminaria arbotante
-  luminaria de suelo
-  Bocina
-  Bomba de aire

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

Referencia del plano según proyecto:



Instalación acústica

Proyecto:  
**Teatro itinerante con cubierta neumática**

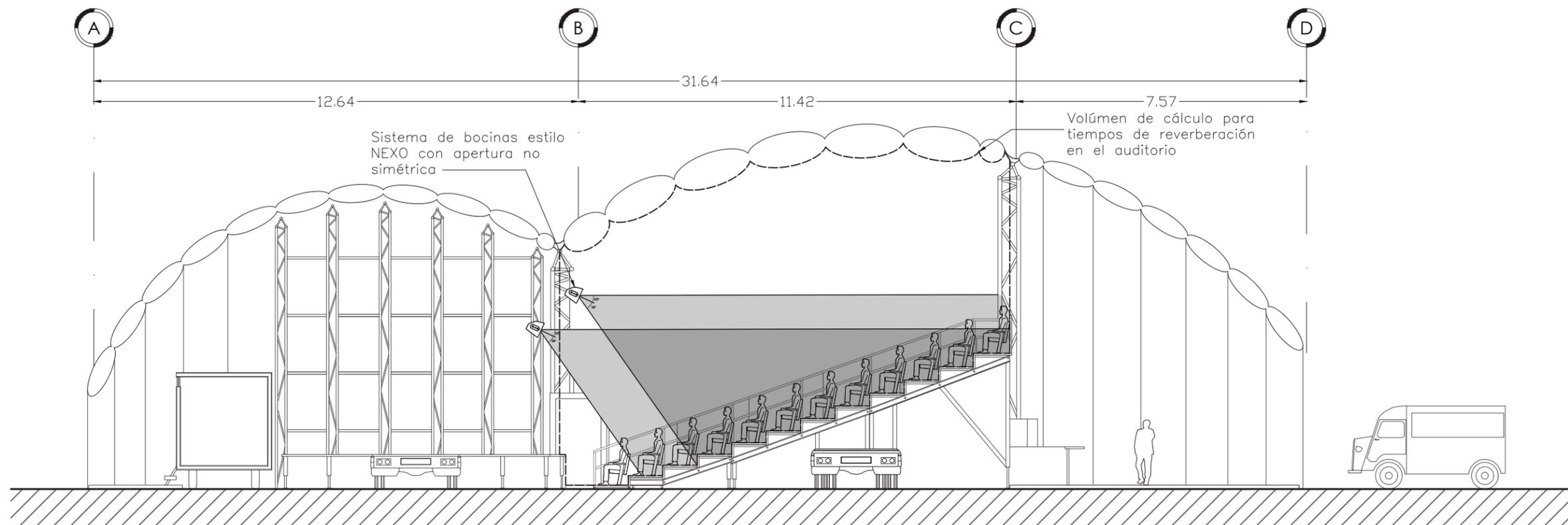
Escala: Acotaciones:  
metros

Realizó:  
**María Ilwikal Verhulst Babb**

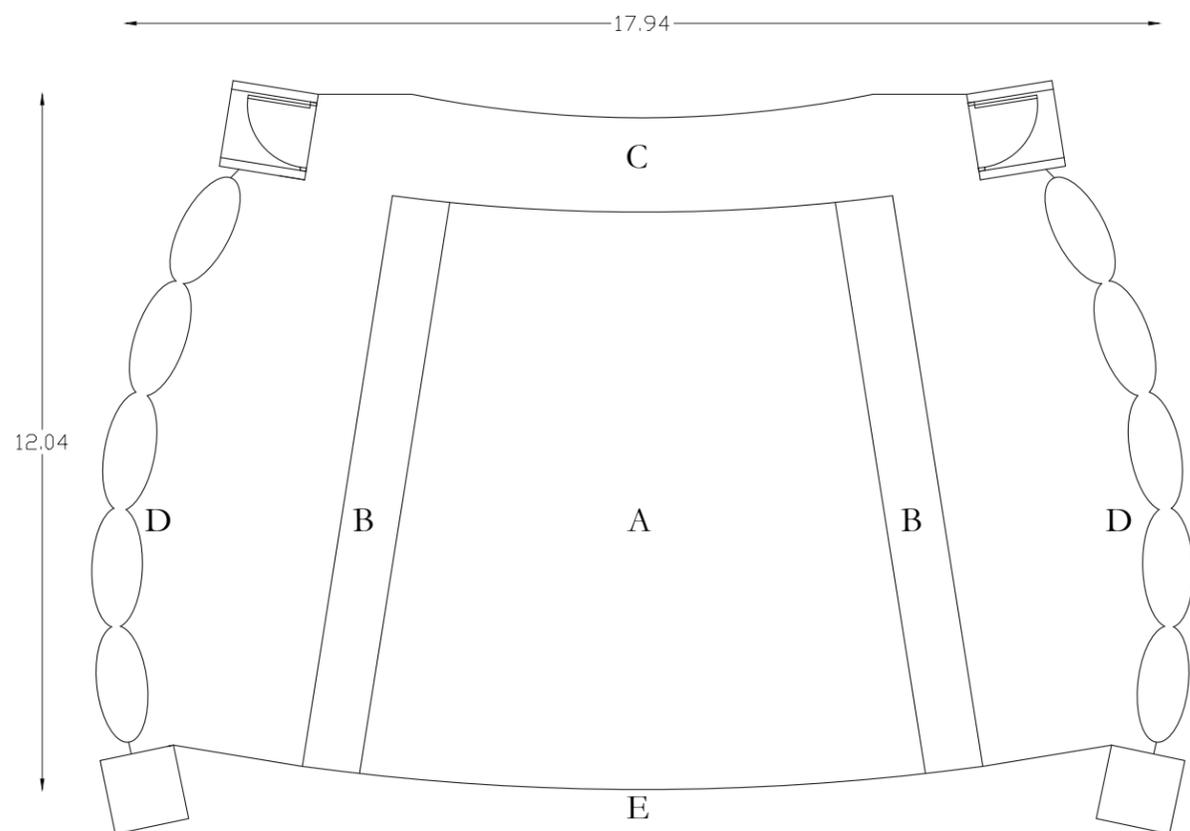
Fecha:  
**Agosto-2020**

Clave: IAc-01

DIAGRAMAS DE REFLEXIÓN ACÚSTICA



## SISTEMA DE SONIDO



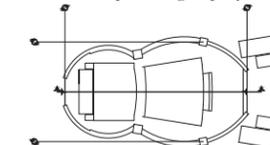
Cálculo de reverberación								
Zona	Material	m <sup>2</sup>	125 hz	250 hz	500 hz	1,000 hz	2,000 hz	4,000 hz
Butacas	A Butaca tapizada con plástico	81.55	0.20	0.2	0.25	0.30	0.30	0.30
			16.31	16.31	20.39	24.47	24.47	24.47
Pasillo	B Alfombra de goma	21.02	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03	0.10
			0.84	0.84	1.68	2.52	0.63	2.10
Piso	C Madera de 3 cm con 5 cm de cámara de aire	77.46	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.07
			19.37	26.34	13.94	7.75	7.75	5.42
Cubierta	D Panel de spandex	350	0.51	0.63	0.60	0.42	0.40	0.40
			178.50	220.50	210.00	147.00	140.00	140.00
Muro posterior	E Terciopelo fruncido	27.81	0.07	0.13	0.49	0.81	0.66	0.54
			1.95	3.62	13.63	22.53	18.35	15.02
Total de m <sup>2</sup> de ABS			216.96	267.60	259.64	204.26	191.20	187.01
m <sup>2</sup> del recinto			1,500					
Tiempo de reverberación en segundos			1.11	0.90	0.92	1.17	1.26	1.28

### Simbología

- ◆ Nivel de piso
- ⊕ Cambio de nivel
- Proyección
- ⬇ N.P.T. Nivel de piso terminado
- ⬇ N.I.N. Nivel inferior de neumática
- ⬆ N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

### Referencia del plano según proyecto:



### Cortes arquitectónicos

### Proyecto:

**Teatro itinerante con cubierta neumática**

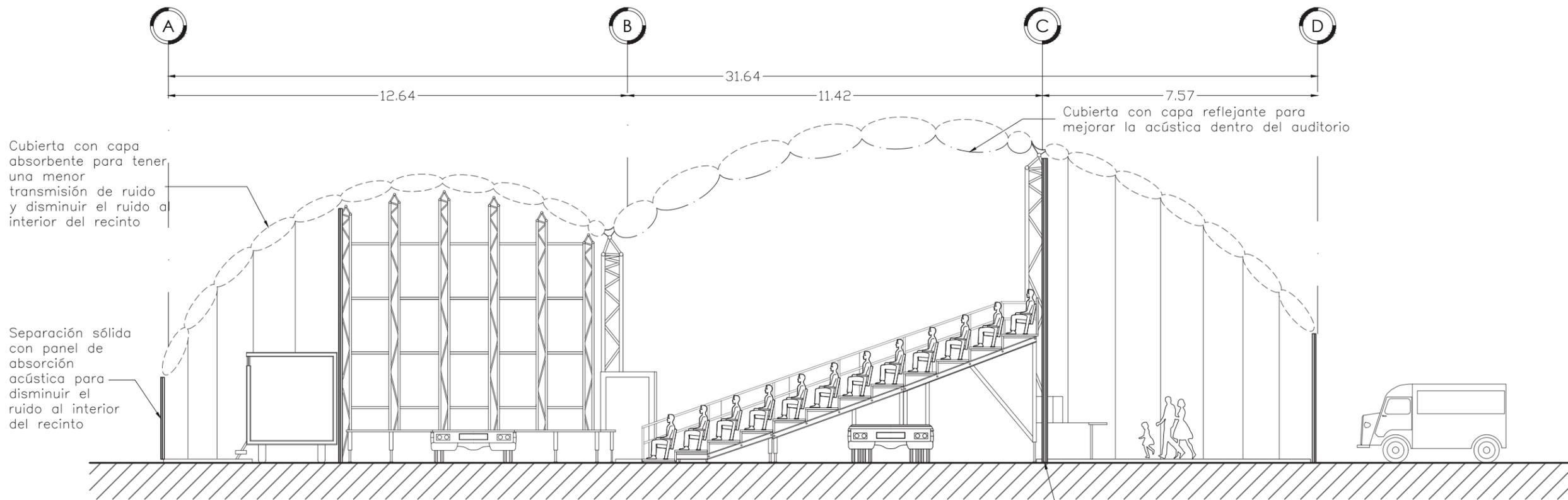
Escala: 1:125  
Acotaciones: metros

Realizó:  
**Maria Ilwikal Verhulst Babb**

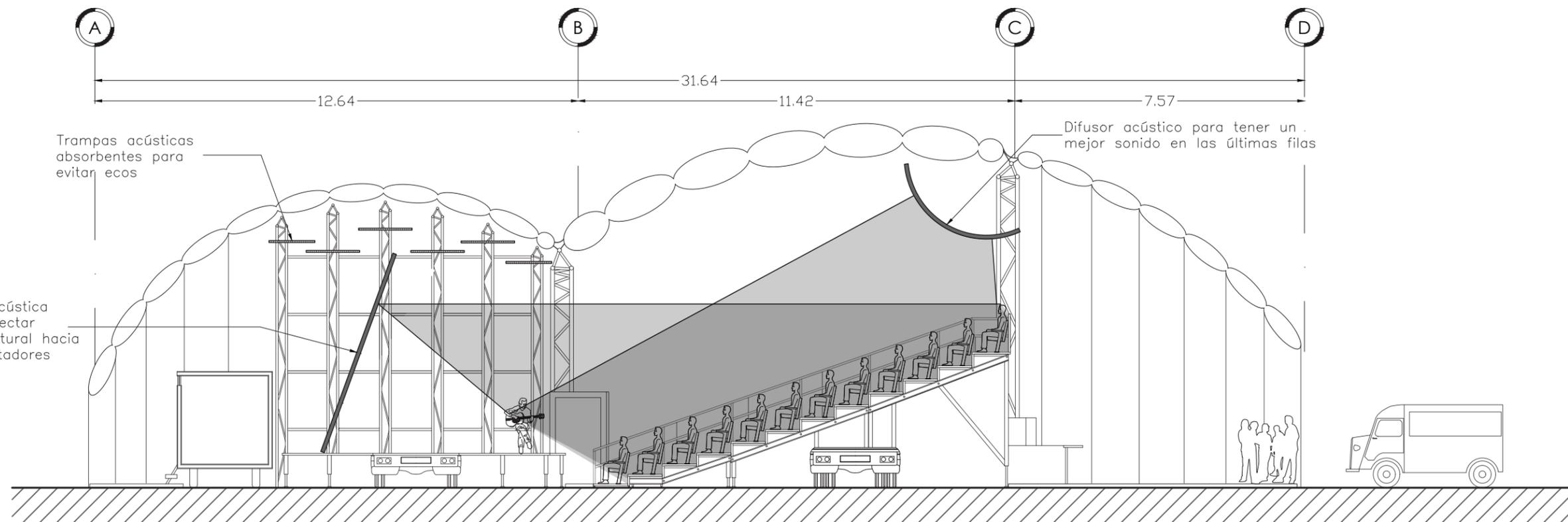
Fecha:  
Agosto-2020

Clave: IAc-02





## DISPOSITIVOS ACÚSTICOS



## DISPOSITIVOS ACÚSTICOS MÓVILES

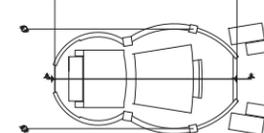
Dispositivos acústicos para mejorar la calidad sonora del recinto para espectáculos de música no amplificada

### Simbología

- ◆ Nivel de piso
- ⊕ Cambio de nivel
- Proyección
- ⬇ N.P.T. Nivel de piso terminado
- ⬇ N.I.N. Nivel inferior de neumática
- ⬆ N.S.T. Nivel superior de neumática

1. Las cotas y niveles rigen sobre el dibujo, están dados en metros

### Referencia del plano según proyecto:



Cortes arquitectónicos

### Proyecto:

Teatro itinerante con cubierta neumática

Escala: 1:125  
Acotaciones: metros

### Realizó:

María Ilwikal  
Verhulst Babb

### Fecha:

Agosto-2020

Clave: IAc-03

