

# Construint amb aire

El ressorgir d'una arquitectura inflable

## Building with air

The resurgence of an inflatable architecture

**Costa-Quintana, Arnau**

(Universitat de Girona, Espanta) arnaucq18@gmail.com

---

### **Abstract**

*This research aims to study the trajectory of pneumatic architecture, as well as the challenges presented by these structures in immediate the future, using air as the main and supporting material. I start searching for historical antecedents with a timeline from the origins to the present. The work analyzes and classifies these pneumatic architectures in different typologies, studying the main characteristics of each system and how they have evolved to adapt to the present and new needs. Next, the case studies are extracted from the typological and chronological classification, these are analyzed in depth to identify the characteristics of each one and, through the comparative analysis, the evolutionary trajectory and future development of this one. Subsequently, a categorization is made, the results and conclusions are drawn.*

**Keywords:** Air, Inflatable architecture, Ephemeral, Light, Footprint.

---

### **Resum**

*Aquesta investigació pretén estudiar la trajectòria de l'arquitectura neumàtica, així com els reptes que presenten aquestes estructures en un futur immediat, utilitzant l'aire com a material principal i de sustentació. Parteixo d'una recerca d'antecedents històrics amb un cronograma des dels orígens fins a l'actualitat. El treball analitza i classifica aquestes arquitectures pneumàtiques en diferents tipologies, realitzant un estudi de les característiques principals de cada sistema i com han evolucionat per adaptar-se a l'actualitat i a les noves necessitats. Seguidament, de la classificació tipològica i cronològica s'extreuen els casos d'estudi, aquests s'analitzen en profunditat per identificar les característiques de cada un i, a través de l'anàlisi comparatiu, es determina la trajectòria evolutiva i el futur desenvolupament d'aquesta. Posteriorment, es fa una categorització, s'extreuen els resultats i les conclusions.*

**Paraules clau:** Aire, Arquitectura inflable, Efímera, Lleugera, Petjada.

## 1. Introducció

El tema de desenvolupament principal del treball final de grau (TFG) és l'arquitectura inflable o també coneguda com l'arquitectura pneumàtica.

S'associa a un tipus d'arquitectura efímera a causa de les característiques que la configuren, una arquitectura que resol les necessitats puntuals de la societat durant un període concret, per desaparèixer sense deixar empremta.

Aquesta tipologia d'arquitectura està representada a la natura des de fa segles i ha anat evolucionant fins al dia d'avui, es pot trobar representada en multitud de fauna i flora, l'exemple que millor la defineix són les bombolles.

Frei Otto<sup>1</sup> va saber aprofitar la naturalesa i la geometria de les bombolles generant un mètode científic capaç de generar estructures i formacions amb bombolles de sabó.

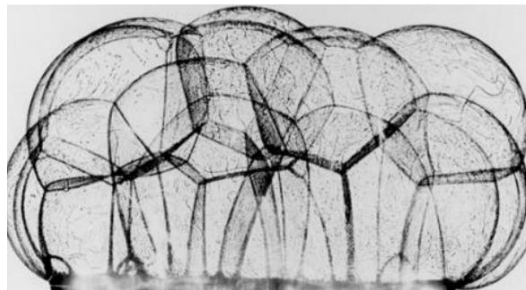


Fig. 1 Imatge de l'experiment amb bombolles de sabó fet per Frei Otto. Font: Herzog, T. (1977). Construcciones neumáticas

L'arquitectura pneumàtica consisteix en un sistema constructiu que mitjançant la utilització de l'aire, un recurs inesgotable i gratuït, aconsegueix donar-li una utilitat estructural per donar forma a uns espais a partir d'una pell que fa d'embolcall.

El treball s'estructura en tres parts, la primera, de caràcter històric s'enfoca en la recerca d'antecedents i evolució històrica, a la segona s'analitzen i es classifiquen les tipologies d'arquitectura inflable i, a la tercera, es trien i s'analitzen una sèrie de casos d'estudi que serveixen per identificar les particularitats de cada tipologia i extreure'n unes conclusions finals.

El treball té com a objectiu entendre els reptes que presenten aquestes estructures en un futur immediat i com es pretén abordar-los, especulant, per una banda, amb les capacitats d'aquestes estructures de prolongar la seva vida útil, així com la seva reutilització i per altra banda, amb l'evolució de les solucions tecnològiques aplicades.

Estudiar l'evolució d'aquestes estructures al llarg del temps servirà per donar resposta als seus orígens i motius, quan, on i per quin motiu van aparèixer i desaparèixer.

Com es pot prolongar la vida útil dels espais inflables? De quina forma es podria controlar el confort tèrmic? Quins són els materials que poden substituir o complementar la membrana? Quins són els motius pels quals les construccions inflables es consideren efímeres o de curta temporalitat?

Un altre tema que el TFG aborda està relacionat amb la condició de lleugeresa, fragilitat, rapidesa de muntatge, transport i economia d'aquestes estructures enfront de desastres naturals. La seva aplicació sobre el terreny és un fet, però no està generalitzat. La seva implantació sembla viable, per tant, quins són els motius pels quals no s'està implantant sobre el terreny?

---

<sup>1</sup> Frei Otto (1925-2015) Fou un arquitecte, professor i teòric Alemany, guanyador d'un Premi Pritzker i referent de les estructures tensades i de membranes lleugeres.

## 2. Metodologia

La metodologia a seguir per dur a terme el treball consta de tres parts. Una part teòrica de caràcter general que explica i analitza els orígens, la història i l'evolució de l'arquitectura pneumàtica, identificant els moments d'expansió i desaparició d'aquestes estructures.

La segona part és la fase més específica del TFG. Es basa en una categorització, una selecció, una comparació i un anàlisi de casos d'estudi paradigmàtics i més representatius de cada tipologia constructiva, on s'estableixen els criteris de categorització de cada tipus, amb casos dels anys 60-90 i casos més contemporanis.

Finalment, es fa un anàlisi comparatiu de dos casos d'estudi de cada tipologia seleccionant un cas històric i un de contemporani, per identificar les futures trajectòries de l'arquitectura pneumàtica del passat i del futur.

Gràcies a la recopilació, l'ordenació i la comparació dels casos es realitzen un seguit de taules comparatives, unes línies cronològiques i uns esquemes que permeten formular les preguntes de la investigació i obtenir unes conclusions.

En tot el treball s'utilitza una metodologia de tipus qualitatiu i interpretatiu.

## 3. Orígens de l'arquitectura pneumàtica

Els orígens de l'arquitectura pneumàtica<sup>2</sup> recauen en els principis de la humanitat, representada a la natura des de fa dècades.

Quan es parla del recorregut evolutiu que han tingut les estructures per arribar a l'arquitectura pneumàtica s'ha de fer menció a l'aire, un recurs transparent i infinit que l'ésser humà ha sabut aprofitar-lo, convertint-lo en un material lligat a l'evolució de la tècnica.

Per tant, quan es parla d'arquitectura pneumàtica és necessari que s'analitzin o es faci menció dels antecedents naturals i tecnològics que han servit de model per arribar a on som avui en dia.

### 3.1 Estructures naturals i tecnològiques

Les estructures pneumàtiques segueixen els principis bàsics de la natura, els trobem a les bombolles de sabó o a les aglomeracions de bombolles de l'espuma del mar.

"Són auténticas formas neumáticas con membranas cerradas", mitjançant un experiment, demostra que "la burbuja se rompe, uniforme y simétricamente, lo que prueba que existía una igualdad de tensiones en su superficie". (Herzog 1977)

També es pot trobar representada en multitud d'aus i amfibis, aquests, seguint la llei de la supervivència, han aconseguit evolucionar per garantir el futur de l'espècie. En el cas de les aus, treure profit de l'aire per desplaçar-se i en el cas dels amfibis per protegir-se dels depredadors o per reproduir-se.



Fig. 2 Imatge del sac bucal d'un gripau. Font: National geographic

<sup>2</sup> La paraula "neumática" prové del grec *pneuma* (aire) en referència a l'acció de (bufar/respirar).

En el cas dels amfibis, un exemple molt evident és el sac del gripau, és una mostra clara de pneumàtica, una membrana tancada flexible i orgànica que s'infla i genera un soroll estrident.

En el cas de les aus, ho podem trobar representat a les ales de les libèl·lules, les costelles s'uneixen amb la membrana i aquesta s'infla a baixa tensió.

És a partir de l'observació i la comprensió de com les espècies animals podien volar que van aparèixer les primeres estructures tecnològiques pensades per l'home: la vela, l'origen de la qual es desconeix exactament, però es creu que la cultura egípcia va ser la precursora d'aquesta tècnica al 3.000 aC.

Aquest principi va partir de l'observació de la natura i de la prova i error. Van veure la possibilitat d'aprofitar l'energia del vent com a mitjà de propulsió, aprofitant la diferència de pressió per inflar les veles i proporcionant a la vela una forma ondulada, òptima per la distribució de tensions.

Una estructura més actual i que té més semblances amb l'arquitectura pneumàtica són els globus aerostàtics. Aquest concepte es va transformar en realitat gràcies als germans Montgolfier<sup>3</sup> que, el 1783, van inflar amb aire calent una esfera de 10 m de diàmetre feta de paper i tela, aquesta va assolir una altura i un temps a l'aire considerable.



Fig. 3 Pintura d'Antonio Carnicero de l'enlairament d'un globus Montgolfier, 1784 a Aranjuez. Font: Museo del Prado

### 3.2 Lanchester, pioner de l'arquitectura pneumàtic

Frederick William Lanchester va ser conegut per ser el primer científic en intentar aplicar els principis dels globus a les estructures arquitectòniques fixades a terra. Malgrat això, els seus dissenys no es van construir, podria ser degut a la manca de material i falta de tècniques apropiades per dur a terme el disseny de l'època, però tot apunta com a principal factor l'arribada de la Primera Guerra Mundial, seguida d'una forta recessió industrial.

Tot i que malauradament no va poder veure cap dels seus dissenys executats es pot considerar com l'inventor de l'arquitectura pneumàtica. "En su patente de 1917 para un hospital de campaña se citaban los principios en los que se funda la construcción soportada por aire". (Dent 1975)

Es tractava d'un edifici en forma de tenda d'acampada de grans dimensions, gràcies a la pressió de l'aire s'aconseguia mantenir en peu el teixit utilitzat en aquell moment pels globus.

Per dur-lo a terme es va pensar en una tela que feia de base, que gràcies a les prolongacions del perímetre permetia fixar els segments del teixit, eren segments de cilindres o d'esferes. Aquests fragments són els que formaven l'envolupant, que s'inflaven mitjançant un ventilador centrífug.

A causa del perill que s'enlairés del sòl es van projectar un seguit de pesos per contrarestar els possibles efectes.

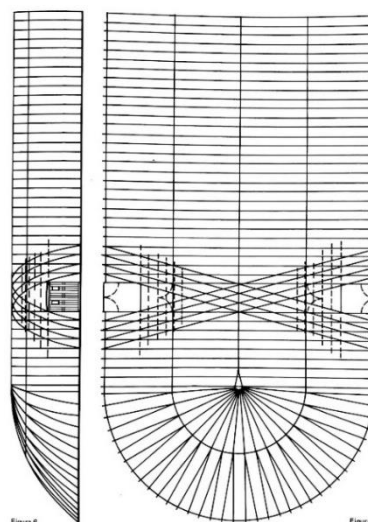


Fig. 4 Plànols hospital de campanya de Friederick William Lanchester del 1917. Font: Dent,R.(1975).Arquitectura neumàtica

<sup>3</sup> Joseph-Michel Montgolfier i Jacques-Étienne Montgolfier van ser dos germans francesos considerats els inventors del globus aerostàtic

## 4. Desenvolupament històric de l'arquitectura pneumàtica

### 4.1 Figures més influents en el camp de la pneumàtica

Els noms més destacats i que van influir més en el moviment van ser Frei Otto, Buckminster Fuller, Victor lundry o Walter W.Bird.

Walter Bird, nascut al 1912, va ser una persona transcendental pels inicis de l'arquitectura inflable, "a través de estas construcciones, sienta las bases y las directrices constructivas de la arquitectura hinchable", provocant que "la arquitectura neumática se convierta en una alternativa posible i viable a la arquitectura tradicional". (Collado 2022)

Segons Reyner Banham, "este tipo de arquitecturas introducen un cambio completo en la teoría constructiva, por una parte, existe la arquitectura tradicional o convencional, en la cual la estructura determina el ambiente, y por otra parte está la arquitectura neumática, en la cual la aplicación de la energía ambiental produce la estabilidad estructural." (Banham 1969)

La Radome<sup>4</sup> va ser la primera estructura pneumàtica construïda per Walter W.Bird, una construcció de forma semiesfèrica dels anys quaranta que solucionava la necessitat que tenien les forces aèries dels Estats Units per protegir la seva xarxa de radars dels climes extrems que patien per culpa de les ubicacions inhòspites, càrregues de neu, vent,..., amb la particularitat que aquesta protecció no interferís en les ones emeses pels radars.

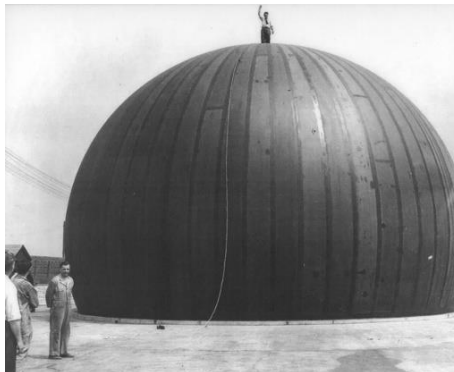


Fig. 5 Imatge de Walter Bird, sobre un dels seus primers prototips de Radome, Nova York, 1948. Font: Birdair, Inc

El disseny proporcionava al radar una protecció formada per una membrana simple, a partir de fibres revestides amb neoprè, de 16,5 m de diàmetre i que s'aixecava amb aire.

Pel gran escepticisme que generaven aquestes estructures es va haver de realitzar exhaustius estudis de disseny analític, proves al túnel de vent i construcció de models per confirmar la viabilitat del projecte. Després del prototip es van construir un centenar de Radomes en un període curt d'uns deu anys.

Un altre aspecte a destacar és l'aposta de Walter Bird i el seu equip per la innovació tecnològica i la tecnificació dels materials per millorar les prestacions i la durabilitat de totes les seves obres. És per aquest motiu que hi ha multitud de Radomes aixecades amb diferents materials.

Walter Bird va ser un dels primers en comercialitzar aquestes estructures suportades amb aire. L'any 1956 va fundar BirdAir i va treure al mercat un sistema que cobria la piscina.

---

<sup>4</sup> La paraula "Radome" prové de la unió de (radar + dome), es coneix com a recobriment d'antenes amb la finalitat de protegir-les.

Les anomenades “air supported dome for all-year swimming”<sup>5</sup> es presentaven a la població de com a través d’un simple plàstic podies convertir una piscina de temporada d’estiu en una piscina per gaudir tot l’any.

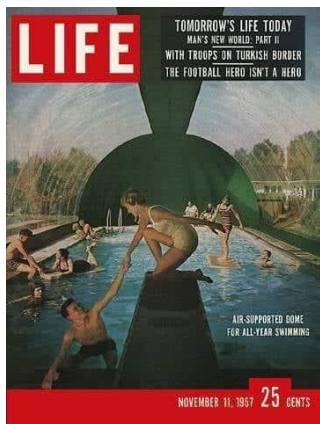


Fig. 7 Imatge portada de la revista LIFE (Air supported dome for all year swimming), 1957. Font: Revista LIFE



Fig. 6 Imatge de la coberta de piscina. Font: Revista LIFE

El nom de Víctor Lundry apareix al mapa gràcies al desenvolupament del pavelló per a la comissió de l'energia atòmica dels Estats Units, amb la col·laboració de l'empresa BirdAir propietat de Walter Bird. Per molts, es considera l'únic exemple d'arquitectura pneumàtica ben dissenyada de l'època dels anys seixanta.

#### 4.2 Els moviments utòpics i avantguardistes de l'arquitectura inflable

A mitjans dels anys setanta, va aparèixer en diferents punts del planeta una sèrie de grups visionaris d'enginyers, arquitectes, artistes,... En gran mesura estaven concentrats a Europa, grups com Archigram (Londres), Aerolande i Utopie (París), Haus Rucker-Co (Viena),... Tanmateix, als Estats Units en van aparèixer, però no en tanta mesura. Un exemple és Ant Farm (Sant Francisco). Tots aquests grups eren reconeguts internacionalment i es van dedicar a promoure, projectar i investigar una alternativa a l'arquitectura tradicional, unes pràctiques avantguardistes i radicals per l'època. Aquesta arquitectura implicava viure i entendre els edificis en forma de comunitats efímeres, aquestes agrupacions varen ajudar a la societat a avançar en la disciplina de l'arquitectura pneumàtica a escala conceptual, desenvolupant infinitat d'idees, promocionant i fent incís en el pensament d'una arquitectura efímera i lleugera.

A causa del gran contingut especulatiu i avantguardista, molts dels projectes es varen quedar en l'intent, com a manifestos teòrics i no en projectes concrets, provocant que les propostes es quedessin en paper. Han quedat a la història com a casos utòpics i avantguardistes d'un moviment que va aportar una nova manera de pensar, uns dissenys que representaven el nou futur, nòmada, mòbil i informal, de la mà del plàstic i de la tecnologia.

Aquests dissenys es van veure construïts en rars ocasions, es dedicaven al món de les idees, buscant una resposta immediata als canvis socials que s'estaven produint. Tot i això, van ser grups molt influents de l'era moderna que es poden considerar els pares de moltes de les construccions d'arquitectura pneumàtica actuals.

<sup>5</sup> Títol de la revista LIFE de l'11 de novembre de 1957.



Fig. 8 Gràfic per explicar l'aparició dels grups visionaris i avantguardistes dels anys 60-70. Font: Elaboració pròpia. (2023)

### 4.3 La decadència de l'arquitectura pneumàtica

L'arquitectura pneumàtica es va fer popular pels seus principis: estructures flexibles, lleugeres, assequibles, de curta durada que permetien la creació d'espais canviants.

Una arquitectura radicalment diferent que servia de crítica a la societat i al moviment arquitectònic que predominava en aquell moment, definit per unes tradicions molt arrelades.

No obstant, a finals dels anys setanta el moviment de l'arquitectura inflable es va desinflar per culpa de múltiples factors que van provocar la desaparició o la reducció considerable d'aquest moviment durant molts anys.

Un dels factors més importats va ser l'econòmic, aquestes estructures requerien un alt cost de manteniment per la gran pèrdua de poder calorífic de climatització i a més, amb la crisi del petroli, el preu del PVC va augmentar un 400% provocant que la utilització d'aquest material fos inviable econòmicament.

La seguretat d'evacuació d'aquestes estructures era una problemàtica, i més tenint en compte que s'usaven per a grans esdeveniments culturals, eren membranes molt fràgils que es podien punxar fàcilment. Pel que fa als accessos, eren unes estructures limitades ja que disposaven d'un únic punt d'entrada i de sortida, on la relació entre l'aforament i la dimensió de l'espai era crítica, en cas de desastre, un recinte de grans dimensions i gran aforament no podria evacuar amb seguretat per una única i petita sortida/entrada del conjunt.

Per tant, es podria dir que el declivi de l'arquitectura inflable va afectar a tots els implicats. Es van invertir els principis i fonaments pels quals havia aparegut aquesta tipologia constructiva.

## 4.4 Cronograma de l'evolució de les estructures inflables

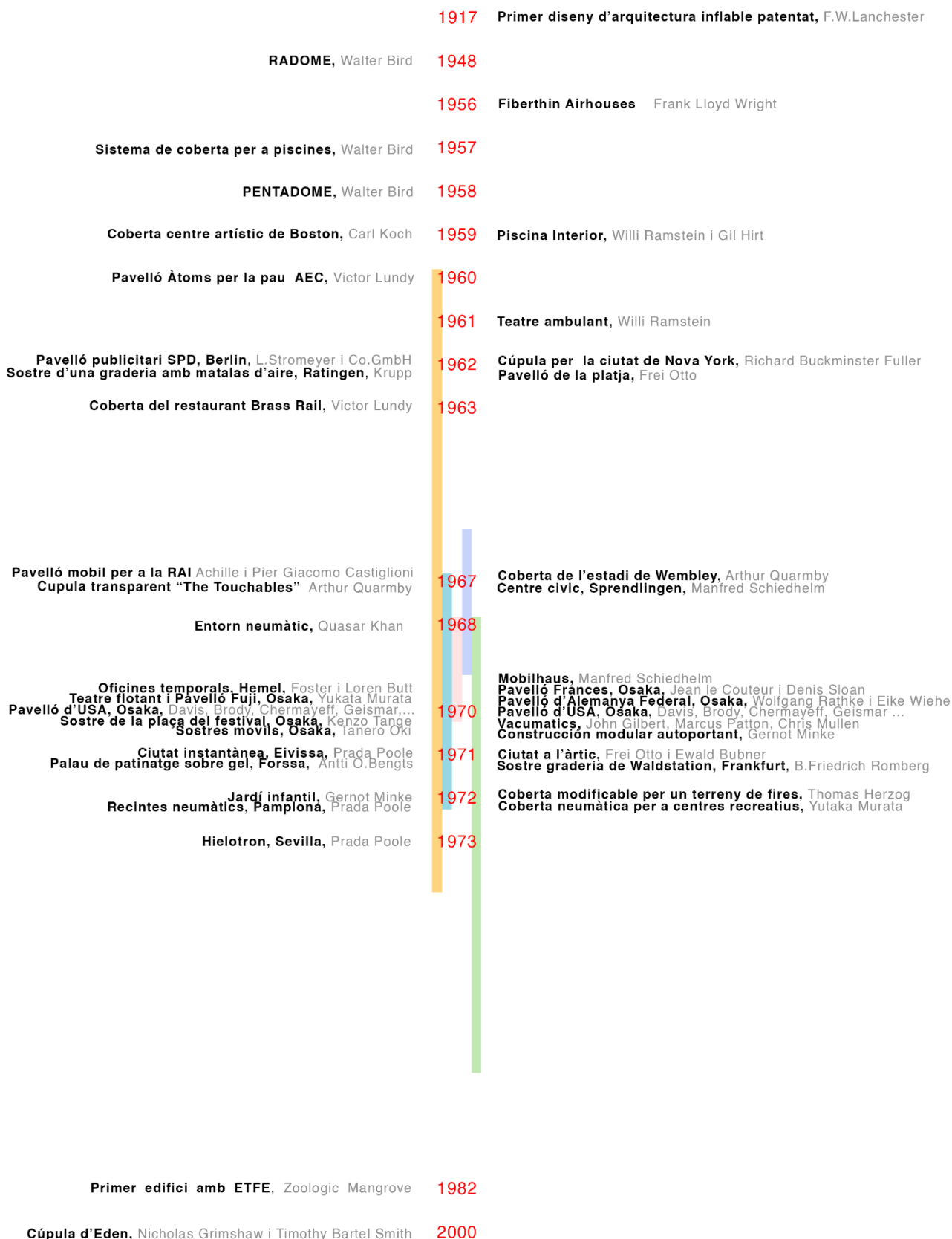


Fig. 9 Gràfic per explicar l'evolució de les estructures inflables Font: Elaboració pròpia. (2023)



## 5. Marc teòric: categorització de les estructures pneumàtiques

Totes les estructures pneumàtiques es basen en l'aire que s'usa com a mitjà de sustentació estructural. Dins d'aquest conjunt d'estructures pneumàtiques es poden categoritzar en diferents tipologies, que varien en funció del tractament que es fa a l'aire i del sistema de membranes/teixits que s'utilitzen. Aquestes diferències de tensió generen grans impactes que implicaran una diferència en l'àmbit d'aplicació, en la utilitat i les dimensions de cada una de les tipologies, així com els avantatges i els inconvenients de cada una.

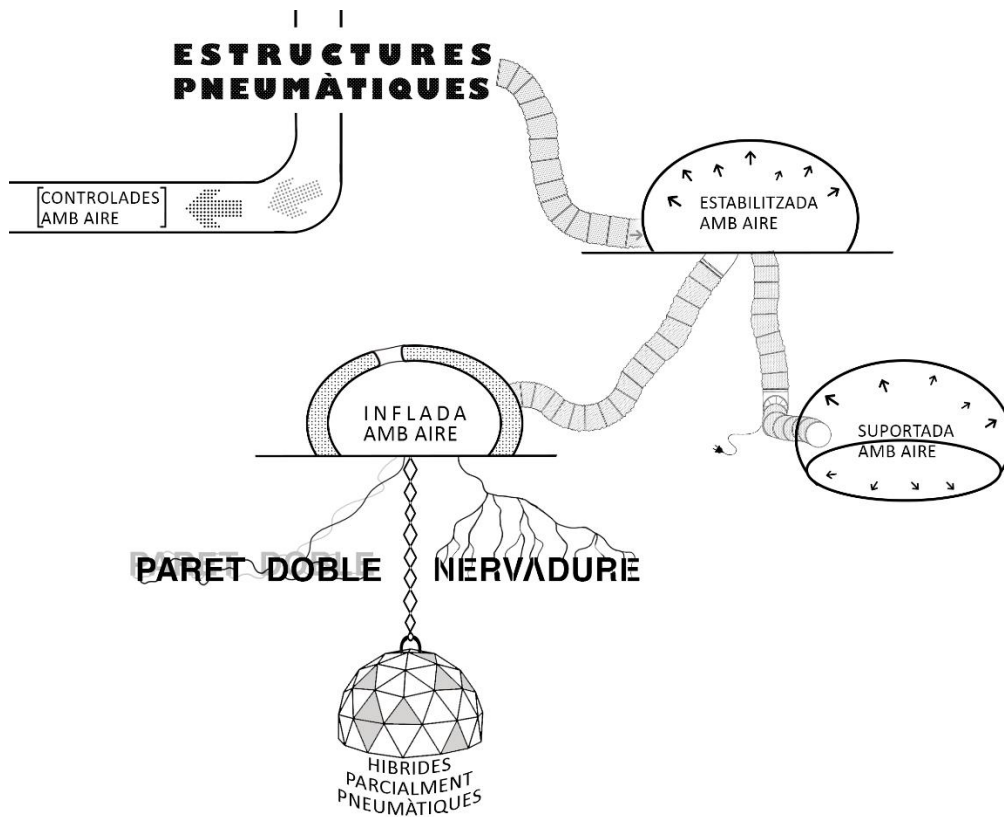


Fig. 10 Esquema tipològic estructural de l'arquitectura inflable. Font: Elaboració pròpia. (2023)

### 1. Estructura controlada amb aire



Fig. 11 Imatge de una treballadora del sistema pneumàtic postal de Praga.

Una estructura controlada amb aire segueix el principi fonamental de la diferència de pressió, són aquelles estructures on la pressió entre l'interior i l'exterior és diferent, s'aconsegueix mitjançant ventiladors que generen aire comprimit i permeten el moviment.

Aquesta tipologia no s'acaba d'associar a l'arquitectura perquè els seus usos disten molt dels edificis, la podem trobar en els tubs pneumàtics que transporten els diners o en els sistemes de fre.

Es tracta d'una tipologia utilitzada antigament per transportar el correu.

## 2. Estructura estabilitzada amb aire

En el cas de les estructures estabilitzades amb aire, aquestes sí que estan associades a l'arquitectura.

A dins d'aquest grup d'estructures apareixen dues tipologies, les estructures suportades per aire i les estructures inflades amb aire.

### 2.1. Estructures suportades per aire

Es basa en una membrana flexible de gruix mínim que genera un volum a partir de la diferència de pressió entre l'interior i l'exterior, amb la particularitat que necessita un constant bombeig d'aire al seu interior per mantenir l'estabilitat.

Aquesta diferència de pressions provoca una sèrie de forces de tensió que permeten suportar les càrregues gravitacionals provocades pel vent o el mateix pes de la membrana/teixit. Per tant, l'estructura és la membrana que està en tensió.

Hi ha certs factors fonamentals que condicionen aquestes estructures:

- En primer lloc, la diferència de pressions que genera la tensió a la membrana ha de ser suficientment elevada per suportar els esforços de compressió del propi pes de la membrana, així com dels esforços generats pel vent. Aquest factor pren rellevància quan l'estructura comença a presentar plecs, és símbol de què la diferència de pressió no és suficient, l'estabilitat correcta es produeix quan tota la membrana està en tensió.

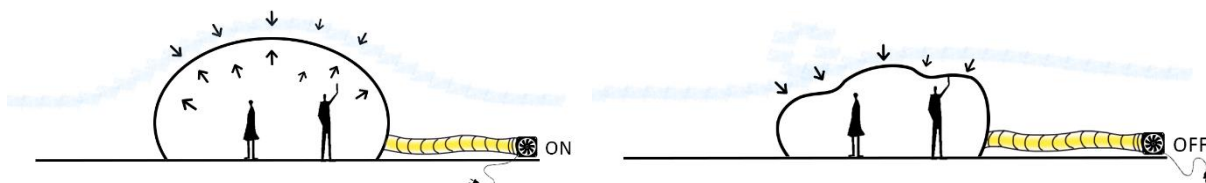


Fig. 12 Dibuix diferència de pressions. Font: Elaboració pròpia. (2023)

- En segon lloc, s'ha de tenir en compte les propietats del material utilitzat. A l'hora d'aplicar una diferència de pressions a una estructura es generaran unes tensions al material, aquestes tensions han de ser inferiors a la tensió màxima admissible del material utilitzat, en cas contrari es podria produir el trencament de la membrana i, per tant, el col·lapse de l'estructura, provocant una fuga que dificultaria mantenir la diferència de tensions i, en conseqüència, l'estabilitat del conjunt.

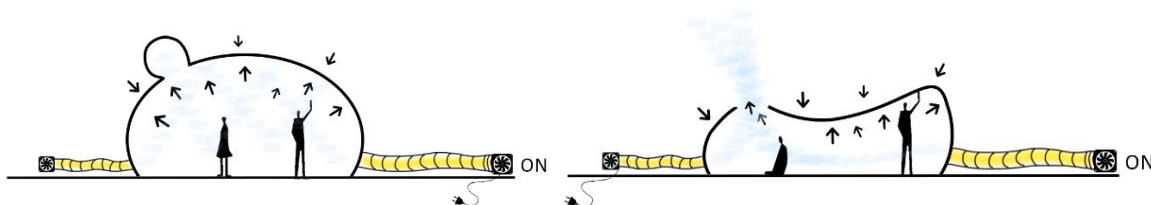


Fig. 13 Dibuix tensió màxima admissible. Font: Elaboració pròpia. (2023)

- Quan es dimensiona una estructura pneumàtica s'ha d'escollir el material amb les propietats correctes, ja que les tensions que suportarà aquest material són proporcionals a les dimensions d'aquesta, per tant, com més gran, més tensions ha de suportar el material.

## 2.2. Estructura inflada amb aire

En aquesta tipologia l'aire es tenca a l'interior d'unes membranes, formant càpsules on es guarda l'aire, es pot trobar representada en diferents formes geomètriques, columnes, bigues, parets, arcs. Es regeixen pel mateix sistema de diferència de pressions de les estructures convencionals.

Les capacitats estructurals d'aquests elements inflables venen determinats per una sèrie de factors que les condicionen:

- Contenir el volum d'aire a l'interior de la membrana.
- Pressió de l'aire sobre la membrana.
- Propietats del material utilitzat.
- Forma de l'element estructural.

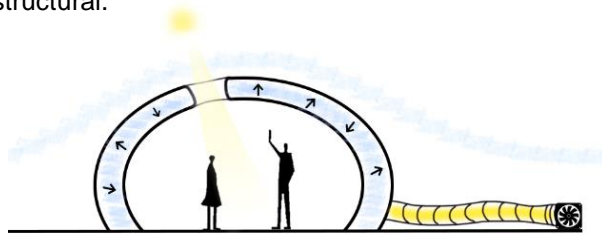


Fig. 14 Dibuix estructura inflada amb aire amb paret doble. Font: Elaboració pròpia. (2023)

Dins d'aquest grup apareixen dues tipologies d'estructures inflades amb aire, les estructures de doble paret i les estructures compostes per nervadures.

### 2.2.1. Amb Nervadures

Les estructures amb nervadures consisteixen en un conjunt de tubs que formen l'entramat estructural, aquests tubs s'inflen i són sotmesos a una pressió suficient per mantenir-los rígids, un cop inflats mantenen en tensió les membranes que cobreixen l'entramat estructural.

Degut al poc volum d'aire que contenen els tubs és adequada per a construccions de reduïdes dimensions.

En aquest cas, el temps d'inflat és proporcional al volum i, per tant, en qüestió de segons es poden inflar, aquestes no necessiten inflar-se constantment, el volum és petit i, en conseqüència, les possibles pèrdues per juntes també.

El cas més utilitzat actualment el veiem en els bots salvavides o algunes tendes de campanya.

### 2.2.2. Amb paret doble

Pel que fa a les estructures de paret doble, com molt bé indica el seu nom, estan formades per una estructura de dues membranes que formen una paret, encapsulant l'aire a l'interior, aquest sistema proporciona a l'estructura una doble capa que repercuteix a l'aïllament tèrmic de l'exterior.

En aquest cas, el volum d'aire és molt superior a l'anterior, està capacitada per garantir llums majors i és un sistema que necessita una aportació d'aire superior a les estructures amb nervadures.

En aquest sistema s'ha de tenir en compte que quan el volum d'aire és major també ho és el temps d'inflat. A més, s'ha de procurar que les dues membranes que formen la paret estiguin configurades en forma de diafragma.

### 2.3. Estructura híbrida

Les estructures híbrides apareixen a causa de les limitacions que presenten les estructures pneumàtiques vistes anteriorment, es tracta d'un sistema que adopta varis sistemes constructius, integrant el millor de cada un i traient el màxim profit.

Es solucionen els problemes de dimensions, del confort tèrmic i s'aconsegueix minimitzar el risc de col·lapse.

#### 2.3.1. Parcialment pneumàtiques

En el cas de les parcialment pneumàtiques s'utilitzen materials i sistemes constructius diferents, incorporant subestructures metàl·liques per complementar a les membranes inflables.

És un sistema més convencional que soluciona els problemes de les obertures i el problema del continu subministrament d'aire, en alguns casos l'estabilitat estructural no depèn de les membranes que contenen l'aire sinó de l'estructura que les suporta.

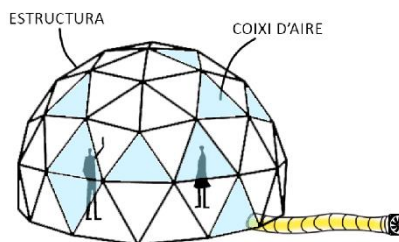


Fig. 15 Dibuix estructura híbrida. Font: Elaboració pròpia. (2023)

### 3. L'arquitectura inflable com a motlle

A dins de les estructures híbrides apareix una altra tipologia: les estructures inflables amb la funció d'encofrat. Durant els anys seixanta, Dante Bini va desenvolupar un sistema per aixecar cúpules de formigó mitjançant un encofrat inflable, el mètode Binishell<sup>6</sup>.

El funcionament és simple i ràpid, s'utilitza una membrana de neoprè flexible fixada a la fonamentació perifèrica, un cop estirada es col·loca una malla d'acer deformable, s'embolica amb una làmina de plàstic, aquesta impermeabilitza i al mateix temps conté el formigó. La malla té la doble funció d'evitar que el formigó s'acumuli a la base, seguidament es procedeix al vibrat i, gràcies als gruixos mínims, en qüestió de 12-48 hores ha endurit i es pot desencofrar.

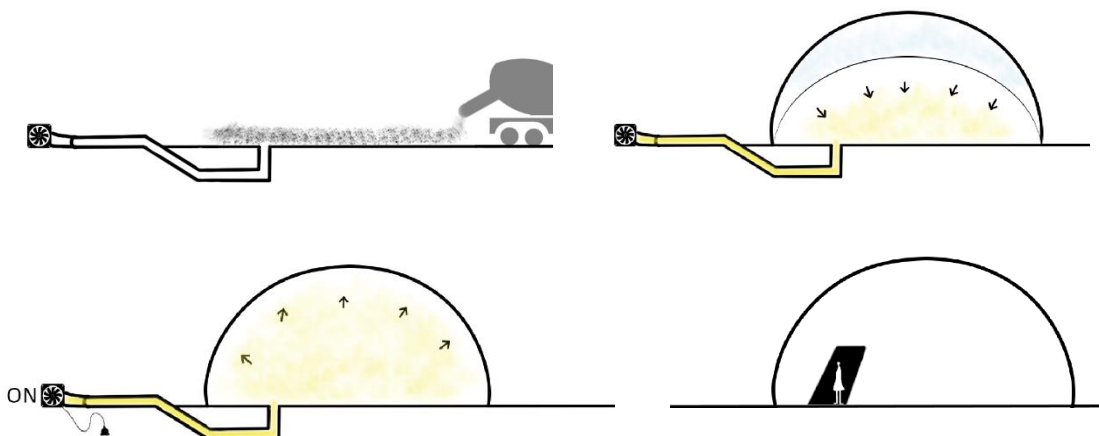


Fig. 16 Dibuix funcionament mètode Binishell. Font: Elaboració pròpia. (2023)

<sup>6</sup> El mètode "binishell" va ser inventat per Dante Bini a la dècada dels anys seixanta, per abaratir els costos i la dificultat dels encofrats de cúpules. Un sistema que forma estructures primes de formigó armat modelades amb la pressió de l'aire.

## 6. Determinació de casos d'estudi

Parteixo del cronograma i de la tipologia estructural per realitzar una selecció dels casos més representatius de cada tipologia. S'ha fet una selecció a partir dels períodes més importants de l'arquitectura pneumàtica, casos d'estudi relacionats amb l'exposició d'Osaka<sup>7</sup>, casos que han implicat un gran moviment social i les edificacions més rellevants des del punt de vista arquitectònic. S'ha dut a terme una segona selecció basada en els exemples més publicats, de fonts reconegudes per la disciplina de l'arquitectura inflable, fent recerca bibliogràfica per filtrar i escollir els casos d'estudi que aporten un avanç tant a nivell tècnic com arquitectònic.

Per determinar els casos d'estudi ho he dividit en dues franges, dels anys 60-70 i a partir del 2000, en les quals es comparen els dos períodes de major impacte de les estructures pneumàtiques, descartant la producció dels anys 80-90. Aquesta interrupció em permet deduir que no s'han substituït per altres tipologies, evidenciant que continuen sent necessàries per casos d'emergència, actes... Em permet traçar la trajectòria i l'evolució de cada tipologia al llarg dels anys fins a l'escena contemporània, i copsar l'evolució que patiran de cara al futur.

Tots els casos tenen com a punt comú l'aire, no obstant es classifiquen en diferents tipologies estructurals que tenen característiques diferents, variacions de dimensions, confort tèrmic, temps de muntatge o vida útil, són aquests valors els que aporten informació per a la categorització posterior.

De les tipologies estudiades n'hi ha una que no s'analitzarà, es tracta de les estructures controlades amb aire, això és perquè l'àmbit d'aplicació no està centrat en edificis pneumàtics.

Per donar resposta als objectius del treball, es fa un anàlisi comparatiu i evolutiu dels casos següents:

	Històrics		Contemporanis	
<b>La Cupole, 1964</b> Dante Bini		<b>Estructura com a encofrat</b>		<b>Concrete Canvas Shelter, 2004</b> William Crawford
<b>Pavelló Fuji, 1970</b> Yukata Murata		<b>Estructura amb paret doble</b>		<b>Air Mountain Pavilion, 2019</b> Aether Architects
<b>Coberta del festival, 1970</b> Kenzo Tange		<b>Estructura híbrida</b>		<b>Cúpula d'Eden, 2000</b> Nicholas Grimshaw, Timothy Bartel
<b>Ciutat instantànea, 1971</b> Prada Poole		<b>Estructura suportada per aire</b>		<b>Second Dome, 2016</b> DOSIS Architecture

Fig. 17 Taula Casos d'estudi escollits per l'anàlisi comparatiu i evolutiu. Font: Elaboració pròpia. (2023)


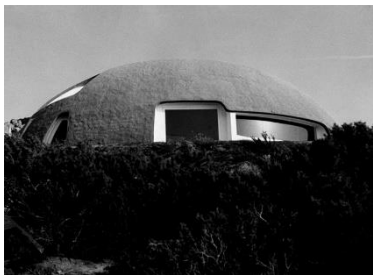












<sup>7</sup> L'exposició d'Osaka va ser un punt de trobada que va promoure el "Progreso y armonía para la humanidad", va durar 183 dies, ocupava 350 hectàrees, i va atraure més de 64 milions de persones d'arreu del món. Es presentava com a model d'una nova ciutat, on els elements futuristes i efímers prenen protagonisme, un punt d'inflexió per l'arquitectura inflable que es va donar a conèixer arreu del món gràcies a la multitud d'edificis i pavellons construïts.

## 7. Anàlisi comparatiu i evolutiu dels casos d'estudi

He generat una fitxa tècnica de cada cas d'estudi com a punt de partida de l'anàlisi comparatiu i evolutiu per dur a terme la categorització.

He fet èmfasi en la capacitat ambiental i efímera, fent incís als temps d'execució constructius, a la capacitat de desaparèixer sense deixar rastre, al confort tèrmic, la lleugeresa, la instantaneïtat, l'adaptació a emergències i a petits o grans esdeveniments, aspectes rellevants en aquest moment per la disciplina. S'han de millorar i tenir en compte els factors esmentats per consolidar l'arquitectura inflable com a mitjà viable de fer arquitectura, aquesta es presenta al futur com una solució als problemes existents de falta d'habitatge assequible.

### 7.1 Estructura suportada per aire amb encofrats pneumàtics

"La Cupule", 1964, Dante Bini	Concrete Canvas, 2004, William Crawford
 	 
<p><b>i</b> La Cupole és una icona de l'arquitectura, una casa d'estiueig pensada com a refugi al costat del mar.</p> <p> Formigó amb armat flexible i una làmina de PVC.</p> <p> 2 hores <span style="margin-left: 100px;"> Desconegut</span></p> <p> 59 anys <span style="margin-left: 100px;"> altura 7m sup. 160m<sup>2</sup> pes 100.000kg</span></p>	<p><b>i</b> És un refugi per donar resposta a l'habitatge en casos de desastres naturals.</p> <p> Ciment sec amb fibres, una làmina de PVC impermeable i una capa superior de fibra permeable per hidratar.</p> <p> 1 hora <span style="margin-left: 100px;"> 10.000€</span></p> <p> 10 anys <span style="margin-left: 100px;"> altura 2,5m sup. 25m<sup>2</sup> pes 3.100kg</span></p>

Aquests dos casos d'estudi segueixen el mateix principi estructural, representen l'execució d'un edifici mitjançant l'estructura suportada per aire a través de l'encofrat, tipologia híbrida que utilitza la pneumàtica com a motlle.

És un sistema patentat per Wallace Neff, als anys 40, per donar resposta a la demanda d'habitatge amb les *Airform House*, un sistema per fer cúpules de formigó que reduïa els costos derivats de l'encofrat i oferia una alternativa de construcció ràpida. Als anys 60, arquitectes com Lloyd Turner o Dante N.Bini el van perfeccionar i promoure.

Aquest mètode té la capacitat de formar un encofrat per una cúpula en qüestió de minuts sense la necessitat de perdre dies o setmanes de feina fent un encofrat tradicional de fusta.

Un sistema constructiu situat al límit de l'arquitectura pneumàtica que forma edificacions no efímeres, incapaces de desaparèixer sense deixar rastre.

Entre els motius pels quals no s'ha consolidat a l'actualitat hi ha la manca d'innovació en els processos constructius des dels seus orígens.

El confort tèrmic és el seu principal avantatge, és un sistema que permet optimitzar el confort tèrmic en relació amb les altres estructures, això és gràcies a la utilització d'un material sòlid com el formigó, en el cas històric, i de terra, en el més contemporani.

Un dels aspectes més favorables d'aquesta tipologia és la vida útil, mitjançant la tècnica de la pneumàtica es forma una clova que pot perdurar desenes d'anys.

No obstant, aquesta durabilitat no està directament relacionada amb la membrana pneumàtica que fa de motlle sinó amb la utilització de materials com el formigó i l'armadura que formen la clova de formigó. L'element pneumàtic no és reutilitzable.

Aquestes propietats el fan viable per solucionar el present i el futur dels problemes d'habitatge en camps de refugiats i desplaçats, és un sistema que garanteix l'estabilitat i proporciona confort tèrmic i acústic durant un llarg període de temps. És un sistema robust que permet suportar els agents climàtics i humans en països amb conflictes armats i desastres climàtics.


## 7.2 Estructura inflada amb aire amb paret doble


Pavelló Fuji, 1970, Yukata Murata


Air mountain pavilion, 2019, Aether




**i** És un pavelló per fer presentacions multimèdia, el pavelló fa de fons escènic per projeccions de cinema, instal·lacions sonores i projecció d'imatges, transformant l'espai i crear mons virtuals.

 15000m<sup>2</sup> de polivinil de colors, hypalon impermeable i recobriments interior de PVC per reduir la permeabilitat.


 16 hores


 Desconegut


 1 any


 altura 30m  
sup. 2000m<sup>2</sup>  
pes 55.000kg


**i** És un pavelló multiús dissenyat per l'Oct Phoenix Flower Carnival per albergar concerts, conferències i tallers, mentre que l'exterior convida els visitants a jugar i a rebotar sobre la superfície inflable.

 Format a partir de diverses capes de PVC transparent.

 4 hores

 19.000€

 3 mesos

 altura 8m  
sup. 520m<sup>2</sup>  
pes 1.400kg

Aquests dos casos d'estudi, representen l'evolució de les estructures suportades per aire d'una sola membrana, evolucionant cap a una tipologia estructural inflada amb aire amb paret doble. No segueixen el mateix sistema constructiu d'inflat, el pavelló Fuji s'infla per parts i s'uneixen mecànicament per crear el conjunt del pavelló, mentre que l'Air mountain ha estat dissenyat perquè s'infla com a conjunt sense la necessitat de maquinària externa de muntatge.

Aquestes estructures presenten avantatges significatius respecte al tema del confort tèrmic, s'aconsegueix mitjançant l'encapsulament de l'aire, aquest té el coeficient de conductivitat molt petit, afavorint el confort al seu interior i la reducció de costos en els sistemes de climatització interiors.

És una tipologia constructiva que permet desaparèixer sense deixar rastre, considerant-se un element efímer, lleuger i instantani.

La configuració d'aquests elements és clau per agilitzar el temps d'inflat, es pot dur a terme mitjançant diferents tècniques. En el cas d'estudi dels anys seixanta van utilitzar uns coixins cilíndrics tubulars, els quals els inflaven a terra un per un i, mitjançant una grua, els aixecaven i unien entre ells amb fixacions mecàniques. Aquest sistema d'inflat i muntatge presentava mancances d'eficiència i no era tan instantani com els casos més contemporanis.

Les estructures contemporànies estan formades per un sol element que, a mesura que es va inflant, va omplint anells d'aire, proporcionant rigidesa a l'estructura i agilitzant el procés d'inflat. Aquest avenç en el disseny ha proporcionat la categoria d'element efímer i el situa en bona posició per resoldre les necessitats immediates i temporals d'espais expositius o centres d'esdeveniments de grans dimensions.

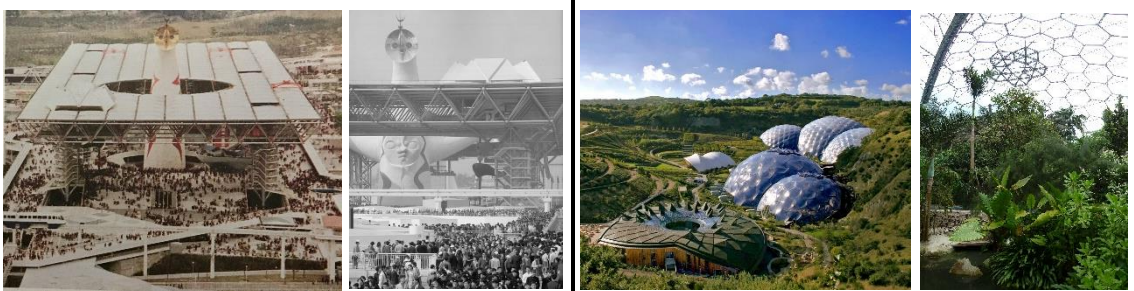
El sistema constructiu usat té certs desavantatges: com que són membranes dobles, l'estructura pesa el doble que les d'una única membrana. No obstant, aquest sistema té més avantatges que inconvenients, es tracta d'una estructura estable que no necessita un subministrament d'aire constant, per tant, el cost de manteniment és inferior.

Un dels avenços més significatius que presenta aquest sistema és la incorporació d'obertures i d'accessos. És molt senzill, l'aire queda encapsulat a l'interior de l'estructura i es pot configurar l'espai per crear obertures, afavorint les ventilacions creuades i la il·luminació directa natural. Aquestes propietats li atorguen la possibilitat de ser emprats en grans o petits esdeveniments temporals, sense la necessitat de grans maquinàries ni inversió de diners.

### 7.3 Estructura híbrida, parcialment pneumàtica

Coberta del festival, 1970, Kenzo Tange

Cúpula d'Eden, 2000, Nicholas Grimshaw



La coberta de la plaça era un punt de trobada i d'unió amb la resta de pavellons que havia de donar sostre a conferències, concerts i exposicions tecnològiques.



6 capes de polièster, 1 capa de protecció d'agents atmosfèrics, 1 reflectant d'escalfor, 3 capes portants, un segellador de juntes + perfils tubulars d'acer.



1 hora per coixí



Desconegut



9 anys



altura 30m  
sup. 31.500m<sup>2</sup>  
pes 5.720.000kg



Es tracta d'un bioma de fauna i flora, que alberga milers d'espècies de plantes simulant un ambient de selva tropical i un de clima mediterrani.



ETFE + Perfils tubulars d'acer galvanitzat.



30 min per coixí



90.000.000€



22 anys



altura 55m  
sup. 30.000m<sup>2</sup>  
pes 667.000kg



Aquests dos casos d'estudi representen la innovació tècnica de la pneumàtica combinada amb les estructures lleugeres per crear una estructura híbrida parcialment pneumàtica.

El sistema híbrid dona un valor afegit a les edificacions, incorporant els avantatges dels dos sistemes constructius que la conformen.

La coberta del festival d'Osaka va ser la primera mostra de les estructures pneumàtiques híbrides, causant un gran èxit entre els seus espectadors. Tot i estar poc desenvolupades als seus orígens va demostrar l'afany i les ganes que hi havia per innovar el sistema constructiu.

Aquestes estructures estan pensades i dissenyades com un LEGO a escala 1:1, es poden muntar, desmuntar i reutilitzar-se. Tot i que el temps de muntatge i d'inflat s'assimila al d'una obra convencional, tenen l'avantatge de ser efímeres i no deixar petjada.

Es fa ús de materials metàl·lics per conformar l'estructura, en ambdós casos s'utilitzen perfils tubulars d'acer amb variacions a les seves prestacions, aquests garanteixen una estabilitat estructural amb el menor pes possible. A la coberta de la plaça del festival d'Osaka es fa ús de la triangulació per crear un pla horitzontal de 7 m de cantell que suporta una quadrícula de coixins pneumàtics de 10,8 x 10,8m, mentre que a la cúpula d'Edèn s'utilitza un sistema de cúpules geodèsiques formades mitjançant 625 hexàgons, 16 pentàgons i 190 triangles que abracen coixins d'aire de diferents dimensions.

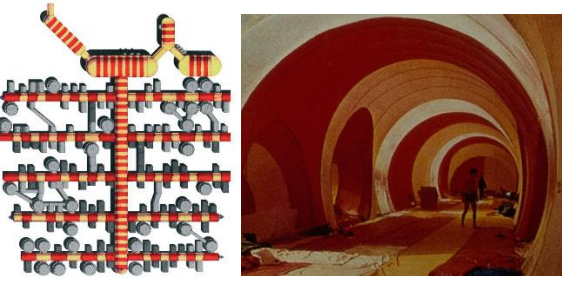











Quan s'analitza el pes d'aquestes dues estructures es veu l'evolució dels materials i les tècniques constructives, la investigació ha permès reduir el pes, alleugerint la cúpula d'Edèn a 1/8 part del pes del sostre de la plaça del festival d'Osaka.

Per dur a terme l'embolcall es fan servir coixins pneumàtics. Quan van aparèixer, l'any 1970, no estaven tan desenvolupats com avui en dia, estaven formats per multitud de capes que en dificultaven l'execució i l'inflat, aportaven un sobrepès a l'estructura i pèrdues per les juntes. Gràcies a l'aparició del material ETFE s'ha pogut reduir el gruix, el pes i el temps d'inflat.

Es tracta d'un material del futur que és reciclable, té una llarga vida útil, és aïllant i no necessita manteniment, protegeix dels raigs ultraviolats, és impermeable i garanteix la pressió de l'aire a l'interior. Aquest sistema, amb un pes equivalent a l'1% del vidre, proporciona més aïllament que el vidre, ja que actua com una manta tèrmica per l'estructura.

Una tipologia que es presenta com el futur de l'arquitectura pneumàtica a llarg termini, ofereix la possibilitat de crear estructures lleugeres i de grans superfícies, que deixen passar la llum a l'interior, possibilitant el tancament d'estadis o grans espais públics, com l'Allianz Arena d'Herzog & de Meuron a Munich o el Water Cube de PTW Architects a Beijing.

## 7.4 Estructura suportada per aire

Instant City, 1971, Prada Poole	Second Dome, 2016, DOSIS architecture
	
<p><b>i</b> La ciutat instantània va ser un experiment de vida en comunitat basat en l'autoconstrucció de la primera ciutat pneumàtica del món, coincidint amb el Congrés del ICSID.</p> <p> 15000m<sup>2</sup> de film de PVC de 0,2mm.</p> <p> 7 hores</p> <p> 30 dies</p> <p> 1.000€</p> <p> altura 6m sup. 700m<sup>2</sup> pes 7.500kg</p>	<p><b>i</b> Un espai instantani que dona resposta a les necessitats puntuals d'oci i cultura, colonitza amb rapidesa i naturalitat un nou espai, generant interacció social i activant i transformant l'entorn.</p> <p> PVC transparent de 0,1mm.</p> <p> 2,5 hores</p> <p> 15 dies</p> <p> 15.000€</p> <p> altura 8m sup. 315m<sup>2</sup> pes 1.000kg</p>

Aquests dos casos d'estudi representen l'essència dels elements efimers aconseguits amb el tractament de l'aire.

Una tipologia on el 100% de l'estabilitat depèn d'una fina làmina que forma l'estructura i l'embolcall, situant-la com la més lleugera de totes. Aquesta lleugeresa li permet desaparèixer ràpidament sense deixar rastre.

La tipologia suportada per aire requeria innovació del material, al tractar-se d'un sistema monomaterial que configura la totalitat de l'espai, l'evolució es centra a reduir el gruix, el pes i millorar la permeabilitat del material, aspectes que han permès l'evolució d'aquest sistema.

Pel que fa als materials, s'ha aconseguit reduir el gruix del material utilitzat a la ciutat instantània (0,3-0,2mm) en comparació amb l'usat a la Second Dome (0,1mm). Aquests valors han repercutit directament en el pes del conjunt.

Per poder considerar-se una tipologia instantània, el temps d'inflat ha de ser raonablement ràpid, aquest era lent a causa del gran volum d'aire a omplir.

Per tal de reduir el temps d'inflat, ha estat necessari invertir en les tècniques de disseny per resoldre amb precisió les unions i les juntes. En el cas de la Second Dome, apareixen cremalleres que fan d'unió entre segments, també formen les entrades i sortides dels espais, això minimitza les fuites d'aire i garanteix l'estanqueïtat, aspectes que han permès reduir el temps d'inflat de la Second Dome en qüestió de minuts.

Presenten certes mancances que no s'han corregit, l'estabilitat continua essent el principal problema. Afortunadament, la tècnica de la dinàmica de fluids permet generar un disseny amb tirants i pesos que minimitza els efectes provocats pel clima.

En aquest sistema constructiu, el tema del confort tèrmic presenta problemes ja que continua essent una finíssima capa la que divideix l'interior de l'exterior, aquesta capa protegeix dels raigs ultraviolats però no de la variació de temperatures.

## 8. Categorització

Mitjançant les dades extretes de l'anàlisi comparatiu i evolutiu dels casos he aconseguit una base de dades d'informació útil que m'ha servit per realitzar una catalogació de les estructures pneumàtiques. De forma gràfica s'aconsegueix veure visualment els avantatges i els inconvenients de cada tipologia, quines són les més propenses a evolucionar i quines poden resoldre amb més eficiència el tema dels refugis en casos d'emergència.

Pretén ser un promptuari que defineix les característiques generals de cada tipologia plasmades en forma de gràfic, representant valors com la lleugeresa, la vida útil que ens mostra els tipus més adequats per dur a terme intervencions efímeres, el temps d'inflat, així com el pes i l'estabilitat estructural de cada una.



Fig. 18: Gràfic de barres per categoritzar els diferents casos d'estudi en funció de les dades obtingudes. Font: Elaboració pròpia. (2023)

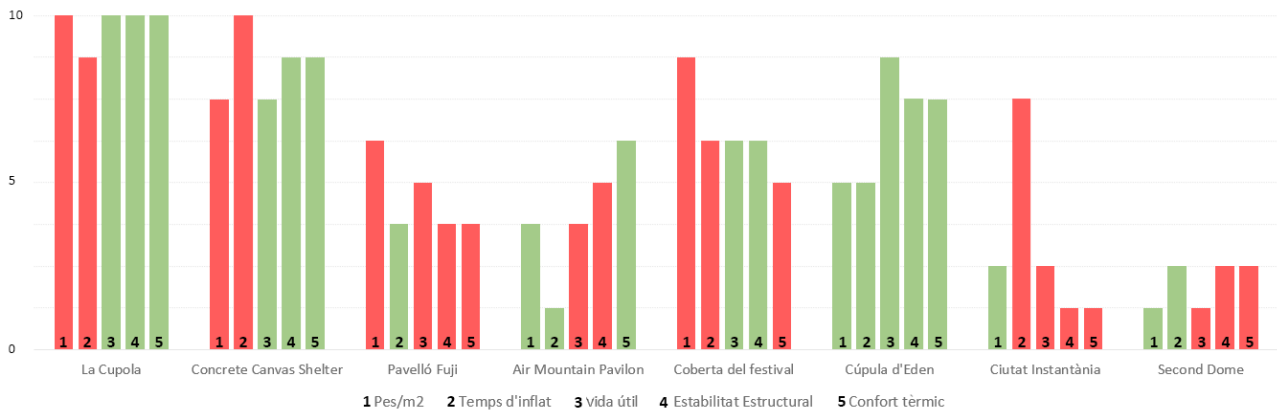


Fig. 19 Gràfic de barres per comparar els diferents casos d'estudi. Font: Elaboració pròpia. (2023)

El gràfic de barres per comparar els diferents casos d'estudi està representat amb dos colors, el vermell té la connotació de negatiu mentre que el verd de positiu.

No tots els aspectes analitzats tenen el mateix valor representatiu, els casos com la vida útil, l'estabilitat estructural i el confort requereixen de valors elevats per considerar-se òptims, mentre que els aspectes de pes i de temps d'inflat necessiten que els valors siguin els més inferiors possibles.

Dels gràfics anteriors (Fig 19) es conclou que el cas d'estudi de la Cúpula d'Eden és el més òptim pel que fa als aspectes analitzats de pes, temps d'inflat, vida útil, estabilitat estructural i confort tèrmic.

## 9. Conclusions

En molts casos, l'arquitectura inflable està més associada a una obra d'enginyeria que no pas a un producte de disseny, associant-la a mètodes estandarditzats i industrialitzats que s'utilitzen a les estructures neumàtiques i que impedeixen la innovació en relació amb la conformació de l'espai.

No obstant això, obres recents com la *Second dome*, *Air mountain*,... posicionen a aquest tipus d'estructures novament al centre de l'especulació disciplinària. Després de l'aturada de producció dels anys 80-90 s'està produint una resurrecció de l'arquitectura inflable amb un increment de l'interès i el desenvolupament d'aquesta tipologia d'estructures, prenent protagonisme en intervencions efímeres, actes culturals, centres d'exposicions, estadis esportius,...

Els factors que impliquen el desenvolupament i l'evolució de les estructures pneumàtiques responen a reptes socials, econòmics, tecnològics. Entre els quals, n'identifico quatre com els principals reptes als quals s'enfronta l'arquitectura inflable:

### Condició d'efímer

L'arquitectura inflable incorpora la condició d'efímer, capaç d'aparèixer i desaparèixer sense deixar rastre. A partir de la comparació de casos d'estudi puc determinar que quan més ens allunyem de la pneumàtica, menys efímeres es tornen les intervencions, en conseqüència més petjada presenten.

Aquestes estructures inflables tenen la capacitat de no alterar ni afectar el sòl, deixant una empremta mínima. La seva evolució se centra en la reducció del pes total de l'estructura. Les estructures neumàtiques més radicals, és a dir les que utilitzen menor quantitat de material sòlid, resulten ser les més efímeres.

De les tipologies estudiades, s'ha demostrat que les estructures suportades amb aire són les que aconseguen reduir l'empremta al mínim, són les més lleugeres. Ara bé, han de millorar amb el tema d'inflat, intentant apropar-se als valors de les estructures amb doble capa, per tal de possibilitar un muntatge i desmuntatge més ràpid i eficient.

### Condició de reutilitzables

Gràcies a l'anàlisi dels diferents casos d'estudi, he constatat que la condició de reutilitzables implica diversos factors relacionats amb el material i amb la capacitat de muntar-se i desmuntar-se. Antigament, es feien servir materials derivats del petroli, és a dir no sostenibles ni reutilitzables, i avui en dia es fan servir materials com l'ETFE, amb un llarg període de vida útil. Els materials estan preparats per substituir les membranes ja existents i per ser reutilitzats un cop hagin fet la seva funció. Les intervencions s'han de poder empaquetar i transportar per

instal·lar-les en diferents ubicacions sense la necessitat de generar residus i amb la menor maquinària possible.

Les tipologies amb més futur són vàries. En primer lloc, les que utilitzen com a material principal l'ETFE, en segon lloc, les tipologies que tenen capacitat de muntatge i desmuntatge, en aquest aspecte les estructures híbrides tenen molt de futur

#### Condició d'optimitzar el control climàtic

Per defecte, s'entén que una única làmina de PVC no pot competir contra un aïllament convencional. Malgrat això, amb l'aparició de l'ETFE i la innovació dels sistemes constructius s'està canviant la percepció que l'arquitectura inflable és poc confortable. La utilització de sistemes constructius basats en coixins d'aire permet retenir al seu interior una massa tèrmica en forma d'aire que aïlla tèrmicament de l'exterior. Optimitzar el confort implica reduir les pèrdues calorífiques que es produeixen a les juntes, millorar la permeabilitat del material i utilitzar sistemes que emmagatzemin o no deixin perdre l'energia.

De les tipologies estudiades les que disposen d'un major confort climàtic són les que tenen un gruix de material sòlid. No obstant, el futur depèn d'innovar en les tipologies híbrides i de doble capa, les quals són les més propenses a evolucionar i aconseguir l'optimització del confort climàtic.

#### Condició de rapidesa de muntatge

L'arquitectura inflable es presenta com el futur per solucionar la urgència que requereixen els habitatges en situacions d'emergència, una solució que necessita la condició de rapidesa per generar en qüestió d'hores agrupacions d'habitatges capaços de funcionar durant un període de temps determinat. Això exigeix emprar sistemes constructius basats en l'auto muntatge, que no necessitin mà d'obra especialitzada ni gran maquinària.

No obstant, encara s'ha d'acabar de trobar l'equilibri entre l'estabilitat estructural i la rapidesa de muntatge de les tipologies estudiades. Les que estan més encaminades a assolir-ho són les híbrides i les de doble membrana, ja que són tipologies lleugeres, estables estructuralment i ràpides d'aixecar.

La investigació en aquest sector és d'important rellevància, tant per a la societat com per a la mateixa disciplina. Es tracta d'una tipologia relativament nova i poc consolidada en comparació amb l'arquitectura tradicional, malgrat que presenta molts interrogants encara sense resposta. Una arquitectura que es veu afectada per les variacions socials, econòmiques i culturals, que als anys setanta un increment del preu del PVC la va fer desaparèixer del mapa gairebé per complet.

La solució als principals reptes que enfronta l'arquitectura inflable passa per la utilització de sistemes híbrids o de doble membrana per obtenir l'equilibri, per una part garanteixen aspectes d'estabilitat estructurals i de confort, per l'altra, aporten aspectes de lleugeresa i rapidesa de muntatge.

## 10. Bibliografia

- Banham, Reyner. 1969. *The Architecture of the Well-tempered Environment*. Londres: Architectural Press.
- Collado Baíllo, Isabel. 2022. *Walter Bird y las primeras Construcciones neumáticas*. Revista Europea De Investigación En Arquitectura. (20): 119-140. <https://oa.upm.es/71088/>
- Dent, Roger. 1975. *Arquitectura neumática: nuevos caminos de la arquitectura*. Barcelona: Editorial Blume.
- Dessauce, Marc. 1999. *The Inflatable Moment: pneumatics and protest in '68*. China: Princeton architectural press.
- Herzog, Thomas. 1977. *Construcciones neumáticas: manual de arquitectura hinchable*. Barcelona: Gustavo Gill.
- Herwig, Oliver i Thallemer, Axel. 2005. *Air: Unity of Art and Science*. Stuttgart: Arnoldsche
- Muñoz Mínguez, Lucía. *Arquitectura de emergència: Prototipos contemporáneos efímeros*. Treball de fi de Grau, Universitat de Valladolid, 2015. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14062>
- Prieto González, Nuria. *La Arquitectura de José Miguel de Prada Poole: teoría y obra*. Tesis doctoral, Universidad da Coruña, 2013. <http://hdl.handle.net/2183/11917>
- Poveda, Paulino. *Arquitectura neumática: Prada Poole y los arquitectos visionarios. ¿Utopía o realidad?* Treball de fi de Grau, Universitat de Valladolid, 2019. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/37724>
- Ronald, Conrad. 1973. *Frei Otto - Estructuras: estudios y trabajos sobre la construcción*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Songel Gonzalez, Juan María. *Frei Otto y el Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart: una experiencia de metodología, investigación y sistematización en la búsqueda de la forma resistente*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València, 2005. <http://hdl.handle.net/10251/2346>
- Targarona Vera, Ricard. *ETFE: El futur de les façanes?* Treball de fi de màster, Universitat Politècnica de Catalunya, 2012. <http://hdl.handle.net/2099.1/18326>
- Vargas Sánchez, Isabel. *Arquitectura neumática: El ETFE y su uso en emergències temporales*. Treball de fi de Grau, Universitat Politècnica de Madrid. 2018. <https://oa.upm.es/51851/>
- Valtueña Tinco, María. *Estructuras neumáticas: Habitar en situaciones de emergència*. Treball de fi de Grau, Universitat Politècnica de Madrid. 2018. <https://oa.upm.es/50510/>
- Zabala, José. 2005. *Inflatables: 100 Years Blowing...* Quaderns d'arquitectura I Urbanisme. (246): 18-29. <https://raco.cat/index.php/QuadernsArquitecturaUrbanisme/article/view/238936>