

Estrategias de diseño para el traslado y reutilización de construcciones en zonas extremas desérticas.

Estudiante: Pamela Sarai Salas Arriagada.

Profesor guía: Cristian Eduardo Muñoz Díaz.

Resumen

Una gran mayoría de las construcciones ubicadas en zonas extremas desérticas utilizadas en el rubro de la minería, se encuentran en desuso debido a las nuevas y mejoradas tecnologías impulsadas para sobrevivir en sitios de climas extremos, compleja topografía, difícil accesibilidad, etc. La industria de la minería ha hecho uso de la construcción modular en sus instalaciones habitables, sin embargo, no ha existido una intención, necesidad o exigencia de desmontar, trasladarlas y rehabilitarlas para un nuevo uso. Ante esta problemática, la siguiente investigación desplegará criterios de diseño desde la perspectiva técnica constructiva que permitan el montaje/desmontaje y traslado de las instalaciones ubicadas en zonas extremas desérticas, los que fueron sometidos a una ponderación según grado de importancia y se utilizaron para comparar sistemas constructivos, siendo el sistema neumático el que fue seleccionado como el más ventajoso a la hora de ser transportado.

Palabras claves: Construcciones en zonas extremas, reutilización, traslado.

1. Introducción

Las construcciones deben adaptarse a una serie de factores según el emplazamiento en el que se encuentren, es por esto que, la dificultad aumenta una vez que se emplazan en zonas extremas debido a su compleja geografía, distancia respecto de la urbanización, y en algunos casos, la altura sobre el nivel del mar. Asimismo, las condiciones climáticas son duras y cambiantes, las cuales influyen directamente en la planificación, gestión y ejecución de obra (ACHS, s.f.). Además, se debe tener en consideración el difícil acceso a estos lugares, debido al déficit de caminos adecuados para acceder con maquinarias, lo que entra en juego a la hora de pensar en las estrategias constructivas de estas instalaciones (Sarvut, 2018).

Chile es uno de los países reconocidos por su producción en la minería, siendo calificado como el primer país productor de cobre con un 28,5% de la producción mundial (SERNAGEOMIN, 2021). A raíz de esto, la producción de tecnologías pensadas en la extracción de materias primas es mayor, por lo que también han avanzado las construcciones dirigidas para quienes desempeñan esta labor (ECOSAN, 2017).

Una gran parte de las instalaciones mineras habitables se concentran en terrenos alejados de las ciudades, principalmente en zonas extremas desérticas, ubicadas en gran altura respecto al nivel del mar, con fenómenos de calor extremo, en donde las temperaturas tienden a ser altas de día y muy bajas de noche, además presentan bajos niveles de precipitaciones y nubosidad por lo que la radiación es intensa (Salinas, 2009). Es por lo anterior que se requiere entregar una estructura que proporcione confort, un alto estándar de calidad y seguridad; además de ser realizadas en el menor tiempo posible y contar con mano de obra calificada. En consecuencia, las empresas constructoras proveedoras del material, se han inclinado por utilizar la construcción modular, de esta forma pueden levantarse edificios de carácter temporal dedicados a los especialistas de la minería (Suplemento MATERIALES Y PROCESOS, 2019). Las empresas mineras cada cierto tiempo cambian de lugar de trabajo según proyecto, debido a esto, al terminar la vida útil de las construcciones habitables, se opta por una nueva edificación que cumpla con las exigencias de la nueva empresa instalada, por esta razón, una gran mayoría de estas construcciones quedan en desuso (Correa, 2019).

Bajo esta problemática, existe un aumento en el volumen de los materiales desperdiciados por la construcción, creando un impacto energético innecesario, un desperdicio del esfuerzo utilizado en el proceso de armado y por sobre todo, produce un aumento en la contaminación del medio ambiente, lo que afectará a la futura humanidad. Es por esto que la legislación tanto nacional como mundial, presiona para que exista conciencia de los criterios ecológicos y sustentables (Kronenburg, 2007).

En consecuencia del problema planteado, uno de los pasos más importantes es encontrar las variables que predominan en los modelos constructivos que serán observados, las que permitan la planificación del montaje/desmontaje y traslado de estos. A partir de la perspectiva medioambiental se plantea la pregunta ¿Cuáles son los aspectos relevantes de la definición del sistema técnico constructivo que permita el traslado y reutilización de las edificaciones en zonas extremas?. Para responder a esta pregunta, se consideró desarrollar una metodología que permitiera definir que variables son significativas en zonas extremas desérticas y llevarlas a una comparación de sistemas constructivos que pudiesen ser utilizados en este contexto.

2. Antecedentes

2.1. Construcciones en zonas extremas

Desde los comienzos, los seres humanos han buscado elementos en el entorno que satisfagan sus necesidades, como la vestimenta, el abrigo y la protección. Es así como instaló un sistema llamado refugio, que le permitió adaptarse al ambiente. El humano puede desarrollarse física, mental y moralmente en determinadas condiciones, es por esto que, desarrolla estrategias de adaptación para las circunstancias del lugar de emplazamiento. (Valencia, 2020). El sistema de adaptación puede demostrarse cuando se observan las variadas formas en las que están construidas las viviendas hechas por diversos grupos étnicos, pero establecidos en zonas climáticas/topográficas similares (Figura 1).



Figura 1: Maneras de construcción como respuesta al clima y entorno. Fuente: Valencia, 2020.

Las construcciones ubicadas en zonas extremas tienen la particularidad de enfrentar aspectos que el territorio les impone, es por esto que, las obras emplazadas en estos terrenos se consideran “sin límites” lo que pretende demostrar que estas instalaciones pueden ser emplazadas en cualquier sitio. Estos territorios son reconocidos por sus duras condiciones climáticas, su geografía, la poca accesibilidad, la posible escasez de agua y la poca o incluso nula vegetación de estos terrenos (Aguirre, 2004). Estos factores entran en juego al momento de diseñar las construcciones actuales ya que requieren de tecnologías e ingenierías que puedan acompañar al concepto “lugar-condiciones-objeto” (Sarvut, 2018). Generalmente, estas edificaciones son de rápido montaje y de dimensiones reducidas; su traslado puede ser por módulos o piezas que luego son unidas cuando llegan al emplazamiento definitivo (Serrano, 2013).

El hombre ha desarrollado tecnologías para dejar su huella en nuevos territorios en los que se ha asentado, tanto que hoy parece que no existe lugar en el planeta que no haya sido descubierto por el humano y sus comunidades. Actualmente es posible producir las condiciones necesarias para la vida humana y para la preservación de ecosistemas. Asimismo, se pueden establecer conexiones entre las zonas extremas de difícil acceso y el continente o ciudad más cercana a esta.

2.2. Sistemas constructivos reutilizables

Los sistemas constructivos reutilizables son aquellos que tienen la posibilidad de desmontarse y volverse a montar con el objetivo de que los componentes o materiales puedan ser reciclados no necesariamente al finalizar el ciclo de vida de estos, sino en muchas ocasiones sucede al terminar el ciclo de un edificio (Maccarini, 2011). Los materiales de construcción son limitados, y la energía empleada en su uso es dispersa, por lo que como solución a esto, se diseña pensando construir de forma desmontable/reutilizable/desplegable (Ross, 2016).

Actualmente, los materiales de construcción pueden ser reciclados en cierta medida, pero en primer lugar deben ser utilizados para luego transformarse en nuevas piezas para nuevos edificios. (Boyle, 2011). Según Lillo (2010), existen algunos principios acerca de la reutilización con el objetivo de fomentar este recurso.

Principio de economía	Principio de reprogramación	Principio de temporalidad
Existe la posibilidad de movilización de menos recursos, lo que podría presentar una ventaja económica.	Se asegura si es posible reutilizar cualquier construcción independiente de la función que se le otorgará, siempre y cuando esta cumpla con algunos principios similares.	Las obras no se encuentran totalmente acabadas, sino en proceso. Cualquier construcción puede estar en constante modificación lo que podría negar su destrucción

De igual manera, estos se refieren, también, a un sistema global del edificio que realiza un flujo de reutilización cíclico, esto se produce a través del proceso de diseño, fabricación, construcción, mantenimiento, desmontaje y almacenamiento. Así mismo, el reciclaje de los componentes estructurales requiere de una energía externa tanto para la demolición, el transporte y los ajustes, lo que podría generar una menor carga medioambiental. (Fujita, 2012).

2.3. Sistemas técnicos constructivos

Según Carrió (2005), el sistema constructivo es un conjunto de componentes que forman un edificio u organización funcional, los cuales le fueron otorgado un propósito en común, ya sea estructural, cerramiento, acondicionamiento o expresión. El sistema es un conjunto articulado construido a partir de unidades, las que a su vez son también construidas por determinados materiales.

Todos estos componentes requieren de un diseño, por lo que se necesita conocer sus exigencias funcionales y someterlos a las acciones que podrían sufrir. También debe considerarse las posibilidades del material tanto en cualidades y vulnerabilidad.

De igual modo, el sistema constructivo incluye las soluciones tecnológicas las cuales representan la base analítica para la construcción, todo con el objetivo de cumplir con la relación tecnología/rendimiento. Por ejemplo, las estructuras de carga, los cierres verticales, cierres superiores, accesorios externos, particiones, techos falsos, etc. (Civiero, 2012).

Asimismo, existe la constante evolución de la industrialización de los procesos de construcción y con esto, una mayor exigencia en cuanto a la calidad del proyecto, lo cual conlleva un control sobre las características de los materiales y componentes utilizados, como también en el rendimiento estructural y medioambiental de las edificaciones. (Tavares, Costa y Varum, 2014).

2.4. Construcciones modulares

El diseño modular es un sistema de construcción que se caracteriza por desarrollar sus componentes en fábrica, ser transportada y montada en el emplazamiento definitivo del proyecto. (Saggaff, 2017).

La construcción modular se enfoca principalmente en industrializar la obra gruesa incorporando las instalaciones, los procesos de carpintería, acabados, divisiones de espacios interiores, superficies, etc.; es decir, se crea un contenedor en la obra. Esta funciona desde el planteamiento de la división de un edificio a partir de módulos que se encuentran completamente terminados en planta, los cuales buscan ser de fácil conexión a la infraestructura. (Richard, 2017.) Este tipo de sistema puede ser constituido por una unidad tridimensional o componentes no volumétricos (Figura 2).

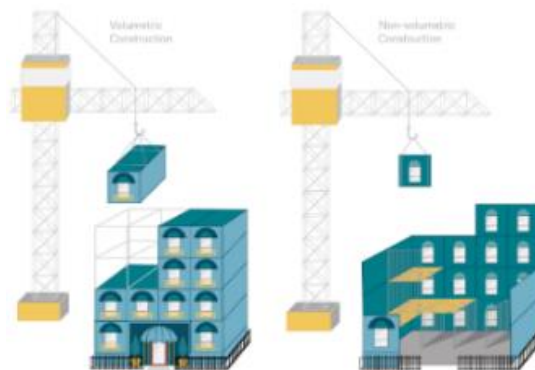


Figura 2: Diferencia entre unidad tridimensional y componente no volumétrico. Fuente: The American Institute of Architects, s.f.

Las unidades tridimensionales son construcciones rígidas que pueden trabajar de forma aislada o en conjunto, estas se unen al llegar a su destino y forman la estructura del edificio; cada unidad

puede encontrarse configurada a partir de uno o más módulos. La mayor parte de estas estructuras se encuentran acabadas en fábricas, entregando los servicios, revestimientos y acabados interiores, lo que permite que su construcción sea finalizada por una mano de obra no especializada. (Venables, Barlow y Gann, 2004).

Esta unidad, es de las aplicaciones más completas en cuanto a estrategias y tecnologías que el sistema industrializado ofrece, ya que la producción en fábrica es llevada al máximo lo que permite un mayor control dentro del proceso (Richard, 2004).

Por otro lado, los componentes no volumétricos son aquellos que la prefabricación sólo contempla elementos de construcción o “sub-ensamblajes”; los que, al llegar a su destino, deben ser conectados por una mano de obra especializada. Generalmente, son elementos estructurales, secciones de fachadas, paneles de muros, tablonos de suelo, estructuras de techo, etc. (The American Institute of Architects, s.f.). Estos tienen una secuencia constructiva desde dentro hacia afuera, ya que se conforman por planos y se van ajustando como cajas. (Smith, 2016).

2.5. Traslado de construcciones modulares

Una vez terminadas las fases de diseño y de producción de los elementos, las estructuras modulares requieren de transporte a la obra para su montaje, lo que pasa a ser un proceso relevante a la hora de llevar a cabo el proyecto, e igualmente es su mayor dificultad, ya que se requieren procedimientos precisos de planificación, toma de decisiones y tecnologías que acompañen el proceso. (Yi, Wang, y Zhang, 2019).

El sistema constructivo tiene una gran incidencia en su transporte, sobre todo influye en la cantidad de unidades que se movilizarán en cada viaje, ya que está la posibilidad de generar roturas o deformaciones de algunos elementos si no se planifica esta fase. Por otro lado, existe la distancia entre la fábrica y el taller lo que condiciona el tipo de transporte y el tiempo empleado en este. (Carrió, 2005). Asimismo, el traslado de las estructuras modulares debe apreciar los diferentes tamaños y cantidad de estas, los cuales vienen condicionados por:

- Tipo de construcción.
- Las normas pertinentes que restringen el tamaño de las estructuras y/o materiales.
- Las dimensiones (anchos, largos y alturas) de la construcción.

3. Métodos

A partir de lo tratado anteriormente, esta investigación se dedicó a encontrar una metodología que tuviera la finalidad de proponer un tipo de sistema constructivo que pudiera ser empleado dentro del contexto desértico, el cual pudiera dar la posibilidad de ser reutilizado, transportado y cumpliera con un estándar técnico semejante a la construcción modular.

Es por esto que, existe el propósito el determinar las variables que deben cumplir los sistemas técnicos constructivos de las edificaciones ubicadas en zonas extremas desérticas, las que permitan su traslado y reutilización para evitar el desperdicio de recursos, y reducir la contaminación por

construcción. Para concretar este trabajo, se hará uso de material bibliográfico con el fin de definir una pauta de evaluación y comparación para distinguir las variables que posibiliten el objetivo.

	Tareas
<p>Etapa 1 Revisión del estado del arte</p>	<p>Revisión de fuentes secundarias acerca de los sistemas constructivos de edificaciones actuales de despliegue y retiro rápido, y su posibilidad de traslación ubicadas en zonas extremas. Con el objetivo de analizar las características del sistema técnico constructivo reutilizable, se realizó una revisión bibliográfica tanto nacional como internacional produciendo un estado del arte, lo que permite aludir los proyectos más recientes caracterizados por su despliegue y retiro rápido.</p>
<p>Etapa 2 Elaboración de una lista que incluya una serie de variables de los sistemas constructivos.</p>	<p>Caracterización de las condicionantes climáticas, topográficas, normativas y tecnológicas de las zonas desérticas de Chile. Con el objetivo de establecer las condiciones del entorno geográfico, normativo y climático para las construcciones en zonas extremas desérticas, se realizó a partir de una revisión bibliográfica nacional (tanto de fuentes secundarias como documentos oficiales) una caracterización de las condicionantes instauradas en las construcciones ubicadas en zona desértica. Esto con el fin de encontrar variables y requerimientos para estas construcciones.</p> <p>Describir y agrupar los sistemas constructivos. A partir de los proyectos investigados en la revisión bibliográfica del estado del arte, se agrupó por tipo de sistema constructivo y fueron definidos de forma descriptiva a partir de revisión bibliográfica internacional y/o nacional.</p>
<p>Etapa 3 Elaboración de un cuadro comparativo entre las variables de los sistemas constructivos</p>	<p>Diseño de la pauta de evaluación y ponderación. Con el objetivo de determinar mediante un cuadro comparativo, cuáles son las variables más relevantes del sistema técnico constructivo que podrían posibilitar el traslado y reutilización de las estructuras, se diseñó e hizo uso de una pauta de evaluación calibrada a partir de la revisión bibliográfica de proyectos destacables que tienen la posibilidad de ser montados/desmontados y trasladados.</p> <p>Validación de la pauta de evaluación: A partir de correcciones empleadas por profesore/as y arquitecto/as, las variables fueron validadas para que estas puedan ser manejadas con otros sistemas constructivos y comprendidas por el lector.</p> <p>Se otorgarán puntajes a cada variable. Con respecto a las variables investigadas a partir de los sistemas constructivos estudiados, se establecieron puntajes según su relevancia dentro de la reutilización y traslado de las construcciones. Los parámetros de la pauta fueron medidos y justificados a partir de los ejemplos investigados.</p> <p>Comparación de porcentajes. Se realizó una comparación entre las ponderaciones otorgadas a las variables, con el fin de identificar y discriminar cuáles son las que juegan con mayor medida la capacidad de reutilización y traslado.</p>

4. Resultados

4.1. Estado del arte

Existen variados y complejos requisitos funcionales respecto a algunos edificios, es por ello que, a lo largo de los años, han surgido distintas formas de habitar las cuales exigen que las construcciones sean flexibles en cuanto a necesidades, tanto por razones ecológicas (en relación al ciclo de vida), económicas, sociales y culturales. Este tipo de arquitectura necesita las habilidades de un diseñador

para beneficiar las variables relacionadas al funcionamiento del edificio y para permitir su desplazamiento de manera que cumplan correctamente sus funciones.

Se llevó a cabo una investigación acerca de los actuales sistemas constructivos desplegados, reutilizables y flexibles, en la que se discutió acerca de las ventajas y falencias de este tipo de construcciones, los cuales tienen el objetivo de ser reciclables y modificables. Se analizaron las mayores tendencias respecto a la construcción temporal y sus características que los transformaban en una arquitectura flexible, independiente del terreno de emplazamiento. Esta investigación revela que los edificios móviles son muy comunes y que siempre lo han sido, e incluso el tamaño y diseño de estos sigue avanzando, por lo que puede ser emplazado en lugares con una sensibilidad medioambiental y proporcionar el mismo confort que un edificio permanente.

4.1.1. Sistemas constructivos

A partir de los sistemas constructivos investigados, se agruparon los distintos sistemas constructivos a contar del texto “Sistemas de estructuras” de Henio Engel (2006), el cual clasifica estructuras a partir de la forma de transmisión de las cargas, los tipos de fuerzas internas y sus características; éstas se pueden clasificar como adaptación de fuerza (forma activa), subdivisión de las fuerzas (vector activo), dispersión de las fuerzas (superficie activa), etc. Una mayor profundidad de la siguiente investigación se encontrará en el Anexo 1.

Forma Activa
<p>Tenso-estructura: Las tenso-estructuras están compuestas por membranas, barras y cables rígidos. Si se actúa sobre los cables, es posible modificar y optimizar la forma de la estructura, e incluso se puede obtener un sistema desplegable (Basso, 2012). Algunos ejemplos investigados son la construcción <i>Assembly Tent Bodo Rasch</i> (1997) y el <i>AT&T Global Olympic Village</i>. (Véase Anexo 2).</p>
<p>Neumática: Las estructuras tipo neumático son aquellas que están formadas por elementos a los que se les otorgan determinadas funciones y aplicaciones una vez alcanzado la forma geométrica del elemento. Dependiendo de la presión del aire, se puede controlar la densidad y el tamaño del refugio (Häuplik-Meusburger & Petrova, 2013). Algunos ejemplos investigados son el <i>Unipart Structure</i>, (2006) y el <i>Salón Airitecture</i> (1999). (Véase Anexo 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja presión: El volumen hinchado constituye el espacio habitable. • Alta presión: El volumen hinchado no es el espacio habitable.
<p>Tienda de campaña: Las tiendas de campaña pueden desplegarse en un corto periodo de tiempo, en cualquier parte del mundo. Generalmente, estos edificios móviles, portátiles, desmontables y modulares se emplazan en lugares remotos y la mayoría de las veces en condiciones extremas. Las tiendas de campaña son los edificios móviles más comunes y arquetípicos, pero el constante avance de la tecnología e innovaciones de materiales, han ampliado su potencial (Krunenburg, 2007). Se investigaron ejemplos de la comercializadora <i>Weatherhaven</i>, tales como el <i>Serie 8</i> y el <i>Deployed Logix</i>. (Véase Anexo 2).</p>

Vector activo
<p>Clicable: El sistema constructivo clicable trata elementos mutuamente soportados, los cuales están dispuestos en circuitos cerrados creando módulos MSE, también conocidos como marcos recíprocos. Para generar estructuras espaciales más grandes, estos pueden conectarse entre sí y generar ese requerimiento (Basso, 2012). La parte plegable de la estructura se encuentra en los rombos formados por “cadenas”. (Puertas del Río, 1990). Esta estructura no se somete a tensiones por lo que debe ser inestable. Para este sistema constructivo se investigó el edificio <i>Olympic Arch</i> (2002). (Véase Anexo 2).</p>
<p>Tijera: El sistema constructivo tijera son estructuras metálicas las cuales están formadas por un conjunto de barras unidas a partir de articulaciones, las que permiten que este sistema sea transformable. Al principio la estructura se encuentra cerrada, plegada y con unas dimensiones reducidas a las que alcanza en el momento del despliegue. Esto es permitido debido a que la barras cuentan con una articulación en sus dos extremos y un nudo en el intermedio, lo que posibilita el giro de estas sin su separación (Crespo, 2017). Se investigaron algunos ejemplos de este sistema constructivo como el <i>Pabellón transportable para exposiciones</i> (1964) y el <i>Nii Juinti</i> (2014). (Véase Anexo 2).</p>

Superficie activa
<p>Núcleo: El sistema de núcleo incluye un ritmo organizativo que permite adaptarse al lugar o a los requerimientos del edificio (Boyle, D. 2011). Este sistema tiene la característica de incluir la corriente principal de la construcción (la rapidez) pero sustituyendo el uso “desechables” a “reciclable” (Wang, G. & Chen, G. 2021, diciembre). Para este sistema se investigaron el <i>Mobile Exhibition Pavilion</i> (2009) y el <i>Mobile Expandable Container Configuration MECC, Weatherhaven</i>. (Véase Anexo 2).</p>
<p>Origami: El sistema origami es una superficie lineal la cual está desarrollada a partir de placas triangulares o cuadradas que permiten el despliegue a través de bisagras cilíndricas (Curlotto, & Gambarotta, 2016). Se investigaron los ejemplos <i>Deployable Emergency Shelter</i> (2020) y el <i>ReCover</i>. (Véase Anexo 2).</p>

4.2. Variables.

Se desplegarán variables que la Norma Chilena de Construcción exige para las zonas desérticas de Chile, específicamente para las regiones incluidas dentro de la zona climática habitacional del Norte Desértico. Así mismo, se describirán las actuales condicionantes climáticas desérticas de Chile. Igualmente, en forma de comparación con los anteriores sistemas constructivos mencionados y descritos, se describirá la tecnología de los actuales campamentos habitables mineros.

4.2.1. Normativa Chilena de Construcción.

Según la NCh1079, la zona desértica de Chile, se ubica en el Norte Desértico (ND). Esta zona posee algunas características climáticas generales, en donde hay poca presencia de precipitaciones y se caracteriza por la fuerte sensación de calor. Las construcciones ubicadas dentro de esta área deben cumplir con una serie de requisitos según esta zona climática como su pendiente, orientación de muros, etc. Además, se recomiendan transmitancias térmicas mínimas para los materiales a ocupar en esta zona.

Por otra parte, la NCh 431 entrega la distribución y magnitud de la carga básica de nieve que se puede depositar sobre una construcción. Todas las construcciones también deben cumplir con una serie de condiciones que la Normativa exige, independiente de su lugar o zona de emplazamiento. La NCh 1537 presenta las cargas permanentes, cargas de suelo y la presión hidrostática que debe cumplir una construcción. Esta norma también se especifica en las cargas de uso de piso y cargas de uso de techo que una construcción debe cumplir. Igualmente, la NCh 433, explica el diseño sísmico que debe cumplir un edificio para la protección de sus habitantes y evitar el colapso de la construcción.

4.2.2. Normas para instalaciones mineras habitables.

Las instalaciones mineras habitables debiesen contar con algunos requerimientos dados por diferentes decretos enfocados en la habitabilidad de establecimientos de trabajos. Unos de ellos es el Decreto 132 Reglamento de Seguridad Minera del cual se toma como referencia el artículo 61, 70 y 394, los cuales tratan la ventilación, desechos, seguridad, confort, etc. Así mismo, del Decreto 594 Condiciones Sanitarias y Ambientales básicas en los lugares de trabajo, se trabajará con los artículos 9, 28 y 29, los cuales se enfocan en las condiciones que debiese cumplir el lugar de trabajo, si es obligatorio el pernoctar de los trabajadores o consumir alimentos. El decreto anterior hace referencia a la búsqueda de las condiciones de habitabilidad mínima dispuestas por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), de la cual se considerarán los requerimientos establecidos para los locales habitables.

Como anteriormente fue mencionado, las principales opciones en la construcción de edificios habitables mineros son la modular, sin embargo, también combinan algunos sistemas para emplear distintas ventajas: (Correa, 2019)

	Sistema técnico constructivo actual
Almacenamiento y transportabilidad	No ahorra espacio. Además de hacer uso de una gran cantidad de transporte.
Mano de obra	Se requiere más mano de obra, ya que la estructura requiere más tiempo de fijación.
Tiempos de prefabricación	Se arman como una unidad ya que es un sistema repetitivo y en serie, por lo que el tiempo empleado en su instalación es largo.
Reciclable y Reutilizable	Tiene la posibilidad de ser reutilizado, pero su traslado y reparación es costoso.
Espacialidad-Flexibilidad	Posee la misma espacialidad interior y no provee flexibilidad de cambios. Además, cuenta con una estructura rígida de crecimiento.

4.3. Pauta de evaluación

A continuación, se realizará una pauta de evaluación de los sistemas constructivos investigados, los cuales fueron seleccionados según el análisis a la Normativa Chilena de Construcción y la Normativa de instalaciones mineras habitables (Figura 3).

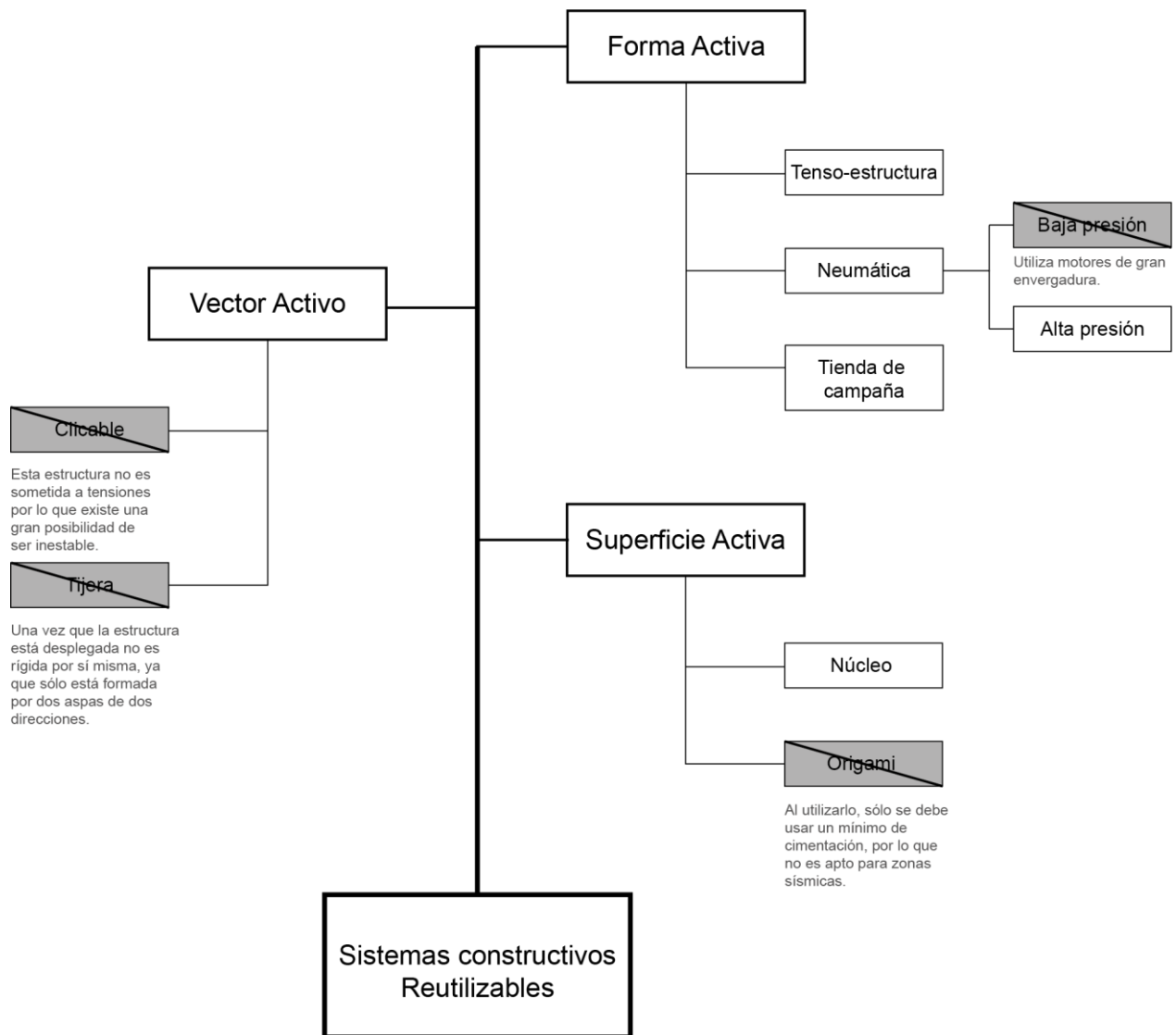


Figura 3: Árbol de sistemas constructivos. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ahora bien, los sistemas escogidos serán evaluados a partir de variables encontradas dentro los sistemas constructivos estudiados, las cuales permiten su reutilización a partir del transporte (Tabla 2). Estas serán ponderadas según el grado de importancia (cantidad de veces mencionadas por autores) dentro de la investigación y requerimiento.

Rúbrica

- **Transportabilidad:** Según Van Gassel (2013), Boeri, Giglio (2020) Hauplik.Meusburger y Petrova (2013) respaldan la variable de transportabilidad como una de las principales características que debiese cumplir una estructura desmontable y reutilizable a partir de la facilidad de esta misma.

El sistema constructivo puede ser transportado por vehículos permitidos según la exigencia de transporte y los más utilizados para el desplazamiento de estructuras en la zona extrema desértica de Chile.

Camiones pluma, permite transportar hasta 12m de longitud debido a las implementaciones al momento del montaje y grúa.

Camiones $\frac{3}{4}$, permite transportar hasta 14,5m lo que corresponde al máximo largo de la rampa. Ambos camiones le permiten movilizar las estructuras con una altura máxima de 3m, por otro lado, las dimensiones de ancho se rigen por exigencias de vialidad. (Véase anexo 3).

- **Ligereza para transporte:** Boeri y Giglio (2020) enumeran algunas de los principales requisitos que un edificio debiese cumplir para la reutilización de este el cual debe tener un alto nivel de ligereza para facilitar el transporte de las estructuras.

El sistema constructivo está dentro del rango de peso máximo que puede soportar el transportarse a partir de los tipos de camiones estudiados anteriormente. Camiones pluma, este transporte permite hasta 15 toneladas añadiendo de 4 a 8 toneladas según grúa.

Camiones $\frac{3}{4}$, este transporte permite trasladar componentes de hasta 28 toneladas.

- **Mínima ayuda de mano de obra:** Van Gassel (2013), Boeri, Giglio (2020), Hauplik.Meusburger y Petrova (2013) hacen referencia a la ligereza que debe tener la estructura para ser manipulada por la mano de obra al hacer uso de recursos laborales como herramientas, andamios y sistemas de accesibilidad para montar el edificio, con la finalidad de hacer más fácil su montaje.

Según la Dirección del Trabajo, la mano de obra puede manipular, manualmente, componentes de hasta 25 kilos.

- **Durabilidad:** Según Van Gassel (2013), Curletto, Gambarotta (2016), Boeri, Giglio (2020) y Fujita (2012) las estructuras reutilizables necesitan garantizar la durabilidad de estos en el caso de ser reinstalada en un futuro, cuidando el desgaste de las conexiones prolongando la vida útil de edificio.
- **Facilidad de montaje:** Boeri y Giglio (2020) definen un sistema reutilizable aquellos que garantizan un montaje y desmontaje rápido permitiendo que estos puedan ser trasladados de un lado a otro en un corto periodo de tiempo.
- **Grado de libertad de colapso:** Según Curletto, Gambarotta (2016), Hauplik.Meusburger y Petrova (2013) el sistema constructivo reutilizable debe tener un grado de libertad de colapso el cual es necesario para el despliegue y plegado de la estructura.

Cada variable será puntuada desde el número 1 hasta el 3, variando el significado de cada puntaje según ítem. Así mismo, serán ponderadas por el grado de importancia, es decir, los aspectos que más se repetían fueron considerados los más destacados (Tabla 1).

Tabla 1: Puntajes

	1	2	3
Transportabilidad x2	Debe utilizar una gran cantidad de vehículos	Utiliza una cantidad de vehículos media	Utiliza una pequeña cantidad de los vehículos permitidos.
Ligereza para transporte x1,5	Estructura pesada	Estructura con un peso medio	Estructura liviana
Mínima ayuda de mano de obra x0,5	Estructura pesada para mano de obra.	Estructura dentro de la mitad superior del rango	Estructura dentro de la mitad inferior del rango.
Durabilidad x2	No tiene gran durabilidad	Durabilidad media	Larga durabilidad
Facilidad de montaje x0,5	Montaje en un largo periodo de tiempo	Montaje dentro del límite del periodo de tiempo	Montaje inmediato.
Grado de libertad de colapso x1,5	No es un sistema colapsable	Cuenta con poco grado de libertad de colapso	Fácil colapso

La rúbrica fue validada por el especialista Andrés Sierra, arquitecto de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Tabla 2: Pauta de evaluación

	Tienda de campaña	Neumática	Tenso-estructura	Núcleo
Transportabilidad	6	6	4	2
Ligereza para transporte	4,5	4,5	3	3
Mínima ayuda de mano de obra	1,5	1,5	1	0,5
Durabilidad	4	4	6	6
Facilidad de montaje	1	1,5	0,5	1,5
Grado de libertad de colapso	3	4,5	1,5	1,5
Total	20	22	16	15,5

A partir de los resultados de la pauta, el sistema neumático es el sistema que posee mayor cantidad de puntos requeridos para ser utilizada como una estructura reutilizable dentro del contexto de zona extrema desértica de Chile. Este sistema presenta varias ventajas que pudiesen ser aprovechadas tales como el cumplir con la ligereza y la flexibilidad que se necesita para ser vuelto a usar una

considerada cantidad de veces. Este cuenta con un grado de durabilidad ya que en su mayoría se encuentran contruidos por tejidos de nylon herméticos, los que, con un especial cuidado, podrían durar hasta 20 años (DUOL, 2019). Aun así, el hecho de ser una estructura inflada por aire, ésta está condicionada por el motor con el que debe ser inflada, sin embargo, existen dos tipos de sistemas, el de baja presión y el de alta presión, siendo este último el que cuenta con una menor necesidad de un gran motor.

Por otra parte, el sistema núcleo fue el sistema que cuenta con menos puntos ya que es un sistema que requiere una gran cantidad de vehículos para ser movilizado al poder encontrarse adosado a otros varios módulos tridimensionales. Asimismo, este cuenta con una baja flexibilidad y libertad de colapso al ser un sistema cerrado, igualmente este cuenta con poco grado de manejabilidad para la mano de obra, por lo que llega al lugar de emplazamiento tal cual como salió de fábrica. Sin embargo, no se desprecia la ventaja de ser lo suficientemente resistente para ser utilizado repetidamente.

5. Conclusiones

A partir de la investigación planteada, se concluye que las estructuras reutilizables y trasladables deben contar con una serie de aspectos que permitan estos atributos, aun así, existen algunos más relevantes a la hora de proyectar junto a un sistema constructivo. Estas variables son mayormente asociadas a su transporte y la forma de unión de sus componentes, las cuales están relacionadas al mínimo desgaste de los elementos para poder ser reciclados y utilizados nuevamente el mismo contexto desértico. En este sentido, una de las variables consideradas más importantes es la transportabilidad de la estructura y su condición de durabilidad.

En cuanto a la clasificación de los sistemas, estos son relativamente nuevos dentro de la arquitectura, los cuales cuentan con actuales tecnologías de desarme y despliegue, aún así una parte de estos no pudo ser utilizada dentro de la pauta ya que no contaba con cualidades que la normativa chilena exige; sin embargo, si estos son moderadamente modificados, podrían ser utilizados de igual forma. Los sistemas llevados a la pauta fueron considerados ya que contaban con la mínima exigencia, por lo que también podrían ser modificados a la hora de ser utilizados.

Al momento de elaborar el estado del arte, se encontraron dificultades con respecto a la investigación de estructuras asociadas a la reutilización, ya que, aunque es una exigencia mundial, una limitada cantidad de investigadores desarrollan sistemas constructivos reutilizables, e incluso una gran mayoría de los sistemas desplegados son también efímeros, por ende, no cuentan con la posibilidad de ser utilizados nuevamente.

La pauta de evaluación fue compuesta a partir de conceptos relevantes mencionados en distintos textos, la cual podría ser utilizada dentro de cualquier otro contexto, siempre y cuando se considere la normativa exigida para otros climas y emplazamientos. La rúbrica fue desarrollada para cumplir con una conciencia ecológica a partir de las variables de reutilización y desplazamiento.

La investigación se encuentra exclusivamente vinculada a las factibilidades de transporte para su reutilización en zonas extremas desérticas de Chile, es por esto que no se despliega un juicio integrado respecto a la espacialidad, economía, cultura, entre otros, sin embargo, es un paso para que a futuro estas variables puedan incluirse para alcanzar el máximo diseño sostenible.

Agradecimientos

Se manifiesta el aprecio por contribuir en esta investigación a Francis Pfenniger, docente y arquitecto de la Universidad de Chile; Andrés Sierra, arquitecto de la Pontificia Universidad Católica de Chile; y por último Paula Orta, arquitecta de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Referencias

- Aguirre, Max. (2004). Una arquitectura de la negatividad: La modernidad de la arquitectura de las salitreras. *ARQ (Santiago)*, (57), 61-63. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962004005700016>
- Asociación Chilena de Seguridad. (s.f.). Los Riesgos del Trabajo en la Alta Montaña. https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/los-riesgos-del-trabajo-en-la-alta-monta%C3%B1a.pdf?sfvrsn=bd4d4578_0
- Atarer, F., Korkmaz, K. & Kiper, G. (2013, 20 septiembre). Design of Reconfigurable Deployable Structure. *Proceedings of the First Conference Transformables 2013*. https://www.researchgate.net/publication/257536960_Design_of_Reconfigurable_Deployable_Structure
- Basso, P. (2012, 11 septiembre). Deployable Structures. *Advances in Science and Technology*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.83.122>
- Boeri, A., & Giglio, F. (2020). *Emergency driven innovation : low tech buildings and circular design* (1st ed. 2020.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-55969-4>
- Boyle, D. (2011). "Reusable Building Systems". *Architecture Theses*. 71. <https://docs.rwu.edu/archthese/71>
- Carrió, J.M. (2005). La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. *Procedimientos para su industrialización. Informes De La Construcción*, 57, 37-54.
- Crespo, I. (2017). *Desmontabilidad y rigidez: estructuras desplegadas y espaciales fijas. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Aeronáuticos (UPM) [antigua denominación]*.
- Civiero, P. (2012). Sistemi costruttivi industrializzati per l'edilizia residenziale: il sistema CCCabita/Industrialised constructive systems for residential buildings: the CCCabita system. *Techne*, 4, 355-365.
- Correa, E. (2019). /Entrevistado por Ignacio Pérez Testart. Módulos adaptables para la industria y el trabajador minero. Un nuevo espacio para prefabricado adaptable al ciclo minero y sus necesidades programáticas viables.
- Correa, E. (2019). /Entrevistado por Juan José Correa. Del componente al campamento. Replanteamiento del modelo de prefabricación industrializada para Alojamientos mineros flexibles.

- Costo de la Estructura Neumática. (2019, 4 julio). DUOL. <https://duol.eu/es/noticias1/costo-de-la-estructura-neumatica>
- Curletto, G. & Gambarotta, L. (2016, septiembre). Design of a composed Origami-inspired deployable shelter: modeling and technological issues. Proceedings of the IASS Annual Symposium 2016.
- Desarrollo de campamentos mineros incorpora visión arquitectónica. (2019). Suplemento MATERIALES Y PROCESOS, 130. https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/suplemento_campamentos_mineros_2019
- Decreto 132 de 2022 [Ministerio de Minería] Reglamento de Seguridad Minera.
- Decreto 594 de 2019 [Ministerio de Salud] Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.
- Design for Modular Construction. (s.f.) The American Institute of Architects.
- Construcciones modulares y condiciones inhóspitas. (2017, 19 enero). Ecosan Chile. Recuperado 25 de abril de 2022, de: <https://ecosanchile.cl/novedades-construcciones-modulares-y-condiciones-inhospitas-5.html>
- Engel, H. (2001). Sistemas de Estructuras; con un prólogo de Ralph Rapson (1a. ed.) Barcelona.
- Fujita, M. (2012). Reuse System of Building Steel Structures - Structural Performance of Reusable Members and Practical Examples. Key Engineering Materials, 517(), 513–521.
- Häuplik-Meusburger, S. & Petrova, P. (2013). MASH : deployable emergency shelter on Mars ; design studio 2012/13. Amsterdam University Press.
- Instituto Nacional de Normalización. (2008) Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. (NCh 1079).
- Instituto Nacional de Normalización. (2010) Diseño estructural- Cargas de Nieve. (NCh 431).
- Instituto Nacional de Normalización. (2009) Diseño sísmico de edificios. (NCh 433).
- Instituto Nacional de Normalización. (2008) Diseño estructural- Cargas permanentes y cargas de uso. (NCh 1537).
- Kronenburg. (2007). Flexible : arquitectura que integra el cambio. Blume.
- Liu, Z., Gu, Z., Bai, Y. y Zhong, N. (2018) 'Intermodal transportation of modular structure units', World Review of Intermodal Transportation Research, Vol. 7, No. 2, pp.99–123.
- Lillo Navarro, M. (2010). Reciclaje de infraestructuras obsoletas. ARCHÉ. (4-5) 341-348.
- Maccarini, L. H. (2011). El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos. [Tesis doctoral en Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Académico de la Universitat Politècnica de Catalunya.

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.
- NYS ITS. (2011). NYS Project Management Guidebook, New York State Office, Information Technology Services. <http://www.cio.ny.gov/pmmp/guidebook2/SystemConstruction.pdf>
- Pfenniger, F. (s. f.). Arquitectura y construcciones en zonas de climas extremos. *Arquitectura en Acero*. Recuperado 7 de mayo de 2022, de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/arquitectura-y-construcciones-en-zonas-de>
- Puertas del Río, L. (1990). ESTRUCTURAS ESPACIALES DESMONTABLES Y DESPLEGABLES . *Informes de la Construcción*, 42(409).
- Richard, r. B. (2004) Industrialized building systems for housing the 'palette' of options, *International Journal for Housing Science and Its Applications*, 28(1), pp. 1–7.
- Rosenfeld, Y., & Logcher, R. D. (1988). New Concepts for Deployable-Collapsible Structures. *International Journal of Space Structures*, 3(1), 20–32. <https://doi.org/10.1177/026635118800300103>
- Ross, B. E., Chen, D. A., Conejos, S., & Khademi, A. (2016). Enabling adaptable buildings: Results of a preliminary expert survey. *Procedia Engineering*, 145, 420-427.
- Ruiz Paniagua, C. A. (2015). Re-uso adaptativo de espacios arquitectónicos como respuesta al deterioro urbano en el Centro de Tuxtla Gutiérrez [Licenciatura en Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas]. Issu. https://issuu.com/carlosarmandoruizpaniagua/docs/reuso_adaptativo_de_espacios_arquit
- Salinas, J. (2009). *Arquitectura del desierto: revalorización de arquitectura autóctona del Norte de Chile desde un análisis climático*. [Título de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. Repositorio Académico de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Saggaff, A. (2017) "Industrialized building system -an innovative construction method", *MATEC Web of Conference*, Vol. 101, 2017, pp.1-6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710105001>
- Sarvut, T. (2018). Constructive basis for the development of the extreme zones of Siberia and the Russian arctic. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2.13), 75-78.
- Sebestyén, G. (1980). System in construction. In: *Proceedings of 8Q Congress of CIB, Building Research World Wide*. Oslo, CIB/Norwegian Building Research Institute, vol. 1b, pp. 773–776
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2021). *Anuario de la Minería de Chile 2020*. Recuperado el 23 de abril de 2022, de: https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario_de_%20la%20Mineria_de_Chile_2020_290621.pdf
- Serrano Rodríguez, P. (2013). *Ingeniería y Arquitectura Extrema. El Desafío de la interdisciplinariedad en la Ingeniería y su Impacto en la Formación Profesional*. Recuperado el 7 de abril de 2022, de: http://www.sochedi.cl/wp-content/uploads/2017/12/SOCHEDI2017_paper_35.pdf

- Šljivić, A., Miljanović, S. & Zlatař, M. (2021). A new classification of deployable structures. E3S Web of Conferences, 244, 05016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124405016>
- Smith, R. E. (2016). Off-Site and Modular Construction Explained. Whole Building Design Guide. Recuperado 2 de marzo de 2022, de <https://www.wbdg.org/resources/site-and-modular-construction-explained>
- Tavares A, Costa A, Varum H (2014) Construction system. In: Tavares A, D'Ayala D, Costa A, Varum H (eds) Structural rehabilitation of old buildings. Springer, Berlin, pp 1–36.
- Valencia, A. (2020). Buscando un refugio en la naturaleza: estrategias en climas extremos. [Proyecto Fin de Carrera], E.T.S. Arquitectura (UPM).
- Van Gassel, F. (2003). "Experiences with the Design and Production. of an Industrial, Flexible and Demountable (IFD) Building System". 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). Eindhoven (Netherlands), Technische Universiteit Eindhoven: p.209-214
- Venables, T., Barlow, J., y Gann, D. (2004). Manufacturing excellence: UK capacity in offsite manufacturing: Innovation Studies Centre. Recuperado el 3 de mayo de 2022, de: https://www.researchgate.net/publication/259557894_Manufacturing_excellence_UK_capacity_in_offsite_manufacturing/citations
- Wang, G. & Chen, G. (2021, diciembre). Lego architecture: Research on a temporary building design method for post-disaster emergency. *Frontiers of Architectural Research*, 10(4), 758-770. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.08.001>
- Yi, W., Wang, S., y Zhang, A. (2019). Optimal transportation planning for prefabricated products in construction. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 1-12.

Otros textos consultados

- Campamentos mineros, arquitectura e ingeniería. (2018). Suplemento MATERIALES Y PROCESOS, 123. https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/campamentos_mineros_2018
- Construcción en zonas extremas. (2014). *Construcción Minera*, 7. https://issuu.com/construccionminera/docs/construccionminera_7
- Correa, J. (2019). Del componente al campamento. Replanteamiento del modelo de prefabricación industrializada para Alojamientos mineros flexibles. [Título profesional de Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile] Repositorio Académico de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- M. Delfani, R. Ibrahim, M. Y. M. Raschid (2016). Towards designing modular of industrialized building systems. *J. Teknol.* 78 (5).
- Garcés, Eugenio. (2003). Las ciudades del cobre: Del campamento de montaña al hotel minero como variaciones de la company town. *EURE (Santiago)*, 29(88), 131-148. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612003008800006>

Montajes en Obra. (2016). Construcción Minera, 20.

https://issuu.com/construccionminera/docs/construccionminera_20

Pérez Testar, I. (2019). Módulos adaptables para la industria y el trabajador minero. Un nuevo espacio para prefabricado adaptable al ciclo minero y sus necesidades programáticas viables.

[Título profesional de Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile] Repositorio Académico de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Anexos

Anexo 1: Estado del Arte Sistemas constructivos.

Forma activa
<p>Tenso-estructura: Actualmente existe una gran gama de membranas disponibles en el mercado por lo que se está explorando en diseños de edificios que intentan conseguir más capacidades.</p> <p>Ventajas:</p> <p>La membrana proporciona una cubierta semirrígida para la lluvia.</p>
<p>Neumática: Se trata de un tubo neumático hinchables el cual está hecho de tejido de nylon hermético. Dentro de este grupo encontramos todo tipo de edificación neumática, las infladas por aire, las soportadas por aire y las neumáticas desplegadas (Miljanović, Zlatar , Šljivić, 2021).</p> <p>Existen dos tipos de sistemas neumáticos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Baja presión: El volumen hinchado constituye el espacio habitable, estos funcionan con una presión de aire interior que posibilita que la piel del edificio conserve su forma. Las salidas y entradas de las construcciones deben tener una válvula de aire.• Alta presión: El volumen hinchado no es el espacio habitable, por lo que el interior de la envolvente es generado por una doble membrana en la que hay aire a presión. <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Cumple requisitos de ligereza y flexibilidad.• Los elementos hinchados permiten una gran variedad de formas por lo que se pueden construir abiertos. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Son sistemas costosos y pueden de necesitar motores. <p>Las estructuras de baja presión deben ser cerrados por lo que el acceso debe limitar la salida del aire interior.</p>
<p>Tienda de campaña: Hoberman Associates cuenta con un sistema de despliegue rápido, proporcionando estructuras de expansión modular, las cuales son duraderas, eficaces y fáciles de desmontar. Este sistema está fabricado con materiales resistentes a la intemperie lo que hace que sea duradero en zonas extremas y puede ser utilizados a largo plazo. (Atarer, Korkmaz, & Kiper, 2013). El diseño por ordenador ha permitido un avance cuyo resultado es una producción de estructuras eficaces que posibilita espacios amplios a partir de un esfuerzo mínimo de construcción (Krunenburg, 2007).</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pueden remolcarse mediante vehículos lo que permite que el alojamiento se reubique en el plazo de un día o incluso horas.

- Cuando se coloca en su lugar, los laterales descienden y una cubierta de tienda de campaña triplica la superficie de la planta.
- Puede utilizarse en distintos lugares, tanto en climas cálidos como fríos, siempre que se incorporen los medios de aislamiento, ventilación y calefacción adecuados.

Desventajas:

Poseen elementos rígidos, por lo que sólo tienen configuraciones cerradas y expandidas.

Vector activo

Clicable: Este sistema abre nuevas posibilidades para obtener diversas estructuras tanto desplegables como colapsables, que pueden ser auto soportadas, lo que ofrece una gran libertad de diseño (Rosenfeld, Y., & Logcher, R. D. 1988). Esta estructura está formada por vigas trianguladas en dos direcciones ortogonales las cuales están incorporadas en todo momento.

Ventajas:

- Se levantan articulando el haz, de este modo se despliegan muy rápidamente estructuras completas de gran envergadura y volumen.
- Estas nuevas configuraciones tipo "clic" son rígidas y estables con elementos de varilla perfectamente rectos.

Desventajas:

Los elementos móviles que tienen la capacidad de modificar la función de los espacios alteran también su carácter, es decir, se transforma en algo distinto.

Tijera: Este tipo de construcción contiene barras dispuestas en "x", formando cuadriláteros, los que se ubican en el canto de la estructura. Existe una cantidad de barras mínima la cual es llamada "mecanismo base" la que se define como la totalidad de los nudos de la estructura enlazados debido a la suficiente cantidad de barras, lo que permite que se conserve el sistema (Puertas del Río, 1990). Este tipo de estructura son las más usadas dentro de la arquitectura e ingeniería civil, cuando se trata de despliegue. El nudo es el que permite que las barras puedan rotar y la estructura pueda transformarse y desplegarse (Crespo, 2017).

Ventajas:

- La geometría de la unión añade excentricidad. El cambio en la geometría de los elementos abre un gran número de posibles variaciones a la hora de formar estas estructuras.
- En un primer momento la estructura se encuentra plegada y reducida, con unas dimensiones menores de las que alcanza al desplegarse.
- Son capaces de cubrir grandes luces.

Desventajas:

Una vez que la estructura está desplegada no es rígida por sí misma, ya que simplemente está formada por un sistema de barras de aspa de dos direcciones.

Superficie activa

Núcleo: La tendencia actual de núcleo es utilizar contenedores de transporte, lo que sería un ejemplo ideal de reutilización (Boyle, D. 2011). Existen dos tipos de núcleos:

- Núcleo único, el cual es un único módulo tridimensional, el cual se transporta una sola vez.
- Núcleo aditivo, estos pueden ser adosables y apilables, junto con varios módulos tridimensionales.

Ventajas:

- El contenedor según la norma de referencia es permanente y, por lo tanto, suficientemente resistente para ser utilizado repetidamente

Desventajas:

- Una de las principales desventajas de los sistemas cerrados de prefabricación es su falta de flexibilidad para satisfacer las diferentes necesidades de los habitantes.

El transporte resulta caro con volúmenes grandes y vacíos, por lo que la eficacia se reduce.

Origami: El modelo generalmente se desarrolla a partir del diseño paramétrico, lo que permite modificar la geometría para evaluar la respuesta estructural, con el objetivo de encontrar la mejor morfología. conectados entre sí mediante bisagras cilíndricas (Basso 2012).

Ventajas:

- Es un diseño modular flexible fácilmente aplicable.
- Este tipo de estructuras están formadas por placas delgadas rígidas, por lo que son fácilmente ensamblables y transportables.

Desventajas:

- Tiene articulaciones simples por lo que existe un gran desgaste de las conexiones. Se debe utilizar un mínimo de cimentación, por lo que no es apto para zonas sísmicas.

Anexo 2: Estado del Arte

Casos de estudio

Tensoestructura

- **Assembly Tent Bodo Rasch, 1997.**

Esta estructura está modulada a partir de cuadrados de 8 x 8m, en la cual la estructura está conformada por un entramado de 6 barras tubulares unidas en su extremo por una articulación, cada

arista llega a una fundación metálica. En cuanto al transporte, este se realiza por medio de algún vehículo de carga; por otro lado, el montaje puede ser llevado a cabo por pocos hombres. Este refugio conservó el techo de dos aguas de las tiendas “haji”, pero con la integración de un respiradero alrededor de la parte superior. Estas carpas también cuentan con aire acondicionado entregado por refrigeradores del desierto. La membrana y el techo se encuentran soportados por marcos de acero los cuales están asegurados por cimientos de hormigón además de contar con un mástil central. Esta estructura tiene la posibilidad de subdividir el espacio en secciones de 4x4m e incluso pueden producirse unidades de mayor tamaño al combinar más carpas. Una vez los habitantes desalojan, las paredes se enrollan y se guardan bajo el techo.



Figura 4: Asseby Tent. Fuente: SL Rasch, s.f.

- **AT&T Global Olympic Village**

Esta estructura se diseñó como una herramienta de comunicación en sí misma, ya que consistía en pabellones revestidos de membrana y formado por elementos de acero. Este se construyó en menos de 6 meses, haciendo combinación de estructuras desmontables a medida, las cuales salvan un espacio de 9.000m².

La membrana de la estructura fue utilizada como una gran pantalla, apoyándose de proyectores especiales los cuales estaban controlados por ordenador, estos podían mostrar cualquier momento del espectáculo y desde cualquier lugar del estadio dentro de esta superficie curvada, sin la preocupación de la distorsión. El edificio formaba el telón del escenario en el que todas las noches albergaba aproximadamente 100.000 asistentes de los Juegos Olímpicos.



Figura 5: AT&T Global Olympic Village. Fuente: Railton Entertainment Design, s.f.

Neumática

- **Unipart Structure, 2006.**

Esta estructura trata de un aro metálico arriostrado por cables que se encuentran sujetos en el centro, lo que permite que su construcción resulte más económica que una viga. Este edificio cuenta con dimensiones de 30x20m y 7m de altura. El patrón de la membrana fue analizado para transferir las tensiones de la estructura central a lo largo de la base de la estructura lo que reduce la necesidad de “armadura” de metal en un 80%.

Esta estructura está formada a partir de dos formas cónicas acanaladas, las cuales están unidas por el centro, esta puede parecer que es una construcción completamente neumática, pero en realidad es un híbrido. Esta deja un patrón horizontal el cual permite un espacio despejado para los eventos.



Figura 6: Unipart Structure. Fuente: Dandad, s.f.

- **Salón Airtecture, 1999.**

Esta estructura es un espacio móvil y rectangular, el cual está formado por algunos elementos principales, como columnas de aire en forma de Y, las cuales se encuentran tensadas con cables y una serie de figuras neumáticas y planos. Cuenta con un ancho de 12.7m de largo. Este espacio está destinado para reuniones y exposiciones, la cual utiliza sistemas estructurales de alta presión. Los pilares en Y son contrafuertes lo que le entrega al edificio un carácter original. Los “músculos” neumáticos ayudan a tensar el edificio en función del viento. Las paredes o elementos verticales son colchones de 20cm de grosor que contiene hilos, los cuales entregan rigidez a la estructura. (Kronenburg, 2007).

Tienda de campaña.

- **Serie 8, Weatherhaven.**

El refugio llamado serie 8 está diseñado para climas cálidos, sin fuentes de vientos y poca carga de nieve. Este sistema generalmente se usa para el mantenimiento de equipos, almacenamiento o instalaciones de fabricación. Es un sistema rápido y fácil de configurar y desplegar, además de ser compacto y ligero. Contiene una cubierta impermeable que estabiliza la luz ultravioleta.

Esta estructura cuenta con una ventilación máxima y está construida a partir de materiales especiales Cool White, además de la adición de una tela térmica tropical para el confort térmico. Es un edificio resistente tanto a la putrefacción y al moho, como también tiene la característica de ser retardante al fuego.



Figura 7: Serie 8. Fuente: Weatherhaven, s.f.

- **Deployed Logix, Weatherhaven.**

El refugio Deployed Logix es una tienda de campaña de un despliegue rápido en sólo minutos con una cantidad mínima de personas. Este sistema cuenta con un aluminio de calidad aeronáutica, produciendo un marco extra duradero; el refugio tiene un ancho estándar de 20', junto con 4 despliegues estándar en un rango de 16' a 40'. Está diseñado para resistir climas y condiciones climáticas extremas, incluyendo la lluvia, nieve y vientos.

Este sistema combina la tecnología de un refugio inflable con capacidades para formar una solución portátil para todo tipo de clima. El sistema proporciona un área que puede ser utilizado como una instalación de dispensario de productos farmacéuticos temporales, también como sala de espera, cuidados intensivos o cámara de traje.



Figura 8: Deployed Logix. Fuente: Weatherhaven, s.f.

Clicable.

- **Olympic Arch, Salt Lake City. Scenic Technologies, Buro Happold, 2002.**

El arco Hoberman es una cortina de 11m de altura y 22m de ancho, la cual fue instalado en el contexto de los Juegos Olímpicos del 2002. Dos motores de 30 caballos de potencia se dedicaban a controlar los cables que abren/cierran el telón en aprox. 20 segundos. El edificio se utilizó en invierno, por lo que podían producirse fuertes tormentas, es por esto que el arco se construyó para soportar vientos de hasta 110 km/h.

Hoberman es un diseñador dedicado a estudiar las geometrías cinéticas transformables, las cuales definen el espacio y la forma del edificio. Estos diseños se basan en conexiones que unes otras conexiones con la finalidad de transmitir toda la fuerza y convertirla en movimiento. La Olympic Arch

es conocida como la esfera Hoberman la cual se asemejaba al iris, al ser semicircular y plegable. Una vez plegada, el volumen pasa de ser de 11m a 1.8m



Figura 9: Olympic Arch. Fuente: Hoberman, s.f.

Tijera.

- **Pabellón transportable para exposiciones. Emilio Piñero, 1964.**

El pabellón está basado en una estructura reticular desplegable fabricada en aluminio. El montaje se realizó en aproximadamente 15 días, el cual se desarrolló por módulos plegados que tenían una dimensión de 0.8 x 0.7m, mientras que desplegados salvaban una superficie de casi 8.000m². El despliegue de los módulos se realiza con ayuda de ruedas, una vez abierto, la estructura se izaba y se creaba un conjunto rígido. Igualmente era muy sencillo su transporte ya que se montaba en los camiones hasta llegar al destino y se descargaban.

Los módulos desplegables eran las primeras piezas en transportarse ya que estas tenían la función de desplegarse desde el suelo y así comenzar el montaje. La ayuda de unos pocos obreros bastaba para el despliegue de los módulos, de esta forma se empezaban a unir unos a otros a través de articulaciones que permitían su giro en un plano. Cada barra debía estar unida a tres nudos, por lo que dividían en dos tramos iguales. Estos debían estar apoyados en pocos soportes, uno por cada 66-85m según la disposición de los módulos. En cuanto a los cerramientos, estos se ejecutaban a partir de madera o lona. El montaje de esta estructura debía seguir un orden en específico a partir de cada módulo plegado.



Figura 10: Pabellón transportable para exposiciones. Fuente: Puertas del Río, 1990.

- **Nii Juinti. Perú, 2014.**

La estructura se convierte en un pliegue tridimensional en base a un sistema de elementos triangulados, en donde el módulo base están constituido por piezas de madera de 1.8 x 3.6m, las

cuales sirven para generar diversas configuraciones espaciales. Toda la estructura colabora en la creación de un manto que está sujeto a la intensidad del clima.



Figura 11: Nii Juinti. Fuente: Arquitectura Panamericana, 2016.

Núcleo

- **Mobile Exhibition Pavilion, Jürke Architects, Munich, 2009**

La estructura está compuesta a partir de una estructura de acero HSS, la cual tiene paneles de muro cortina suspendidos. Los paneles están realizados a partir de la prefabricación, con el objetivo de que la construcción pueda ser realizada en un día, sin la necesidad de una alta precisión. Existe un refuerzo transversal desmontable el cual sólo se utiliza durante el transporte y se fija en los bordes en los paneles.



Figura 12: Mobile Exhibition Pavilion. Fuente: Boyle, 2011.

- **Mobile Expandable Container Configuration MECC, Weatherhaven.**

La estructura combina el refugio de tela junto con el primer estándar de transporte, el contenedor ISO. Este refugio es una unidad autónoma ensamblada que, al momento de expandirse, ofrece el triple de espacio de un módulo convencional, el cual puede ser montado por dos personas entre 10-15 minutos. Este edificio se creó para entregar una máxima eficiencia y ahorro en el transporte. El edificio está pensado para durar de 15 a 20 años.

Esta estructura, al contar con una certificación ISO, su transporte puede ser realizado de manera aérea, terrestre y marítima, esto también le da la posibilidad de ser apilados para su almacenamiento o en uso por si su emplazamiento cuenta con poco espacio; igualmente estos se pueden conectar para formar espacios de mayor envergadura y que se encuentren cerrados. La unidad cuenta con un bloqueo durante su traslado, lo que podría evitar cualquier tipo de abolladura o robo.



Figura 13: MECC. Fuente: Weatherhaven, s.f.

Origami

- **Deployable Emergency Shelter, 2020.**

Este edificio puede desplegarse en segundos y proporciona una diferencia de confort térmico de 24°C. Este cuenta con un entramado de fibra de vidrio, ligero y resistente, el cual sostiene la estructura del refugio y se encuentra conectado a la piel del origami, por lo que hay un despliegue simultáneo. Esta estructura se caracteriza por ser ligera, resistente y por permitir la supervivencia humana en condiciones extremas.



Figura 14: Deployable Emergency Shelter. Fuente: Red Dot Award, 2020.

- **ReCover**

Es una estructura temporal diseñada para víctimas de desastres. Está hecha a partir de Cloroplast, es por esto que no libera gases dañinos. El refugio puede ser configurados en minutos y al plegarse, se convierte en una sábana plana para ser enviado en grandes cantidades al sitio de desastre. Este puede ser transportado en camiones de 4x8'.



Figura 15: ReCover. Fuente: Malone, s.f.

Anexo 3: Pauta de evaluación.

Rúbrica

(Correa, 2019)

Las dimensiones que debe cumplir una estructura que se encuentra condicionada por su volumetría, es dependiente de la capacidad del vehículo de carga y las exigencias que el transporte incluye. Para el contexto minero, la medida máxima del ancho permitido por el Ministerio de Transporte es de 2,6m, pero la Ley 18.290 de Tránsito, en el Artículo 57, explica que se puede exceder esta dimensión sólo con el permitido de la Dirección de Vialidad del MOP, por lo que finalmente el ancho podría ser máximo de 3,5m, sólo si se cumple con un previo aviso a carabineros, esto sin pagar permiso por la sobredimensión de la estructura. Incluso, para transportar cargas mayores a las permitidas por esta medida, se debiese cancelar un monto tanto por el permiso como por la escolta de carabineros.