

# Recuperación de áreas urbanas para uso de recreación con diseños de cubiertas ligeras

## Recovery of urban areas for recreation use with light roof designs

### Carlos César Morales-Guzmán

Universidad Veracruzana, Poza Rica, Veracruz (México)

Facultad de Arquitectura

Máster en Ingeniería para la Arquitectura, Universidad Camilo José Cela (España).

Doctor en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (México).

Doctor en Estructuras de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid (España).

Posdoctorado en Arquitectura Tensada, Universidad Politécnica de Catalunya (España).

Posdoctorado en Ingeniería y Arquitectura Transformable, Universidad de Sevilla (España).

Investigador-Académico en la Universidad Veracruzana, Facultad de Arquitectura.

 <https://orcid.org/0000-0002-4499-6968>

 [dr.arqmorales@gmail.com](mailto:dr.arqmorales@gmail.com) / [carlmorales@uv.mx](mailto:carlmorales@uv.mx)

### Resumen

El diseño de cubiertas ligeras (velarías, *tensegrity* y plegables) es una alternativa para rescatar áreas verdes en la ciudad de Poza Rica, Veracruz. El objetivo del estudio fue rehabilitar los parques en la mencionada ciudad, ya que en la zona norte del estado el clima es extremadamente caluroso, y este efecto constante afecta a los habitantes de la ciudad, pues, debido a ello no se pueden usar con frecuencia estas áreas de recreación. Por tanto, una de las premisas de esta investigación serán las condiciones climáticas de la zona, y también, las condiciones de infraestructura que hay en el lugar donde los habitantes hacen su actividad. Evaluadas dichas condiciones, se plantearán los primeros requisitos y parámetros para el mejoramiento de la infraestructura de esas áreas urbanas; esto, a su vez, conlleva obtener un propuesta de diseño que se desarrollará en dos fases: la primera es el análisis del sitio y su contexto, y la segunda, el desarrollo de modelos arquitectónicos que se adapten al contexto climático y urbano de la zona, para así dar uso a estas superficies que pueden mejorar la calidad de vida y la convivencia social en la mancha urbana de la ciudad. Por último, se contempla un proyecto aplicado, presentado al Ayuntamiento de Poza Rica, sobre cómo serían las mejoras posibles para estos espacios, si se llegase a rehabilitarlos con objetos arquitectónicos que modifiquen las condiciones del lugar para su uso durante todo el día.

**Palabras clave:** cubiertas ligeras; modelo arquitectónico; rehabilitación urbana; rescates áreas verdes

### Abstract

The design of light roofs (canopies, tensegrity and folding) is an alternative to rescue green areas in the city of Poza Rica, Veracruz. The objective of the study was to rehabilitate the parks in the city, since in the northern part of the state the climate is extremely hot, and this constant effect affects the inhabitants of the city, because, due to this, they cannot be used frequently these recreation areas. Therefore, one of the premises of this investigation will be the climatic conditions of the area, and the infrastructure conditions that exist in the place where the inhabitants carry out their activity. Once these conditions have been evaluated, the first requirements and parameters for the improvement of the infrastructure of these urban areas will be established; this, in turn, entails obtaining a design proposal that will be developed in two phases: the first is the analysis of the site and its context, and the second, the development of architectural models that adapt to the climatic and urban context of the area. To make use of these surfaces that can improve the quality of life and social coexistence in the urban sprawl of the city. Finally, an applied project is contemplated, presented to the Poza Rica City Council, on what the possible improvements for these spaces would be, if they were to be rehabilitated with architectural objects that modify the conditions of the place for use throughout the day.

**Keywords:** architectural model; light covers; rescue green areas; urban rehabilitation

## Introducción

El trabajo se centró en desarrollar cubiertas ligeras de fácil manufactura para generar la habilitación más rápida posible del espacio urbano dentro de la ciudad, por lo que en nuestro caso de estudio el problema por resolver fue la ubicación de áreas urbanas abandonadas o en desuso, lo cual justifica el desarrollo de proyectos arquitectónicos necesarios para activar dichas zonas para un uso de bienestar social. En consecuencia, se desarrollaron esquemas iconográficos de cubiertas ligeras en espacios de rescate urbano dentro de la ciudad de Poza Rica, Veracruz. Estos fundamentos se diseñaron mediante una metodología basada en sistemas de estructuras adaptables, analizadas en las primeras etapas de este trabajo, y que se refieren específicamente a los métodos de búsqueda de las formas. La metodología para obtenerlos incluye actividades de proyección experimental dentro de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Veracruzana, donde se gestarán varios modelos esquemáticos que pueden brindar una tecnología innovadora para el desarrollo del proyecto que se piensa realizar.

Cabe destacar que esta investigación tiene una orientación eminentemente tecnológica, al propiciar el desarrollo de la construcción experimental en estructuras de rápido montaje. Partiremos de preguntas directrices, que encontrarán respuestas, si las tienen, a lo largo del trabajo, pero nos concentraremos en el desarrollo de la forma, en su manufactura y cómo se la implementaría en las propuestas de rehabilitación en el espacio urbano.

Posteriormente, se presenta una serie de prototipos que serán ejecutados dentro de las instalaciones de la Facultad de Arquitectura, donde se verifican las construcciones de innovadoras, y donde se elaboran cubiertas ligeras de todo tipo: estructuras tensadas, estructuras de plegables, tipo paraguas, hiperbólicas, etc.

En este sentido, se ha hecho una ordenación sistemática de los tipos de cubiertas que se pueden adaptar a nuestro contexto. Con tal fin, se realizará un análisis del sitio, en el cual se verificarán las condiciones de este y cómo influyen las condiciones del clima en las zonas urbanas. Teniendo las premisas del caso, se harán las propuestas, y ello incluirá la mejora de la infraestructura adaptándose a las cubiertas ligeras. Dicha clasificación no debe considerarse definitiva, sino un punto de partida, con la posibilidad de ser alterada o modificada para otros escenarios de sitio.

Finalmente, se obtendrán los parámetros necesarios para diseñar proyectos, con los cuales se buscará proponer y definir aproximaciones o resultados de los estudios previos ya mencionados, realizando análisis de prototipos, con el objetivo de demostrar la viabilidad de la propuesta. Se experimentará con modelos a escala de diferentes materiales, para así seleccionar el material idóneo que proporcione más beneficios.

Para ello, se hicieron modelos y prototipos a escala real, analizados con rigor científico, a fin de comprobar su resistencia y su equilibrio en el espacio, y así se verificará el proceso constructivo de las propuestas. En consecuencia, se contempla que el diseño de proyectos de mejoramiento arquitectónico sea mostrado al ayuntamiento de la ciudad.

### Georreferencia del análisis del sitio

Para determinar las condiciones del sitio y hacer las posteriores propuestas, se realizará una serie de mapeos del municipio de Poza Rica, donde extrapolaremos todas la

información de las condicionantes geográficas, hidrológicas, de uso del suelo y de tipo de subsuelo, para determinar zonas de oportunidades donde rehabilitar y rescatar áreas verdes en la zonas urbanas de la ciudad, por lo que para nuestro estudio se hace también una tabla climática de la zona, a fin de entender qué tipos de materiales y parámetros de diseño utilizar. El municipio se encuentra ubicado en la región del Totonacapan, en las coordenadas 20° 32' latitud norte, y 97° 27' longitud oeste, a una altura 50 msnm. Limita al noroeste y al este con Papantla; al sur, con Coatzintla, y al noroeste, con Tihuatlán. Su distancia aproximada al noroeste de la capital del Estado por carretera es de 290 km.

Por su condición geográfica, el centro de la ciudad se asienta en un pequeño valle, sobre la cuenca del río Cazonos, en la llanura costera del golfo de México, con una altitud promedio de 60 msnm, aunque la mayor parte del territorio se asienta sobre suelos irregulares; en su mayor parte, lomeríos al noreste de la ciudad, entre los que sobresale el cerro del Mesón, con una altura máxima de 242 msnm. Los suelos preponderantes son del tipo vertisol, con un alto contenido de arcillas expansivas que forman grietas en temporadas de sequía.

La hidrografía del municipio de Poza Rica se circunscribe a la cuenca hidrográfica del río Cazonos; este río, de 100 km de longitud, nace en la región montañosa del estado de Hidalgo y desemboca en el golfo de México, tiene un escurrimiento promedio anual superior de 40 m<sup>3</sup>/s en su desembocadura. La ciudad también se encuentra circundada por varios arroyos tributarios del río Cazonos, como el Mollejón, el Hueleque, el Salsipuedes y el arroyo del Maíz, que regularmente se ven afectados por inundaciones en la temporada anual de lluvias.

Los principales ecosistemas que coexisten en el municipio son el de bosque mediano perennifolio, con especies de guarambo, jonote, guanactle y sangrado, donde se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de conejos, armadillos, mapaches, tlacuaches, tejones y coyotes.

La ciudad cuenta con yacimientos de petróleo y gas natural, además de una industria petroquímica (INEGI, 2010; Del Ángel, 2014).

Su uso del suelo que tiene zona urbana (66%), agricultura (20%), vegetación - pastizal (8%) y selva (6%), en el plano (Figura 1), se puede observar la traza urbana con su uso de suelo correspondiente. Se observa que la mayor parte del suelo de la ciudad es de uso habitacional unifamiliar medio. La zona de comercio se ubica a lo largo del bulevar principal. La zona de industria se ubica al suroeste, y la zona de reserva, principalmente, al este y el sur de la ciudad. Poza Rica cuenta con 36 parques, y los más importantes entre ellos son:

1. Plaza cívica 18 de Marzo.
2. Parque Juárez.
3. Parque de las Américas.
4. Parque Petromex.
5. Parque Cuauhtémoc.

Extrapolando la información anterior con la información de hidrología, ecología y subsuelo, y con el mapa de uso de suelo, se genera el mapa de oportunidades específico de la ciudad, donde se muestran las áreas aptas y las no aptas para la construcción.

También en este mapeo se identifican las franjas que, según las características del suelo y el contexto, son ideales o inadecuadas para la construcción, ya sea porque las características no son las propicias para desplantar estructuras o al ser propensas a estancamientos de agua o inundaciones. Por ello, se delimitará esta investigación a desarrollar la rehabilitación de parques en uso constante y que sirven para la segregación social de las colonias, y localizados en el primer cuadrante importante de la ciudad; o sea, las zonas A y B (INAFED, 2020; Morales, 2011).

### Condición física del espacio

Para percibir en qué condiciones físicas se encuentran los espacios urbanos de la ciudad se realizaron fichas de evaluación para determinar en qué condiciones se encontraban las áreas verdes dentro de la ciudad, por lo cual se hicieron varias preguntas técnicas, que reflejan el diagnóstico físico de las áreas públicas. Esta catalogación se concentró en los parques, de los cuales, según notamos, la mayor parte carecía de infraestructura para el desarrollo de actividades deportivas, sociales y de recreación. En este ejemplo se mostrará el parque Cuauhtémoc, con condiciones regulares en su infraestructura, con un buen acceso y en el cual todas sus áreas cubren de cierta manera las necesidades que se busca suplir para interacción social del usuario en un parque (Bentley, 1999).

En la ficha se desarrollaron algunas preguntas de percepción visual, como: *¿Qué tipo de actividad principal se hace?*, además de preguntas sobre: estado de mantenimiento general, valor histórico, si tiene accesos restringidos, tipo de usuarios que asisten, tipos de actividades que se realizan,

mayor frecuencia de uso, tipo de vegetación que existe, tipo de fauna, estados de mantenimiento de las superficies y los pisos, y de la infraestructura de servicio público (luz, agua potable, limpieza, drenaje, etc.), tipos de mobiliario urbano (luminarias, jardines, áreas verdes, áreas deportivas, áreas infantiles, etc.), si el espacio es saludable (si hay contaminación medioambiental, acústica, olfativa, visual, etc.) en la figura 2 se muestra el ejemplo de esta ficha en específico. Al parque Cuauhtémoc se le da un alto valor histórico dentro de la ciudad, ya que fue el primero que se asentó dentro de la zona cuando la ciudad era una comunidad llamada Poza de Cuero. Por simbolismo histórico, su quiosco tiene un mural pintado por el artista Teodoro Cano García, donde representa la cultura Totonacapan, y el cual le expresa la apropiación cultural de la zona (INAFED, 2020; Morales, 2011).

### Condición climática

Se presenta la información necesaria para comenzar el análisis del clima del sitio Poza Rica de Hidalgo, Veracruz.

Para comprender los datos encontrados sobre el tema, en la tabla 1 se presenta el resumen del resultado del análisis del historial climático de la ciudad de Poza Rica, Veracruz.

Primeramente, verificamos el rango de temperatura promedio anual: este va de 19,58 °C-30,49 °C, según lo cual la urbe se sitúa en una zona de clima cálido. Las temperaturas más extremas registradas han sido -0,5 °C como mínima, y una máxima de 47 °C. Se observa que los meses más calurosos son *abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre*, con temperaturas máximas por arriba de los 30 °C, y mínimas, por arriba de los 20 °C. Es importante mencionar que en junio, julio y agosto se observa una ligera oscilación térmica. Los meses *templados y fríos* son *enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre*, con temperaturas máximas por debajo de los 28 °C, y mínimas, por debajo de los 18 °C. Los meses más calurosos son mayo y junio, con una temperatura máxima promedio de 34,71 °C, y el mes más frío es enero, con un promedio de temperatura mínima de 14,40 °C.

El comportamiento de la humedad relativa (HR) no es tan drástico como el de la temperatura. El rango se mantiene entre el 70% y el 80% de HR.

Se tiene una precipitación anual de 1.136,37 mm; el comportamiento de las lluvias va desde escasa hasta muy abundante, y tiene un rango de 32,22 mm de *precipitación mínima mensual*, en marzo, a 224,93 mm de *precipitación máxima mensual*, en septiembre. Los meses con abundante lluvia son *junio, julio, agosto, septiembre y octubre*, durante los cuales queda representando el 67,49% de la precipitación anual. Los meses con lluvias escasas son *enero, febrero, marzo y diciembre*.

El cielo de la ciudad suele estar parcialmente nublado todo el tiempo. Los meses en los que predomina el cielo totalmente nublado son *enero, febrero, noviembre y diciembre*. Estos datos nos sirven para justificar la eficiencia de dispositivos solares.

La intensidad de los vientos dominantes, según la escala Beaufort, es *débil*, con un rango de velocidad de 0,3-3.3 m/s, con procedencia del noreste. Excepto en los meses de *invierno*, cuando el viento cambia de intensidad y dirección, la intensidad disminuye a viento en calma (0,0-0,2 m/s), con procedencia del norte, como se muestra en la tabla1 (INAFED, 2020; Morales, 2011).

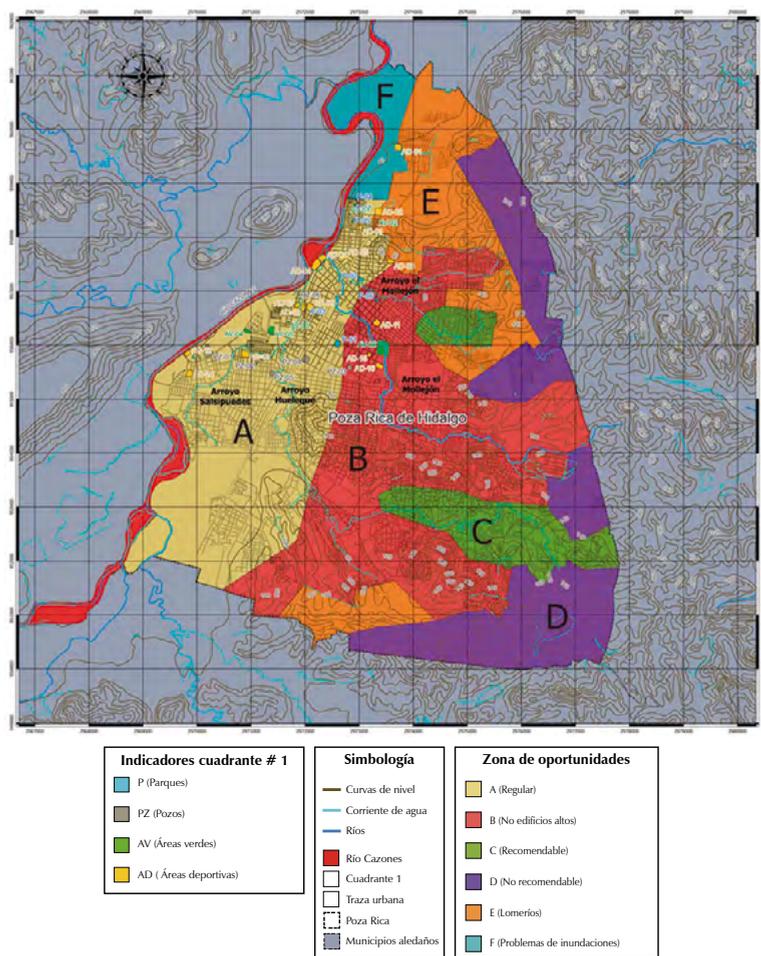


Figura 1. Mapa de zonas de oportunidades de la ciudad de Poza Rica, Veracruz.

Fuente: elaboración propia (2021).

UNIVERSIDAD VERACRUZANA		MOBILIARIO URBANO	CRITERIO	OBSERVACIONES	
	UNIVERSIDAD VERACRUZANA	ALUMBRADO PÚBLICO	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
	FACULTAD DE ARQUITECTURA - POZA RICA	ÁREAS VERDES	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
	ANÁLISIS DEL ESPACIO PÚBLICO	JARDINERAS	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
	P-02	FUENTES	NO		
  		ÁREAS RECREATIVAS	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
		ÁREAS DEPORTIVAS	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
		JUEGOS INFANTILES	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
		EJERCITADORES DEPORTIVOS	NO		
		BANCAS DE DESCANSO	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
		BOTES DE BASURA	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
		CASETA DE VIGILANCIA	NO		
		PARADA DE AUTOBÚS	NO		
		COMERCIO AMBULANTE	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
		KIOSCO	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR	
	MÓDULO DE INFORMACIÓN	NO			
	ÁREAS TECHADAS	SI	ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR		
ACTIVIDADES PRINCIPALES	PARQUE CON ESPACIOS PARA JUGAR, DESCANSAR Y REALIZAR OTRAS ACTIVIDADES DE RECREACIÓN O EVENTOS DIVERSOS	SEGURIDAD SOCIAL (PRESENCIA POLICIAL Y SEGURIDAD CIUDADANA)	SI	VISITAS AL SITIO PERIÓDICAMENTE	
ESTADO DE MANTENIMIENTO GENERAL	BUENO	SERVICIO DE LIMPIEZA DE BASURA	SI		
VALOR HISTÓRICO PATRIMONIAL	SI				
ACCESO RESTRINGIDO	NO				
TIPOS DE USUARIOS	FAMILIAR	SI	ESPACIOS SALUDABLES		
	PAREJAS	SI	CONTAMINACIÓN MEDIOAMBIENTAL	NO	
	GRUPOS DE AMIGOS	SI	CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	SI	RUIDO CAUSADO POR VEHÍCULOS Y VIALIDADES CERCANAS
	INDIVIDUALES	SI	CONTAMINACIÓN VISUAL	NO	
	OTRO		CONTAMINACIÓN OLFATIVA	NO	
TIPOS DE ACTIVIDADES	ACTIVIDAD COMERCIAL	(SI) VENDEDORES AMBULANTES	ACCESIBILIDAD UNIVERSAL	SI	
	ACTIVIDAD RECREATIVA	SI	SEÑALÉTICA	NO	
	ACTIVIDAD DEPORTIVA	SI	CONCLUSIÓN	ES UN LUGAR QUE A TRAVÉS DE LOS AÑOS HA TENIDO REPARACIONES DEBIDO AL DESCUIDO DE VARIOS ESPACIOS QUE HABÍA Y POR LAS CONDICIONES EN LAS QUE SE ENCONTRABA EL PARQUE EN GENERAL.	
	ACTIVIDAD PASIVA (LECTURA - DESCANSO)	SI			
MAYOR FRECUENCIA DE USO	FIN DE SEMANA				
TIPO DE VEGETACIÓN	PERENE: FICUS BENJAMINA. ÁRBOLES: CEDRO, PALMERAS, FLAMBOYAN				
TIPO DE FAUNA	ARDILLA, PALOMAS				
TIPOS DE PISOS Y SUPERFICIES	ANDADOR DE CONCRETO HIDRAÚLICO, ADOQUÍN, LOCETA, CÉSPED				
ESTADO DE MANTENIMIENTO DE PISOS Y SUPERFICIES	REGULAR				
REHABILITACIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO EN LOS ÚLTIMOS 4 AÑOS	SI				
INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS PÚBLICOS	AGUA POTABLE, ELECTRICIDAD, DRENAJE, CALLES Y BANQUETAS PAVIMENTADAS				

Figura 2. Ficha de análisis del espacio público en Poza Rica. Fuente: elaboración propia (2011).

Parámetros	1955-2009												Promedio anual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
<b>Temperatura</b>													
Máxima	24,14	25,95	29,14	32,35	34,71	34,71	33,71	34,18	32,88	31,04	27,83	24,92	30,46
Mínima	14,4	15,41	17,83	20,14	22,8	23,37	22,69	22,67	22,21	20,34	17,59	15,5	19,58
Media	19,27	20,68	23,48	26,24	28,75	29,04	28,2	28,43	27,55	25,69	22,71	20,21	25,02
<b>Humedad relativa</b>													
Promedio en %	79	78	74	73	72	73	73	73	76	77	77	79	75,33
<b>Precipitación</b>													
Promedio en mm	38,76	37,22	32,36	57,41	75,2	136,36	119,4	130,75	224,93	155,54	80,28	48,17	1136,37
<b>Vientos dominantes</b>													
Velocidad (m/s)	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,30-3,30	0,00-0,20	0,00-0,20	0,30-3,30
Dirección	N	NE	N	N	NE								

Tabla 1. Climatológica para la ciudad de Poza Rica. Fuente: Del Ángel (2014).

## Planteamiento de diseño

El desorden espacial y la falta de criterio en el manejo de los espacios públicos y urbanos, así como la poca cultura de conservación en la población, son algunos de los aspectos que han contribuido al deterioro en las instalaciones de los parques en Poza Rica. Por ello, plantearemos el proceso de diseño para la rehabilitación de los parques y cómo generar la infraestructura necesaria para su utilización durante el día. Una de las principales causas del abandono de la población de los parques es la falta de un inmobiliario adecuado para desarrollar las actividades en ese emplazamiento. Por tal motivo, se pretenderá realizar dichas adecuaciones de modo que el proceso abarque las necesidades de la población circundante (Gehl, 2006).

Con el fin de dotar a la ciudad de Poza Rica de un espacio público moderno, que brinde a usuarios de todas las edades posibilidades de desarrollar funciones que fomenten el respeto a la población, la convivencia social y diversas actividades al aire libre, surge la necesidad de rehabilitar y remodelar el espacio existente que hay en los parques, para generar pulmones de aire en la ciudad.

Al describir el concepto de espacio público, la respuesta, de hecho, debe ser enfocada en cómo brindar un sitio donde las personas puedan recrearse física y socialmente, y hacerlo de manera sana y segura. Ello, a su vez, remite a preguntarse qué tipo de instalaciones pueden adecuarse a las necesidades de las personas. No se busca reemplazar las actuales actividades del sitio, sino complementarlas y mejorar su funcionamiento, para brindar una mayor comodidad y más seguridad contando con áreas verdes total o

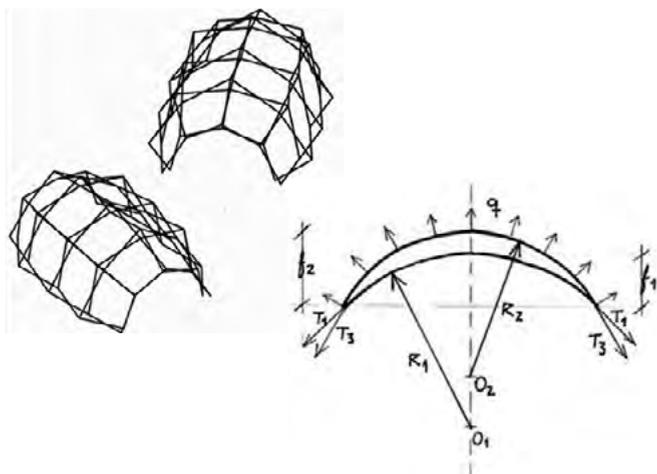


Figura 3. Esquema de una cubierta desplegable de aspas para cubrir una piscina unifamiliar 11 m x 7 m, en Sevilla, España (Dr. Félix Escrig). Fuente: Escrig (2012); Sánchez (1992).



Figura 4. Cierre de los lugares públicos por la pandemia de COVID-19. Fuente: elaboración propia (2021).

parcialmente cubiertas, así como la vegetación necesaria para generar un microclima agradable a los usuarios.

Hay alrededor de 36 parques en la periferia de la ciudad de Poza Rica que debemos aprovechar para la interacción social; por esto debemos contemplar los sistemas estructurales alternos que podrían desarrollarse eficientemente en la zona; por ello, integraremos una serie de modelos de cubiertas ligeras, que ocuparán una concepción primordial para el desarrollo de diseño del rescate de áreas públicas abandonadas.

Dado lo anterior, la presente investigación se enfocó en generar modelos constructivos que ayudarán a generar unas cubiertas ligeras para espacios urbanos, por lo cual las nuevas tecnologías ayudarán a crear esta arquitectura cambiante, y así adecuarse a las del habitante usuario, por lo que es una prioridad en nuestro presente trabajo el diseño de cubiertas ligeras. La característica primordial de este tipo de sistemas recae sobre el diseño de una conexión constructiva óptima para poder manufacturar. El método de diseño arquitectónico en el que se realizaron dichas tesis se referencia a las investigaciones del Dr. Félix Escrig y el Dr. Josep Llorens Durán, como se muestra en la figura 3, pues dichos autores desarrollaron un sistema plegable simple, que responde de manera más efectiva a los constantes cambios de uso, ya que los sistemas son plegables y fáciles de construir y montar en el lugar. También desarrollaron un esquema de tipologías de cubiertas, en el cual nos basamos para crear prototipos que se adapten a la zona (Berger, 1996; Becker & Kuschnir, 1995).

## Justificación y premisas de proyecto

La problemática de abandono de los parques públicos de la zona empeoró cuando en el municipio de Poza Rica se cerraron por completo los espacios públicos, al igual que ha ocurrido en gran parte del país, como medida sanitaria ante la pandemia de COVID-19, como se muestra en la figura 4, por lo que es un reto enorme resolver esta situación, debido a su naturaleza de riesgo sanitario; más aún, cuando la autoridad municipal no tiene pensado rehabilitar espacios urbanos, pues el actual riesgo de contagios complica algunas actividades al aire libre, por lo cual las zonas verdes de la urbe padecen más por el abandono y la falta de mantenimiento; esto, aunado al reciente impacto del huracán Grace, en septiembre de 2021, en la zona norte del estado de Veracruz, y que devastó gran parte de la infraestructura pública, como se muestra en la figura 5, que ayude a recuperar más rápido estas áreas, y a que la rehabilitación de dichos espacios los haga útiles para los



Figura 5. Destrucción del inmobiliario urbano por el paso del huracán Grace. Fuente: elaboración propia (2021).

Programa de necesidades				
Necesidad	Actividad	Solución espacial	Subzona	Zona
Práctica de deporte.	Jugar, correr, entrenar, lanzar pelotas, rebotar pelotas.	Canchas de baloncesto, fútbol y voleibol.	Deportes tradicionales.	Recreación activa
Esparcimiento para infantes.	Saltar, correr, esconderse, columpiarse, jugar con otros niños.	Juegos para infantes tradicionales y no tradicionales.	Juegos infantiles.	
Actividades recreativas acuáticas.	Cambiarse, bañarse, refrescarse, nadar, jugar y divertirse.	Piscinas para adultos y niños.	Piscinas.	
Actividades recreativas.	Patinar, montar en bicicleta.	Senderos para patinar y maniobrar bicicletas.	Pistas de patinaje y bicicletas.	
Necesidades fisiológicas.	Cambiarse, defecar, orinar, guardar ropa.	Duchas, servicio sanitario (S. S.), casilleros, lavamanos.	Desvestidores y S. S.	
Consumir alimentos.	Preparar alimentos, almacenarlos, vender, atender al público, comprar y comer,	Cocinas, áreas de mesa exteriores e interiores, áreas de atención al público, despensa y servicios sanitarios.	Cafetería.	Recreación pasiva
Ver vistas de paisajes del entorno.	Observar, relajarse, conversar.	Espacios para contemplar el entorno natural.	Miradores.	
Venta de artículos artesanales.	Exhibir, comprar, vender.	Locales de venta y bodega.	Quioscos de artesanías.	
Recorridos agradables, tranquilidad física y mental.	Caminar, observar.	Accesos y circulaciones señalizadas.	Ruta ecoturística.	Atención médica
Estar totalmente sano, realizarse la prueba Covid-19.	Atención médica, chequeo de temperatura corporal, aplicación de gel antibacterial, realización de pruebas Covid-19.	Consultorios y áreas de camillas.	Servicios básicos de atención médica para Covid-19.	
Sentarse, descansar, poder observar con claridad, seguridad al caminar.	Hacer uso del equipamiento urbano disponible en el parque para diversas actividades de recreación.	Botes de basura, bancas, mesas de trabajo, jardines, luminarias, rampas para PCD, barandales de protección.	Distintos muebles urbanos para el servicio del público en general.	Equipamiento urbano

Tabla 2. Programa de necesidades desarrollado con base en las nuevas necesidades sanitarias y de impactos de meteoros climáticos.

Fuente: elaboración propia (2021).

usuarios, ya que no se pueden diseñar y construir espacios públicos convencionales, dado al surgimiento de este tipo de nuevas necesidades y problemáticas por resolver.

Por lo planteado, proponer un sistema de cubierta ligera permitirá crear espacios más dinámicos dentro de los espacios públicos y, además, crear una metodología eficiente de rehabilitación mediante mobiliario urbano flexible y adaptado a las nuevas necesidades sanitarias, utilizando como complemento diversos elementos arquitectónicos que permitan embellecer estos espacios y hacerlos atractivos, funcionales y seguros (Morales, 2021a).

## Metodología

### Hipótesis de diseño

Para proponer el diseño de cubiertas ligeras nos basaremos en una metodología propuesta por el Dr. Josep Llorens Durán. Dicho proceso es una guía en la búsqueda de la forma de las cubiertas ligeras, lo cual ayudará a generar un proyecto que se adecue a las necesidades espaciales de nuestra investigación, pero, en especial, considera una variable principal: la estabilidad de la estructura con un

mínimo de material, para así generar la superficie de la cubierta ligera, todo lo cual puede resumirse en las fases siguientes:

1. Información previa: Programa, emplazamiento, dimensiones, límites, materiales y medios disponibles.
2. Anteproyecto: Establecimiento de la forma, la curvatura y el desagüe, así como de las características arquitectónicas, de la relación con el entorno y de los puntos de apoyo y anclaje.
3. Determinación de la forma.
4. Cálculo estructural: Obtención de tensiones y deformaciones; dimensionado.
5. Estrategia medioambiental: Acondicionamiento de instalaciones e iluminación natural y artificial; acondicionamiento térmico; acondicionamiento acústico; resistencia al fuego; cableado; energía incorporada; emisiones; residuos.
6. Patronaje.
7. Detalles constructivos.
8. Especificaciones relativas a los materiales, la puesta en obra, el control y las tolerancias.
9. Plan de inspecciones y mantenimiento.
10. Medición y presupuesto.

Las siguientes propuestas presentadas en este trabajo se realizaron en todas las fases mencionadas, pero para esta disertación solo nos concentraremos en las aplicaciones de las propuestas de diseño, ya que sería muy extenso el reporte de la realización de todos los modelos, y el objetivo de este análisis es aplicar en un proyecto este tipo de cubiertas en las áreas públicas, como se muestra en la tabla 3, y que se incluyeron en el proyecto de rescate de parques.

Tomando en cuenta las tipologías en la tabla 3, se desarrollaron las propuestas de diseño para el rescate de los parques, donde propondremos infraestructura e inmobiliario urbanos que ayuden a mitigar las condiciones ambientales y la recuperación de espacios urbanos de forma segura (Escrig, 1984 y 1988; Llorens, 2011;2015).

Una vez establecidas las condiciones climáticas del sitio y una ficha técnica de cómo se encuentran los parques en la zona, se desarrollaron propuestas iconográficas en las áreas urbanas y sobre cómo serían sus intervenciones con el uso de cubiertas ligeras. Dichas aproximaciones no ayudarán a ver las ventajas que podrían obtenerse si se incluye este tipo de estructuras ligeras en los parques. Las experimentaciones generaron propuestas de proyectos, que, primeramente, se presentan en un esquema metodológico de anteproyecto. Como se muestra en la figura 6 se genera un proceso de diseño del parque Cri-cri, donde se ve el desarrollo de esquemas de tipos de cubiertas que pueden desarrollarse en las áreas; también se incluye la ubicación y cómo se encuentra la infraestructura del parque, por lo cual nuestra primera aproximación fue que necesitaba áreas cubiertas para espacios en los juegos y en las áreas deportivas, y así favorecer la realización de las actividades en el parque a cualquier hora del día, por lo que se generó un modelo donde verificamos las ventajas y las desventajas de aplicar una cubierta ligera que detonara el proyecto de rescate.

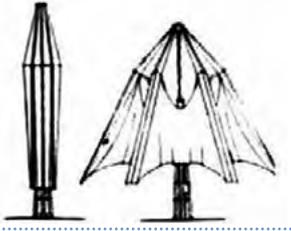
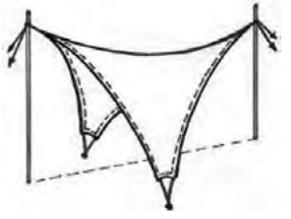
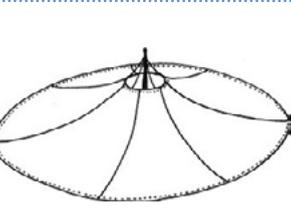
Estructuras transformables en forma de paraguas	
Estructuras ligeras tensadas	
Estructuras ligeras a base de tensigrity	

Tabla 3. Tipologías de cubiertas ligeras.

Fuente: Escrig (2012); Morales (2013).

En estos esquemas de desarrollo nos encontramos que cada área urbana tiene diferentes necesidades. Para el siguiente ejemplo de esquema, desarrollamos un anteproyecto del parque del cerro del Abuelo, como se muestra en la figura 7, donde el lugar es una zona histórica de interés para la ciudad, ya que ahí nacieron algunos de los primeros asentamientos y es un hito para el ayuntamiento, por lo que su desarrollo se concentró no solo en generar una serie de modelos de cubiertas, sino también, en diseñar inmobiliario urbano icónico para el desarrollo de actividades turísticas del lugar, pues el área es ocupada constantemente para realizar eventos públicos, por lo que cada caso de rescate de áreas urbanas tendrá una aportación diferente en su diseño arquitectónico (Morales, 2017a).

### Generación de modelos

Las siguientes propuestas tecnológicas desarrolladas buscan ser un ejemplo de cómo generar cubiertas ligeras para rehabilitar zonas públicas urbanas —en específico, de los parques—, por cuanto la condición física de algunos de estos espacios no está tan deteriorada como en otras áreas de la ciudad, pero la falta de infraestructura que pueda cobijarlos en horas de calor extremo impide que se realicen las actividades públicas, deportivas y recreativas propias del sitio, por lo cual se harán prototipos con los cuales mejorar las condiciones de uso de dichos espacios. Primeramente se hizo el rescate de espacio en desuso dentro de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Veracruzana; cabe mencionar que para las siguientes propuestas, el material que se utilizó es diverso, pero en su mayoría se utilizó acero al carbono de cédula 40, con un espesor de 3½", ya que esta fue donada por compañías de la zona, como PEMEX, o financiada con recursos propios; esto ayudó a bajar los costos de habilitación de los sucesivos modelos mostrados a continuación. Una de las peculiaridades de los siguientes prototipos es que todos están cubiertos por una membrana —para el caso que se mostrará, de malla sombra—, el cual ayuda a facilitar la construcción de los modelos en sitio en unas cuantas horas, y permite, además, su fácil instalación en la zona (McCormac, 2000).

Otra condicionante de la membrana que se utilizó fueron sus propiedades, ya que los prototipos fueron hechos con malla sombra del 95%; esto quiere decir que deja pasar los rayos del Sol, pero no toda la radiación solar. De igual manera, esta malla deja pasar el viento en su superficie, lo que ayuda a autorregular el microclima del área que se está utilizando. Para el ejercicio se usaron las áreas de la Facultad de Arquitectura, donde pudimos rehabilitar zonas en desuso, como la explanada de la cafetería y el área de recreación (Sánchez, 1992).

Estos dos primeros modelos que presentaremos, y que se muestran en la figura 8 ya se publicaron en la *Revista Arquitectura (Bogotá)*, de la Universidad Católica de Colombia, por lo cual solo mencionaremos que la virtud de este tipo de cubierta ligera fue que se instaló en solo dos horas, pues se la diseñó para que no se utilizara andamiaje y fuesen colocada rápidamente en el sitio, por lo cual el esquema tecnológico de aplicación de este tipo de cubiertas ayuda como ejemplo de aplicación para propuestas finales dentro del rescate de parques (Morales, 2017b).

El siguiente prototipo se desarrolló con el concepto de un paraguas invertido, como se muestra en la figura 9 con la finalidad de cubrir una área mayor, pero también, para captar agua lluvia de la zona; como este tipo de cubierta puede llegar a cubrir de 13 m-50 m de diámetro,

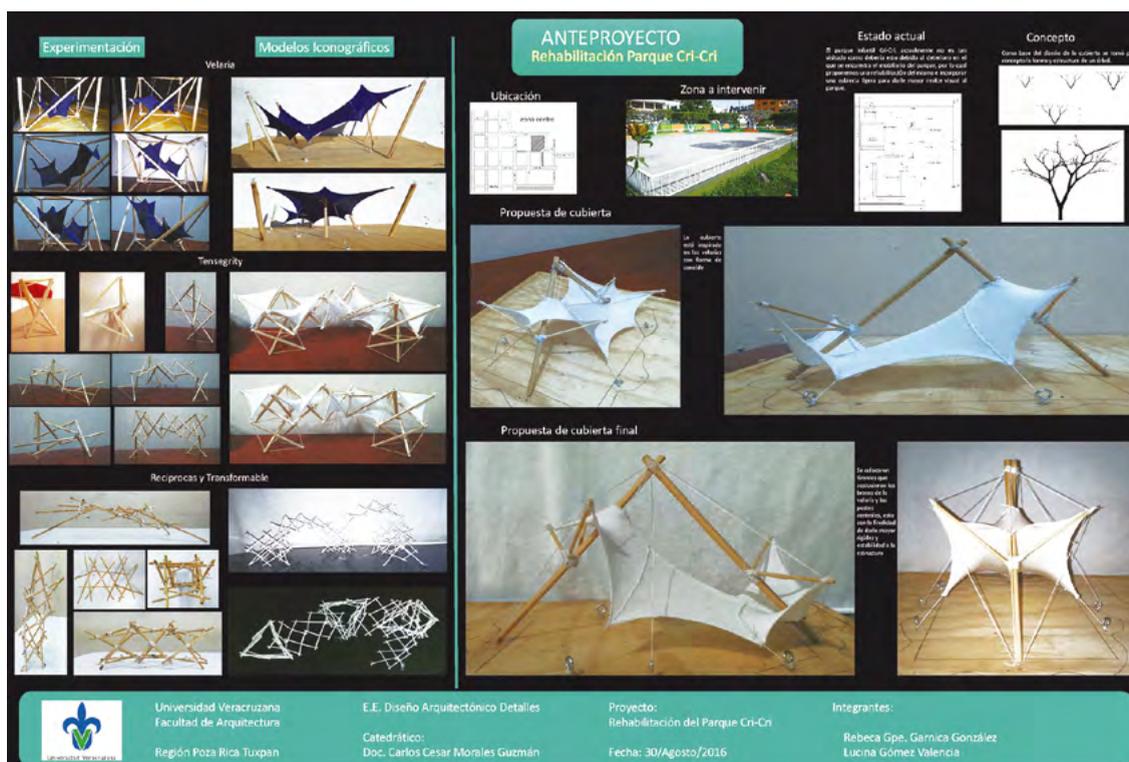


Figura 6. Metodología de diseño de cubiertas ligeras para desarrollar propuestas de rescate de parques en la ciudad de Poza Rica.

Fuente: elaboración propia (2017).



Figura 7. Metodología de diseño de cubiertas ligeras para desarrollar propuestas de rescate de parques en la ciudad de Poza Rica.

Fuente: elaboración propia (2017).

la tipología estructural de la propuesta fue aligerarle sus brazos, con postes reforzados con cable, que ayudaron a tener una envergadura de 13 m de diámetro, y cuya instalación duró solo cuatro horas. En este caso hubo que utilizar andamios, porque la cubierta era desplegable al momento de desmontarse (Morales, 2018a).

Los siguientes modelos se elaboraron en el género de cubiertas desplegables. Dicha característica es un poco más compleja para diseñar, pero cuando se termina su manufactura, la construcción en sitio es rápida y puede ser colocada en menos tiempo que las propuestas anteriores. Para estos ejemplos, el material utilizado fue el acero galvanizado, por su fácil adquisición y su manejabilidad para crear los modelos; pero para propuestas de escala mayor, como las anteriores, el uso del acero al carbón, de aluminio estructural, de plástico estructural o de bambú son

buenas opciones para la construcción de sus miembros, pero en cuestión de sus uniones o de nodos deberán ser de una materia resistente, para que puedan desplegar sus aspas sin ninguna afectación de pandeo o agrietamiento. De igual manera, la membrana que se utilizó fue la malla sombra, por sus propiedades flexibles y térmicas, aunque su durabilidad es muy precaria, y dependerá del mantenimiento que se le dé al material, ya que un buen mantenimiento anual puede extender su vida útil hasta ocho o diez años. Ya hay en el mercado materiales con mayor durabilidad, con hasta 35 o 50 años de utilidad, pero su costo es muy elevado (Morales, 2016; 2018b).

Para estos prototipos su uso dentro de la institución fue para realizar espacios itinerantes, ya que cada año dentro de la Universidad Veracruzana tiene lugar la Exporienta. Dichos modelos tienen la función de cubrir el stand de la



Figura 8. Propuesta de cubiertas ligeras: tensoestructuras.

Fuente: elaboración propia (2018).



Figura 9. Propuesta de cubiertas ligeras: paraguas plegable tensado.

Fuente: elaboración propia (2019).

carrera de Arquitectura para las demostraciones de su plan de estudio, en los niveles de preparatoria en la localidad. Estos prototipos también se publicaron en otras revistas, por lo que el resultado de esas investigaciones prácticas será únicamente sobre cómo aplicarlas dentro de un proyecto. El primer prototipo desarrollado fue una hipérbola desplegable, que puede llegar a tener diámetros de 10 m-50 m, como se muestra en la figura 10. Este modelo, con escala 1:5, no utiliza andamios, gracias a que tiene un poste central que hace que abra la hipérbola desplegable y se ancle fácilmente al suelo. Para su instalación en el sitio se necesitaron 30 minutos, y se pusieron dos dentro del área de exposición de la Facultad de Arquitectura (Gantes, 2001; Morales, 2016).

La siguiente propuesta busca demostrar la factibilidad de uso que tienen las cubiertas desplegables dentro del rescate de espacios, y como serían las diversas aplicaciones que podrían llegar a obtenerse dentro de los espacios públicos de la ciudad, y por eso se desarrolló una cubierta bidireccional plegable, como se muestra en la figura 11. Esta puede llegar a cubrir de 10 m-80 m de claro, según lo cual se puede cubrir un mayor rango de área en los espacios públicos. Se instaló dicha cubierta en zonas de explanada de la cancha para la Exporienta de la facultad, y solo tardó 15 minutos en desplegarse en el sitio. Esas propuestas de modelos pueden mejorar la precaria situación que hay en los parques, pero también, habilitar el espacio para cualquier hora del día, y así su instalación sería útil en todo momento del día (Torres & Franco, 2006; Morales, 2019; 2021a).



Figura 10. Propuesta de cubiertas ligeras: hiperboloide plegable.

Fuente: elaboración propia (2017).



Figura 11. Propuesta de cubiertas ligeras: cubierta bidireccional plegable.

Fuente: elaboración propia (2021).

## Resultados

Como primer caso de aplicación y resultado de toda la metodología anterior, se presenta una propuesta de rehabilitación del parque Cuauhtémoc. Dicha área pública tiene un valor patrimonial histórico, por ser uno de los primeros parques de la ciudad, debido a lo cual tenemos como objetivo rehabilitar las áreas estéticamente y facilitar que cumplan con su función de cubrir del Sol y dar una nueva imagen a la ciudad. Para este proyecto se proponen dos velarías tensadas, sostenidas con postes articulados y contravientos anclados al suelo. La primera de ellas será puesta sobre el área de juegos de mesa, y cubrirá 330 m<sup>2</sup>. La segunda será instalada sobre el área de juegos infantiles, y cubrirá 271 m<sup>2</sup>. Junto a ellas contienen dos cubiertas más: la cubierta transformable, la cual será la que resguarde la cancha deportiva con un área cubierta de 560 m<sup>2</sup>, y las dos cubiertas en forma de paraguas, que juntas cubren 120 m<sup>2</sup>, para un total de 1.281 m<sup>2</sup> dentro del parque Cuauhtémoc.

Dentro del contexto arquitectónico del parque Cuauhtémoc se encuentran espacios importantes que reúnen a la población para su uso de esparcimiento. El parque es ocupado por cualquier tipo de usuarios, sin distinción de edades, y que requieren un espacio fresco y que pueda usarse a cualquier hora del día, por lo cual se proponen las cubiertas ligeras y transformables. A continuación se presentarán ilustraciones que marcan un antes y un después hipotético del parque Cuauhtémoc, donde se proponen una tensoestructura en la zona de esparcimiento familiar, y también, una cubierta tensada con un poste flotante para cubrir el área de juegos infantiles. Por último, se proponen las aplicaciones de diseño tecnológico de dos cubiertas desplegables tipo paraguas para áreas de recreación en la salida de la escuela telesecundaria Cuauhtémoc, como se muestra en las figuras 12 a 14.

Para esta primera intervención no se contemplaron áreas de atención médica, ya que en su cercanía está el hospital regional, a tan solo dos cuadras del sitio y con una mejor infraestructura para la atención al usuario. Con esa primera propuesta se pretende llevar a cabo los otros proyectos de

rehabilitación de parques dentro de la ciudad que están en desuso por la falta de una infraestructura que ayude a resistir las inclemencias climáticas de la zona y que las áreas comunes para los usuarios de la ciudad sean, en efecto, utilizadas. Por eso, la propuesta, como se indica en la figura 15, llevará a que se tenga una mejor imagen urbana, por medio de tal tipo de estructuras de cubiertas ligeras.

## Discusión

El espacio público en la ciudad debería ser un área que genere actividad social colectiva, donde la población pueda generar escenarios de vida, que rompan lo cotidiano de las arduas labores del día y, de igual manera, ser un regulador climático dentro de la mancha urbana. Esta falta de percepción por parte de las autoridades, que no motivan a la ciudadanía para apropiarse del espacio público, hace que se pierdan dichas áreas y no se les dé uso adecuado a las instalaciones; la falta de planeación en el diseño de la ciudad y la mala orientación del lugar dificulta la realización de actividades lucrativas y de recreación en estos sitios.

Al no tener una propuesta de diseño y de planeación de las áreas públicas se puede ir perdiendo la sociabilización de la población, ya que los parques tienen la función de ser hitos dentro de la mancha urbana. Por otro lado, también se encuentran espacios que tienen un valor histórico; por citar solo un ejemplo, se tiene el parque de las Américas, donde hay un mirador turístico, según se muestra en la figura 16, pero que solo es utilizado cuando el Sol se está ocultando, pues se encuentra en una de las zonas más altas de la ciudad y aumenta igualmente la ola de calor; ello, aunado a la escasez de áreas verdes, hace un radiador solar de este hito emblemático de la ciudad.

Por último, se deberá contemplar un programa de necesidades más personalizado para cada una de las áreas urbanas, no solo para recreación, sino para activación cultural, deportiva y de emergencia, ya que en la zona norte del estado de Veracruz, México, se pueden encontrar fenómenos meteorológicos como el huracán Grace, que afectó enormemente las áreas verdes y empeoró la infraestructura de la ciudad. Por ello, un sistema de cubiertas ligeras sería una buena opción para habilitar rápidamente estos espacios. De igual manera lo sería desarrollar espacios emergencia que puedan ayudar a la ciudadanía a tener un refugio temporal en esos grandes espacios, por lo que puede haber áreas eventualmente utilizables como desahogo de emergencia. Un ejemplo al respecto es el parque Ignacio de la Llave, que por su ubicación está en una zona céntrica, pero sin ayuda médica cercana, como se muestra en la figura 17, y el cual puede integrar en su programa de necesidades de rehabilitación de espacios de emergencias, justificado por el programa arquitectónico de necesidades de la tabla 2, por lo que ayudaría mucho a la zonas de estas áreas urbanas; en especial, a la comunidad universitaria, pues hay una población grande de alumnos que estudian en esas áreas.

## Conclusión

La investigación se basó, desde el principio, en el esquema del Dr. Josep Llorens Durán sobre como diseñar y manufacturar las cubiertas ligeras, como la tensoestructura, sus disertaciones son un punto de referencia, ya que el desa-



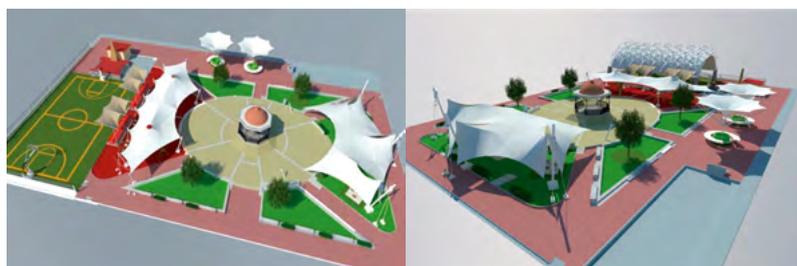
▲ Figura 12. Fotografía de estado actual y *render* idea de proyecto, sobre la calle Juárez, esquina con calle Padilla.  
Fuente: elaboración propia (2021).



▲ Figura 13. Fotografía estado actual y *render* del área cubierta de los juegos infantiles, dentro del parque Cuauhtémoc.  
Fuente: elaboración propia (2021).



▲ Figura 14. Fotografía estado actual en el área por cubrir y *render* del área cubierta propuesta de un par de paraguas retráctiles.  
Fuente: elaboración propia (2021).



▲ Figura 15. Proyecto de rehabilitación del parque Cuauhtémoc.  
Fuente: elaboración propia (2021).

rollo de las formas constructivas adecuadas se generó en el tema de las cubiertas ligeras. La tipología de la forma ayuda a que sean más estables; sobre todo, las que se configuran con una membrana textil, ya que dicha tipología ayuda a generar diferentes tipos de estructuras que son más fáciles de manufacturar y construir en espacios urbanos.

La idea conceptual, expuesta en el diseño experimental de los modelos de conexión, coadyuvó a crear modelos físicos de las estructuras ligeras; estas solo se implementarán para el desarrollo de detalles estructurales que puedan crear un sistema de cubiertas ligeras. Dichos modelos generan una premisa teórica constructiva para desarrollar ese tipo de estructuras de bajo consumo de material. Todo lo anterior ofreció un parámetro para desarrollar una propuesta constructiva de diferentes tipos de cubiertas, las cuales sirven para verificar y validar nuestro resultado final, que son las propuestas de rehabilitación de parques.

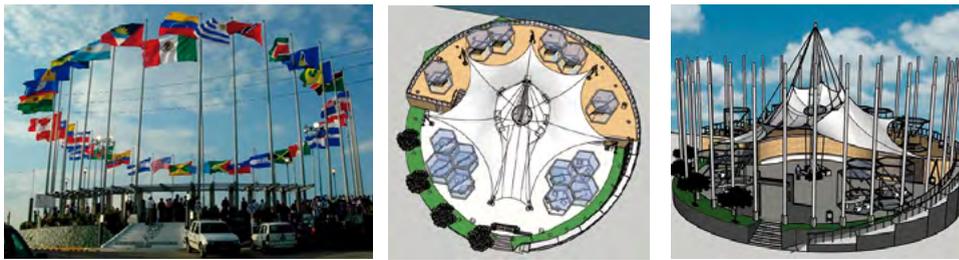


Figura 16. En la primera imagen se observa el parque de las Américas a las 9:00 a. m. En las imágenes segunda y tercera se observa la propuesta de configuración para rehabilitar el espacio a diferentes horas del día.

Fuente: elaboración propia (2021).



Figura 17. En las primeras imágenes de la izquierda se observa el parque Ignacio de la Llave con infraestructura en desuso y el cual está ubicada en una zona céntrica de la ciudad, en las segundas imágenes se observa el uso de inmobiliario urbano en áreas de recreación y módulos de emergencias médicas, en las últimas figuras la propuesta de configuración para rehabilitar el espacio a diferentes horas del día.

Fuente: elaboración propia (2021).

### FORMA INDETERMINADA

### GEOMETRÍA DE EQUILIBRIO

### ESTADO DE AUTOTENSIÓN

¿Por qué bambú?

- Reforestación más rápida y a menor costo.
- Regulador oxígeno-biócido de carbono en la atmósfera.
- Recurso natural renovable.
- Uso alternativo de la madera.
- Fuente de material vegetativo y mejorador de suelo.
- Incrementa las retenas hídricas.
- Ingresos marginales con valor agregado.
- Generación de empleos, efecto multiplicador.
- Elemento resistente para construcción de viviendas.

# TENSEGRITY

La Tensegridad es un principio estructural basado en el empleo de componentes comprimidos que se encuentran dentro de una red tensada continua, de tal modo miembros comprimidos (generalmente barras) no se tocan entre sí y están unidos únicamente por medio de componentes traccionados (habitualmente cables) que son los que delimitan espacialmente dicho sistema.

1. Construimos un prisma regular de base dodecaedro que nos servirá de guía para construir la estructura Simplex.
2. Dibujamos en la base inferior un triángulo equilátero uniendo los puntos.
3. Dibujamos en la base superior un triángulo equilátero uniendo los puntos.
4. Dibujamos los elementos a compresión uniendo los puntos de las bases inferior y superior respectivamente.
5. Dibujamos los elementos a tracción oblicuos uniendo los puntos de las bases inferior y superior respectivamente.
6. Finalmente eliminamos el prisma regular dodecaedro y tendremos nuestra estructura tensegrity Simplex.

Este tipo de estructuras nos pueden ejemplificar de una forma muy clara el uso de la compresión tensión que hay en las estructuras y cómo es su comportamiento con la transmisión de fuerzas o hacen unas estructuras muy firmes.

Se consiguió bambú tratado de la zona norte del estado de Veracruz exactamente en la ciudad de Tampico, Tamaulipas.

- El proceso comenzó con la medición de cada bambú, dejando una medida mínima en el extremo de 15cm, que es en donde entrará la pieza de acero, a ciertas piezas de bambú fue necesario desvestir el interior para que el tubo entrara sin problemas.
- Se cortó el tubo de acero dentro de 40 a medida específica de cada bambú en ambos extremos.
- A este tubo se soldó una pieza en forma de cruz, que soportaría más tarde los grúas y el cable de acero.
- Fueron perforados el bambú y el tubo de acero sobre el eje X y Y con una distancia de 3' entre para sostener la pieza en su lugar.
- Posteriormente fueron rellenados los extremos en ambos extremos con Grout, un relleno estructural sin contracción para la conexión bajo estructura y enmagranamiento. Adhuc el equipo dinámico a su base para formar un momento que contraponga la vibración.
- Terminados todos las piezas se procedió a armar un módulo, una vez que este fue armado se alinearon otros dos en los extremos, ya que era necesario tenerlos juntos, de la misma manera con los apoyos.
- El proceso de armado se realizó con ayuda de estacas con matraca, colocadas en los últimos extremos a tensor, acercando estas últimas piezas hasta lograr colocar el cable de acero dentro del grúas.
- Una vez terminada la cubierta a 3' módulos y los 2 apoyos, se montó la estructura, para esto utilizamos tornillos, de que el apoyo quedará justo en el punto medio y así nos aseguramos de tensar al mismo tiempo ambos extremos.
- Utilizando estacas se puso en pie la estructura y se tensó en 4 puntos más como apoyo.

Figura 18. Propuesta de cubiertas ligeras: cubierta bidireccional plegable.

Fuente: Gómez (2007) y Morales (2021b).

En cuanto a las aplicaciones tecnológicas, se hizo una serie de propuestas aproximadas para el proyecto, estas derivadas de la construcción de modelos digitales o modelos a diferentes escalas 1:5, que posteriormente se construyeron a escala 1:1, analizados con el rigor científico que sustenta su resistencia y su equilibrio para armarlos. Con ello, se cotejan aspectos tales como su armado y las correcciones

en las uniones. Los alcances de estos modelados ayudaron a adquirir experiencia y conocimiento en la manufactura de los miembros estructurales de los modelos. Esta característica experimental ayudó en gran medida a mejorar ciertos criterios de diseño constructivos, que, a su vez, se vieron reflejados en el hecho de que la elaboración de las estructuras finales no tuviera tantas excentricidades, por

medio de uniones sencillas. El diseño de las cubiertas ligeras se puede dar de varias maneras, y no necesariamente de una; pero, por cuestiones prácticas, solo se elaboró una de las varias posibles transformaciones de diseño. Igualmente, el tema del sistema constructivo no se profundizó con otros materiales más resistentes y ligeros, ni en cómo será su ejecución en el montaje en un terreno aislado, circunstancias que pueden retomarse para crear diferentes posibilidades de montaje, y también, a fin de analizar sus propiedades físicas, para saber si estará dentro de los rangos de seguridad.

En cuanto a la personalización de un programa de necesidades para cada una de las áreas urbanas, estas se pueden ejecutar con un programa arquitectónico, ya descrito en este documento, y el cual define las áreas más importantes por rescatar e incluir. Esto puede ayudar a contemplar otras necesidades como espacios emergentes; de igual manera, puede incluirse el uso de materiales alternativos, como el bambú, según se muestra en la figura 18, que no son tan contaminantes como el acero y pueden dar el mismo resultado estético y estructural que una estructura normal con materiales convencionales.

### Contribuciones y agradecimientos

Se desarrolló la presente investigación con apoyos de financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

El autor declara que no tienen conflictos de interés relevantes en relación con la investigación presentada.

### Referencias

- Becker, J., & Kuschner, E., (1995). *Tipologías estructurales: la desmaterialización de las estructuras de grandes luces*. 2a Ed. Editorial Universidad Pontificia de Chile.
- Bentley, I., & Alcock, A. (1999). *Entornos vitales. Hacia un diseño urbano y arquitectónico más humano. Manual práctico*. Editorial Gustavo Gili.
- Berger, H. (1996). *Light structures, structures of light, the art of tensile Architecture*. Basel.
- Del Ángel, L. A. (2014). *Esquemas para el desarrollo de viviendas sociales en la ciudad de poza rica* [Tesis de licenciatura]. Universidad Veracruzana, Poza Rica, Veracruz. México.
- Escrig, F. (1984). Estructuras espaciales de barras desplegadas. *Revista Informes de la Construcción*, 36. <https://doi.org/10.3989/ic.1984.v36.i365.1895>
- Escrig, F. (1988). Estructuras espaciales desplegadas curvas. *Revista Informes de la Construcción*, 39. <https://doi.org/10.3989/ic.1988.v39.i393.1606>
- Escrig, F. (2012). *Modular, ligero, transformable: un paseo por la arquitectura ligera móvil*. Editorial Universidad de Sevilla.
- Gantes, C. (2001). *Deployable structure: Analysis and design*. Wit Press.
- Gehl, J. (2006). *La humanización del espacio urbano*. Editorial Reverté.
- Cómez, V. (2007). *Tensegridad, estructuras tensegríticas en ciencias y artes*. Editorial Universidad Catalunya.
- Llorens Durán, J. I. (2011). *Los detalles constructivos de las tenso estructuras*. IV Simposio Latinoamericano de Tenso Estructuras, Universidad de la República, Facultad de Arquitectura. <https://core.ac.uk/download/pdf/41766909.pdf>
- Llorens Durán, J. I. (2015). VI Simposio Latinoamericano de Tenso-estructuras. Realizado conjuntamente con el Congreso de la IASS, Brasilia, 2014. *Revista Informes de la Construcción*, 67(537). <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4059/4626>
- INEGI. (2010). *México en cifras: Información nacional, por entidad federativa y municipios*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- INAFED. (2020). *Poza Rica de Hidalgo*. <https://www.gob.mx/bienestar/apoyoveracruz/documentos/municipio-poza-rica>
- McCormac, J. (2000). *Diseño de estructuras de acero, Método LRFD*. Editorial Alfaomega.
- Morales Guzmán, C. C. (2011). Sistemas de diseño para la vivienda. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 13(1), 118-127. <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/775>
- Morales Guzmán, C. C. (2013). Prototipo de diseño de una cubierta retráctil tensada. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 15(1), 102-110. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2013.15.1.11>
- Morales-Guzmán, C. C. (2016). Construcción experimental de un sistema transformable tensado plegable. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 18(1), 98-110. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2016.18.1.9>
- Morales, C. C. (2017a). Desarrollo de la forma de una tenso estructura en el diseño por computadora. *Revista Procesos Urbanos*, 4. <https://doi.org/10.21892/2422085X.356>
- Morales, C. C. (2017b). Experiencias y casos de estudio: construcción de una cubierta hiperbólica tensada para espacios tropicales. En G. Pesantez & W. Flores (Comps.), *Arquitectura: experiencias y propuestas para la ciudad* (pp. 177-192). <http://192.99.145.142:8080/xmlui/handle/123456789/17>
- Morales-Guzmán, C. C. (2018a). Diseño y desarrollo de patrones de la forma de una tensoestructura. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 20(1), 71-87. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.1.1544>
- Morales, C. C. (2018b). Diseño de una cubierta hiperbólica plegable tensada. *Revista Procesos Urbanos*, 5. <https://doi.org/10.21892/2422085X.414>
- Morales-Guzmán, C. C. (2019). Diseño y construcción de un paraguas plegable para espacios arquitectónicos. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 21(1), 76-89. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2019.21.1.1623>
- Morales, C. C. (2021a). Diseño de refugio emergente con sistemas plegables. *Arquitectura Revista*. Vol. 17(1), 1808-5741. <https://doi.org/10.4013/arq.2021.171.08>
- Morales, C. C. (2021b). *Desarrollo de un sistema transformable en las cubiertas plegables para espacios multifuncionales* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sánchez, F. (1992). *Estructuras ligeras para grandes luces*. Editorial Fundación Emilio Pérez Piñero.
- Torres, L., & Franco, R. (2006). *Estructuras adaptables*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

