

# GEOMETRÍA DE LAS SUPERFICIES DE ÁREA MÍNIMA (SAM) EN RETICULADOS ESPACIALES

Arq. Melisa Gálvez Bohórquez  
Arq. Juan Gerardo Oliva Salinas



UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia

# **Geometría de las superficies de área mínima (SAM) en reticulados espaciales**

---

# Geometría de las superficies de área mínima (SAM) en reticulados espaciales

---

Melisa Gálvez Bohórquez  
Juan Gerardo Oliva Salinas



UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia

Geometría de las superficies de área mínima (SAM) en reticulados espaciales / Melisa Gálvez Bohórquez, Juan Gerardo Oliva Salinas -- 1a edición -- Bogotá, Universidad La Gran Colombia, 2025.

156 páginas; 23,5 x 16,5 cm.

ISBN (impreso): 978-958-5179-76-9

ISBN (pdf): 978-958-5179-78-3

1. Superficies mínimas - Colombia 2. Teoría reticular - Colombia 3. Geometría del espacio 4. Diseño de estructuras I. Universidad La Gran Colombia

516 SCDD 23 ed.

CAJR BUGC

*Geometría de las superficies de área mínima (SAM) en reticulados espaciales*

Primera edición, enero 2025

ISBN (impreso): 978-958-5179-76-9

ISBN (pdf): 978-958-5179-78-3

© Melisa Gálvez Bohórquez, Juan Gerardo Oliva Salinas

© Universidad La Gran Colombia

Editorial Universidad La Gran Colombia

Carrera 6 N.º 12b – 40, piso 2

Bogotá, D. C., Colombia

PBX: 327 69 99, ext.: 1048, 1049, 1050

investigaciones.editorial@ugc.edu.co

### **Producción**

Dirección de Investigaciones: Alejandro Montes Briceño

Coordinación editorial: Deixa Moreno Castro

Corrección de estilo: Carolina García Quijano

Diagramación y diseño de cubierta: Brayan Steven Monsalve di Antonio

### **Impresión**

Ediciones Carrera 7.a S.A.S.

Calle 73 # 53 – 37

Teléfono: 2727837

gerentecarrera7@hotmail.com

Impreso en Colombia • Printed in Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos patrimoniales. Universidad La Gran Colombia I Vigilada Mineducación. Reconocimiento como universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964. Reconocimiento de personería jurídica: Resolución n.º 47 del 25 de septiembre de 1953.

# Perfil de autores

---

## Melisa Gálvez Bohórquez

Magíster en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México. Arquitecta por la Universidad Nacional de Colombia. Investigadora sobre temas de arquitectura, geometría de superficies, estructuras no convencionales, morfología estructural, nuevas geometrías e innovación tecnológica en arquitectura.

Correo: melisagalvezb@gmail.com

CvLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generar-CurriculoCv.do?cod\\_rh=0001369121](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generar-CurriculoCv.do?cod_rh=0001369121)

## Juan Gerardo Oliva Salinas

Doctor ingeniero por la Universidad Stuttgart (Alemania). Arquitecto por la Universidad Nacional Autónoma de México. Docente e investigador adscrito a la Facultad de Arquitectura y la Especialización en Cubiertas Ligeras de la Universidad Nacional Autónoma de México. Miembro del Consejo Ejecutivo Internacional de Cascarones y Estructuras Espaciales (IASS).

Correo: jgos@unam.mx

# Contenido

---

<b>Perfil de autores.....</b>	<b>5</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo 1 Superficies de área mínima.....</b>	<b>18</b>
Surgimiento e historia de las SAM.....	18
Experimentos con SAM.....	20
Medios para obtener SAM con películas de jabón.....	22
Elementos de las SAM .....	25
Caracterización geométrica .....	27
Propiedades físicas de SAM obtenidas con películas de jabón .....	30
Aplicaciones de SAM en la Arquitectura.....	33
Conclusiones capítulo 1.....	37
<b>Capítulo 2 Reticulados espaciales .....</b>	<b>38</b>
Surgimiento e historia de los reticulados espaciales.....	38
Sistemas de estructuras .....	44
Clasificación de los sistemas reticulados.....	47
Comportamiento estructural de los reticulados espaciales....	49
Ventajas y desventajas de los sistemas reticulados espaciales.....	53
Uniones y sistemas patentados.....	54
Aplicaciones arquitectónicas desmontables .....	63
Conclusiones capítulo 2 .....	66
<b>Capítulo 3 Geometría SAM aplicada a sistema de reticulado espacial.....</b>	<b>67</b>
Experimentación n.º 1: obtención de geometría a partir de películas de jabón .....	68
Experimentación n.º 2: simulaciones en <i>software</i> de estructuras .....	74
Conclusiones capítulo 3 .....	109

<b>Capítulo 4 Aplicación: geometría SAM del cubo en columna de reticulado espacial.....</b>	<b>111</b>
Ficha técnica del producto tecnológico propuesto: columna.	112
Resultados de los cálculos estructurales en columna SAM.....	120
Sustentabilidad del producto.....	128
Ejemplo de aplicación arquitectónica .....	130
Conclusiones capítulo 4.....	134
<b>Conclusiones de la investigación.....</b>	<b>136</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>139</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>143</b>

# Índice de figuras

---

<b>Figura 1.</b>	Superficies de área mínima obtenidas con la inmersión de bastidores metálicos en soluciones de agua y jabón. ....	14
<b>Figura 2.</b>	(a) Cubierta exterior del edificio Centro Médico 20 de noviembre; y (b) cubierta en el acceso del edificio Universum. ....	16
<b>Figura 3.</b>	Ejemplo del proceso aplicado a figura obtenida con las SAM del tetraedro. ....	17
<b>Figura 4.</b>	Línea de tiempo. Síntesis del proceso teórico que condujo al estudio científico de las SAM.....	19
<b>Figura 5.</b>	Ensayos con modelos a escala realizados por Frei Otto (1). ..	21
<b>Figura 6.</b>	Ensayo con modelo a escala realizado por Frei Otto (2). ....	21
<b>Figura 7.</b>	Ensayos con modelos a escala realizados por Frei Otto (3). .	21
<b>Figura 8.</b>	Ensayo con modelo a escala realizado por Frei Otto (4). ....	22
<b>Figura 9.</b>	Formas de agrupación de burbujas que varían según el grado de complejidad.....	22
<b>Figura 10.</b>	Serie de fotografías que destacan los detalles de las uniones entre películas de jabón. ....	23
<b>Figura 11.</b>	Ejemplos de bastidores de alambre. ....	24
<b>Figura 12.</b>	Ejemplos de marcos de alambre. ....	24
<b>Figura 13.</b>	Ensayos con hilos apoyados en marcos. ....	25
<b>Figura 14.</b>	Ejemplos de la organización de películas que se producen al interior de dos placas de vidrio o acrílico, unidas por elementos verticales. ....	25
<b>Figura 15.</b>	Incremento en el grado de complejidad de agrupaciones de SAM. ....	26
<b>Figura 16.</b>	Bastidor de octaedro que ejemplifica los elementos generados con las películas de jabón.....	26
<b>Figura 17.</b>	Representación de la caracterización geométrica descrita en las Leyes de Plateau y las Reglas de Schwarz. ....	28
<b>Figura 18.</b>	Ejemplos de unión de cuatro puntos. ....	29
<b>Figura 19.</b>	Propiedades físicas de las películas de jabón. ....	30
<b>Figura 20.</b>	Grosor de las películas de jabón.....	31
<b>Figura 21.</b>	Esquema explicativo de la fuerza de cohesión producida entre las moléculas en un líquido.....	32
<b>Figura 22.</b>	Proyecto Estadio Olímpico de Múnich. ....	34
<b>Figura 23.</b>	Proyecto Centro Acuático de Pekín.....	35
<b>Figura 24.</b>	Estructura Weaire-Phelan. ....	35
<b>Figura 25.</b>	Proyectos que aplican la idea SAM. ....	36

<b>Figura 26.</b>	El Monumento a la Constitución (Madrid). .....	36
<b>Figura 27.</b>	Representación de antiguas edificaciones con estructuras triangulares.....	39
<b>Figura 28.</b>	(a) Cubierta de par e hilera; y (b) cubierta imperial.....	40
<b>Figura 29.</b>	Ejemplos de cerchas. ....	40
<b>Figura 30.</b>	Ejemplos de celosías representativas.....	42
<b>Figura 31.</b>	Ejemplos de estructuras tridimensionales de comienzo de 1900. ....	43
<b>Figura 32.</b>	Otros ejemplos de estructuras tridimensionales.....	43
<b>Figura 33.</b>	Clasificación de Engel sobre tipologías de estructuras. ....	45
<b>Figura 34.</b>	Tipologías de apoyos. ....	46
<b>Figura 35.</b>	Sistemas de fuerza. ....	46
<b>Figura 36.</b>	Clasificación propuesta de las tipologías de estructuras en el sistema de reticulados planos y espaciales.....	48
<b>Figura 37.</b>	Recorridos vectoriales en celosías y cerchas planas. ....	49
<b>Figura 38.</b>	Ejemplos de alternativas de apoyo para reticulados planos y espaciales. ....	50
<b>Figura 39.</b>	Esfuerzos en elementos estructurales esbeltos.....	51
<b>Figura 40.</b>	Proyecto de vivienda de emergencia en Ecuador. ....	64
<b>Figura 41.</b>	Modelos en 3D de proyecto de vivienda de emergencia en Ecuador.....	64
<b>Figura 42.</b>	Sistema estructural Molecule, aplicado en la construcción de una vivienda (Buenos Aires). ....	65
<b>Figura 43.</b>	Diseño de módulo básico. ....	67
<b>Figura 44.</b>	Obtención de geometría a partir de películas de jabón. ....	68
<b>Figura 45.</b>	Configuración de películas de jabón en el cubo. ....	70
<b>Figura 46.</b>	Cuadro con dimensiones de bastidores de la comprobación 1.....	71
<b>Figura 47.</b>	Resultados comprobación n.º 1.....	71
<b>Figura 48.</b>	Relación de proporción entre longitud de aristas $L_1$ y $L_2$ . ....	72
<b>Figura 49.</b>	Planos de proyección con las dimensiones de los elementos de las SAM del cubo en su verdadera magnitud.....	72
<b>Figura 50.</b>	Planos de proyección con los ángulos de los elementos de las SAM del cubo. ....	73
<b>Figura 51.</b>	Esquema de cubo y valores de los ángulos en los elementos de las SAM. ....	73
<b>Figura 52.</b>	Tipos de uniones y apoyos utilizados en experimentación n.º 2. ....	76
<b>Figura 53.</b>	Clasificación de grupos de aristas de la geometría y numeración de nodos.....	79

<b>Figura 54.</b>	Tipologías de los módulos básicos (MB) con variaciones en los tipos de unión. ....	80
<b>Figura 55.</b>	Gráficos de los desplazamientos en los nodos en la comprobación 1.....	81
<b>Figura 56.</b>	Gráfico del trabajo estructural realizado por cada grupo de aristas en comprobación 1.....	82
<b>Figura 57.</b>	Tipología módulo básico seleccionado en la comprobación 1 y módulo de cubo comprobación 2.....	83
<b>Figura 58.</b>	Desplazamiento vertical de MB y MC en eje Z ante la aplicación de cargas y secciones requeridas en comprobación 2. ....	84
<b>Figura 59.</b>	Comparativa entre las secciones requeridas para resistir las cargas aplicadas en MB y MC en el grupo de aristas n°. 5. ....	85
<b>Figura 60.</b>	Tipologías de módulos con variación de tamaño en comprobación 3. ....	86
<b>Figura 61.</b>	Gráficos de los desplazamientos en los nodos en la comprobación 3. ....	87
	Fuente: elaboración propia. ....	88
<b>Figura 62.</b>	Trabajo estructural realizado por cada grupo de aristas en la comprobación 3.....	89
<b>Figura 63.</b>	Aumento de cargas en el módulo básico comprobación 4. ...	89
	Resultados comprobación 4 .....	90
<b>Figura 64.</b>	Gráficos de los desplazamientos en los nodos en la comprobación 4 y acortamiento de módulos en eje Z. ....	90
<b>Figura 65.</b>	Gráfico de trabajo de esfuerzo estructural de las barras en comprobación 4.....	91
<b>Figura 66.</b>	Visualización final del dimensionamiento de las barras en MB. ....	93
<b>Figura 67.</b>	Sectores con trabajo de esfuerzo crítico en tipología de viga propuesta.....	93
<b>Figura 68.</b>	Trabajo estructural realizado por las barras con trabajo crítico en comprobación 5. ....	95
<b>Figura 69.</b>	Deflexiones en las vigas de la comprobación 5. ....	96
<b>Figura 70.</b>	Tipologías de vigas para comparación de desempeño estructural.....	98
<b>Figura 71.</b>	Diámetro de sección requerido en los elementos de las vigas en la comprobación 6. ....	99
<b>Figura 72.</b>	Visualización final de viga propuesta. ....	101
<b>Figura 73.</b>	Dimensiones de la tipología de losa propuesta.....	101
<b>Figura 74.</b>	Deflexión presentada en la losa de la comprobación 7.....	102

<b>Figura 75.</b>	Visualización final de losa propuesta. ....	103
<b>Figura 76.</b>	Tipologías de columnas comparadas en el sistema de reticulados espaciales. ....	104
<b>Figura 77.</b>	Desplazamiento horizontal de columnas. ....	106
<b>Figura 78.</b>	Acortamiento de columnas. ....	107
<b>Figura 79.</b>	Matriz de calificación del desempeño de las tipologías de columnas comparadas. ....	108
<b>Figura 80.</b>	Promedio de calificación del desempeño en columnas comparadas. ....	108
<b>Figura 81.</b>	Esquema de clasificación del elemento propuesto dentro de sistema estructural. ....	112
<b>Figura 82.</b>	Producto diseñado: Columna en sistema reticulado espacial. ....	113
<b>Figura 83.</b>	Vista general de Columna SAM. ....	116
<b>Figura 84.</b>	Vista en planta de Columna SAM. ....	117
<b>Figura 85.</b>	Columna SAM vista en detalle en extremo superior y en la base. ....	117
<b>Figura 86.</b>	Vista tridimensional de nodo esquinero (N1). ....	118
<b>Figura 87.</b>	Vista tridimensional de nodo intermedio (N2). ....	118
<b>Figura 88.</b>	Vista tridimensional de nodo (N3). ....	119
<b>Figura 89.</b>	Detalle de corte nodo inferior (N4) y anclaje a la base. ....	119
<b>Figura 90.</b>	Diagramas de análisis estructural desarrollados en SAP2000. ....	120
<b>Figura 91.</b>	Esquema de numeración de los nodos laterales para el cálculo de desplazamientos horizontales. ....	121
<b>Figura 92.</b>	Formula de esfuerzo. ....	125
<b>Figura 93.</b>	Diagrama de esfuerzo-deformación en materiales dúctiles sometidos a tensión. ....	125
<b>Figura 94.</b>	Diagrama de esfuerzo-deformación en diversos tipos de acero estructural. ....	126
<b>Figura 95.</b>	Render de aplicación arquitectónica, oficina y bodega de obra: vista general. ....	130
<b>Figura 96.</b>	Render de aplicación arquitectónica, oficina y bodega de obra: vista de acceso a oficinas y terraza. ....	131
<b>Figura 97.</b>	Render de aplicación arquitectónica, oficina y bodega de obra: vista interior de oficinas. ....	132
<b>Figura 98.</b>	Aplicación arquitectónica, oficinas y bodega de obra: planta baja. ....	133
<b>Figura 99.</b>	Aplicación arquitectónica, oficinas y bodega de obra: planta de segundo nivel. ....	133
<b>Figura 100.</b>	Aplicación arquitectónica, oficinas y bodega de obra: corte transversal. ....	134

# Indice de tablas

---

<b>Tabla 1.</b>	Resumen de los esfuerzos y reacciones que se presentan en los elementos de una estructura con la aplicación de cargas.....	47
<b>Tabla 2.</b>	Ventajas y desventajas en reticulados espaciales.....	53
<b>Tabla 3.</b>	Descripción del Sistema MERO.....	54
<b>Tabla 4.</b>	Descripción del Sistema UNISTRUT.....	55
<b>Tabla 5.</b>	Descripción del Sistema Konrad Wachsmann.....	55
<b>Tabla 6.</b>	Descripción del Sistema Triodetic.....	56
<b>Tabla 7.</b>	Descripción del Sistema Tridirectionelle.....	56
<b>Tabla 8.</b>	Descripción del Sistema Oktaplatte.....	57
<b>Tabla 9.</b>	Descripción del Sistema Pyramitec.....	57
<b>Tabla 10.</b>	Descripción del Sistema NODUS.....	58
<b>Tabla 11.</b>	Descripción del Sistema UNIBAT.....	59
<b>Tabla 12.</b>	Descripción del Sistema Vestrut.....	60
<b>Tabla 13.</b>	Descripción del Sistema Joint of Haven.....	60
<b>Tabla 14.</b>	Descripción de sistema de conectores para cascarones reticulados.....	61
<b>Tabla 15.</b>	Descripción de sistema Molecule.....	61
<b>Tabla 16.</b>	Descripción de sistema Bambutec.....	62
<b>Tabla 17.</b>	Simbología utilizada en la experimentación n.º 1.....	69
<b>Tabla 18.</b>	Comparativa de los ángulos entre los elementos SAM del tetraedro y el cubo.....	74
<b>Tabla 19.</b>	Simbología utilizada en experimentación n.º 2.....	75
<b>Tabla 20.</b>	Secciones en acero tubular redondo tipo perfil OS, utilizadas en experimentación n.º 2.....	77
<b>Tabla 21.</b>	Secciones en acero tubular redondo tipo perfil OC, utilizadas en experimentación n.º 2.....	78
<b>Tabla 22.</b>	Parámetros y variables para la comprobación 1.....	80
<b>Tabla 23.</b>	Esfuerzo estructural en barras comprobación 1.....	82
<b>Tabla 24.</b>	Parámetros y variables para la comprobación 2.....	84
<b>Tabla 25.</b>	Parámetros y variables para la comprobación 3.....	86
<b>Tabla 26.</b>	Esfuerzo estructural de barras en comprobación 3.....	88
<b>Tabla 27.</b>	Parámetros y variables para la comprobación 4.....	90
<b>Tabla 28.</b>	Esfuerzo estructural de barras en comprobación 4.....	92
<b>Tabla 29.</b>	Parámetros y variables para la comprobación 5.....	94

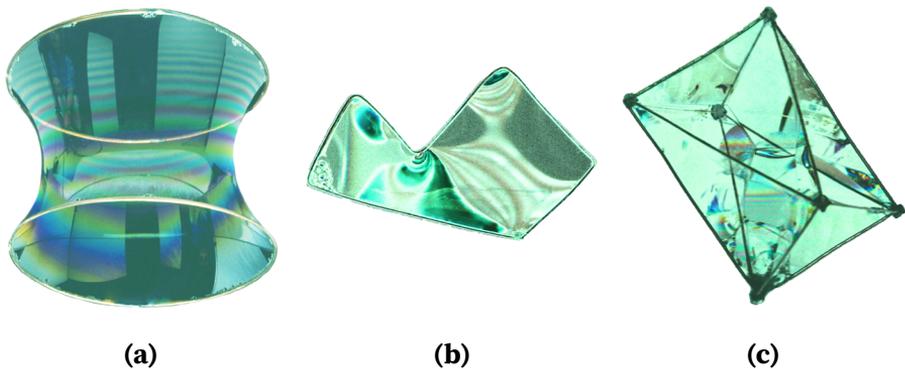
<b>Tabla 30.</b>	Resultado de los valores de deflexión de las vigas en la comprobación 5. ....	97
<b>Tabla 31.</b>	Parámetros y variables para la comprobación 6. ....	99
<b>Tabla 32.</b>	Resultado de los valores de deflexión de las vigas en la comprobación 6. ....	100
<b>Tabla 33.</b>	Secciones requeridas en los elementos de las vigas y cálculo de material. ....	100
<b>Tabla 34.</b>	Parámetros y variables para la comprobación 7. ....	102
<b>Tabla 35.</b>	Parámetros para la comprobación 8. ....	105
<b>Tabla 36.</b>	Valores de desplazamiento de columnas en L y L/2. ....	106
<b>Tabla 37.</b>	Dimensiones de las tipologías de barras en Columna SAM. ....	115
<b>Tabla 38.</b>	Cantidades totales de piezas en Columna SAM. ....	115
<b>Tabla 39.</b>	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36. ....	127
<b>Tabla 40.</b>	Materiales propuestos para investigación a futuro. ....	129

# Introducción

La estructura es inherente a la obra arquitectónica, con la función primordial de sustentar la edificación; está conformada por sistemas de elementos que se conectan con determinado orden, para proporcionar la rigidez, estabilidad y equilibrio requeridos. El *Diccionario de Arquitectura y Construcción* define la estructura como una combinación de unidades construidas e interconectadas, de una manera organizada, para proveer rigidez entre sus elementos.

El concepto Superficie de Área Mínima (SAM) refiere a la superficie capaz de cubrir un borde determinado, con la menor área posible; fenómeno presente en las películas y burbujas de jabón, las cuales emplean el mínimo material distribuido en su superficie. Según Weaire (1995), las películas de jabón obedecen al principio de las superficies de área mínima. Es posible obtener las películas por diversos medios, uno de los más comunes consiste en la introducción de figuras de alambre en soluciones de agua con jabón. Al retirar las figuras, funcionan como soportes que permiten sostener las películas de jabón generadas en el interior. Las películas resultantes pueden variar de sencillas a agrupaciones de mayor complejidad, que se conectan entre sí de forma organizada. En la figura 1 se presentan tres resultados diferentes de películas obtenidas con la introducción de soportes en soluciones de jabón, alcanzando distintas formas según las posibles configuraciones que permite cada caso.

**Figura 1.** Superficies de área mínima obtenidas con la inmersión de bastidores metálicos en soluciones de agua y jabón.



*Nota.* (a) Catenoide obtenido con aros; (b) película plana en marco irregular; y (c) conjunto de películas al interior de antiprisma de base triangular.

Fuente: elaboración propia.

Las aplicaciones de SAM en proyectos arquitectónicos se han enfocado en diseño de tensoestructuras<sup>1</sup>. Es decir que, en los ensayos realizados con soluciones de jabón para la materialización de películas, solo se toman en cuenta las superficies obtenidas, para ser constituidas como estructuras arquitectónicas. Sin embargo, mediante la exploración geométrica de otros elementos obtenidos, se pueden aportar nuevas alternativas de aplicación en arquitectura, que también rescaten los principios de eficiencia de SAM.

En la presente investigación se busca traducir la geometría de las aristas generadas por SAM al diseño en arquitectura, partiendo de que las películas de jabón son formas eficientes, y cuando están agrupadas, se comunican bajo el principio de *camino rápido*<sup>2</sup>, obteniendo configuraciones eficientes que, aplicadas al diseño de sistemas estructurales, permitan una adecuada transmisión de cargas y un empleo mínimo de recursos materiales. Se ha seleccionado el sistema de *reticulados espaciales*, por la analogía que existe entre los elementos rectilíneos que lo conforman, y las aristas generadas por las agrupaciones de SAM.

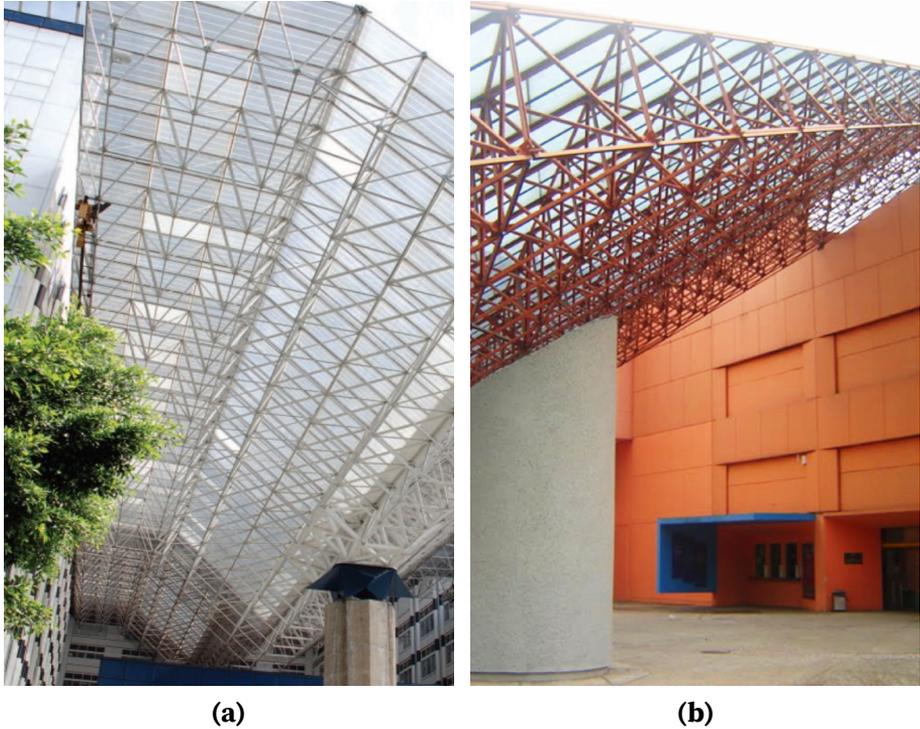
Se denomina reticulados espaciales al sistema estructural compuesto por barras, interconectadas en los extremos a través de nodos. El trabajo estructural de los elementos se divide en barras que trabajan al esfuerzo de compresión y barras que trabajan al esfuerzo de tracción, y con el empleo de los nodos, que son uniones articuladas, se presentan flexiones mínimas. Desde su auge a mediados del siglo XIX, los reticulados espaciales han tenido diversas aplicaciones en el diseño de cubiertas, losas, envoltentes, y en proyectos de puentes, plantas industriales, espacios deportivos y pabellones, entre otros. Explica Mainstone (2001), que en el siglo XIX se presentaban construcciones espaciales compuestas por armaduras triangulares en hierro forjado; sin embargo, su uso se incrementó en el siglo XX con la aplicación del acero en la construcción.

---

1 Las tensoestructuras son un sistema estructural de cubiertas textiles que trabajan ante el esfuerzo de tensión; también se conocen bajo el concepto de membranas en algunos países y velarías en México.

2 Los *camino rápido* hacen parte de un concepto desarrollado por Jacob Steiner, referente al estudio del comportamiento de las películas de jabón, de utilidad para resolver problemas en la interconexión de puntos, de la forma más eficiente.

**Figura 2.** (a) Cubierta exterior del edificio Centro Médico 20 de noviembre; y (b) cubierta en el acceso del edificio Universum.

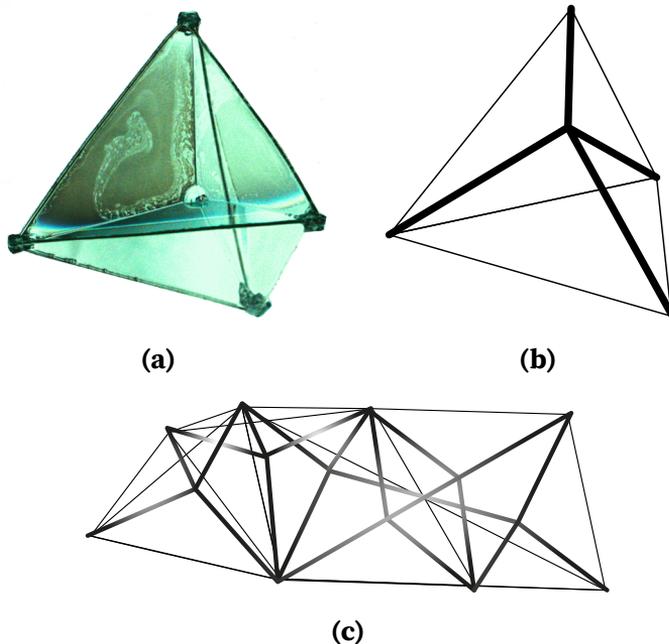


Fuente: (a) Grupo Colinas de Buen (s.f., p. 15); (b) Guiajero (s.f.).

La figura 2 presenta ejemplos de estructuras de cubierta concebidos en el sistema de reticulados espaciales, aplicados en proyectos constructivos ubicados en la Ciudad de México. Respecto al proyecto Centro Médico 20 de noviembre Solís (2010) señala que “[L]as estructuras espaciales tienen la característica de quedar aparentes, por lo que pueden lucir su geometría y estética al quedar libres de cualquier elemento, así como de ser estructuras ligeras” (p. 65).

El objetivo general de la investigación es promover una nueva vía de aplicación de las propiedades óptimas de SAM en estructuras para edificaciones, proyectando la geometría de las aristas generadas por la unión de películas, en un sistema de reticulado espacial. Se propone el estudio de la configuración obtenida al interior de un hexaedro regular (cubo), su transferencia y análisis de la viabilidad en el diseño de tres elementos estructurales, viga, columna y losa. En la figura 3 se expone el ejemplo del proceso de obtención de las SAM generadas con películas de jabón en la figura de tetraedro y la aplicación en un sistema de barras.

**Figura 3.** Ejemplo del proceso aplicado a figura obtenida con las SAM del tetraedro.



*Nota.* (a) Figura con películas de jabón resultantes; (b) módulo compuesto por la configuración de aristas obtenidas en las películas; y (c) sucesión de módulos que generan un reticulado espacial.

Fuente: elaboración propia.

El proceso de investigación se dividió en tres etapas principales: construcción del estado del arte, experimentación y definición del sistema estructural. Se realizaron dos experimentos, en el primero se determinaron las características geométricas de las aristas y puntos de encuentro de las SAM obtenidas en el cubo y en el segundo experimento, las aristas y puntos mencionados se dispusieron como barras y nodos de articulación, respectivamente, conformando un módulo básico (MB) de reticulado espacial para su posterior estudio en elementos estructurales. Por medio de simulaciones en un *software*, se analizó la resistencia a cargas estáticas verticales y el trabajo estructural de los elementos, barras a tensión y compresión. Los análisis estructurales se basan en los parámetros de las normas mexicanas, principalmente de las Normas Técnicas Complementarias y del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero. En la última etapa de la investigación se precisó el diseño de las piezas para una columna. Adicionalmente se presentó una propuesta de aplicación arquitectónica del sistema.



*Geometría de las superficies de área mínima (SAM) en reticulados espaciales* ha sido compuesto con caracteres Adobe Source Serif Variable y Merriweather, e impreso en papel Earth Pact, elaborado 100 % con fibra de caña de azúcar, libre de químicos y blanqueadores, en los talleres de Ediciones Carrera 7a SAS, en febrero de 2025.

Con esta edición, la Universidad La Gran Colombia contribuyen a la sostenibilidad del medio ambiente al utilizar materiales ecológicos producidos en Colombia.

Las películas de jabón permiten materializar las superficies de área mínima del borde de cualquier figura, conformadas por el mínimo material que se distribuye con la forma precisa. Por cada figura de alambre que se introduce y se retira de una solución de agua y jabón, al interior se obtiene un conjunto de películas con un orden determinado; de las uniones entre películas de jabón surgen aristas, que se comunican entre ellas buscando caminos rápidos, lo más sencillos posible.

Bajo dicho principio, si la geometría de los elementos lineales generados es retomada para el diseño y construcción de sistemas estructurales de barras y nodos, reticulados espaciales, ha de proporcionar formas eficientes en la transmisión de cargas de edificaciones.

Fue seleccionada la figura de un poliedro regular, el hexaedro conocido como cubo, del cual se elaboró el bastidor de alambre hasta obtener las películas de jabón posibles de generar en el interior. De esta manera se materializaron las superficies de área mínima derivadas de la figura estudiada. La configuración geométrica de aristas formada por la unión de películas fue aplicada al diseño de un sistema reticulado espacial, probado por simulaciones en software; los resultados del comportamiento estructural ante cargas estáticas verticales fueron positivos en el desarrollo de una columna tipo cercha. Como aporte final se diseña un producto tecnológico denominado Columna SAM, proponiendo a futuro dar continuidad a la investigación con la ulterior fabricación y comprobación de prototipos ante cargas estáticas y dinámicas.



ISBN: 978-958-5179-76-9



9 789585 179769

