

Mecametría

La integración de la mecánica y la geometría para comprender y concebir estructuras arquitectónicas adecuadas y eficientes

Por:

*Marcos Javier Ontiveros
Hernández*

*Juan Gerardo Oliva
Salinas*

Antecedentes

Dentro de la Especialidad en Cubiertas Ligeras que se ofrece en el Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura (CIEP FA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se imparte una cátedra denominada *Mecametría*, neologismo acuñado por Juan Gerardo Oliva Salinas¹, que paradójicamente designa un seminario académico que busca unir el conocimiento de dos de las disciplinas más antiguas del saber humano, la mecánica y la geometría. Dicho seminario tiene sus antecedentes, dentro de la UNAM en una asignatura optativa denominada Geometría Estructural y que a través del tiempo, con la finalidad de mejorar sus objetivos, ha depurado su programa académico con temas específicos de estas dos disciplinas.

¹ Dr. Ing. Arq. Juan Gerardo Oliva Salinas, investigador titular del Laboratorio de Estructuras del la Facultad de Arquitectura UNAM. <http://ciepfa.posgrado.unam.mx:16080/laboratoriodeestructuras/>

Si bien, dentro del Plan de Estudios de la FA se imparten de manera independiente los contenidos de geometría y de mecánica, dentro de las clases de estática y resistencia de materiales; existe un porcentaje de alumnos que no logra asimilar el conocimiento significativo de estos temas, repercutiendo en errores al concebir integralmente la forma y la estructura de sus proyectos.

MECÁNICA Y GEOMETRÍA -LA ACADÉMICA-

En el caso específico de la mecánica, resulta desconcertante como alumnos que estudian sus bases desde la educación media y conocen de memoria las célebres tres leyes de Newton no logran resolver problemas cuya solución se deduce de ellas. Cabe apuntar que esto no resulta exclusivo de los arquitectos; en un estudio diagnóstico sobre el tema², aplicado a alumnos del tercer semestre de la Facultad de Física de la UNAM, se encontró que menos del 50% entendían y aplicaban cabalmente las leyes básicas de la mecánica.

De acuerdo a este estudio, la problemática reside en que percibimos nuestro entorno físico de una manera mucho más cercana a los aparentemente lógicos planteamientos aristotélicos del siglo IV a.C., que a las certeras deducciones hechas por Newton hace 300 años para explicarnos como se comportan las fuerzas y aunque desde entonces esta llamada Mecánica Clásica ha sido rebatida en el área de lo inmensamente pequeño y lo inmensamente grande, en el mundo de las construcciones arquitectónicas se mantiene como la regla a seguir.

La problemática de no asimilar las bases teóricas de la mecánica lleva a los alumnos a aprender una metodología de trabajo donde la estructura del edificio queda fuera de la etapa inicial de conceptualización del proyecto, cuando se empieza a dar forma a los edificios, cayendo en el error de considerar al diseño estructural como un proceso secundario, supeditado al diseño arquitectónico, donde a través de una serie de cálculos lineales se obtiene las secciones resistentes de los elementos estructurales.

Si bien este conocimiento de cálculo es importante y adecuado a una formación técnica; para los fines de la educación universitaria resulta incompleto, mostrando sus deficiencias cuando jóvenes arquitectos descubren que no se encuentran preparados para evaluar o mejorar un sistema estructural previamente planteado o

para concebir alternativas de estructuración a proyectos de geometrías no convencionales o con limitantes constructivas particulares.

La herramienta cognoscitiva que permite enfrentar este tipo de problemas se encuentra en la comprensión de las relaciones existentes entre la forma y el comportamiento mecánico de los sistemas estructurales y al hablar de la forma nos referimos específicamente a la Geometría, que es, la otra mitad de la *Mecametria*.

Esta pieza que completa a la *Mecametria* se aborda a partir del conocimiento que la geometría descriptiva da a los alumnos en los primeros semestres de la carrera, cuando, una vez que son capaces de entender y manipular el espacio arquitectónico en sus tres dimensiones, se les introduce a conceptos básicos a través de una aproximación gráfica y analítica, como es la relación existente entre el funicular de fuerzas y las curvas cónicas (elipse, parábola e hipérbola) o la catenaria; aumentando gradualmente la dificultad de los sistemas de estudio, hasta llegar a superficies complejas de curvaturas variables y sus propiedades mecánicas.

Todo ello se refuerza con analogías de construcciones significativas y la praxis de los alumnos a través de modelos físicos a escala.



Fig. 1: Bóveda de directriz próxima a la Parábola; Palacio de Ctesifonte 241-272 dC., Siria periodo Sasánida.



Fig. 2: Cadena colgante, trabajando a tracción, formando una Catenaria.

² Silvia Bravo "USTED TAMBIÉN ES ARISTOTÉLICO? Cuadernos del Instituto de Geofísica No.4, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 2001

En resumen la *Mecametría* se puede definir como el análisis integral del comportamiento mecánico y la geometría de los sistemas estructurales; lo que permite ligar con un denominador común, desde las edificaciones básicas de mampostería hasta los novedosos sistemas estructurales ligeros, demostrando, de forma congruente, que las mismas leyes físicas aplican a todos ellos.

Esta forma de entender y enseñar las estructuras en la arquitectura ha generado resultados locales interesantes tanto a nivel académico como en trabajos profesionales desarrollados por profesores y alumnos del seminario de *Mecametría*, de los cuales a continuación se presentan algunos ejemplos.

LA PRAXIS

La praxis se realiza a través de tres niveles, que abarcan un gran abanico de posibilidades y objetivos:

1º Nivel: Durante el curso de *Mecametría* mediante modelos a escala; (**¡Error!No se encuentra el origen de la referencia.**) lo que permite sensibilizar al alumno con los diversos sistemas, desde su comportamiento estructural y directrices de diseño, hasta el desarrollo geométrico y manufactura.



Fig. 3: Alumnas frente a su ejercicio académico de Cubierta Velaria en el Campus de Ciudad Universitaria.

2º En los programas de investigación dentro del laboratorio de estructuras. (**¡Error!No se encuentra el origen de la referencia.**), encaminados a generar conocimiento y aplicaciones tecnológicas generales de carácter social.



Fig. 4: Alumnos armando una maqueta escala 1:5 de una cubierta de nodos y barras con geometría de catenaroide-elíptico.

3º Con la vinculación a una demanda real particular, donde la academia se toma la libertad de hacer práctica. Lo que representa el compromiso de lograr la congruencia entre ambas.

Ejemplo de ello es el concepto generado por el arquitecto Gilberto Borja de reinterpretar una Trajinera -*canoa lacustre de los pueblos indígenas prehispánicos* (Fig. 5)- para un hotel que llevo acabo en la Riviera Maya de Cancún, México.



Fig. 5: Trajinera típica en Xochimilco





Fig. 6: Modelo de estudio a escala.

En este proyecto se produjeron tres prototipos útiles, que basan geometrías de doble curvatura en superficies básicas como son: el paraboloides hiperbólico, el hiperboloides de revolución y las regladas de valles y crestas, logrando resultados atractivos que le llevo a merecer el reconocimiento “Outstanding Achievement Awards” de la *IFAI* en 2007; ejemplificando, a una pequeña escala, las posibilidades de hacer arquitectura bajo esta perspectiva.

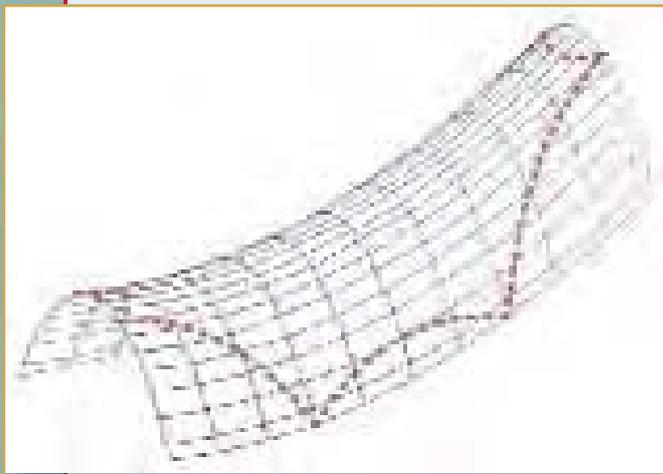


Fig. 7: Prototipo Parabolice Hiperbólico

CONCLUSIONES

Los resultados aquí descritos junto con otros ejemplos positivos que se han gestado en el Laboratorio de Estructuras de la *UNAM*, nos dan bases para concluir que además proveer a nuestros alumnos con las herramientas que les permitan dar respuesta los problemas antes descritos, el estudio de la *Mecametría* sirve para construir una conciencia crítica sobre la arquitectura. Considerando de forma importante el correcto aprovechamiento de los recursos naturales y el respeto y cuidado del medio ambiente. Obtener el máximo rendimiento de los materiales, reduciéndolos a lo mínimo necesario y logrando su máxima eficiencia estructural, constituye el concepto que buscamos transmitir a los estudiantes tanto de la arquitectura como de la ingeniería.

Cuando la tecnología desempeña el papel de sirviente ciego de la estética y lo que importa es la forma por la forma misma, algunos valores de la obra arquitectónica se vuelven negativos y aunque esto no implica cerrar las puertas a la experimentación formal o a la innovación tecnológica, consideramos que el diseñador estructural debe estar conciente del importante papel que juega en el mundo sustentable al que aspiramos.

Sin negar la gran habilidad de algunos artistas plásticos, que son capaces de generar bellas y cautivadoras formas con un fuerte impacto visual, es nuestra responsabilidad transmitir a los futuros profesionistas que el éxito no se obtiene exclusivamente a través del hábil manejo de la forma, sino buscando el equilibrio de todas las variables que integran la arquitectura, siendo una muy importante la relación que existe entre la forma y el comportamiento mecánico de cada uno de los elementos que constituyen una estructura. El reto es encontrar dicho equilibrio y a la vez concebir formas bellas. No todo lo que técnicamente es posible construir, debe construirse por ese solo hecho, afirma el teórico alemán Jürgen Joedicke en la Universidad de Stuttgart, Alemania.

Dos edificaciones, emblemáticas e importantes, ejemplifican el exceso de la forma y el sometimiento de la estructura a la misma, nos referimos al Museo Guggenheim del arquitecto americano Frank O. Gehry en Bilbao, España y al estadio llamado Nido de Pájaro en Beijing, China; de los arquitectos suizos Herzog y de Meurón. La tecnología contemporánea hizo posible su construcción. Ambos edificios



impactan visualmente de manera contundente. El Museo de Bilbao se convirtió en un ícono que atrae a miles de visitantes que dejan una substancial derrama económica a la, anteriormente poco visitada, Ciudad. El Nido de Pájaro se destacó como emblema de los Juegos Olímpicos y condujo a los ingenieros a realizar investigaciones importantes sobre el comportamiento estructural de elementos que giran en el espacio para adaptarse a la forma concebida. Sin embargo, el gran objetivo que hubiera sido deseable alcanzar era lograr en ambos casos edificios íconos de la arquitectura contemporánea, dentro de un escenario donde la estructura y la forma emergiesen con mutuo respeto. Edificaciones que atraigan por su belleza y en las que los recursos naturales sean utilizados cuidando el medio ambiente, reduciendo los materiales al mínimo y que de manera inteligente realicen el trabajo mecánico con máxima eficiencia.

Finalmente es importante señalar que esta aproximación geométrica a los sistemas estructurales no es nueva y que los conceptos teóricos, en los que se basa la *Mecametría*, fueron identificados y ejercitados en su momento por grandes pioneros del diseño estructural contemporáneo, entre quienes identificamos a Félix Candela, Eduardo Torroja o Pier Luigi Nervi; lo cual nos permite considerar que el aporte de la *Mecametría* reside en darle continuidad a esta línea de pensamiento, presentando una metodología de enseñanza actualizada a los requerimientos e inquietudes de nuestros alumnos y que se suma a esfuerzos análogos en otras instituciones para que a la postre se logre formar academia en el ámbito universitario.

Marcos Javier Ontiveros Hernández.:

Arquitecto especialista en cubiertas ligeras, profesor de diseño y tecnología en la UNAM

Juan Gerardo Oliva Salinas: Doctor por la Universidad de Stuttgart, investigador titular del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

³ Imagen de la portada: desarrollo geométrico de una cubierta reticular para el acuario del Centro Mexicano de la Tortuga.

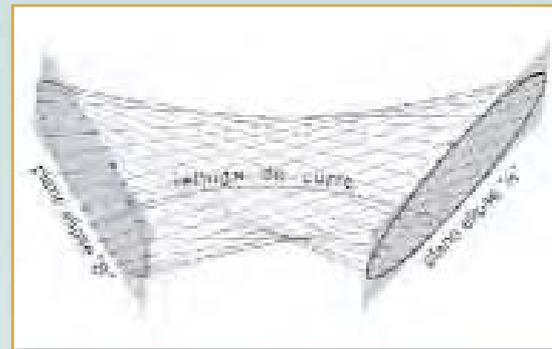


Fig. 8: Prototipo Hiperboloide de Revolución



Fig. 9: Prototipo Regada de valles y crestas