

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO



MATEMÁTICAS APLICADAS A LA ARQUITECTURA

SUPERFICIES Y COBERTURAS

Integrantes:

Luis Ernesto López Alarcón
Karin Mercedes Espinoza Chacalla
Ingrid Lindsay Brañez Condorena
Luis Guillermo Llanos Agurto
Ricardo Simón Ascencio Vásquez
Yobana Yobana Tufiño Pijo

Profesores:

Francisco Javier Ugarte Guerra
Haydée Zenaida Azabache Caracciolo

Noviembre, 2011

“La preocupación por el hombre y su destino debe constituir siempre el interés principal de todos los esfuerzos técnicos. No lo olvidéis jamás en medio de vuestros diagramas y de nuestras ecuaciones”
Albert Einstein

Índice

Índice.....	3
Índice de Imágenes.....	4
Introducción.....	6
Capítulo 1: Planteamiento del Problema.....	8
1.1 Descripción del problema indicando su importancia	8
1.2 Contexto.....	8
1.2.1 Feria de Milán (2005).....	9
1.2.2 Estadio Olímpico de Múnich (1972).....	12
Capítulo 2: Solución Matemática del Problema.....	14
2.1 Requisitos matemáticos para resolver el problema	14
2.1.1 Superficies Mínimas	14
2.1.5 Paraboloides Hiperbólicas.....	18
2.2 Aplicación de los conceptos matemáticos en la solución del problema	23
2.2.1. Feria de Milán	23
2.2.2 Cobertura del Estadio Olímpico de Múnich	26
Capítulo 3: Conclusiones	30
3.1 El impacto en la Arquitectura	30
3.1.1 Otros impactos sobre el territorio.....	31
3.2 El uso de la Matemática.....	33
3.3 Importancia de las matemáticas en la formación del Arquitecto	34
Bibliografía	36

Índice de Imágenes

Figura 1 Vista aérea de la Feria de Milán.....	9
Figura 2 Vistas de la cubierta de la Feria de Milán	10
Figura 3 Vista aérea del Estadio Olímpico de Múnich.....	12
Figura 4 Vista de la cobertura del Estadio Olímpico de Múnich desde el interior del recinto	13
Figura 5 Superficie de una mesa: plano.....	14
Figura 6 Superficie de un balón de fútbol: Esfera	14
Figura 7 Radio de curvatura para el punto P de una curva cualquiera	15
Figura 8 Planos perpendiculares y secciones normales de una superficie cualquiera	16
Figura 9 Representación gráfica de superficies mínimas.....	17
Figura 10 Gráfica del Catenoide	18
Figura 11 Gráfica del Helicoide	18
Figura 12 Esquema de Paraboloide Elíptico	19
Figura 13 Esquema de Paraboloide Hiperbólico	19
Figura 14 Representación gráfica de un Paraboloide Hiperbólico en el eje de coordenadas	20
Figura 15 Vistas tridimensionales de un Paraboloide Hiperbólico desde distintos ángulos.....	20
Figura 16 Red Reticular	21
Figura 17 Redes de Bravais.....	22
Figura 18 Primeras aproximaciones de la cobertura desarrollado a través de diagramas generados por programas matemáticos empleados por Massimiliano Fuksas en sus proyectos como se aprecia en la línea roja punteada.	23
Figura 19 Geometrización de un sector de la cobertura de la feria de Milán mediante un sistema reticular que forma triángulos.....	24
Figura 20 Comparación entre la cobertura y la forma geométrica	24
Figura 21 Analogía entre la estructura de la cobertura de la feria con el diagrama de superficies reticulares, en donde los nudos que conectan las redes del plano se convierten en refuerzos estructurales para darle rigidez a la malla metálica.	25
Figura 22 Corte interior de la Feria en donde se aprecian los elementos metálicos verticales que soportan toda la cobertura.	25
Figura 23 Comparación de la forma natural de la telaraña con la membrana tensionada.....	26
Figura 24 Complejo Olímpico de Múnich	28
Figura 25 Bocetos y esquemas de desarrollo de detalles de Frei Otto para el Estadio Olímpico de Múnich.....	29
Figura 26 Boceto de Massimiliano Fuksas para la destilería Nardini	30
Figura 27 Destilería Nardini.....	30
Figura 28 Cobertura del Estadio Olímpico de Múnich.....	31

Figura 29 Red general de la Feria de Milán	31
Figura 30 Uso de materiales modernos y estructuras metálicas en el centro histórico de la ciudad de Parma	32
Figura 31 Espacio público en el centro de la ciudad de Parma, Italia	32
Figura 32 Vista interior del Estadio Olímpico de Munich	33
Figura 33 Vista interior de la Feria de Milán	34

Introducción

En el contexto de la arquitectura contemporánea existen factores tales como la innovación material y la búsqueda de nuevos sistemas constructivos que rompan con el mito de lo meramente estético y funcional, que aporten un valor estructural y tectónico a los elementos que forman parte de la arquitectura, como lo es el caso de las coberturas.

En la actualidad, la relación del diseño arquitectónico con la geometría ya no se rige por las formas geométricas tradicionales, sino que se empieza a utilizar la geometría para el desarrollo de formas complejas. Lo cual genera una nueva exploración espacial en los proyectos arquitectónicos que necesariamente implican el desarrollo de fórmulas matemáticas para su ejecución, además, la resolución del proyecto implica una búsqueda de innovación constructiva.

En relación a la producción arquitectónica del Perú se puede afirmar que existe poco desarrollo de exploración espacial relacionada a las matemáticas, sobre todo en espacios públicos y en estadios. A diferencia de otros países, en donde en los últimos años se han desarrollado proyectos complejos en el que la resolución arquitectónica constructiva tiene su mejor estandarte en la geometría.

Es por ello que el tema de la investigación “Solución de Coberturas para grandes luces: Espacios Públicos e Infraestructura deportiva” se centra en la solución matemática de coberturas de espacios públicos y estadios. Debido a que el diseño de una cobertura permite explorar un enfoque arquitectónico distinto al convencional; de este modo se empieza a pensar en los recorridos, en los espacios y en la manera de cómo se va a percibir y habitar estos espacios generados por las coberturas, ya que las variables que se tienen en cuenta para su correcto funcionamiento son distintas: estructura, iluminación y ventilación, en el que cada una de estas se analiza y se resuelve de manera integral, logrando cumplir satisfactoriamente todos los requerimientos idóneos de la cobertura.

Los casos de estudio a tomarse en cuenta son La Feria de Milán y el Estadio Olímpico de Múnich. El primero pertenece al arquitecto Massimiliano Fuksas, que a lo largo de su carrera arquitectónica ha transmitido a través de sus obras un deseo de explorar que a la larga tornan sus proyectos liberados de formas tradicionales, el cual está muy relacionado a su forma de proyectar. En su oficina producen una serie de modelos tridimensionales transferidos luego en bidimensionales y al fin materializado en la realidad.

La arquitectura de estadios es una tipología en la que se ha explorado formas geométricas complejas. El Estadio Olímpico de Múnich diseñado por el arquitecto Frei Otto es un caso de estudio interesante debido a que la forma y la estructura de la cobertura está determinada por la comprensión y aplicación de formas geométricas complejas como las superficies mínimas.

En los dos casos de estudio se puede apreciar que el empleo de las matemáticas ha permitido idear formas nuevas, irregulares y sorprendentes, gracias a los programas de dibujo. Logrando así estructuras que no sólo tienen

una forma irregular sino que logran los principales objetivos de crear espacios funcionales pero además sorprender, emocionar y sobrecoger a los usuarios.

Esta investigación se estructura en tres capítulos. El primero consta del planteamiento del problema, en el que se hace énfasis de la descripción del problema y el contexto en que se enmarca nuestros casos de estudio. El segundo capítulo se centra en la solución matemática del problema, para ello se elabora una serie de requisitos matemáticos básicos y la aplicación de conceptos matemáticos, tales como las superficies mínimas, hiperbólicas, etc. El último capítulo consta de las conclusiones, la cual se dividirá en tres partes: El impacto de las coberturas en la arquitectura; el uso de las matemáticas en las coberturas y finalmente la importancia de las matemáticas en la formación del arquitecto, el cual está íntimamente relacionado a las prácticas arquitectónicas.

Finalmente, la presente investigación busca ser un primer acercamiento para la resolución matemática de la cobertura del Estadio Olímpico de Múnich y de la cobertura central de La Feria de Milán, debido a su importancia tecnológica y constructiva. Para así tener una base para la realización de próximos proyectos.

Capítulo 1: Planteamiento del Problema

1.1 Descripción del problema indicando su importancia

La necesidad por cubrir grandes luces en el terreno no solo de manera funcional sino escultórica y generando espacios muy amplios, continuos y flexibles que provoquen emociones en los usuarios, constituye una de las razones por la cual se aprovecha al máximo las coberturas convirtiéndolas en elementos protagónicos que enriquezcan el proyecto y el entorno de la ciudad.

A su vez, la intención es buscar una solución innovadora y especial para cada caso utilizando y creando nuevas tecnologías de diseño y construcción. Utilizamos como ejemplos la Feria de Milán y El estadio de Múnich, ambos diseñados y construidos en diferentes épocas lo cual nos lleva a analizar su importancia como objetos arquitectónicos en el contexto en que se desarrollaron.

1.2 Contexto

Elegimos el tema de superficies y coberturas ya que nos parece importante el valor que estas cumplen y le otorgan a la arquitectura ya sea por su escala, su materialidad, su forma, etc.

Con el uso de los nuevos sistemas constructivos y empleo de las teorías matemáticas se han creado estructuras innovadoras y flexibles, sin dejar de lado los avances tecnológicos que han repercutido en la creación de programas matemáticos que han ayudado a plasmar de manera práctica e interactiva los conceptos matemáticos.

Los ejemplos mencionados nos ayudan a presentar el uso de las matemáticas en diseño y construcción en diferentes épocas que nos amplifican la perspectiva en cuanto a su desarrollo al ver sus contextos. Por un lado se encuentra la Feria de Milán (2005) y el Estadio Olímpico de Múnich (1972).

1.2.1 Feria de Milán (2005)



Figura 1 Vista aérea de la Feria de Milán

Fuente: Plataforma de Arquitectura (2011) En: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2007/05/25/feria-de-milan/> , último acceso: 10 de octubre del 2011

Datos generales del proyecto¹

- La Feria de Milán fue inaugurada el 31 de marzo del 2005
- Ubicación: Rho-Però, suburbio muy cercano al centro de Milán
- La construcción se realizó para reemplazar el antiguo local y para agregar también un centro de negocios a cargo de otros arquitectos.
- El área del terreno comprendía aproximadamente 2 000 000 m².
- Área construida: 1 000 000 m².
- Longitud de la galería central: 1500 m
- El complejo está formado por seis pabellones de 1 piso y dos de 2 pisos colocados a lo largo de un eje central. Cada uno es divisible por la mitad con lo que es posible lograr 20 salones independientes. Tiene 10 recepciones, 20 restaurantes, 57 cafeterías y lo más impresionante; una galería de vidrio de 1.3 Kms de largo que cubre dos circulaciones que corren en dos niveles distintos.
- Proyecto y dirección de obra: Massimiliano Fuksas, Studio Altieri, Lombardie associati, Studio Marzullo, Schlaich, Bergerman and partner.
- Duración del proyecto: 30 meses
- Ingeniero estructural: Francesco Marzullo
- Cliente: Fiera Milano Group
- Estructura metálica: MBM, Otorolacorneta

¹ A. David. Feria de Milán / Massimiliano Fuksas. Plataforma de Arquitectura. En: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2007/05/25/feria-de-milan/>. Último acceso: 10 de octubre del 2011.

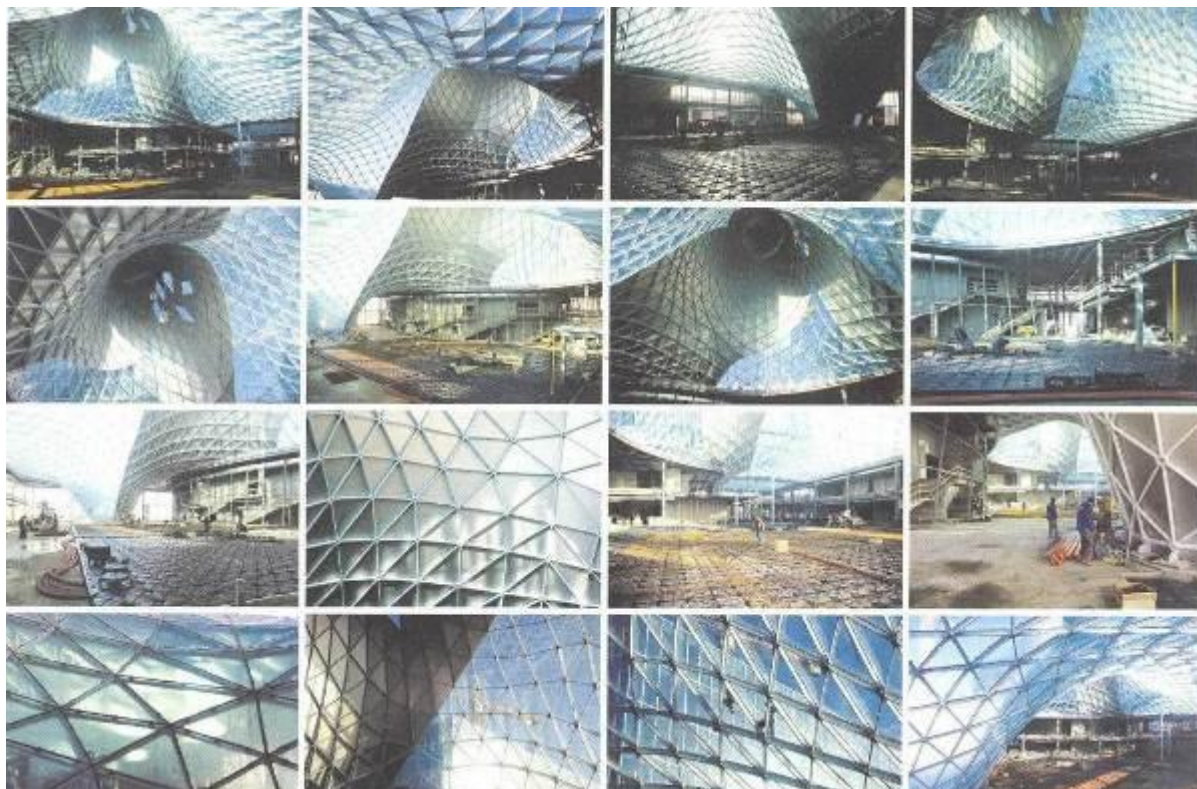


Figura 2 Vistas de la cubierta de la Feria de Milán

Fuente: Fuksas, Massimiliano. (2006). *New Trade Fair Fuksas Milan*. Barcelona:Editorial Actar.

Para el desarrollo del contexto hemos tomado los sucesos más importantes del año 2005 en todo el mundo, que implican avances tecnológicos, los cuales han tenido mayor repercusión. Como por ejemplo la creación de nuevos sistemas operativos y de sitios en internet como YouTube, que son un boom hasta el día de hoy. Sin olvidar el aspecto político, cultural y social que tienen que ver con la mentalidad de muchos arquitectos de la época.

Contexto Tecnológico/Cultural

- **4 de Febrero** : Se crea www.YouTube.com
- **1 de Abril**: Se inaugura en León el MUSAC el Museo de Arte Contemporáneo de Castilla y León.
- **2 de Abril** : Muere S.S el papa Juan Pablo II víctima de septicemia después de varias horas de agonía, a las 21:37 (hora del Vaticano / UTC +2)
- **19 de Abril**: Joseph Ratzinger es elegido Papa de la Iglesia Católica con el nombre de Benedicto XVI.
- **29 de abril** : Apple Computer pone a la venta su sistema operativo Mac OS X v10.4
- **29 de Agosto**: El huracán Katrina, como una tormenta de Categoría 3 toca tierra a las 6:10 a.m. CDT (11:10 a.m. UTC). El ojo queda justo al este de Nueva Orleans, Luisiana.
- **28 de Diciembre**: se lanza con éxito y se pone en órbita el primer satélite de ensayos del futuro sistema europeo de localización Galileo, el GIOVE-A.

Contexto Social/político

En Italia hubo un sistema monárquico hasta 1946 luego de que un referéndum acabara con esta. Esto conllevó a la elección de los llamados presidentes de Italia.

Carlo Azeglio Ciampi gobernó desde 1999 al 2006. Ciampi ha sido miembro de las juntas directivas del Consejo Nacional de Investigación italiano y del Instituto Adriano Olivetti para el Estudio de la Gestión de la Economía y hacienda. Su amplia trayectoria refleja sus buenas relaciones con otros países y su búsqueda por mejorar una ciudad en desarrollo.³

- **11 de Febrero:** Se inaugura en España el Año internacional de la Física declarado por la Unesco con un acto en el Congreso de los Diputados.
- **16 de Febrero:** Entra en vigor el Protocolo de Kioto, convenio mundial para reducción de gases para el efecto invernadero.
- **20 de Febrero:** En España Referéndum nacional para la ratificación de la Constitución Europea. Los españoles aprueban la nueva Constitución con un 76,7% de los votos. La participación fue de sólo el 42%.
- **22 de Febrero:** El Gobierno chino anuncia la construcción de "eco-edificios" con los que espera ahorrar un 65% de energía y ayudar, así, al cumplimiento del Protocolo de Kioto.

1.2.2 Estadio Olímpico de Múnich (1972)



Figura 3 Vista aérea del Estadio Olímpico de Múnich
Fuente: Estadio Olímpico de Munich (2010) En:
<http://es.famoushostels.com/munich-hostel/city-guide>
último acceso: 10 de octubre del 2011

Datos generales del proyecto

- Ubicación: Complejo Deportivo de la Ciudad Olímpica de Munich.
- Tiempo de construcción: 1968 –1972.
- Área Techada: 33750 m²
- Longitud de la cobertura principal: 450 m
- Materiales: Acero y malla plástica
- Cubierta: Tiene una superficie de 74 800m² y tiene una malla rectangular de cables pretensados, distanciados en 75cm hacia ambos lados y con un ángulo de intersección variable, lo cual hace posible que se adecue a las curvaturas que posee la cubierta.
- La cobertura proyectada no sólo cubre el estadio, sino los otros
- equipamientos del complejo deportivo, unificando de esta manera los elementos del Parque Olímpico
- Capacidad: 69 250 espectadores.
- Arquitecto e Ingeniero estructural: Frei Otto²

² Fuente: En: [http://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/data/pdf/Frei Otto.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/data/pdf/Frei%20Otto.pdf) Último acceso: 10 de octubre del 2011



Figura 4 Vista de la cobertura del Estadio Olímpico de Múnich desde el interior del recinto

Fuente: Sistemas Complejos En: <http://www.uv.es/metode/anuario2004/Munich.htm> último acceso: 10 de octubre del 2011

Para desarrollar el contexto se ha tomado sucesos importantes del año 1972 en todo el mundo en donde los aspectos sociales y políticos son los predominantes y en los que vemos la ausencia de hechos relacionados a la tecnología.

Contexto Tecnológico/Cultural

- **21 de febrero:** La nave soviética Luna 20 llega a la Luna .³
- **17 de octubre - 21 de octubre:** Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. ⁴
- **Reforma educativa en el Perú**⁵
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano en Estocolmo.⁶

Contexto Social/político

- **5 de Septiembre:** En Múnich (Alemania Occidental) —durante la XX edición de los Juegos Olímpicos de Verano— el grupo terrorista Septiembre Negro asesina a once integrantes del equipo olímpico de Israel. (Masacre de Múnich).
- **25 de Noviembre:** muere Hans Scharoun, arquitecto conocido por diseñar la sala de conciertos de la filarmónica de Berlín. Fue uno de los máximos exponentes de la arquitectura orgánica.
- **23 de Diciembre:** En Nicaragua, un terremoto destruye la capital, Managua, y causa más de 6000 muertos. Véase Terremoto de Managua de 1972.

³ Fuente: En: <http://es.wikipedia.org/wiki/1972>. Último acceso: 10 de octubre del 2011.

⁴ Fuente: En: <http://www.cinu.org.mx/eventos/cultura2002/unesco.htm> . Último acceso: 10 de octubre del 2011.

⁵ Fuente: En: <http://www.rieoei.org/deloslectores/233Morillo.PDF> .Último acceso: 10 de octubre del 2011.

⁶ Fuente: En: <http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev2/b05.html> .Último acceso: 10 de octubre del 2011.

Capítulo 2: Solución Matemática del Problema

2.1 Requisitos matemáticos para resolver el problema

2.1.1 Superficies Mínimas

Para poder definir lo que es una superficie mínima hay definir previamente otros conceptos matemáticos

- **Superficie**

Son porciones del espacio tridimensional (subconjuntos) que tienen naturaleza bidimensional. Esto quiere decir que a lo largo de una superficie solo nos podemos desplazar en dos direcciones, ya que el desplazamiento en la misma está restringido a los caminos (curvaturas) contenidas en sí misma. El ejemplo más sencillo de superficie es el plano, siendo también ejemplo de superficie la esfera.⁷

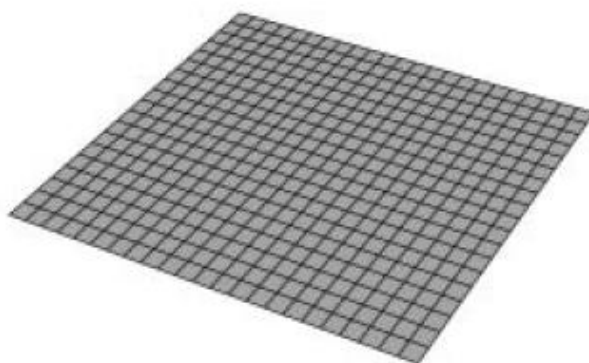


Figura 5 Superficie de una mesa: plano

Fuente: "El significado geométrico de la curvatura: superficies de curvatura media constante" Luis Alias Linares (2002) En: <http://www.f-seneca.org/seneca/informes/Matematicas.pdf> Último Acceso: 13/11/2011

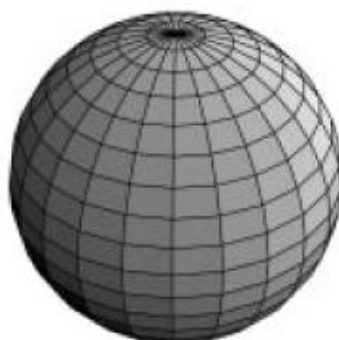


Figura 6 Superficie de un balón de fútbol: Esfera

Fuente: "El significado geométrico de la curvatura: superficies de curvatura media constante" Luis Alias Linares (2002) En: <http://www.f-seneca.org/seneca/informes/Matematicas.pdf> Último Acceso: 13/11/2011

⁷ Alias, Luis (2004)

- **Curvatura de una superficie**

La curvatura de una curva en el plano, en un punto de la curva, mide la rapidez con la que la curva abandona la tangente en ese punto.⁸ Para esto, se entiende como curva un camino en el espacio, de naturaleza unidimensional (ya que son podemos desplazar solo en la dirección definida por la curva misma)⁹

Para medir la curvatura de una curva tenemos, por un lado, una recta (que no tiene curvatura) de curvatura cero. Por otro lado, una recta podemos imaginarla como una circunferencia de radio infinito. Entonces la curvatura podemos medirla por el inverso del radio de curvatura ($1 / R$)

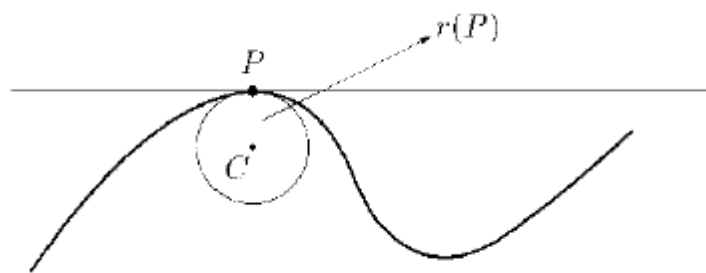


Figura 7 Radio de curvatura para el punto P de una curva cualquiera

Fuente: “El significado geométrico de la curvatura: superficies de curvatura media constante” Luis Alias Linares(2002) En: <http://www.f-seneca.org/seneca/informes/Matematicas.pdf> Último Acceso: 13/11/2011

El radio de curvatura de una circunferencia, es el radio de la circunferencia. Para el caso de una curva cualquiera, el radio de curvatura en un punto, es el radio de la circunferencia que pasa por ese punto y otros dos infinitamente próximos (por tres puntos sólo pasa una circunferencia). En general, el radio de curvatura varía en cada punto de la curva.

Para el caso de las superficies, el concepto es similar. La curvatura de una superficie, en un punto, mide la rapidez con la que la curva abandona el plano tangente a la curva en ese punto.

En una superficie la curvatura depende de la dirección en la que nos movamos (este detalle no tiene sentido en el caso de curvas lineales, pues sólo nos podemos mover a lo largo de la curva). Euler demostró que en cada punto de una superficie existen dos direcciones en las que la curvatura alcanza su máximo y su mínimo y que estas direcciones son perpendiculares entre sí.¹⁰

⁸ “Curvatura” En:

<http://www.telefonica.net/web2/lasmaticasdemario/Geometria/Diferencial/Curvatura.htm> Último Acceso: 13/11/2011

⁹ Alias, Luis (2004)

¹⁰ “Curvatura” En:

<http://www.telefonica.net/web2/lasmaticasdemario/Geometria/Diferencial/Curvatura.htm> Último Acceso: 13/11/2011

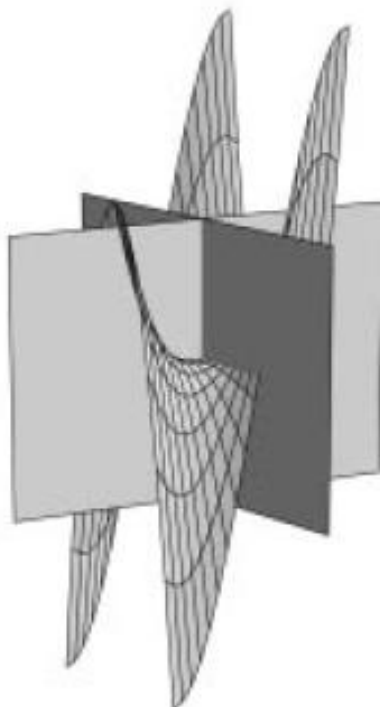


Figura 8 Planos perpendiculares y secciones normales de una superficie cualquiera

Fuente: "El significado geométrico de la curvatura: superficies de curvatura media constante"
Luis Alias Linares (2002) En: <http://www.f-seneca.org/seneca/informes/Matematicas.pdf>
Último Acceso: 13/11/2011

- **Superficie de curvatura media constante**

Para conocer la curvatura media de una superficie es necesario primero conocer primero las curvaturas máxima y mínima (curvaturas principales) de la superficie en dicho punto P , y luego se obtiene la media de dichas curvaturas (curvatura media).¹¹

El que una superficie tenga curvatura media constante es, simplemente, decir que el valor de su curvatura media en cada punto es el mismo en todos ellos, con independencia del punto elegido P .¹²

El plano y la esfera son ejemplos de superficies con curvatura media constante, ya que para el plano todas sus curvaturas son 0, y en la esfera, en todos sus puntos tiene el mismo radio de curvatura que su radio de circunferencia.

Dicho lo anterior, una superficie mínima es la superficie que tiene el área mínima con una curva cerrada dada como contorno. Además su curvatura media es igual a cero en cada punto.

¹¹ "Curvatura media" En: http://es.wikipedia.org/wiki/Curvatura_media Último Acceso: 13/11/2011

¹² "El significado geométrico de la curvatura: superficies de curvatura media constante" En: <http://www.f-seneca.org/seneca/informes/Matematicas.pdf> Último Acceso: 13/11/2011

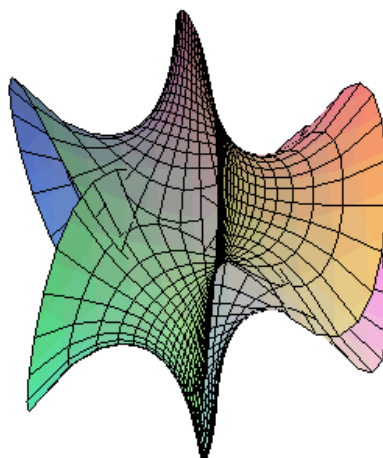


Figura 9 Representación gráfica de superficies mínimas

Fuente: "Algunas superficies auto-adjuntas". Hugo Jiménez (2007) En:
http://intermat.fcienencias.unam.mx/superficies_minimas/superficies_minimas1.html Último acceso:
30/10/2011

Ejemplos de superficies mínimas se pueden obtener de manera tangible, como por ejemplo, al poner un marco de fierro de cualquier forma cerrada en una bandeja con agua con abundante espuma de jabón y luego retirarlo, las burbujas de jabón en dicha estructura generan una superficie que tiene cero de curvatura media en todas sus partes.

Las superficies mínimas más conocidas son:

- **El Catenoide**

El Catenoide es posiblemente la superficie mejor conocida de todas las superficies mínimas. Puede caracterizarse como la única superficie mínima, aparte del plano, que es invariante bajo rotaciones alrededor de un eje; en otras palabras, es la única superficie mínima de revolución (salvo el plano, naturalmente). Su curva modelo es una catenaria, esto es, una curva obtenida al colgar una cuerda de dos puntos. Como superficie mínima fue introducida por Meusnier, aunque probablemente era conocida anteriormente. En la transparencia se indican las líneas de curvatura (paralela y meridiana) y las líneas asintóticas (las curvas diagonales).

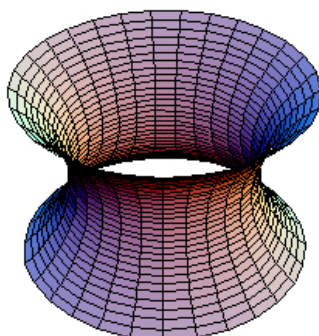


Figura 10 Gráfica del Catenoide

Fuente: "Catenoide" En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Catenoide> Último acceso: 24/10/2011

- **El Helicoide**

Junto con el catenoide, el helicoide fue encontrado como superficie mínima por Meusnier. El helicoide se genera mediante una recta que se desplaza circularmente alrededor de un eje; visualmente, podemos pensar que es una escalera de caracol sin peldaños y con una anchura infinita. Matemáticamente, cada punto de la recta se mueve describiendo una hélice sobre un cilindro circular cuyo eje de revolución es el eje dado. En la transparencia podemos ver el eje, varias posiciones de la línea recta generatriz y algunas de las hélices generadas por algunos puntos. Estas son las líneas de curvatura del helicoide.

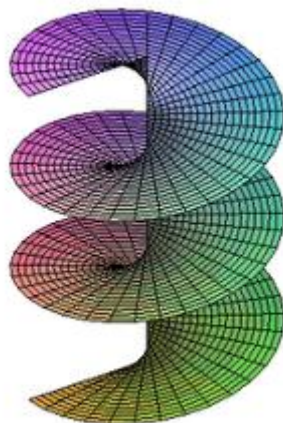


Figura 11 Gráfica del Helicoide

Fuente: "Superficie". Wikipedia (2011)

En: <http://it.wikipedia.org/wiki/Superficie?uselang=fr%3Fuselang%3Dfr>

Último acceso: 30/10/2011

2.1.5 Paraboloide Hiperbólico

El *Paraboloide Hiperbólico* es un caso particular de *Paraboloide*, por lo que primero tendríamos que mencionar que un *paraboloide* es una figura geométrica que se forma al girar una parábola alrededor de su eje.

Existen dos tipos de paraboloides: Elíptico (con su variante de paraboloides circular) e Hiperbólico

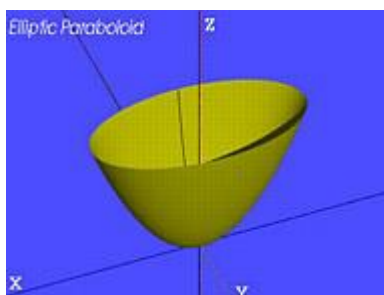


Figura 12 Esquema de Paraboloides Elíptico

Fuente: "Quadric". Wikipedia (2011) En: <http://en.wikipedia.org/wiki/Quadric>
Último acceso: 30/10/2011

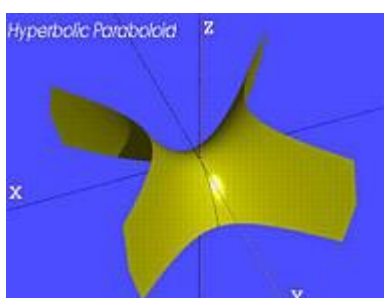


Figura 13 Esquema de Paraboloides Hiperbólico

Fuente: "Quadric". Wikipedia (2011) En: <http://en.wikipedia.org/wiki/Quadric>
Último acceso: 30/10/2011

Dicho lo anterior, el Paraboloides Hiperbólico consiste en una superficie que, en dos dimensiones, es representada desde dos puntos de vista:

- En una dirección es una parábola con la concavidad orientada hacia arriba.
- En otra dirección, perpendicular a la anterior, es una parábola con la concavidad orientada hacia abajo.

El Paraboloides Hiperbólico es considerado también una superficie reglada, ya que siendo una superficie curvada se puede realizar con líneas rectas, variando el ángulo de inclinación de una sobre otra en el plano inclinado.

Representación Gráfica:

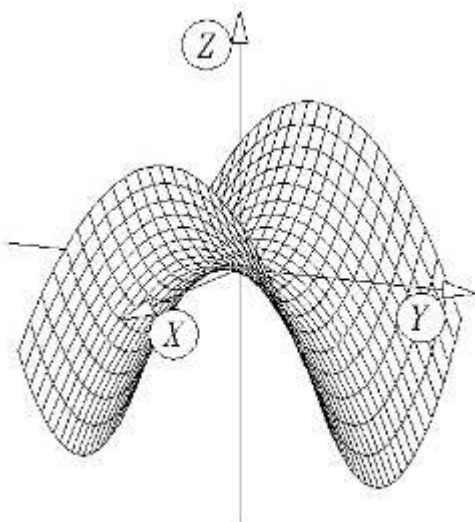


Figura 14 Representación gráfica de un Paraboloides Hiperbólico en el eje de coordenadas

Fuente: <http://img13.imageshack.us/img13/228/d87c.jpg> Último acceso: 30/10/2011

Esta figura recibe el sobrenombre de "silla de montar", ya que su forma se parece mucho a dicho objeto, tal como se ve en la siguiente figura:

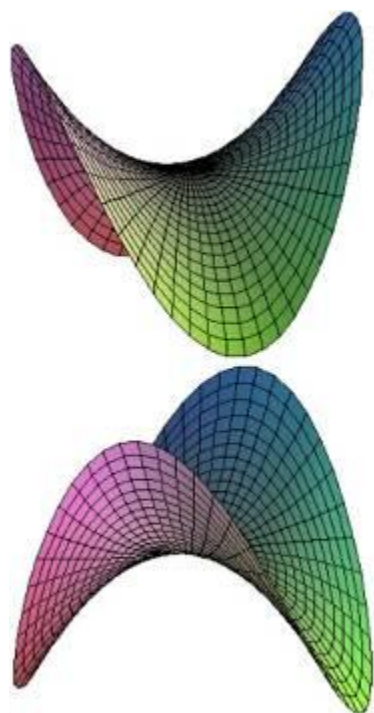


Figura 15 Vistas tridimensionales de un Paraboloides Hiperbólico desde distintos ángulos

Fuente: (2011) "Paraboloides Hiperbólico" En: <http://somosreynitas.blogspot.com/2011/05/paraboloides-hiperbolicos.html> Último acceso: 30/10/2011

2.1.2 Superficies Reticulares

Se puede decir que una superficie reticular es el plano que se forma al unir varios puntos o retículos ya sea en dos dimensiones o en el espacio. En el caso de un plano en 2 dimensiones, estos puntos forman una red que puede tener un patrón establecido. (Ver figura).

En este caso la red tiene un patrón de rombos (que se forman al unir los puntos por líneas).

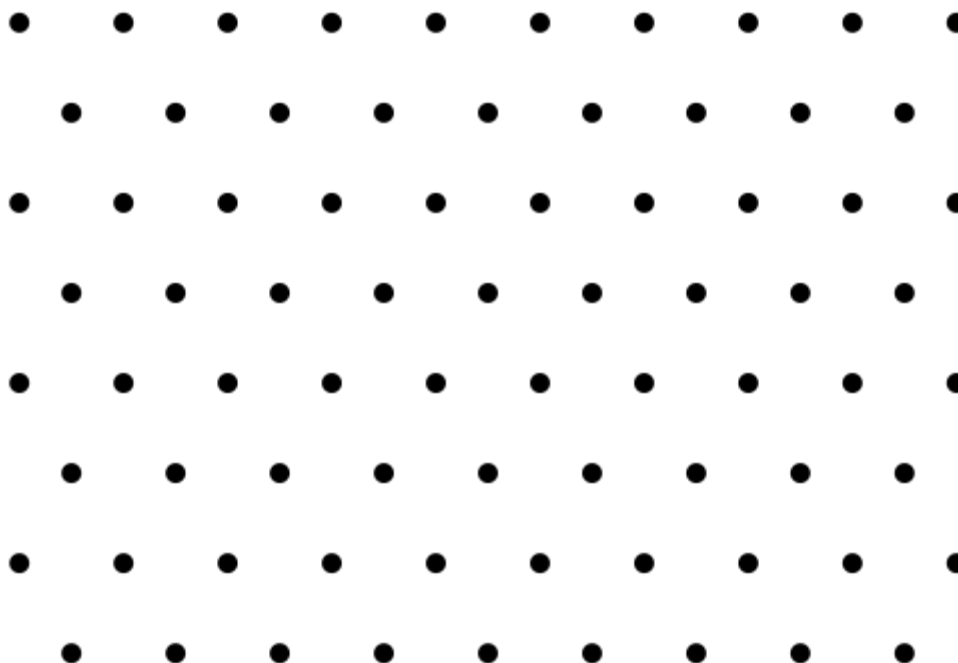


Figura 16 Red Reticular

Fuente: Lattice (group) Wikipedia (2001)

Para entender una superficie reticular es necesario entender la geometría de los cristales. Un cristal puede definirse como un sólido compuesto de átomos distribuidos según pautas periódicas en las tres direcciones del espacio. Si consideramos cada átomo un punto o retículo a modo de esqueleto del cristal, podemos considerar el espacio dividido en tres conjuntos de planos, cada uno de ellos constituido por planos paralelos y a igual distancia. Esta división del espacio producirá un conjunto de celdas idénticas en tamaño, forma y orientación. Cada celda es un paralelepípedo y cada una un paralelogramo. Al interaccionar los planos se producen conjuntos de líneas y al hacerlo estas líneas lo harán en puntos. El conjunto de puntos así formado constituye el retículo puntual que se define como una ordenación de puntos en el espacio colocados de tal manera que cada punto tiene idénticos alrededores.

Un ejemplo de superficies reticulares son las redes de Bravais, que consisten en una disposición infinita de puntos discretos cuya estructura es invariante. Existen aplicaciones de estas redes en dos dimensiones y en tres dimensiones.

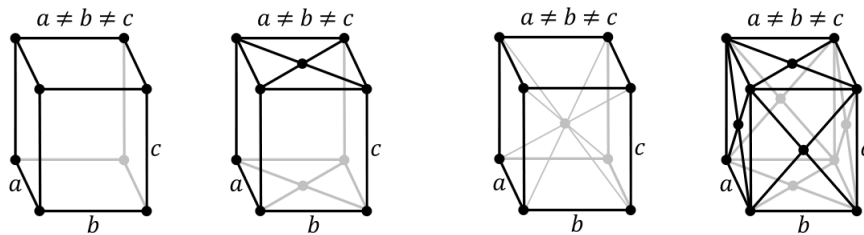
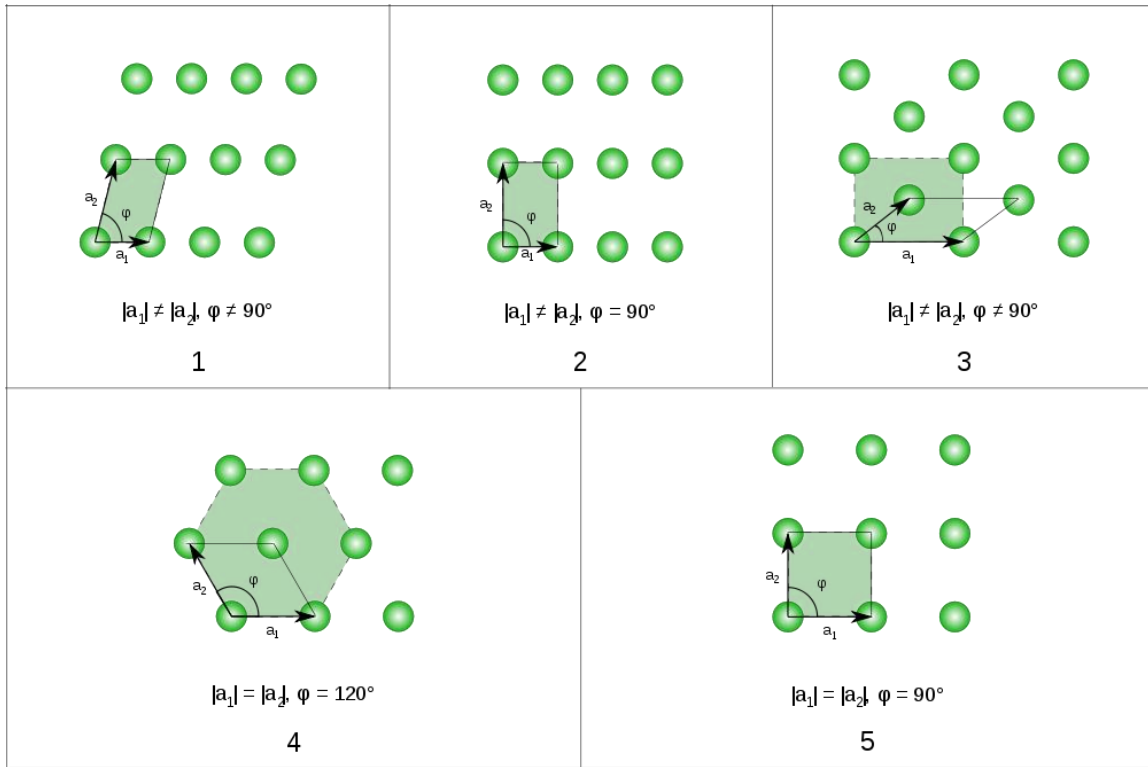


Figura 17 Redes de Bravais

Fuente: "Bravais lattice". Wikipedia (2011) En: http://en.wikipedia.org/wiki/Bravais_lattice
 Último acceso: 24/10/2011

2.2 Aplicación de los conceptos matemáticos en la solución del problema

Tanto en la Feria de Milán como en la cobertura del estadio de Múnich se pueden encontrar las retículas como formas básicas de la cobertura. Para estructurar la forma orgánica de las superficies.

2.2.1. Feria de Milán

Maximiliano Fuksas es un arquitecto muy polémico que centró su exploración en el desarrollo de las coberturas complejas y orgánicas como lo es el caso de la Feria de Milán, en donde desarrolla la cobertura partiendo de un concepto vinculado al perfil geográfico de los Alpes.

Para desarrollar las formas complejas como primera aproximación utiliza programas matemáticos que permiten trasladar el concepto de manera visual mediante diagramas que lo geometrizan básicamente en una composición dada por rectas y planos, mas no es un análisis estructural.

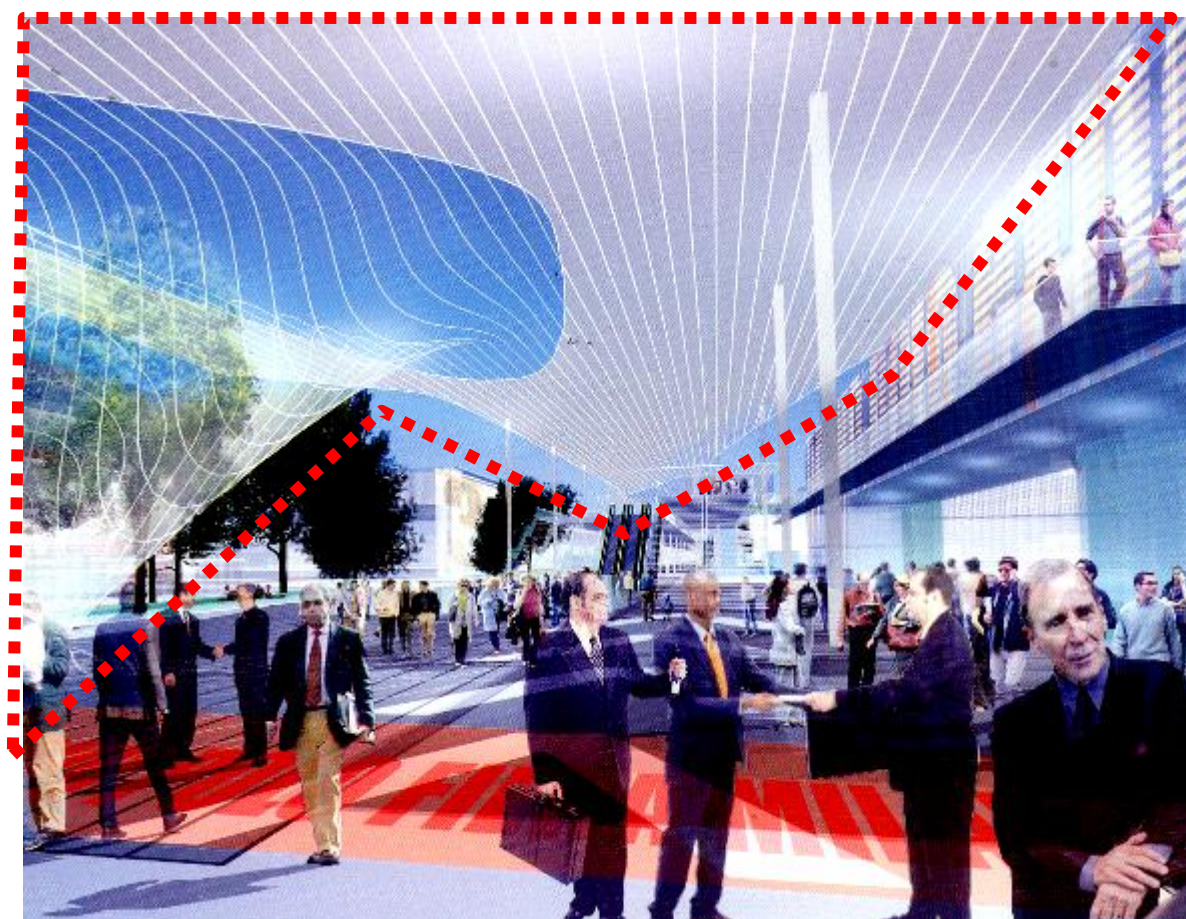


Figura 18 Primeras aproximaciones de la cobertura desarrollado a través de diagramas generados por programas matemáticos empleados por Massimiliano Fuksas en sus proyectos como se aprecia en la línea roja punteada.

Imagen editada por: Karin Espinoza

Fuente: New Trade Fair Fuksas Milan. Editorial Actar (Barcelona, 2006)

En segunda instancia, Maximiliano emplea programas mucho más precisos una vez que la forma ya está definida para tener una geometrización sujeta a la estética y que permita desarrollar un sistema constructivo flexible bajo una lógica matemática.

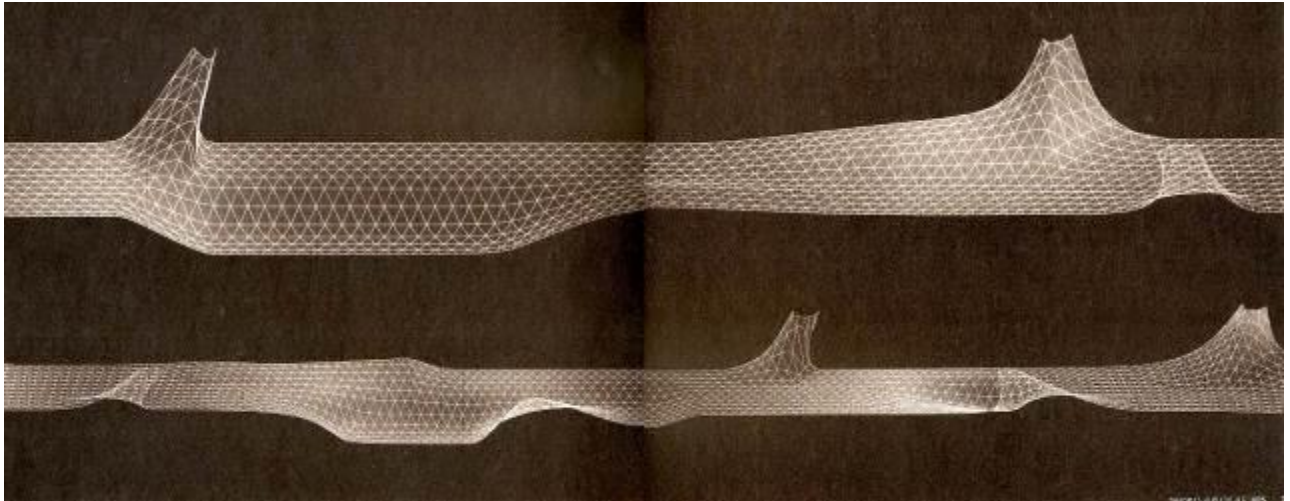


Figura 19 Geometrización de un sector de la cobertura de la feria de Milán mediante un sistema reticular que forma triángulos.

Fuente: New Trade Fair Fuksas Milan. Editorial Actar (Barcelona, 2006)

Así mismo, desarrolla a lo largo de la cobertura una serie de formas que suben y bajan de manera escultórica al interior del espacio, estas envolventes están desarrolladas bajo la teoría de superficies mínimas que en este caso actúan como curvas cerradas que forman un contorno que envuelven el espacio y que permiten lograr ligereza de toda la piel.

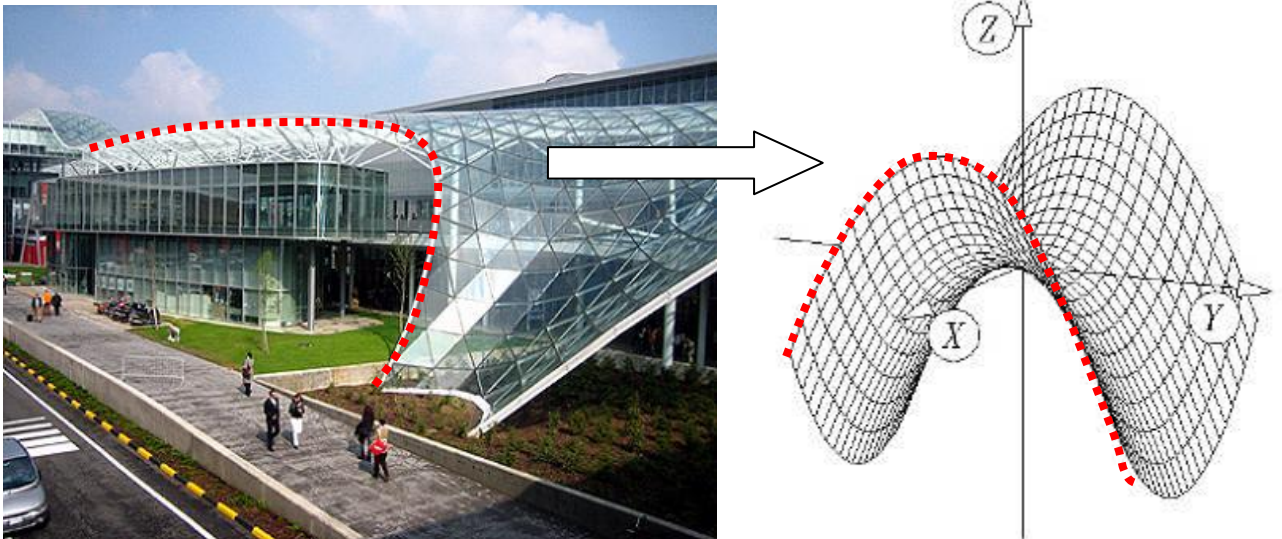


Figura 20 Comparación entre la cobertura y la forma geométrica

Fuente: New Trade Fair Fuksas Milan. Editorial Actar (Barcelona, 2006) Último acceso: 11/11/2011

Digitalizado por los autores

Imagen editada por: Karin Espinoza

Por otro lado, Fuksas bajo la teoría de las superficies reticulares y tomando como referente al Estadio de Múnich, geometriza la cubierta mediante una estructura que se desarrolla en un principio de manera cuadrangular y se convierte en triángulos a manera de arriostres que en su conjunto forman una malla metálica que a lo largo generan una forma resultante de la unión de paraboloides hiperbólicos y catenoides, así mismo tomando en cuenta la idea de que la unión de varios puntos forman un plano, en la Feria los puntos actúan como nudos que compactan la estructura como un todo.

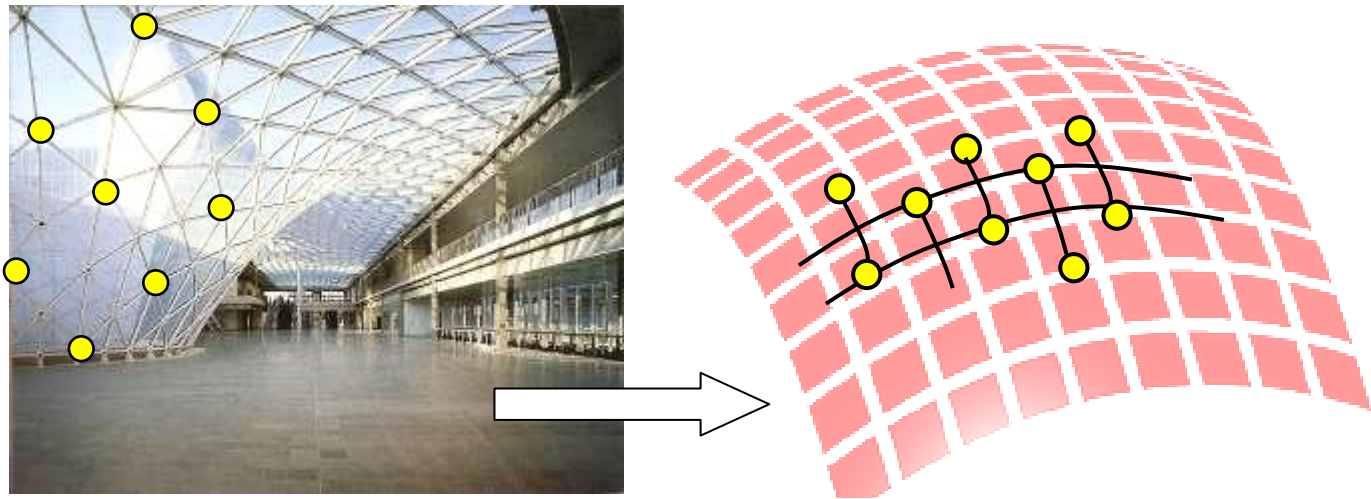


Figura 21 Analogía entre la estructura de la cubierta de la feria con el diagrama de superficies reticulares, en donde los nudos que conectan las redes del plano se convierten en refuerzos estructurales para darle rigidez a la malla metálica.

Imagen editada por: Karin Espinoza

Fuente: Imagen extraída del libro "New Trade Fair Fuksas Milan". Editorial Actar (Barcelona, 2006)

Cabe considerar que no es una cobertura auto portante ya que se emplean columnas metálicas en ciertos puntos, sin olvidar el tema de lo orgánico en donde desarrolla los elementos estructurales bajo el concepto del árbol.

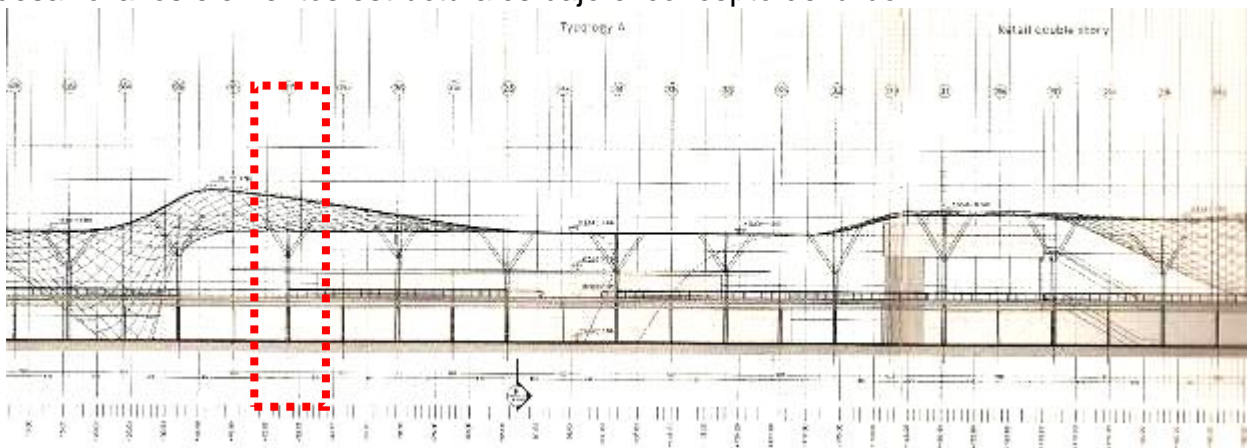


Figura 22 Corte interior de la Feria en donde se aprecian los elementos metálicos verticales que soportan toda la cubierta.

Imagen editada por: Karin Espinoza

Fuente: Imagen extraída del libro "New Trade Fair Fuksas Milan". Editorial Actar (Barcelona, 2006)

Último acceso: 11/11/2011

2.2.2 Cobertura del Estadio Olímpico de Múnich

Frei Otto, además de arquitecto es ingeniero. Por tal motivo, es común reconocer en sus proyectos una búsqueda de la optimización de la respuesta resistente de los materiales que utiliza, tratando de llevarlos al límite de sus posibilidades; todo esto a partir de un estudio riguroso de cada material empleado y bajo la lógica de un criterio de economía de medios y eficiencia estructural. Es decir, construir empleando la menor cantidad de material posible, empleando la menor cantidad de medios posibles.

Su dedicación para encontrar el equilibrio entre Ingeniería y arquitectura, lo llevo a investigar a profundidad la relación entre la Tecnología animal y la humana, haciendo un símil entre el diseño de mallas de acero pretensadas y las redes de los insectos, en especial de las telas de arañas. Como el mismo arquitecto sostiene:” *el hombre inventa y desarrolla objetos técnicos de acuerdo a sus propios objetos de optimización de procesos, reproduciendo herramientas, formas y materiales que están dados en la naturaleza*”. Esta relación se puede apreciar en la Fig.1 Tela de araña y la Fig.2 Malla de acero pretensada



Figura 23 Comparación de la forma natural de la telaraña con la membrana tensionada
Fuente: “La formas de las cubiertas de membrana. Parte 2: Arquitectura y Estructura”. En: www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/avances/avance16.pdf. Último acceso: 29/10/11

Como estructura, la cubierta para el Complejo Olímpico de Múnich consiste, principalmente, en una red pretensada de cables suspendida por mástiles, anclajes en el suelo y cables de bordes. El cerramiento de la cobertura es una membrana transparente de placas de vidrio acrílico¹³.

La idea del arquitecto era conseguir el mínimo impacto sobre el parque, por lo que la cobertura no debía tener una presencia masiva y pesada, sino más bien sutil y dinámica. Como un velo tendido sobre la colina. Sin embargo, el gran reto para este proyecto era tratar de generar una forma preconcebida por el arquitecto Gunter Behnisch (ganador del concurso de diseño arquitectónico) con un sistema de mallas de cable.

¹³ Biagetti, Luisina; Crosetti, María; García, Julián; López, Franco; Violante, Jimena (2010)

Si bien anteriormente Frei Otto había desarrollado proyectos con este tipo de cobertura, la forma en sus anteriores proyectos no era el problema, ya que estaba supeditada a la solución estructural basada en el análisis de formas y procedimientos matemáticos previamente estudiados por el mismo. Por lo contrario, para el Complejo Olímpico de Múnich debió usar estas técnicas a gran escala, y además resolver el problema de la forma predeterminada de la cobertura.

Las investigaciones realizadas por Otto estaban orientadas principalmente a las superficies mínimas, y por consiguiente, a la necesidad de encontrar la forma más eficiente de estructuras muy ligeras.

La aplicación de este tipo de superficies implica una carencia de libertad en el diseño de la forma deseada. Sólo podían utilizar una determinada familia de superficies dependiendo de unos pocos parámetros. La única variación permitida consiste en jugar con diferentes valores de los parámetros.¹⁴

¹⁴ Lozada, María



Figura 24 Complejo Olímpico de Múnich

Fuente: "Estadio Olímpico de Múnich " En: <http://www.uv.es/metode/anuario2004/Munich.htm> Último acceso: 10/10/2011

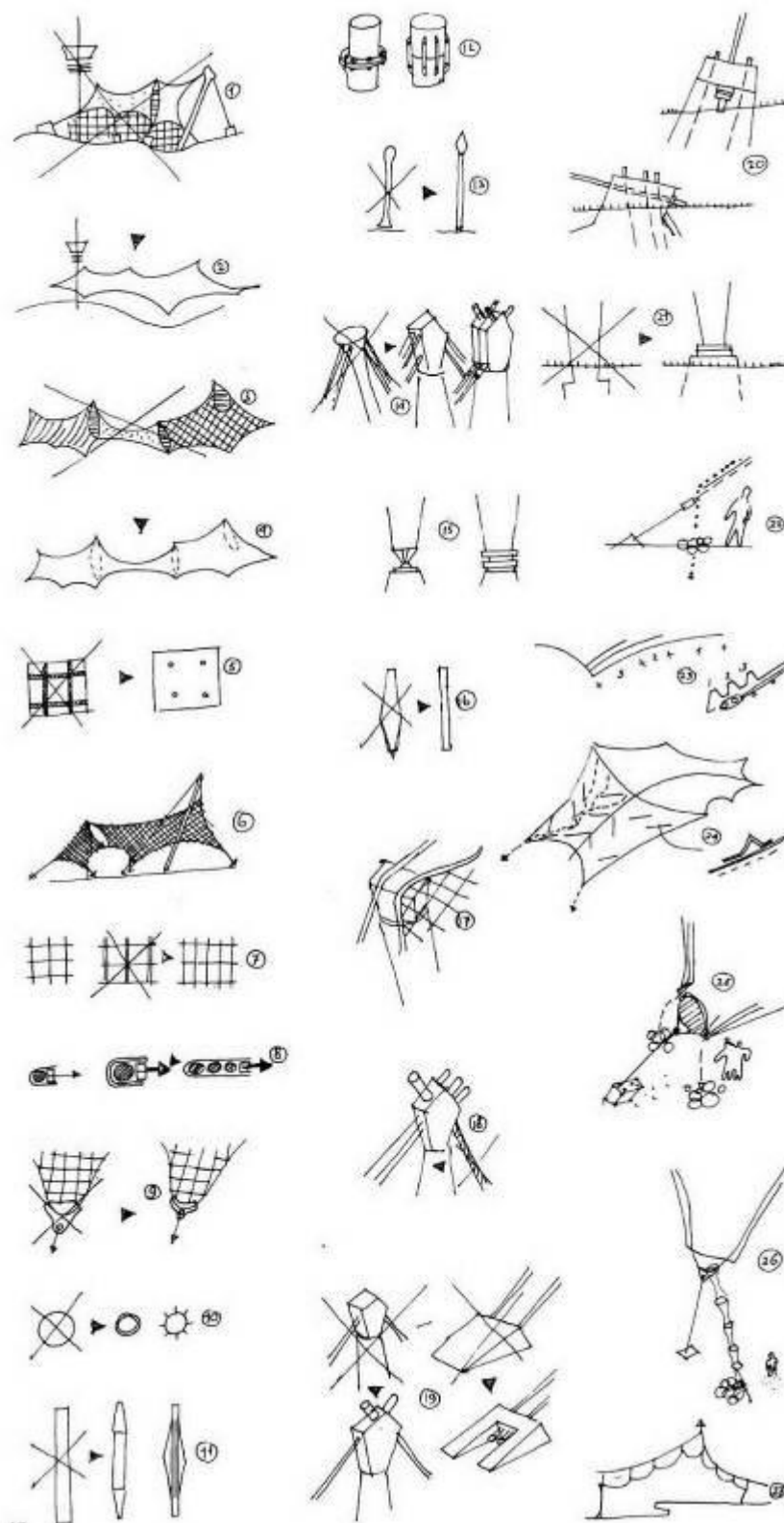


Figura 25 Bocetos y esquemas de desarrollo de detalles de Frei Otto para el Estadio Olímpico de Múnich

Fuente: "Diseños Olímpicos (iii) y la mano del Arquitecto (ii): Frei Otto y Múnich 72"

En: <http://diselabia.wordpress.com/2008/07/30/disenos-olimpicos-iii-y-la-mano-del-arquitecto-ii-frei-otto-y-munich-72/> Último acceso: 10/10/2011

Capítulo 3: Conclusiones

3.1 El impacto en la Arquitectura

Podemos claramente después de conocer un poco más acerca de estas obras tan colosales, como son el Estadio Olímpico de Múnich y la Feria de Milán, no solo por las dimensiones sino también por la forma y materiales empleados. Que la primera trajo influencia en las nuevas técnicas y formas de diseñar. Que podríamos reconocer en la segunda.

Sea por la forma o la exploración en el uso de materiales estas obras tienen muchísimo impacto, no solo en la arquitectura. Sino en su entorno inmediato, en el territorio como modificadores del paisaje y como arquitectura icónica, conformando hitos en una ciudad, país o incluso continente, así como símbolos de desarrollo y riqueza.

Estas obras de arquitectura han influido y siguen influyendo en la forma de proyectar inspirando a los diseñadores a revolucionar y superar lo conocido y existente.

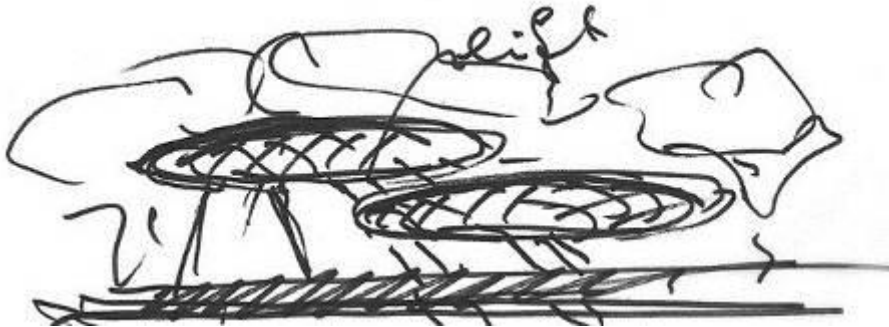


Figura 26 Boceto de Massimiliano Fuksas para la destilería Nardini

Fuente: Ampliamento Della Ditta Bortolo Nardini - Distilleria D'acquavite en:

<http://europaconcorsi.com/projects/1995-Ampliamento-Della-Ditta-Bortolo-Nardini-Distilleria-D-acquavite/print>. Último acceso: 12 de noviembre del 2011



Figura 27 Destilería Nardini

Fuente: Nardini: "fabbrica estetica"

En:http://www.virtualpoleis.it/galleria_fotografica.php?id_primopiano=115&immagine_i=1, ultimo acceso: 11 de noviembre del 2011

3.1.1 Otros impactos sobre el territorio.

En el caso del Estadio Olímpico de Múnich



Figura 28 Cobertura del Estadio Olímpico de Múnich

Fuente: “Estadio Olímpico de Múnich (1972)” En: <http://www.olympiapark.de/en/home/tours-sightseeing/guided-tours/roof-climb/> Último Acceso: 11 de noviembre del 2011

La cobertura del estadio de Múnich es tan singular que el recorrido sobre ella se ha convertido en un atractivo turístico para personas interesadas en la arquitectura.

En el caso de la feria de Milán

Se han tenido que modificar las líneas y medios de transporte para asegurar la correcta atención de los asistentes a la feria. Esto ha hecho que se generen importantes flujos y nuevos asentamientos en los alrededores y zonas colindantes.

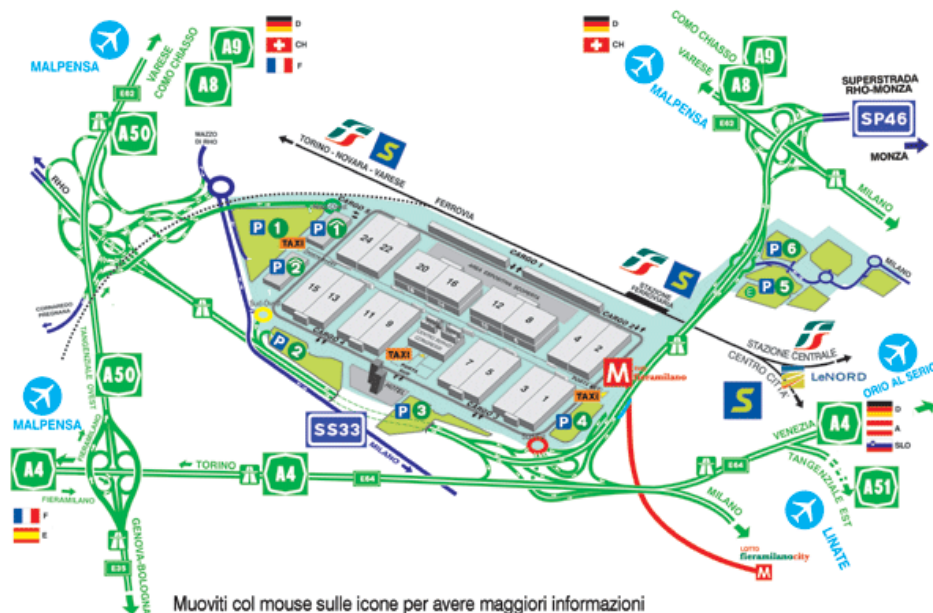


Figura 29 Red general de la Feria de Milán

Fuente: “Fiera Milano, come arrivare (Feria de Milán como llegar)” En: <http://mobilita.fieramilano.it/comearrivare.php/> Último Acceso: 11 de noviembre del 2011

La feria de Milán no es sólo un edificio más en la ciudad, se implantó sobre lo que fue una refinería en una antigua zona industrial. Con esto se ha logrado revalorizar este lugar y zonas aledañas creando además un importante impacto económico para la región. Así también se han creado espacios en otras ciudades cercanas como Parma.



Figura 30 Uso de materiales modernos y estructuras metálicas en el centro histórico de la ciudad de Parma

Fotografía: Luis López (2011)



Figura 31 Espacio público en el centro de la ciudad de Parma, Italia

Fotografía: Luis López (2011)

3.2 El uso de la Matemática

En ambos casos de estudio la concepción del diseño precede a cualquier idea posible de construcción. Una vez que tienen una forma definida, hacen uso de las matemáticas para poder hacer realidad los proyectos. A partir de las exploraciones matemáticas, surgen innovaciones constructivas, que hacen más eficiente el diseño y enriquecen el proyecto.

Se hace evidente la necesidad de incluir a las matemáticas en la resolución de la forma adecuada, pero también en las estructuras que las soportarán. Los programas matemáticos ayudan a entender el comportamiento de la estructura.

Tanto en el Estadio de Múnich, como en la Feria de Milán, se desarrollan las coberturas en base a formas orgánicas, en las que se utiliza un sistema constructivo reticular, basado en la teoría de superficies reticulares. En el primer caso, se estableció un modelo que sirvió de patrón uniforme a lo largo de toda la cobertura. En el segundo caso, el patrón de la retícula se adapta a las distintas formas utilizadas, como paraboloides hiperbólicos y catenoides, que se articula a través de las uniones para reforzar la estructura.

Finalmente, es importante señalar que los dos proyectos se han desarrollado en diferentes contextos (tiempo y lugar). Sin embargo, los conceptos matemáticos están presentes en ambos casos y las soluciones estructurales son parecidas. La cobertura del estadio de Múnich puede tomarse como antecedente a la Feria de Milán, ya que es un proyecto que es similar en escala y en el uso de materiales.

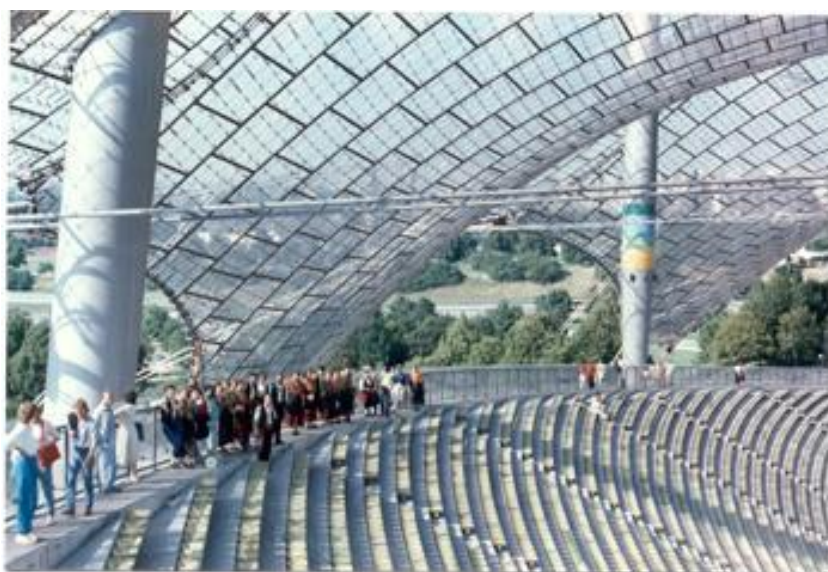


Figura 32 Vista interior del Estadio Olímpico de Múnich
Fuente: "Album de fotos"
En: <http://www.grupodanzasmagisterio.com/fotos.htm>,
último acceso 19 de noviembre del 2011



Figura 33 Vista interior de la Feria de Milán

Fuente: "De Otro Tiempo"

En: <http://deotrotiempo.com.ar/blog/2011/07/26/%C2%BFcuales-son-los-eventos-internacionales-mas-importantes-del-sector/> ,

último acceso 19 de noviembre del 2011

3.3 Importancia de las matemáticas en la formación del Arquitecto

Este análisis nos ha permitido abrir nuestra perspectiva sobre la arquitectura, en la que las matemáticas, en muchos de los proyectos desarrollados, cumplen un rol importante. Siendo así, la comprensión de la teoría y las leyes matemáticas, base fundamental en la formación del arquitecto, que debe ser capaz de relacionar y entender la geometría y el espacio

Las matemáticas son herramientas complementarias que no solo nos ayudan a solucionar problemas espaciales con relación a la geometría. En la vida diaria, tanto la del arquitecto como del constructor, se presentan desafíos constructivos y estructurales que van de la mano con las nuevas tecnologías, las cuales debemos ejecutar de manera adecuada para lograr un resultado óptimo.

A partir de los dos casos estudiados, pudimos darnos cuenta de que se ha tomado en cuenta el uso de conceptos matemáticos en su resolución y es importante considerar que los clichés entorno a las matemáticas van más allá de soluciones numéricas y que es un campo amplio que abarca desde tiempos remotos la rama de la arquitectura.

Nosotros, como arquitectos, debemos reinventar la posibilidad de diseñar construir y crear explorando todo lo que ofrece las matemáticas, ya que la tecnología avanza y también nos presenta nuevas opciones.

Bibliografía

Introducción

María Claudia Corredor (2007) "Superficies Mínimas". En:
<http://makeico3.blogspot.com/2007/11/superficies-mnimas.html>. Último acceso: 24/10/2011.

María Rosa Sánchez de Colacelli (2006). "La formas de las cubiertas de membrana. Parte 2: Arquitectura y Estructura". En: www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/avances/avance16.pdf.
Último acceso: 24/10/2011.

Guillermo José Jacobo (2005). "Arquitectura, diseño estructural y estética". En
<http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-021.pdf>.
Último acceso: 24/10/2011.

Lusina Biagetti, Maria Crosetti, Julian Garcia, Franco Lopez, Jimena Violante. "Frei Otto". En:
http://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/data/pdf/Frei_Otto.pdf. Último acceso:
24/10/2011.

Reflexión

Claudia Ucelli (2009). "Cobertura huaca Cao". En: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-69962009000100007&script=sci_arttext
Último acceso: 29/10/2011

Pedro Guillermo (2009). "El Nido de pájaro de Beijing". En:
<http://codigopgt.wordpress.com/2008/08/07/el-nido-de-pajaro-de-beijing/>
Último acceso: 29/10/2011

Francisco Andrés Martín. Fernando Fadon Salazar. (2009). "Análisis gráfico de obras emblemáticas de Félix Candela". En: <http://www.egrafica.unizar.es/ingegraf/pdf/Comunicacion17102.pdf>
Último acceso: 29/10/2011

Contexto

Mauricio Magnasco (2007). "Feria de Milan/ Massimiliano Fuksas". Plataforma de Arquitectura. En:
<http://www.plataformaarquitectura.cl/2007/05/25/feria-de-milan/>

Último acceso: 29/10/2011

Wikipedia. En: <http://es.wikipedia.org/wiki/2005> y <http://es.wikipedia.org/wiki/1972>.
Último acceso: 28/10/2011

Biagetti, Lusina. Crosetti, Maria. García, Julian. López, Franco. Violante, Jimena.(2010). "Frei Otto".
En: http://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/data/pdf/Frei_Otto.pdf
Último acceso: 29/10/2011

UNESCO (2002). "La Unesco y la protección del patrimonio cultural". En:
<http://www.cinu.org.mx/eventos/cultura2002/unesco.htm>
Último acceso: 29/10/2011

Emilio Morillo Miranda (2002). "Reformas educativas en el Perú del siglo XX". En:
<http://www.rieoei.org/deloslectores/233Morillo.PDF>
Último acceso: 29/10/2011

Griselle Juan. Seva García. "Turismo y sustentabilidad". En:
<http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev2/b05.html>
Último acceso: 29/10/2011

Matemáticas

-Curvatura Media:

Luis Alías Linares (2002). "El significado geométrico de la curvatura: superficies de curvatura media constante". En: <http://www.f-seneca.org/seneca/informes/Matematicas.pdf>
Ultimo acceso: 29/10/2011

Wikipedia (2011). "Curvatura Media". En: http://es.wikipedia.org/wiki/Curvatura_media
Ultimo acceso: 29/10/2011

-Superficie Reticular:

Zoltai. Stout. (2004). "Planes, forms and reciprocal lattice". En: <http://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-108-structure-of-earth-materials-fall-2004/lecture-notes/lec8.pdf>
Ultimo acceso: 29/10/2011

Wikipedia. "Lattice (group)". En: [http://en.wikipedia.org/wiki/Lattice_\(group\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Lattice_(group))
Ultimo acceso: 29/10/2011

Bolsa de Valores de Lima. "Geometría de los cristales". En: <http://www.elergonomista.com/tecnicas/geometria.htm>
Ultimo acceso: 29/10/2011

Wikipedia. "Redes de Bravais". En: http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_de_Bravais
Ultimo acceso: 29/10/2011

- Superficie de Revolución Cónica:

Sebastián (2008). "Geometría-cilindros". En: <http://geo-cilindros.blogspot.com/>
Ultimo acceso: 29/10/2011

Juan David Builes (2010). "Superficie de revolución". En: <http://davidbuiles.files.wordpress.com/2010/02/superficie-de-revolucion.doc>
Ultimo acceso: 29/10/2011

Wikipedia. "Superficie de Revolución". En: http://es.wikipedia.org/wiki/Superficie_de_revoluci%C3%B3n
Ultimo acceso: 29/10/2011

Silvina Pérez (2011). "Sección Cónica". En: <http://srepre12011-comision8.blogspot.com/2011/05/normal-0-21-false-false-false-es-x-none.html>
Ultimo acceso: 29/10/2011

-Superficies Mínimas:

Trazoide. "Superficie Mínima". En: http://trazoide.com/wiki/index.php?title=Superficie_m%C3%ADnima
Ultimo acceso: 29/10/2011

Adela Angélica (2011). "Superficies Mínimas". En: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Superficies-Minimas/2122908.html>
Ultimo acceso: 29/10/2011

Pascual Lucas (1999). "La historia de las matemáticas y su aplicación a la docencia en enseñanza secundaria". En: <http://www.um.es/docencia/plucas/miscelanea/minimales.pdf>
Ultimo acceso: 29/10/2011

-Hiperboloide:

Romero Schmidtke (2009). "Hiperboloide". En: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Hiperboloide>
Ultimo acceso: 29/10/2011

-Paraboloide Hiperbólico:

Mike Murguía (2010). "Félix Candela y la arquitectura paraboloide hiperbólico". En <http://sitioaureo.blogspot.com/2010/08/felix-candela-y-la-arquitectura.html>
Último acceso: 29/10/2011

Somos Reynitas. (2010). "Sistemas Estructurales". En: <http://somosreynitas.blogspot.com/2011/05/paraboloide-hiperbolico.html>
Último acceso: 29/10/2011

Wikipedia. "Paraboloide". En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Paraboloide>
Último acceso: 29/10/2011

Telefónica. "Paraboloide". En: <http://www.telefonica.net/web2/lasmaticasdemario/Geometria/Diferencial/Superficies/Paraboloid e.htm>
Último acceso: 29/10/2011

Wikipedia. "Cuádrlica". En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cu%C3%A1drlica>
Último acceso: 29/10/2011

José Antonio Mora (2007). "Geometría Dinámica"
<http://geometriadinamica.es/Geometria/Superficies/Paraboloide-hiperbolico-silla-demontar.html>
Último acceso: 29/10/2011

Anexo

Enlaces y breve descripción

Introducción

María Claudia Corredor (2007) "Superficies Mínimas". En: <http://makeico3.blogspot.com/2007/11/superficies-mnimas.html>. Último acceso: 24/10/2011. Hace una descripción general de tema de las Superficies Mínimas, aborda distintas maneras de enfoque.

María Rosa Sánchez de Colacelli (2006). "La formas de las cubiertas de membrana. Parte 2: Arquitectura y Estructura". En: www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/avances/avance16.pdf. Último acceso: 24/10/2011. Hace un análisis de las diversas formas de cubiertas que existen, tanto a nivel arquitectónico como de manera estructural.

Guillermo José Jacobo (2005). "Arquitectura, diseño estructural y estética". En <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-021.pdf>. Último acceso: 24/10/2011. El presente artículo se presenta como un análisis del libro "Aestetica" del alemán Alexander Baumgartens, en el cual se hace un análisis y reflexión del término Estética, como palabra que es fundamental en diversos campos intelectuales.

Lusina Biagetti, Maria Crosetti, Julian Garcia, Franco Lopez, Jimena Violante. "Frei Otto". En: http://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/data/pdf/Frei_Otto.pdf. Último acceso: 24/10/2011. Se realiza una monografía respecto al análisis de la obra del Arquitecto Frei Otto y una descripción general del Proyecto del Estadio Olímpico de Munich.

Reflexión

Claudia Ucelli (2009). "Cobertura huaca Cao". En: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-69962009000100007&script=sci_arttext. Último acceso: 29/10/2011. En este link, se presenta una descripción del complejo arqueológico El Brujo, en donde además de describir su importancia para la cultura peruana, hace una descripción de la cubierta que se instaló para proteger este complejo de las lluvias.

Pedro Guillermo (2009). "El Nido de pájaro de Beijing". En: <http://codigopgt.wordpress.com/2008/08/07/el-nido-de-pajaro-de-beijing/>. Último acceso: 29/10/2011. En este link, se presentan imágenes representativas del proyecto y hacen una breve descripción de la estructura que forma el estadio, tanto como su capacidad de albergar al público como también su superficie ocupada.

Francisco Andrés Martín. Fernando Fadon Salazar. (2009). "Análisis gráfico de obras emblemáticas de Felix Candela". En: <http://www.egrafica.unizar.es/ingegraf/pdf/Comunicacion17102.pdf>. Último acceso: 29/10/2011. En este link se presenta un análisis de la arquitectura de Felix Candela y su vocación científica, en donde demostró que tuvo el dominio de la geometría descriptiva. Se analiza distintos conceptos matemáticos como la geometría, paraboloide hiperbólico y también la utilización de tecnologías CAD, las cuales contribuyeron a tener mayor precisión en los cálculos de los proyectos.

Contexto

Mauricio Magnasco (2007). "Feria de Milan/ Massimiliano Fuksas". Plataforma de Arquitectura. En: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2007/05/25/feria-de-milan/>
Ultimo acceso: 29/10/2011

En esta página se realiza una descripción crítica y una valoración, tanto al arquitecto Massimiliano Fuksas como a su arquitectura; de la cual el autor del presente artículo no le parecía una buena arquitectura. Se presentan diversas preguntas analíticas respecto a la obra arquitectónica, conjuntamente analizando con imágenes de referencia de la obra del arquitecto.

Wikipedia. En: <http://es.wikipedia.org/wiki/2005> y <http://es.wikipedia.org/wiki/1972>.
Ultimo acceso: 28/10/2011

En esta página se puede ver fechas importantes a nivel histórico universal de los hechos ocurridos a nivel mundial.

Biagetti, Lusina. Crosetti, Maria. García, Julian. López, Franco. Violante, Jimena.(2010). "Frei Otto". En: http://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/data/pdf/Frei_Otto.pdf
Ultimo acceso: 29/10/2011

El presente artículo es una monografía del Arquitecto Frei Otto, donde no solo se señalan sus cualidades arquitectónicas, sino que se resalta su gran interés por la investigación tanto estructural como de la búsqueda por alcanzar su máximo nivel arquitectónico.

UNESCO (2002). "La Unesco y la protección del patrimonio cultural". En: <http://www.cinu.org.mx/eventos/cultura2002/unesco.htm>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este artículo se describe el rol que tiene la UNESCO como entidad responsable de la protección del patrimonio cultural a nivel mundial. Se mencionan las más importantes convenciones que se realizaron con el fin de detener los diversos daños que han estado recibiendo tanto el patrimonio material como cultural.

Emilio Morillo Miranda (2002). "Reformas educativas en el Perú del siglo XX". En: <http://www.rieoei.org/deloslectores/233Morillo.PDF>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este artículo se presentan los tres procesos de reforma educativa ocurrieron en el Perú, desde 1920 con la Reforma Educativa Civilista , luego en 1972 con la Reforma Educativa y finalmente en 1990 se implante la Reforma Neoliberal.

Griselle Juan. Seva Garcia. "Turismo y sustentabilidad". En: <http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev2/b05.html>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En el presente artículo se hace una reflexión sobre el concepto de la sustentabilidad, su evolución y su importancia en diversos ámbitos.

Matemáticas

-Curvatura Media:

Luis Aliás Linares (2002). "*El significado geométrico de la curvatura: superficies de curvatura media constante*". En: <http://www.f-seneca.org/seneca/informes/Matematicas.pdf>

Ultimo acceso: 29/10/2011

El presente Link se trata sobre una tesis que desarrolla el tema de las superficies de cobertura media constante; realiza descripciones y definiciones sobre superficies y curvaturas.

Wikipedia (2011). "*Curvatura Media*". En: http://es.wikipedia.org/wiki/Curvatura_media

Ultimo acceso: 29/10/2011

Se realiza una descripción y definición básica de la Curvatura Media. Se presentan algunas fórmulas para demostrar la definición que se presenta.

-Superficie Reticular:

Zoltai. Stout. (2004). "Planes, forms and reciprocal lattice". En: <http://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-108-structure-of-earth-materials-fall-2004/lecture-notes/lec8.pdf>

Ultimo acceso: 29/10/2011

El artículo nos presenta las definiciones de planos y formas geométricas. También nos muestra sus características y fórmulas matemáticas.

Wikipedia. "Lattice (group)". En: [http://en.wikipedia.org/wiki/Lattice_\(group\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Lattice_(group))

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este artículo se menciona sobre la malla vectorial, la cual se menciona que es una matriz en tres dimensiones de los puntos. Estos tienen un amplio campo de acción e intervienen en distintos tipos de ciencias.

Bolsa de Valores de Lima." Geometría de los cristales". En:

<http://www.elergonomista.com/tecnicas/geometria.htm>

Ultimo acceso: 29/10/2011

Este artículo nos menciona sobre la geometría de los cristales y presenta algunas definiciones de estas geometrías. Se muestran siete sistemas cristalinos: Cúbico, Tetragonal, Ortorrómbico, Romboédrico, Hexagonal, Monoclínico y triclínico.

Wikipedia. "Redes de Bravais". En: http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_de_Bravais

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este artículo se hace una introducción y definición de las Redes de Bravais, se mencionan criterios, características y grupos que contiene este tipo de Redes.

- Superficie de Revolución Cónica:

Sebastián (2008). "Geometría-cilindros". En: <http://geo-cilindros.blogspot.com/>

Ultimo acceso: 29/10/2011

Se trata de un artículo en donde se realiza a modo de ejercicio, una explicación del cilindro y el volumen de este mismo. Se plantea una solución y varias preguntas respuestas.

Juan David Builes (2010). "Superficie de revolución". En:

<http://davidbuiles.files.wordpress.com/2010/02/superficie-de-revolucion.doc>

Ultimo acceso: 29/10/2011

Este artículo nos define lo que es una Superficie de Revolución, nos muestra sus aplicaciones y sus propiedades geométricas.

Wikipedia. "Superficie de Revolución". En:

http://es.wikipedia.org/wiki/Superficie_de_revoluci%C3%B3n

Ultimo acceso: 29/10/2011

Se presenta una definición de la Superficie de Revolución, complementado con diversas fórmulas de estas superficies de revolución.

Silvina Pérez (2011). "Sección Cónica". En:

<http://srepre12011-comision8.blogspot.com/2011/05/normal-0-21-false-false-false-es-x-none.html>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este artículo se define tanto de manera gráfica como teoría, la superficie cónica. Se mencionan las diferentes formas superficies que se puede obtener.

-Superficies Mínimas:

Trazoide. "Superficie Mínima". En:

http://trazoide.com/wiki/index.php?title=Superficie_m%C3%ADnima

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este artículo se da una definición breve de lo que es una superficie mínima, y hace un recuento de los hechos históricos importantes en donde se realizaron distintos ensayos para obtener resultados que puedan confirmar la teoría y obtener nuevas pruebas sobre las superficies mínimas.

Adela Angélica (2011). "Superficies Mínimas". En: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Superficies-Minimas/2122908.html>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este artículo se muestra de manera simple una definición de la superficie mínima, detallándose más en la parte práctica del cómo se obtuvo tal definición.

Pascual Lucas (1999). "La historia de las matemáticas y su aplicación a la docencia en enseñanza secundaria". En: <http://www.um.es/docencia/plucas/miscelanea/minimales.pdf>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este link se presenta una investigación minuciosa acerca de las superficies minimales, la cual es una de las ramas más importantes de las matemáticas. Se plantean etapas de desarrollo, propiedades y características de las superficies minimales.

-Hiperboloide:

Romero Schmidtke (2009). "Hiperboloide". En: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Hiperboloide>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este link se presenta una definición de la Hipérbola, esto se muestra a través de gráficos y formulas, en donde se explica detalladamente la formación de las hipérbolas.

-Paraboloide Hiperbólico:

Mike Murguía (2010). "Félix Candela y la arquitectura paraboloide hiperbólico". En

<http://sitioaureo.blogspot.com/2010/08/felix-candela-y-la-arquitectura.html>

Último acceso: 29/10/2011

En el presente artículo se habla sobre la arquitectura de Félix Candela y su relación con la utilización de las propiedades matemáticas, en este caso la paraboloide hiperbólico. Se presentan imágenes de sus obras en construcción, resaltando la relación que existe en la utilización de la propiedad matemática.

Somos Reynitas. (2010). "Sistemas Estructurales". En:

<http://somosreynitas.blogspot.com/2011/05/paraboloide-hiperbolico.html>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este link se hace una breve y concisa definición de la Paraboloide Hiperbólica, y hacen un ejercicio práctico para demostrar la propiedad matemática.

Wikipedia. "Paraboloide". En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Paraboloide>

Ultimo acceso: 29/10/2011

Se hace una descripción general de los términos Paraboloide Hiperbólico y del Paraboloide Elíptico, mencionando en ambas sus fórmulas matemáticas.

Telefónica. "Paraboloide". En:

<http://www.telefonica.net/web2/lasmaticasdemario/Geometria/Diferencial/Superficies/Paraboloide.htm>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este link se presentan las formulas de la paraboloide elíptico y el paraboloide hiperbólico.

Wikipedia. "Cuadrática". En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cuadrática>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este link se hace una definición detallada acerca del término Cuadrática, se hace una reseña histórica y se define algebraicamente y se mencionan tipos de cuadráticas.

José Antonio Mora (2007). "Geometría Dinámica"

<http://geometriadinamica.es/Geometria/Superficies/Paraboloide-hiperbolico-silla-demontar.html>

Ultimo acceso: 29/10/2011

En este link se presenta la definición de paraboloide hiperbólico, con un ejercicio virtual, el cual nos enseña didácticamente las propiedades de cómo se construye una superficie hiperbólica (silla de montar) comparándola con la superficie doblemente reglada, para poder así una diferenciación entre ambas propiedades matemáticas.