



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



JORGE ANTONIO RODRÍGUEZ Y MORGADO

FILOSOFÍA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN CONSTRUCCIONES RELIGIOSAS COLONIALES.

17 de mayo de 2024

8-5-8



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Contenido

- Introducción
- **¿De dónde viene?**
- El arco
- Las construcciones religiosas coloniales
- **¿Qué es?**
- El arco
- Las construcciones religiosas coloniales
- **¿Hacia dónde va?**
- El arco
- Las construcciones religiosas coloniales
- **Conclusiones**
- **Referencias**





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



INTRODUCCIÓN

El Diccionario Oxford Languages define la Filosofía como:

“El conjunto de reflexiones sobre la **esencia, las propiedades, las causas y los efectos** de las cosas naturales, especialmente sobre el hombre y el Universo”.

Surge la pregunta **¿Existe acaso una filosofía de las estructuras, y sobre todo, de los elementos constitutivos de las construcciones religiosas coloniales?**





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



“Se puede afirmar que sí”.

Ya que partiendo de la definición anterior tenemos:

Si nos referimos a los objetos (arco, bóveda, cúpula) o cosas naturales, al relacionar la **“esencia”** surge el cuestionamiento **¿de dónde viene?**, si se liga esas cosas a sus **“propiedades”** surge la pregunta **¿qué es?** Y si consideramos las **“causas y efectos”** de ellas nos lleva a cuestionar sobre **¿hacia dónde va?**



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



¿DE DÓNDE VIENE?

EL ARCO.

La noción del **arco** podría entenderse como la **primera estructura inteligente**.

Los primeros arcos aparecen en Mesopotamia sobre el 4000 a. C. con **ladrillos secados al sol** (no cocidos). Un punto de comienzo para la ingeniería estructural puede fijarse en el año 500 a. C., cuando los **griegos** empezaron a utilizar materiales pétreos para construir estructuras.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



La Biblia en el libro de **Génesis 11:3-4** indica:
“Y se dijeron unos a otros: Vamos, **hagamos ladrillo y cozámoslo con fuego**. Y les sirvió el **ladrillo en lugar de piedra**, y el **asfalto en lugar de mezcla**. Y dijeron: Vamos, edifiquémonos una ciudad y una torre (del hebreo baibal = confundir), cuya cúspide llegue al cielo; y hagámonos un nombre, por si fuéremos esparcidos sobre la faz de toda la tierra”





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO

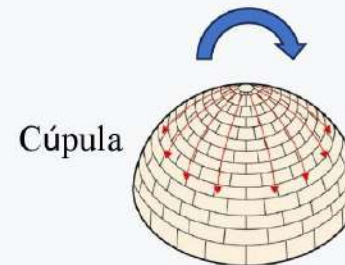
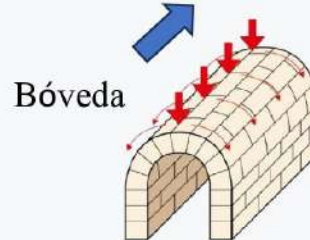
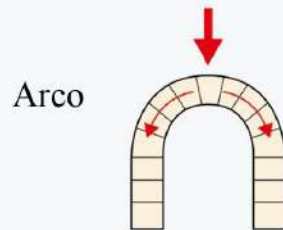


La civilización romana fue la primera en **construir con arcos** puentes de **mampostería**. **Cayo Julio Lacer** dejó la más expresiva **definición del arco** (104-106 d. C.): Ars ubi materia vicitur ipsa sua -“**Artificio mediante el cual la materia se vence a sí misma**”. Otros elementos constructivos empleados en las **estructuras religiosas coloniales** cuyo origen es el **arco** son: la **bóveda** y la **cúpula**

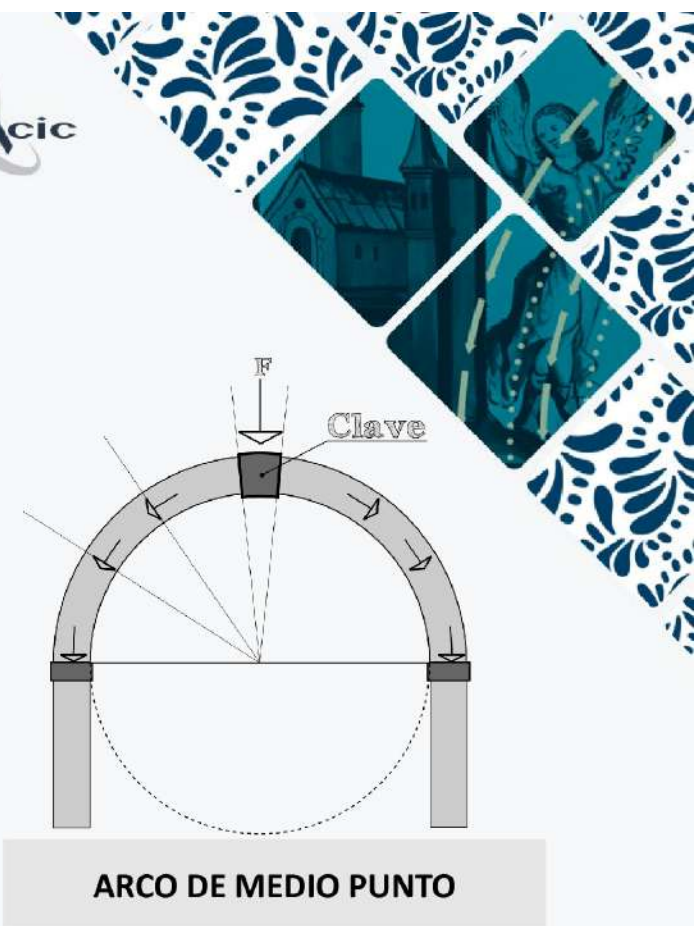


La geometría de la **bóveda** es formada mediante la traslación en el espacio de arcos iguales, es decir, **el arco es la generatriz de la bóveda**.

Una **cúpula** se forma mediante la **rotación de un arco**.



Pitágoras de Samos, filósofo y matemático griego considerado como el **primer matemático puro**, comprobó que las líneas curvas eran la característica de las formas de la naturaleza. Estableció que “**la curva era el trazado divino por excelencia**”, incluyendo al **arco de medio punto** ya que se forma mediante una circunferencia al unir dos puntos exteriores con su centro.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Pitágoras buscó la “**esencia**” de los números, descubriendo los siguientes significados: **1.** Energía Primigenia, Dios. **2.** Dualidad, Polaridad. **3.** Manifestación de la Divinidad en la Naturaleza*. **4.** Plano Terrenal. **5.** Hombre. **6.** Armonía, Equilibrio. **7.** Creación. **8.** Eternidad, Infinito y **9.** Perfección.

*Números impares +, activos, eléctricos...
Números pares -, pasivos, magnéticos...





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Desarrolló el conocido **Teorema de Pitágoras** y se atribuye a la **escuela pitagórica** el descubrimiento de los números **Pi 3.1415...** (relacionado con todo recorrido circular, por lo cual el arco se ajusta a este número) y el del número **Phi 1. 618...** número áureo o divina proporción.

*La Sociedad Pitagórica de Crotona fue atacada por Cilon, Pitágoras escapó a Metaponto y murió allí de hambre y sed.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Las obras se realizaban considerando la **esencia del número**, por ejemplo, en el **Coliseo Romano**, sobresalía el número **8** (obra a durar eternamente): inaugurado en el año **80**; con una superficie de 24,000 m² (**8000x3**), estructura elíptica de **188** metros de longitud, **80** filas de gradas, tiene tres pisos, cada uno compuesto por **80** arcos de medio punto.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



¿DE DÓNDE VIENE?

LAS CONSTRUCCIONES RELIGIOSAS COLONIALES

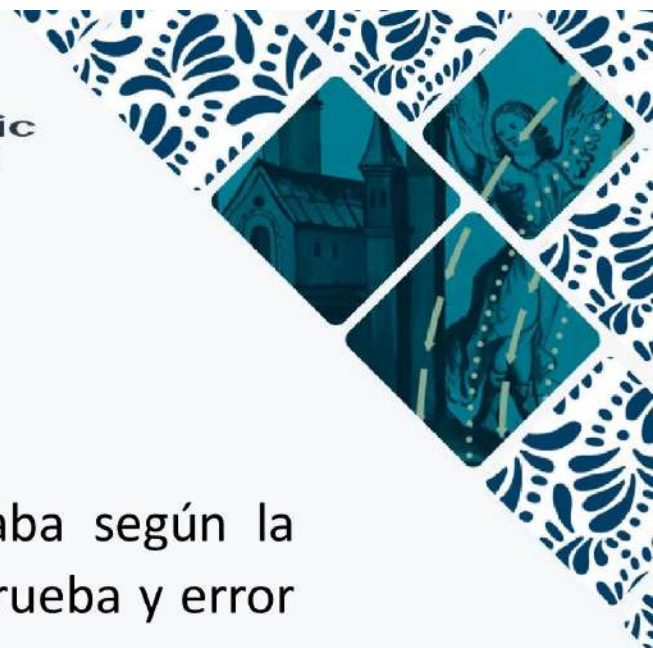
La característica principal del período colonial de las construcciones religiosas, es que se basaron en los **estilos arquitectónicos** que predominaban en Europa durante los años que duró el periodo colonialista (1521-1821):

“Gótico, Renacentista, Barroco”.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



¿QUÉ ES?

ARCO.

El **Arco**, origen de cúpulas y bóvedas, se edificaba según la **experiencia e intuición** del constructor, a base de prueba y error se llegó a unas **reglas geométricas de proporciones** que no fallaban.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Con el paso del tiempo se llegó a reglas obtenidas mediante la experiencia, basada en **medidas de proporción**. La regla era que, **para un arco con un cierto claro o luz, el espesor era una fracción**, que de acuerdo a la “**observación**” correspondía a espesores entre **1/10** y **1/15 de la luz**, con un **ancho no menor al espesor** o igual al ancho del **muro de soporte**.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Varios son los personajes que realizan **estudios estáticos** sobre las estructuras: **Leonardo Da Vinci, Galileo Galilei, August Ritter, Luigi Cremona, Robert Hooke.**

La **primera fuente documental** de una **regla de proyecto** para **arcos de puentes** aparece en el tratado de **Alberti**, escrito hacia 1450, que propone como regla que el **espesor sea 1/15 de la luz.**



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Andrea Palladio (1508-1580) da dimensiones de arcos de puentes, los espesores están entre **1/10 y 1/17 de la luz**.

El ingeniero francés **Gautier** publica en 1716 su primer tratado de puentes y se decide por la regla de **1/15**.

El primer **análisis estático de la estabilidad de un arco** fue formulado en 1675, por **Robert Hooke**, posteriormente, **Bernoulli, David Gregory, Thomas Young** y el ingeniero francés **La Hire** trataron el tema.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



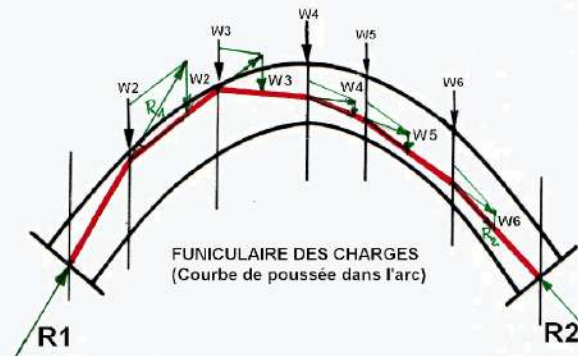
El ingeniero **Couplet** (1730) se plantea el problema de cuál es el **espesor mínimo** que debía tener un **arco semicircular** para ser estable y obtuvo un espesor de **$l/18.83$** .

Monasterio (1805) acota el espesor del arco límite entre **$l/16$ y $l/18$** .

Méry (1840) expone un **método semigráfico** para dibujar las líneas de empuje. Para un arco semicircular de 20 m obtiene un **espesor de $l/17.54$** .



En 1858, **Rankine** enunció que “La **estabilidad de un arco** es segura, si es posible **dibujar una línea de empujes** en equilibrio con las fuerzas que actúan sobre el arco dentro del **tercio central** del espesor del arco”. Como afirmó **Gregory** en 1697 “un **arco no colapsará** si puede dibujarse una **línea de empujes** en su interior”.



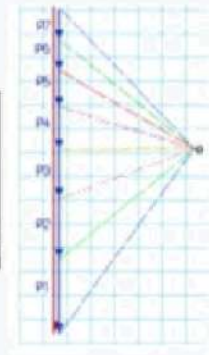
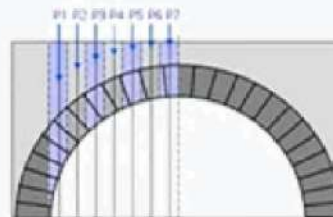


XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



El estudio del **arco límite** lo trata **Milutin Milankovitch** en 1907 obteniendo el valor **$l/17.6046$** .

El profesor **Heyman** de Cambridge, en 1969, obtiene un valor de **$l/17.868$** y sugiere un **método gráfico** para hallar el **espesor límite** para arcos de cualquier forma sometidos a una carga cualquiera





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO

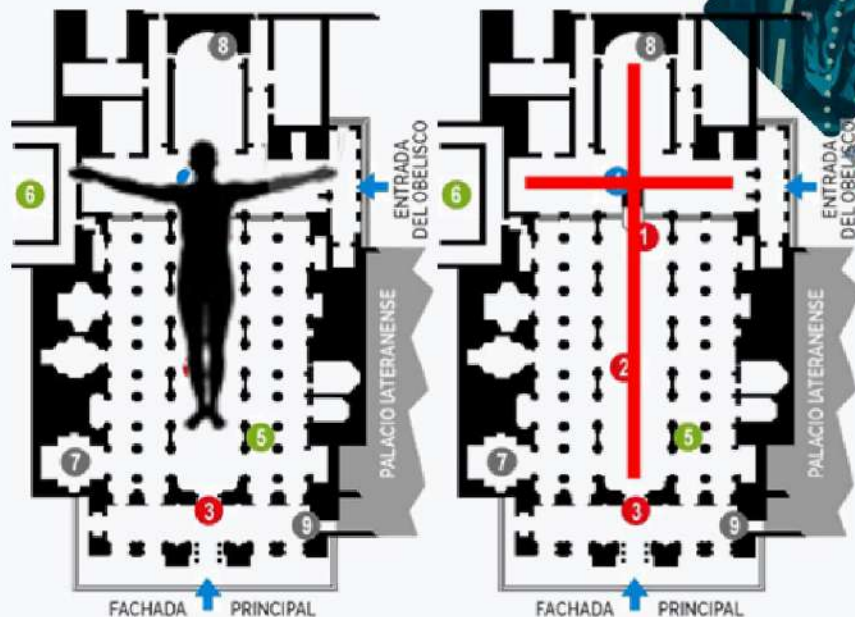


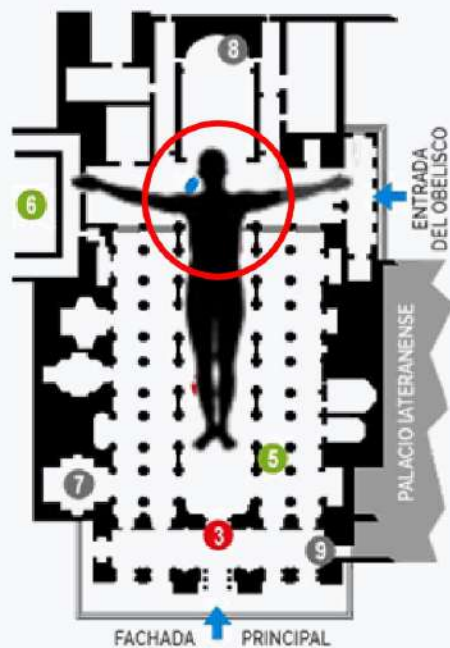
La conclusión es que: “la **seguridad** depende exclusivamente de la **geometría en arcos sometidos a su propio peso y no de su resistencia**”, lo que valida el proyecto proporcional de las **reglas tradicionales** para los arcos empleadas desde la **Antigüedad**.

¿QUÉ ES?

LAS CONSTRUCCIONES RELIGIOSAS COLONIALES.

La primera iglesia que se construyó fue en Roma en el siglo IV, siguiendo la imagen de un **hombre (Cristo) acostado con los brazos abiertos** y en la cual estaba presente también una cruz.





Mateo representado por un hombre
Acuario



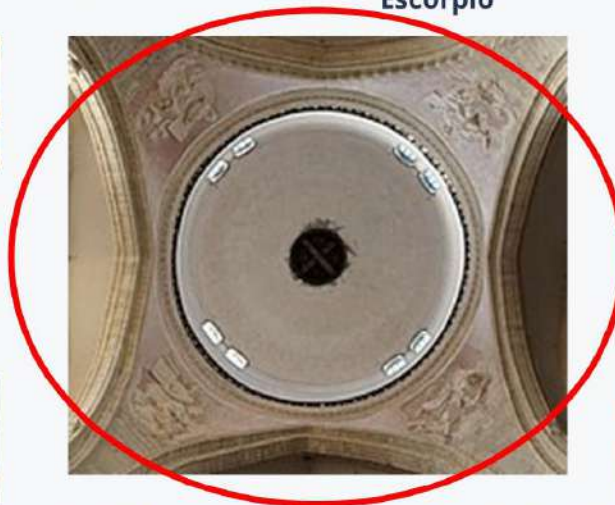
Juan representado por un Águila
Escorpio

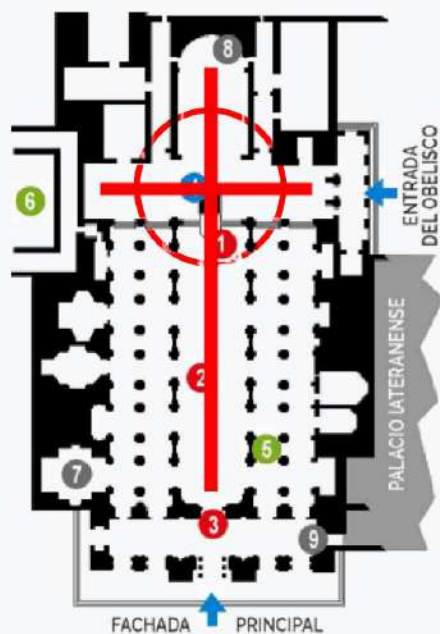


Lucas lo representa el Toro
Tauro



Marcos lo representa un León
Leo





Mateo representado por un hombre
Acuario (Solsticio primavera)



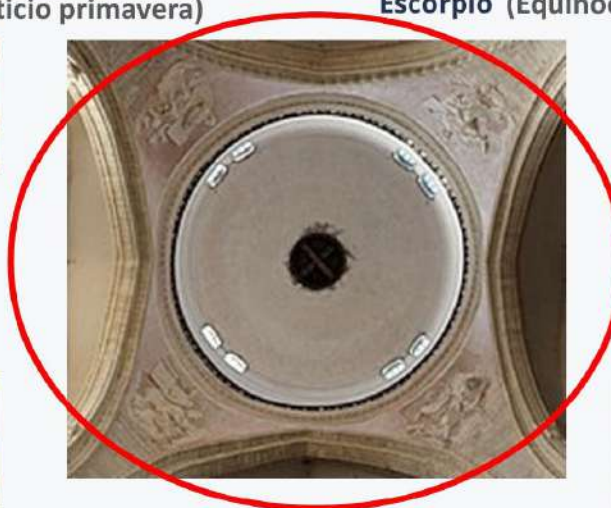
Juan representado por un Águila
Escorpio (Equinoccio invierno)



Lucas lo representa el Toro
Tauro (Equinoccio verano)



Marcos lo representa un León
Leo (Solsticio otoño)



Cardinales; **Fijos**; Mutantes.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



¿HACIA DÓNDE VA?

ARCO

En el **Arco**, el enfoque erróneo de la **resistencia**, incluido implícitamente en los programas de computadora de Elementos Finitos, persiste. Sin embargo, la comprobación de resistencia es insegura. La **seguridad sólo se obtiene** calculando **el arco límite** y aplicando el correspondiente **coeficiente de seguridad**.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



¿HACIA DÓNDE VA?

LAS CONSTRUCCIONES RELIGIOSAS COLONIALES.

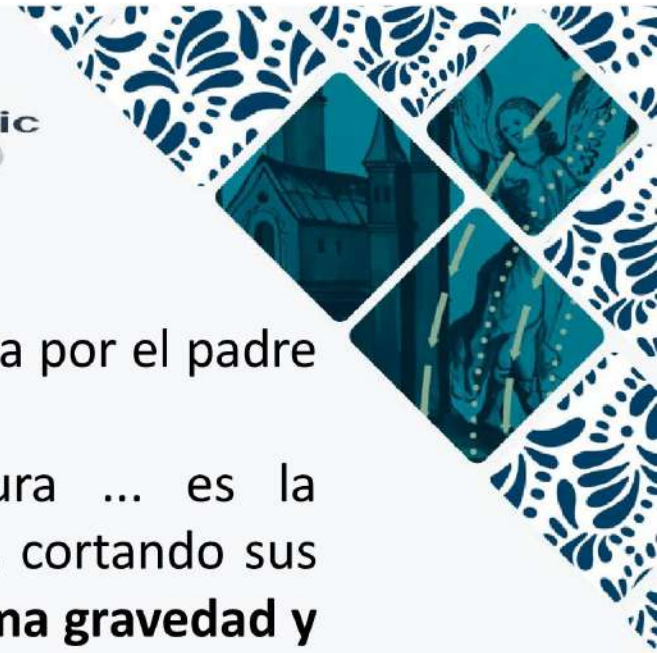
En las **construcciones religiosas coloniales**, los arcos formados por dovelas de mampostería **trabajan a compresión**. Las condiciones de estática de estos sistemas están perfectamente comprobadas ya que después de varios siglos, la mayoría siguen en pie.

En el siglo XX, **Gaudí** (1852-1926) proyectó los perfiles neogóticos de la **Sagrada Familia** basándose en maquetas de hilo.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



La construcción de arcos y bóvedas fue considerada por el padre **Vicente Tosca** (1651-1723) como:

“Lo más **sutil y primoroso** de la Arquitectura ... es la construcción de todo género de **arcos y bóvedas**, cortando sus piedras, y ajustándolas con tal artificio, que **la misma gravedad y peso** que las había de precipitar hacia la tierra, las mantenga constantes en el aire, **sustentándose** las unas a las otras en virtud de la mutua complicación que las enlaza, con lo que cierran por arriba las fábricas con toda seguridad y firmeza.”



2º Congreso
Internacional de
Ingeniería Civil
en Ciudades Patrimonio Mundial



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



CONCLUSIONES

- El **arco**, la **bóveda** y la **cúpula**, son componentes estructurales de las **construcciones religiosas**, que seguirán por muchos siglos ya que se ha visto que dan **excelentes resultados** para cubrir grandes espacios.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- Las **reglas geométricas** de los maestros antiguos **han demostrado ser lo más adecuado** ya que las construcciones se han comportado de manera **satisfactoria a través de los siglos.**



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- El Ing. Eduardo Torroja Miret (1899-1961) en su libro “Razón y ser de los tipos estructurales” indica: “El arco es el mayor invento tensional del arte clásico. Él sigue impresionando ... la leyenda achaca al diablo su construcción... ese arco que nunca duerme.”





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- En la actualidad, para saber si las **construcciones coloniales religiosas** cumplen con el grosor mínimo a partir del cual el arco sería estable, es necesario verificar la “**regla porcentual**”, que el **espesor mínimo sea equivalente a 10% - 15% de la luz del arco**.

- Se han realizado impresionantes edificaciones como el **punte Chaotianmen** (obre el río Yangtsé en la ciudad de Chongqing, China) construido mediante un **arco** y es el más largo del mundo tiene un claro principal de **552 m**, y una longitud total de **1741 m**.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- El Arco Gateway, cuenta con **200 metros de altura máxima y 200 metros de ancho**, monumento más alto del estado de Misuri y también la **mayor estructura** arquitectónica con **forma de arco** catenario aplastado.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- La **bóveda** de ladrillo más grande del mundo, en Ctesifonte, Persia, actual Iran, se conoce también con el nombre de Khusrau, mide cerca de 35 metros de alto, 25 metros de ancho y llegó a cubrir una sala de 50 metros de largo.



2° Congreso
Internacional de
Ingeniería Civil
en Ciudades Patrimonio Mundial



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- Las **cúpulas**, han ido incrementando el claro a cubrir. **Richard Buckminster Fuller**, inventor de las cúpulas geodésicas, en 1967, en la Exposición Universal de Montreal, logró cubrir un claro de **76 m** de diámetro y con **41.5 m** de altura.

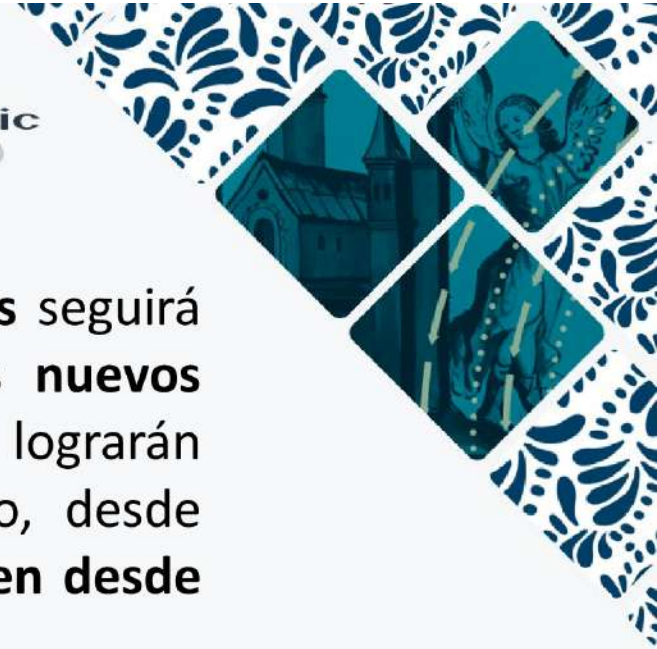




XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- El uso de los arcos, las bóvedas y las cúpulas seguirá ampliándose en un futuro ya que, con los **nuevos materiales y procesos constructivos**, se lograrán **construcciones impresionantes**, no olvidando, desde luego, las consideraciones que les dieron **origen desde el inicio de la humanidad**.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



- **Jean Mignot (1399)**, en el peritaje de la catedral de Milán (1386-1965), expresó: **“debemos buscar en los edificios coloniales construidos y en lo que podemos extraer de los antiguos tratados de arquitectura e ingeniería, toda la buena experiencia dejada por los constructores pasados”**. Tenemos mucho que aprender de ellos.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



Lo anterior nos hace reflexionar que: Sin la inquietud de saber **quiénes somos, de dónde venimos y hacia dónde vamos**, permaneceríamos por siempre **sin pasado, sin memoria histórica, sin ideales, sin sueños, sin futuro.**



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



REFERENCIAS

1. <https://brainly.lat/tarea/33862207>; Definición Filosofía.
2. <https://www.elcaribe.com.do/gente/cultura/apuntes-de-infraestructura/filosofia-de-las-estructuras-tipos-y-materiales-estructurales/>; Filosofía de las estructuras. Tipos y materiales estructurales.
3. <https://humanidades.com/pitagoras/>; Enciclopedia humanidades. Pitágoras.
4. <https://humanidades.com/teorema-pitagoras/>; Enciclopedia humanidades. Teorema de Pitágoras.
5. <https://arquitecturanoticias.com/blog/teorema-de-pitagoras-en-la-arquitectura/>; El sorprendente rol del teorema de Pitágoras en la arquitectura moderna.
6. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/el-numero-pi-una-cifra-para-casi-todo_10210#:~:text=Arqu%C3%ADmedes%20fue%20el%20protagonista%20de,co nocido%20actualmente%20de%203%2C14; National Geographic. El número Pi, una cifra para casi todo.
7. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/el-numero-pi-una-cifra-para-casi-todo_10210; National Geographic. El número Pi, una cifra para casi todo.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



8. <https://www.educacionyfp.gob.es/eslovaquia/dam/jcr:7f523c6c-ccb5-4e6e-924d-a4286569c4d6/numero-de-oro-recursos-didacticos.pdf>; El número de oro es irracional.
9. <https://www.etac.edu.mx/blog-etac/index.php/estilos-arquitectonicos>; 10 estilos Arquitectónicos a través de la historia.
10. <https://www.tecnicaindustrial.es/un-poco-de-historia-sobre-el-calculo-de-estru/>; Un poco de historia sobre el cálculo de estructuras.
11. <https://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa>; Ingeniería.
12. http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/55_Santiago%20Huerta.pdf; El arco límite: breve historia de un problema estructural.
13. <https://www.admagazine.com/articulos/las-iglesias-mas-antiguas-de-mexico>; Las iglesias más antiguas de México.
14. <https://www.arquitecturapura.com/arquitectura/colonial-19051/>; Arquitectura colonial.





XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



15. <http://www.xtec.cat/~cgarci38/ceta/tecnologia/arcos.htm>; Fundamentos físicos de la construcción medieval: arcos y puentes.
16. <https://www.artifexbalear.org/arco2.htm>; Artifexbalear. Arco II: principios básicos de comportamiento.
17. <https://www.artifexbalear.org/regter.htm>; Artifexbalear. Regla del tercio.
18. https://oa.upm.es/41043/1/X-2694_Mecanica_bovedas.pdf; Mecánica de las bóvedas de fábrica: el enfoque del equilibrio.
19. https://oa.upm.es/1136/1/Huerta_2004_Arcos_bovedas_y_cupulas.pdf; Arcos, Bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica.
20. <https://fliphtml5.com/es/ryov/qqcw/basic>; Eduardo Torroja Miret. Razón y ser de los tipos estructurales.



XXVIII
CONSEJO DIRECTIVO



¡Gracias!

JORGE ANTONIO RODRÍGUEZ Y MORGADO

jarymorgado@yahoo.com.mx

22.21.14.29.39