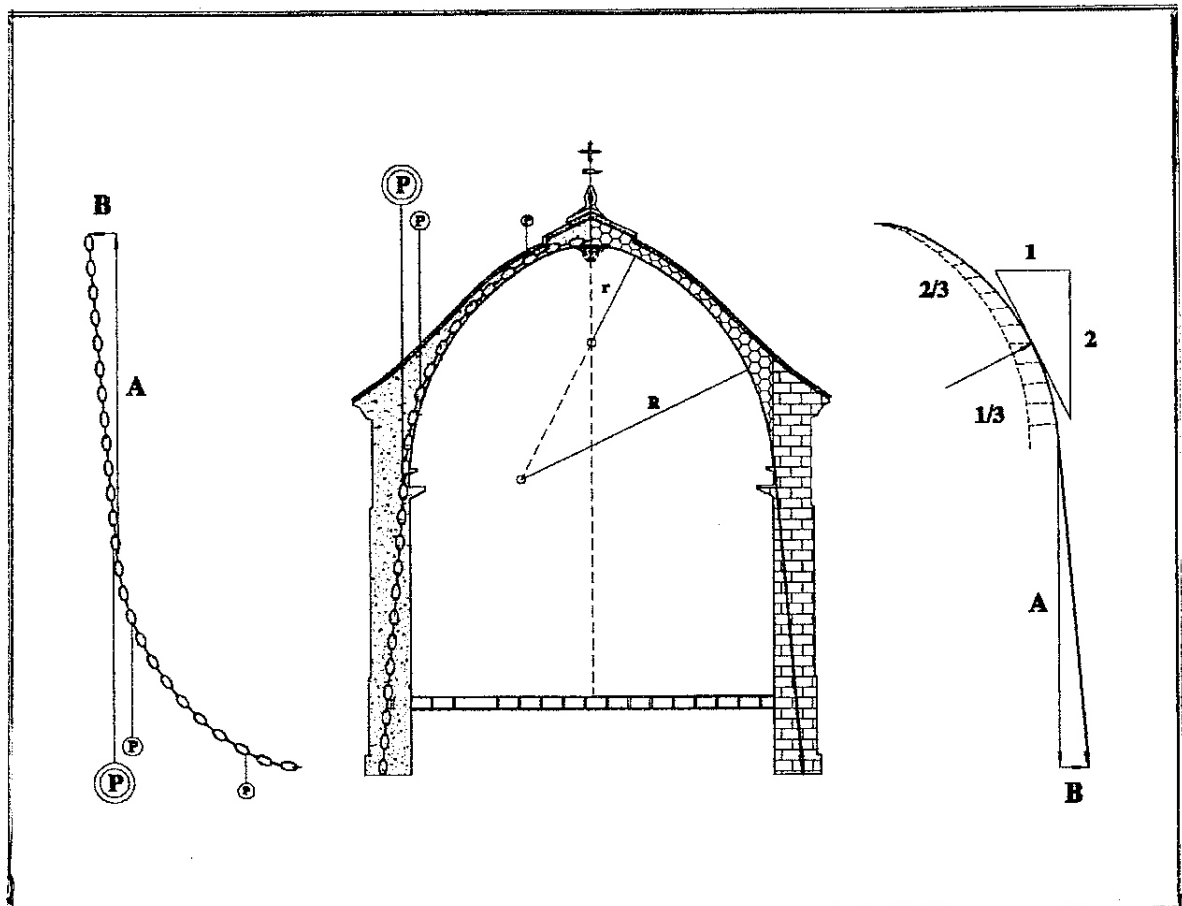


CATEDRAL DE LA MANCHUELA ALBOREA (ALBACETE)

DOS EJEMPLOS DEL CÁLCULO DE LA CÚPULA OCHAVADA



SE EMPLEAN DOS PROCEDIMIENTOS:

1º. POR LA GEOMETRÍA EUCLÍDEA DESCUBIERTA Y EMPLEADA DESDE EL SIGLO III ANTES DE CRISTO. (derecha del dibujo)

2º. POR LA GEOMETRÍA REGLADA, DESCUBIERTA, ESTUDIADA Y APLICADA DESDE FINALES DEL SIGLO XIX. (izquierda del dibujo)

CATEDRAL DE LA MANCHUELA ALBOREA (Albacete)

CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA CÚPULA OCHAVADA AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO, REALIZADO ANTERIORMENTE.

Alborea junio de 2003.

Antes de nada, hago constar que, dada mi formación minera y geológica, estoy plenamente convencido de que el gran problema, que afecta a la cúpula, está en el subsuelo que sostiene sus cimientos. Pero como lo que no se ve, no se le da importancia y no se soluciona, es lo que me lleva a intentar demostrar que, la parte que se ve si cumple con las normas y principios adecuados, dejando claro que el problema está en la falta de capacidad portante del terreno que sustenta a los cimientos.

Para llegar a estas conclusiones técnicas, me he tenido que apoyar en las normas actuales de identificación de suelos, terrenos y materiales. Como:

Clasificación de suelos. Granulometrías con curva y husos. Límites, sólido, líquido e índice de plasticidad; Equivalente de arena. Porcentajes de contenido en arcilla. nódulos carbonatados, carbonatos, sulfatos (yesos), sales solubles, sobre todo materia orgánica, Peso específico real y aparente. Densidades y humedades con sus proctor normal y modificado (densidad máxima con la humedad óptima). Muy importante son los análisis del agua con la que se trabaja. . . . etc.

Pruebas de resistencia, como: Ensayos de inca. Placas de carga. Índice de penetración o C.B.R...Desgaste Los Ángeles. Estabilidad al SO₄ Mg. Descomposición por materia orgánica. Hinchamiento por arcillas. etc.

A finales del siglo XVIII, (época de construcción de la cúpula) todavía no existían dichas normas y ensayos, por lo que la mayoría de cimentaciones se proyectaban y hacían con la experiencia adquirida en obras anteriores.

Si todas las normas anteriores no se pudieron tener en cuenta, porque no se conocían, no es de extrañar que el agua (del acuífero inferior y la materia orgánica de cementerio superior) ataquen y disuelvan el terreno del cimiento, originándole los poros y cuevas, que aparecen en los sondeos del proyecto de restauración, aparte de otros fenómenos.

Además, la mano del hombre también interviene (posterior a la construcción de la cúpula) excavando cuevas-despensa, que invaden las zonas de carga de cimientos.

Los siguientes principios tan bien me ayudan.

“Desde la ingeniería, la obra del arquitecto es la constatación de que los desarrollos formales más atrevidos tienen sentido si están concebidos desde la coherencia de las leyes de la física” (1)

“La dificultad fundamental de la solución arquitectónica es hoy, como lo ha sido siempre, la de escoger las formas apropiadas que se han de dar a los elementos sustentantes y a los sostenidos a fin de que, íntimamente relacionados, el uno no sea sino la continuación del otro, tanto en sus formas como en las leyes respectivas de su equilibrio. Esta ha sido siempre el gran problema de la arquitectura”. (2)

Teniendo en cuenta todas las condiciones y principios anteriores, presento una solución, a los problemas de la cimentación de la Cúpula, que es segura, fácil de ejecutar y económica, ya que su valor se eleva a 1/3 del presupuesto inicial del proyecto, realizado el año 1.992.

(1) Salvador Tarragó i Cid. Doctor Arquitecto.

(2) Gustavo García Gabarro, Doctor Arquitecto, Delegado del patrimonio del Arzobispado de Barcelona.

Para confirmar mis anteriores afirmaciones, continué tomando datos topográficos de la cúpula. Calculados, dibujados y estudiados mas a fondo, siguen confirmando mi teoría.

Apoyándonos en las secciones y detalles obtenidos en el estudio topográfico, realizado con anterioridad, pasamos a desarrollar el apartado **2º**

2º - Calculo y explicación de esfuerzos resultantes en la cúpula.

La cubierta de la cúpula esta formada por: A) bóveda que le da forma y sostiene, B) tabiquillos de aligeramiento (conejeros), C) doble tablero de rasilla, D) capa de compresión y E) teja.

Para hacer los cálculos, hay que tener en cuenta las sobrecargas que puede recibir como: lluvia, granizo, nieve, hielo, vientos, . . . etc. Como los tabiquillos conejeros, se colocan para aliviar la carga de la cubierta, considero que esta zona esta rellena de material y así compensar, dentro de los cálculos, las sobrecargas anteriores.

Tan bien se tendrá en cuenta que la sección que se estudia es, aproximadamente, una cuña esférica y que su centro de gravedad está, prácticamente, a 1/3 de la parte inferior de la bóveda. Ver pagina 4..

Apoyándonos en la **Geometría Euclídea** (iniciada en el Siglo III antes de Cristo y que todavía esta activa), nuestros estudios, cálculos y tanteos, sobre las secciones de la cúpula, nos indican que el centro de presión en cimientos, por cargas de: pilas, cerramientos y bóvedas, quedan dentro del asiento de la zapata, con el suficiente margen para ser estable, Ver pag 5 y 6

En la página siguiente, representamos el procedimiento que se hubiera empleado, en el cálculo de nuestra cúpula, *“aplicando la **Geometría Reglada y Descriptiva**, descubierta y aplicada a finales del siglo XIX, por:*

Antonio Gaudí i Cornet (1852-1926) Arquitecto-Ingeniero y Eduardo Torroja i Caballé (1847-1928) Arquitecto y Catedrático, que iniciaron su aplicación y enseñanza . El 1º en la construcción del templo de la Sagrada Familia en Barcelona y el 2º en su cátedra de Madrid. (2)

Tan bien se adelantaron, en 20 años, al empleo y divulgación de los “arcos parabólico y funicular” a sus contemporáneos (2)

La forma de la bóveda se consigue partiendo del arco parabólico, aplicándole contrapesos adecuados, hasta conseguir el arco funicular o “funícula”.

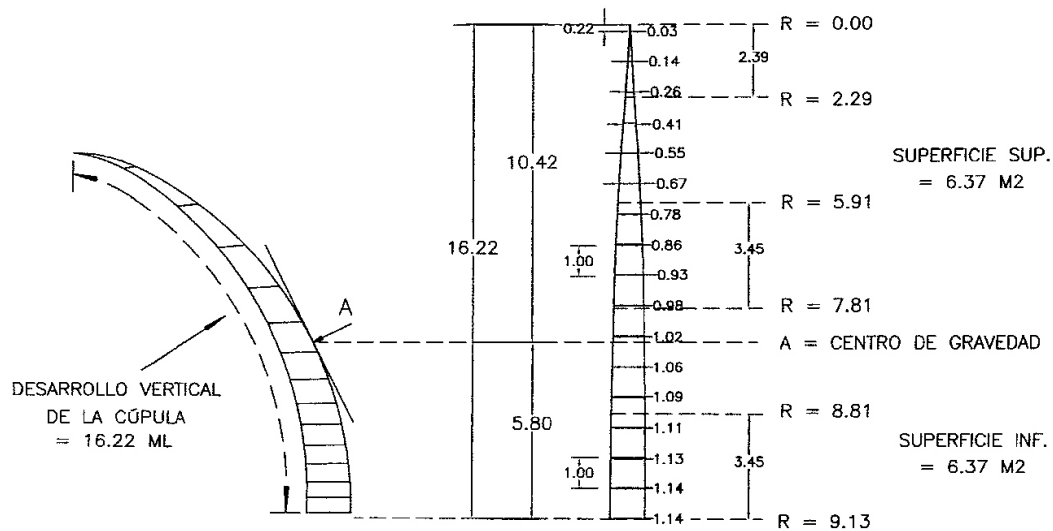
Además se deduce que las ocho bóvedas lobuladas que tiene, están apoyadas, en un porcentaje elevado, sobre las pilas y muros de cerramiento. Por lo tanto gran parte del esfuerzo horizontal queda anulado.

Barcelona – marzo de 2.008

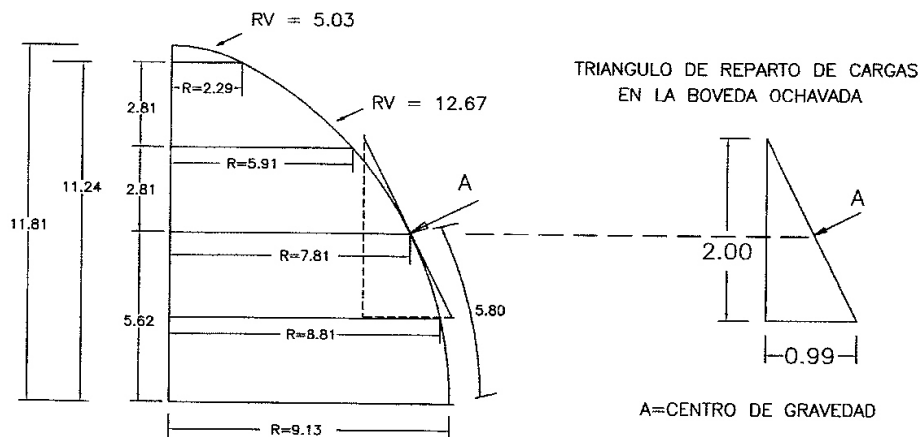
Félix Monedero Martínez
Ingeniero Técnico de Minas

CÁLCULO DEL CENTRO DE CARGAS EN LA BÓVEDA (CUÑA ESFÉRICA)

DESARROLLO DE SUPERFICIE EXTERIOR DE LA CÚPULA ESFÉRICA



CENTRO DE CARGAS EN LA BÓVEDA



RELACIÓN CUÑA/TRIANGULO

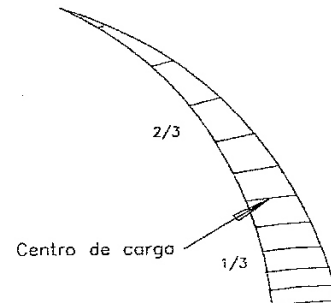
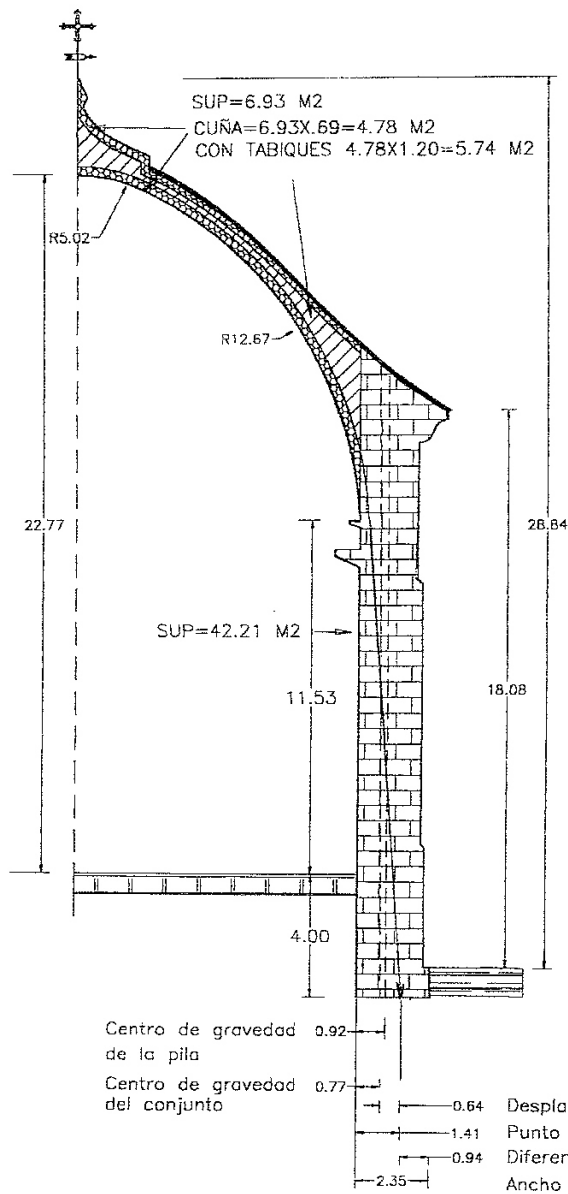
$$\frac{\text{CUÑA, SUP.} = 12.74 \text{ M2}}{\text{RECTANGULO, SUP.} = 18.49 \text{ M2}} = 0.69$$

$$(16.22 \times 1.14 = 18.49 \text{ M2})$$

INTOP.99 S.L. INGENIERÍA, TOPOGRAFÍA Y OBRAS PÚBLICAS C/. CONSEJO DE CIENTO 83 4º 2º 08015 BARCELONA TEL/FAX 93 424 63 14 email, intop99@teleline.es	Escala	CATEDRAL DE LA MANCHUELA. ALBOREA (Albacete) Título del plano: ESTUDIOS DE LA CÚPULA OCHAVADA CÁLCULO APROXIMADO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS	Nº de Plano	Fecha
			Hoja..1.de.2..	FEBR .2003

CÁLCULO POR SECCIÓN DE ESTRUCTURA RESISTENTE
ACTUANDO COMO NAVE ESFÉRICA

CUÑA DE CÚPULA



RELACIÓN A/B
24.27/1

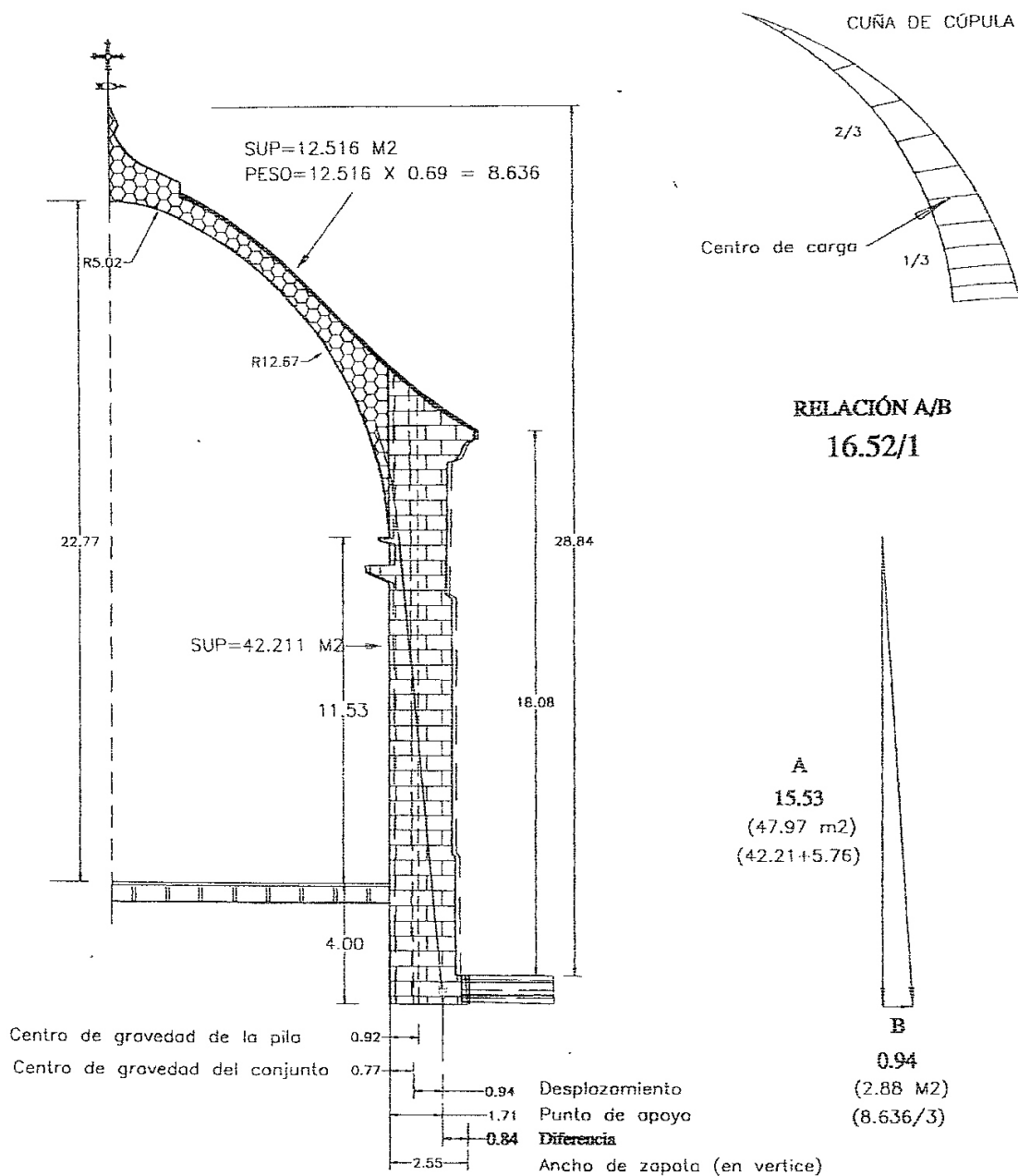
A
15.53
(46.04M2)
(42.21+3.83)

B
0.64
(1.91)
(5.74/3)

Nota: las cubiertas se consideran aligeradas con tabiquillos conejeros

INTOP.99 S.L. INGENIERÍA, TOPOGRAFÍA Y OBRAS PÚBLICAS C/. CONSEJO DE CIENTO 83 4º 2º 08015 BARCELONA TEL/FAX 93 424 63 14 email, intop99@teletel.es	Escala	CATEDRAL DE LA MANCHUELA. ALBOREA (Albacete) Título del plano: ESTUDIOS DE LA CÚPULA OCHAVADA CÁLCULO APROXIMADO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS	N° de Plano Hoja... de...	Fecha FEBR .2003
--	--------	--	------------------------------	---------------------

CÁLCULO DE CARGAS, POR SECCIÓN DE ESTRUCTURA RESISTENTE
ACTUANDO COMO NAVE ESFÉRICA
(EN VÉRTICES DEL OCTÓGONO)



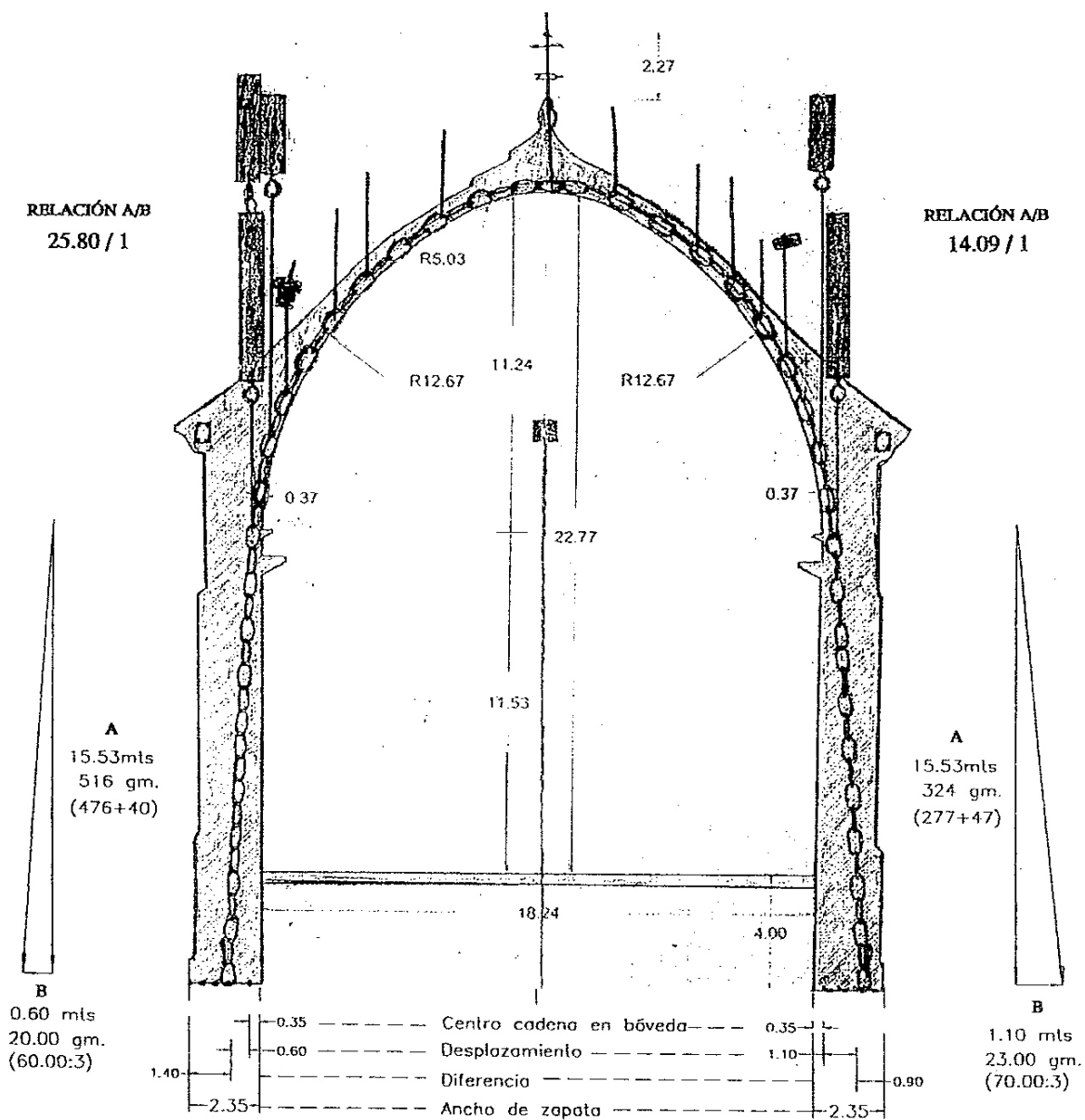
Nota: las cubiertas se consideran macizas, para compensar sobrecargas,

INTOP.99 S.L. INGENIERIA, TOPOGRAFIA Y OBRAS PÚBLICAS C/. CONSEJO DE CIENTO 83 4º 2º 08015 BARCELONA TEL/FAX 93 424 63 14 email, intop99@teleline.es	Escuela	CATEDRAL DE LA MANCHUELA. ALBOREA (Albacete) Título del plano: ESTUDIOS DE LA CÚPULA OCHAVADA CÁLCULO APROXIMADO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS	Nº de Plano	Fecha
			Hoja.. de..	FEBR .2003

CÁLCULO DE ESFUERZOS RESULTANTES, CONSIDERANDO LA FIGURA COMO:

ARCO FUNICULAR O FUNÍCULA

(En el mismo arco comprobamos dos posibilidades distintas, Izquierda y derecha)



LADO IZQUIERDO

COMPOSICIÓN DE CARGAS

LADO DERECHO

CARGA SUPERIOR = 60.00 Gms. (Cadena, contrapesos grandes y pequeños)

CARGA SUPERIOR = 70.00 Gms.

CARGA INFERIOR = 516.00 Gms. (Cadena y contrapesos grandes)

CARGA INFERIOR = 324.00 Gms.

Nota: los pesos y cálculos empleados son aproximados.

RESUMEN DE CALCULOS DE LA CÚPULA OCHAVADA

COMPARACIÓN ENTRE RELACIONES A / B, EN DIFERENTES CASOS

ESTUDIO DE LA CÚPULA

CLÁSICO

MODERNO

EN ZONA DE ESQUINAS Y PILARES:

CUBIERTA MACIZA (con sobrecarga)	16.52 / 1	14.09 / 1
" ALIGERADA (sin sobrecarga)	24.27 / 1	25.80 / 1
" MACIZA (con sobrecarga)	16.52 / 1	15.53 / 1

EN MUROS DE CERRAMIENTOS:

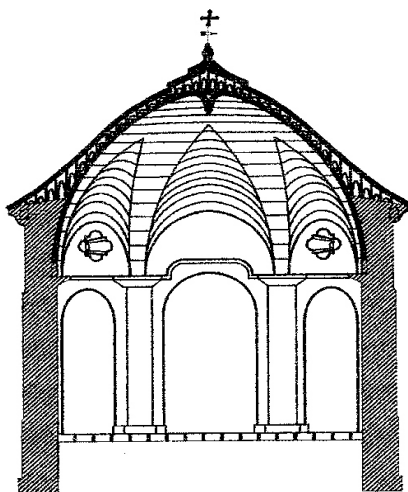
CUBIERTA MACIZA (con sobrecarga)	19.14 / 1
CUBIERTA ALIGERADA (sin sobrecarga)	18.22 / 1

Nota:

Sin sobrecarga se entiende, Cubierta aligerada con tabiquillos de aligeramiento
Con sobrecarga se entiende rellena, sin tabiquillos de aligeramiento (conejeros)

COMPARACIÓN DE CÚPULAS MODERNAS Y ANTIGUAS

CÚPULA OCHAVADA DE ALBOREA



CÚPULA EQUIVALENTE CON CONTRAFUERTES O MULETAS

