

**PRIMERAS JORNADAS DE ACHE
SOBRE LA ENSEÑANZA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL
Madrid, 18 y 19 de octubre de 2001**

**APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN
EN LA ENSEÑANZA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL**

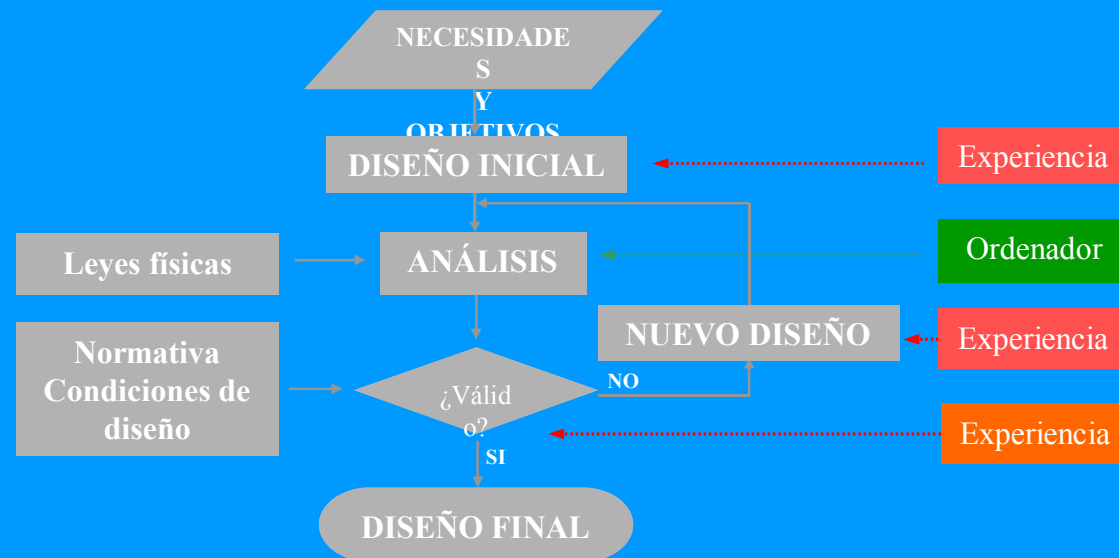
Pascual Martí, Antonio Tomás y Santiago Torrano



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Departamento de Estructuras y Construcción

EL DISEÑO POR PRUEBA Y ERROR



Inconvenientes:

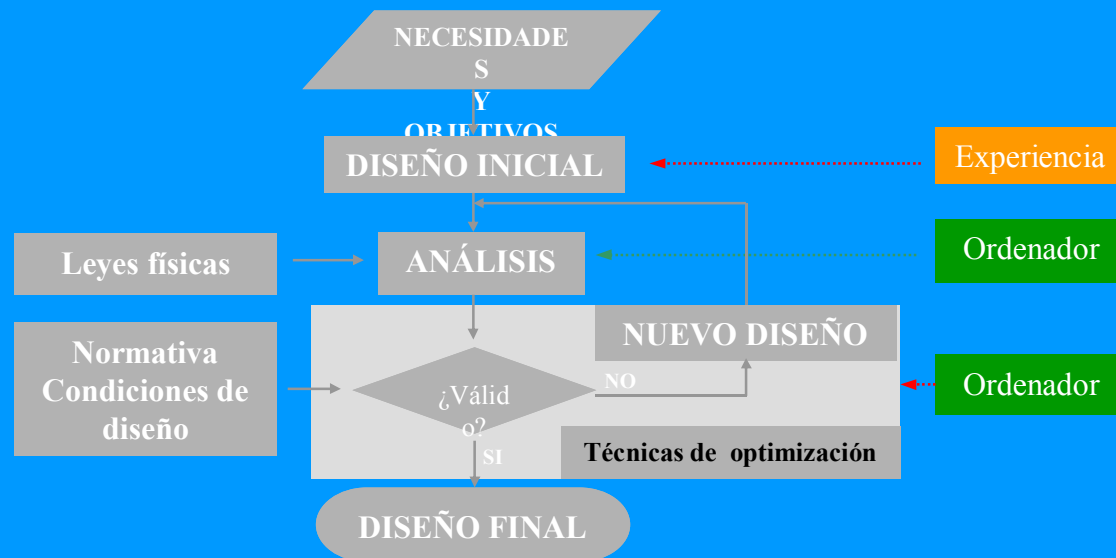
- La elección del diseño inicial, la comprobación de la validez de la solución y las modificaciones para obtener el nuevo diseño dependen fundamentalmente de la experiencia.
- Por falta de tiempo, no es posible realizar muchos ciclos Análisis-Comprobación de la seguridad, por lo que el resultado no es el mejor.
- No es posible explorar las diferentes soluciones del espacio de diseño.

EL DISEÑO CON TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN

Objetivo

Automatizar el proceso de diseño de estructuras,
realizando la fase de síntesis
mediante el empleo de técnicas de optimización.

EL DISEÑO CON TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN



Ventajas:

- La elección del diseño inicial (en muchos casos), la comprobación de la validez de la solución y las modificaciones para obtener el nuevo diseño las realiza el ordenador.
- Es posible considerar las condiciones de diseño, cada vez más numerosas y complejas, que se exigen a las estructuras actuales.
- Se exploran una gran cantidad de posibilidades del espacio de diseño.

FORMULACIÓN Y RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

Encontrar el vector de **variables de diseño** \mathbf{x} ,
que minimice la **función objetivo** $f(\mathbf{x})$,
sujeto a las **restricciones** $\mathbf{g}(\mathbf{x})$,

$$g_j(\mathbf{x}) \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m_d$$

$$h_k(\mathbf{x}) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, m_i$$

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Solución: Programación Matemática No Lineal

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

Formulación del problema de diseño óptimo

Variables de diseño:

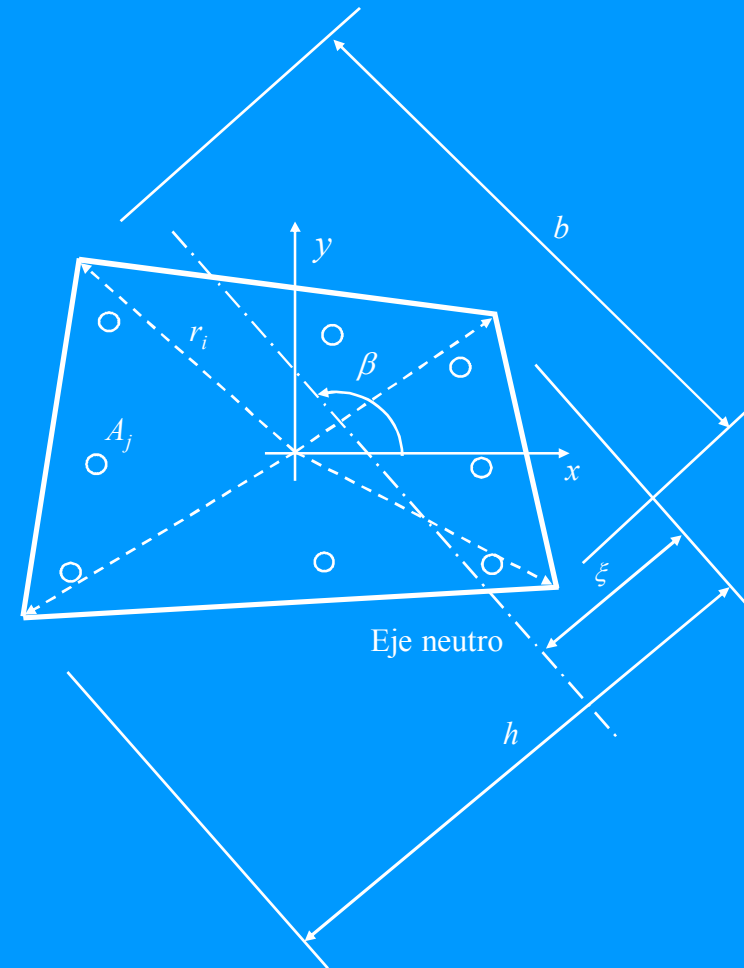
- Geometría h, b ó r_i
- Armado A_j
- Posición fibra neutra β, ξ

Función Objetivo:

Costo generalizado

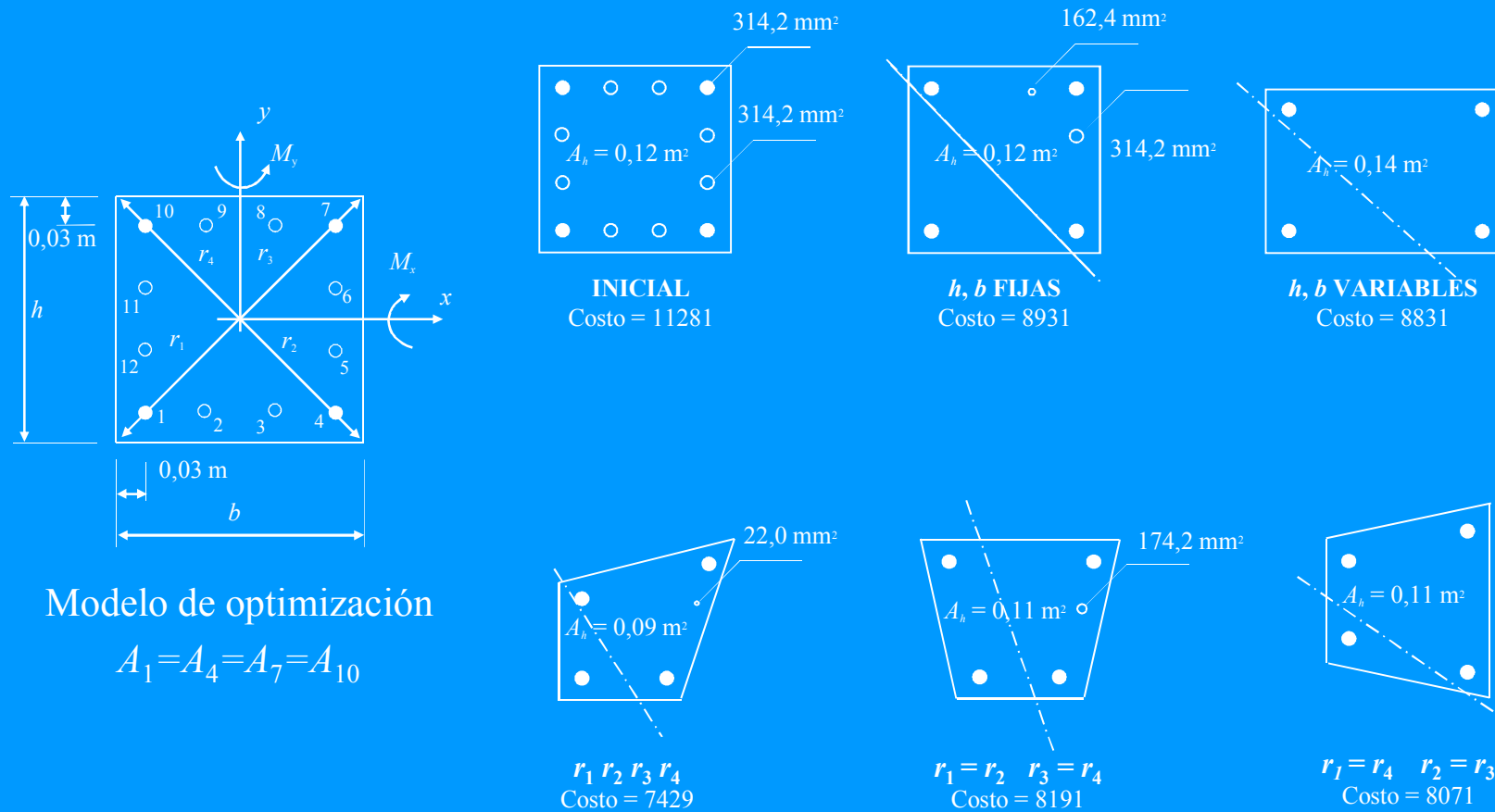
Condiciones de diseño:

- Resistencia del acero y del hormigón
- Cuantías de las armaduras
- Dimensiones máx. y mín. de la sección



DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

Diseños óptimos con diferentes variables de diseño



DISEÑO ÓPTIMO DE FORMA DE UNA LÁMINA

Formulación del problema de diseño óptimo

MODELO DE OPTIMIZACIÓN

- Variables de diseño S_1 y S_2
- Función Objetivo y restricciones

C-1) FO: Energía de Deformación

C-2) FO: Peso de la lámina

RS: Resistencia a tracción: 2 MPa

Resistencia a compresión: 20 MPa

MODELO CAD

- 9 puntos, 6 líneas, 1 superficie

MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

¼ de lámina: 253 nodos, 72 elementos (Shell93)

1518 grados de libertad

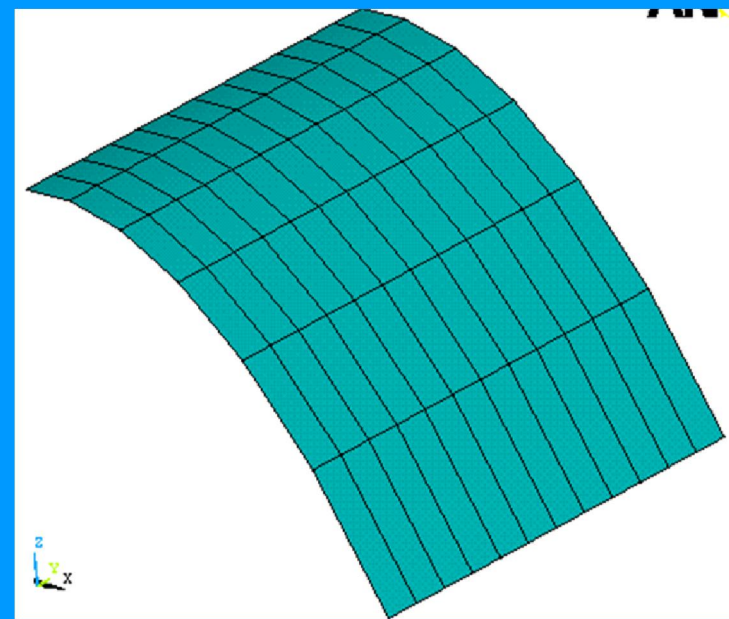
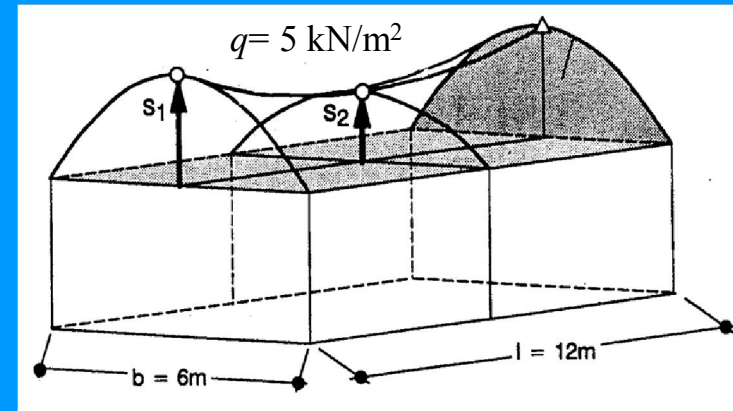
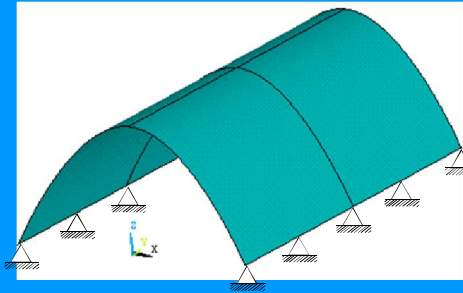
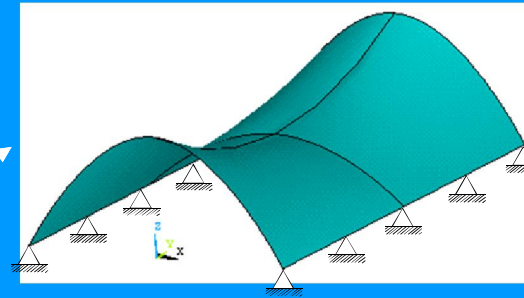


LÁMINA APOYADA EN LOS BORDES RECTOS.

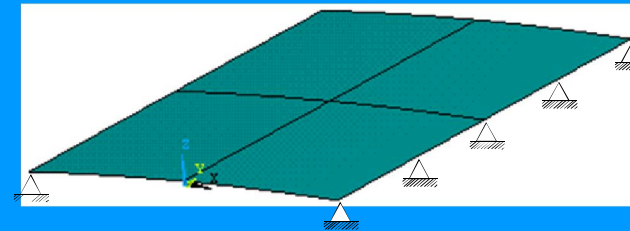
Diseño inicial y diseños óptimos finales



INICIAL
E. Def. = 2675,50 kN·m
Peso = 33,11 kN



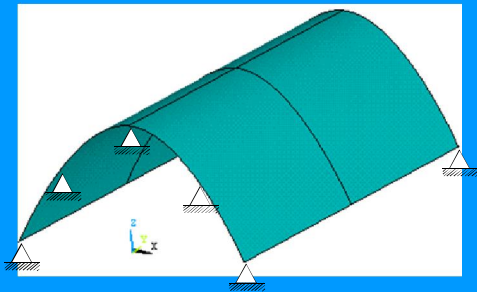
F. OBJ. E. DEFORMACIÓN
E. Def. = 303,01 kN·m
 $S_1=2,67$ $S_2=1,36$



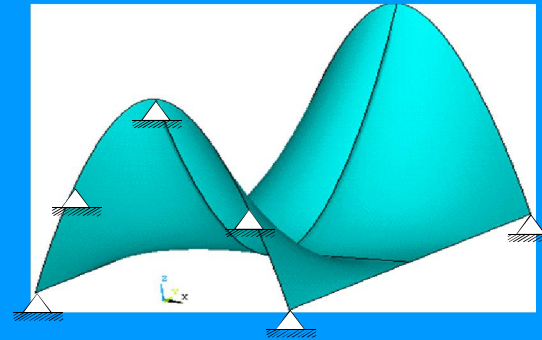
F. OBJ. PESO
Peso = 22,51 kN
 $S_1=0,06$ $S_2=0,08$

LÁMINA APOYADA EN LOS BORDES CURVOS

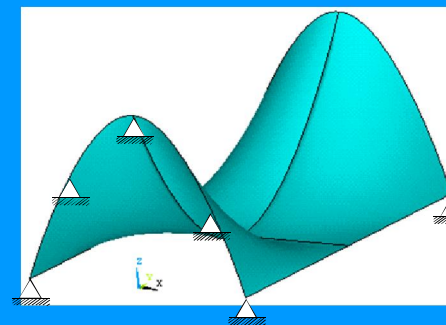
Diseño inicial y diseños óptimos finales



INICIAL
E. Def.= 9935,20 kN·m
Peso = 33,11 kN



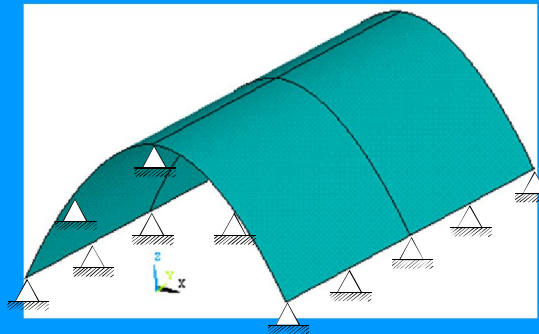
F.OBJ. E. DEFORMACIÓN
E. Def.= 298,40 kN·m
 $S_1=5,80$ $S_2=0,01$



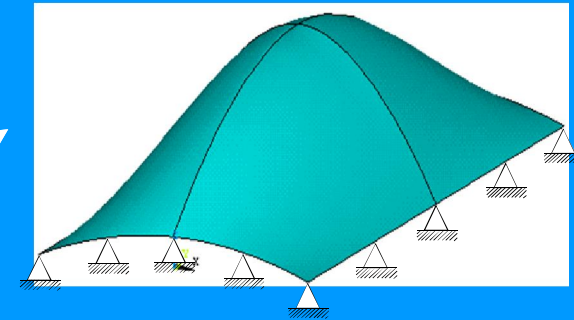
F. OBJ. PESO
Peso = 30,94 kN
 $S_1=4,57$ $S_2=0,01$

LÁMINA APOYADA EN TODOS SUS BORDES

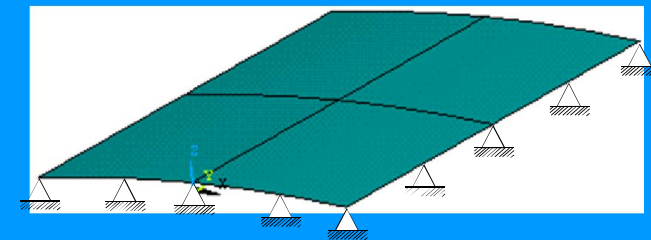
Diseño inicial y diseños óptimos finales



INICIAL
E. Def.= 1036,00 kN·m
Peso = 33,11 kN



F.OBJ. E. DEFORMACIÓN
E. Def.= 466,40 kN·m
 $S_1=0,55$ $S_2=2,92$



F.OBJ. PESO
Peso = 22,54 kN
 $S_1=0,14$ $S_2=0,16$

CONCLUSIONES

- Se amplía el campo de utilización del ordenador en el proceso de diseño, empleándolo no sólo para analizar y comprobar secciones o estructuras dadas, sino para obtener las mejores soluciones para unas condiciones de diseño determinadas.
- El alumno interactúa con el ordenador, modifica parámetros, variables, función objetivo y condiciones de diseño, y obtiene y puede visualizar los diseños óptimos correspondientes.
- El alumno adquiere conocimientos de diseño global de la sección o de la estructura, y no sólo de comprobación de secciones o estructuras dadas.

**PRIMERAS JORNADAS DE ACHE
SOBRE LA ENSEÑANZA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL
Madrid, 18 y 19 de octubre de 2001**

**APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN
EN LA ENSEÑANZA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL**

Pascual Martí, Antonio Tomás y Santiago Torrano



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Departamento de Estructuras y Construcción

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL

- El diseño clásico por prueba y error
- El diseño con técnicas de optimización
- Formulación y resolución del problema de optimización
- Aplicaciones
- Conclusiones

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

MÉTODOS ANALÍTICOS Y NUMÉRICOS

Cálculo de variaciones

Multiplicadores de Lagrange

CRITERIOS DE OPTIMALIDAD

Condiciones en el óptimo

Fully Stressed Design (FSD)

Stress-Ratio

PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA

$$x_{k+1} = x_k + a_k d_k$$

MÉTODOS INDIRECTOS

- Métodos de Penalización

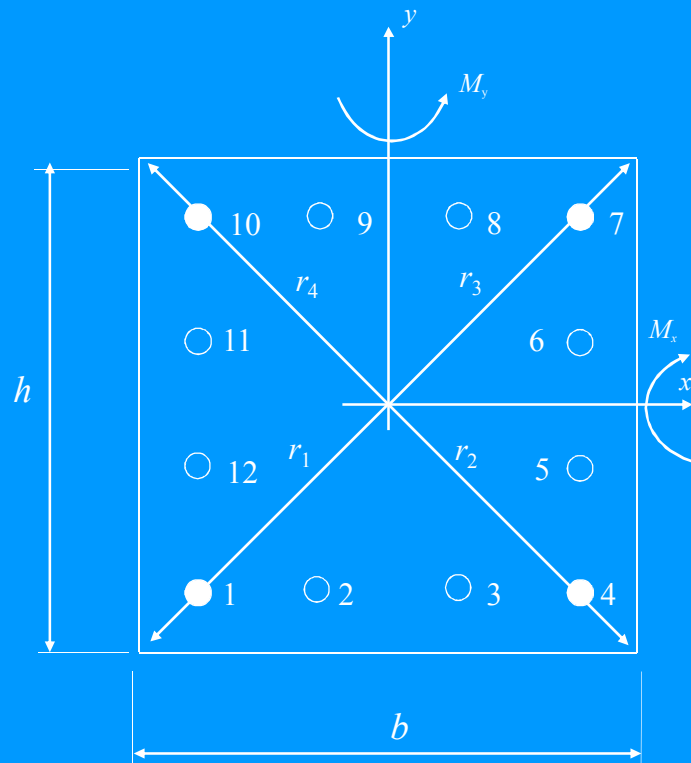
MÉTODOS DIRECTOS

- Direcciones posibles
- Programación cuadrática sucesiva
- Otros

OTROS (Genéticos, etc.)

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

Parámetros y variables de diseño



VARIABLES DE DISEÑO

Casos	Variables de armado	Variables de geometría	Posición fibra neutra
C1	$A_2 A_3 A_5 A_6 A_8$ $A_9 A_{11} A_{12}$	-	$\xi \beta$
C2		$b h$	
C3		$r_1 r_2 r_3 r_4$	
C4		$r_1 = r_2 \quad r_3 = r_4$	
C5		$r_1 = r_4 \quad r_2 = r_3$	

PARÁMETROS DE DISEÑO

ARMADURAS ESQUINAS: $A_1=A_4=A_7=A_{10} = 314,2 \text{ mm}^2$

CARGAS: $N_d = 1135 \text{ kN}$; $M_{xd} = 1135 \text{ kN}\cdot\text{m}$; $M_{yd} = 1135 \text{ kN}\cdot\text{m}$; $f_{yk} = 420 \text{ MPa}$; $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$

COSTOS: $Ch = 10865 \text{ uc/u. volumen}$; $Cf = 4000 \text{ uc/u. área}$; $Cs = 14,7 \text{ uc/u. peso}$;