

**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**

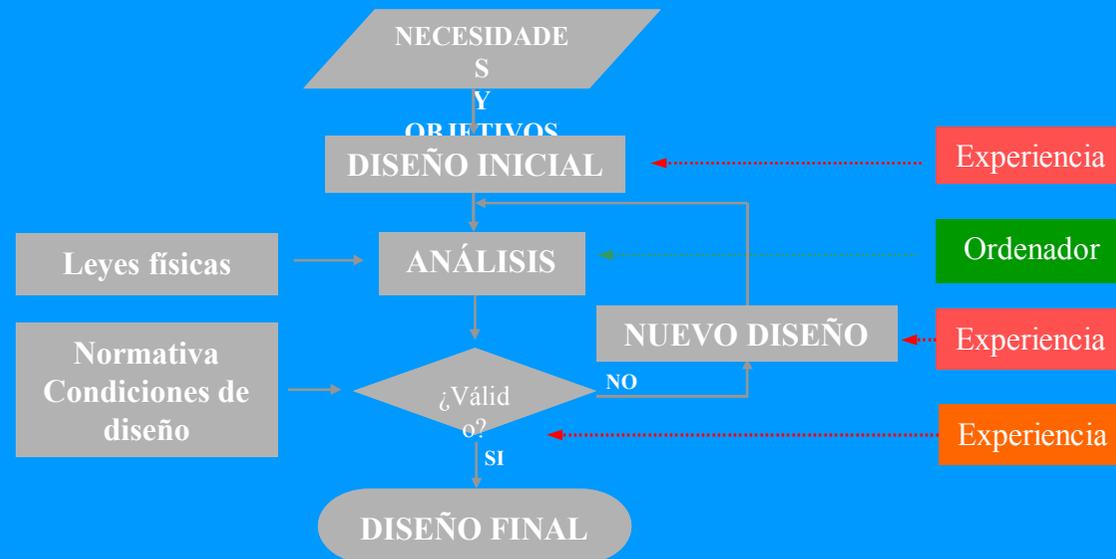
Pascual Martí, Antonio Tomás y Santiago Torrano



**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.



## 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:

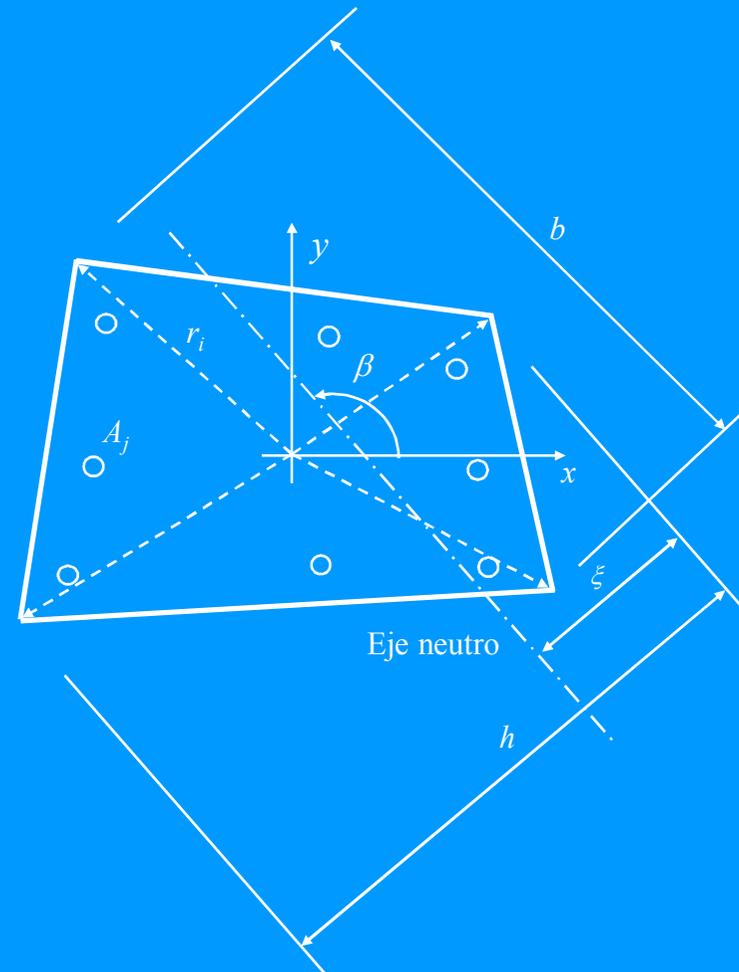
- Geometría  $h, b$  ó  $r_i$
- Armado  $A_j$
- Posición fibra neutra  $\beta, \xi$

### Función Objetivo:

Costo generalizado

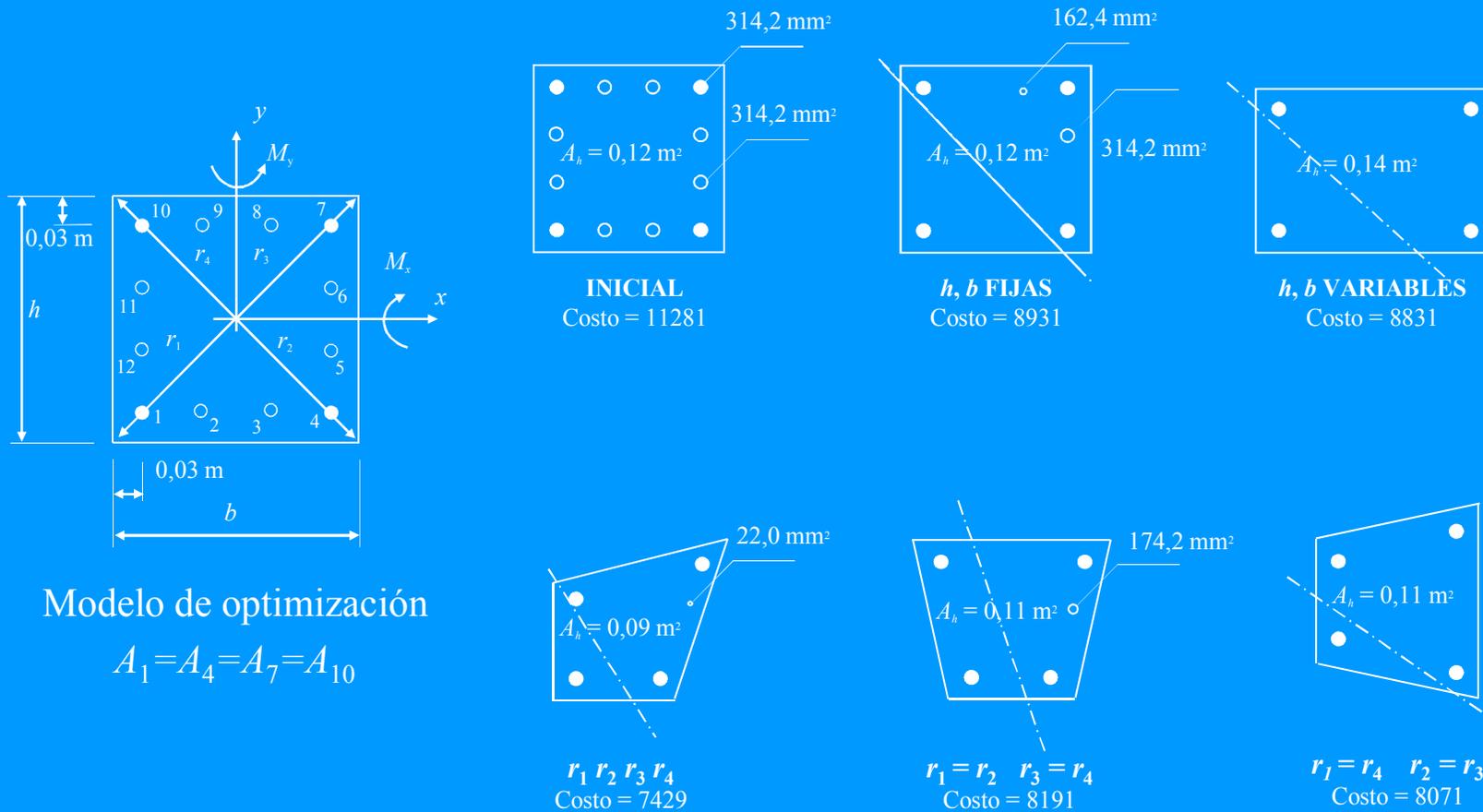
### Condiciones de diseño:

- 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

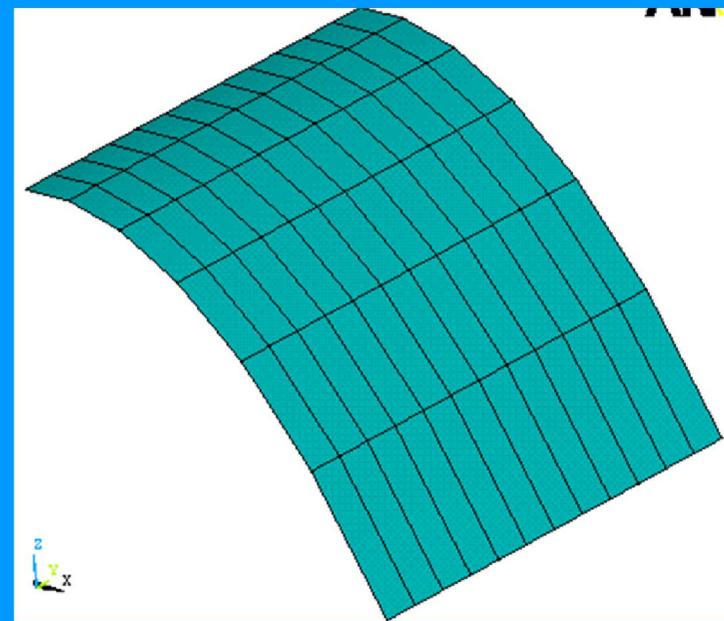
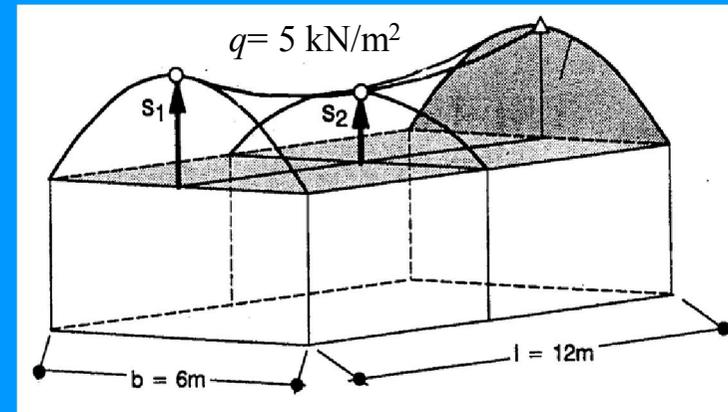
### MODELO CAD

- 9 puntos, 6 líneas, 1 superficie

### MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

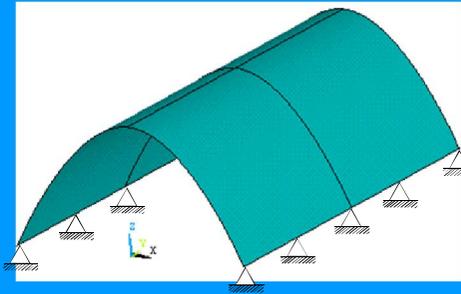
¼ de lámina: 253 nodos, 72 elementos (Shell93)

1518 grados de libertad

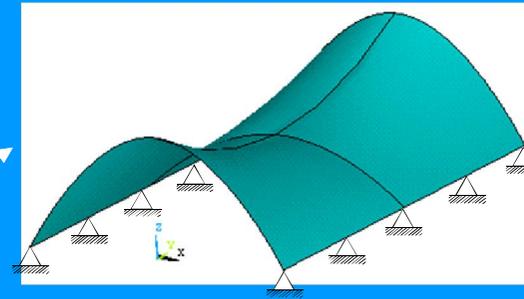


# LÁMINA APOYADA EN LOS BORDES RECTOS.

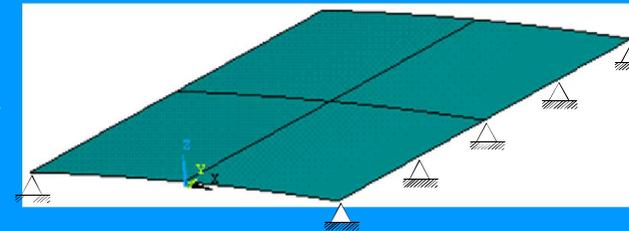
## Diseño inicial y diseños óptimos finales



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



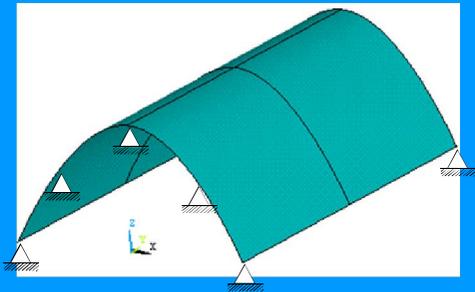
F. OBJ. E. DEFORMACIÓN  
E. Def. = 303,01 kN·m  
 $S_1=2,67$   $S_2=1,36$



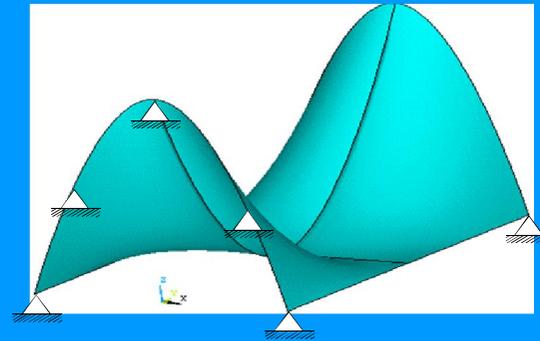
F. OBJ. PESO  
Peso = 22,51 kN  
 $S_1=0,06$   $S_2=0,08$

# LÁMINA APOYADA EN LOS BORDES CURVOS

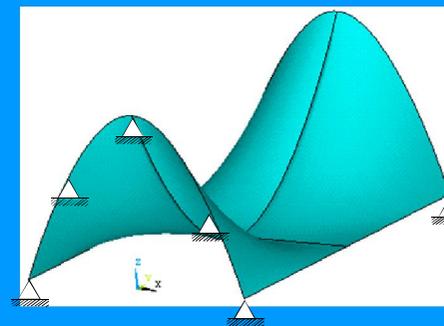
## Diseño inicial y diseños óptimos finales



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



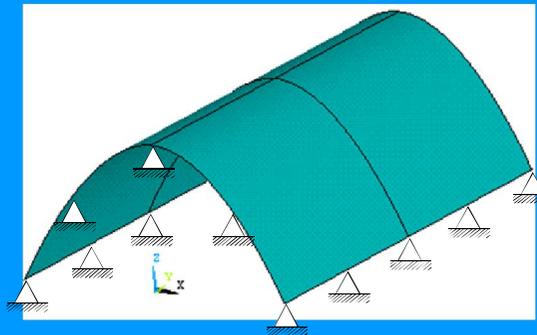
F.OBJ. E. DEFORMACIÓN  
E. Def.= 298,40 kN·m  
 $S_1=5,80$   $S_2=0,01$



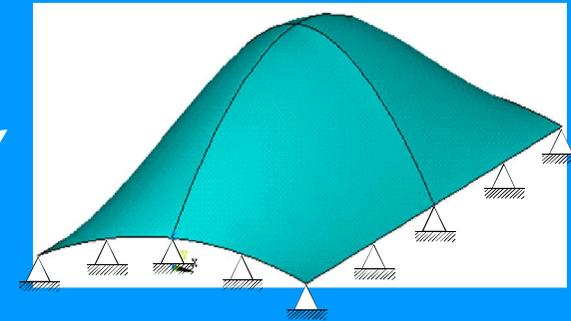
F. OBJ. PESO  
Peso = 30,94 kN  
 $S_1=4,57$   $S_2=0,01$

# LÁMINA APOYADA EN TODOS SUS BORDES

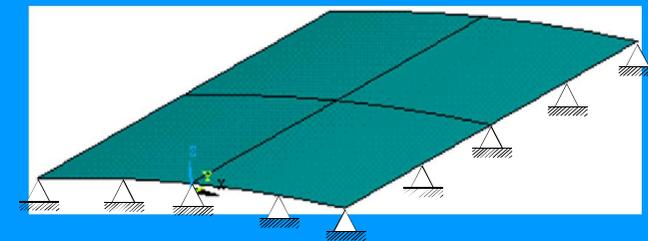
## Diseño inicial y diseños óptimos finales



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

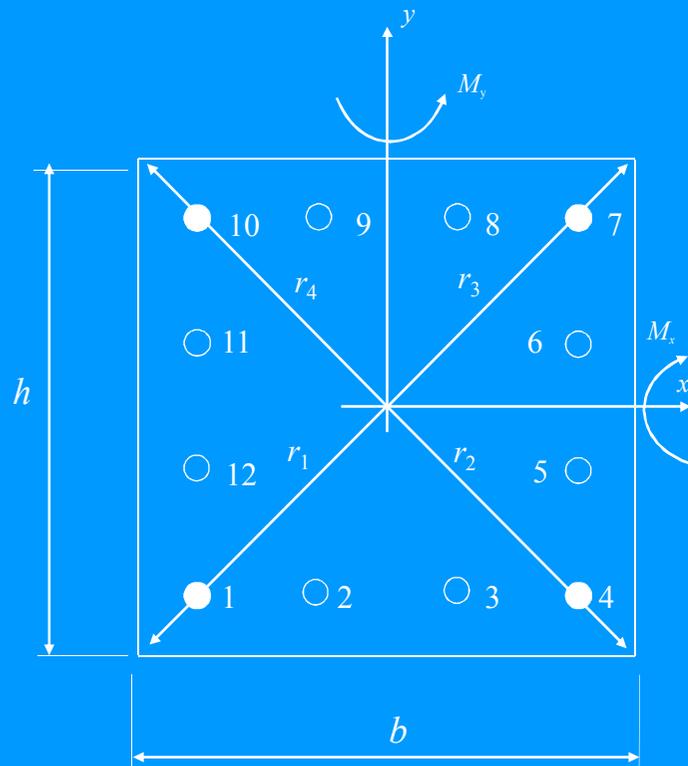
### MÉTODOS DIRECTOS

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