

LOS ESTUDIOS DE PATOLOGÍA EN EL PATRIMONIO DE LA OBRA PÚBLICA

Jaime Fernández Gómez
Dr. Ingeniero de Caminos
Catedrático de Edificación y Prefabricación de la
ETSICCP de la UPM
Presidente de INTEMAC

LAS FASES DE UN ESTUDIO DE PATOLOGÍA

- Inspección preliminar y recopilación de información
- Análisis de daños o situación
- Ensayos complementarios
 - Siempre que sean necesarios, pero no escatimar
 - Técnicas no habituales
- Evaluaciones de cálculo
 - Mucha complejidad en algunos casos
 - Problemas de normativa
- Necesidad de reparación o refuerzo
- Estudio de la solución

LA INSPECCION PRELIMINAR

ETAPAS DE LA INSPECCION PRELIMINAR:

- REVISIÓN DETALLADA DE LA DOCUMENTACIÓN FACILITADA O DE LA INFORMACIÓN ACCESIBLE
- INSPECCIÓN OCULAR PORMENORIZADA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES ACCESIBLES , CERRAMIENTOS Y PARTICIONES
- RECOGIDA DE INFORMACIÓN IN SITU SOBRE LA CRONOLOGÍA DE LA APARICIÓN DE LOS DAÑOS , ETC.

3

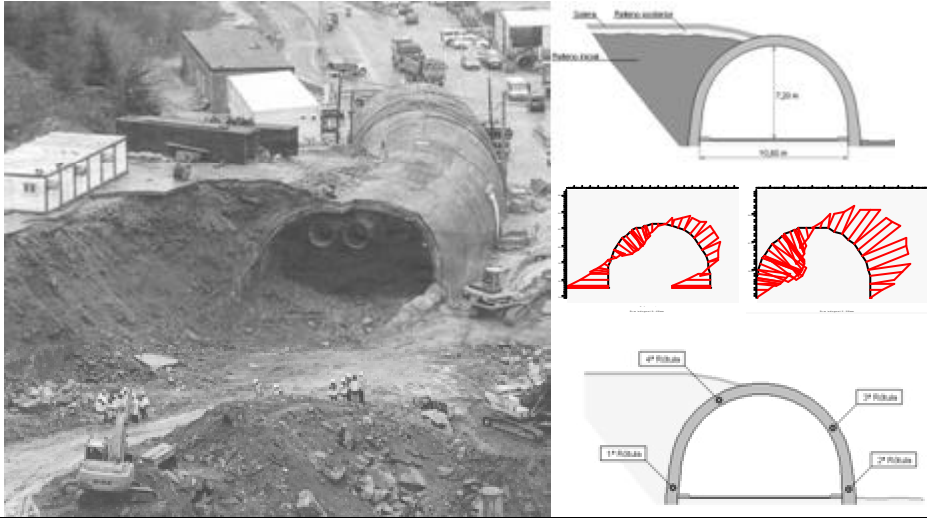
LA INSPECCION PRELIMINAR

En ocasiones la información sobre las condiciones meteorológicas es importante. Siempre es aconsejable revisar toda información disponible sobre la obra (tráfico existente, accidentes previos ,etc)



LA INSPECCION PRELIMINAR

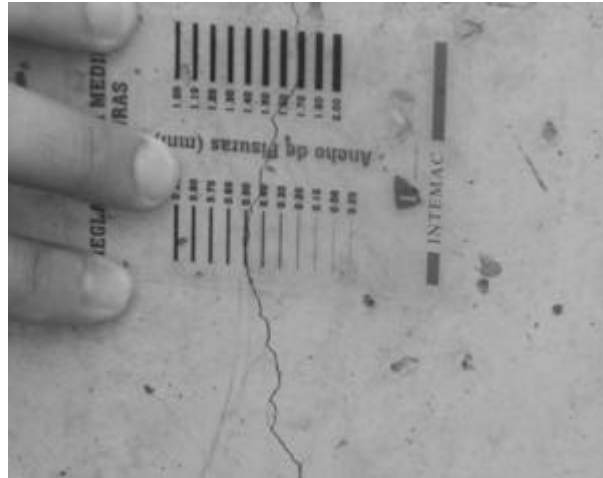
En el caso del túnel de Viella cuando se realizó la inspección no estaban ya las casetas de obra y otro material auxiliar que se si estaban cuando se produjo el colapso



LA INSPECCION PRELIMINAR UTILES NECESARIOS PARA EFECTUAR LA INSPECCIÓN:

- Flexímetro
- Calibre
- Regla de fisuras
- Cámara fotográfica o de video
- En ocasiones gps
- Croquis de planta ,alzado y secciones del edificio

FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA INICIAL EN MUROS



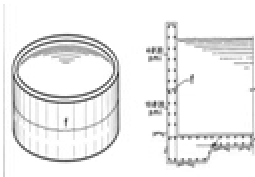
7

FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA INICIAL EN MUROS



8

RETRACCIÓN HIDRÁULICA



LA INSPECCION PRELIMINAR

**INSPECCIÓN OCULAR, SISTEMÁTICA DE LA
RECOPIACIÓN DE DAÑOS.**

**Es fundamental contar con medios de acceso
adecuados y sistematizar los daños**

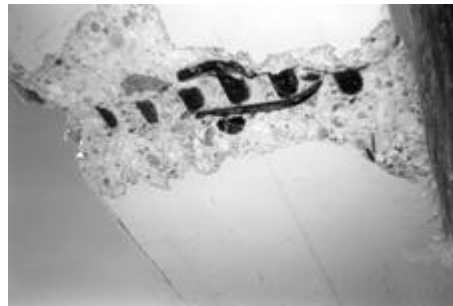
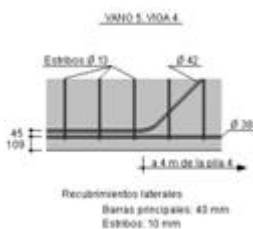
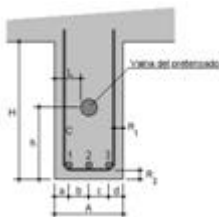


ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- ¿Qué información quiero?
- ¿Con qué precisión la necesito?
- ¿Qué técnica me puede dar dicha información con esa precisión?
- ¿Qué decisiones voy a adoptar en función de los resultados?

11

INSPECCIÓN DE CALAS



2

INVESTIGACION CON ENDOSCOPIO DE ZONAS NO ACCESIBLES



13



14



ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

PROPIEDAD OBJETO DE INVESTIGACIÓN	TECNICAS
Características de los materiales	Extracción de testigos
	Velocidad de impulso ultrasónico
	Índice de rebote esclerométrico
	Pull-off
	Pull-out
	Gatos planos



ESCLEROMETRO Y ULTASONIDOS DEBEN COMBINARSE SIEMPRE CON EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

PROPIEDAD OBJETO DE INVESTIGACIÓN	TECNICAS
Calidad del hormigón, durabilidad, deterioros, presencia de armaduras	Velocidad de ultrasonidos
	Contenido de sulfatos, contenido de aire, Tipo y contenidos de cemento
Corrosión	Radiografía
	Petrografía
	Potenciales eléctricos
	Resistividad
	Medida de recubrimientos
	Profundidad de carbonatación
	Concentración de cloruros



17

CURSO: PATOLOGIA EN LA CONSTRUCCIÓN

ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

PROPIEDAD OBJETO DE INVESTIGACIÓN	TECNICAS
Integridad estructural	"Tapping"
	Eco-Sónico
	Respuesta dinámica
	Emisión Acústica
	Termoluminiscencia
	Termografía
	Rádar
	Medida de evolución de fisuras
	Pruebas de carga

18

CURSO: PATOLOGIA EN LA CONSTRUCCIÓN
ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

PROPIEDAD OBJETO DE INVESTIGACIÓN	TECNICAS
Dimensión de elementos estructurales	Sondas magnéticas
	Ultrasonidos
Deformación y flechas	Extensómetros
	Comparadores mecánicos
	Transductores Potenciométricos
	LVDT
	Sensores de fibra óptica
	GPS
	Láser
	Medidas de deformación
	Levantamiento o descenso de apoyos
	Medida de indicaciones
Respuesta dinámica	Medidas de velocidad y aceleración
	Pruebas de carga dinámicas.

19

ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA EXTRACCIÓN DE TESTIGOS



ATENCIÓN A ESBELTEZ , DIAMETRO DEL TESTIGO Y ESTADO DE SATURACIÓN DE LA PIEZA

20

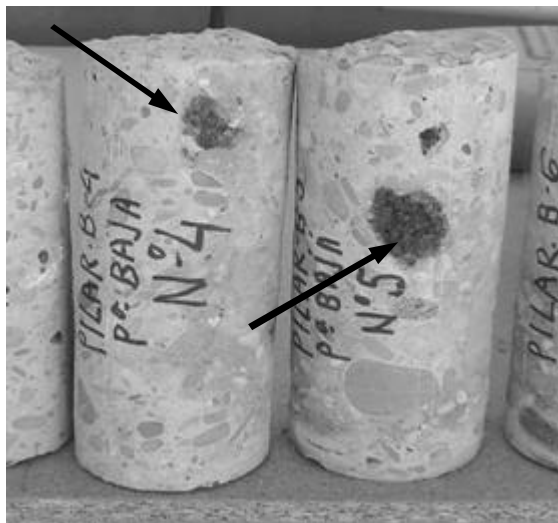
ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA EXTRACCIÓN DE TESTIGOS :

No solo para realizar ensayos también para ver defectos



21

PRESENCIA DE TERRONES DE ARCILLA EN EL HORMIGÓN



Vista de dos probetas en las que puede apreciarse
la presencia de terrones de arcilla

PRESENCIA DE TERRONES DE ARCILLA EN EL HORMIGÓN



Aspecto de las probetas testigo tras su ensayo a compresión, en las que se aprecian los restos del terrón de arcilla. Se apreció una brusca caída en la resistencia del hormigón respecto de probetas sin estas inclusiones

TECNICAS DE INVESTIGACIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

ESCLEROMETRO:

FACTORES QUE INFLUYEN:

- EDAD.
- CARBONATACION.
- TIPO DE ARIDO.
- TIPO DE ENCOFRADO.
- ESTADO DE HUMEDAD.
- ESTADO TENSIONAL
- POSICION DEL APARATO RESPECTO AL ELEMENTO.

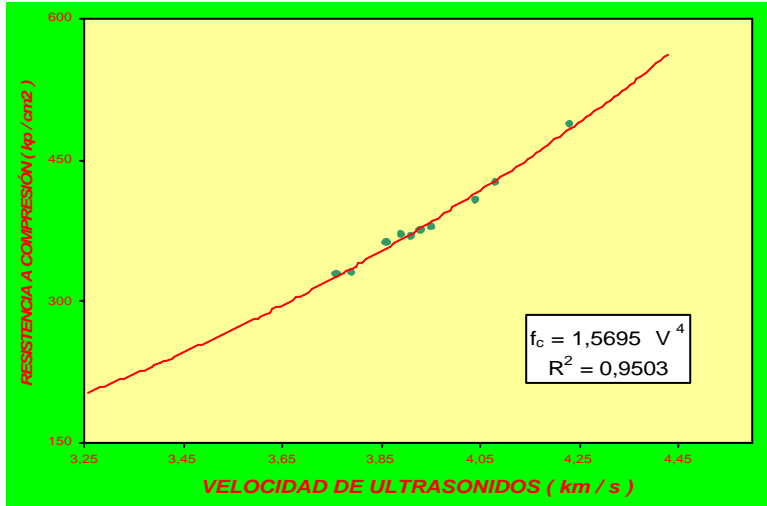


ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS:

- **ULTRASONIDOS:**

- APLICACIÓN:

- Combinando con probetas testigo para obtener estimación de resistencias



25

CAMPAÑAS PARA ESTIMAR RESISTENCIA DEL HORMIGÓN:

ULTRASONIDOS:

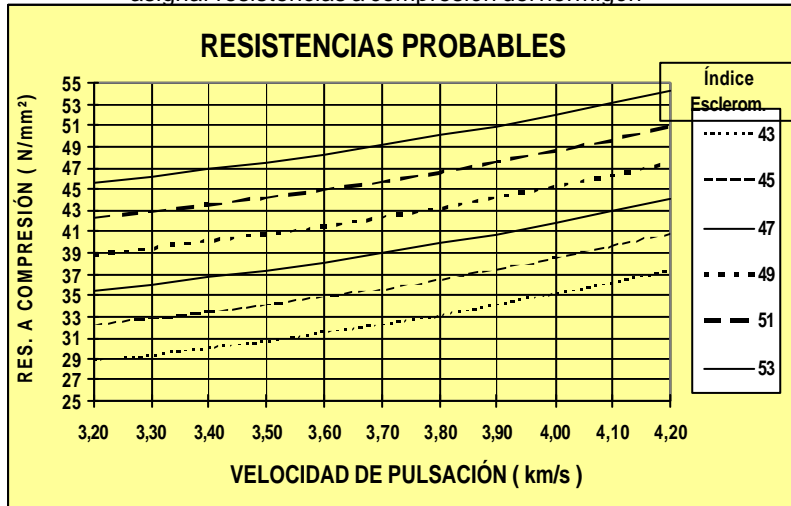
FACTORES QUE INFLUYEN:

- EDAD.
- TIPO DE ARIDO.
- DOSIFICACION.
- ESTADO DE HUMEDAD
- TEMPERATURA
- ESTADO TENSIONAL
- RUGOSIDAD.



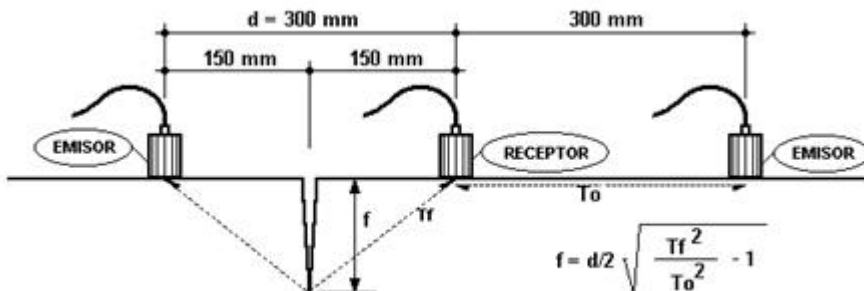
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS:

- METODOS COMBINADOS: ULTRASONIDOS, ESCLEROMETRO ,TESTIGOS:
 - APLICACIÓN:
 - asignar resistencias a compresión del hormigón



ENSAYOS DE INFORMACIÓN

- ULTRASONIDOS:
 - APLICACIÓN:
 - DIMENSIONES DE FISURAS.



ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA MEDIDA DE VELOCIDAD IMPULSO ULTRÁSONICO



ESTIMACIÓN DE ESPESOR AFECTADO POR EL FUEGO

29

INVESTIGACIÓN DE LA CAPACIDAD RESIDUAL DE LA ESTRUCTURA

Características del incendio:



INVESTIGACIÓN DE LA CAPACIDAD RESIDUAL DE LA ESTRUCTURA

RESULTADOS DEL INCENDIO:



INVESTIGACIÓN DE LA CAPACIDAD RESIDUAL DE LA ESTRUCTURA

Por debajo de la planta 17 únicamente los pilares de fachada de la planta 9 no se encontraban ignifugados. Ello produjo que estos pilares sufrieran importantísimas deformaciones y los vanos de forjado adyacente estuvieran en una situación crítica.



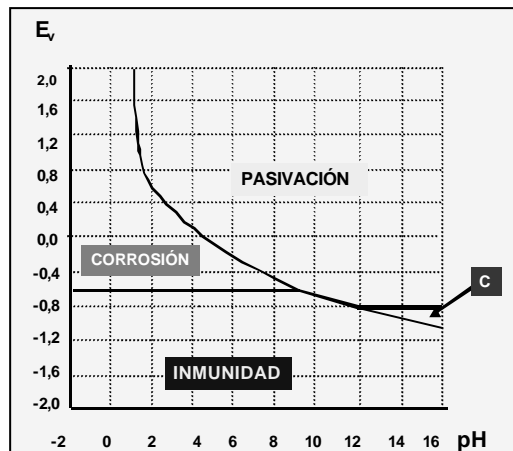
ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA RECONOCIMIENTO CON SONDA MAGNETICA PARA POSICIONAR ARMADURAS Y/O DETECTAR RECUBRIMIENTOS



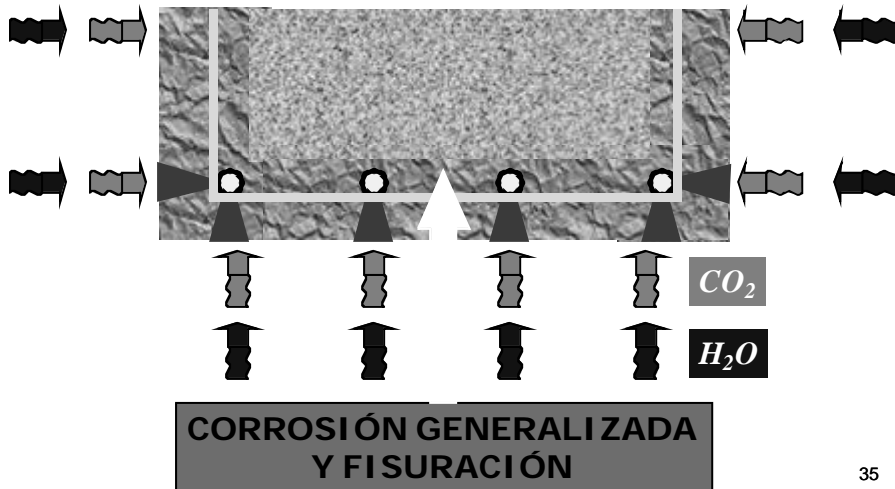
33

ARMADURAS PASIVAS

- Problemas de corrosión
 - Carbonatación
 - Penetración de cloruros
- Características mecánicas
- Geometría del corrugado



CORROSIÓN POR CARBONATACIÓN

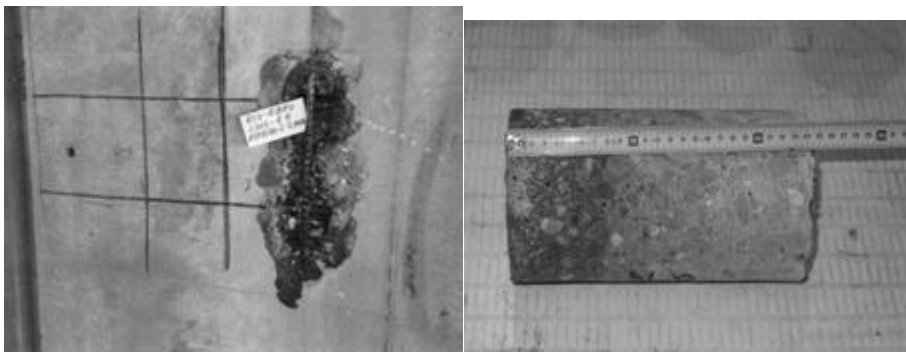


35

ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

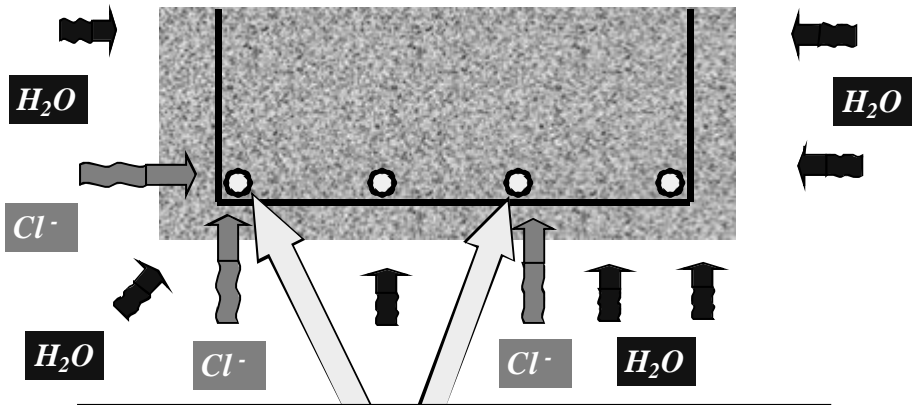
Corrosión: Recubrimientos , carbonatación , contenido de cloruros

**Estudio de la carbonatación del recubrimiento.
Mediante impregnación con fenolftaleína.**



36

CORROSIÓN POR CLORUROS



ROTURA PUNTUAL DE LA PASIVACIÓN
ZONAS CON PICADURAS POR CLORUROS

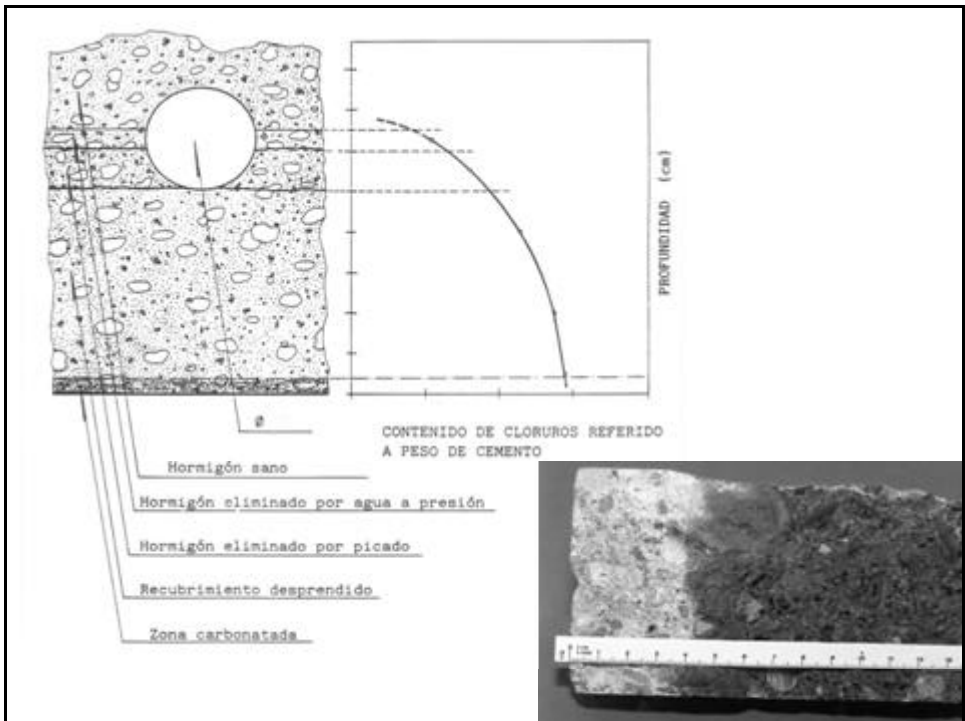
37

EFFECTO DE LOS CLORUROS

CORROSIÓN POR PICADURAS

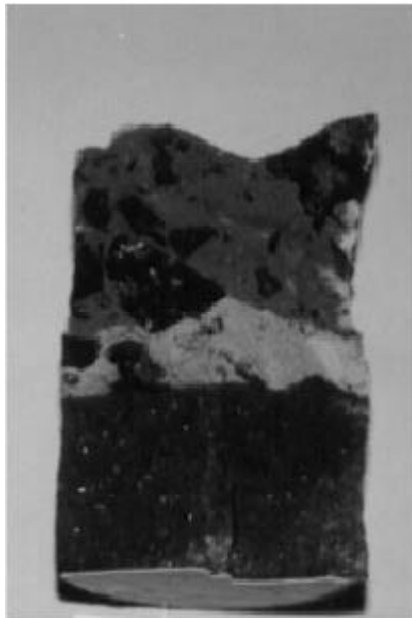
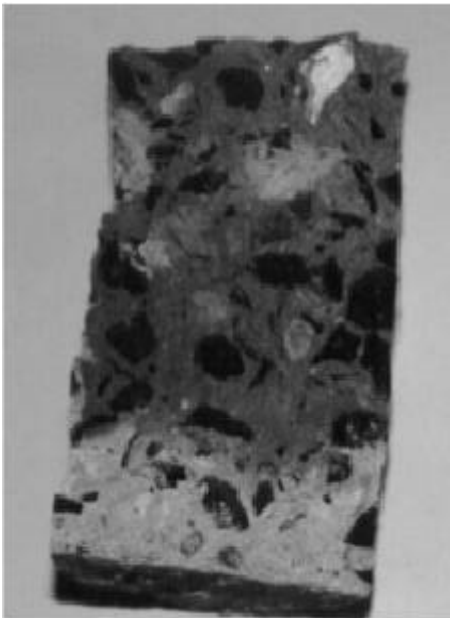
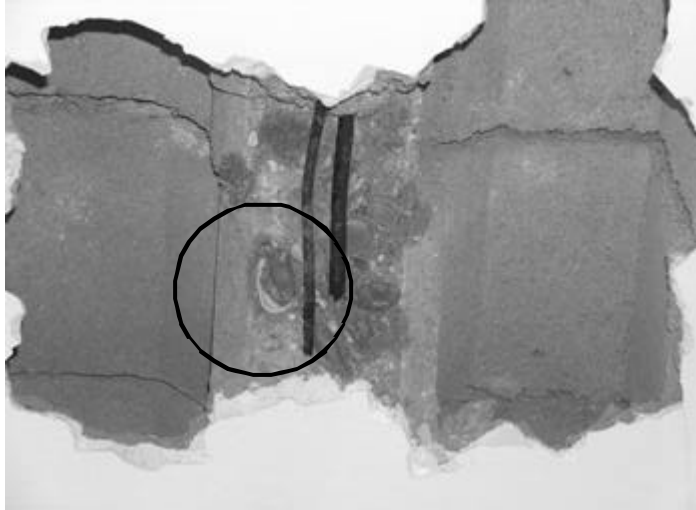


38



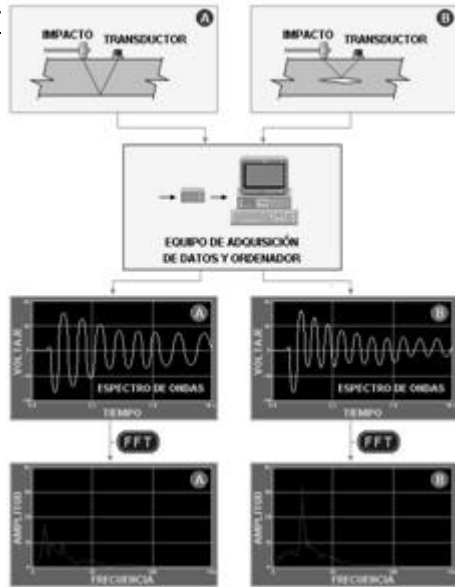
**PRESENCIA DE CLORUROS O SULFATOS
EN LA MASA DEL HORMIGÓN**

**Presencia de cloruros por empleo de agua de mar
y/o arena de playa**



INVESTIGACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ENSAYOS DE IMPACTO ECO

DETERMINACIÓN DE
ESPEORES DE
SOLERAS , MUROS ,
PRESENCIA DE
COQUERAS,
DELAMINACIONES



43

REACCIONES ALCALI-ARIDO

Los álcalis del cemento disueltos en los poros pueden reaccionar con la sílice de los áridos reactivos. Se considera árido reactivo aquel que contiene sílice amorfa o parcialmente cristalizada

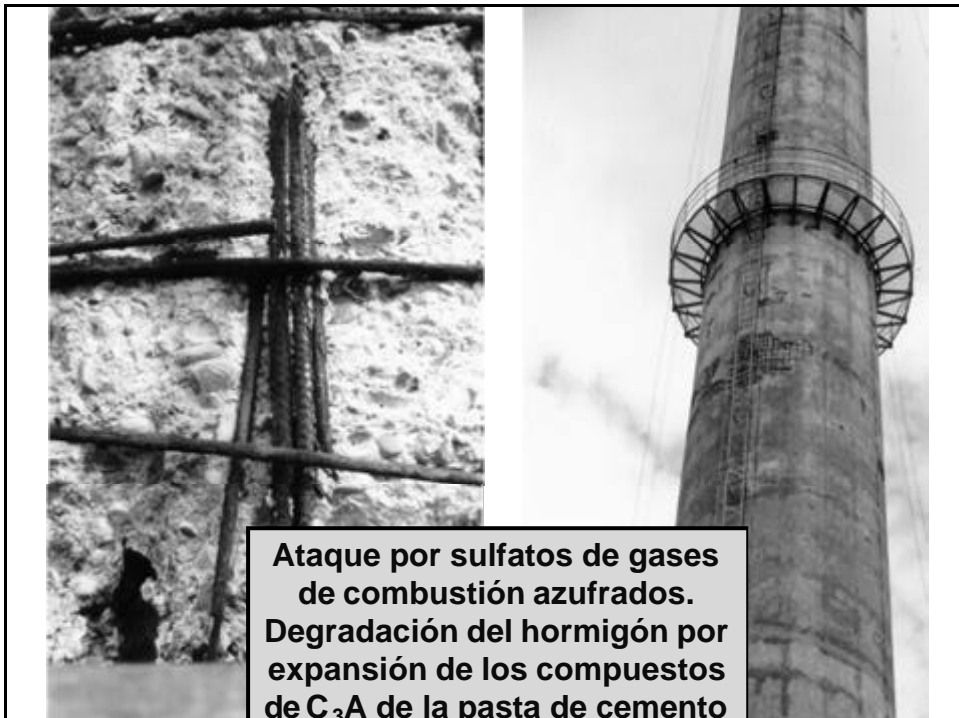


44

DETALLE DE UNO DE ESTOS ABOMBAMIENTOS. LOS SILICATOS ALCALINOS EN FASE DE GEL SON CAPACES DE ABSORBER MUCHO AGUA Y EJERCEN GRANDES PRESIONES EN LOS POROS DE HORMIGÓN. PROVOCANDO SU FISURACIÓN



45



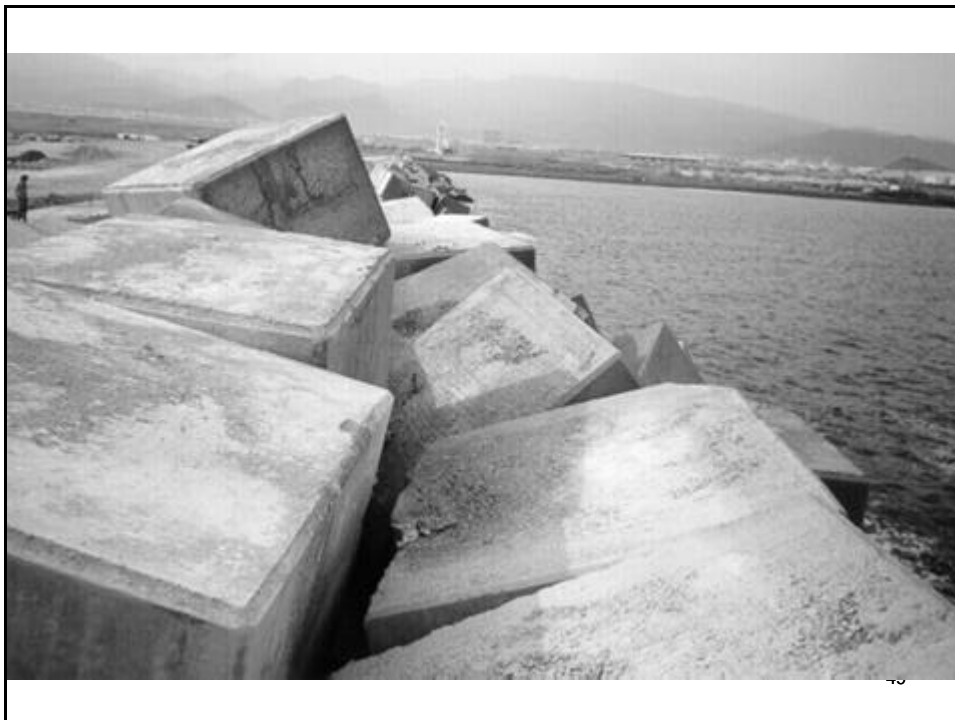
Ataque por sulfatos de gases de combustión azufrados. Degradación del hormigón por expansión de los compuestos de C_3A de la pasta de cemento



Ataque por sulfatos de gases de combustión azufrados. Degradación del hormigón por expansión de los compuestos de C_3A de la pasta de cemento



Degradación del hormigón por la acción agresiva del agua de mar



**PRUEBAS DE CARGA ESTATICA CON
CARGA SUPERIOR A LA DE
SERVICIO
NORMATIVA ACI Y RECOMENDACIONES
ACHE**

RAZONES PARA REALIZARSE:

- *FALTA DE INFORMACION**
- *DEFECTOS DE EJECUCION**
- *CAMBIO DE USO**

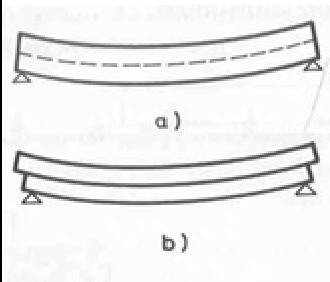
– PRUEBAS DE CARGA ESTATICA SUPERANDO LA CARGA DE SERVICIO

- EJEMPLO DE MATERIALIZACION DE LAS CARGAS Y APEO DE SEGURIDAD:



CAPACIDAD DE AVISO

- Ejemplos de fallo sin capacidad de aviso:
Esfuerzo rasante



TECNICAS DE INVESTIGACIÓN EN ESTRUCTURAS DE FABRICA

- MONITORIZACIÓN

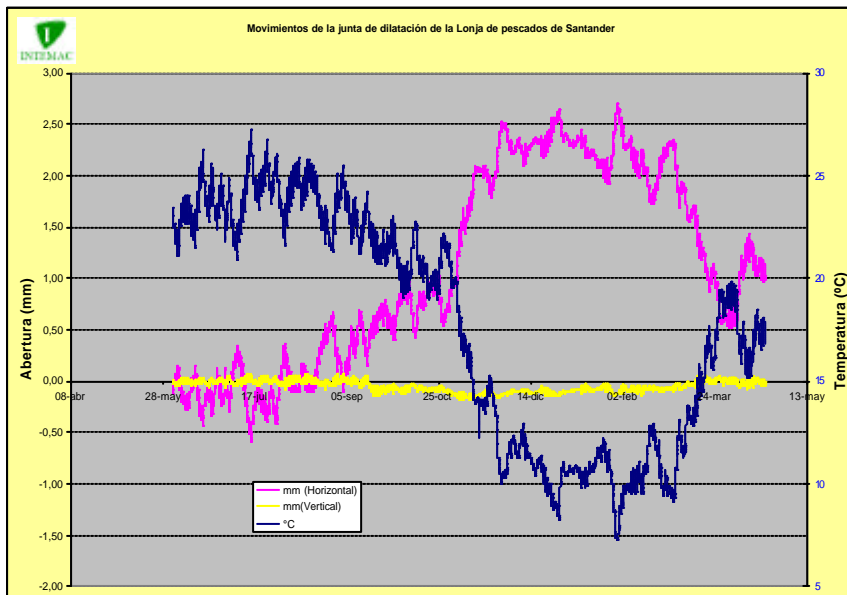


53

AUSCULTACION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MONITORIZACIÓN DE MOVIMIENTOS Y TEMPERATURAS DE FORMA CONTÍNUA



MONITORIZACIÓN



CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LAS COMPROBACIONES DE CÁLCULO

- Precisión y complejidad de los cálculos
- Concepto de seguridad a sobrecargas
- Normativa aplicada en el Proyecto original
- Coeficientes parciales de seguridad a emplear
- Capacidad de aviso
- Colaboración de partes no estructurales

LAS ACCIONES

- **Es un elemento esencial previo al cálculo**
- **Las normas son una referencia, aunque en un estudio de patología pueden ser necesarios análisis especiales**
- **Conviene considerar Normas modernas**

57

NORMATIVA DE CÁLCULO APLICADA AL PROYECTO ORIGINAL

- **Cargas consideradas en la instrucción con anterioridad a la MV-101 de 1968**
- **Carro de las sucesivas instrucciones**
- **Ausencia de estribos en estructuras anteriores a los años 60**
- **Ausencia de cercos en pilares antes de los años 30**

58

NORMATIVA DE CÁLCULO APLICADA AL PROYECTO ORIGINAL

- **Obras hasta 1939. No existía normativa española.**

Es presumible que se empleara normativa extranjera

- **1939: primera norma del Ministerio de Obras Públicas**
- **1940: primera norma del Ministerio de la Vivienda**

59

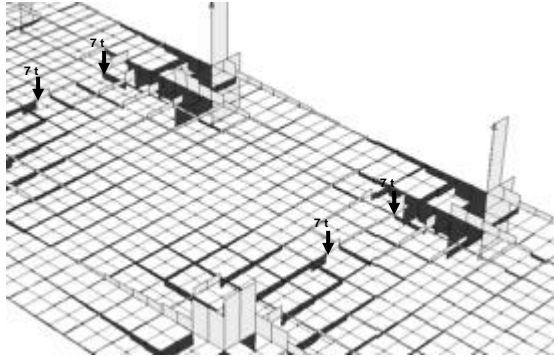
LAS ACCIONES

Forjado con tránsito de vehículos, calculado para soportar una sobrecarga uniforme equivalente de 1000 kp/m²



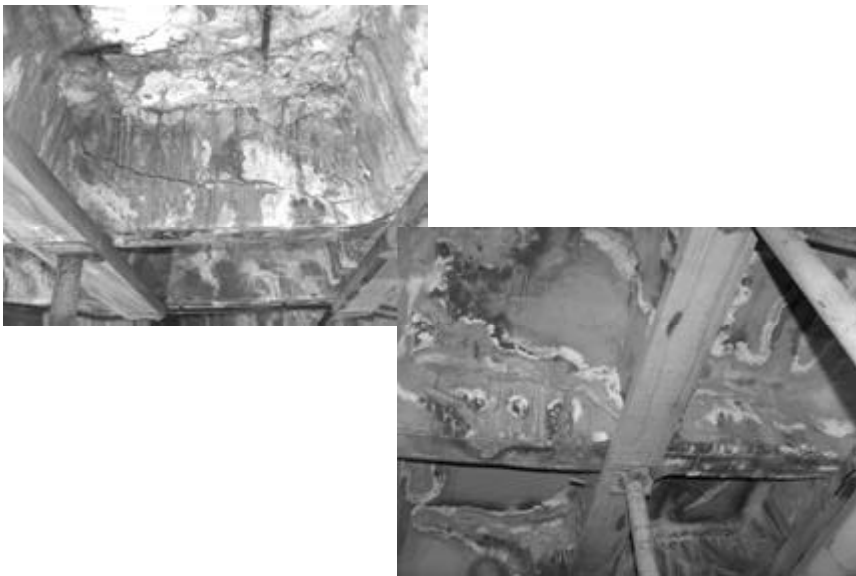
60

LAS ACCIONES

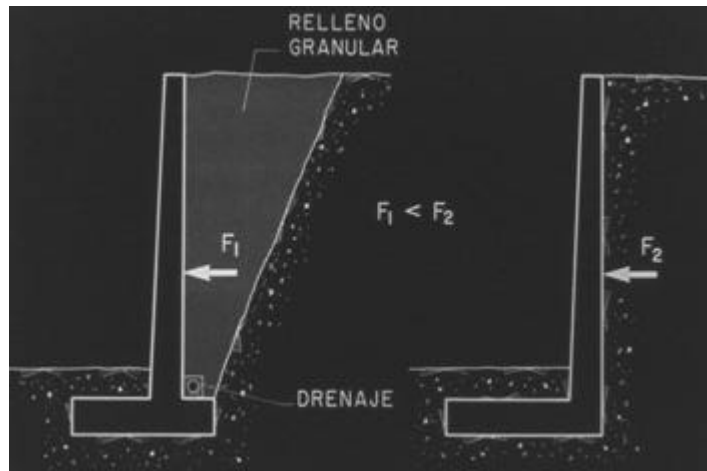


61

LAS ACCIONES



Es muy frecuente también la errónea evaluación de las acciones en los muros de contención. Si el muro está bien proyectado y ejecutado en el trasdós tendrá un relleno permeable y drenaje por lo que las presiones hidrostáticas no actuarán contra el muro. En caso contrario el muro puede desplomarse o resultar seriamente dañado.



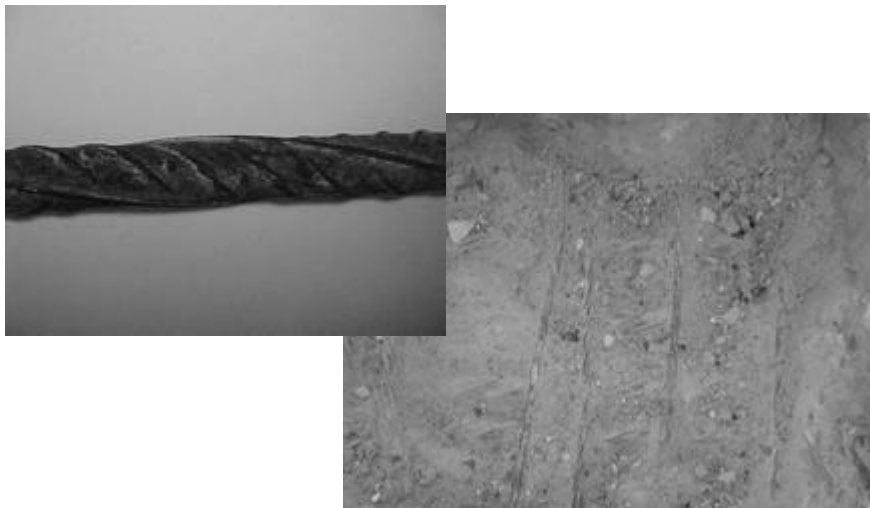
NORMATIVA DE CÁLCULO APLICADA AL PROYECTO ORIGINAL

- Evolución en los tipos de aceros y esquemas de armado: **acero liso**



65

- Evolución en los tipos de aceros y esquemas de armado: **acero estirado en frío**



- Evolución en los tipos de aceros y esquemas de armado: **acero corrugado de dureza natural**



SEGURIDAD A SOBRECARGAS

- S_g es la sollicitación debida a carga permanente
- S_q es la sollicitación debida a sobrecargas

$$g_g S_g + g_q S_q = S_R$$

- La seguridad a sobrecargas viene dada por el coeficiente C_{SS} tal que

$$S_{g+l} \cdot S_q = S_R$$

CÁLCULO DE ESFUERZOS

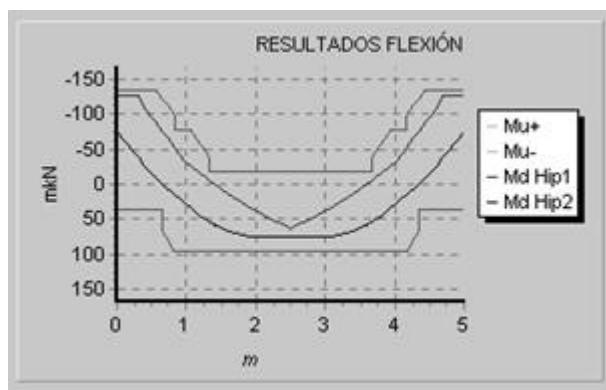
Métodos de cálculo

- Cálculo lineal
- Cálculo lineal con redistribución limitada
- Cálculo no lineal

69

CÁLCULO DE ESFUERZOS

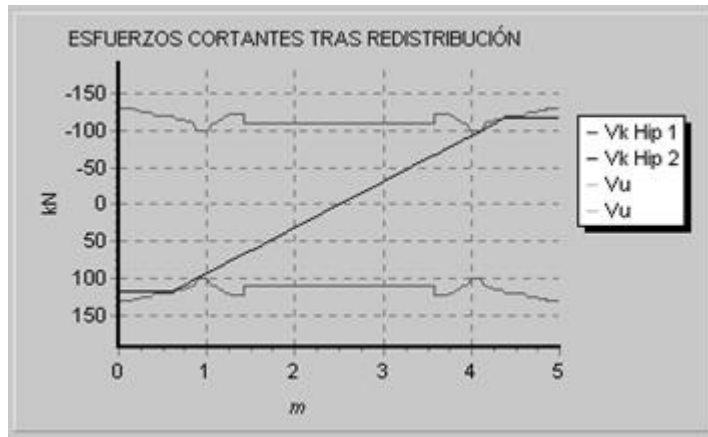
Métodos de cálculo



70

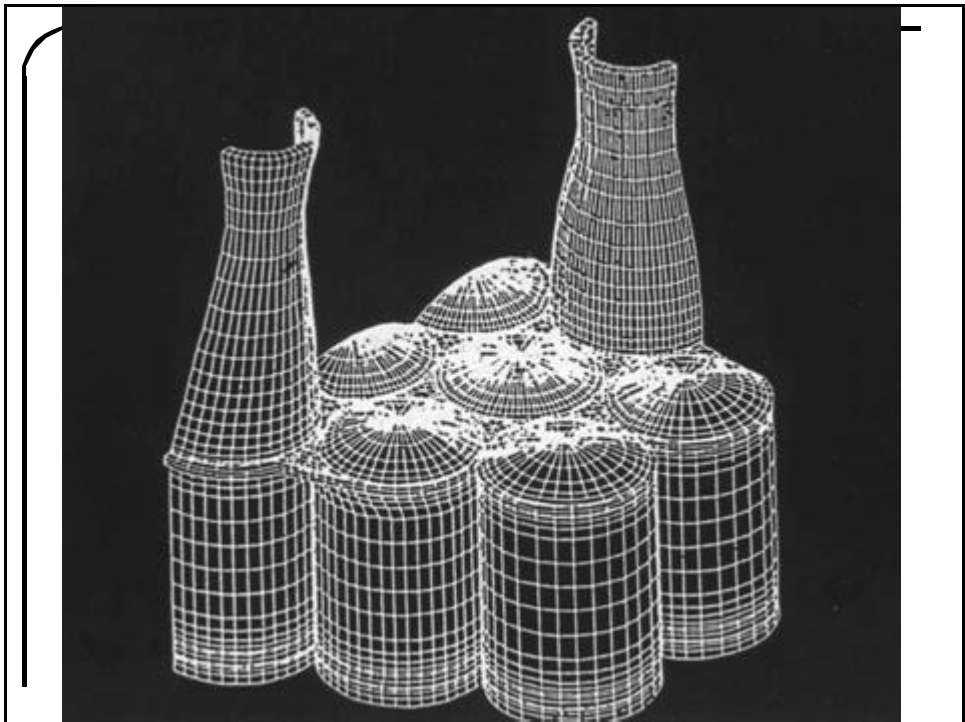
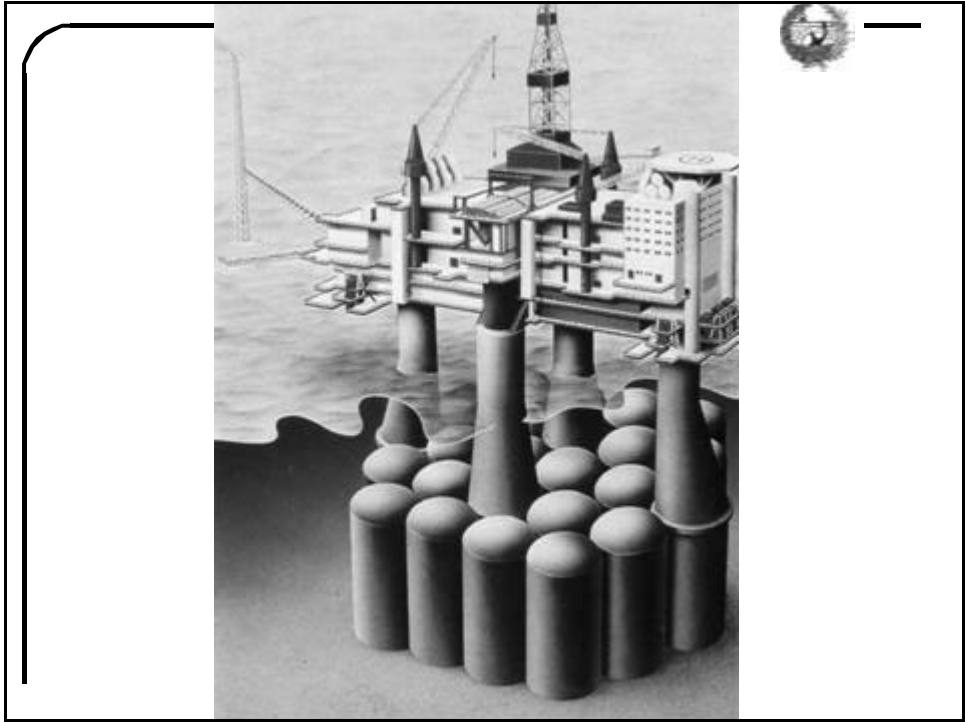
CÁLCULO DE ESFUERZOS

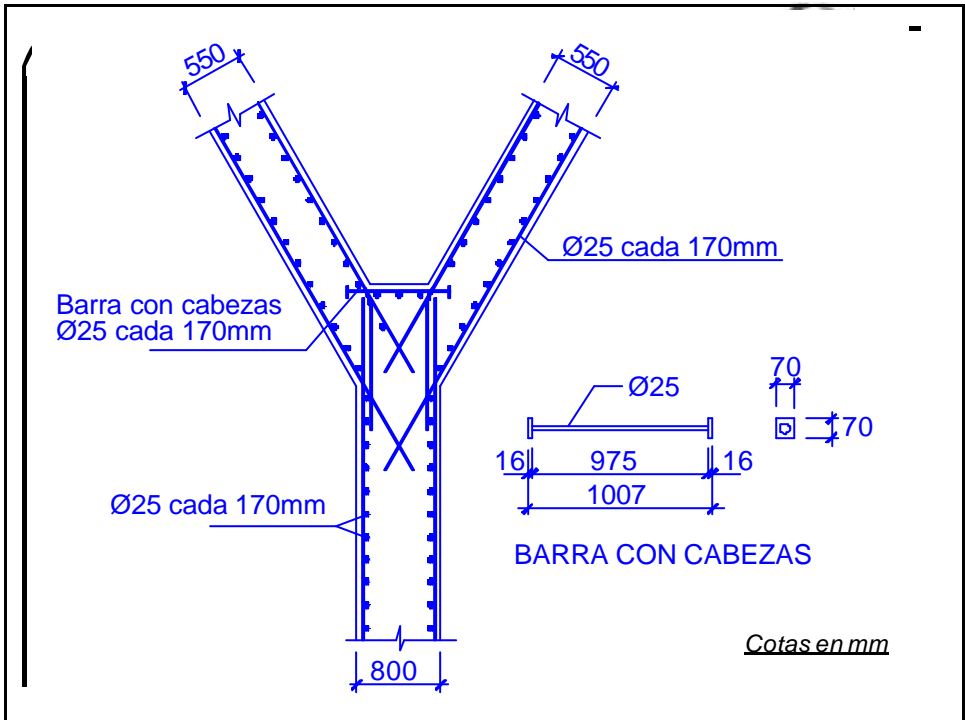
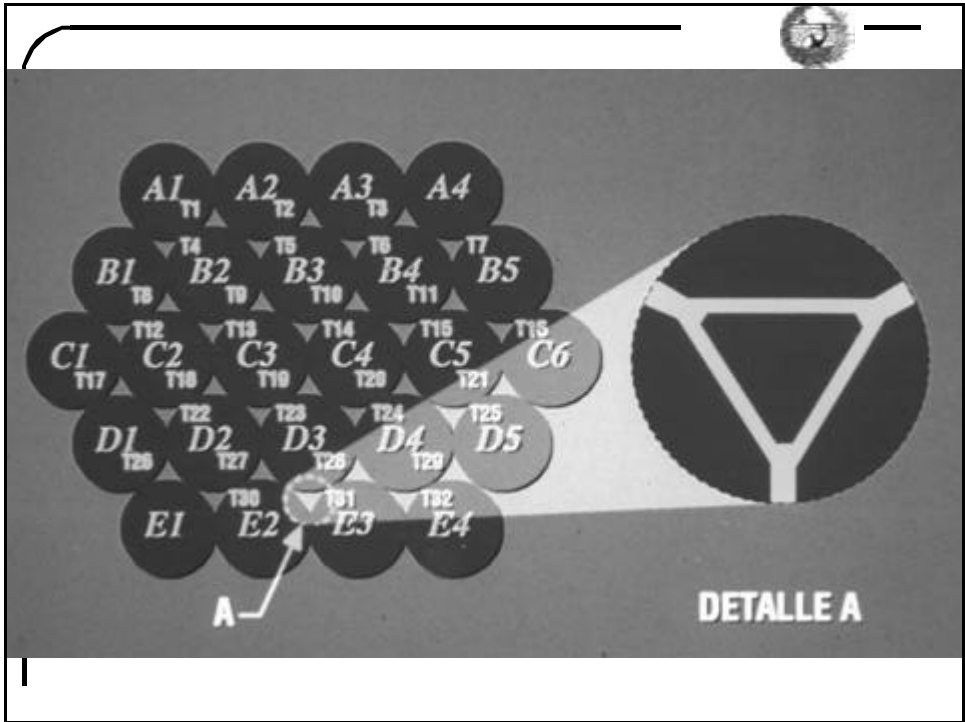
Métodos de cálculo

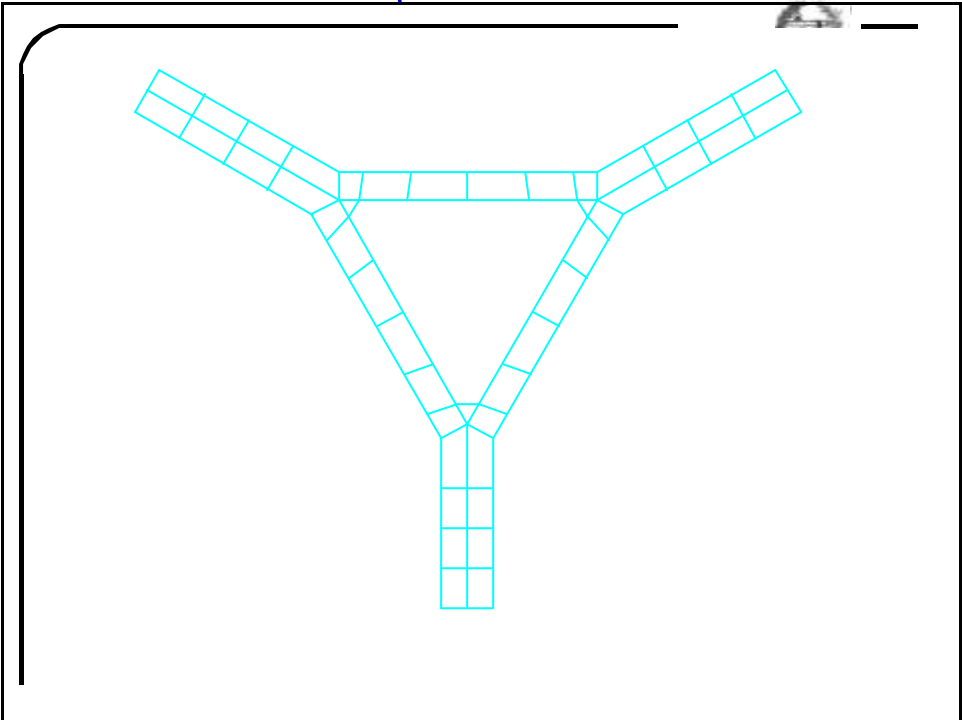
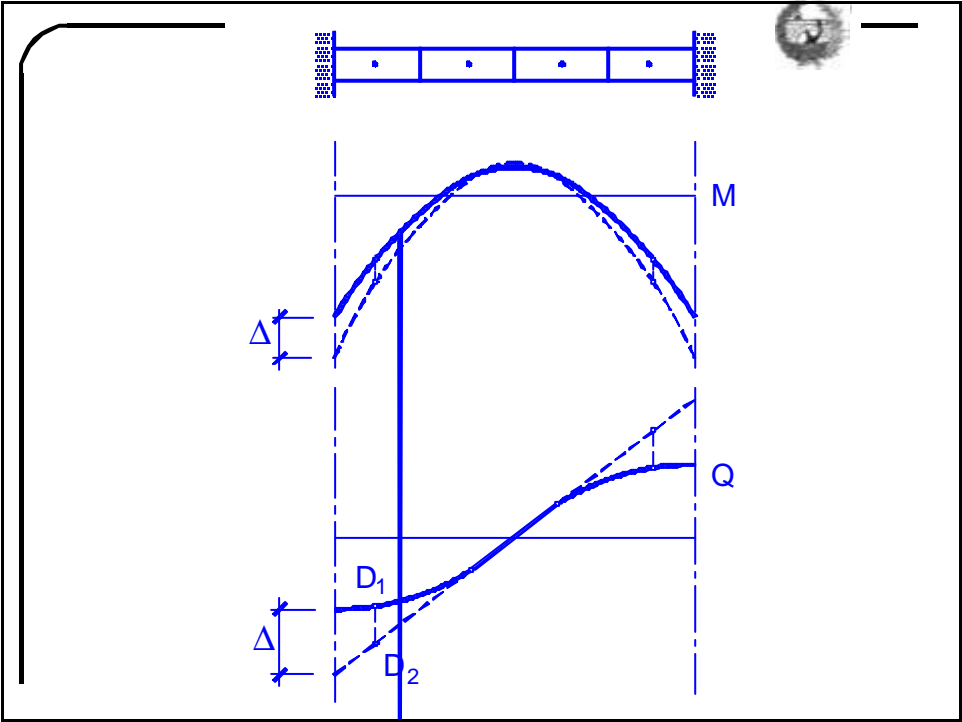


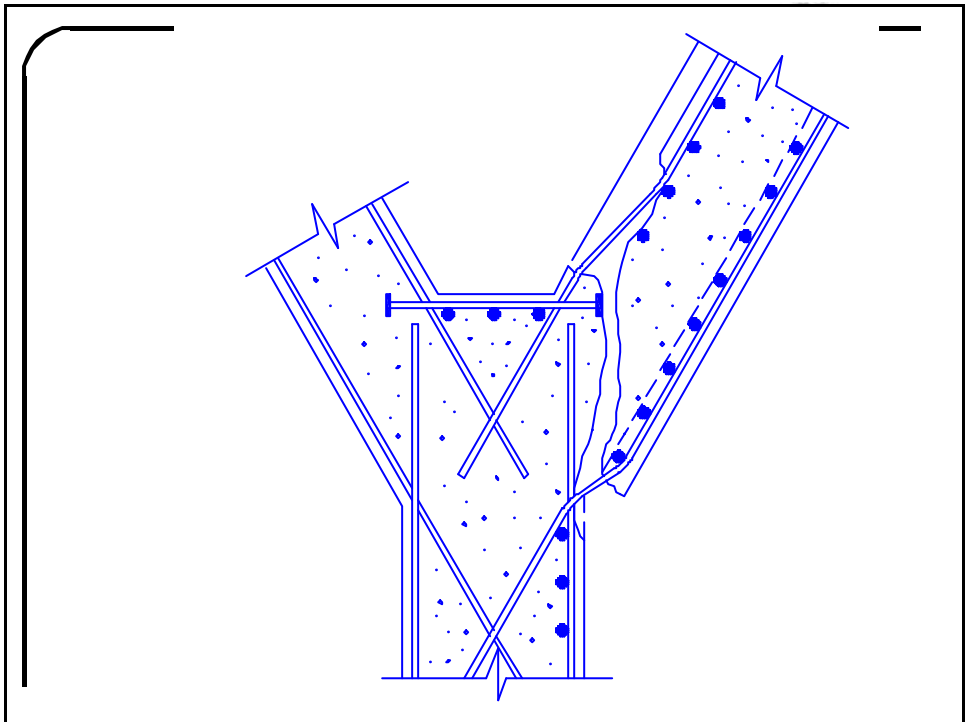
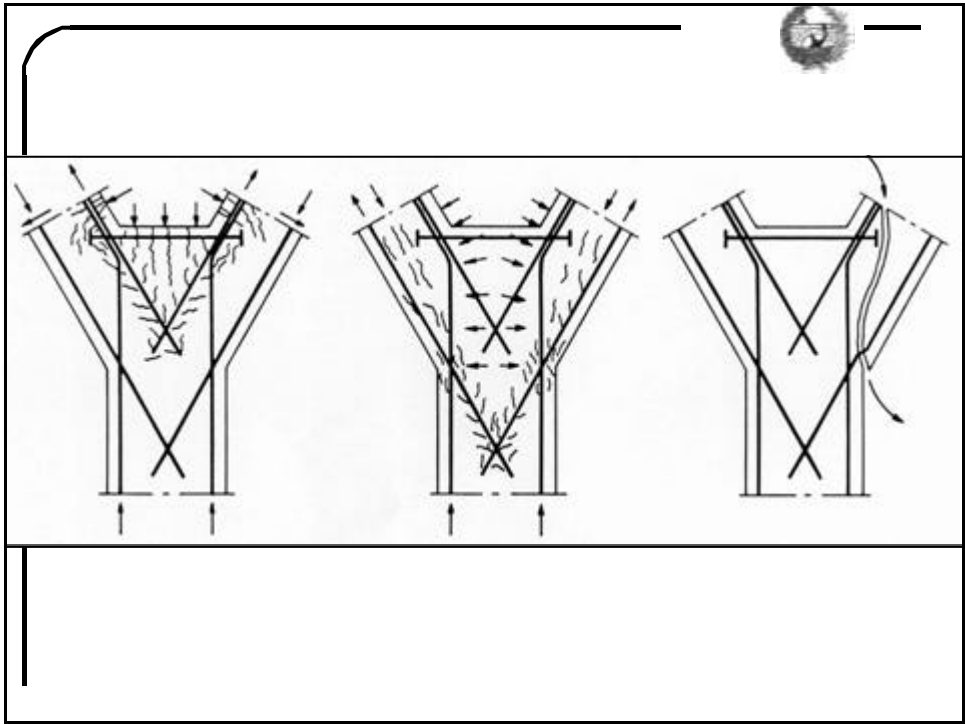
PLATAFORMA SLEIPNER A

- EMPLAZAMIENTO	STAVANGER
- ALTURA DE FUSTES	110 m
- Nº DE FUSTES	4
- Nº DE CELDAS	24
- ÁREA EN PLANTA	12.000 m ²
- DIÁMETRO DE CELDA	24 m
- DIÁMETRO EN CORONACIÓN DE FUSTES	15,3 m
- HORMIGÓN	77.000 m ³
- ARMADURAS DE H.A.	31.000 t
- CABLES DE PRETENSADO	250 t
- MATERIAL DE LASTRE	90.000 m ³
- PESO TOTAL	» 500.000 t

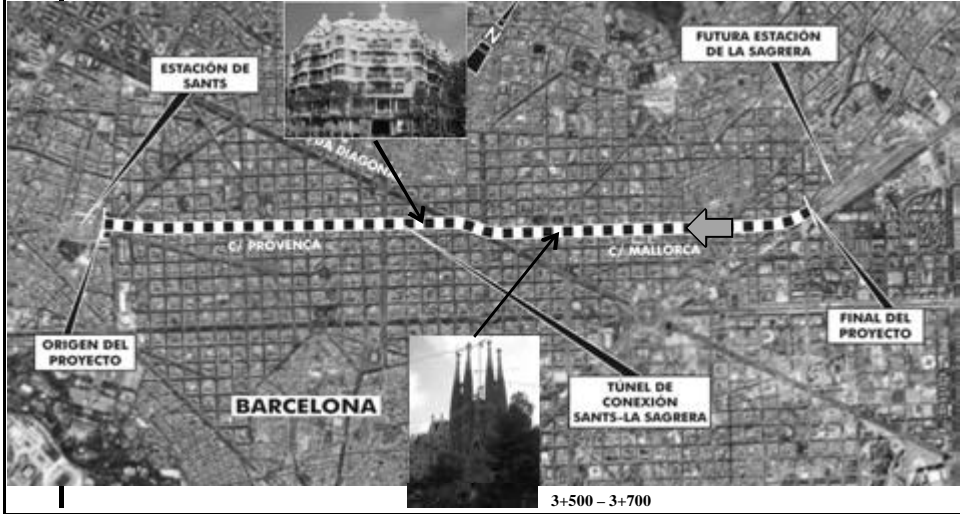




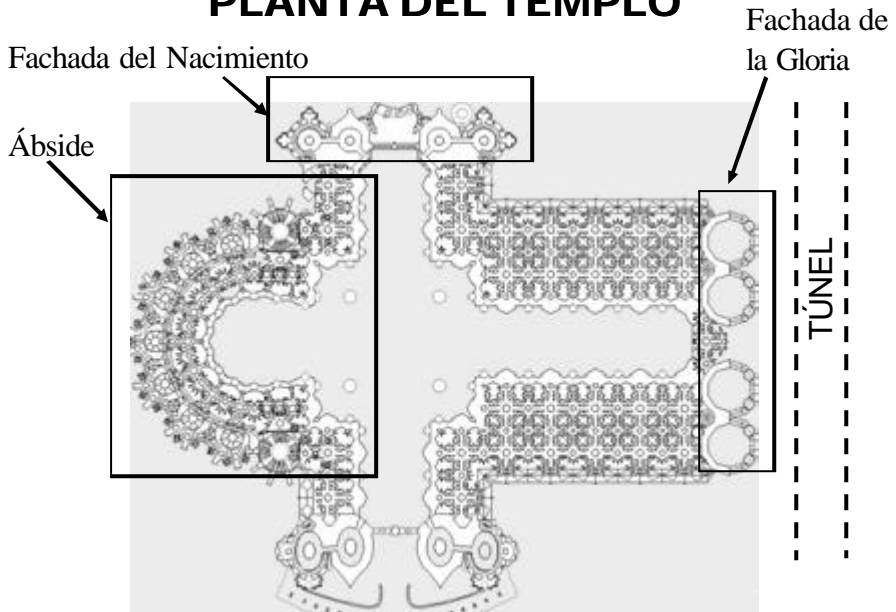




- Túnel entre las estaciones de Sants y La Sagrera

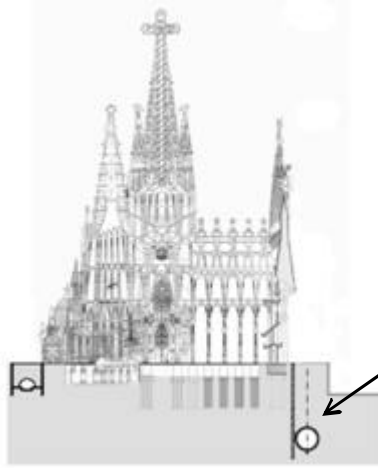


PLANTA DEL TEMPLO





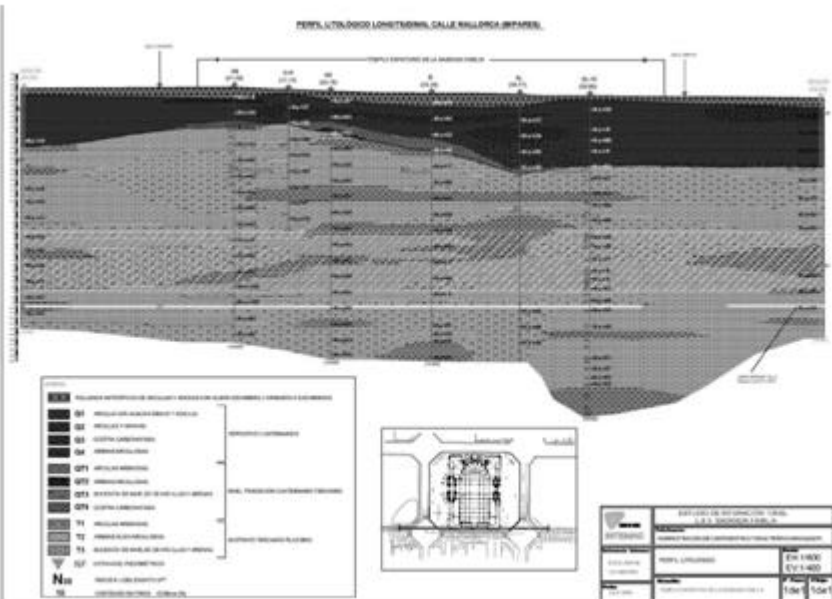
BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS PREVISTAS EN EL PROYECTO



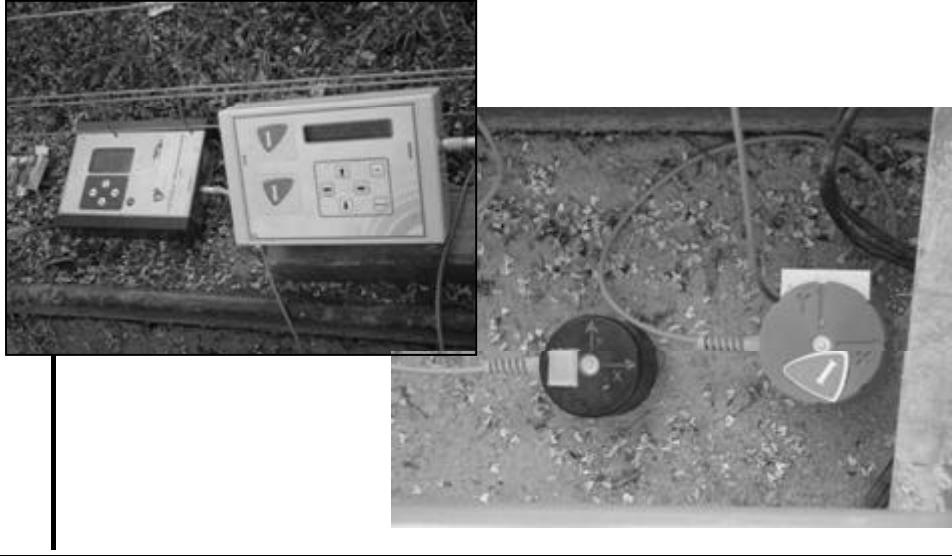
Pantalla de pilotes y obras complementarias



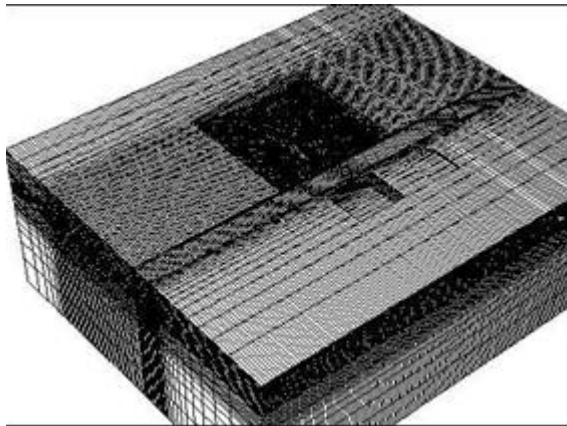
PERFIL LITOLÓGICO LONGITUDINAL CALLE BALBOA IMPRESO



Medida de vibraciones durante el proceso



ANÁLISIS REALIZADOS



Vista general del modelo geotécnico



ANÁLISIS REALIZADOS

FLAC3D 3.10
 ©2005 Itasca Consulting Group, Inc.
 Step: 2542 Model Perspective
 10:54:30 Mon Sep 28 2009

Center:	Position:
X: -2.738e+001	Y: 0.000
Y: 8.344e+001	Z: 0.000
Z: 1.218e+001	Mag: 1.25
Dist: 8.148e+002	Ang: 22.500

Block Group
 Use mesh colors shown

- bc
- plote
- vgr
- cond
- enc01
- enc02
- enc40
- enc42
- enc23
- enc44
- enc34
- enc35
- enc36
- enc37
- enc33
- enc27
- enc28
- enc29

Itasca Consulting S.L.
 Ciudad, Spain



Detalle de las estructuras incluidas en el modelo



ANÁLISIS REALIZADOS

FLAC3D 3.10
 ©2005 Itasca Consulting Group, Inc.
 Step: 2542 Model Perspective
 10:56:30 Mon Sep 28 2009

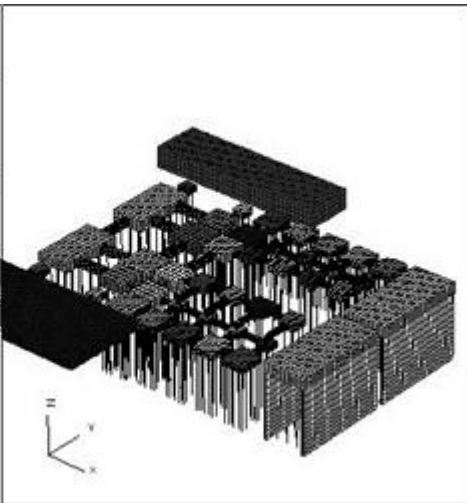
Center:	Position:
X: -4.932e+000	Y: 0.000
Y: 9.025e+001	Z: 0.000
Z: 3.217e+001	Mag: 3.5
Dist: 8.148e+002	Ang: 22.500

SEL Geometry
 Mag: 0.000e+000

Block Group
 Use mesh colors shown

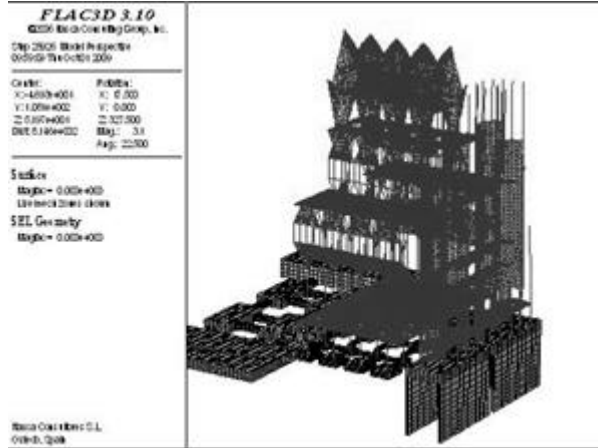
- enc51
- enc30
- enc40
- enc42
- enc30
- enc44
- enc34
- enc35
- enc36
- enc37
- enc33
- enc30
- enc27
- enc28
- enc29

Itasca Consulting S.L.
 Ciudad, Spain



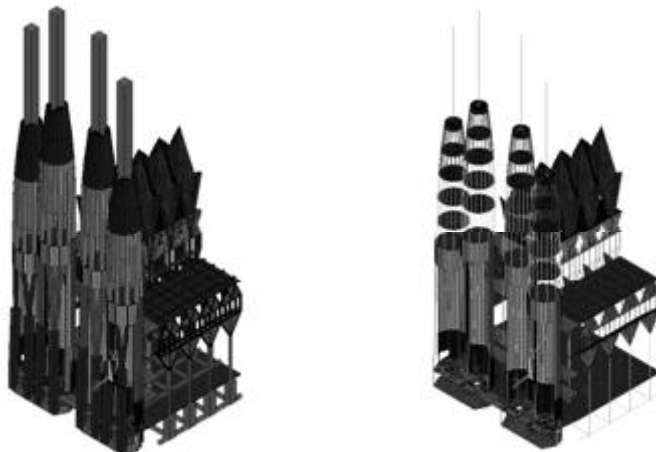
Vista de perspectiva de los elementos cimentación

ANÁLISIS REALIZADOS



Modelo estructural de FLAC3D y conexión con la cimentación

ANÁLISIS REALIZADOS



Modelo estructural de ANSYS para análisis de la estructura



CONDICIONES NORMALES DE TRABAJO ASIENTOS VERTIALES EN LA CIMENTACIÓN

FLAC3D 3.10

©2006 Itasca Consulting Group, Inc.

Step 110711 Model Projection
12:44:12 Mon Oct 05 2009

Center: Rotation:
X: -2.050e+001 X: 90.000
Y: 7.900e+001 Y: 0.000
Z: -1.680e+001 Z: 0.000
Dist: 8.084e+002 Size: 1.647e+002

Contour of Z-Displacement

Magfac = 1.000e+000
Live mech zones shown

Blue	-2.5275e-003 to -2.5000e-003
Dark Blue	-2.5000e-003 to -2.2500e-003
Light Blue	-2.2500e-003 to -2.0000e-003
Cyan	-2.0000e-003 to -1.7500e-003
Green	-1.7500e-003 to -1.5000e-003
Light Green	-1.5000e-003 to -1.2500e-003
Yellow-Green	-1.2500e-003 to -1.0000e-003
Yellow	-1.0000e-003 to -7.5000e-004
Orange	-7.5000e-004 to -5.0000e-004
Red-Orange	-5.0000e-004 to -2.5000e-004
Red	-2.5000e-004

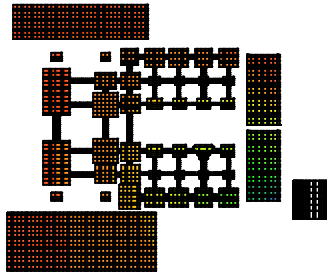
Interval = 2.5e-004

Sketch

Magfac = 1.000e+000
Live mech zones shown
Linestyle

Itasca Consultores S.L.
Oviedo, Spain

Job Title: Modelo completo - Inyección coraza=100% - Cut=85



Asiento máximo en la cimentación del Pórtico de la Gloria ~ 2,5 mm.
En la Nave, asiento máximo ~ 1,8mm



SIN PRESION EN EL ESCUDO ASIENTOS VERTICALES EN LA CIMENTACION

FLAC3D 3.10

©2006 Itasca Consulting Group, Inc.

Step 105703 Model Projection
19:27:20 Mon Oct 05 2009

Center: Rotation:
X: -2.050e+001 X: 90.000
Y: 7.900e+001 Y: 0.000
Z: -1.680e+001 Z: 0.000
Dist: 8.084e+002 Size: 1.647e+002

Contour of Z-Displacement

Magfac = 1.000e+000
Live mech zones shown

Blue	-4.3428e-003 to -4.0000e-003
Dark Blue	-4.0000e-003 to -3.5000e-003
Light Blue	-3.5000e-003 to -3.0000e-003
Cyan	-3.0000e-003 to -2.5000e-003
Green	-2.5000e-003 to -2.0000e-003
Light Green	-2.0000e-003 to -1.5000e-003
Yellow-Green	-1.5000e-003 to -1.0000e-003
Yellow	-1.0000e-003 to -5.0000e-004
Orange	-5.0000e-004 to 0.0000e+000

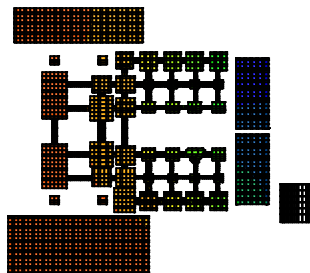
Interval = 5.0e-004

Sketch

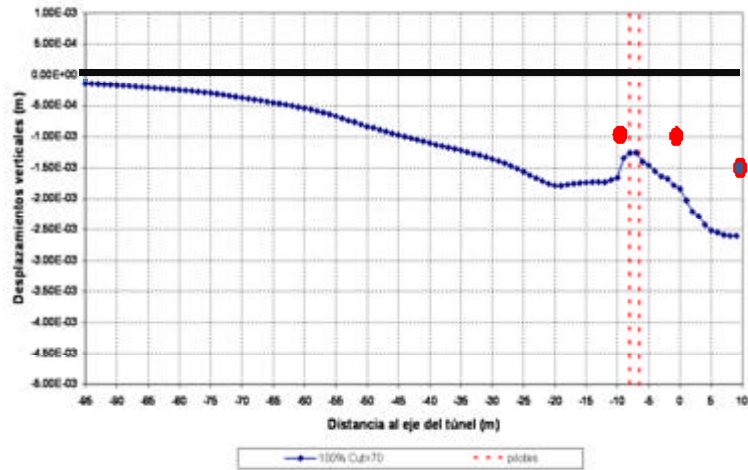
Magfac = 1.000e+000
Live mech zones shown
Linestyle

Itasca Consultores S.L.
Oviedo, Spain

Job Title: Modelo completo - Inyección coraza=0% - Cut=85



TRABAJO NORMAL DE LA TUNELADORA ASIENTOS EN SUPERFICIE



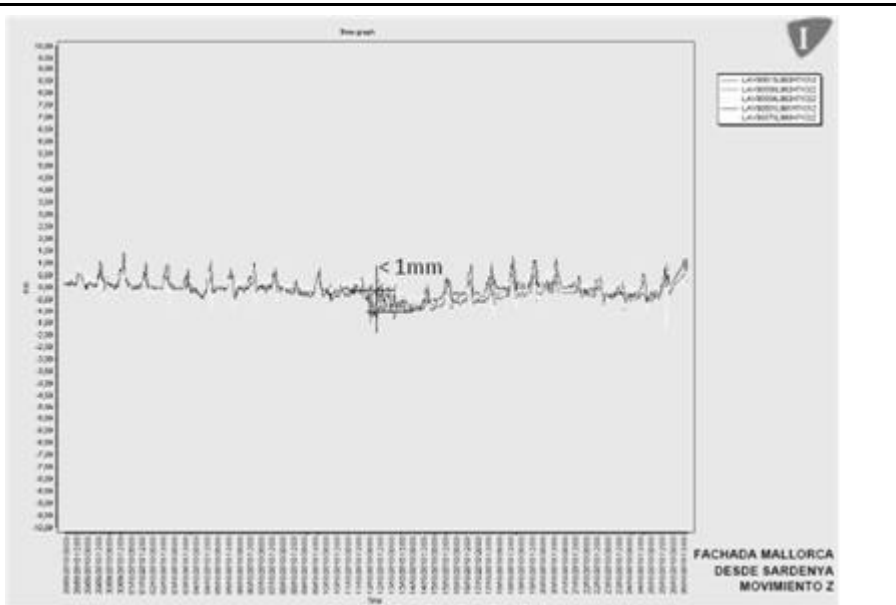
GRUPO DE PRISMAS



FACHADA CALLE MALLORCA DESDE SARDENYA

Nota: se señala con una cruz (X) los prismas que han dejado de leer, de forma definitiva o temporalmente.

Prismas para seguimiento topográfico automático del Templo



Movimientos registrados en los prismas para seguimiento topográfico automático, en la Fachada de la Gloria

LA TOMA DE DECISIÓN

El objetivo de un Informe es establecer claramente

- El origen de los daños**
- Su trascendencia**
- Su posible evolución**
- Recomendaciones de actuación**

Un punto esencial es determinar si es o no necesario el refuerzo

LA TOMA DE DECISIÓN

- **Evaluación de la información obtenida**
- **Establecimiento de los criterios de comprobación**
- **Evaluación de la variación de la capacidad resistente**
- **Evaluación de la variación de la situación en los estados límite de servicio**
- **Evaluación de las condiciones de durabilidad**