

**REHABILITACIÓN DE LA BÓVEDA NATURAL DEL
AUDITORIO DE LOS JAMEOS DEL AGUA,
LANZAROTE**

Fdez. de Castro, D., Olalla, C., Pradera, E., Serrano, A.

**LOS JAMEOS DEL AGUA:
UN TUBO VOLCÁNICO
UN RECLAMO TURÍSTICO**

¿COMO SE FORMA UN TUBO VOLCÁNICO?

- La lava es expulsada por un volcán y fluye hacia abajo.
- Cuando la superficie se enfría se endurece. (Actúa como aislante térmico bajo el que la lava sigue fluyendo hasta que la erupción termina).
- Acaba por dejar un hueco vacío en el interior del tubo.

LOS JAMEOS DEL AGUA

- Origen en el Volcán de "La Corona"
 - Datado hace 21000 (+/- 6500) años
 - Altitud 609 m
 - Flujo de lava (malpais) 50 Km²
- Presencia del cangrejo albino y ciego que le da nombre:
 - (Munidopsis polymorpha = "jameíto")
- Unos 700.000 - 800.000 visitantes /año
- Varias bocas:
 - Jameo de la Gente
 - Puerta Falsa
 - Cueva de los Verdes
 - Jameos del Agua

VISTAS GENERALES DEL JAMEO VISITABLE



VISTA GENERAL DEL JAMEO VISITABLE



VISTAS GENERALES DEL JAMEO VISITABLE



VISTA GENERAL: (LATERAL DEL JAMEO)



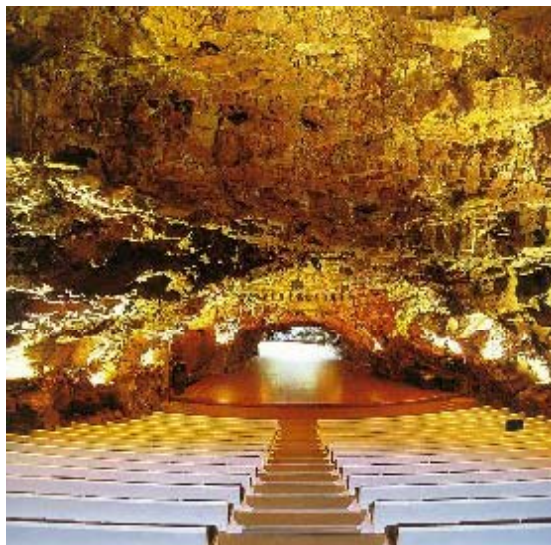
EL AUDITORIO: SITUACIÓN ANTES DE LA REHABILITACIÓN

AUDITORIO



Acústica "perfecta". 600 personas en 19 filas

EL AUDITORIO: SITUACIÓN ANTES DE LA REHABILITACIÓN



**LOS JAMEOS DEL AGUA DE LANZAROTE:
SITUACIÓN GENERAL**

**VISTA AÉREA DE
“LOS JAMEOS DEL AGUA”**

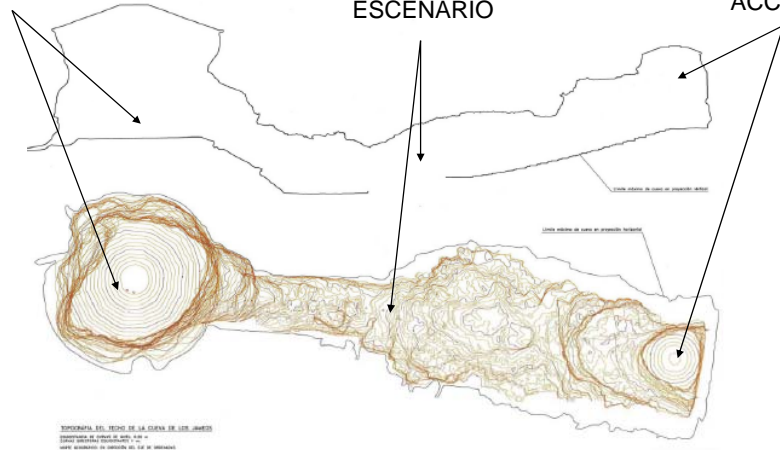


PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL DEL AUDITORIO

CAMERINOS
Y SERVICIOS

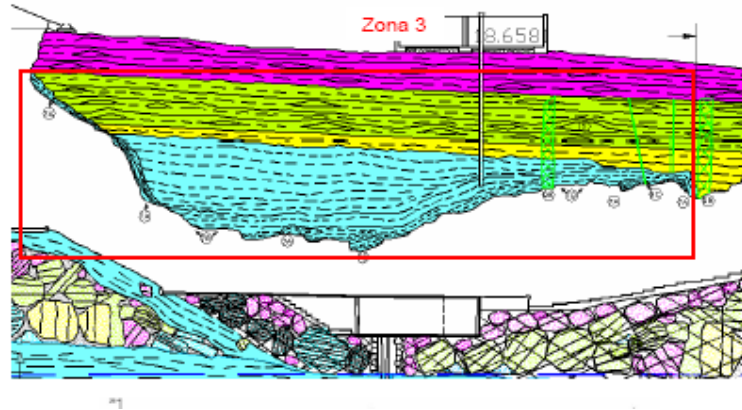
ESCENARIO

ACCESO

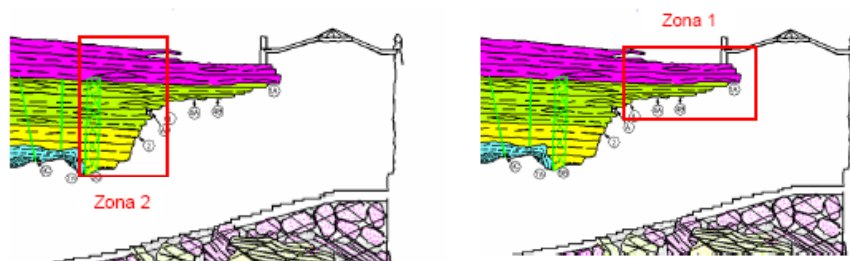


**PERFILES GEOLÓGICOS Y
LITOLÓGICOS GENERALES**

PERFIL LONGITUDINAL TÍPICO



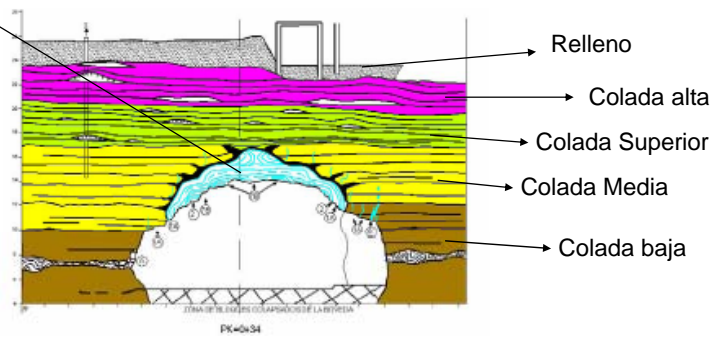
SECCIÓN LONGITUDINAL TIPO ZONA DE ACCESO



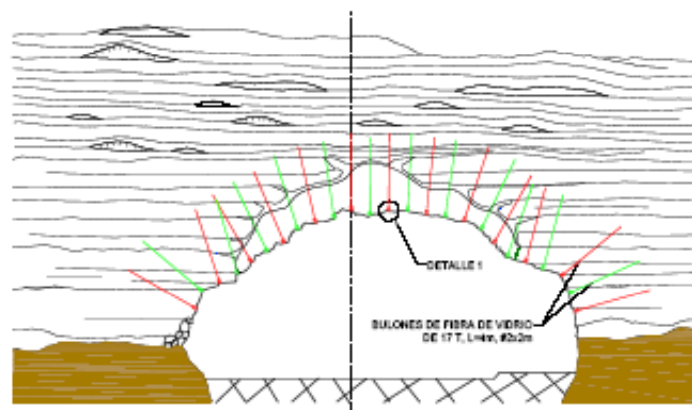
PERFIL TRANSVERSAL TÍPICO

1ª UNIDAD:
LAVA

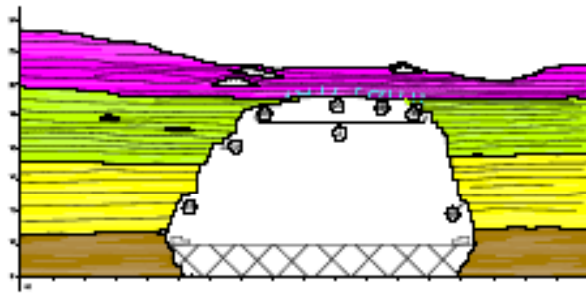
2ª UNIDAD:
MALPAIS



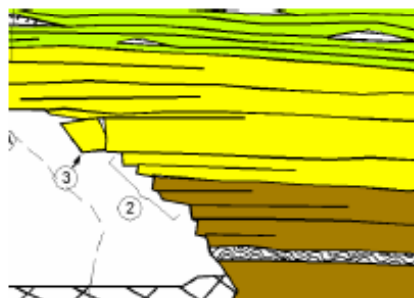
PERFIL TRANSVERSAL TÍPICO



PERFIL TRANSVERSAL CON POCA MONTERA



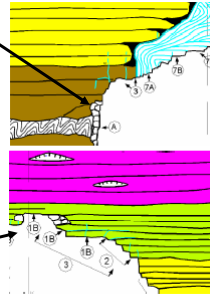
PROBLEMAS “PUNTUALES”



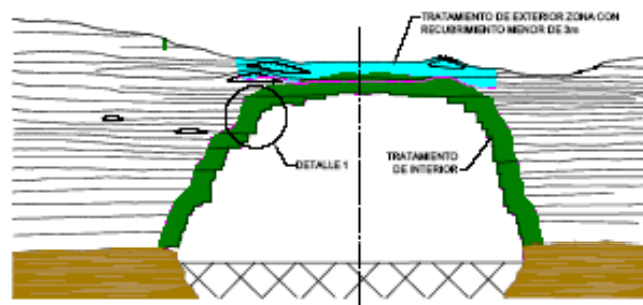
PROBLEMAS “PUNTUALES”

ACTUACIONES
ANTRÓPICAS

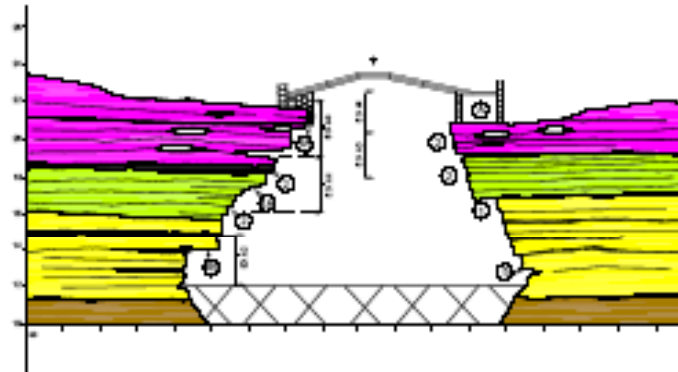
ROTURA DE
COLADAS



PERFIL TRANSVERSAL EXTREMO



SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO ZONA DE ACCESO



PROBLEMAS DETECTADOS

- A GRAN ESCALA
 - Bloques inestables
 - Coladas en voladizo
 - Déficit estructural en la boca de acceso
- A MEDIANA ESCALA
 - Bloques inestables
 - Coladas en voladizo, fracturadas
 - Actuaciones antrópicas existentes
- A PEQUEÑA ESCALA
 - Chineo
 - Alteración, fisuras, fragmentación
 - Efluorescencias, costras, arenitización
 - Alteraciones cromáticas
- OTROS VARIOS
 - Actuaciones antrópicas
 - Impermeabilización superficial
 - Filtraciones de agua

MARCO DE ACTUACIÓN

- Absoluto respeto a los criterios estéticos de César Manrique (herederos: "Fundación")
- El producto final no puede mostrar actuación "antrópica" alguna
- Seguridad para los usuarios (probabilidad de desprendimientos "muy reducida": $\leq 10^{-4}$?)
- Tiempo y costo "acotados"
- Sin antecedentes

ASPECTO GENERAL DE LA ROCA MATRIZ



TRATAMIENTOS EFECTUADOS:

SÍNTESIS

1. LIMPIEZA PREVIA
2. A GRAN ESCALA: Bulones de fibra de vidrio (2 longitudes y 2 diámetros) inyectados con resinas
3. A MEDIANA ESCALA: Microcosidos de fibra de vidrio y resinas
4. SUPERFICIALES: Cordones de soldadura química y consolidante
5. TRATAMIENTO FINAL
6. MANTENIMIENTO

1.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS

LIMPIEZA GENERAL DE ANTRÓPICOS

LIMPIEZA PREVIA MEDIANTE AGUA A PRESIÓN:

- A 2000 bars
- Ajustando:
 - Presión de boca
 - Selección boquilla adecuada
 - Caudal
- Provoca caída de bloques y partículas inestables
- Limpieza de efluorescencias
- No es "hidrodemolición"

ANDAMIAJE



1.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS

LIMPIEZA GENERAL DE ANTRÓPICOS

LIMPIEZA PREVIA MEDIANTE AGUA A PRESIÓN:

- A 2000 bars
- Ajustando:
 - Presión de boca
 - Selección boquilla adecuada
 - Caudal
 - El personal que lo ejecuta
- Provocando caída de bloques y partículas inestables
- Limpiando efluorescencias
- No es "hidrodemolición"

HIDRODOLIMPIEZA E HIDRODEMOLICIÓN



HIDROLIMPIEZA E HIDRODEMOLICIÓN



Agua a 2000 atms. de presión

2.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS

A GRAN ESCALA: Bulones de fibra de vidrio inyectados con resina epoxi

1. Datos generales
 1. $f = 25 \text{ mm}$ & $L = 4 \text{ mts}$ & $>17 \text{ Tons}$
 2. $f = 16 \text{ mm}$ & $L = 1 \text{ mts}$ & $> 7 \text{ Tons}$
2. Fibra de vidrio
3. Pasivos y sin placa de reparto
4. Perforación con corona de diamante
5. Con obturador que se elimina y "no deja huella"
6. Inyectados de resinas a alta presión (<500 bares)
7. Colocados de manera "cuasi-sistemática"
 1. En malla de $2 \cdot 2 \text{ m}^2$ (unas 280 uds.)
 2. En malla de $0.5 \cdot 0.5 \text{ m}^2$ (unas 2000 uds.)
8. Ensayos a tracción efectuados en laboratorio:
 $t_{ult} = 3 \text{ Mpa}$

2.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS: A GRAN ESCALA

Fibra de vidrio, frente a las de acero inoxidable:

VENTAJAS:

- No sufre erosión. No es oxidable
- Su resistencia a tracción ($1700 - 3000 \text{ N/mm}^2$) es superior a la del acero (5 a 7 veces)

INCONVENIENTE:

- Más caras
- Su módulo de elasticidad es varias veces menor que el acero: $35 - 50 \text{ GPa}$ frente a los 210 GPa del acero (¿inconveniente?)

BULONES “LARGOS” DE FIBRA DE VIDRIO

$\phi = 25 \text{ mm}$ $L = 4\text{m}$



BULONES “CORTOS” DE FIBRA DE VIDRIO

$\phi = 16 \text{ mm}$ $L = 1\text{m}$

COSIDO MEDIANTE BULONES



FIJADO DE TALADRADORA

PERFORADO DE BULONES



2.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS: A GRAN ESCALA

INYECCIONES DE RESINAS EPOXI

- Elemento fundamental en el tratamiento
- A alta presión (hasta 500 bares)
- La presión de inyección cae muy rápidamente con la distancia
- Se ajusta la viscosidad y la tixotropía
- No son miscibles en agua
- No reaccionan al agua
- Nos son líquidos Newtonianos (de Bingham). No fluyen por gravedad
- "Visco - tixotrópicas" a voluntad
- Inyectables incluso en microfisuras

FABRICACIÓN DE LA RESINA



PERFORADO DE BULONES



BULONADO E INYECCIONES DE RESINA

$\phi = 25 \text{ mm}$ $L = 4\text{m}$



INYECCIÓN DE BULONES



INYECCIONES DE RESINA Y BULONADO

$\phi = 25 \text{ mm}$ $L = 4 \text{ m}$



INYECCIONES DE RESINA Y BULONADO

$\phi = 16 \text{ mm}$ $L = 1 \text{ m}$



SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE BULONES (LARGOS Y CORTOS) INSTALADOS



IMAGEN “FINAL” DEL BULONADO



2.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS: A GRAN ESCALA

- 280 bulones largos
- 2000 bulones cortos

3.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS MEDIANA ESCALA

Microcosidos de fibra de vidrio (< 1 tons)

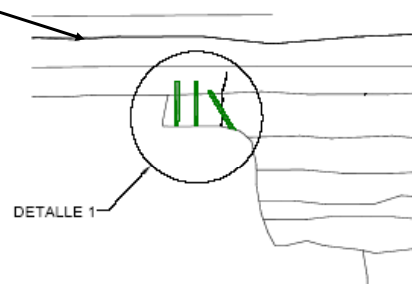
Disposición "personalizada"

- Complemento a los bulones cortos
- Taladros a rotopercusión (clásicos)
- Diámetro f = 8 mm y L = <50cm
- Sin placas de reparto
- Se perfora a "brazo"
- Se introduce resina mediante cánula desde el fondo (dosis a "sentimiento", para que apenas se expulse)
- La barra se introduce a presión (manualmente)

PROBLEMAS “PUNTUALES”: MICROCOSIDOS

$\phi = 8 \text{ mm}$ $L = 0.5 \text{ m}$

COSIDOS INDIVIDUALIZADOS



INTRODUCCIÓN DE RESINA MEDIANTE CÁNULA



4.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS: SUPERFICIALES

1. Cordones de soldadura química

Continuos

Colocados con pistola a mano

De resina epoxi

Marca comercial de los cartuchos (HILTI -
HFX)

Resistencia a la tracción: 3 MPa

2. Consolidante (mineralizador de silicato de etilo)

Superficial

Actúa por permeabilidad, difusión y absorción

SOLDADADURA QUÍMICA MEDIANTE CORDONES DE RESINA



SOLDADADURA QUÍMICA MEDIANTE CORDONES DE RESINA



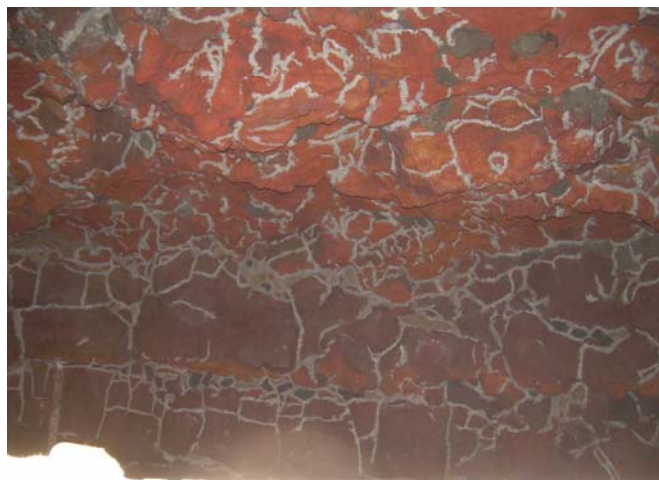
SOLDADADURA QUÍMICA MEDIANTE CORDONES DE RESINA



**SOLDADADURA QUÍMICA MEDIANTE
CORDONES DE RESINA**



**SOLDADADURA QUÍMICA MEDIANTE
CORDONES DE RESINA**



5.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS FINALES

1. Hidrolimpieza posterior

2. Actuaciones antrópicas puntuales

HIDRODOLIMPIEZA



HIDRODOLIMPIEZA



Laborioso, fatigoso, lento, ...

5.- TRATAMIENTOS EFECTUADOS FINALES

1. Hidrolimpieza por 2ª vez
2. Actuaciones frente a antrópicos puntuales

6.- TRATAMIENTOS ADICIONALES EFECTUADOS

IMPERMEABILIZACIÓN SUPERFICIAL

- Limpieza general de materiales
- Cama de arcilla impermeable
- Geomembrana (también impermeable)
- Drenajes; inferior y superior
- Relleno ajardinado

LOSA EXTERIOR

MANTENIMIENTO

- Personal propio del Cabildo
"experimentado"
- Actuaciones artesanales
- Escasa auscultación

6.- TRATAMIENTOS ADICIONALES EFECTUADOS

IMPERMEABILIZACIÓN SUPERFICIAL

- Limpieza general de materiales
- Cama de arcilla impermeable
- Geomembrana (también impermeable)
- Drenajes
- Relleno ajardinado

LOSA EXTERIOR

MANTENIMIENTO

- Personal propio del Cabildo
"experimentado"
- Actuaciones artesanales
- Escasa auscultación

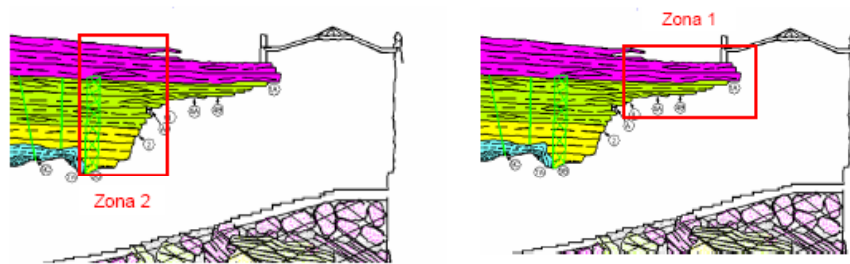
ZONA EXTERIOR:
Vista de la parte próxima a la entrada



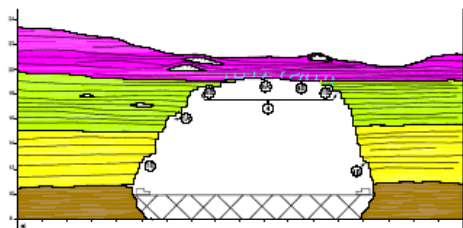
VISTA ORIGINAL DESDE EL INTERIOR



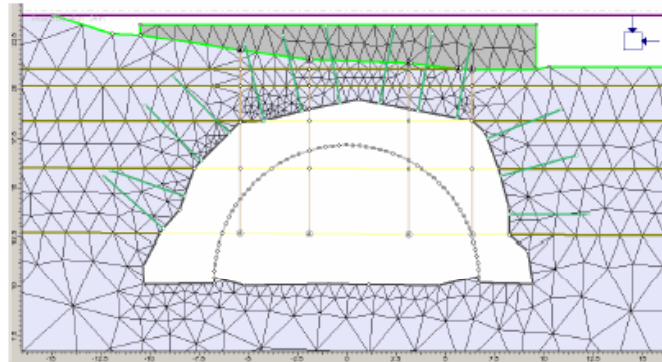
SECCIÓN LONGITUDINAL TIPO ZONA DE ACCESO



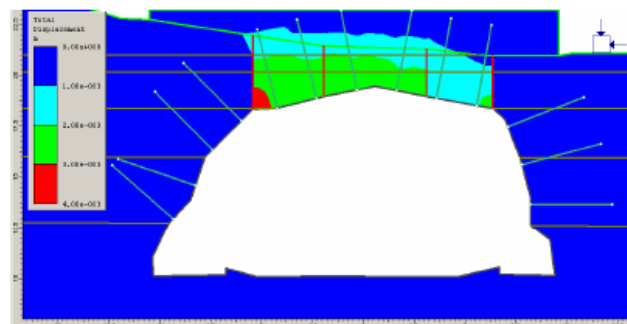
SECCIÓN TIPO ZONA PRÓXIMA AL ACCESO



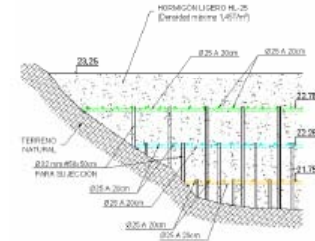
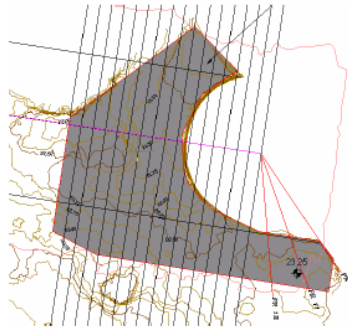
CÁLCULOS EFECTUADOS: ZONA DE LA LOSA SUPERIOR



CÁLCULOS EFECTUADOS: ZONA AFECTADA POR LA LOSA



LOSA SUPERIOR



Hormigón de árido ligero:

De arlita: los picones no "funcionaron" ($\gamma_{nat} = 14,5$ kN/m³)

Resistencia característica a 28 días: 25 MPa

REFUERZO MEDIANTE LOSA ARMADA



REFUERZO MEDIANTE LOSA ARMADA Y ANCLADA



LOSA SUPERIOR

1. Perforación
 1. Desde el exterior
 2. Con base fija
2. Inyección de "grout" (mortero fluido)
3. Reperforación
4. Introducción del bulón (pasivo)
5. Inyección de resina epoxi

LOSA SUPERIOR

- Grout: Lechada especial
 - Autonivelante
 - Sin retracción
 - No rezuma
 - No deja cal libre
- Previamente: Pantalla perimetral impermeable
- Después del "grout" se pasa una cámara de vídeo que grava en DVD y observa huecos
- Si quedan huecos se vuelve a inyectar mediante "grout", y se reperfora de nuevo
- Si no quedan huecos se hace prueba de agua
- Si no admite agua: se introduce la resina

LOSA SUPERIOR

Lleva 56 bulones largos
Verticales e inclinados

En realidad se trata de un "estrato artificial" de
hormigón ligero (arlita) armado,
del que cuelgan los materiales de la bocana

6.- TRATAMIENTOS ADICIONALES EFECTUADOS

IMPERMEABILIZACIÓN SUPERFICIAL

- Limpieza general de materiales
- Cama de arcilla impermeable
- Geomembrana (también impermeable)
- Drenajes
- Relleno ajardinado

LOSA EXTERIOR

MANTENIMIENTO

- Personal propio del Cabildo "experimentado"
- Actuaciones artesanales
- Escasa auscultación

MANTENIMIENTO



ESTADO FINAL



DÍA DE LA RE-INAUGURACIÓN 23.03.09



Pradera, E. & Serrano, A. & Olalla, C. & Fdez. de Castro, D.