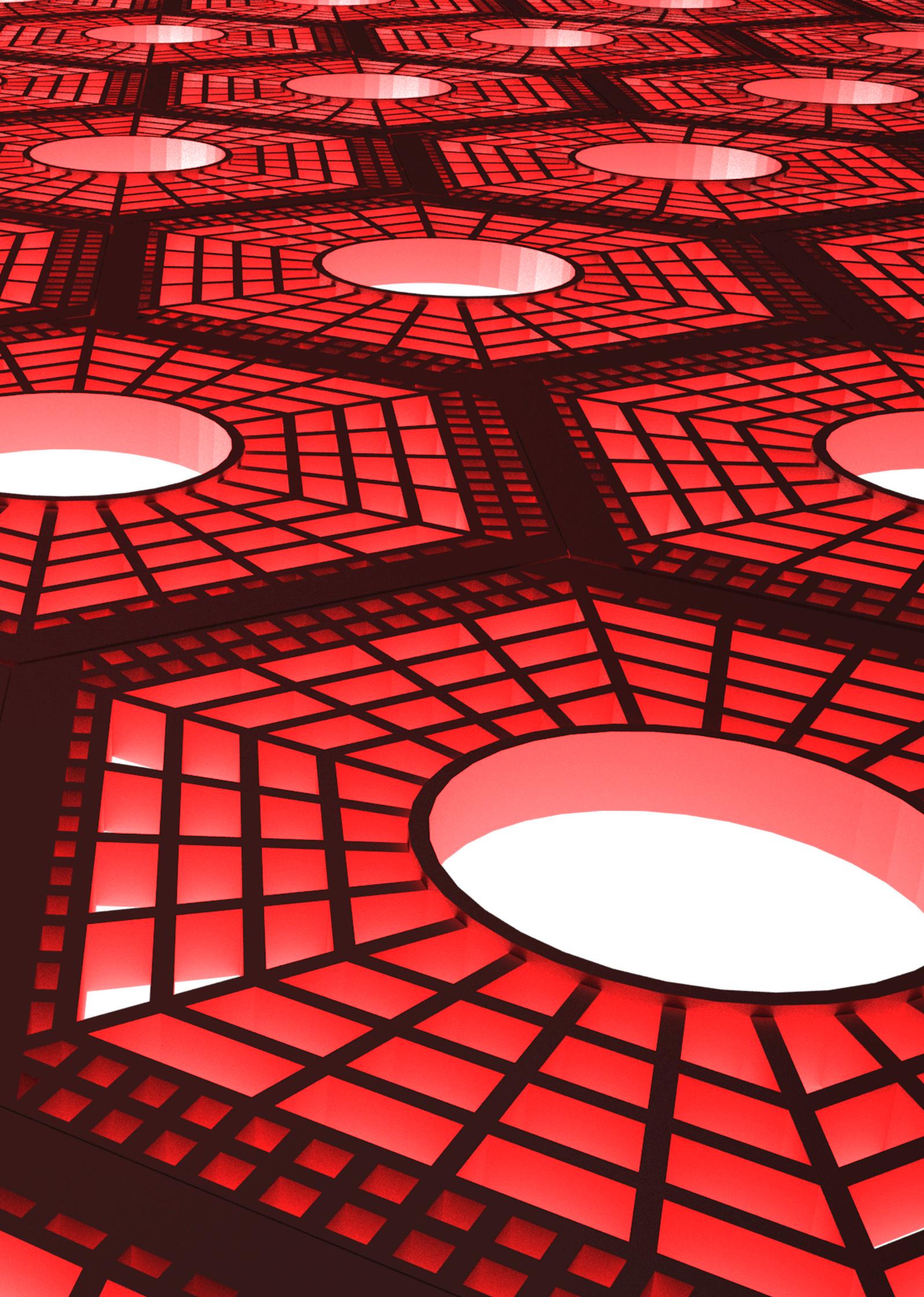


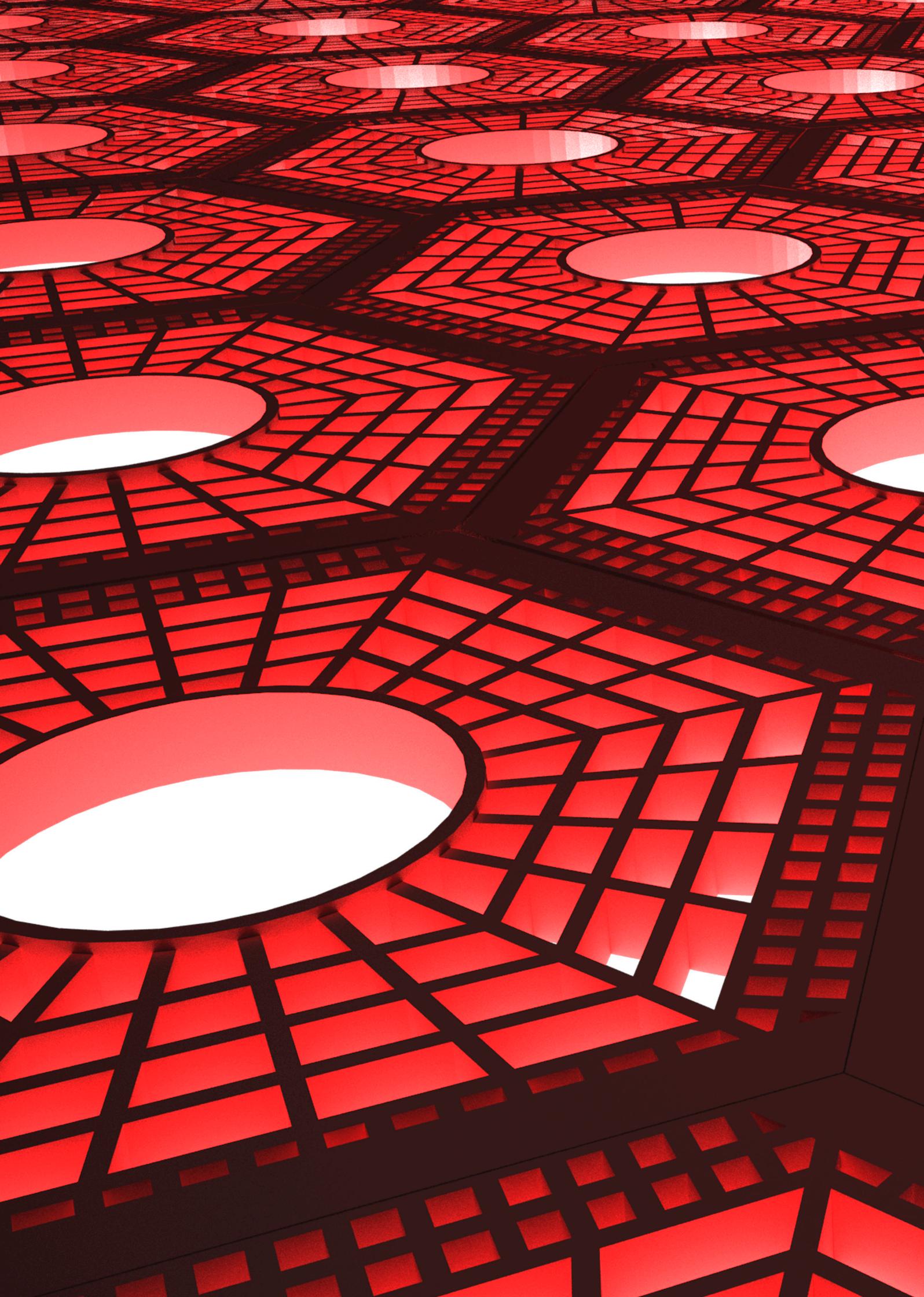
E.P.D.

GUÍA TECNOLÓGICA DE APLICACIÓN

**ESTRUCTURAS Y PAVIMENTOS
DISCONTINUOS**

EDICIÓN 1 · AÑO 2013







Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA



Centro para el
Desarrollo
Tecnológico
Industrial



Corporación Tecnológica
de Andalucía

PROYECTO DE ESTRUCTURAS Y PAVIMENTOS DISCONTINUOS

GUÍA TECNOLÓGICA DE APLICACIÓN



EQUIPO DE TRABAJO:

ACTISA: Salvador Mansilla Vera (Autor-redactor), María José Sánchez Ibáñez (Administración y gestión del proyecto), Salvador Toril Díaz (Diseño Gráfico), Tomás Quesada Jiménez (Ensayos), Belén Jiménez Morales (Traductora), Nataly García Coello (Programadora Software).

CONSTRUCCIONES OTERO S.L.: Enrique Otero Benet, (Asesor construcción), Francisco Ábalos Medina, (Asesor Viabilidad), Carmen Otero Benet, (Asesor arquitectura), Alejandro Alguacil Sánchez, (Asesor y responsable Seguridad y salud), Antonio Ruiz Otero, Miguel Muñoz León, José Gutiérrez Medina, Antonio Ramos Linares, (construcción prototipo pavimentos), Francisco Haro Castro, Horacio Sánchez Castro, (construcción prototipo forjados y muro).

Organismos Colaboradores:

DISELC: José Martínez Ortiz, (diseño electrónica).

UNIVERSIDAD DE GRANADA: Caroline Catta, Olga Hernando, (traducción guías), Javier Luna Molina, (ensayos), Guillermo Rus Calborg, (dirección asesoramiento).

INFORMACIÓN DE CONTACTO:

ACTISA S.L. (Actividades de Consultoría Técnica, Investigación y Servicios Avanzados S.L.).

C/Manuel Roldán Prieto, 3, 2º F. 18140 La Zubia, (Granada).

Teléfono y fax: +34.958.38.92.74

www.actisa.net

correo electrónico. actisa@actisa.net

Registrado de la propiedad intelectual. Expediente: GR-346-13

© TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS

DEDICATORIAS

Dedicado a mi madre, Remedios Vera Artacho, recientemente fallecida, por habernos inculcado el espíritu de lucha y superación.

PRESENTACIÓN

Con la Guía Tecnológica de Aplicación de Estructuras y Pavimentos Discontinuos finaliza el proyecto de investigación del mismo nombre. Han sido veinticuatro meses muy intensos que acaban con enorme satisfacción para todos los participantes del proyecto, por cuanto se han definido soluciones que han despertado gran interés y que abren un nuevo panorama en el mundo de las estructuras y pavimentos.

El desarrollo del proyecto siempre ha ido dirigido a la búsqueda de la máxima eficiencia en la construcción de estructuras y pavimentos, simplificando los procedimientos de construcción pero garantizando un buen funcionamiento estructural. La viabilidad de las soluciones ha sido un objetivo esencial en las innovaciones e invenciones desarrolladas, consiguiendo productos de gran interés comercial con precios muy competitivos. De la misma forma la búsqueda de ventajas en el comportamiento estructural de las soluciones, permite que éstas compitan con productos tradicionales en el mercado de la construcción, ofreciendo ventajas competitivas.

La presente Guía aporta las prescripciones de aplicación a los diferentes productos desarrollados y describe los métodos desarrollados para el cálculo y justificación de los mismos.

La Guía se completa con un software que incluye cuatro programas informáticos (“DPD, Diseño Pavimentos Desmontables”, “CBS, Cálculo de Baldosa Solar”, “DFD, Discretización de Forjados Discontinuos”, “CMCR, Cálculo de muros de cajones rellenos”), que facilitan el cálculo y el diseño de las construcciones que empleen nuestros productos.

Deseamos que la presente Guía sea del mayor interés para el usuario para su fácil aplicación al proyecto y a la construcción de obras civiles o arquitectónicas con empleo de Estructuras y Pavimentos Discontinuos.

Salvador Mansilla Vera y equipo.



ÍNDICE

CAP 0 · HACIA UN NUEVO PANORAMA EN EL MUNDO DE LA ESTRUCTURA Y EL PAVIMENTO

CAP 1 · PAVIMENTO DESMONTABLE

- PARTE 1 · PRESENTACIÓN GENERAL
- PARTE 2 · GEOMETRÍA Y FORMATOS
- PARTE 3 · MATERIALES
- PARTE 4 · CONTROL DE CALIDAD
- PARTE 5 · EJECUCIÓN Y MONTAJE
- PARTE 6 · SOLUCIONES URBANAS
- PARTE 7 · DIMENSIONADO DE PAVIMENTOS DESMONTABLES

CAP 2 · LA BALDOSA SOLAR

- PARTE 1 · PRESENTACIÓN GENERAL
- PARTE 2 · GEOMETRÍA Y FORMATOS
- PARTE 3 · MATERIALES
- PARTE 4 · CONTROL DE CALIDAD
- PARTE 5 · CONSTRUCCIÓN, MONTAJE, DESMONTAJE Y MANTENIMIENTO
- PARTE 6 · SOUCIONES URBANAS
- PARTE 7 · LOS PAVIMENTOS INTELIGENTES
- PARTE 8 · CÁLCULO DE RENDIMIENTOS

CAP 3 · LOS FORJADOS DISCONTINUOS SIN CIMBRA

- PARTE 1 · PRESENTACIÓN GENERAL
- PARTE 2 · GEOMETRÍA Y FORMATOS
- PARTE 3 · MATERIALES
- PARTE 4 · CONTROL DE CALIDAD
- PARTE 5 · SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS Y ESTRUCTURALES
- PARTE 6 · CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE
- PARTE 7 · CÁLCULO ESTRUCTURAL

CAP 4 · LOS MUROS DE CAJONES RELLENABLES

- PARTE 1 · INTRODUCCIÓN
- PARTE 2 · GEOMETRÍA Y FORMATOS
- PARTE 3 · MATERIALES
- PARTE 4 · CONTROL DE CALIDAD
- PARTE 5 · SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS
- PARTE 6 · PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- PARTE 7 · CÁLCULO ESTRUCTURAL

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Pavimento desmontable prefabricado con dos formatos

Imagen 2. Elementos de pavimento desmontable prefabricado.

Imagen 3. Imágenes de pavimento desmontable in situ.

Imagen 4. Detalle de junta de pavimento desmontable in situ rectangular.

Imagen 5. Geometría de pavimento desmontable prefabricado de 33,3 x 33,3 cm.

Imagen 6. Geometría de pavimento desmontable hexagonal de 20 cm de lado.

Imagen 7. Geometría de pavimento desmontable in situ rectangular de 40 cm de lado.

Imagen 8. Geometría de pavimento desmontable in situ hexagonal 20 cm de lado.

Imagen 9. Palé de piezas prefabricadas.

Imagen 10. Palé de juntas de inyección.

Imagen 11. Diferentes etapas ejecución pavimento prefabricado desmontable.

Imagen 12. Diferentes etapas ejecución pavimento in situ desmontable.

Imagen 13. Detalle de solape de la junta intermedia.

Imagen 14. Empleo de dos formatos de pavimento in situ.

Imagen 15. Detalle de soluciones monoformato y monocolor.

Imagen 16. Detalle de solución monoformato y bicolor.

Imagen 17. Detalle de solución monoformato y varios colores.

Imagen 18. Detalle de solución de varios formatos y un sólo color.

Imagen 19. Detalle de solución de dos formatos y dos colores.

Imagen 20. Detalle de solución de varios formatos y varios colores.

Imagen 21. Detalle de solución con terminación en piedra.

Imagen 22. Detalle de solución terminada con diferentes tipologías de piedra.

Imagen 23. Detalle de inclusión de baldosa solar en pavimento.

Imagen 24a. Geometría de baldosa solar BS-PFV-SQ400a.

Imagen 24b. Geometría de baldosa solar BS-PFV-SQ400b.

Imagen 24c. Geometría de baldosa solar BSI-PFV-SQ400.

Imagen 25. Geometría de baldosa solar BS-PFV-C130.

Imagen 26. Geometría de baldosa solar BS-DS-C130.

Imagen 27. Geometría de baldosa solar BS-DST-C130.

Imagen 28. Geometría de baldosa solar BS-S-C130.

Imagen 29. Detalle de conjunto de 2x8 baldosas.

Imagen 30. Grupo de baldosas replanteadas en acera.

Imagen 31. Instalación de baldosas solares.

Imagen 32. Distancia recomendable a borde de acera.

Imagen 33. Zona no recomendable en calzada.

Imagen 34. Ubicación de baldosas solares en calles de orientación este-oeste.

Imagen 35. Ejemplo de aplicabilidad de dispositivos PIPER.

Imagen 36. Valores promedios de irradiancia solar en el mundo.

Imagen 37. Criterio de proyección de sombras de los edificios sobre una calle.

Imagen 38. Ejemplo de vial sin iluminación de la acera sur.

Imagen 39. Condiciones de iluminación de la acera oeste con $A_{\text{calle}} > A_{\text{orto}}$ para una calle de ancho infinito.

Imagen 40. Condiciones de iluminación de la acera oeste con $A_{\text{calle}} < A_{\text{orto}}$ para una calle de ancho infinito.

Imagen 41. Detalle de forjado discontinuo sin cimbra.

Imagen 42. Detalle de forjado discontinuo de 30 cm de canto.

Imagen 43. Detalle de forjado discontinuo de 35 cm de canto.

Imagen 44. Casetón de hormigón para ejecutar techo plano. A incorporar en la prefabricación.

Imagen 45. Detalles de casetones de hormigón y porexpan.

Imagen 46. Detalle de prelosa.

Imagen 47. Secciones Forjados de 30 y 35cm sin casetones.

Imagen 48. Secciones Forjados de 30 y 35cm con casetones.

Imagen 49. Secciones Forjados con prelosas instaladas.

Imagen 50. Secciones Forjados de 30 y 35cm con losa de compresión ejecutada en prefabricación.

Imagen 51. Ejecución de encuentros con pilares de mayor ancho que las vigas.

Imagen 52. Colocación de paños prefabricados.

Imagen 53. Colocación de prelosas, encofrado, relleno de hormigón y desencofrado final.

Imagen 54. Asignación de cargas en la losa equivalente.

Imagen 55. Muros de cajones rellenables.

Imagen 56. Contacto entre cajones.

Imagen 57. Estabilidad cajón a cajón, sin vuelco intermedio o en la base. Los módulos aparecen decalados.

Imagen 58. Cajones de hormigón 2x2 m.

Imagen 59. Solapamiento de módulos para la formación de muros en zonas de relleno o terraplén.

Imagen 60. Protección de talud de desmonte con muros de cajones rellenables.

Imagen 61. Atirantado intermedio para optimización de muros.

Imagen 62. Empleo de bandejas intermedias para mejora de la estabilidad.

Imagen 63. Soluciones constructivas para terminaciones de la cara vista.

Imagen 64. Deslizamiento de talud en margen de la carretera.

Imagen 65. Retirada de material deslizado y relleno con hormigón en masa en la base del muro. (También puede hacerse por bataches cuando la estabilidad no esté garantizada).

Imagen 66. Colocación de primera hilada de muros.

Imagen 67. Relleno de primera hilada de muros.

Imagen 68. Colocación de segunda hilada de muros.

Imagen 69. Relleno de segunda hilada de muros.

Imagen 70. Colocación de tercera hilada con decalaje respecto de la segunda hilada.

Imagen 71. Relleno de tercera hilada de muros cajones.

Imagen 72. Colocación de cuarta hilada de muros.

Imagen 73. Relleno de cuarta hilada.

Imagen 74. Colocación y relleno de última hilada con decalaje, (altura total 10 m).

Imagen 75. El decalaje facilita el recentrado de la fuerza vertical sobre el cajón inferior.

Imagen 76. Despegue entre módulos en el trasdós.

Imagen 77. Mecanismo de contacto de cajones 2x2 cuando hay despegue.

Imagen 78. Situación 1 de contactos.

Imagen 79. Situación 2 de contactos.

Imagen 80. Situación 3 de contactos.

Imagen 81. Diferentes situaciones de contactos en un mismo muro.

Imagen 82. Mecanismo de contacto de cajones 2x2 cuando hay despegue y hay decalaje.

Imagen 83. Mecanismo de empuje en situación dinámica.

Imagen 84. Tensiones máximas principales para 10 m de altura en desmonte y situación sísmica.

Imagen 85. Cortante máximo para 10 m de altura y situación sísmica.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Propiedades ABS

Tabla 1-2. Granulometría de las capas de arena

Tabla 1-3. Resbalabilidad de los pavimentos.

Tabla 1-4. Resbalabilidad en pavimentos desmontables

Tabla 1-5. Empleo de materiales en núcleo y capas de asiento.

Tabla 1-6. Parámetros elásticos de materiales de empleo en explanadas.

Tabla 1-7. Parámetros elásticos en el suelo seleccionado.

Tabla 1-8. Categorías de tráfico.

Tabla 1-9. Número máximo de aplicaciones de carga según explanada y capas granulares para soluciones prefabricadas, (hexagonal de lado 20 cm y rectangular 33,3x33,3 cm).

Tabla 1-10. Número máximo de aplicaciones de carga según explanada y capas granulares para in situ, (hexagonal de lado 15 cm).

Tabla 1-11. Número máximo de aplicaciones de carga según explanada y capas granulares para in situ, (rectangular de lado 40 cm).

Tabla 1-12. Soluciones de explanada según TNS.

Tabla 2-1. Valores de r_o , r_1 y r_k según clima

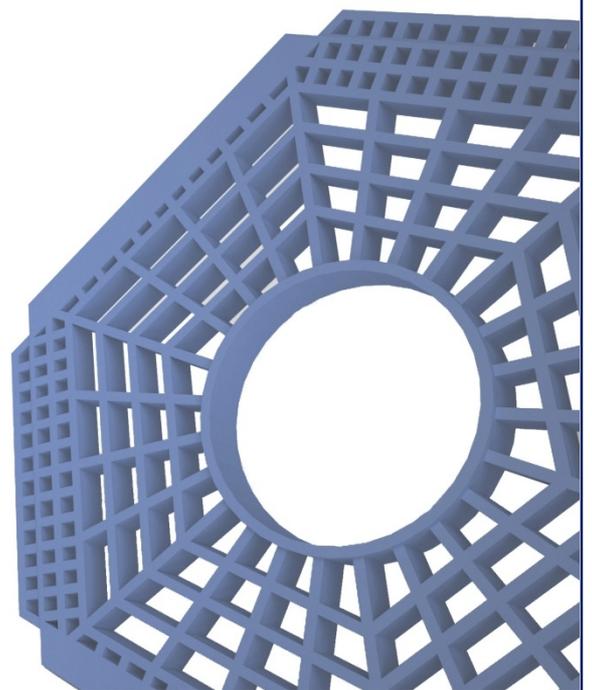
Tabla 2-2. Coeficientes de Pérez

Tabla 2-3. Valores de operación de un generador fotovoltaico.

Tabla 3-1. Geometría de la losa equivalente, vigas y zunchos interiores.

Tabla 4-1. Decalajes de las distintas combinaciones de cajones.

CAPÍTULO 0. HACIA UN NUEVO PANORAMA EN EL MUNDO DE LA
ESTRUCTURA Y EL PAVIMENTO



Pavimentos Discontinuos y Estructuras

Guía

CAP 0. HACIA UN NUEVO PANORAMA EN EL MUNDO DE LA ESTRUCTURA Y EL PAVIMENTO

Construir de una forma más fácil y de mejor calidad, creando estructuras y pavimentos de mayor duración, deben ser objetivos esenciales para los principales actores y promotores del mundo de la construcción.

El uso de nuevos materiales en un contexto viable junto con materiales tradicionales permite un abanico muy amplio de posibilidades en la búsqueda de soluciones que mejoren a las actuales.

Pavimentos que se pueden desmontar y volver a colocar, y capaces de generar energía, forjados con mejor comportamiento estructural y sin necesidad de cimbra, muros de construcción muy rápida proporcionando una gran estabilidad y soporte a vuelco y deslizamiento, son el resultado de la investigación denominada "Estructuras y Pavimentos Discontinuos". La presente Guía surge con la idea de transmitir el conocimiento adquirido y aportar la información necesaria y suficiente que facilite la introducción de tales productos en el mercado de la construcción civil y arquitectónica.

La presente Guía está estructurada en cuatro partes:

- Pavimento desmontable
- Baldosa solar
- Forjados prefabricados sin cimbra
- Muros de cajones rellenables

Cada apartado proporciona al usuario toda la información necesaria para aplicar cada producto en sus respectivas obras; características técnicas, recomendaciones y metodología para la construcción, control de calidad son aspectos que se consideran para cada uno de los productos.

Esperamos que esta Guía sirva de referencia en el mundo de la construcción ya que plantea nuevas posibilidades y soluciones de gran interés.

Esta versión 1.0 de la Guía no constituye un punto final en el desarrollo llevado a cabo, sino que se propone como un punto de inicio hacia nuevas soluciones y formatos.

Actualmente trabajamos en el concepto de Pavimento Inteligente, "Pervasive Intelligent Pavement Enhance Reality (PIPER)", el cual debería permitir muchas posibilidades y aplicaciones para las personas en áreas urbanas, especialmente centradas en el marketing útil, la movilidad y las redes sociales.

Por otro lado, estamos promoviendo el desarrollo de nuevas investigaciones en el campo de las estructuras discontinuas, centrándonos en las soluciones prefabricadas que facilitan la construcción de algunos elementos como muros, columnas, conexiones, etc.

Además, estamos estudiando el uso de nuevos materiales y soluciones de hormigón en un contexto viable.

Todas estas actividades nos permiten creer en un mundo futuro donde los pavimentos discontinuos y las estructuras lideren la innovación en el campo de la construcción.

CAPÍTULO 1. PAVIMENTO DESMONTABLE



CAP 1. PAVIMENTO DESMONTABLE.

PARTE 1. PRESENTACIÓN GENERAL

1a. ¿Por qué usar pavimentos desmontables?

En áreas urbanas, estamos acostumbrados a ver la demolición de pavimentos que llevan poco tiempo contruidos, debido principalmente a la necesidad de acometer reparaciones de instalaciones urbanas enterradas o, incluso, por la capacidad inadecuada de la estructura del pavimento.

Algunos estudios indican que en algunos países, más del 40% del pavimento urbano es demolido antes de su duración prevista. Esto supone miles de euros o dólares por año entre demoliciones y reconstrucciones.

En algunos enclaves urbanos como son los centros de las ciudades o los centros comerciales, a veces se procede a la demolición de pavimentos muy caros, algunos con un coste de inversión inicial superior a los 60 euros por metro cuadrado.

Por tanto, una solución que permita desmontarse para luego reutilizar el pavimento es un avance que reduce costes en la explotación del entorno urbano.

Por otro lado, se ha demostrado que el pavimento de adoquines es una solución inadecuada para el tráfico pesado.

1b. Características principales.

Las principales características del pavimento desmontable que lo convierten en una solución competitiva en los entornos urbanos son las siguientes:

- Es válido para todos los niveles de tráfico pesado.
- Estética general, haciendo posible el uso de numerosas soluciones superficiales como, por ejemplo, piedra, mortero o sílice de colores para soluciones prefabricadas.
- Larga vida de servicio.
- Soluciones prefabricadas o in situ.
- Cada formato se puede desmontar y, más tarde, recolocar.
- Precio competitivo.
- Esta solución permite la inserción de baldosas solares y otros dispositivos.
- La solución hace posible el concepto de "Pavimento Inteligente" (PIPER, Pervasive Intelligent Pavement Enhanced Reality) y facilita el control del tráfico y las aplicaciones de movilidad.
- Fácil construcción, sin necesidad de un equipo especializado o una maquinaria especial.
- Para las soluciones prefabricadas, se garantiza el mejor control de calidad antes de la construcción.
- Se pueden construir en cualquier lugar.
- Menos consumo de energía que otras soluciones.
- Para las soluciones prefabricadas, apertura inmediata al tráfico.
- Buen comportamiento a ataques químicos.
- Los trabajos de rehabilitación no son necesarios.

- Drenaje óptimo.

1c. Ventajas del pavimento discontinuo sobre pavimentos de aglomerado asfáltico.

- Vida de servicio más larga.
- No son necesarios trabajos de rehabilitación.
- Mejor distribución de cargas en las capas granulares y menor deformación en la subestructura en comparación con el grosor medio de las soluciones de asfalto en áreas urbanas.
- No hace falta demoler en caso de reparaciones.
- Reducción de emisiones de CO2.
- Menor consumo de energía.
- Mejor drenaje.
- No es necesario un equipo especializado o una maquinaria especial.
- Mejor comportamiento a ataques químicos.
- La temperatura o la lluvia no condiciona la construcción del pavimento.
- Mejor estética.

1c. Ventajas del pavimento discontinuo sobre el pavimento de hormigón.

- Menor grosor.
- No se necesita acero.
- No hace falta maquinaria especial.
- No hace falta demoler en caso de reparaciones.
- Apertura inmediata al tráfico.



Imagen 1. Pavimento desmontable prefabricado con dos formatos

PARTE 2. GEOMETRÍA Y FORMATOS

Se han diseñado dos formatos de pavimento desmontable generales:

- Pavimentos prefabricados.
- Pavimentos in situ.

2a. Pavimentos prefabricados.

Actualmente comercializamos tres formatos: hexagonal de 20 cm de lado y cuadrangular de 33,3 de lado.

Este pavimento está compuesto de tres piezas. La primera, en una posición inferior en contacto con el suelo. La segunda, una pieza superior que proporciona el aspecto estético al pavimento con una capa superficial que incluye sílice y pigmentos (rojo, amarillo, verde, gris, etc.). Finalmente, la última pieza se coloca entre la capa inferior y la superior y constituye la junta machihembrada intermedia hecha de plástico técnico como ABS o poliamidas reforzadas con fibra de vidrio. Se recomienda el ABS reciclado. Esta junta permite la conexión entre piezas y la distribución de cada carga a las piezas que se encuentran alrededor de la pieza con carga. El grosor de la pieza superior e inferior es de 7 cm y el de la junta intermedia machihembrada, 1,8. Así el grosor total del pavimento es 15,8 cm.

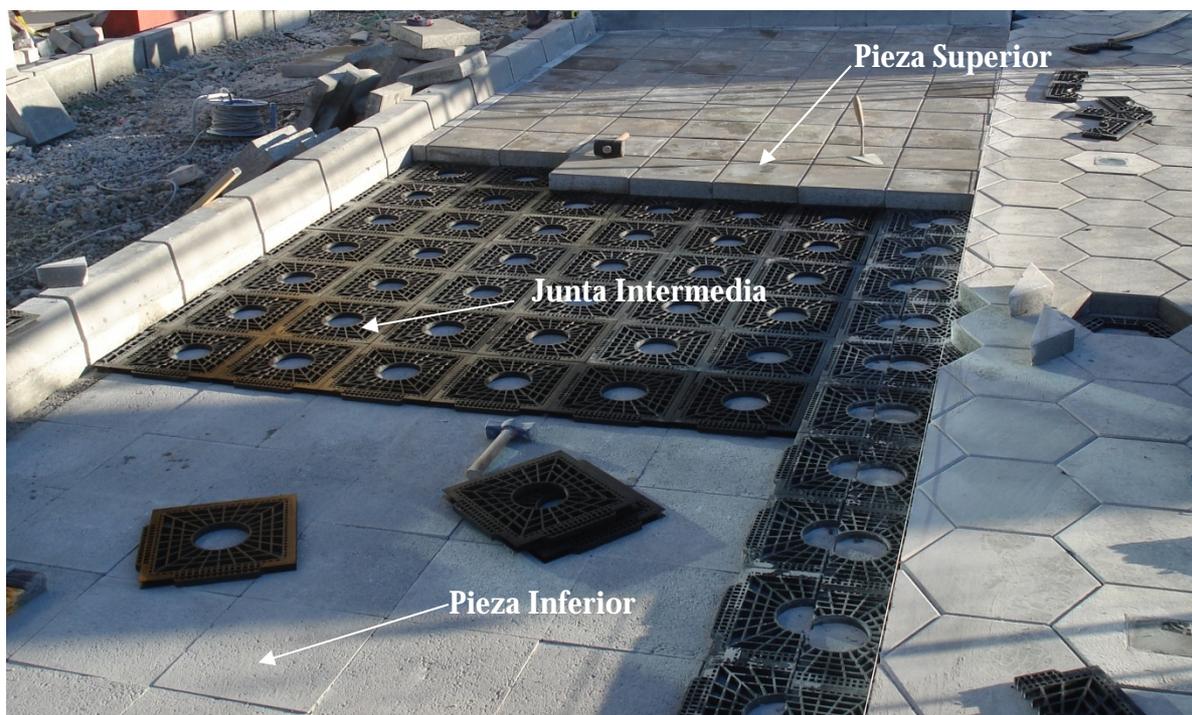


Imagen 2. Elementos de pavimento desmontable prefabricado.

2b. Pavimentos in situ.

En este caso, la solución se lleva a cabo en el mismo lugar donde el pavimento va a ser instalado. Esto permite un producto más barato, aunque al menos necesita 4 días para asegurar el curado del hormigón. En este caso, usamos moldes hechos de ABS reciclado. Se procede a rellenar los moldes con el hormigón. Para crear la junta superficial, la parte superior del molde se puede quitar una vez endurecido el hormigón. Estos moldes tienen una forma machihembrada que permite la conexión entre piezas y la distribución de las cargas.

En la actualidad comercializamos dos formatos: hexagonal in situ de 15 cm y cuadrangular in situ de 40 cm de lado. Para los hexagonales, la unión machihembrada es de hormigón mientras que, para los cuadrangulares, es de plástico técnico. El formato hexagonal de 15 cm se denomina "hexatrípeto".

Esta solución es ideal para usar pavimento de piedra como acabado superficial (granito, por ejemplo).

La altura de cada molde es de 13,8 cm. Los moldes para la formación de la junta superficial en hormigón añaden 2 cm más, llegando hasta los 15,8 cm. Estos últimos moldes no se usan cuando se va a utilizar piedra u otros materiales como acabado superficial.

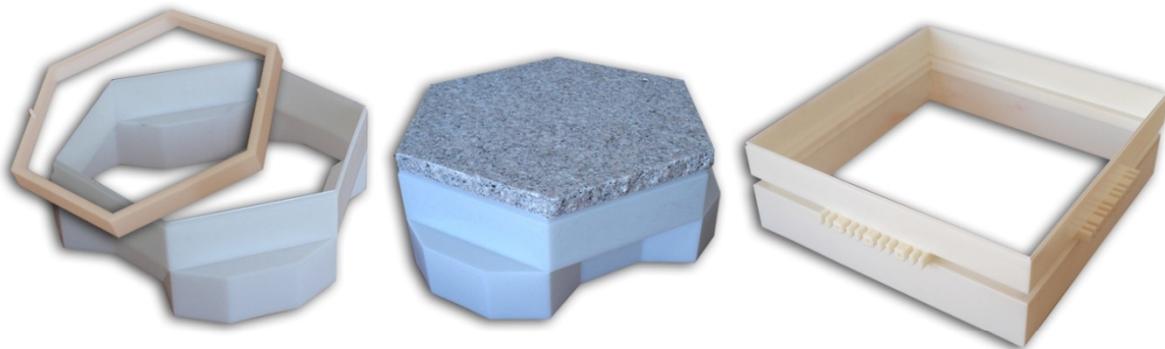


Imagen 3. Imágenes de pavimento desmontable in situ.

2c. Desmontaje y reutilización.

Para las soluciones prefabricadas, el desmontaje de las piezas es sencillo. Una ventosa de cien kilos es suficiente para desmontar la primera pieza superior, más tarde la junta intermedia y finalmente la baldosa inferior. Cuando se vayan a volver a montar, el proceso se podrá hacer manualmente de la misma forma en la que fueron instalados la primera vez.

Para las soluciones in situ con junta intermedia de plástico, se necesitará cortar la primera conexión al menos en dos piezas. Con una simple radial es suficiente. Una vez se desmontan estas dos piezas pueden retirarse todas las demás. Finalmente, cuando se ha hecho la reparación, el pavimento se puede volver a utilizar montando todas las piezas excepto las dos primeras, que se reconstruirán con nuevos moldes rellenos de hormigón. Las dos piezas cuya junta intermedia fue cortada pueden restaurarse con un conector de acero situado en el orificio horizontal de la junta intermedia y, por tanto, se puede volver a utilizar en otros pavimentos. El diámetro del orificio es de 6 mm.

Para los "hexatripetos" in situ se utilizará una ventosa para desmontar las piezas mediante desplazamiento vertical (se recomienda una ventosa de al menos cien kilos); se deberán tomar medidas de seguridad para realizar esta operación.

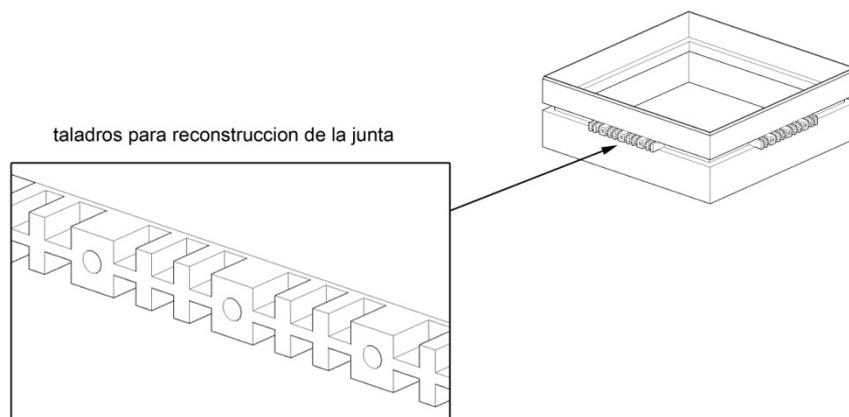
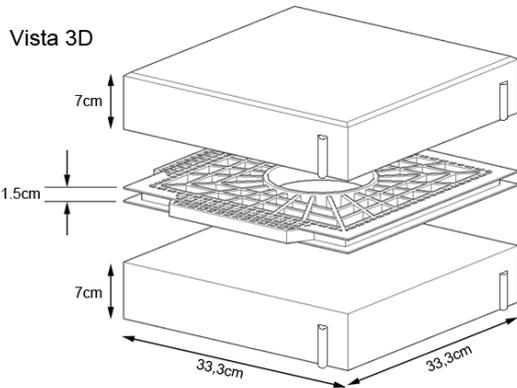


Imagen 4. Detalle de junta de pavimento desmontable in situ rectangular.

2d. Fichas geométricas.

PDP-SQ333

PREFABRICADO RECTANGULAR DE 33,3 CM DE LADO



PIEZA SUPERIOR:

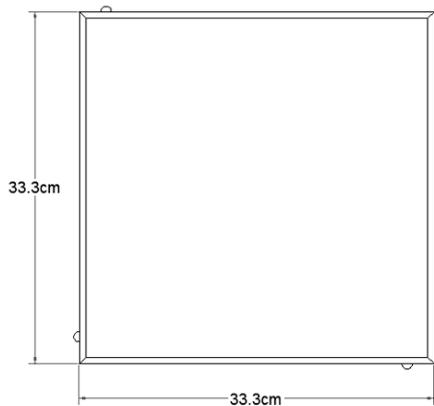
MATERIALES: (PARA DOSIFICACIÓN VER GUÍA)
 CAPA SUPERIOR: SÍLICE + COLORANTE
 CAPA INFERIOR: RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN 3,6 MPa

PIEZA INTERMEDIA:

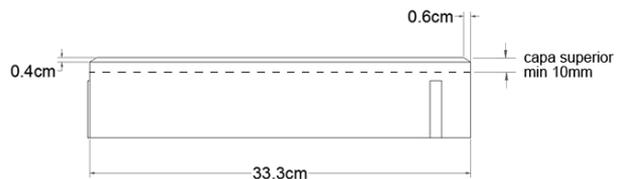
MATERIAL ABS (E 2100 MPa)

PIEZA INFERIOR:

MATERIALES: (PARA DOSIFICACIÓN VER GUÍA)
 RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN: 3.6 MPa

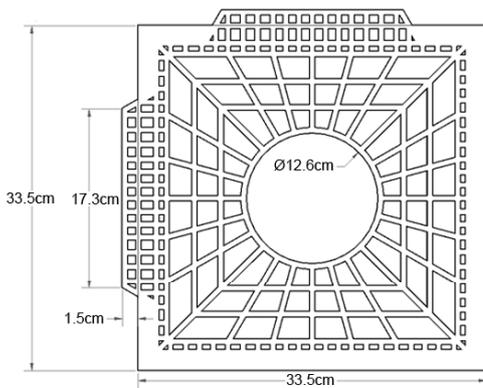


Pieza Superior

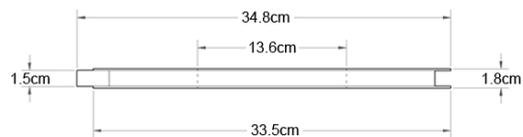


Planta

Alzado

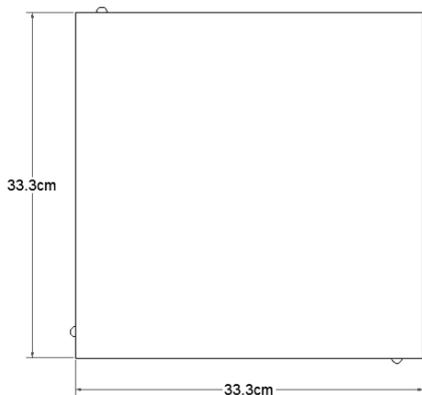


Pieza Intermedia



Planta

Alzado



Pieza Inferior



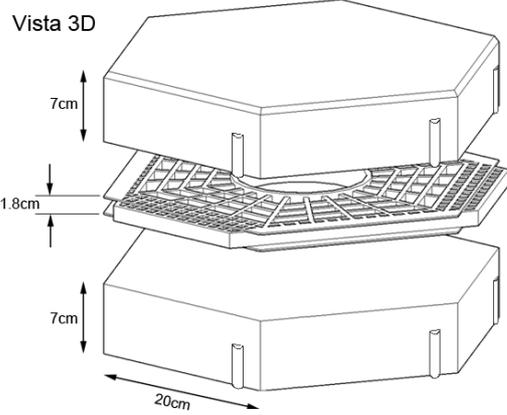
Planta

Alzado

Imagen 5. Geometría de pavimento desmontable prefabricado de 33,3 x 33,3 cm.

PDP-HEX200

PREFABRICADO HEXAGONAL 20 CM DE LADO



PIEZA SUPERIOR:

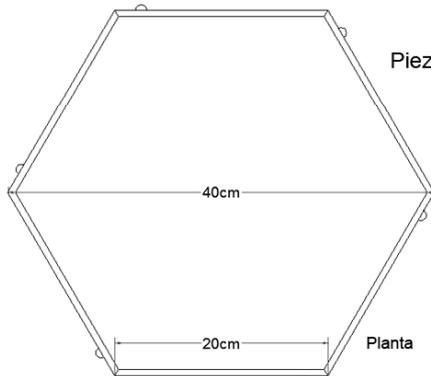
MATERIALES: (PARA DOSIFICACIÓN VER GUÍA)
CAPA SUPERIOR: SÍLICE + COLORANTE
CAPA INFERIOR: RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN 3,6 MPa

PIEZA INTERMEDIA:

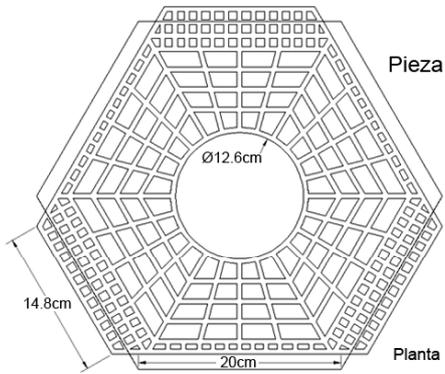
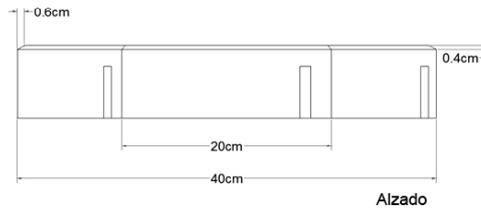
MATERIAL ABS (E 2100 MPa)

PIEZA INFERIOR:

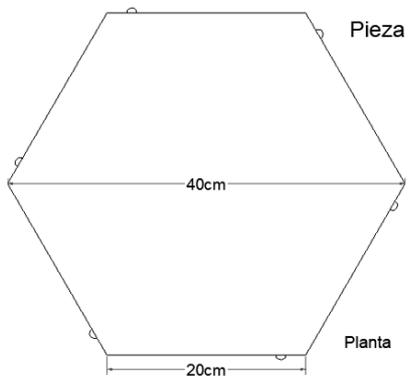
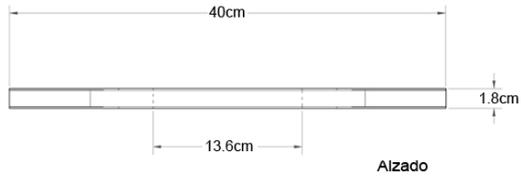
MATERIALES: (PARA DOSIFICACIÓN VER GUÍA)
RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN: 3,6 MPa



Pieza Superior



Pieza Intermedia



Pieza Inferior

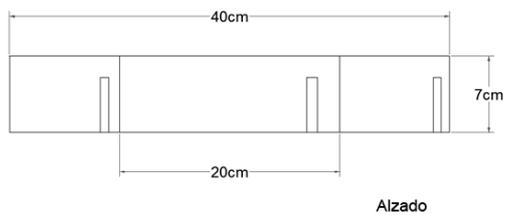
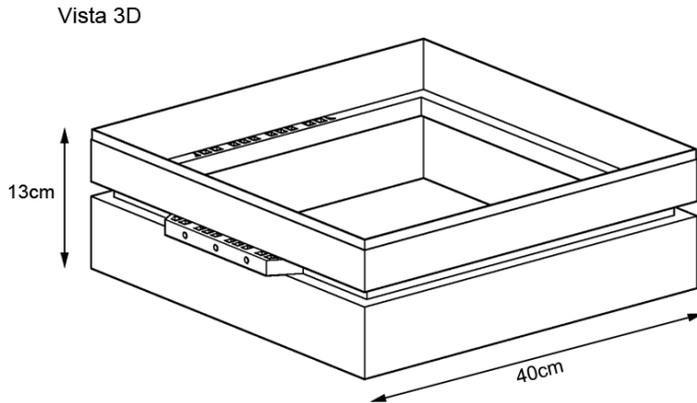


Imagen 6. Geometría de pavimento desmontable hexagonal de 20 cm de lado.

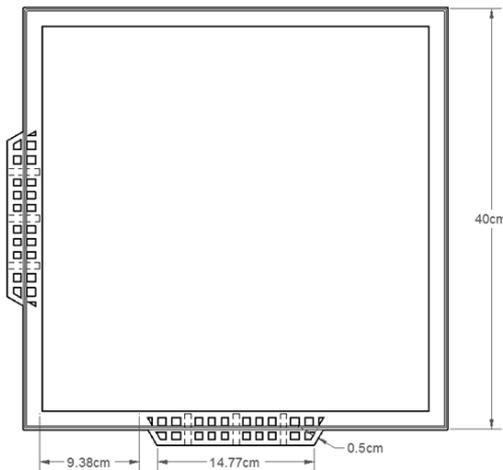
PDI-SQ400

IN SITU RECTANGULAR 40 CM DE LADO

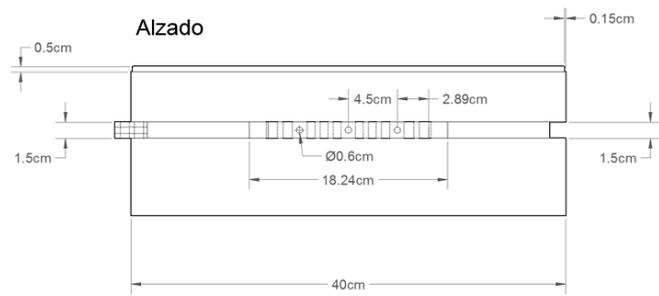


MATERIALES: ABS (E 2100 MPa)

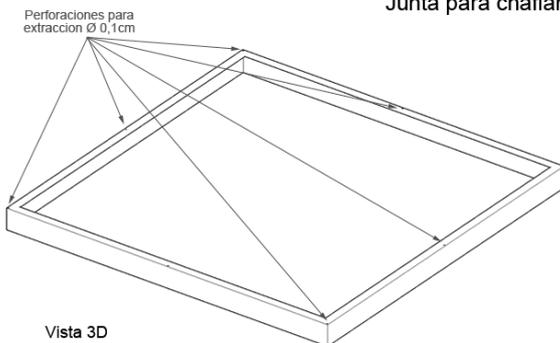
Planta



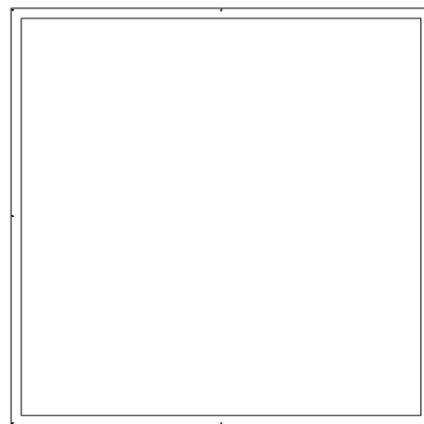
Alzado



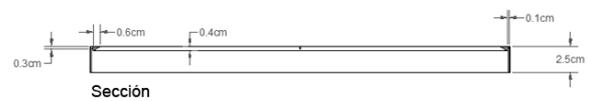
Junta para chafán



Vista 3D



Planta



Sección

Imagen 7. Geometría de pavimento desmontable in situ rectangular de 40 cm de lado.

PDP-HEX150

IN SITU HEXAGONAL 15 CM DE LADO IN SITU, "HEXATRÍPETO".

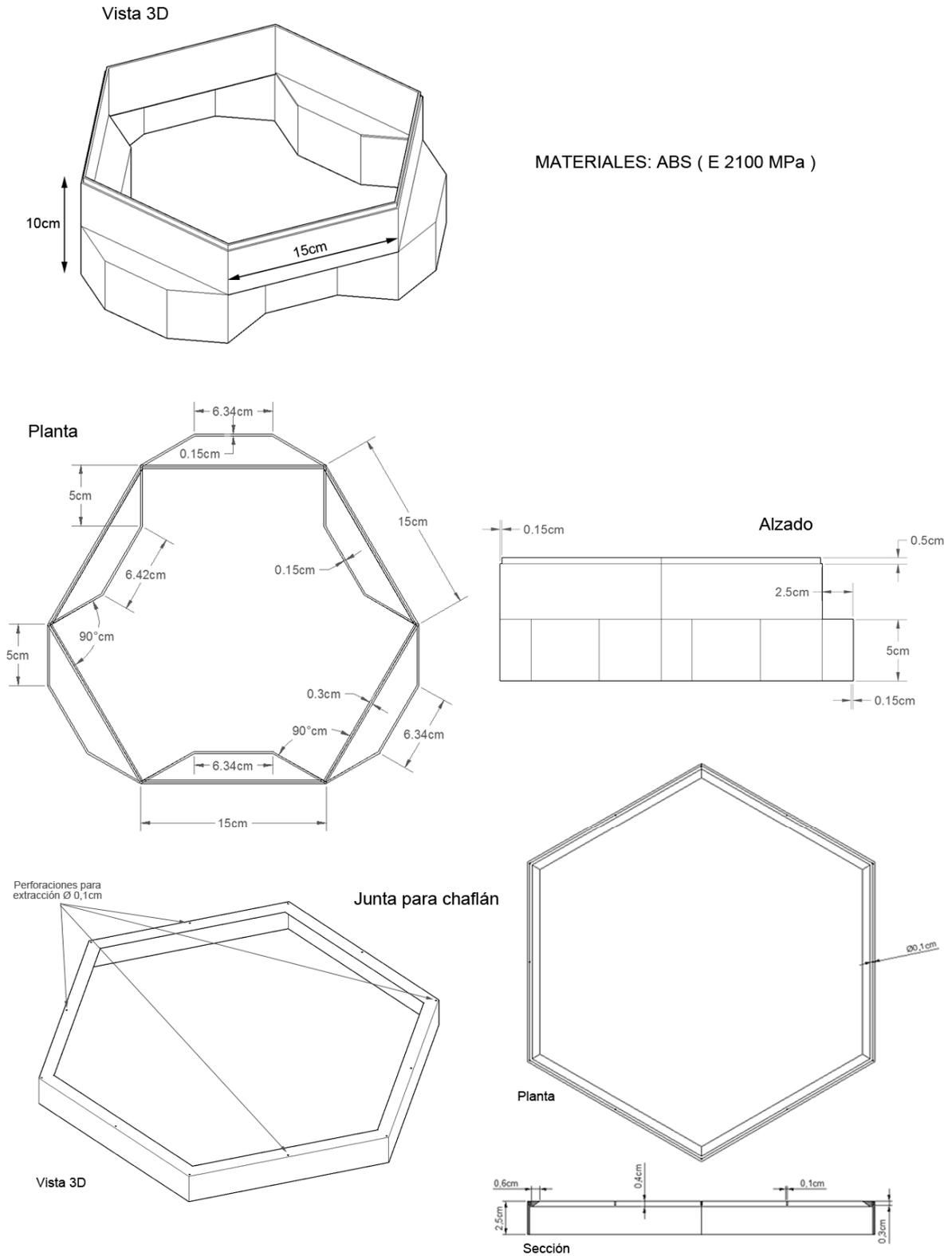
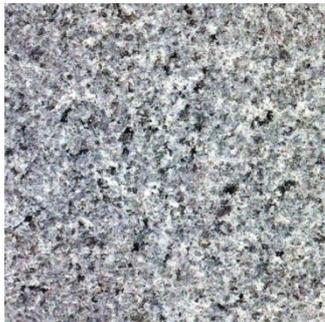


Imagen 8. Geometría de pavimento desmontable in situ hexagonal 20 cm de lado.

2e. Terminaciones superficiales.

ACABADOS EN GRANITO



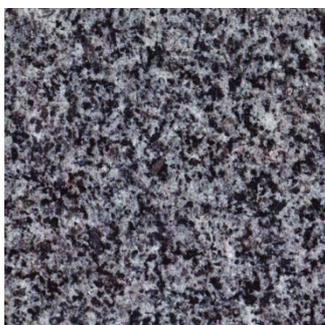
G00



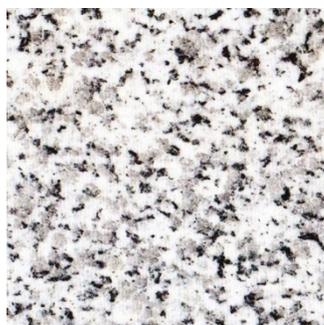
G01



G02



G03



G04



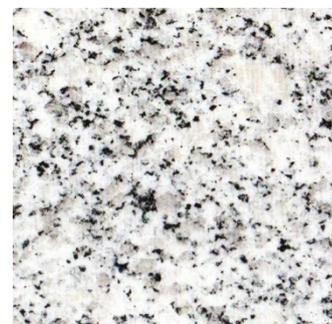
G05



G06



G07



G08



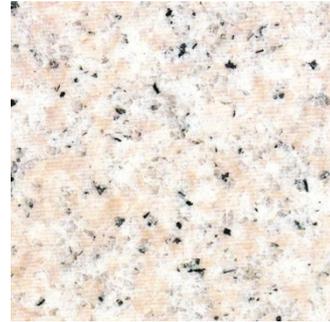
G09



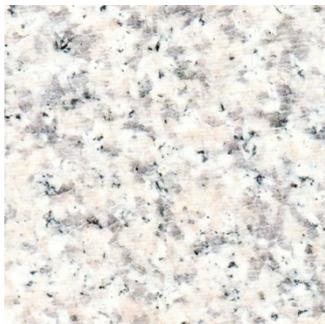
G010



G11



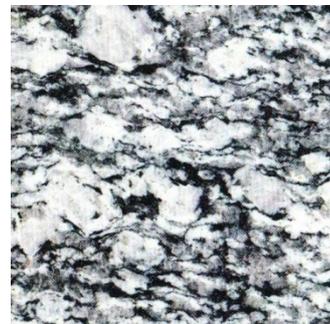
G12



G13



G14



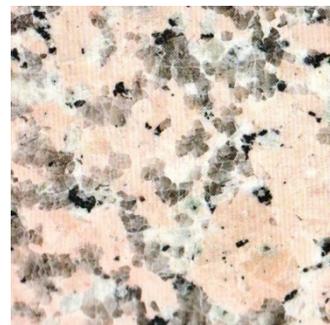
G15



G16



G17



G18



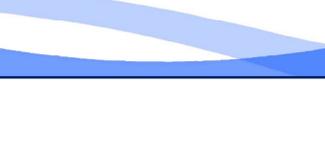
G19



G20



G21



G22



G23

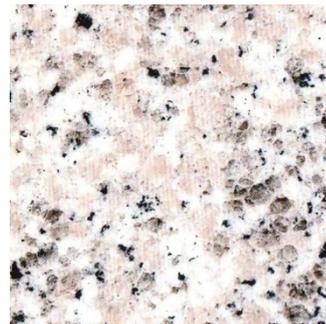




G24



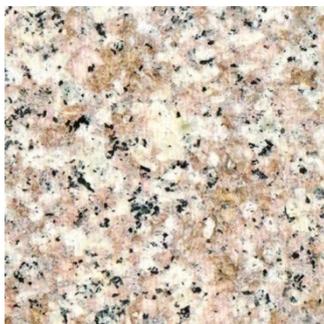
G25



G26



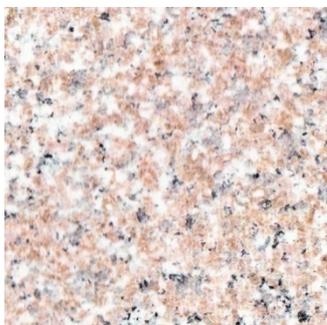
G27



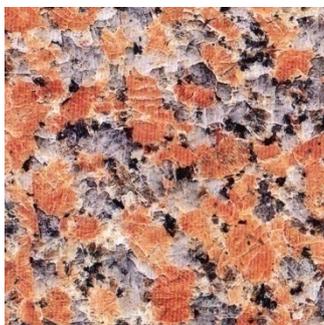
G28



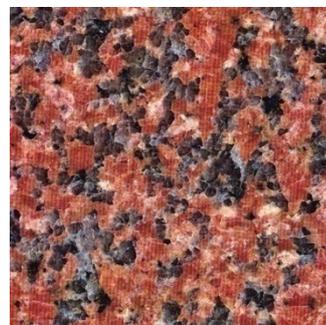
G29



G30



G31



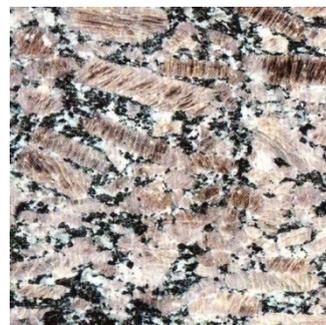
G32



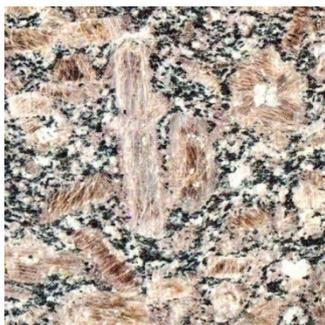
G33



G34



G35



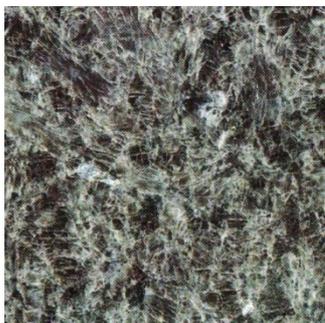
G36



G37



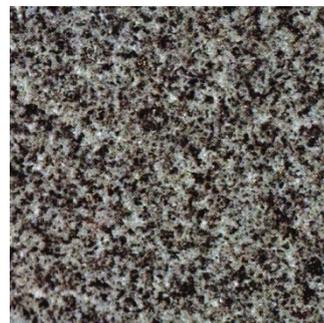
G38



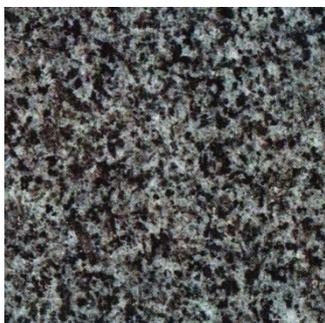
G39



G40



G41



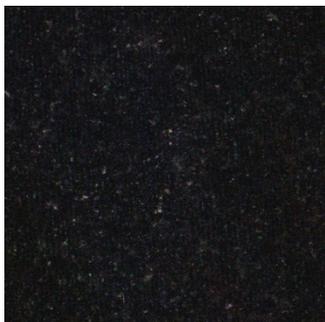
G42



G43



G44



G45



G046



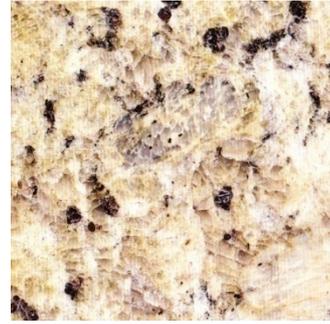
G47



G48



G49



G50



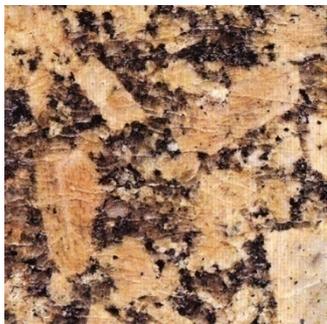
G51



G52



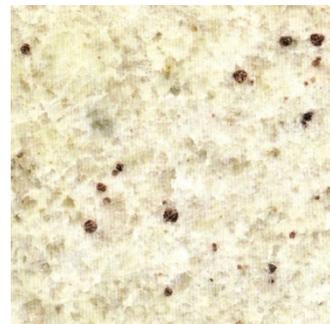
G53



G54



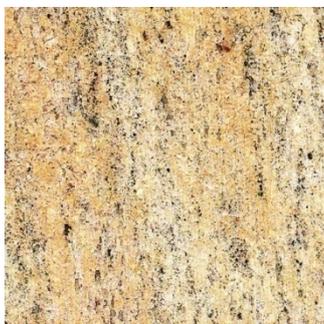
G55



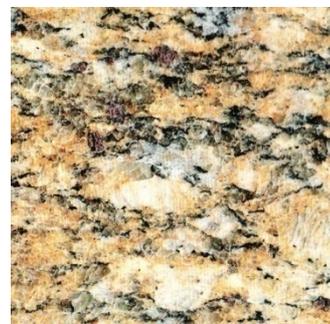
G56



G57



G58



G59



G60



G61



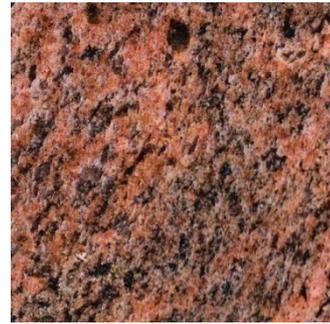
G62



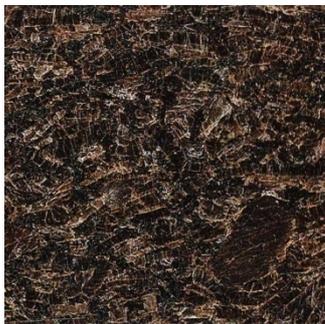
G63



G64



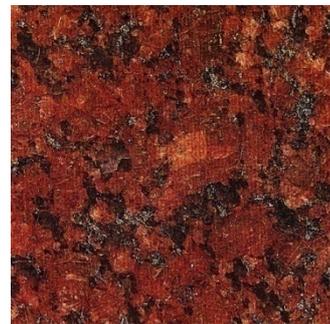
G65



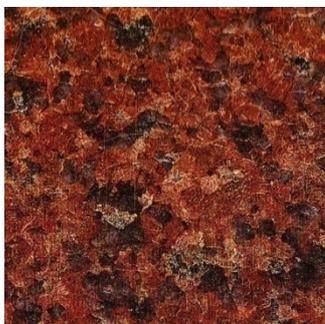
G66



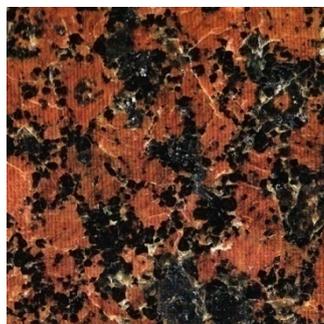
G67



G68



G69



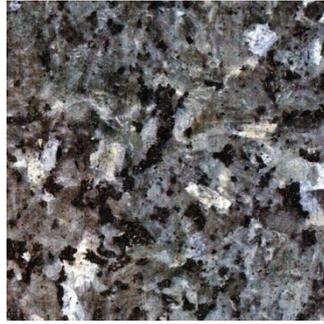
G70



G71



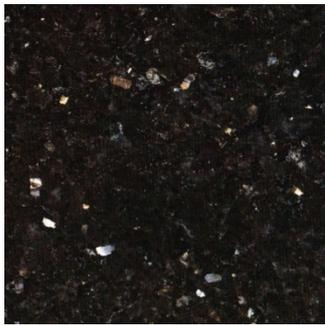
G72



G73

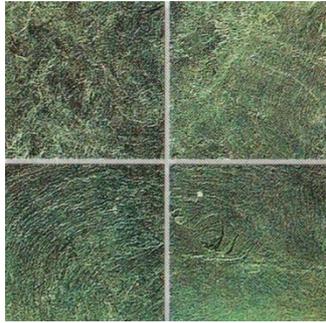


G74



G75

ACABADOS EN PIZARRA



P01



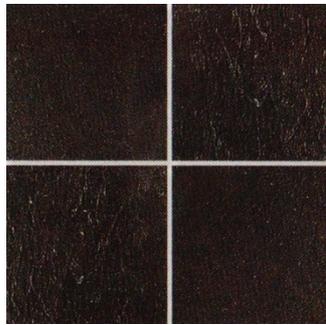
P02



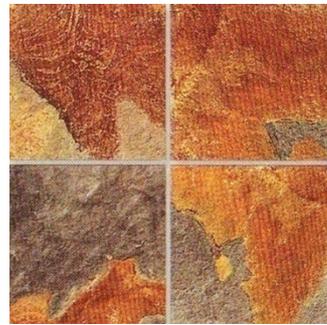
P03



P04



P05



P06



P07



P08

COLORES DISPONIBLES BALDOSAS IN – SITU



CI01



CI02



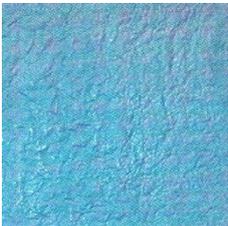
CI03



CI04



CI05



CI06



CI07



CI08



CI09



CI10



CI11

COLORES DISPONIBLES BALDOSAS PREFABRICADAS



CP01



CP02



CP03



CP04

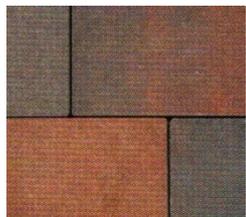


CP05



CP06

COLORES MIXTOS BALDOSAS PREFABRICADAS



MI01



MI02



MI03

PARTE 3. MATERIALES

A continuación se resumen las principales características de los materiales utilizados en los pavimentos desmontables.

3a. ABS en juntas para pavimentos prefabricados y en moldes para soluciones in situ.

Módulo de elasticidad, E 2100 MPa y radio de Poisson $\nu=0,33$.

El resto de propiedades se indican en la siguiente tabla:

	Método de ensayo	Condiciones de ensayo	Unidad	Valor
Propiedades mecánicas				
Resistencia a rotura	ASTM D 638	1/8", 6 mm/min	MPa	40
Estiramiento a rotura	ASTM D 638	1/8", 6 mm/min	%	30
Resistencia a flexión	ASTM D790	1/4", 2.8 mm/min	Kg/cm ²	540
Módulo de elasticidad	ASTM D 638	1/8", 6 mm/min	MPa	2.100
Módulo de flexión	ASTM D 790	1/4", 2.8 mm/min	MPa	1.900
Dureza Rockwell	ASTM D 785	1/2"	Scale R	R-108
Propiedades al impacto				
Impacto IZOD con entalla a temperatura ambiente	ASTM D 256	1/4", 23° C	Kg-cm/cm	16
		1/8", 23° C	Kg-cm/cm	25
Propiedades térmicas				
VICAT 120° C./h	ASTM D 1525	1/8", 50°C/hr	°C	104
Recocido (85°C, 8 hr)	ASTM D 648	1/4", 120°C/hr	°C	98
Sin recocido			87	
Índice de flujo de fusión	ASTM1238	200°C, 5 kg	g/10min	2,7
Propiedades físicas				
Gravedad específica	ASTM D 792		g/cm3	1.05
Ensayo de inflamabilidad	UL 94			1/16" HB

Tabla 1-1. Propiedades ABS

3b. Hormigón para pavimento prefabricado.

Las dosis recomendadas son las siguientes:

Hormigón en bruto, (capa inferior de la baldosa superior y la baldosa inferior):

Arena, (0-4 mm)	1100 Kg
Zahorra, (río) (8-10 mm)	330 Kg

Zahorra, (artificial) (4-8 mm)	330 Kg
Cemento 42,5 R	245 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2,5 L
Otros aditivos	0,5 L
Agua	50-65 l, (según el contenido de cemento)

Capa superior de la baldosa superior

Sílice	100 Kg
Zahorra, (artificial) (1-2 mm)	75 Kg
Cemento 42,5	45 Kg, (contenido mínimo)
Aditivos	0,1 l
Colorante	1,5-2,5 Kg, (cuando se sepa el color)
Agua	20-25 l, (según el contenido de cemento)

3c. Hormigón para pavimento in situ con tráfico pesado.

Zahorra	1760 Kg
Cemento 42,5 R	360 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2 l
Fibra de vidrio 36 mm longitud	18 Kg
Agua	180 l, (según el contenido de cemento)

Zahorra:

Fracción de gruesos, 8/12 mm: 40%.

Fracción de finos, 0/5 mm: 60%.

3d. Hormigón para pavimentos in situ en aceras (sin tráfico esperado).

Zahorra	1760 Kg
Cemento 42,5 R	250 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2 l
Fibra de vidrio 36 mm longitud	18 Kg
Agua	125 l, (según el contenido de cemento)

Zahorra:

Fracción de gruesos, 8/12 mm: 40%.

Fracción de finos, 0/5 mm: 60%.

3e. Hormigón para el acabado superficial de pavimentos in situ.

La dosis es la misma que para las soluciones prefabricadas (capa superior de la baldosa superior).

3f. Fibra de vidrio

- Contenido mínimo en $ZrO_2 > 15\%$.
- Longitud de la fibra: 36 mm.
- Pérdida a fuego = 2 %.
- Filamentos unidos formando hebras.
- Diámetro del filamento = 14 μ
- Masa lineal (g/km) = 2.450 Tex.
- Densidad = 2,68 g/cm³
- Alargamiento a rotura de la hebra = 4,5 %.
- Módulo de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Resistencia a la tracción de la hebra (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Resistencia a tracción del Filamento Virgen = 3.500 MPa

3g. Cemento, áridos, agua, adiciones, aditivos y pigmentos inorgánicos.

En general cumplirán la norma EN 1338 para la fabricación de adoquines, así como las normativas nacionales.

3h. Arena de sellado y base.

El objetivo de la capa base es servir como base de apoyo del adoquín inferior en soluciones prefabricadas o de apoyo de los moldes de inyección en las soluciones in situ, permitiendo su correcta compactación y nivelación.

Por su parte, el objetivo de la capa de sellado es cerrar los huecos que queden en las juntas entre adoquines tanto en las soluciones prefabricadas como in situ. Cabe indicar que a diferencia de los adoquines convencionales, en este caso la función de la capa de sellado es eliminar las posibilidades de movimiento entre los adoquines, ya que la función estructural la aporta la junta intermedia.

La granulometría de la capa base (2 mm - 5 mm) no corresponde a una arena propiamente dicha, si bien es frecuente designar a este material como arena.

El espesor de la capa base de arena será como mínimo de 2 cm a disponer sobre la capa granular a disponer sobre la explanada.

No se permite el uso de arenas con finos de carácter plástico inferiores a 75 micras, siendo la limitación de contenido máximo de materia orgánica y arcilla del 3%. En general cuando una arena sea adecuada para la fabricación de hormigón, se considerará adecuada para usarla como lecho de arena.

Se procurará que las arenas sean angulosas prohibiéndose el uso de arenas calizas. Las arenas deben estar libres de sales solubles dañinas u otros contaminantes, que provocarían la aparición de halo-eflorescencias.

Para la capa de sellado se recomienda que toda la granulometría sea inferior a 1,25 mm. Se permite emplear la misma dosificación de la capa superior de acabado en estado seco, incluyendo cemento y colorante, así como sílice para el sellado de juntas.

La granulometría de las capas de arena seguirá los siguientes usos granulométricos:

Huso granulométrico, mm	Capa base	Capa de sellado
5,000	50-100	100
2,500	10-50	100
1,250	0-5	90-100
0,630	--	60-90
0,315	--	30-60
0,160	--	15-30
0,080	--	5-10

Tabla 1-2. Granulometría de las capas de arena

PARTE 4. CONTROL DE CALIDAD.

Seguidamente resumimos los aspectos más importantes de los criterios de calidad a asegurar en los pavimentos desmontables.

4a. Control de adoquines prefabricados para pavimento desmontable:

Dimensiones nominales

Las dimensiones nominales que se definen serán las indicadas en la presente Guía, debiendo cumplir los requisitos que seguidamente se detallan.

Cabe indicar que los pavimentos desmontables destacan especialmente por la precisión geométrica de los medios de fabricación de ahí que las tolerancias geométricas sean muy estrictas.

Tolerancias dimensionales

Los adoquines deberán satisfacer las dimensiones nominales establecidas en la presente Guía. Los adoquines cumplirán los requisitos dimensionales si, para cada dimensión nominal ensayada, el valor medio de la muestra satisface la dimensión nominal declarada por el fabricante, dentro de las tolerancias establecidas.

Espesor del adoquín: +/- 1 mm.

Base del adoquín: completamente plana, sin protuberancias, entrantes o salientes, debiendo garantizarse un contacto perfecto con la junta intermedia. El contacto estará asegurado cuando la pieza no presente movimiento respecto de la junta intermedia al ser cargada.

Lado del adoquín: +/- 0,7 mm.

Diagonales interiores: +/- 1 mm

Espesor de la capa superficial del adoquín superior: no será inferior a 10 mm.

Control del aspecto

Las superficies de los adoquines no presentarán defectos superficiales en porcentaje superior al 5%. Su comprobación se realizará sobre una muestra compuesta por 20 adoquines, estando éstos secos. En caso de que los resultados de esta comprobación no sean satisfactorios, se repetirá la inspección, tomando 3 nuevas muestras de 20 adoquines cada una, hasta comprobar un total de 80 adoquines.

Textura y color

En el caso de adoquines fabricados con texturas superficiales especiales, la textura será descrita por el fabricante. Los colores pueden estar contenidos en la doble capa o en todo el adoquín, a elección del fabricante. Los adoquines descritos como de color natural no contendrán pigmentos ni cementos pigmentados. La textura, tonalidad y color de los adoquines será prácticamente uniforme en cada lote, salvo que, por razones estéticas, se haya pretendido lo contrario.

Propiedades físicas y mecánicas.

Los adoquines cumplirán las siguientes prescripciones:

Absorción de agua.

Los adoquines serán resistentes a las heladas con un coeficiente de absorción inferior al 6%.

Esfuerzo de rotura

Se exige el mismo requerimiento que a cualquier adoquín convencional. La resistencia a este esfuerzo, T_n , no será inferior a 3,6 MPa, y ninguno de los resultados individuales será inferior a 2,9 MPa.

Los adoquines cumplirán este requisito si el valor medio de la resistencia a este esfuerzo de la muestra, determinado mediante el método descrito en la norma EN 1338, no es inferior a 3,6 MPa y no se han obtenido valores inferiores a 2,9 MPa.

Desgaste por abrasión.

No será superior a 23 mm siguiendo el método de la EN 1338 en ninguno de los adoquines de la muestra.

Resbaladidad

Cumplirá las siguientes normas:

UNE ENV 12633	DIN 51130	DIN 51097	ASTM C 1028-07	
Método Péndulo	Método Rampa Pie calzado	Método Rampa Pie desnudo	CoF.DRY	CoF.WET
Clase 3	R-12	Clase C	≥ 0,6	≥ 0,6

Tabla 1-3. Resbalabilidad de los pavimentos.

4b. Productos de inyección

Dimensiones nominales

Las dimensiones nominales que se definen serán las indicadas en la presente Guía, debiendo cumplir los requisitos que seguidamente se detallan.

Tolerancias dimensionales

Los productos de inyección deberán satisfacer las dimensiones nominales establecidas en la presente Guía. Cumplirán los requisitos dimensionales si, para cada dimensión nominal ensayada, el valor medio de la muestra satisface la dimensión nominal declarada por el fabricante, dentro de las tolerancias establecidas.

Espesor de cara de inyección: $\pm 0,1$ mm.

Alturas de lados: $\pm 0,1$ mm.

Longitud de lados: $\pm 0,2$ mm.

Diagonales interiores: $\pm 0,25$ mm

Alineación de segmentos rectos: máxima flecha: $\pm 0,3$ mm.

Integridad geométrica

No se admiten unidades de inyección defectuosas en un porcentaje superior al 0,5% en las que no se haya completado la geometría de la pieza por error en el proceso de fabricación, o bien presente rechupes, huecos, fisuras o taladros.

Solapes entre piezas

Las piezas podrán machihembrarse entre sí sin necesidad de ejercer presión o deformar las piezas. El cumplimiento de las tolerancias dimensionales debe garantizar este aspecto.

Alineación de bordes y contacto entre piezas.

Las paredes de los bordes no presentarán flechas superiores a las indicadas como tolerancias dimensionales, certificándose el correcto contacto entre piezas.

Textura y color

Para empleo de materiales reciclados se admite que el color no sea uniforme.

Propiedades mecánicas, de impacto, térmicas y físicas.

Los productos de inyección cumplirán las prescripciones indicadas en la tabla 1.

4c. Control de adoquines ejecutados in situ:

Dimensiones nominales

La ejecución de los adoquines in situ se ceñirá a las dimensiones de los productos de inyección, no debiendo emplear unidades rotas o que no se ajusten a las tolerancias dimensionales.

Control del aspecto

Las superficies de los adoquines no presentarán piquetes, irregularidades superficiales o salientes. Las unidades ejecutadas in situ que presenten tales defectos deberán retirarse para volver a ser ejecutadas. Se controlará especialmente que una vez ejecutada la capa superficial del adoquín no sea pisada.

Textura y color

Los colores pueden estar contenidos en la doble capa o en todo el adoquín, a elección del fabricante. Se procurará que la textura, tonalidad y color de los adoquines sea uniforme debiendo mantenerse uniforme la dosificación de la capa de terminación del adoquín. Esta capa no será inferior a 20 mm.

Propiedades físicas y mecánicas.

Los adoquines cumplirán idénticas prescripciones que los adoquines prefabricados con la excepción del ensayo de rotura que sustituye por el ensayo de resistencia a flexotracción en probeta prismática. Para el control y la elaboración de ensayos las muestras se harán fuera del pavimento con el mismo material de relleno.

Absorción de agua.

Los adoquines serán resistentes a las heladas con un coeficiente de absorción inferior al 6%.

Resistencia a flexotracción.

Se exige que en el momento de apertura al tráfico la resistencia a flexotracción sea superior a 3,6 MPa, y ninguno de los resultados individuales será inferior a 2,9 MPa.

Los adoquines cumplirán este requisito si el valor medio de la resistencia a este esfuerzo de la muestra, determinado mediante el método descrito en la norma UNE 83300:1984, UNE 83301:1991, UNE 83305:1986, no es inferior a 3,6 MPa y no se han obtenido valores inferiores a 2,9 MPa. Se recomienda emplear probetas de 15x15x60.

Desgaste por abrasión.

No será superior a 23 mm siguiendo el método de la EN 1338 en ninguno de las piezas de la muestra.

Resbaladidad

Cumplirá las siguientes normas:

UNE ENV 12633	DIN 51130	DIN 51097	ASTM C 1028-07	
Método Péndulo	Método Rampa Pie calzado	Método Rampa Pie desnudo	CoF.DRY	CoF.WET
Clase 3	R-12	Clase C	≥ 0,6	≥ 0,6

Tabla 1-4. Resbaladidad en pavimentos desmontables

4d. Control en el proceso de fabricación y suministro

Adoquines in situ o prefabricados.

Se revisará adecuadamente la dosificación seleccionada. Cada componente cumplirá las prescripciones indicadas en esta guía y en la normativa de aplicación.

Tanto para ejecuciones in situ como prefabricadas la mezcla tiene una influencia muy importante en la obtención de niveles de calidad óptimos del producto terminado. La mezcla de los componentes debe ser efectuada a través de una mezcladora que permita garantizar la máxima homogeneidad de la amasada. El tiempo de mezcla, medido a partir del final de la carga de todos los componentes previstos, debe ser suficiente para garantizar la homogeneidad de la amasada.

La vibración de las piezas ejecutadas in situ debe garantizar la ausencia de oquedades y vacíos interiores y el llenado completo.

En el caso de la vibro-compresión en prefabricados será muy importante el control de la uniformidad geométrica de la planta de vibración evitando irregularidades fuera de tolerancias. De la misma forma se controlará la regularidad de los moldes metálicos y los contra-moldes.

El curado no será inferior a dos semanas en el caso de elementos prefabricados y 7 días en el caso de soluciones in situ sin apertura al tráfico.

Los adoquines prefabricados se suministrarán en palés con una superficie media de 7 a 10 metros cuadrados por palé. Cuando lo requiera el cliente los palés tendrán certificado fitosanitario.

Cada palé de adoquín prefabricado incluirá una identificación con los siguientes datos:

- Identificación de la marca ACTISA o similar.
- Identificación del fabricante y fábrica.
- Indicación de adoquín para pavimento desmontable y tipología.
- Identificación de sus dimensiones nominales.
- Identificación del producto mediante la palabra "PAVIMENTO DESMONTABLE PREFABRICADO-ADOQUÍN".
- Identificación de la fecha de prensado.

La identificación quedará reflejada en el albarán de entrega, así como en el embalaje del palé en al menos dos puntos.



Imagen 9. Palé de piezas prefabricadas.

Piezas de inyección.

Durante el proceso de inyección se vigilará el correcto funcionamiento del molde, la apertura de correderas y la expulsión de la unidad enfriada.

La pieza se retendrá en el molde antes de su expulsión el tiempo necesario para evitar deformaciones.

Los gránulos o pellet del material de inyección deberán ser adecuados para el proceso de inyección garantizando el llenado completo del molde y la reproducción perfecta de la pieza.

El fabricante deberá calibrar adecuadamente su equipo de inyección, (tiempos, presión, etc...) a efectos de garantizar las prescripciones del producto establecidas en la presente guía.

Por su parte cada palé de pieza inyectada incluirá la siguiente información:

- Identificación de la marca ACTISA o similar.
- Identificación del fabricante y fábrica.
- Indicación de pieza inyectada para pavimento desmontable y tipología.
- Identificación de sus dimensiones nominales.
- Identificación del producto mediante la palabra "PAVIMENTO DESMONTABLE PREFABRICADO-JUNTA DE INYECCIÓN" o bien cuando sea in situ "PAVIMENTO DESMONTABLE IN SITU-CASETÓN PERDIDO"

- **Identificación de la fecha de inyección.**



Imagen 10. Palé de juntas de inyección.

4e. Control en recepción.

Adoquines prefabricados

En el momento de la entrega se dará conformidad a la cantidad, marcado y aspecto (defectos superficiales, textura, color, geometría y regularidad de la base). De entre los adoquines entregados, se tomarán al azar los necesarios para la comprobación de "aspecto", tomando una muestra de 20 adoquines por cada 2000 m² o fracción, suministrados de un mismo modelo y color. Se cumplirán las prescripciones indicadas en la presente guía en relación al aspecto, textura y color y regularidad de la base. Para este último aspecto se comprobará el buen contacto con las juntas intermedias de ABS. El cliente rellenará una ficha de validación al transportista para su entrega al fabricante o empresa comercializadora.

En el caso de que los resultados de esta comprobación no sean satisfactorios, se repetirá esta inspección, tomando tres nuevas muestras de 20 adoquines cada una por cada 2000 m² de adoquines suministrados en el día de un mismo modelo y color. El lote será aceptado si no aparecen más de cuatro adoquines que presenten defectos.

Piezas de inyección

De la misma forma en el momento de la entrega se dará conformidad a la cantidad, marcado y geometría (integridad geométrica, capacidad de machihembrado, alineación de bordes y contacto entre piezas). De entre las piezas entregadas, se tomarán al azar las necesarias para la comprobación, tomando una muestra de 50 unidades por cada 10.000 o fracción, suministrados de un mismo modelo. Se cumplirán las prescripciones indicadas en la

presente guía en relación a la integridad geométrica, machihembrado, alineación de bordes y contacto entre piezas. El cliente rellenará una ficha de validación al transportista para su entrega al fabricante o empresa comercializadora.

En el caso de que los resultados de esta comprobación no sean satisfactorios, se repetirá esta inspección, tomando tres nuevas muestras de 50 piezas cada una por cada 10.000 de piezas inyectadas de un mismo modelo. El lote será aceptado si no aparecen más de dos piezas que presenten defectos.

4f. Control en laboratorio

Tamaño del lote:

Adoquines prefabricados: 2000 m².

Adoquines in situ: 2000 m².

Piezas de inyección: 10.000 unidades

Material de inyección: 10.000 unidades.

Tamaño de la muestra: unidades para la elaboración de ensayos.

Adoquines prefabricados: 3 x (6 unidades). Adoquines que hayan superado control de recepción. (Ensayos por triplicado)

Adoquines in situ: 3 x (6 unidades). Adoquines fabricados con el mismo material de relleno de las piezas in situ. (Ensayos por triplicado).

Piezas de inyección: 20 unidades. Piezas que hayan superado el control de recepción.

Material de inyección: material de pellet ó gránulos para la elaboración de probetas, (60 kg). Se inyectarán tres especímenes con las dimensiones fijadas en las normas DIN para cada ensayo. El material también podrá obtenerse por la trituración de piezas del lote hasta conseguir los 60 kilogramos.

Conservación.

Las muestras estarán debidamente mantenidas y conservadas hasta el día de la elaboración de cada ensayo. Las piezas de inyección deberán mantenerse protegidas de insolación.

Realización de ensayos.

- características geométricas.
- absorción de agua.
- resistencia a rotura.
- resistencia a la abrasión.
- resbaladidad.

Piezas prefabricadas.

Se elaborarán los siguientes ensayos empleando tres piezas:

Las piezas empleadas para el control dimensional podrán ser utilizadas para los ensayos destructivos.

Se reflejará la edad de las piezas en las actas de ensayo, pero se deberá tener en cuenta que es a partir de los 28 días de la fecha de su prensado cuando los adoquines deben cumplir lo especificado para sus características físicas.

El envío de las muestras para los ensayos que vayan a realizarse deberá hacerse en las tres semanas siguientes a la recepción de los adoquines, y los ensayos en un plazo inferior a las cuatro semanas desde la misma fecha.

La designación del laboratorio se acordará entre el comprador y el fabricante. También se fijarán de mutuo acuerdo la fecha de la toma de muestras y de la realización de los ensayos. En ambas operaciones, el fabricante podrá estar siempre presente o representado.

Las comprobaciones y ensayos así como la recepción podrán ser también realizadas en las instalaciones del fabricante, con consentimiento del comprador.

El receptor deberá comunicar al fabricante su disconformidad o reparo, inmediatamente después de conocer el resultado de los ensayos.

Si se procediese a la colocación de los adoquines antes de realizar los ensayos, se entiende que el receptor presta su total conformidad a los materiales ya colocados.

Si los resultados de los ensayos realizados sobre cada lote son satisfactorios, el suministro es aceptado.

Si uno o varios ensayos no presentan resultados satisfactorios, se procederá a realizar, para las características en duda, dos series de ensayos de contraste, salvo que el fabricante decida retirar el lote. Estos ensayos también se realizarán en un laboratorio de común acuerdo entre el comprador y el fabricante, debiendo haber transcurrido un mínimo de 28 días desde la fecha de prensado.

Si estos controles complementarios son satisfactorios, el lote es aceptado, y si no lo son, se podrá proceder a la reclasificación del lote, si esto es posible y el comprador lo acepta, o al rechazo del mismo.

El coste de los ensayos y muestras será asumido por quien lo solicite. En caso de que los resultados finales sean desfavorables, estos serán por cuenta del fabricante.

Piezas ejecutadas in situ

Se elaborarán los siguientes ensayos empleando tres piezas:

- absorción de agua.
- resistencia a flexo-tracción.
- resistencia a la abrasión.
- resbaladicidad.

Se reflejará la edad de las piezas en las actas de ensayo, pero se deberá tener en cuenta que es en el momento de la apertura del tráfico, (mínimo 7 días), cuando el pavimento deba cumplir lo especificado para sus características físicas. Se admitirá la elaboración del ensayo a los 28 días de fabricarse el hormigón, considerando el 75% de la resistencia a flexotracción como el valor de la resistencia a flexotracción a 7 días.

El envío de las muestras para los ensayos que vayan a realizarse deberá hacerse en las tres semanas siguientes a la fabricación de los adoquines, y los ensayos a las cuatro semanas desde la misma fecha.

La designación del laboratorio se acordará entre el promotor y el constructor. También se fijarán de mutuo acuerdo la fecha de la toma de muestras y de la realización de los ensayos. En ambas operaciones, el constructor podrá estar siempre presente o representado.

El promotor deberá comunicar al constructor su disconformidad o reparo, inmediatamente después de conocer el resultado de los ensayos.

Si los resultados de los ensayos realizados sobre cada lote son satisfactorios, la ejecución es aceptada.

Si uno o varios ensayos no presentan resultados satisfactorios, se procederá a realizar, para las características en duda, dos series de ensayos de contraste, salvo que el constructor decida retirar el lote. Estos ensayos también se realizarán en un laboratorio de común acuerdo entre el promotor y el constructor, debiendo haber transcurrido un mínimo de 28 días desde la fecha de fabricación.

Si estos controles complementarios son satisfactorios, la ejecución del lote es aceptada, y si no lo son, se procederá a retirar el pavimento.

El coste de los ensayos y muestras será asumido por quien lo solicite. En caso de que los resultados finales sean desfavorables, estos serán por cuenta del constructor.

Piezas inyectadas

Se elaborarán los siguientes ensayos sobre la totalidad de las piezas (20 unidades por lote).

- control geométrico y tolerancias.
- densidad: ASTM D 792

Con el material de inyección, (pellets), se fabricarán los especímenes, (3), por cada uno de los siguientes ensayos:

- ASTM D638.
- ASTM D790.
- ASTM D785
- ASTM D256.
- ASTM D1525.
- ASTM D648.
- ASTM 1238.
- UL 94.

El envío de las piezas para los ensayos que vayan a realizarse deberá hacerse en la semana siguiente a la recepción en obra y el inicio de los ensayos en dos semanas desde dicha recepción. Por su parte los pellets o gránulos serán recogidos por el laboratorio en cualquier día durante la fabricación del lote; cuando no pudiera ser así el material se obtendrá por la trituración de piezas del lote correspondiente.

La designación del laboratorio se acordará entre el promotor y el fabricante. También se fijarán de mutuo acuerdo la fecha de la toma de muestras y de la realización de los ensayos. En ambas operaciones, el fabricante podrá estar siempre presente o representado.

El receptor deberá comunicar al fabricante su disconformidad o reparo, inmediatamente después de conocer el resultado de los ensayos.

Si los resultados de los ensayos realizados sobre cada lote son satisfactorios, la ejecución es aceptada.

Si uno o varios ensayos no presentan resultados satisfactorios, se procederá a realizar, para las características en duda, dos series de ensayos de contraste, salvo que el fabricante decida retirar el lote. Estos ensayos también se realizarán en un laboratorio de común acuerdo entre el promotor y el fabricante, debiendo haber transcurrido un mínimo de 28 días desde la fecha de prensado.

Si estos controles complementarios son satisfactorios, la ejecución del lote es aceptada, y si no lo son, se procederá a retirar las piezas inyectadas del pavimento.

El coste de los ensayos y muestras será asumido por quien lo solicite. En caso de que los resultados finales sean desfavorables, estos serán por cuenta del fabricante.

PARTE 5. EJECUCIÓN Y MONTAJE.

5a. Ejecución de pavimentos desmontables prefabricados:

Una vez recibidos los adoquines en obra y validados el procedimiento de ejecución consta de las siguientes fases:

1. Terminación, nivelación y compactación de capa de asiento y de capa de granular o de zahorra según el caso.
2. Extendido de arena sobre capas granulares.
3. Nivelación de arena. El espesor de arena no será inferior a 2 cm y la nivelación será validada por topógrafo.
4. Colocación de piezas de la capa inferior. Las piezas se colocarán en contacto unas con otras, dejando una junta del espesor de los tetones del adoquín.
5. Compactación del adoquín y relleno de juntas con arena de sellado.
6. Tratamiento de bordes. Los bordes deberán estar confinados por elemento rígido, (bordillo, rigola o similar); cuando no se prevea se ejecutará un zuncho con un ancho mínimo de 20 cm y una altura mínima de 12 cm. Entre el elemento rígido y las piezas de la capa inferior de pavimento desmontable se generará una llaga de un espesor mínimo de 1 cm que se tratará con mortero de cemento.
7. Colocación de la junta intermedia de inyección machihembrada.
8. Colocación de pieza superior. Las piezas quedarán en contacto entre sí, dejando una junta del espesor de los tetones del adoquín.
9. Tratamiento de borde con el mismo criterio que en la capa inferior.
10. Sellado de las juntas con arena.
11. Apertura inmediata al tráfico.



Imagen 11. Diferentes etapas ejecución pavimento prefabricado desmontable.

5b. Ejecución in situ con moldes de inyección.

Una vez recibidos los moldes de inyección en obra y validados, la ejecución del pavimento in situ consta de las siguientes fases:

1. Terminación, nivelación y compactación de capa de asiento y de la capa granular o de zahorra.
2. Extendido de arena sobre zahorra o capa granular.
3. Nivelación de arena. El espesor de arena no será inferior a 2 cm y la nivelación será validada por topógrafo.
4. Opcionalmente extendido de lámina de plástico, (espesor mínimo 200 micras), para mejorar la regularidad de la base de los adoquines.
5. Colocación de moldes de inyección machihembrados. Los moldes quedarán en contacto sin dejar huecos en las juntas por las que penetre el hormigón.
6. Recorte de moldes de inyección en bordes. Los bordes deberán estar confinados por elementos rígidos, (rigolas, bordillos o similar). Cuando no existan se ejecutará un zuncho con un ancho mínimo de 20 cm y una altura mínima de 12 cm.
7. Colocación de encofrados en puntos especiales, (arquetas, alcorques, etc.).
8. Hormigonado de moldes de inyección, con el uso de un vibrador.
9. Una vez endurecido el hormigón o bien en estado fresco (wet&wet), colocación de moldes de inyección de formación de junta.
10. Relleno de hormigón superficial de acabado.
11. Cuarenta y ocho horas más tarde retirada de junta superficial.
12. Sellado de juntas con arena.
13. Apertura al tráfico pasados siete días.

Cuando el acabado del pavimento in situ sea con empleo de elementos superficiales prefabricados o baldosa de piedra el procedimiento a partir del punto 8 será el siguiente:

8. Hormigonado de moldes de inyección, con el uso de un vibrador dejando un centímetro sin completar del molde para el posterior extendido de mortero.
9. Una vez endurecido el hormigón, (al menos veinticuatro horas más tarde), aplicación de mortero. El mortero podrá superar la altura del molde en hasta 5 mm.
10. Colocación y nivelación de la pieza de acabado.
11. Sellado de juntas en bordes.

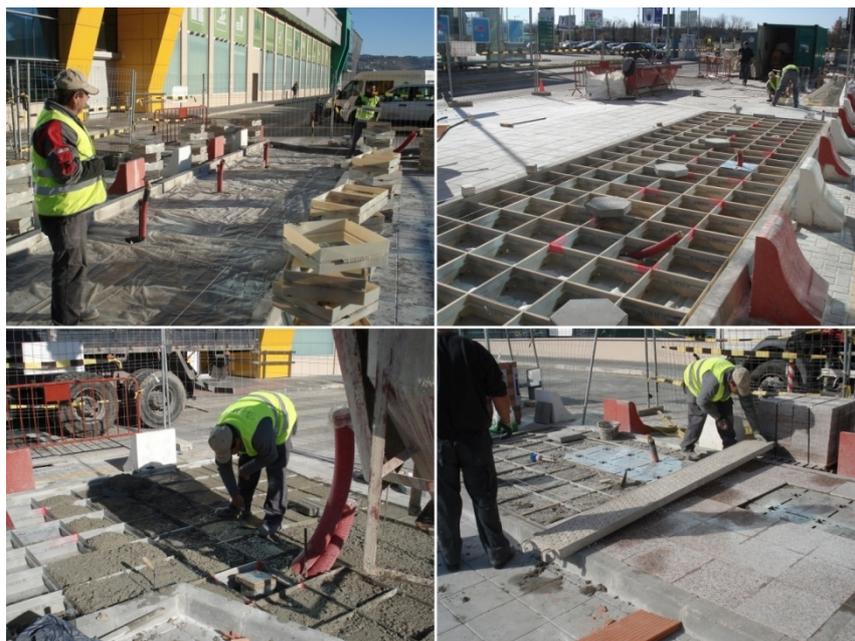


Imagen 12. Diferentes etapas ejecución pavimento in situ desmontable.

5c. Combinación de formatos.

La combinación de formatos enriquece de forma extraordinaria la estética del pavimento. Sin embargo es conveniente tratar adecuadamente las juntas ya que se convierten en puntos de debilidad estructural.

El tratamiento es diferente según se trate de pavimentos prefabricados o in situ.

Pavimentos prefabricados.

Cuando en el borde no puedan completarse piezas completas de uno de los formatos, la junta intermedia de dicho formato se prolongará hasta apoyar en al menos un cuarto de su superficie sobre la pieza contigua del otro formato; en esta última pieza el corte de la junta intermedia se adaptará dejando el espacio necesario.

Cuando ninguno de los dos formatos presente piezas completas en el borde la junta que se prolongará sobre las piezas inferiores del otro formato será la del formato donde las piezas queden con menor dimensión.



Imagen 13. Detalle de solape de la junta intermedia.

Pavimentos in situ.

En este caso deberá ejecutarse un formato disponiendo un encofrado de borde. Finalizada la ejecución de estas piezas se continuará con las del otro formato. Opcionalmente podrán tratarse las juntas o disponer planchas de inyección para evitar adherencias.



Imagen 14. Empleo de dos formatos de pavimento in situ.

PARTE 6. SOLUCIONES URBANAS.

Una de las ventajas de los pavimentos desmontables pasa por las importantes posibilidades de realizar combinaciones de colores y formatos en pro de conseguir el mejor acabado estético.

El abanico de posibilidades es enorme pudiendo ir desde una solución monocroma cuando se busque sobriedad, hasta soluciones con tres o cuatro formatos y varios colores, cuando se busque un papel importante del pavimento en la estética urbana.

Serán los arquitectos, ingenieros y diseñadores urbanos quienes busquen las mejores soluciones en cada caso. No obstante, seguidamente se describen diferentes posibilidades de combinación.

SOLUCIONES MONOFORMATO Y MONOCOLOR.

En general se trata de las soluciones de mayor sencillez constructiva. Su gran sobriedad la hace recomendable para espacios en los que interesa resaltar la arquitectura de los edificios del entorno.

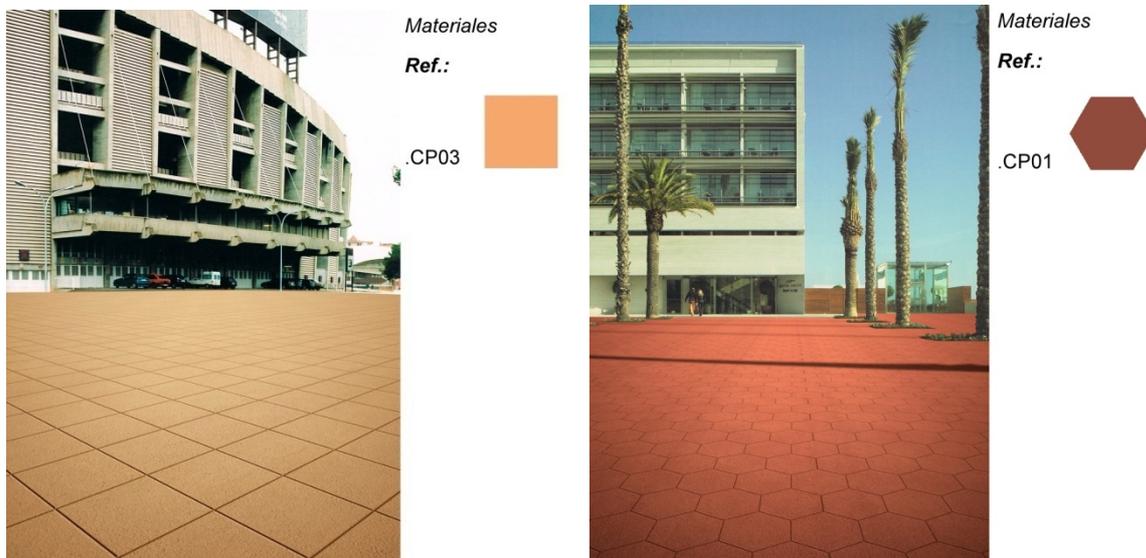


Imagen 15. Detalle de soluciones monoformato y monocolor.

SOLUCIONES MONOFORMATO Y BICOLOR.

Para soluciones prefabricadas con formato hexagonal se pueden conseguir formas ajedrezadas hexagonales mediante la disposición de medias piezas en la capa superior. En soluciones in situ se recomienda la ejecución secuencial de cada formato y la protección de las piezas acabadas para evitar proyecciones y afecciones a la capa superficial del formato terminado en primer lugar.



Materiales

Ref.:



Imagen 16. Detalle de solución monoformato y bicolor.

SOLUCIONES MONOFORMATO Y VARIOS COLORES.

De igual sencillez constructiva basta con ubicar convenientemente cada uno de los colores que interesen.



Materiales

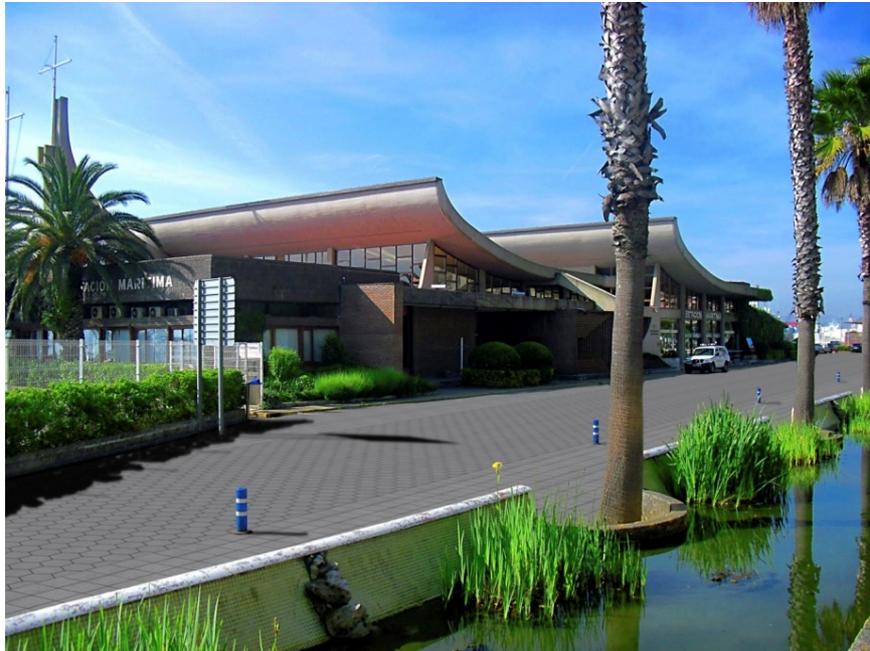
Ref.:



Imagen 17. Detalle de solución monoformato y varios colores.

SOLUCIONES MULTIFORMATO Y MONOCOLOR.

Aunque de mayor dificultad constructiva, permite aportar un mayor juego visual, pudiendo diferenciar zonas según uso, (aparcamiento, viario, acera, etc.). En el caso de soluciones prefabricadas deben ejecutarse adecuadamente los solapes de las juntas intermedias.



Materiales

Ref.:

.prefabricada CP04



.prefabricada CP04



Imagen 18. Detalle de solución de varios formatos y un sólo color.

SOLUCIONES MULTIFORMATO Y BICOLOR.

Incentivan con mayor efectividad la diferenciación de espacios urbanos.



Materiales

Ref.:

.CP04



.CP03



Imagen 19. Detalle de solución de dos formatos y dos colores.

SOLUCIONES MULTIFORMATO Y VARIOS COLORES.

Se alcanza con esta solución la mayor riqueza posible en la estética del pavimento urbano.



Materiales

Ref.:

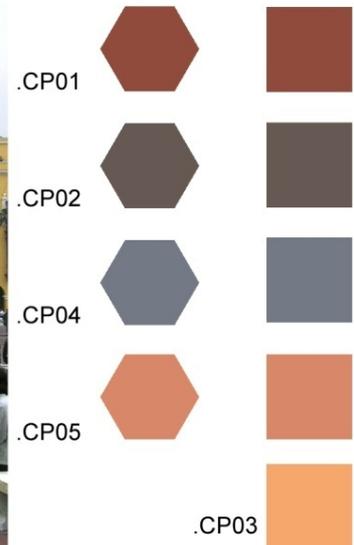


Imagen 20. Detalle de solución de varios formatos y varios colores.

SOLUCIONES EN PIEDRA, (IN SITU), UNA SÓLA TERMINACIÓN.

Las soluciones en piedra en un sólo color buscan sobriedad; también son muy adecuadas las soluciones en piedra para ambientes rurales, entornos de interés cultural o centros históricos.



Materiales

Ref.:



Imagen 21. Detalle de solución con terminación en piedra.

SOLUCIONES EN PIEDRA, (IN SITU), VARIAS TERMINACIONES.

Soluciones de gran resultado estético aunque de mayor coste. El empleo de pavimento desmontable permite reducir el espesor de piedra de forma considerable y abaratar este tipo de pavimento que se ha venido ejecutando con adoquines de piedra de gran espesor.



Imagen 22. Detalle de solución terminada con diferentes tipologías de piedra.

SOLUCIONES CON INCLUSIÓN DE BALDOSA SOLAR.

La inclusión de baldosas solares se adapta perfectamente a la geometría de los pavimentos desmontables.

Su combinación puede ser mediante soluciones de señalización, mediante luz fija o intermitente en bordes de calzada, luz decorativa, o bien con baldosas solares con inclusión de baldosas de producción energética.

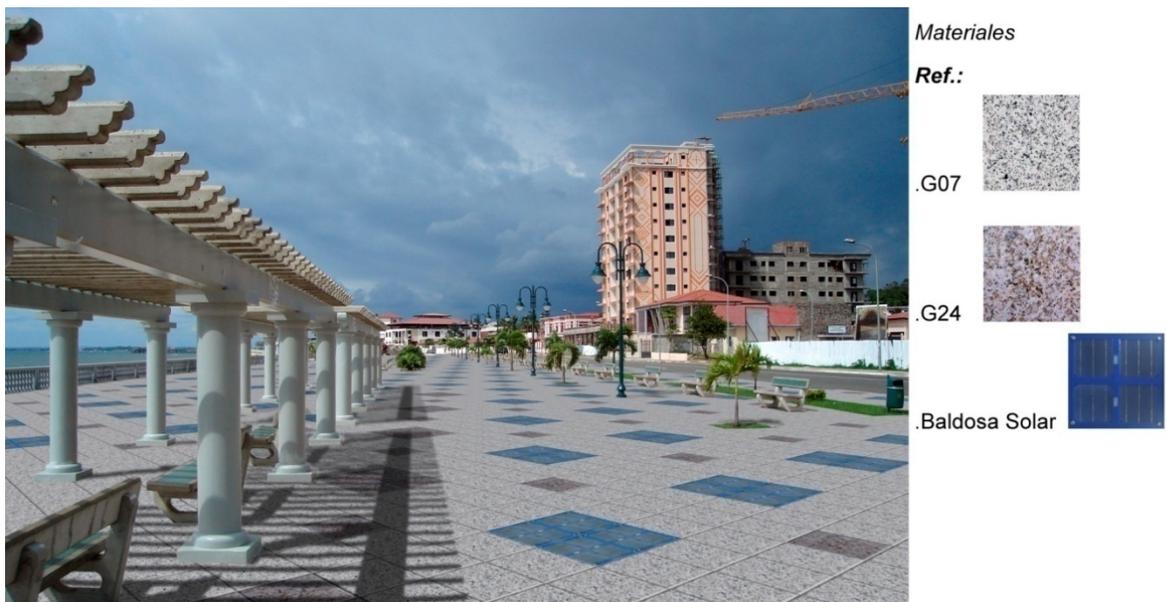


Imagen 23. Detalle de inclusión de baldosa solar en pavimento.

PARTE 7. DIMENSIONADO DE PAVIMENTOS DESMONTABLES

7a. CLASIFICACIÓN DEL TERRENO NATURAL SUBYACENTE, (TNS).

Para el dimensionado de pavimentos desmontables se sigue la clasificación de suelos y materiales común en la normativa técnica general. La abreviatura o código, designación del material y las prescripciones complementarias para su empleo en núcleo o capas de asiento se aporta en el cuadro anexo.

Abreviatura	Designación del material	Prescripciones complementarias para su empleo en	
		Núcleo de terraplén	Capas de asiento
SIN	Suelo Inadecuado	No utilizable	No utilizable
S00	Suelo Marginal	Estudio especial. No utilizable en zonas inundables	No utilizable
S0	Suelo Tolerable	CBR \geq 3 Hinchamiento (1) < 3% No utilizable en zonas inundables	No utilizable
S1	Suelo Adecuado	CBR \geq 5 Hinchamiento (1) < 3% Salvo en zonas inundables que < 1%	CBR \geq 5 Hinchamiento (1) nulo Solo utilizable sobre suelos SIN, S000 ó S0
S2	Suelo Seleccionado Tipo 2	CBR \geq 10 Hinchamiento < 1%	CBR \geq 10 Hinchamiento (1) nulo
S3	Suelo Seleccionado Tipo 3	CBR \geq 20 Hinchamiento (1) < 1%	CBR \geq 20 Hinchamiento (1) nulo
S4	Suelo Seleccionado Tipo 4	CBR \geq 20 Hinchamiento (1) < 1%	CBR \geq 40 Hinchamiento (1) nulo
S-EST1	Suelo Estabilizado in situ Tipo 1	Cal o cemento \geq 2% y CBR a los 7 días \geq 6	
S-EST2	Suelo Estabilizado in situ Tipo 2	Cal o cemento \geq 3% y CBR a los 7 días \geq 12	
S-EST3	Suelo Estabilizado in situ Tipo 3	Resistencia a compresión a 7 días \geq 1.5 MPa y Cemento \geq 3%	
Z	Zahorras	Según Art. 510 del PG-3	
ROCA	Desmonte en roca	-	Regularización con hormigón HM-20
P	Pedraplén	Según normativa	No utilizable en capas de asiento
TU	Todo uno	Según normativa	No utilizable en capas de asiento
(1)	El hinchamiento se realizará en edómetro según Norma UNE 103.601		

Tabla 1-5. Empleo de materiales en núcleo y capas de asiento.

Para realizar la clasificación del TNS, para terraplenes y para capas de asiento, el ensayo CBR se realizará con la humedad óptima del ensayo Próctor Normal y una densidad del 95% de la máxima Próctor Normal para cualquier tipo de suelo. La clasificación del TNS se hará con muestras ubicadas 2 m por debajo del saneamiento previsto en desmontes o 2 m por debajo de la superficie del desbroce en terraplenes.

7b. CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLANADA

Se consideran tres categorías de cimiento de firme:

- BAJA con módulo equivalente E_e de 60 MPa, (E1)
- MEDIA con módulo equivalente E_e de 100 MPa, (E2)
- ALTA con módulo equivalente E_e de 160 MPa, (E3).

Para los materiales tipo S2, S3, S4, Todo Uno, Zahorra Natural o Zahorra artificial se considerará el valor del módulo de elasticidad de la siguiente tabla:

Materiales	E máximo (MPa)	Coefficiente Poisson
Suelo tipo S2	150	0.35
Suelo tipo S3	200	0.35
Suelo tipo S4 y todo-uno	250	0.35
Zahorra natural	350	0.35
Zahorra artificial	500	0.35

Tabla 1-6. Parámetros elásticos de materiales de empleo en explanadas.

Para los suelos estabilizados in situ se considerarán las características mecánicas definidas en la siguiente tabla.

Materiales	E máximo (MPa)	Coefficiente Poisson
Suelo estabilizado tipo S-EST1	100	0.35
Suelo estabilizado tipo S-EST2	200	0.30
Suelo estabilizado tipo S-EST3	1.000	0.25

Tabla 1-7. Parámetros elásticos en el suelo seleccionado.

Para caracterizar el módulo elástico de las capas de asiento se incluye la siguiente recomendación:

- En desmontes, el apoyo se considerará constituido directamente por los suelos del TNS, que se caracterizará mediante un macizo elástico semi-indefinido. En su caso se imputarán los posibles saneamientos y sustituciones de terreno.
- En terraplenes de altura inferior a 2 m, se considerará el conjunto definido por el terraplén, el saneamiento del mismo, y el macizo semi-indefinido del terreno natural subyacente.
- En terraplenes de altura superior a 2 m, se considerarán las características del núcleo de terraplén.

El módulo E de la explanada será el E_{v2} obtenido en el ensayo de placa de carga.

7c. TRÁFICO DE PROYECTO

Se consideran las siguientes categorías de tráfico de proyecto, usuales en cualquier instrucción:

Categoría	IMDPA
T00	≥ 4.000
T0	≥ 2.000 y < 4.000
T1	≥ 800 y < 2.000
T2	≥ 200 y < 800
T3A	100 y < 200
T3B	≥ 50 y < 100
T4A	≥ 25 y < 50
T4B	< 25

Tabla 1-8. Categorías de tráfico.

El número de repeticiones de carga previstas durante la vida de servicio se obtiene mediante la expresión simplificada, (Crespo et al, 1986):

$$NT = VP \times C \times A \times 365$$

NT = Número de repeticiones de la carga estándar durante el tiempo de calculo

VP = Número diario de vehículos pesados en el carril de proyecto, en el año de puesta en servicio

C = Factor de crecimiento

A = Factor de equivalencia de un vehículo pesado en ejes estándar que adoptaremos con valor 1

El factor de crecimiento se calculó mediante el término siguiente (Crespo et al.,1986)

$$C = [(1+r)^n - 1] / r$$

Siendo:

C = Factor de crecimiento

n = Número de años

r = Tasa de crecimiento anual prevista

Es muy importante que el calculista dimensione el firme para el nivel máximo de tráfico que se dará en la vida útil de proyecto. En particular para aumentos importantes del tráfico lo normal será que la categoría de tráfico se incremente un escalón o incluso dos.

El tráfico anual en el año horizonte vendrá dado por la fórmula:

$$NT_n = VP \times (1+r)^n \times 365$$

El tráfico de promedio será NT_n. Se establece un valor máximo de 5000 vehículos pesados por carril y por día.

7d. MATERIALES CONSTITUYENTES DE LAS PIEZAS

Se cumplirán las especificaciones dadas en la presente Guía.

7e. ZAHORRAS O CAPAS GRANULARES

Se trata de la capa de apoyo de las piezas de pavimento desmontable a ubicar sobre la explanada. El módulo de deformación será superior a 500 MPa. En el caso de zahorras serán del tipo artificial, debiendo de cumplir la normativa de aplicación según lugar de construcción; cuando se empleen gravas, macadam u otro material similar deberá definirse la unión con la explanada empleando geotextiles, material filtro, etc. En cualquier caso en el paquete granular como mínimo los 2 cm superiores en contacto con el pavimento deberán quedar constituidos por arenas que no contengan más de un 3% de arcillas y limos.

7f. MODELO DE CÁLCULO

Para modelizar el comportamiento del firme la adherencia entre capas de suelo se considera completa. El contacto entre piezas de pavimentación desmontable con el suelo y entre sí se ha modelizado empleando técnicas de contacto entre sólidos.

Las características del modelo son:

- Las capas de asiento están formadas por capas horizontales, paralelas entre sí, de espesor constante.
- Cada capa es un medio elástico lineal, homogéneo, isótropo y continuo. Se caracterizan mecánicamente por su módulo de Young, (E), y su coeficiente de Poisson (ν).
- Existe un apoyo continuo entre capas de terreno existiendo adherencia entre las mismas; dicha adherencia queda caracterizada por la rugosidad de las superficies de las capas, función del coeficiente de rozamiento interno.
- Las fuerzas de inercia y los efectos térmicos son despreciables. Las solicitaciones térmicas no se tienen en cuenta.
- Los esfuerzos cortantes son despreciables en el contacto rueda-pavimento.
- No se considera el peso propio del pavimento.
- Para todos los materiales constituyentes del pavimento se supondrá un comportamiento elástico lineal.

Por tanto, para definir la relación tensión-deformación del material, sólo serán necesarios dos parámetros:

- Módulo de Young, (E)
- Coeficiente de Poisson, (ν).

7g. LEYES DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Para el dimensionamiento se consideran dos tipos de carga:

- Carga correspondiente a un eje de 20 T y una huella de la rueda de 60x20 cm.
- Carga correspondiente a un eje de 13 T y una huella de 60 x 20 cm.

Cabe indicar que las mayorías de normativas calculan para un eje de 13 T las secciones de firme pero en estructuras consideran el carro de 60 T con 20 T por eje.

En nuestro caso el dimensionamiento de las piezas a flexotracción y tensión tangencial máxima se hace con cargas de 20T, compartiendo los criterios tradicionales de estructuras, pero los estudios de agotamiento en el hormigón y en las capas de suelo se hace para la carga de 13 T.

Sólo para las soluciones in situ con apertura a siete días se ha elaborado el cálculo a flexotracción máxima y tensión tangencial máxima con la carga de 13 T.

Para cada pieza y para cada tipo de sección de firme se han obtenido leyes de flexotracción máxima y tensión tangencial máxima en las piezas en función de los parámetros E, módulo de deformación de la explanada y espesor de la zahorra. Se ha considerado siempre un módulo de las capas granulares de 500 MPa.

7h. CRITERIOS DE FALLO Y DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL

FLEXOTRACCIÓN MÁXIMA.

Las dosificaciones definidas tanto para las piezas prefabricadas como in situ permiten obtener coeficientes de seguridad superiores a 1,5 en las soluciones de firme que se describen en el presente apartado.

Se considera la apertura a 7 días al tráfico para pavimentos ejecutables in-situ, no siendo recomendable que se haga con anterioridad salvo que la dirección de obras establezca otro criterio. En dicho caso se deberá justificar que se ha alcanzado el 75% de la resistencia característica del hormigón. El control previsto será intenso o normal según se establezca en proyecto u ordene la dirección de obras.

La comprobación en las soluciones in situ para apertura a siete días se ha hecho para la carga de 13 T y como se ha indicado antes para un 75% de la resistencia característica del hormigón.

ROTURA POR TENSIÓN TANGENCIAL MÁXIMA.

De la misma forma se han conseguido coeficientes de seguridad de 1,5 en la resistencia a tensión tangencial máxima tanto en soluciones prefabricadas como en soluciones in situ para las secciones que se proponen. Como en el caso anterior la comprobación en las soluciones in situ para apertura a siete días se ha hecho para la carga de 13 T y como se ha indicado antes para un 75% de la resistencia característica del hormigón.

FALLO POR FISURACIÓN POR FATIGA.

Tanto para la solución prefabricada como in situ la resistencia característica del hormigón deberá cumplir en el 100% de los ensayos:

$$f_{ck} > S_{ct \cdot \text{Máx } 13T} / [0.165 (1 - 0.065 \log N)]$$

Siendo f_{ck} , la resistencia característica del hormigón, $S_{ct \cdot \text{Máx } 13T}$ la tensión máxima de flexotracción esperable en la pieza según la sección de firme diseñada para la carga correspondiente a un eje de 13T y N el número de repeticiones de carga.

Para los materiales definidos en la presente Guía y para todos los formatos se auguran vidas útiles superiores a los cincuenta años para tráficos de vehículos pesados de hasta dos mil unidades por carril diarios.

FALLO DEL CIMIENTO DEL FIRME.

Se considera como parámetro crítico la deformación vertical unitaria máxima del cimiento. Dicho valor viene dado por el número de repeticiones de carga previsto en la vida de proyecto, según la siguiente expresión:

$$e_z = 0.0216 N^{-0.28}$$

Para cada tipo de pieza se ha comprobado la necesidad de explanada según vida útil y tráfico de proyecto.

Cuando no basta con proyectar una explanada E3, se proyectan las siguientes medidas adicionales:

- 50 cm sobre explanada E3 de suelo seleccionado S4, ($E_v > 250 \text{MPa}$).
- 50 cm adicionales de zahorra artificial, ($E_v > 500 \text{MPa}$).

En la presente Guía se proponen soluciones concretas para cada explanada, para cada vida útil y tráfico de proyecto.

FALLO EN LAS CAPAS GRANULARES.

La tensión vertical sobre la capa granular deberá ser siempre inferior a 3 kg/cm^2 .

SECCIONES DE FIRME PROPUESTAS. CÁLCULO.

El procedimiento que se propone es el siguiente:

1. se define el **tipo de explanada** en el que se ubicarán los pavimentos.
2. se selecciona el **formato**, in situ o prefabricado.
3. se define la **vida útil**, el **tráfico en el año origen** y el **crecimiento del mismo**: se obtiene el tráfico en el año horizonte.
4. se selecciona la **sección tipo de firme** según los criterios anteriores de las propuestas en el cuadro adjunto para cada tipología.
5. para los datos de vida útil, tráfico de proyecto y crecimiento del mismo se determinan los **requerimientos de la capa de asiento según criterio de fatiga**. Para cada nivel de tráfico se determinará la **tensión máxima admisible en la capa de asiento según cuadro adjunto**. Caso de que el valor de la explanada necesaria sea más exigente deberá redimensionarse la sección de firme, empezando por el paso 1º, seleccionando un nivel superior de explanada.

SECCIONES DE FIRME POR EXPLANADA Y FORMATO.

Pavimentos prefabricados. RECT 33,3x33,3 y HEXAGONAL LADO 20

Explanada	Espesor de Zahorra (cm)	Coronación de Explanada	Número Máximo aplicaciones de carga
E1	30		710.425
	40		1.458.907
	50		4.076.030
	50	50 cm S4	71.129.573
	50	50 cm ZA	103.061.343
E2	30		199.452
	40		594.601
	50		1.504.456
	50	50 cm S4	23.885.140
	50	50 cm ZA	29.371.379
E3	30		65.840
	40		192.983
	50		324.118
	50	50 cm S4	5.214.934
	50	50cm ZA	7.455.615

Tabla 1-9. Número máximo de aplicaciones de carga según explanada y capas granulares para soluciones prefabricadas, (hexagonal de lado 20 cm y rectangular 33,3x33,3 cm).

Pavimentos in situ. HEXATRÍPETO LADO 20 cm

Explanada	Espesor de Zahorra (cm)	Coronación de Explanada	Número Máximo aplicaciones de carga
E1	30		290.971
	40		785.722
	50		2.584.302
	50	50 cm S4	23.873.653
	50	50 cm ZA	29.280.233
E2	30		107.351
	40		272.437
	50		874.203
	50	50 cm S4	7.068.594

Explanada	Espesor de Zahorra (cm)	Coronación de Explanada	Número Máximo aplicaciones de carga
	50	50 cm ZA	9.975.803
E3	30		40.280
	40		92.807
	50		317.183
	50	50 cm S4	2.032.558
	50	50cm ZA	3.229.832

Tabla 1-10. Número máximo de aplicaciones de carga según explanada y capas granulares para in situ, (hexagonal de lado 15 cm).

Pavimento in situ. RECTANGULAR LADO 40 cm

Explanada	Espesor de Zahorra (cm)	Coronación de Explanada	Número Máximo aplicaciones de carga
E1	30		408.609
	40		709.468
	50		1.573.421
	50	50 cm S4	7.610.603
	50	50 cm ZA	13.281.117
E2	30		141.025
	40		230.043
	50		537.383
	50	50 cm S4	1.531.733
	50	50 cm ZA	4.298.633
E3	30		44.313
	40		74.488
	50		182.447
	50	50 cm S4	363.395
	50	50cm ZA	1.456.770

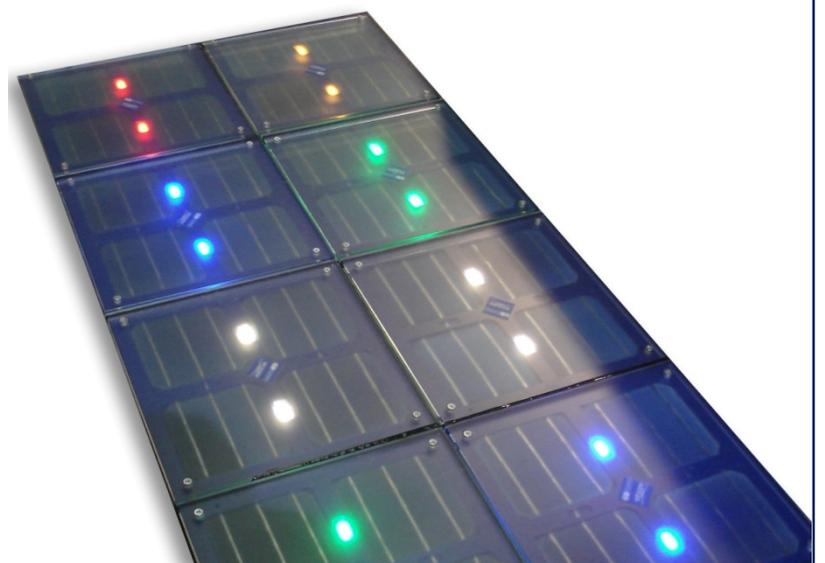
Tabla 1-11. Número máximo de aplicaciones de carga según explanada y capas granulares para in situ, (rectangular de lado 40 cm).

CAPAS DE ASIENTO SEGÚN NIVEL DE TRÁFICO.

	TNS	Suelo inadecuado o marginal			Suelo tolerable		Suelo adecuado		Suelo seleccionado
	Sol	Solución1	Solución2	Solución3	Solució n1	Solución 2	Solución 1	Solución 2	Solución1
Categoría de explanada	E1	100cm S1	35 cm S2 sobre 50 cm S1	35 cm S2 sobre 70 cm S0	60 cm S1	45 cm S2	100 cm TNS		
	E2	100 cm S2	40 cm S3 sobre 60 cm S1	40 cm S3 sobre 80 cm S0	75 cm S2	40 cm S2 sobre 50 cm S1	55 cm S2	35 cm S3	100 cm TNS
	E3	100 cm S3	50 cm S3 sobre 70 cm S2	80 cm S4	80 cm S3	70 cm S4	60 cm S3	50 cm S4	50 cm S3

Tabla 1-12. Soluciones de explanada según TNS.

CAPÍTULO 2. LA BALDOSA SOLAR



CAPÍTULO 2.

LA BALDOSA SOLAR.

PARTE 1. PRESENTACIÓN GENERAL.

La baldosa solar constituye un salto cualitativo en la concepción tradicional de los pavimentos por cuanto éstos son capaces de aportar cualidades adicionales a las de rigidez del suelo y estética.

La posibilidad de incorporar soluciones generadoras de electricidad, permite atisbar un amplísimo abanico de posibilidades entre las que destacamos:

- iluminación desde el suelo para señalización.
- iluminación desde el suelo con fines decorativos.
- soluciones de generación energética para suministro a alumbrado público.
- suministro a otros elementos urbanos como carteles o mupis publicitarios.
- suministro a estaciones de recarga de vehículos eléctricos.
- suministro a equipos de telecomunicaciones como Wi-Fi, Bluetooth, RDFI, etc.
- suministro para consumo doméstico.

Aunque la ubicación de un módulo solar en un pavimento supone que los rendimientos serán inferiores a los de otras ubicaciones por el efecto de horizontalidad y ensuciamiento, debe considerarse que la cercanía al punto de suministro, la autonomía de la red y el uso del pavimento como base de apoyo, aportan ventajas que convierten a la baldosa solar en un elemento útil, viable e indispensable en la concepción moderna del entorno urbano.

La baldosa solar constituye un hito en la nueva concepción de la ciudad moderna aportando nuevos servicios al ciudadano de gran utilidad en su vida diaria y hasta ahora inconcebibles.

La concepción de pavimentos inteligentes basados en el concepto PIPER (Pervasive Intelligent Pavement Enhanced Reality), permitirá aplicaciones encaminadas a hacer la vida del ciudadano más cómoda, en tanto que incluirán aplicaciones ubicuas o pervasivas, que se harán viables mediante el empleo de smartphones, tablets u otros dispositivos.

Así aplicaciones de movilidad, marketing "útil" e interactivo o pervasive social networking, se harán posibles gracias a la instalación de baldosas solares en entornos urbanos.

La fabricación de baldosas solares con materiales aptos para su incorporación al pavimento y con resistencia al paso de vehículos pesados, y con resbaladidad apta para el paso de peatones, la convierten en un elemento de gran interés para su incorporación en ámbitos urbanos.

PARTE 2. GEOMETRÍA Y FORMATOS.

Las baldosas solares se diseñan con unas características adecuadas para su ubicación en pavimento.

Su rigidez, la resbaladidad del protector superficial, y su transparencia son cualidades esenciales para garantizar el buen funcionamiento de las baldosas solares.

Los formatos que se comercializan se describen en las fichas que se aportan a continuación:

BS-PFV-SQ400 (modelo a)

Baldosa solar para producción solar fotovoltaica 40x40 cm sin retro-iluminación

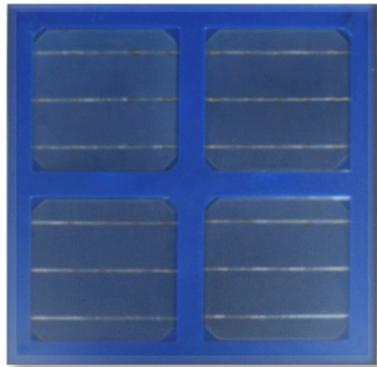


Imagen real

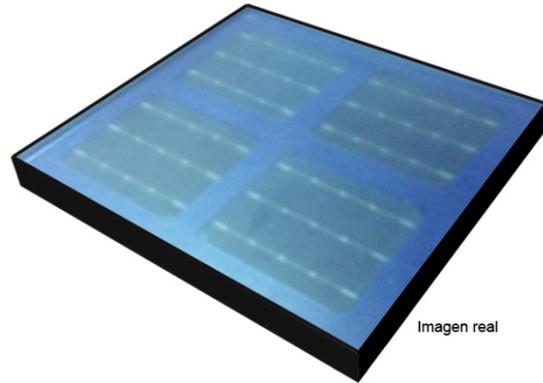
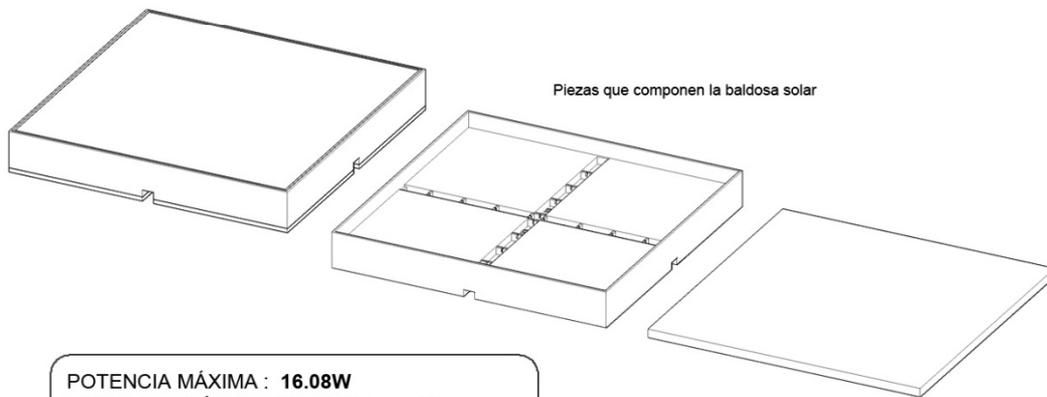


Imagen real

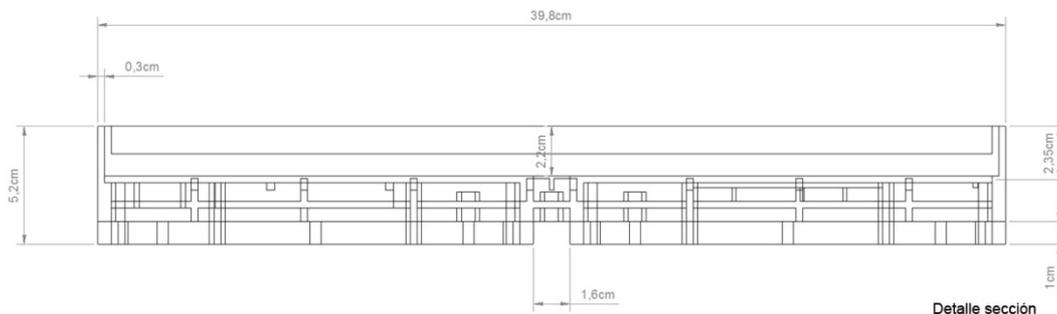


Piezas que componen la baldosa solar

POTENCIA MÁXIMA : **16.08W**
VOLTAJE A MÁXIMA POTENCIA: **2,4V**
CORRIENTE A MÁXIMA POTENCIA: **6,7A**

DIMENSIONES: **398 x 398 X 52 mm.**
CABLE SOLAR: **4mm² IP67**

MATERIAL: **PMMA INYECTADO ó PA-66 RFV**
ENCAPSULADO: **VIDRIO+RESINA POLIESTER**



Detalle sección

Imagen 24a. Geometría de baldosa solar BS-PFV-SQ400.

BS-PFV-SQ400 (modelo b)

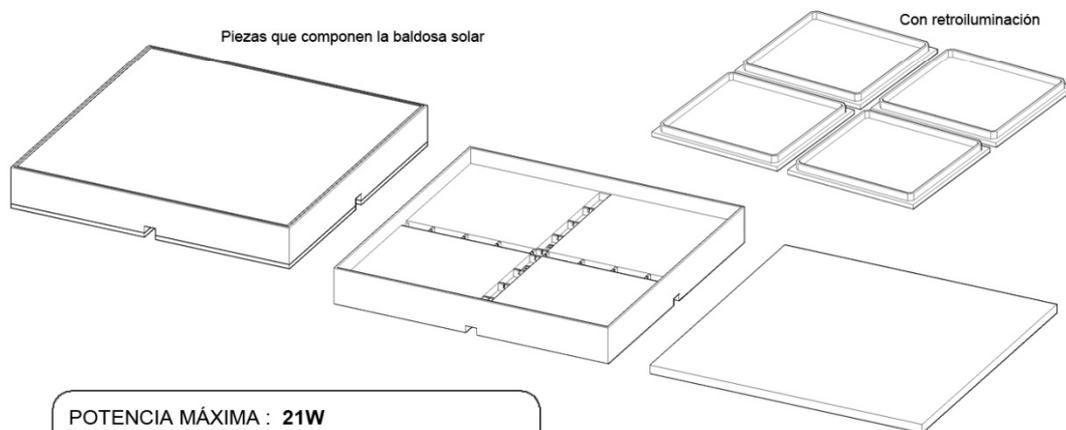
Baldosa solar para producción solar fotovoltaica 40x40 cm con o sin retro-iluminación



Imagen real



Imagen real



POTENCIA MÁXIMA : 21W
VOLTAJE A MÁXIMA POTENCIA: 6V
CORRIENTE A MÁXIMA POTENCIA: 3,5A

DIMENSIONES: 398 x 398 X 52 mm.
CABLE SOLAR: 4mm² IP67

MATERIAL: PMMA INYECTADO ó PA-66 RFV
ENCAPSULADO: VIDRIO+RESINA POLIESTER

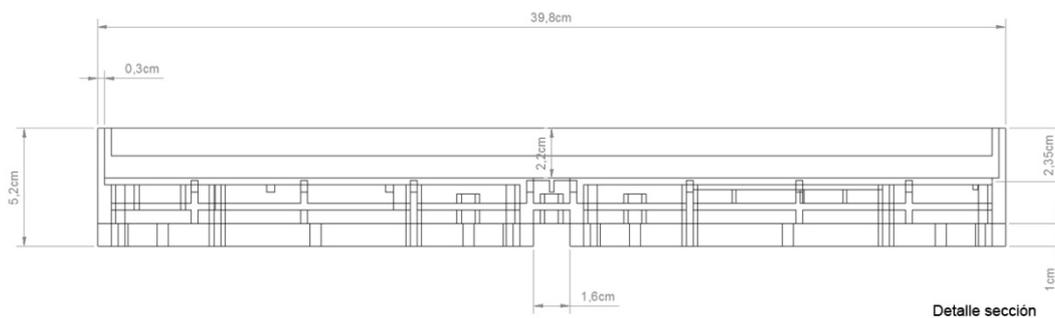


Imagen 24b. Geometría de baldosa solar BS-PFV-SQ400.

BSI-PFV-SQ400

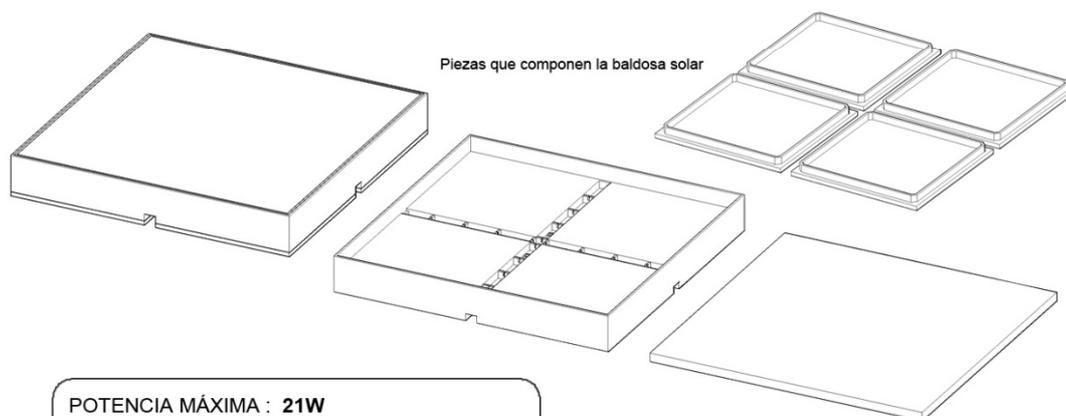
Baldosa solar inteligente para ámbitos pervasivos



Imagen real



Imagen real

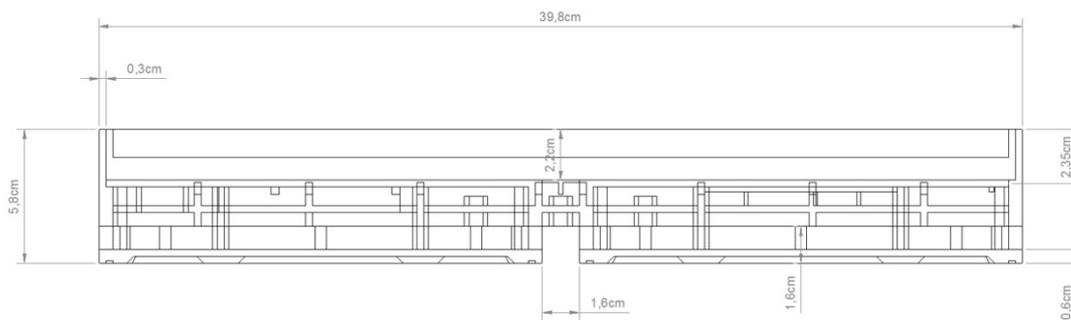


Piezas que componen la baldosa solar

POTENCIA MÁXIMA : 21W
VOLTAJE A MÁXIMA POTENCIA: 6V
CORRIENTE A MÁXIMA POTENCIA: 3,5A

DIMENSIONES: 398 x 398 X 58 mm.
CABLE SOLAR: 4mm² IP67

MATERIAL: PMMA INYECTADO ó PA-66 RFV
ENCAPSULADO: VIDRIO+RESINA POLIESTER
CIRCUITERIA: RASPBERRY PI+2 WIFI+ GPS



Detalle sección

Imagen 24c. Geometría de baldosa solar BSI-PFV-SQ400.

BS-PFV-C130

Baldosa solar para producción solar fotovoltaica en viario



POTENCIA MÁXIMA : **0,85W**
VOLTAJE A MÁXIMA POTENCIA: **5,5V**
CORRIENTE A MÁXIMA POTENCIA: **150mA**

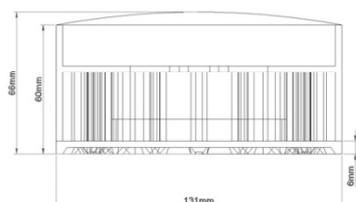
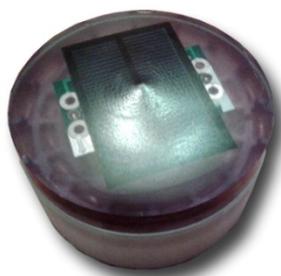
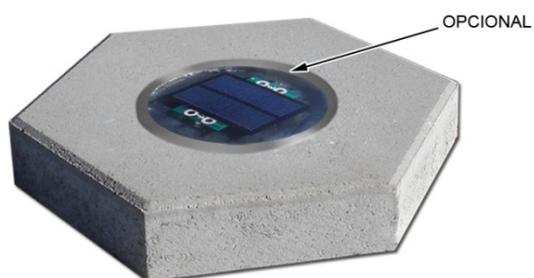
DIMENSIONES: **CIRCULAR 130 x 60mm.**
CABLE SOLAR: **4mm² IP67**

MATERIAL: **PMMA INYECTADO / PA-66 RFV(30%)**
ENCAPSULADO: **RESINA DE POLIÉSTER**

Imagen 25. Geometría de baldosa solar BS-PFV-C130

BS-DS-C130

Baldosa solar decorativa y para señalización



POTENCIA MÁXIMA : **0,85W**
VOLTAJE A MÁXIMA POTENCIA: **5,5V**
CORRIENTE A MÁXIMA POTENCIA: **150mA**

DIMENSIONES CIRCULAR: **130 x 60 mm.**
FUNCIONAMIENTO: **AUTÓNOMO**

MATERIAL: **PMMA INYECTADO / PA-66 RFV(30%**
2 LED RGB, 28-4.0V, 20mA, 18500 mcd
ENCAPSULADO: **RESINA DE POLIÉSTER**

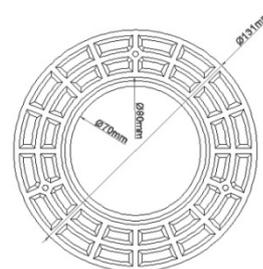
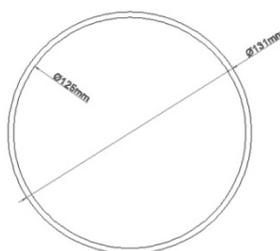
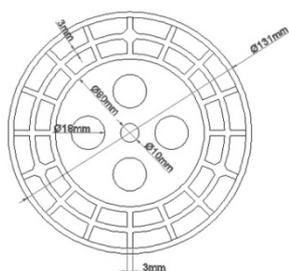
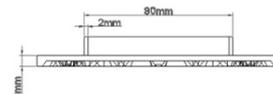
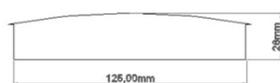
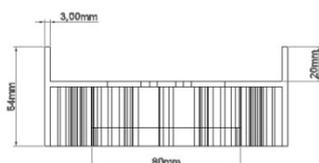
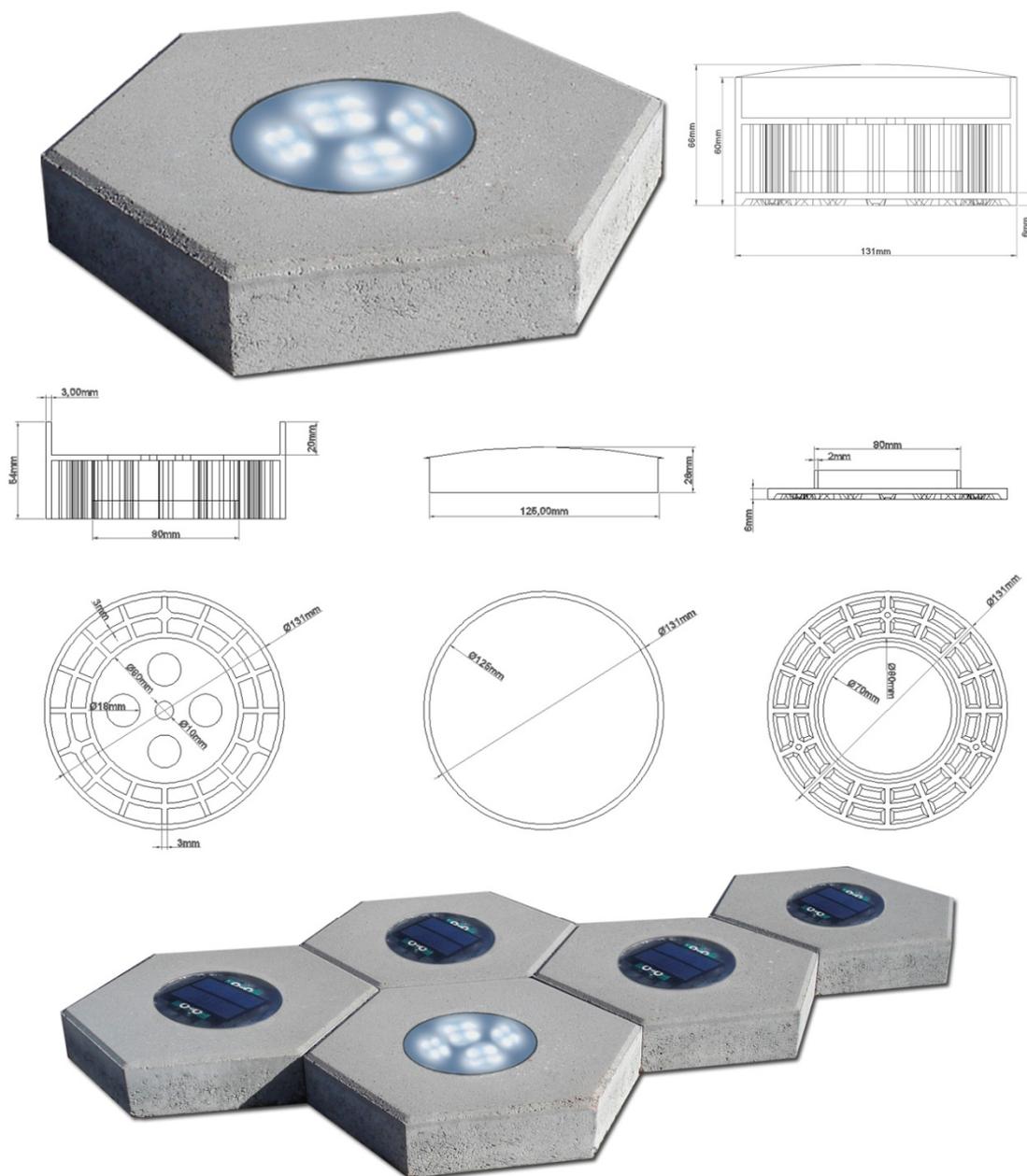


Imagen 26. Geometría de baldosa solar BS-DS-C130

BS-DST-C130

Baldosa solar para iluminación de viario desde el suelo ó equipos PIPER

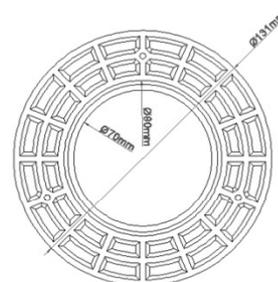
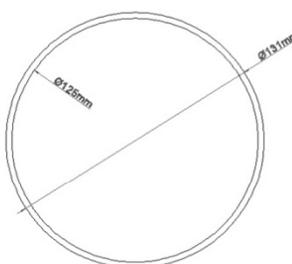
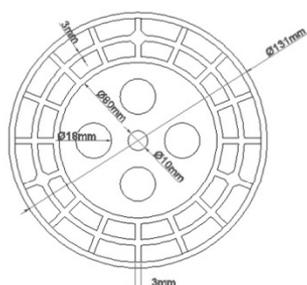
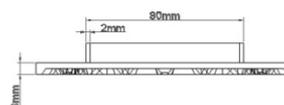
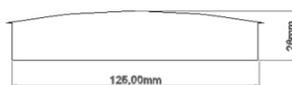
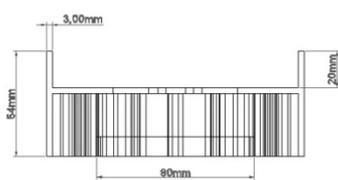
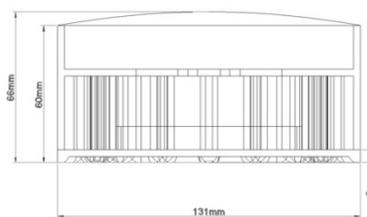
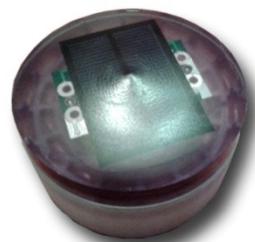
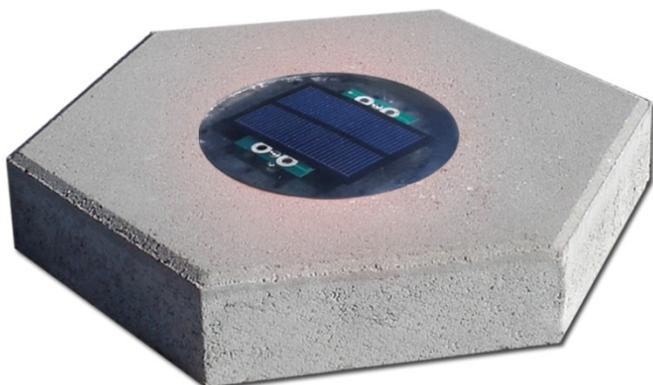


POTENCIA MÁXIMA : SEGÚN SERIE DE BALDOSAS ANEXAS
DIMENSIONES: CIRCULAR 130 x 60mm.
FUNCIONAMIENTO: FUENTE DE ENERGIA DE BALDOSAS ANEXAS
4x4 LED 2.8-4.0V 20mA 18500 mcd. (OPCIONAL CIRCUITOS WIFI)
MATERIAL: METACRILATO INYECTADO ó PA-66 RFV (30%)
ENCAPSULADO: RESINA POLIÉSTER

Imagen 27. Geometría de baldosa solar BS-DST-C130

BS-S-C130

Baldosa solar para señalización en viario



POTENCIA MÁXIMA : **0,85W**
VOLTAJE A POTENCIA MÁXIMA: **5,5V**
CORRIENTE A MÁXIMA POTENCIA: **150mA**

DIMENSIONES: **CIRCULAR 130 x 60mm.**
FUNCIONAMIENTO: **AUTÓNOMO**

2 LED ROJA 1.8-2.4V 20mA 7000 mcd.
MATERIAL: **PMMA INYECTADO / PA-66 RFV (30%)**
FUNCIONAMIENTO: **AUTÓNOMO**

Imagen 28. Geometría de baldosa solar BS-S-C130

Seguidamente pasamos a describir las características geométricas de cada una de las baldosas anteriores.

2A. Baldosa solar para producción solar fotovoltaica 40x40.

Cód.: BS-PFV-SQ400 (modelo a)

Generación

Potencia máxima: 16,08 W.

Voltaje a máxima potencia: 2,4 V.

Corriente a máxima potencia: 6,7 Amperios.

Número y tipo de células: cuatro células monocristalinas

Temperatura de trabajo: -30° C a 80° C.

Eficiencia del módulo: 18%.

Dimensiones: 398x398x52 mm.

Cód.: BS-PFV-SQ400 (modelo b)

Generación

Potencia máxima: 21 W

Voltaje a máxima potencia: 6 V.

Corriente a máxima potencia: 3,5 Amperios

Núm. y tipo de células: varias células monocristal.

Temperatura de trabajo: -30° C a 80° C

Eficiencia del módulo: 18%.

Dimensiones: 398x398x52 mm.

Cód.: BSI-PFV-SQ400

Generación

Potencia máxima: 21 W.

Voltaje a máxima potencia: 6 V.

Corriente a máxima potencia: 3,5 Amperios.

Número y tipo de células: 1 panel monocristalino

Temperatura de trabajo: -30° C a 80° C.

Eficiencia del módulo: 18%.

Dimensiones: 398x398x58 mm.

Encapsulado y protector.

TIPO 1a y 1b.

Iluminación. (opcional)

LED de retro-iluminación, (opcional): 3,6 V, 20 mA, (varios led). (Opcional RGB).

Circuitería.

3 diodos 3 Amp de by-pass. Estos diodos permiten el paso o by-pass de aquellas baldosas que se encuentren en zona de sombra u oscuridad, que además de no producir tensión, también se comportarían a modo de circuito abierto, lo que provocaría que la tensión de las otras baldosas pudiera cargar la batería.

Cable solar 4 mm² con conector hembra en salida negativo y conector macho en positivo IP67. Bus bar de 1,5 y 4 mm.



Imagen 29. Palé de baldosas.



Imagen 30. Grupo de baldosas replanteadas en acera.

2B. Baldosa solar para producción solar fotovoltaica en viario.

Código de producto: BS-PFV-C130

Generación.

Potencia máxima: 0,85 W.

Voltaje a máxima potencia: 5,5 V.

Corriente a máxima potencia: 150 mA.

Tipo de células: célula monocristalina.

Temperatura de trabajo: -30° C a 80° C.

Eficiencia del módulo: 18%.

Encapsulado y protector.

TIPO 2

2C. Baldosa solar decorativa.

Código de producto: BS-DS-C130

Generación.

Potencia máxima células: 0,85 W.

Voltaje a máxima potencia de células: 5,5 V

Corriente a máxima potencia de las células: 150 mA.

Tipo de células: células monocristalinas.

Encapsulado y protector.

TIPO 2

Iluminación.

Tipo de LED: 2 LED RGB, 2.8 - 4.0 V, 20 mA, 18500 mcd.

Batería.

Batería: 3,6 V, 2400 mA.

Cirruitería.

Circuito comandado por micro-controlador con función crepuscular y control de primer encendido, (100x90 mm)

2D. Baldosa solar para iluminación de viario desde el suelo y/ó equipos PIPER.

Código de producto: BS-DST-C130.

Generación

3 baldosas solares en serie código BS-PFV-SQ400 ó varias del tipo BS-PFV-C130.

Iluminación

Tipo de LED: 16, (4x4), LED luz blanca, 2.8 - 4.0 V, 20 mA, 18500 mcd, (opcional para equipos PIPER).

Encapsulado y protector.

TIPO 2

Batería.

Batería: 4x3,6 V, 2400 mA.

Circuitería.

4 circuitos con 4 LED cada uno y micro-controlador con función crepuscular y control de primer encendido: (45x40 mm).

2E. Baldosa solar para señalización en viario.

Código de producto: BS-S-C130.

Generación.

Potencia máxima células: 0,85 W.

Voltaje a máxima potencia de las células: 5,5 V

Corriente a máxima potencia de las células: 150 mA.

Número y tipo de células: células monocristalinas

Encapsulado y protector.

TIPO 2

Iluminación.

Tipo de LED: 2 LED luz roja, 1.8 - 2.4 V, 20 mA, 7000 mcd.

Batería.

Batería: 2,4 V, 2400 mA.

Circuitería.

Circuito comandado por micro-controlador con función crepuscular, control de intermitencia y control de primer encendido, (60x35 mm).

2F. CARACTERÍSTICAS COMUNES

Resistencia a vehículo pesado: 8,3 kg/cm² de carga. (20 t por eje).

Resbaladidad en clase 3 / 2 ó 1 a solicitud del usuario.

Autonomía en invierno: toda la noche funcionando.

Recomendaciones insolación:

- 4 horas de luz directa para equipos de luz fija con posición en vial.
- 3 horas para equipos de luz intermitente.

MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CIRCUITOS

El circuito dispone de 3 modos de funcionamiento:

Modo Stand by, Modo día y Modo noche.

MODO STAND BY: es el modo en que sale de fábrica, y una vez instalada la baldosa solar, nunca más vuelve a este estado. El consumo en este modo es de 0,001mA.

En la primera puesta en marcha del dispositivo, y tras conectarle la alimentación, éste hará tres destellos simultáneos de los dos LED, para verificar el buen funcionamiento del circuito, tras lo cual pasará a un estado de stand by, reduciendo su consumo a 0,001 mA. Considerando la capacidad de las baterías, (2400 mA), el tiempo teórico de vida es superior a 200 años.

Debido al bajo consumo del circuito en modo stand by hemos prescindido de colocar interruptor de encendido, ya que desde que se monta el circuito hasta que es colocado en su lugar de trabajo, el circuito permanecerá empaquetado a oscuras y sólo deberá desempaquetarse una vez vaya a disponerse en obra. Para que el equipo empiece a funcionar con normalidad es necesario que detecte la luminosidad suficiente durante un tiempo continuado de aproximadamente 5 minutos, tras lo cual este indicará el abandono del estado de stand by mediante 5 intermitencias alternando uno y otro LED.

MODO DÍA: Para evitar fluctuaciones del circuito entre si es de día o de noche, tal y como ocurre al atardecer y al anochecer el microcontrolador compara la tensión que entregan las células solares de modo que en el ciclo de día, cuando la tensión de las células caiga por debajo de 0,12 V esta interpreta que ha anochecido, pasando este al ciclo de noche. Ya en el ciclo de noche para pasar al ciclo de día, la tensión de las células solares tendrá que superar los 0,22 V. Además de la histéresis creada se ha introducido en el programa del microcontrolador la condición de que antes de cambiar de estado verifique 5 veces consecutivas durante un período de tiempo aproximado de un minuto esta condición. De esta forma se evitan inestabilidades provocadas por nubes o personas que provoquen sombras esporádicas.

MODO NOCHE: Se programan los LED intermitentes para un período de encendido de 50 mseg y un tiempo de apagado de 450 mseg, con un consumo medio de 4mA por hora.

Aunque sólo mantengamos los LED encendidos 1/10 parte del tiempo, debido a la persistencia del retina del ojo humano, tendremos la sensación de que el tiempo de encendido es superior al tiempo real utilizado.

En el caso de los LED de luz fija es importante garantizar que la ubicación de las baldosas permite la radiación directa al menos durante cinco horas en los días con sol.

2G. ENCAPSULADOS.

TIPO 1.

Disponemos de los tipos 1a y 1b.

Encapsulado 1a: Protector de vidrio 390x390x10mm, con tratamiento al ácido con resbaladidad en clase 3, clase 2 ó clase 1, según necesidad. Base inferior de 9mm de espesor de resina de poliéster sobre carcasa inyectada de PMMA, ó PA-66 RFV.

Encapsulado 1b: Protector de vidrio 390x390x20mm laminado 10+10 mm con doble EVA intermedio, con tratamiento al ácido con resbaladidad en clase 1, clase 2 ó clase 3, según necesidad y base inferior de 9mm de espesor de resina de poliéster sobre carcasa inyectada de PMMA.

TIPO 2.

Encapsulado en resina de poliéster sobre bastidor de PMMA ó PA-66 RFV.

PARTE 3. MATERIALES.

Las características que se exigen a los materiales que constituyen el encapsulado de la baldosa solar son las siguientes:

3A. PMMA, (Metacrilato)

Características mecánicas

- Densidad DIN53479: 1.19 g/cm³
- Resistencia al impacto Charpy ISO179: 15 1/D kJ/m²
- Resistencia al impacto con entalladura (Izod) ISO 180: 1.6 1/A kJ/m²
- Resistencia a la tracción (-40 °C) DIN53455: 100 MPa
- Resistencia a la tracción (+23 °C) DIN53455: 72 MPa
- Resistencia a la tracción (+70 °C) DIN53455: 35 MPa
- Estiramiento a rotura DIN53455: 4.5 %
- Resistencia a la flexión, Probeta estándar (80x10x4mm) DIN53452: 105 MPa
- Tensión por compresión DIN53454: 103 MPa
- Tensión de seguridad máx. (hasta +40 °C) : 5 a 10 MPa
- Módulo de elasticidad E(Corto/largo plazo), DIN53457: 3300/3200 MPa
- Módulo de torsión G en 10Hz DIN53445: 1700 MPa
- Resistencia a la fatiga en test de doblado alternativo aprox. a 10 ciclos (probeta con entalladura / sin entalladura) : 30/10 MPa
- Dureza Brinell H961/30 ISO 2039-1: 190 MPa
- Resist. a la abrasión con 1.600 gr. de abrasivo Similar ASTM-D673 44: 98%
- Coeficiente de fricción plástico sobre plástico - 0.80

- Coeficiente de fricción plástico sobre acero - 0.50
- Coeficiente de fricción acero sobre plástico - 0.45

Propiedades Térmicas

- Coeficiente de dilatación lineal 0- 50°C DIN53752-A 1/K: 0.07 mm/m°C
- Conductividad térmica DIN52612: 0.19 W/mK
- Coeficiente de transmisión térmica (1mm. esp.) DIN 4701: 5.8 W/m²K
- Coeficiente de transmisión térmica (3mm. esp.) DIN 4701: 5.6 W/m²K
- Coeficiente de transmisión térmica (5mm. esp.) DIN 4701: 5.3 W/m²K
- Coeficiente de transmisión térmica (10 mm. esp.) DIN 4701: 4.4 W/m²K
- Calor específico - 1.47 J/g K
- Temperatura aprox. de moldeo (temp. horno) - 150...160 °C
- Temperatura máxima en superficie (radiador IR) - 180 °C
- Temperatura permanente máxima de servicio - 70 °C
- Temperatura de re-contracción - >80 °C
- Temperatura de ignición DIN51794: 430 °C
- Comportamiento al fuego (esp. >1.5 mm) DIN4102 - B2
- Índice VICAT (método B) DIN ISO 306: 102 °C
- Estabilidad dimensional al calor (Método Martens) DIN53458: 85 °C
- Termo-resistencia de forma ISO 75, tensión a flexión 1.8 MPa DIN53458: 90 °C
- Termo-resistencia de forma ISO 75 tensión, a flexión 0.45 MPa DIN53461: 95 °C

3B. Vidrio

Características mecánicas.

Resistencia a la compresión > 10.000 kg / cm²

Resistencia a la tracción > 400 kg / cm²

Resistencia a flexión con carga momentánea > 170 Kg/cm²

Resistencia a flexión con carga permanente > 60 Kg/cm²

Densidad 2,5 g / cm³, 2,5 kg / m² por mm de espesor.

Dureza > 6,5 en la escala de MOHS

Módulo de Young E= 7.2 10¹⁰ Pa, (720.000 Kg/cm²)

Coeficiente de Poisson μ = 0,22.

Resistencia a la agresión: P2A, (laminado 10+10 mm)

Resistencia al impacto de cuerpo pendular. 1B1, (laminado 10+10 mm)

Resistencia a cambios bruscos de temperatura: 40 K, (laminado 10+10 mm)

La empresa suministradora deberá aportar ficha con los datos anteriores indicando el método de ensayo normalizado empleado.

Características lumínicas

Mínimo transmitancia luminosa: 81% Tvis

Reflectancia luminosa exterior 7% Rvis1

Reflectancia luminosa interior 7% Rvis2

Transmitancia ultravioleta <1% tUV

Características energéticas

Mínimo transmitancia solar: 57% Tsol

Reflectancia solar exterior 6% Rsol1

Reflectancia solar interior 6% Rsol2

Absortancia vidrio 37%, (A)

Propiedades térmicas

Factor solar: 0,67 g (EN 410)

Coefficiente de transmisión térmica 5,1 w/m²K U (EN 673)

3C. Plancha de colocación y tornillos de fijación (opcional)

Serán de acero inoxidable AISI-304.

Mecánicas

Elongación (%)	< 60
Dureza Brinell	160-190
Impacto Izod (J·m-1)	20-136
Módulo de elasticidad (MPa)	190-210
Resistencia a tracción (MPa)	460-1100
Resistencia a la corrosión	+ 504 horas sin variación (inox)
Ensayo niebla salina UNE 112017:92	+ 650 horas sin variación (inox recubierto titanio)

Físicas

Densidad	7,93 g·cm ³
----------	------------------------

Térmicas

Coefficiente de expansión térmica (10 ⁻⁶ · K ⁻¹)	18
Conductividad térmica a 23°C	16,3

3D. PA-66 con 30% Fibra de vidrio

Propiedades físicas

Gravedad específica	1.29 g/cc
Absorción de agua	0.30 %
Absorción de agua saturación	5.5 %

Propiedades mecánicas

Dureza Rockwell M	75
Tensión máxima	93.1 Mpa
Elongación en rotura	5.0 %
Módulo de tensión	4.65 Gpa

Tensión de flexión máxima	145 Mpa
Módulo de flexión	4.48 Gpa
Esfuerzo de compresión	124 Mpa
Módulo de compresión	4.14 Gpa

Propiedades eléctricas

Resistencia superficial	1.00e+13 ohm
Fuerza dieléctrica	13.8 kV/mm

Propiedades térmicas

CTE lineal	36 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$ @Temperatura -40.0 – 149°C
Conductividad térmica	0.245 W/m-K
Punto de reblandecimiento	260 °C
Temperatura máxima de servicio	104 °C
Temperatura de deflexión a 1.8Mpa	204 °C
Flamabilidad UL94	V-2

3E. Resina de poliéster

Características

Acidez total	$\leq 30 \text{ mg KOH/g}$
Apariencia	Líquido turbio
Contenido de estireno	46%
Tiempo de gel a 25 °C *	17 minutos
Índice tixotrópico	$> 3,0$
	2 rpm $> 1500 \text{ mPa s}$
	20 rpm $< 600 \text{ mPa s}$
Estabilidad a 65 °C	6 días

* Formulación: 100 g resina + 1,5 ml MEKP 50%

Propiedades mecánicas

Dureza Barcol	60
Resistencia a la flexión	140 Mpa
E-Módulo, flexión	3800 Mpa
Resistencia a la tensión	80 Mpa
E-Módulo, tensión	3800 Mpa
HDT	75 °C

PARTE 4. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad incluye los siguientes aspectos:

- control de materiales y certificaciones.
- control de montaje en taller.
- control de montaje en obra.

4A. Control de materiales.

Cada unidad de baldosa solar incluye un certificado de garantía de los productos que se han empleado en la fabricación expedido por cada fabricante.

Adicionalmente el control en recepción de los materiales en taller sigue las siguientes pautas:

- **Materiales de encapsulamiento**, (vidrio y/o otros materiales de encapsulado, planchas de acero inoxidable y tornillería): serie completa de ensayos cada 10.000,00 m², incluyendo ensayos mecánicos y físicos, ensayos térmicos, lumínicos y energéticos. Los ensayos de transmisividad energética se elaborarán no obstante a la recepción de capa partida de protector, ya sea de metacrilato o de vidrio.
- **Células solares**: se implementa el sistema de control CBC, (Cell by cell), verificando los valores de voltaje e intensidad en lámpara de 1000 w/m². Las células que no cumplen son retiradas y devueltas al proveedor.

4B. Control de montaje en taller

- **Baldosas solares**: se implementa el sistema de control TBT, (Tile by tile), verificando de la misma forma los valores esperados de intensidad y voltaje. De la misma forma se verifica la estanqueidad de cada baldosa, una a una mediante inmersión parcial en cubeta.
- **Circuitos electrónicos**: se implementa de la misma forma el control AEC, (All electronic circuits), por la que todos los circuitos son probados antes de la entrada de la línea comercial, incluyendo las funciones de activación y la carga de la batería.
- **LED**: comprobación de funcionamiento de todos los LED una vez seriados.

4C. Control de montaje en obra

Una vez ubicada la serie de baldosas en obra para las unidades de producción energética se comprobará la tensión de entrega al regulador.

Para las unidades de baldosas para iluminación o señalización se verificará la activación del circuito una vez retirado el empaquetado mediante el triple parpadeo del LED.

Localización de baldosas seriadas defectuosas

Cuando al seriar varias baldosas la tensión de salida no sea la esperada, el proceso para localizar la baldosa defectuosa consistirá en medir con un voltímetro la tensión de la serie de baldosas en un día soleado cubriendo secuencialmente baldosa a baldosa y verificando que al cubrir una sola baldosa la tensión desciende 3,1 voltios aproximadamente, (2,4 voltios de la propia baldosa más 0,7 voltios por el paso por el diodo). La baldosa defectuosa será la que no provoque disminución en la tensión del total de la serie.

PARTE 5. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE, DESMONTAJE Y MANTENIMIENTO.

Las fases de construcción de un suelo fotovoltaico con formato BS-PFV-SQ400 y BS-PFV-SQ333 son las siguientes:

- Ejecución de base de apoyo de baldosa solar, (se recomienda un espesor mínimo de 8 cm), con protección del tubo de conducciones.
- Se ajustará la cota y nivelación de las baldosas con el pavimento continuo evitando resaltos o desniveles. Opcionalmente podrán disponerse guías para drenaje o instalación de cables.
- Cuando se emplee chapa base para instalación conjunta de baldosas se emplearán tornillos de fijación.
- Instalación del conjunto de baldosas solares elaborando previamente la conexión de los cables positivo y negativo finales. Cuando incluya retro-iluminación conexión del cable de LED. Replanteo y fijación de tornillos.
- Prueba de funcionamiento.
- Finalmente sellado con poliuretano de todo el conjunto.



Imagen 31. Instalación de baldosas solares.

El desmontaje de estas baldosas podrá hacerse una a una (cuando se instalen sueltas) o bien desmontando el conjunto cuando se emplean tornillos de fijación a la base. Una vez retirada la plancha convendrá sanear la banda de poliuretano que haya quedado tanto en el pavimento como en el contorno del conjunto de baldosas seriadas debiendo reconstituirla una vez colocadas las baldosas en el pavimento.

Para el mantenimiento de las baldosas se recomiendan las siguientes acciones:

- seguimiento del rendimiento al menos durante el primer mes con al menos cinco medidas en días diferentes.
- seguimiento del rendimiento con mediciones una vez cada año.
- limpieza periódica de las baldosas, siendo ideal una vez cada dos semanas con un mínimo de una vez al mes. Para la limpieza se recomienda el empleo intenso de agua clara. Cuando se empleen detergentes deberá garantizarse la compatibilidad con el material del protector. También podrá emplearse agua a presión para eliminar incrustaciones.

En el caso de baldosas autónomas para retro-iluminación o señalización las fases son:

- para cualquier pavimento: ubicación de carcasa de aluminio embutida en el hormigón de base y una vez finalizado dicho pavimento, colocación de la baldosa y sellado de la baldosa.
- para pavimentos desmontables: bastará la colocación de la pieza o adoquín de pavimento desmontable que incluya la baldosa.

El mantenimiento de estas últimas requerirá un seguimiento del encendido y apagado durante el primer mes de colocación. De la misma forma se recomienda una limpieza cada dos semanas siendo admisible una vez al mes.

PARTE 6. SOLUCIONES URBANAS

6.1 Recomendaciones generales para baldosas de generación energética

Antes de elaborar el correspondiente proyecto urbano con la inclusión de baldosas solares el proyectista deberá contemplar las siguientes recomendaciones:

- El proyectista deberá elaborar el correspondiente cálculo de rendimientos para la posición seleccionada debiendo garantizar una adecuada rentabilidad del módulo fotovoltaico.
- El estudio anterior debe permitir al proyectista seleccionar la mejor ubicación posible a efectos de obtener el mejor rendimiento, pudiendo establecer criterios que permitan su mejor integración con el resto de mobiliario urbano y la conexión adecuada con los servicios a los que suministrará energía.
- El proyectista procurará elegir ubicaciones libres de sombras de otros elementos urbanos o al menos minimizando las mismas.
- En ubicación en aceras se recomienda una distancia a bordillo de al menos 1,2 m.

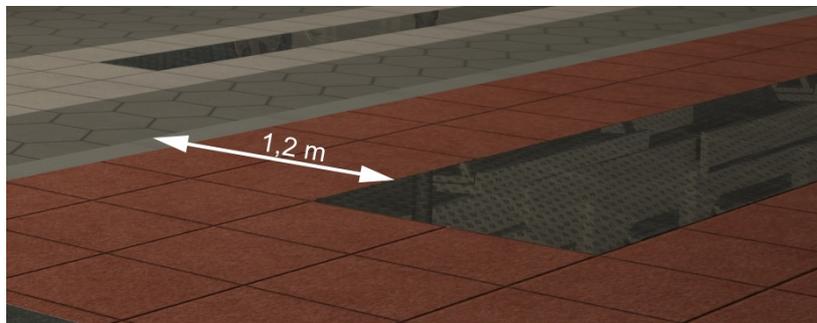


Imagen 32. Distancia recomendable a borde de acera.

- En ubicación en viario se recomienda su disposición en zonas dónde no se produzca la parada de vehículos por semáforos o bien sean frecuentes los atascos. En general la intensidad por carril y día deberá ser inferior a los mil vehículos.



Imagen 33. Zona no recomendable en calzada.

- En viales con orientaciones E-W, convendrá localizar las baldosas en la mitad norte ó sur según se trate del hemisferio norte o sur, llevando la energía con conducciones transversales a los puntos de suministro, (semáforos, alumbrado, etc.).



Imagen 34. Ubicación de baldosas solares en calles de orientación este-oeste.

6.2 Recomendaciones para las baldosas de iluminación o señalización

- Para estas baldosas convendrá elegir una posición que permita un mínimo de horas de insolación directa:

- en el caso de señalización intermitente bastarán 3 horas de insolación directa en los días con sol.
- en el caso de señalización fija al menos 4 horas.

- Por otro lado el proyectista deberá analizar el nivel de iluminación artificial del vial donde se van a ubicar las baldosas, ya que por encima de 90 lux se considera que el nivel de iluminación es tan alto que no permitirá una buena percepción de la iluminación de las baldosas perdiendo utilidad éstas. Debe notarse que la iluminación de los viales usualmente suele estar entre 20 y 40 lux y sólo en determinados ámbitos se superan los 50 lux.

PARTE 7. LOS PAVIMENTOS INTELIGENTES.

La Guía PIPER que próximamente estará disponible aportará recomendaciones para la instalación de equipos BS-DST-C130, en función de los usos que se persigan:

- marketing interactivo.
- funciones de movilidad.
- conectividad.

Tales recomendaciones estarán orientadas a garantizar el mejor servicio a los usuarios mediante la adecuada dispersión y ubicación de equipos en el viario urbano.

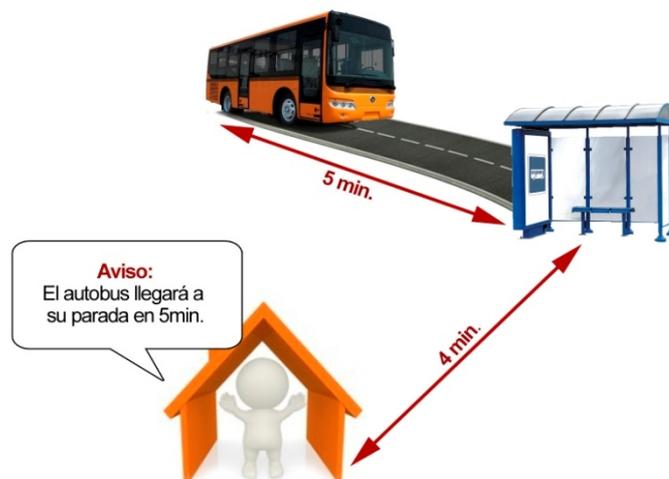


Imagen 35. Ejemplo de aplicabilidad de dispositivos PIPER.

PARTE 8. CÁLCULO DE RENDIMIENTOS.

La baldosa solar presenta una dualidad de uso, (pavimento y solución fotovoltaica), que de por sí impone limitaciones a la capacidad de la baldosa solar como módulo solar fotovoltaico; en particular:

- la ubicación del módulo debe ser horizontal.
- la exposición ambiental es superior, y en ese sentido la suciedad y el envejecimiento restarán rendimiento al módulo.
- cuando se empleen laminados de vidrio con tratamiento superficial antideslizante como protector disminuirá la transmisividad lumínica del mismo.
- la baldosa está destinada a usarse en calles con una reducción clara de las horas de iluminación directa, lo que obligará a establecer recomendaciones para su uso en función de la orientación de la calle, la altura de los edificios en el entorno, la anchura de la calle y la posición geográfica.
- Seguidamente pasamos a analizar los efectos anteriores.

8.1. Efecto de la horizontalidad de la instalación.

Seguidamente pasamos a describir la metodología completa que nos permitirá obtener el rendimiento de la baldosa solar cualquier día del año en cualquier ubicación geográfica.

Inicialmente se calcula para cada día del año (d_n) la declinación solar (δ), el ángulo de salida del Sol (ω_s), la distancia del Sol a la Tierra de ese día (r) y la irradiación extraterrestre diaria sobre superficie horizontal ($B_{0d}(0)$).

Suponiendo que la Tierra gira alrededor del Sol con velocidad angular constante se pueden usar expresiones simplificadas para el cálculo de los siguientes parámetros:

1.- Declinación solar en radianes (δ)

$$\delta = \frac{23.45 \cdot \pi}{180} \operatorname{sen} \left(2\pi \cdot \frac{d_n + 284}{365} \right)$$

2.- Factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre (ϵ_0):

Relación entre la distancia del Sol a la Tierra de un día determinado (r) y el valor medio de esta distancia a lo largo del año (r_0):

$$\epsilon_0 = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = 1 + 0.033 \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{d_n}{365} \right)$$

3.- Ángulo de salida del Sol en radianes (ω_s):

$$\omega_s = -\cos^{-1} (-\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \phi)$$

ϕ es la latitud.

4.- Irradiación extraterrestre a lo largo de un día ($B_{Od}(0)$):

$$B_{Od}(0) = \frac{24}{\pi} B_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot (\cos \phi \cos \delta) (\omega_s \cos \omega_s - \text{sen } \omega_s)$$

En las fórmulas anteriores d_n es el número de orden del día dentro del año (igual a 1 para el primer día de Enero y 365 para el 31 de Diciembre), ϕ es la latitud del lugar en radianes y B_0 es una constante solar de valor 1.367 W/m².

5.- Radiación directa y difusa sobre una superficie horizontal a lo largo de un día

El "modelo de Hottel" (1976) expresa la transmitancia atmosférica para la radiación directa, t_b , en función del ángulo cenital, Q_{zs} , (mayor transmitancia en dirección vertical, menor hacia el horizonte), de la altura sobre el nivel del mar, A , en kilómetros, (mayor transmitancia a mayor altura) y del tipo de clima; de la forma:

$$t_b = a_0 + a_1 e^{(-k/\cos Q_{zs})}$$

donde a_0 , a_1 y k son parámetros ajustados empíricamente. Para el cálculo de estas cantidades, se usan las ecuaciones:

$$a_0 = r_0 [0,4237 - 0,00821(6-A)^2]$$

$$a_1 = r_1 [0,5055 - 0,00595(6,5-A)^2]$$

$$K = r_k [0,2711 - 0,01858(2,5-A)^2]$$

Los valores de r_0 , r_1 y r_k están dados en la Tabla adjunta, para distintos tipos de clima. Para estimar la irradiación difusa, sobre superficie horizontal, la correspondiente transmitancia está dada por una expresión-debida a Liu y Jordan (1960) de la forma:

$$t_d = 0,2710 - 0,2939 t_b$$

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$$

Tipo de clima	r_0	r_1	r_k
1. Tropical	0,95	0,98	1,02
2. Verano, latitud media	0,97	0,99	1,02
3. Verano, sub-ártico	0,99	0,99	1,01
4. Invierno, latitud media	1,03	1,01	1,00

Tabla 2-1. Valores de r_0 , r_1 y r_k según clima

Entonces, las irradiancias directa y difusa para día claro, sobre plano horizontal, a nivel de la tierra (altura A) serán:

Radiación directa: $G_B(0)$

$$G_B(0) = \tau_b B_{Od}(0) \cos Q_{zs}$$

Radiación difusa: $G_D(0)$

$$G_D(0) = \tau_d B_{Od}(0) \cos Q_{zs}$$

y la correspondiente irradiación total sin considerar la de albedo estará dada por:

$$G(0) = G_B(0) + G_D(0)$$

6. - La irradiancia directa sobre cualquier plano.

La irradiancia directa sobre cualquier plano se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$G_B(\alpha, \beta) = F_T(\theta_s) \frac{G_B(0)}{\cos \theta_{zs}} \max(0, \cos \theta_s)$$

Donde θ_s es el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre una superficie inclinada (formado por la normal a la superficie y el radiovector sol-tierra en ese punto) y θ_{zs} es el ángulo o distancia cenital del sol.

$$\cos \theta_s = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \alpha + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \alpha \cos \omega + \cos \delta \sin \alpha \sin \beta \sin \omega$$

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$$

Donde α es el azimut de la superficie inclinada y β es el ángulo de inclinación respecto de la horizontal.

Cuando α y β son 0 entonces:

$$\cos Q_{zs} = \cos Q_s$$

$F_T(\theta_s)$ es un factor de transmitancia que cuantifica la reducción de la irradiancia directa sobre el módulo fotovoltaico debidas a las pérdidas de Fresnel, por suciedad y por bajos niveles de irradiancia.

$$F_T(\theta_2) = 1 - 0.0663\theta_2^2 + 0.0882\theta_2^3 - 0.194\theta_2^4$$

7. La radiación difusa sobre cualquier plano.

Para la estimación de la componente difusa se desarrolla el modelo propuesto por Pérez. Este modelo considera tres regiones del cielo como fuentes de radiación difusa: una *región circumsolar* (G_{DC}) en la que se supone que toda la radiación procede de un único punto, una *banda horizontal* (G_{DH}) donde toda la radiación emitida proviene de la línea del horizonte y el resto del hemisferio celeste (G_{DR}).

$$G_{DC}(\alpha, \beta) = G_D(0) \left[F_1 \frac{\max(0, \cos \theta_s)}{\cos \theta_{zs}} \right]$$

$$G_{DH}(\alpha, \beta) = G_D(0) [F_2 \sin \beta]$$

$$G_{DR}(\alpha, \beta) = G_D(0) \left[(1 - F_1) \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \right]$$

Donde F_1 y F_2 son parámetros adimensionales que definen la contribución relativa de las bandas circun solares y del horizonte al total de la irradiancia difusa.

$$F_1 = F_{11}(\varepsilon) + F_{12}(\varepsilon)\Delta + F_{13}(\varepsilon)\theta_{zs}$$

$$F_2 = F_{21}(\varepsilon) + F_{22}(\varepsilon)\Delta + F_{23}(\varepsilon)\theta_{zs}$$

Para el cálculo de los mismos se establece una relación con Δ , θ_{zs} y los coeficientes de la tabla adjunta. Estos coeficientes obtenidos experimentalmente se seleccionan en función del valor de ε .

$$\Delta = \frac{G_D(0)}{B_0 \cos \theta_{zs}}$$

$$\varepsilon = \frac{G_D(0) + \frac{G_B(0)}{\cos \theta_{zs}}}{G_D(0)}$$

Intervalo de ε			F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{21}	F_{22}	F_{23}
1,000	-	1,056	-0,042	0,550	-0,044	-0,120	0,138	-0,034
1,056	-	1,253	0,261	0,559	-0,243	-0,019	0,083	-0,081
1,253	-	1,586	0,481	0,460	-0,354	0,077	0,006	-0,116
1,586	-	2,134	0,825	0,187	-0,532	0,172	-0,050	-0,151
2,134	-	3,230	1,102	-0,299	-0,586	0,350	-0,398	-0,171
3,230	-	5,980	1,226	-0,451	-0,617	0,444	-0,949	-0,073
5,980	-	10,080	1,367	-0,838	-0,655	0,431	-1,750	0,094
10,080	-	∞	0,978	-0,812	-0,393	0,335	-2,160	0,186

Tabla 2-2. Coeficientes de Pérez

La irradiancia difusa es la suma de las componentes circumsolar, horizontal y resto. La primera se multiplica por el factor de transmitancia $F_T(\theta_s)$ y las otras por 0,856 para corregir los efectos debidos a las pérdidas de Fresnel, la suciedad y los bajos niveles de irradiancia.

$$G_D(\alpha, \beta) = F_T(\theta_s)G_{DC}(\alpha, \beta) + 0,856G_{DH}(\alpha, \beta) + 0,856G_{DR}(\alpha, \beta)$$

De forma conservadora podrá sustituirse el valor de 0,856 por las pérdidas de Fresnel, quedando el cálculo del lado de la seguridad. Y en dicho caso sobre una superficie horizontal resultará:

$$G_D(\alpha, 0) = G_D(0) F_T(Q_s)$$

8. La irradiancia de albedo sobre cualquier plano.

Para el cálculo de la irradiancia procedente del albedo se considera el suelo como una superficie horizontal e infinita que refleja isotrópicamente la radiación que recibe. Se suponen suelos con una reflectividad (ρ) de valor 0,2 y una factor de transmitancia igual a 0,856.

$$G_R(\beta, \alpha) = 0,856G(0) \cdot (1 - \cos \beta) \cdot \frac{\rho}{2}$$

9. La irradiancia global.

La irradiancia global se define como la suma de las tres componentes antes definidas: directa, difusa y albedo.

$$G(\alpha, \beta) = G_B(\alpha, \beta) + G_D(\alpha, \beta) + G_R(\alpha, \beta)$$

Para el valor de la irradiancia global puede despreciarse el valor de la irradiancia de albedo.

10. Cálculo de los valores de operación de un generador fotovoltaico.

El primer paso consiste en el cálculo de la evolución de temperaturas a lo largo del día. El modelo utilizado para describir la variación de la temperatura ambiente (T_a) a lo largo de un día a partir de la temperatura máxima y mínima de ese día asume que:

- a. La temperatura ambiente máxima (T_{am}) se produce siempre dos horas después del mediodía solar ($\omega = \pi/6$).
- b. La temperatura ambiente mínima (T_{am}) se produce siempre al amanecer ($\omega = \omega_s$).
- c. Entre estos dos instantes, la temperatura ambiente evoluciona de acuerdo con dos semiciclos de dos funciones coseno, en función del tiempo solar (w):

- Para $\omega < \omega_s$

se usa: $T_a = T_{aM} - \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)]$

donde: $a = \frac{\pi}{\frac{\pi}{6} - \omega_2 - 2\pi}$ y $b = -a\omega_s$

- Para $\omega_s < \omega < \frac{\pi}{6}$

se usa: $T_a = T_{am} + \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)]$

donde: $a = \frac{\pi}{\omega_2 - \pi/6}$ y $b = -a \frac{\pi}{6}$

- Para $\omega > \frac{\pi}{6}$

se usa: $T_a = T_{aM} - \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)]$

donde: $a = \frac{\pi}{2\pi + \omega_2 - \frac{\pi}{6}}$ y $b = -\left(\pi + a \frac{\pi}{6}\right)$

Este procedimiento se usará para calcular la evolución temporal de la temperatura ambiente (T_a).

Para el cálculo de los valores de operación de un generador fotovoltaico se puede considerar la siguiente expresión para definir la característica I-V del mismo:

$$I_G = N_{mp} N_{cp} I_{sc} \left[1 - \exp \left(\frac{V_G / (N_{cs} N_{ms}) - V_{oc} + I_G R_s / (N_{cp} N_{mp})}{V_t} \right) \right]$$

Donde:

I_G es la corriente del generador fotovoltaico (A).

V_G es la tensión del generador fotovoltaico (V).

N_{cp} es el número de células en paralelo del módulo fotovoltaico.

N_{cs} es el número de células en serie del módulo fotovoltaico.

N_{mp} es el número de módulos en paralelo del generador fotovoltaico.

N_{ms} es el número de módulos en serie del generador fotovoltaico.

I_{sc} es la corriente de cortocircuito de una célula del módulo fotovoltaico (A).

V_{oc} es la tensión de circuito abierto de una célula del módulo fotovoltaico (V).

R_s es la resistencia serie de una célula del módulo fotovoltaico (W).

V_t es el voltaje térmico (V).

El objetivo es obtener el valor de potencia máxima que puede alcanzar el generador para un par de valores determinados de irradiancia y temperatura ambiente. Para cada punto de la curva I x V, el producto de la corriente y la tensión representan la potencia de salida para esas condiciones de operación. La potencia máxima de salida de la célula se obtiene para:

$$\frac{d(IV)}{dV} = 0$$

El **Factor de Forma** (FF) da la medida de la calidad de la unión y la resistencia serie de la célula. Se define como el cociente entre la potencia máxima y el producto de la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto. Idealmente, el FF es solo función del voltaje de circuito normalizado v_{oc} , definido como el cociente entre la tensión de circuito abierto de la célula y kT/q , estando ambos parámetros relacionados por la siguiente expresión empírica:

$$FF = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1}$$

A continuación se describe el procedimiento empleado para el cálculo de la tensión y corriente del punto de máxima potencia de una célula, bajo unas determinadas condiciones de radicación y temperatura, basado en el cálculo del Factor de Forma y partiendo de los siguientes valores característicos de la célula:

- Corriente de cortocircuito de una célula en condiciones estándar ($I_{SC, std}$).
- Tensión de circuito abierto de una célula en condiciones estándar ($V_{OC, std}$).
- Corriente de máxima potencia de una célula en condiciones estándar ($I_{MAX, std}$).
- Tensión de máxima potencia de una célula en condiciones estándar ($V_{MAX, std}$).
- Temperatura de operación nominal de la célula (T_{ONC}).
- Factor de forma en condiciones estándar (FF_{std}).

El proceso de cálculo emplea secuencialmente las siguientes ocho relaciones para obtener los valores de operación de la célula:

a. Corriente de cortocircuito de la célula:

$$I_{SC} = G(W/m^2) \frac{I_{SC, std}}{1000W/m^2}$$

b. Temperatura de la célula:

$$T_c ({}^{\circ}C) = T_a ({}^{\circ}C) + \left(\frac{T_{ONC} ({}^{\circ}C) - 20}{800W/m^2} \right) G(W/m^2)$$

c. Tensión de circuito abierto de la célula:

$$V_{OC}(V) = V_{OC, atc}(V) - 0,0023(T_c ({}^{\circ}C) - 25)$$

d. Tensión de célula normalizada:

$$v_{OC} = \frac{V_{OC}}{V_t}$$

donde V_t es el voltaje térmico:

$$V_t(V) = 0,025 \frac{T_c(^{\circ}C) + 273}{300}$$

e. Factor de forma para una célula ideal sin considerar la resistencia serie:

$$FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1}$$

f. Resistencia normalizada:

$$r_s = 1 - \frac{FF_{stc}}{FF_0}$$

g. Tensión y corriente de célula en el punto de máxima potencia:

$$V_{MAX} = V_{oc} \cdot \left[1 - \frac{b}{v_{oc}} \cdot \ln a - r_2 \cdot (1 - a^{-b}) \right]$$

$$I_{MAX} = I_{SC} \cdot (1 - a^{-b})$$

donde: $a = v_{oc} + 1 - 1 \cdot v_{oc} \cdot r_s$ y $b = \frac{a}{1+a}$

h. Máxima potencia de la célula (P_{MAX}):

$$P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX}$$

A partir de los valores calculados para las células del generador se suponen los siguientes valores de operación para el generador:

$$I_{MAXG} = I_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp}$$

$$V_{MAXG} = V_{MAX} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs}$$

$$P_{MAXG} = P_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \cdot N_{m2} \cdot N_{c2}$$

Recopilando las fórmulas anteriores tenemos el siguiente cuadro:

<p>1.- Corriente de cortocircuito de la célula</p> $I_{SC} = G (W/m^2) \frac{I_{SC, stc}}{1000W/m^2} \quad (4)$	<p>2.- Temperatura de la célula</p> $T_c = (^\circ C) = T_a (^\circ C) + \left(\frac{TONC(^\circ C) - 20}{800W/m^2} \right) G (W/m^2) \quad (5)$
<p>3.- Tensión de circuito abierto de la célula</p> $V_{OC} (V) = V_{OC, atc} (V) - 0,0023(T_c (^\circ C) - 25) \quad (6)$	<p>4.- Tensión de célula normalizada</p> $V_{OC} = \frac{V_{OC}}{V_t} \text{ siendo } V_t \text{ el voltaje térmico} \quad (7)$ $V_t (V) = 0,025 \frac{T_c (^\circ C) + 273}{300} \quad (8)$
<p>5.- Factor de forma para una célula ideal sin considerar la resistencia serie</p> $FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad (9)$	<p>6.- Resistencia normalizada</p> $r_s = 1 - \frac{FF_{stc}}{FF_0} \quad (10)$
<p>7.- Tensión y corriente de célula en el punto de máxima potencia</p> $V_{MAX} = V_{oc} \cdot \left[1 - \frac{b}{v_{oc}} \cdot \ln a - r_2 \cdot (1 - a^{-b}) \right] \quad (11)$ $I_{MAX} = I_{SC} \cdot (1 - a^{-b}) \quad (12)$	
<p>8.- Máxima potencia de la célula (P_{MAX})</p> $P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX} \quad (15)$	<p>9.- A partir de los valores calculados para las células del generador se suponen los siguientes valores de operación para el generador:</p> $V_{MAXG} = V_{MAX} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs} \quad (16)$ $I_{MAXG} = I_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \quad (17)$ $P_{MAXG} = P_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \cdot N_{m2} \cdot N_{c2}$

Tabla 2-3. Valores de operación de un generador fotovoltaico.

11. Cálculo de la potencia de la baldosa solar.

Aplicando los pasos 1 a 10 descritos anteriormente obtendremos la potencia máxima de la celda y de la baldosa solar en cualquier momento del día. Para ello la presente Guía anexa un software específico que además tiene en cuenta los aspectos que veremos a continuación, (transparencia, degradación, etc.).

En general la disposición en horizontal de la baldosa supone una reducción muy importante de la radiación solar sobre la misma, que puede oscilar según día del año y ubicación geográfica entre el 30 y el 70%.

En los pasos siguientes vamos a considerar además el efecto de transparencia del protector, de ensuciamiento, degradación del protector, envejecimiento del módulo solar y el más importante: la limitación de la iluminación directa por su ubicación en una calle urbana.

8.2. Efecto de la transparencia del protector.

Como hemos indicado anteriormente para un vidrio laminado extra-claro y con tratamiento superficial antideslizante la transmisividad lumínica no suele superar el 85%. Para el PMMA es del 90%.

Para los cálculos que se realicen se debe tomar un valor de 0,85; es decir se reducirá la potencia calculada en un 15%.

En cualquier caso los ensayos de transmisividad deben corroborar los datos anteriores.

8.3. Efecto del ensuciamiento.

En general cuando se tengan condiciones normales de mantenimiento del pavimento bastará la formulación de Fresnel descrita anteriormente para considerar las pérdidas por este motivo.

$$F_T = (\theta_2) = 1 - 0.0663\theta_2^2 + 0.0882\theta_2^3 - 0.194\theta_2^4$$

Cabe indicar que los valores que se obtienen por la fórmula de Fresnel suponen reducciones de la potencia entre un 50 y 5 % aproximadamente según el momento del día, por lo que puede considerarse un valor muy conservador.

8.4. Efecto de la degradación del protector.

La degradación del protector vendrá dada por el rallado superficial; como hemos indicado antes será imprescindible exigir valores de dureza 6 en la escala de Mohs. La degradación por rallado se traducirá en una pérdida de transmisividad lumínica.

Esta pérdida puede estar entre 5 y un 7% para zonas muy transitadas.

8.5. Efecto del envejecimiento del módulo solar.

En general, las casas que comercializan células solares cristalinas suelen certificar una vida útil de unos veinticinco a treinta años, con una pérdida en el año horizonte en el entorno del 20 a 25%, (0,8% anual aproximadamente de media).

En general se recomienda considerar unas pérdidas porcentuales de rendimiento del 1% anual.

8.6. Efecto del clima.

Según el clima habrá mayor o menor número de días soleados al año; a mayor número de días nublados menor irradiancia solar sobre la superficie. Este dato es muy variable a lo largo y ancho del planeta.

La reducción del número de días soleados supone el decremento de la producción eléctrica fotovoltaica anual de un módulo en un determinado porcentaje respecto de los valores que se obtendrían en atmósfera clara.

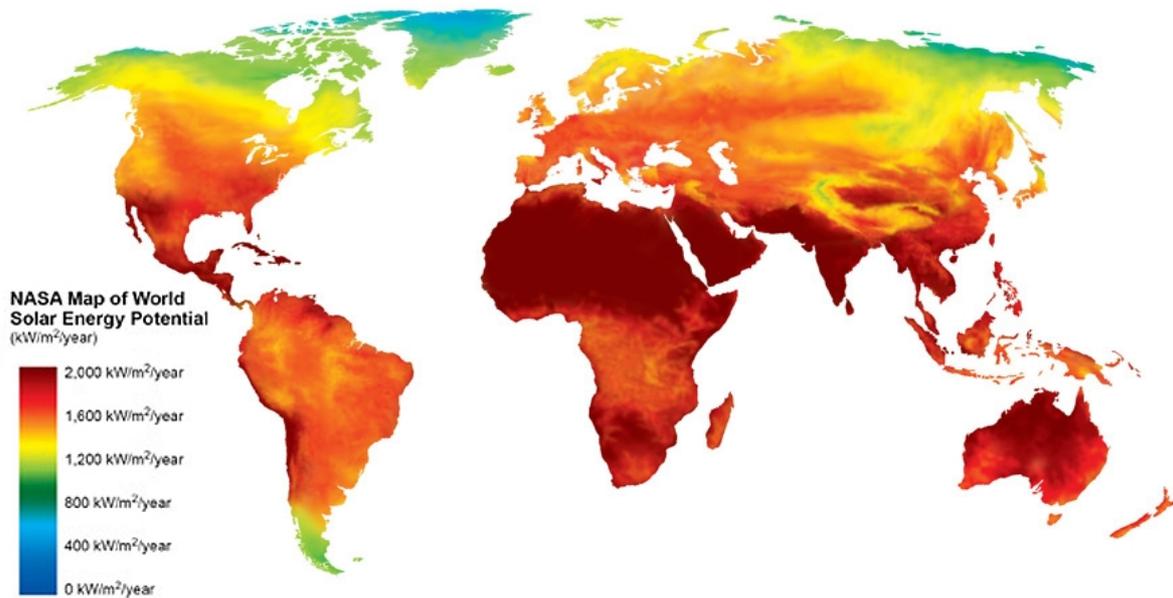


Imagen 36. Valores promedios de irradiancia solar en el mundo.

Las reducciones de producción solar fotovoltaica por efecto del clima respecto de atmósfera clara constituyen un dato que habrá que determinar de forma específica para cada ámbito geográfico.

8.7. Efecto de la disposición en sombra.

Este efecto es el más importante de todos los considerados, en tanto que la altura de los edificios va a imponer una reducción de las horas de iluminación directa.

La longitud de la sombra que proyecta un edificio de altura h_{edif} vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$L_{\text{sombra}} = h_{\text{edif}} / \text{tg } h$$

Siendo h la altura solar: $h = 90^\circ - \alpha_s$

En cada momento para un azimut sol determinado, (A_{sol}), tendremos que la sombra proyectada por un eje vertical forma un ángulo, (α_{sombra}), con la transversal a una calle con azimut A_{calle} y de anchura a_{calle} , dado por la fórmula:

$$\alpha_{\text{sombra}} = A_{\text{calle}} - 90^\circ - A_{\text{sol}}, \text{ estando medidos los azimuts desde el sur.}$$

El pavimento de una calle estará completamente en sombra cuando se cumpla:

$L_{\text{sombra}} \cos \alpha_{\text{sombra}} > a_{\text{calle}}$, o lo que es lo mismo cuando se cumpla:

$$[h_{\text{edif}} / \text{tg } h] \cos \alpha_{\text{sombra}} > a_{\text{calle}} \Rightarrow [h_{\text{edif}} / \text{tg } h] \cos (A_{\text{calle}} - 90^\circ - A_{\text{sol}}) > a_{\text{calle}}$$

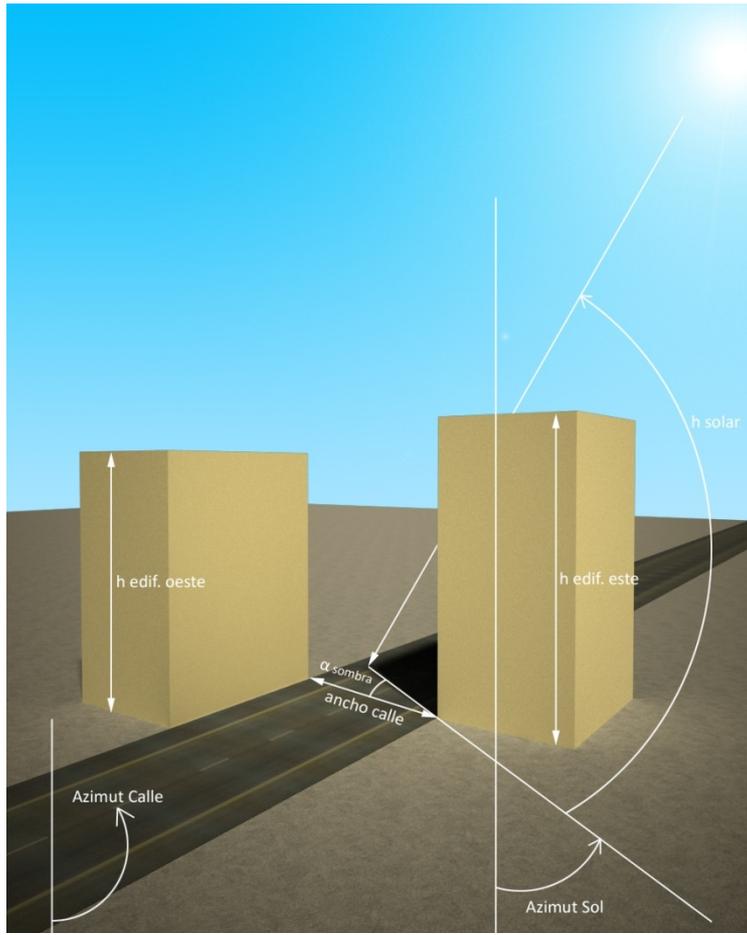


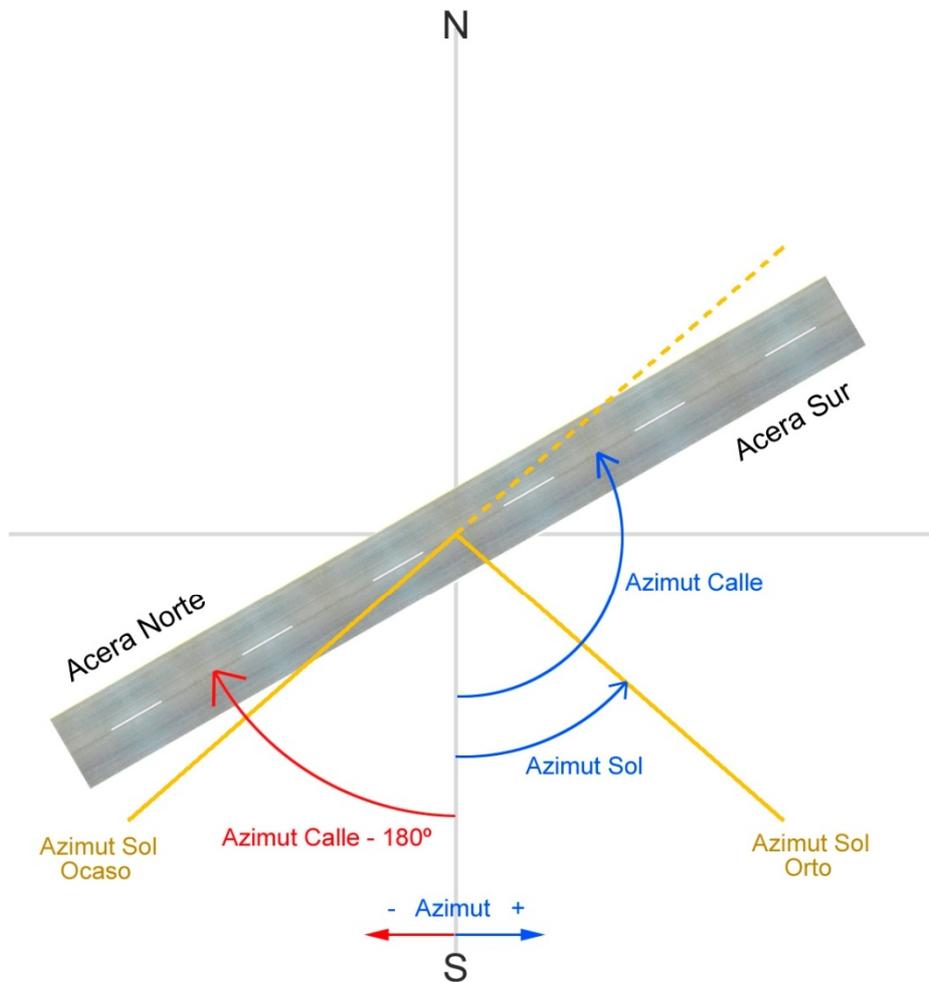
Imagen 37. Criterio de proyección de sombras de los edificios sobre una calle.

Toda la calle se encontrará iluminada cuando el azimut de la calle A_{calle} sea coincidente con el azimut del sol A_{sol} . Como puede deducirse la orientación de la calle juega un papel muy importante en la iluminación de la misma; así podemos considerar las siguientes situaciones:

- Calle con orientación este-oeste aproximadamente:

En esta calle cuando el A_{calle} sea mayor que el azimut del sol en su salida, (A_{orto}) y además menor que el azimut del sol en su ocaso menos 180° ($A_{\text{ocaso}} - 180^\circ$), ocurrirá que la acera ubicada al sur siempre estará en sombra:

$A_{\text{orto}} < A_{\text{calle}} < A_{\text{ocaso}} - 180^\circ \Rightarrow$ en este caso la acera sur siempre estará en sombra.



$$\text{Azimut Sol Orto} < \text{Azimut Calle} < \text{Azimut Ocaso} - 180^\circ$$

En este caso la Acera Sur siempre está en sombra

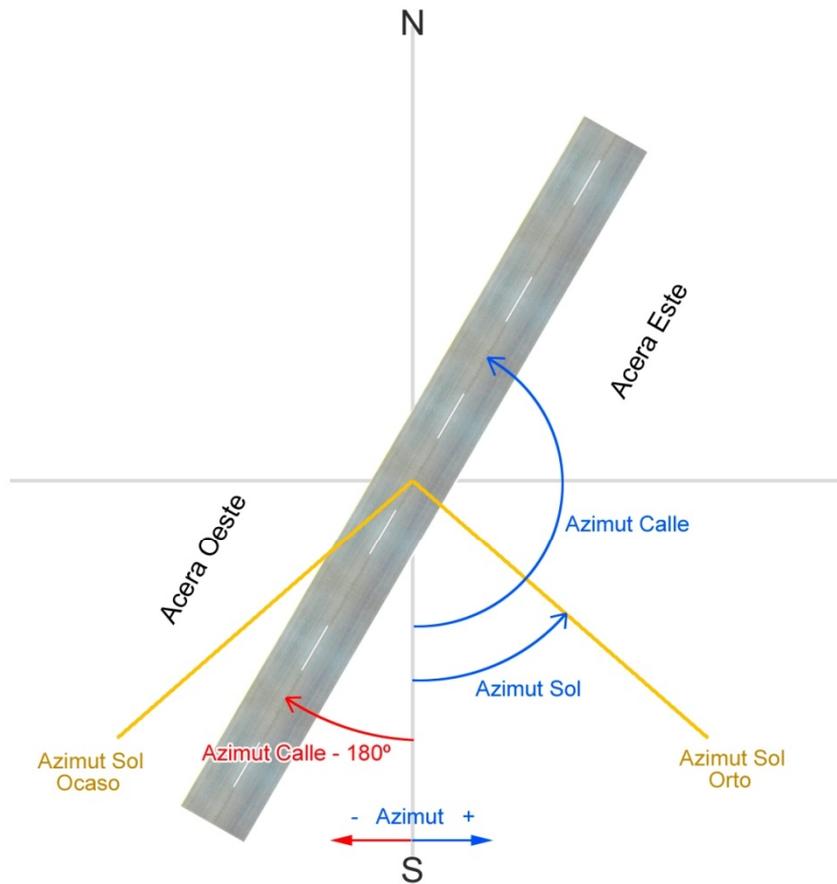
Imagen 38. Ejemplo de vial sin iluminación de la acera sur.

Para las restantes calles en cada momento habrá un borde iluminado y otro en sombra salvo en el momento que el azimut de la calle coincida con el azimut del sol, en el que ambos bordes estarán iluminados.

Por estas calles diferenciaremos un borde o acera oeste y un borde o acera este; para diferenciar ambas aceras cortaremos la calle por una línea de sentido este-oeste; la acera cortada por el extremo este de la línea será la "acera este" y la opuesta la "acera oeste".

Si consideramos una calle de ancho infinito, para conocer la acera que se encuentra iluminada consideraremos si el azimut de la calle A_{calle} es mayor que el azimut del sol en el orto A_{orto} .

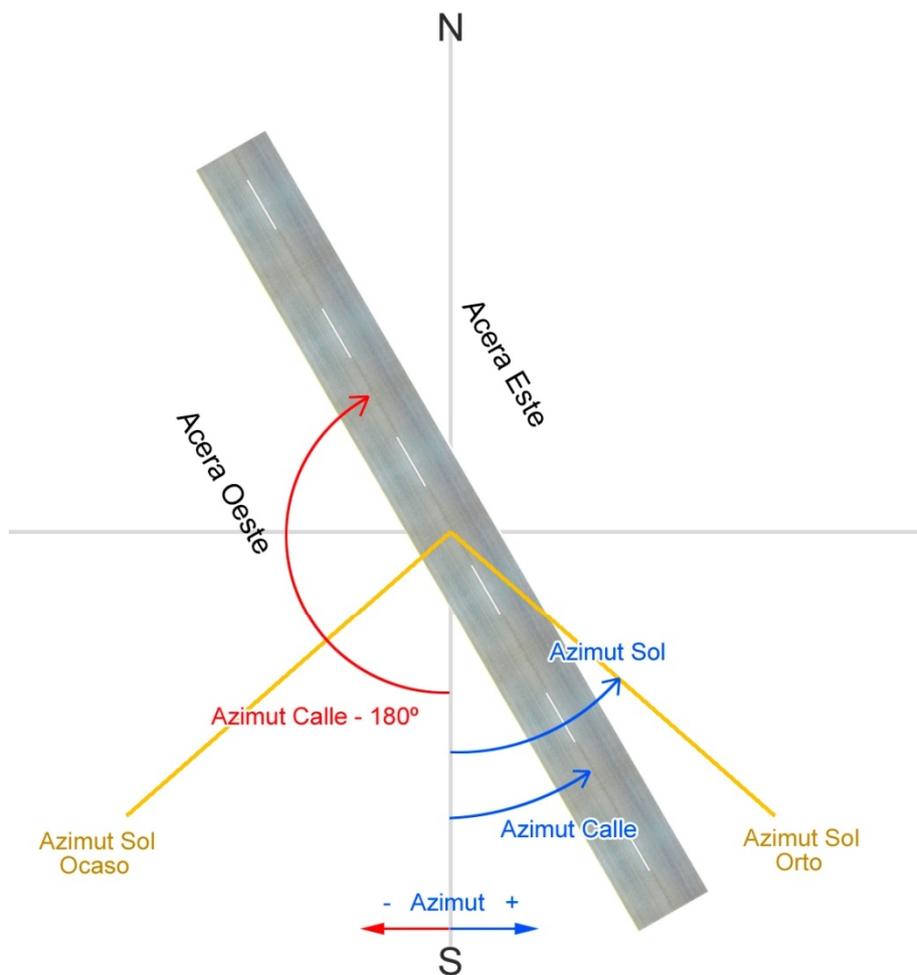
Situación 1: $A_{\text{calle}} > A_{\text{orto}}$



Azimut Calle > Azimut Sol Orto	Azimut Sol > 0	Azimut Sol < Azimut Calle
Iluminación Acera Oeste	Azimut Sol < 0	Azimut Sol > Azimut Calle - 180°

Imagen 39. Condiciones de iluminación de la acera oeste con $A_{\text{calle}} > A_{\text{orto}}$ para una calle de ancho infinito.

Situación 2: $A_{\text{calle}} < A_{\text{orto}}$



Azimut Calle < Azimut Sol Orto	Azimut Sol > 0	Azimut Sol > Azimut Calle
Iluminación Acera Oeste	Azimut Sol < 0	Azimut Sol < Azimut Calle - 180°

Imagen 40. Condiciones de iluminación de la acera oeste con $A_{\text{calle}} < A_{\text{orto}}$ para una calle de ancho infinito.

Cuando no se cumplan los criterios anteriores en ambas situaciones la acera este estará iluminada.

Para una calle de ancho finito a_{calle} , la iluminación se dará en cada una de las aceras cuando además de los criterios anteriores se produzca que:

$$[h_{\text{edif}} / \text{tg } h] \cos a_{\text{sombra}} < a_{\text{calle}} \Rightarrow [h_{\text{edif}} / \text{tg } h] \cos (A_{\text{calle}} - 90^\circ - A_{\text{sol}}) < a_{\text{calle}}$$

Con las fórmulas anteriores en cada momento del día podremos saber qué borde de la calle se haya iluminado, la longitud de la sombra, y lo que es más importante, el número horas que la baldosa solar va a tener iluminación directa.

De esta manera y con los procedimientos definidos y teniendo en cuenta las pérdidas por transmisividad, envejecimiento y conociendo las horas de luz directa en cada calle según su geometría, para el borde oeste o este de la calle podremos determinar el rendimiento fotovoltaico de la baldosa solar.

CAPÍTULO 3. LOS FORJADOS DISCONTINUOS SIN CIMBRA



CAPÍTULO 3.

LOS FORJADOS DISCONTINUOS SIN CIMBRA

PARTE 1. PRESENTACIÓN GENERAL

La necesidad de desarrollar soluciones estructurales prefabricadas que permitan reducir los tiempos de construcción, mejoren el comportamiento estructural y reduzcan la complejidad de los procedimientos constructivos ha conducido al desarrollo tecnológico de los forjados discontinuos sin cimbra.

Los forjados discontinuos sin cimbra destacan por las siguientes ventajas:

- Permiten la construcción del forjado prescindiendo de la cimbra y del encofrado horizontal, siendo suficiente el apoyo de los paños prefabricados sobre puntales ubicados en los nervios del contorno.
- La solución destaca por la rigidización perimetral de la estructura que comparte las ventajas de los forjados unidireccionales en los que los esfuerzos se conducen a los pilares por medio de vigas, y de los forjados reticulares con transmisión de esfuerzos en ambos sentidos. Como resultado se produce un incremento considerable de la inercia de vigas y zunchos y una minoración importante de las deformaciones verticales.

Los paneles de forjados prefabricados se hacen mediante el empleo de hormigón reforzado con mezcla de fibras de vidrio HRMFV, lo que permite una importante reducción del armado y garantizar la ausencia de fisuración para niveles estándar de carga.

Estos forjados pueden ejecutarse con techo visto reticulado o bien mediante la introducción de casetones con techo plano. En el primer caso se emplearán prelosas que tapan los huecos de las retículas antes de ejecutar la capa de compresión, o bien la losa de compresión se ejecutará con el panel prefabricado.



Imagen 41. Detalle de forjado discontinuo sin cimbra.

PARTE 2. GEOMETRÍA Y FORMATOS.

Los formatos disponibles son:

- Forjado discontinuo sin cimbra de 30 cm de canto reticulado.
Código de producto: FDSC-30-R.

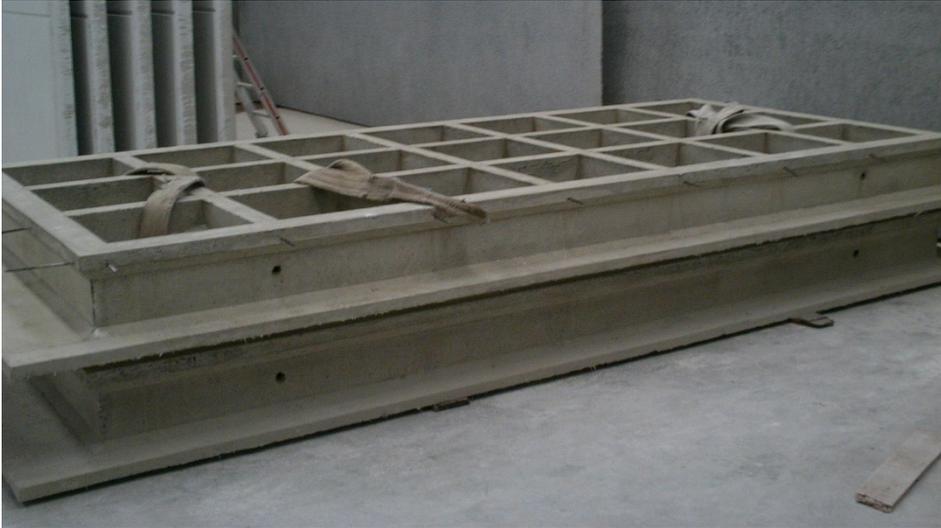


Imagen 42. Detalle de forjado discontinuo de 30 cm de canto.

- Forjado discontinuo sin cimbra de 35 cm de canto reticulado.
Código de producto: FDSC-35-R.



Imagen 43. Detalle de forjado discontinuo de 35 cm de canto.

Los casetones y prelosas para cada una de las soluciones anteriores presentan la siguiente codificación:

- Casetón forjado reticular FDSC-30-R: C-30-R.

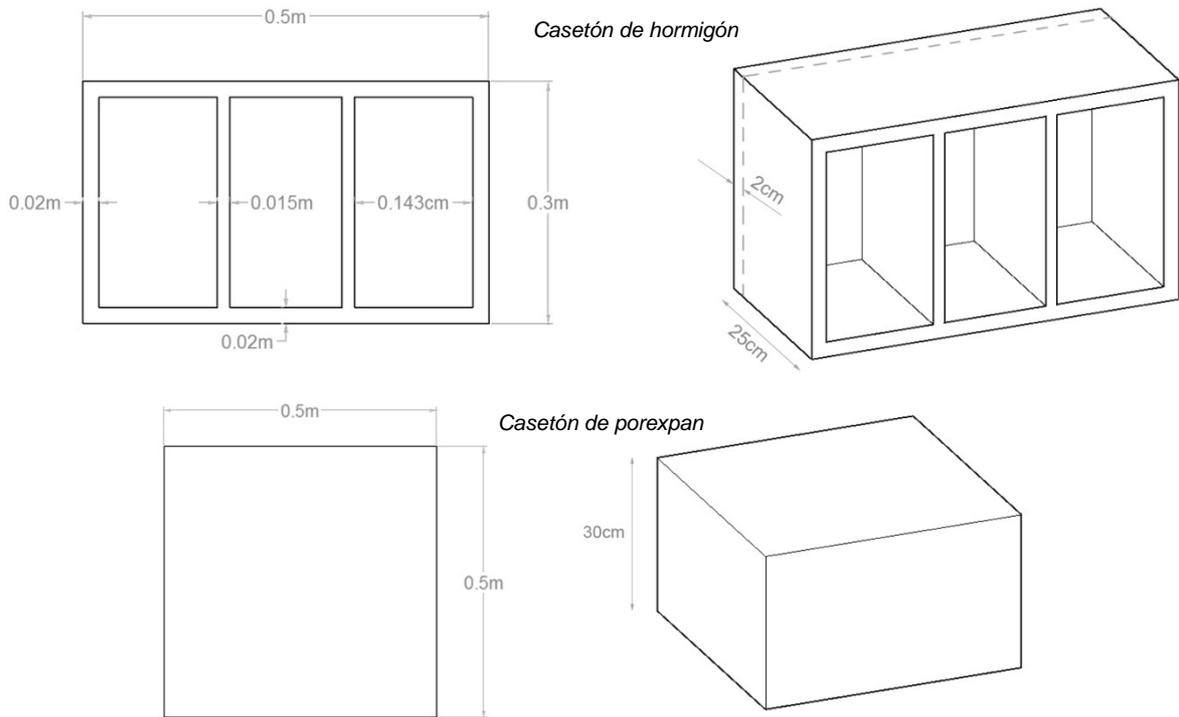


Imagen 44. Casetón de hormigón para ejecutar techo plano. A incorporar en la prefabricación.

- Casetón forjado reticular FDSC-35-R: C-35-R.

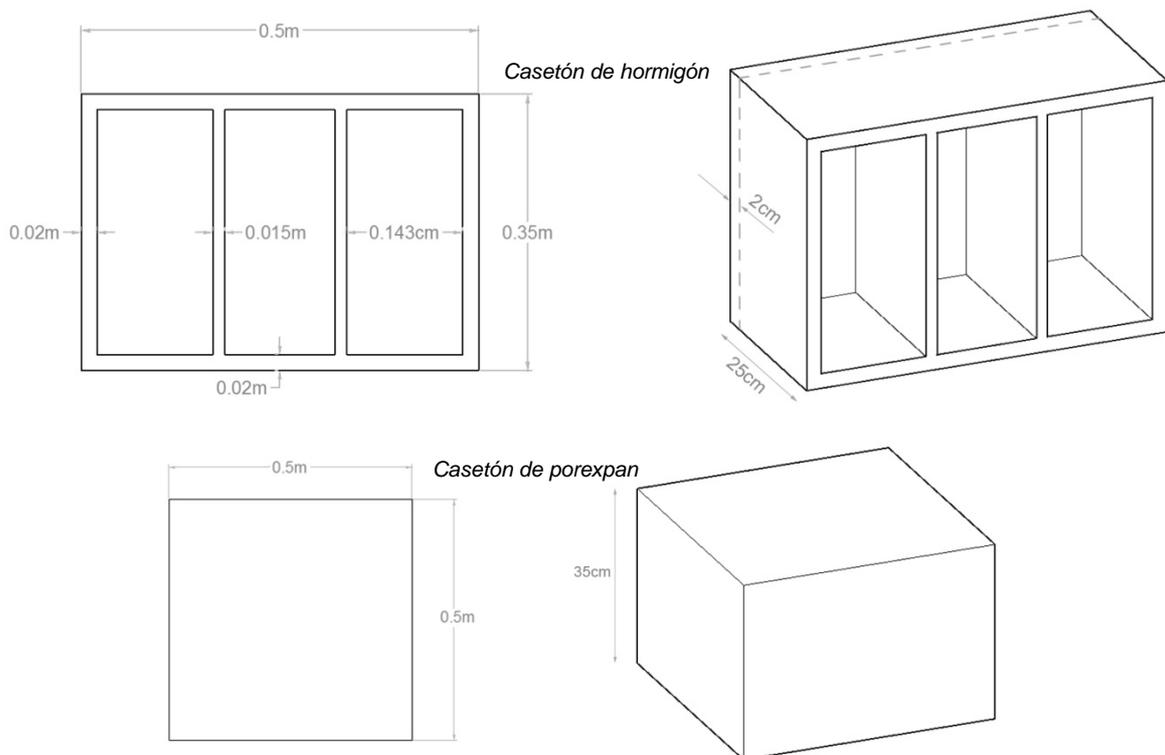


Imagen 45. Detalles de casetones de hormigón y porexpan.

- Prelosa 50x50x4 cm: P-R.



Imagen 46. Detalle de prelosa.

Las luces máximas que se consideran en cada caso son:

- Forjado FDSC-30-R: 6 m.
- Forjado FDSC-35-R: 8 m.

Las retículas en ambos casos son de 50x50 cm y los nervios de espesor variable entre 8 cm en la fibra inferior y 8,5 en la superior, cuando no se dispongan casetones. En este último caso los nervios serán de 8 cm en toda la altura.

La dimensión máxima del forjado FDSC-30-R será de 3x9 retículas, pudiendo configurarse cualquier otra dimensión interior a esta, (2x8, 3x7, 3x6, etc.).

En el caso del forjado FDSC-35-R la dimensión máxima será de 3x13 retículas.

A petición del promotor podrán hacerse retículas incompletas en determinados casos, (medias retículas por lo general).

Por su parte las alas laterales podrán tener una longitud máxima de 30 cm de vuelo, siendo el valor convencional de 25 cm. Para zunchos intermedios lo normal será limitar el ala a 12,5 o 15 cm.

En los gráficos siguientes se exponen las dimensiones de los diferentes formatos de forjados, así como de prelosas y casetones.

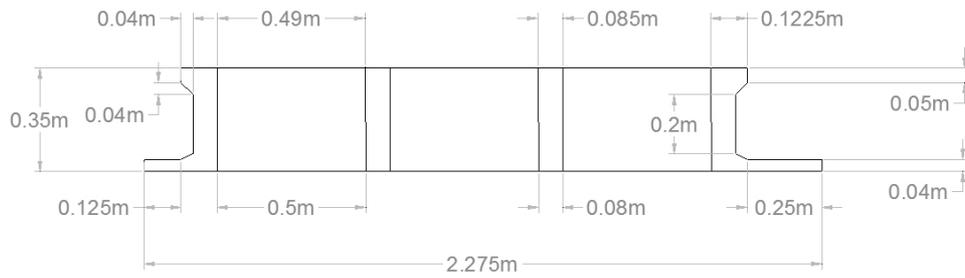
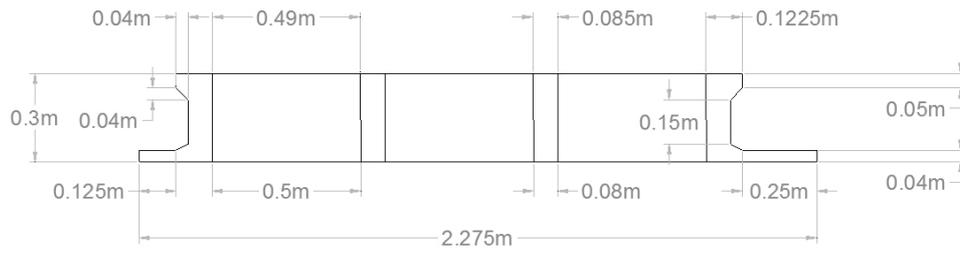


Imagen 47. Secciones Forjados de 30 y 35cm sin casetones.



Imagen 48. Secciones Forjados de 30 y 35cm con casetones.



Imagen 49. Secciones Forjados con prelasas instaladas.

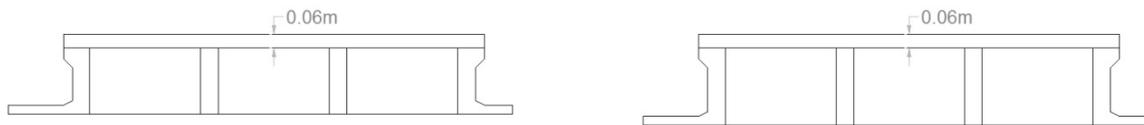


Imagen 50. Secciones Forjados de 30 y 35cm con losa de compresión ejecutada en prefabricación.

PARTE 3. MATERIALES.

Los hormigones a emplear cumplirán la siguiente dosificación:

Árido	1700 Kg
Cemento 42,5 R	400 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2,4 l
Fibra de vidrio 36 mm longitud	15 Kg
Fibra de vidrio 12 mm longitud	4 kg
Agua	200 l, (según el contenido de cemento)

Árido:

Fracción de gruesos, 8/12 mm: 40%.

Fracción de finos, 0/5 mm: 60%.

Los ensayos deberán garantizar una resistencia característica mínima de 35 MPa y una resistencia a flexotracción de 5,5 MPa.

La fibra de vidrio cumplirá las siguientes prescripciones:

Fibra de vidrio

- Contenido mínimo en ZrO₂ >15%.
- Longitud de la fibra: 36 mm.
- Pérdida a fuego = 2 %.
- Filamentos unidos formando hebras.
- Diámetro del filamento = 14 μ
- Masa lineal (g/km) = 2.450 Tex.
- Densidad = 2,68 g/cm³
- Alargamiento a rotura de la hebra = 4,5 %.
- Módulo de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Resistencia a la tracción de la hebra (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Resistencia a tracción del Filamento Virgen = 3.500 MPa

Finalmente el acero será certificado del tipo B500S.

PARTE 4. CONTROL DE CALIDAD.

En la central de fabricación se aplicarán los ensayos correspondientes a un nivel intenso de control de aceros y hormigones, de acuerdo con la normativa nacional en cada caso.

Cada lote deberá incluir los ensayos que verifiquen la resistencia característica del hormigón y la resistencia a flexotracción, así como aquellos otros que prescriban las correspondientes instrucciones.

Los lotes en el hormigón no superarán los siguientes límites superiores:

Superficie de panel construido: 300 m².

Tiempo de hormigonado: 2 semanas.

Aceros y fibra de vidrio incluirán certificado de calidad.

Los lotes en aceros y fibras respetarán los siguientes límites superiores:

Superficie de panel construido: 5000 m².

Por lote de entrega.

El fabricante entregará el plan de control de la planta y los ensayos correspondientes al control de los paneles suministrados.

PARTE 5. SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS Y ESTRUCTURALES.

En general con los forjados discontinuos el arquitecto podrá trabajar con amplia libertad de diseño adaptando posteriormente la dimensión de los paneles a los espacios que queden entre pilares.

La losa de compresión será de 6cm de espesor.

En general por facilidad constructiva se recomienda que vigas y zunchos no excedan los 30 cm de anchura, suficientes considerando que el canto de los mismos será de 33 cm mínimo para niveles estándar de cargas.

Cuando se prevean anchuras superiores en vigas de borde se recomienda no ejecutar el ala del panel debiendo disponer un encofrado inferior para la ejecución de la viga del forjado.

De la misma forma se recomienda el empleo de pilares rectangulares adaptados a la forma del ala de 25 o 30 cm. Cuando la dimensión del pilar sea superior el nervio de esquina se fabricará adaptado a dicha dimensión como se ve en el gráfico adjunto.

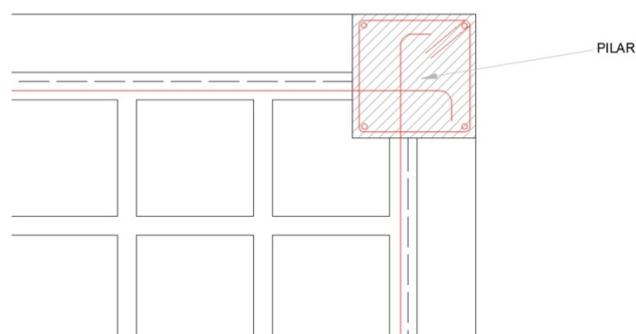


Imagen 51. Ejecución de encuentros con pilares de mayor ancho que las vigas.

PARTE 6. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

Una vez ejecutados los pilares bastará disponer líneas de puntales por los lados de los paneles prefabricados. Estas líneas de puntales coronarán sobre un listón que podrá apoyarse ó no en los pilares.

Alternativamente cuando se pongan los paneles por pares el número de puntales podrá optimizarse disponiendo tres líneas de puntales con sus correspondientes listones:

- una línea transversalmente en el centro de unión de los dos paneles.
- dos líneas paralelas a la anterior en los bordes de cada uno de los paneles.

En la foto adjunta se observa el procedimiento anterior.



Imagen 52. Colocación de paños prefabricados.

Pasados los siete días podrán retirarse los puntales. Cuando sea previsible la disposición de cargas durante la obra, convendrá dejar los puntales empleados en el forjado inferior pudiendo trabajar en la planta superior, lo cual se traducirá en una clara reducción de tiempos.



Imagen 53. Colocación de prelosas, encofrado, relleno de hormigón y desencofrado final.

PARTE 7. CÁLCULO ESTRUCTURAL.

Para el cálculo estructural los forjados discontinuos sin cimbra el proyectista podrá adoptar el método que entienda más adecuado para el dimensionado estructural.

La presente Guía aporta un método simplificado de gran sencillez y fácil de modelizar mediante cualquier software de cálculo de estructuras de edificación. Este método conocido como el método de la losa equivalente, consiste en considerar una losa de inercia equivalente ubicada entre las vigas y zunchos de los paneles de forjado sin cimbra. A su vez las vigas y zunchos se dimensionarán con el ancho equivalente entre el borde del forjado y el panel, (en el caso de vigas de borde), o entre dos paneles continuos, (en el caso de vigas o zunchos interiores). El canto de vigas y zunchos será el indicado a continuación:

La losa equivalente tendrá las siguientes características:

- Forjado FDSC-30-R
Hormigón: HRMFV-35.
Canto de la losa equivalente: 28 cm. (Losa de compresión 6cm)
Peso de la losa equivalente: según ajuste geométrico. Véase software adjunto.
- Forjado FDSC-35-R
Hormigón: HRMFV-35.
Canto de la losa equivalente: 31 cm. (Losa de compresión 6cm)
Peso de la losa equivalente: según ajuste geométrico. Véase software adjunto.

En ambos casos se aplicará un coeficiente de reducción de la inercia a torsión de la losa equivalente = 0,2

Para modelizar la losa equivalente se considerará que la unión de la losa con vigas y zunchos es rígida. El hormigón de vigas y zunchos quedará a elección del proyectista recomendando el empleo de HA-35.

Para considerar el peso de la losa el calculista podrá introducir la losa sin peso y posteriormente aplicar una carga permanente superficial del peso equivalente, o bien introducir un peso por volumen reducido para obtener la misma carga por metro cuadrado por peso propio.

Los modelos desarrollados por elementos finitos demuestran que el método anterior arroja valores de solicitaciones de un 5% a un 10% superior respecto del modelo real del forjado discontinuo sin cimbra. De la misma forma las flechas se sitúan en el entorno del 10%, de ahí que el método quede del lado de la seguridad simplificando enormemente el cálculo de los forjados.

En las siguientes fichas se aportan los valores máximos de momentos positivos, negativos y cortantes esperables para los diferentes formatos de paneles de forjado discontinuo sin cimbra.

El calculista deberá comparar que en la losa equivalente las solicitaciones son inferiores a los valores anteriores.

Ello garantizará la ausencia de fisuraciones en los paños de forjado discontinuo sin cimbra.

El calculista diferenciará las solicitaciones en los nervios del contorno respecto de las solicitaciones en los nervios interiores.

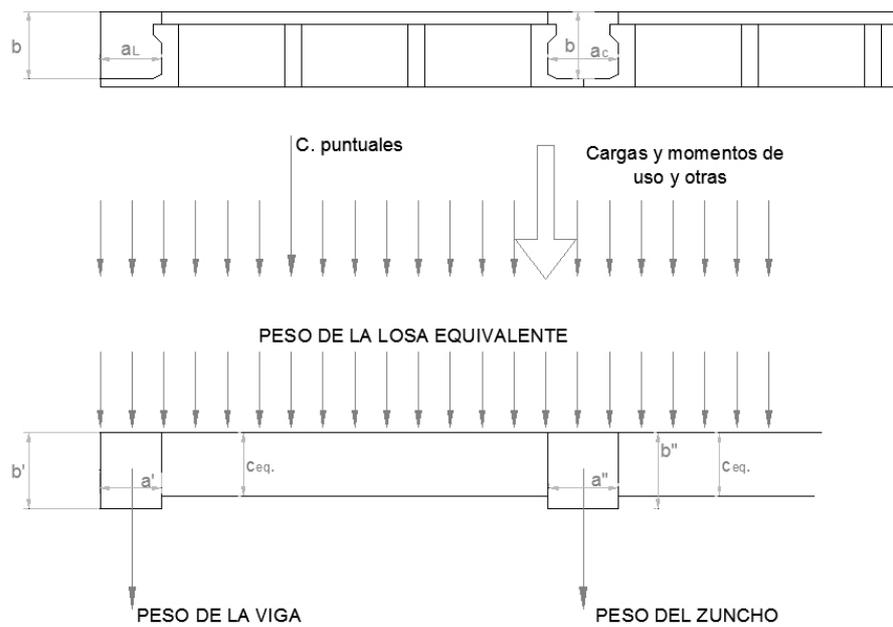


Imagen 54. Asignación de cargas en la losa equivalente.

FDSC-30-R (30cm)	$b' = b + 1 \text{ cm}$ $a' = a_L - 2 \text{ cm}$	$b'' = b + 1 \text{ cm}$ $a'' = a_C - 3 \text{ cm}$	$C_{eq.} = 28 \text{ cm}^{(1)}$ Peso: según geometría.
FDSC-35-R (35cm)	$b' = b$ $a' = a_L - 1 \text{ cm}$	$b'' = b$ $a'' = a_C - 1,5 \text{ cm}$	$C_{eq.} = 31 \text{ cm}^{(1)}$ Peso: según geometría.

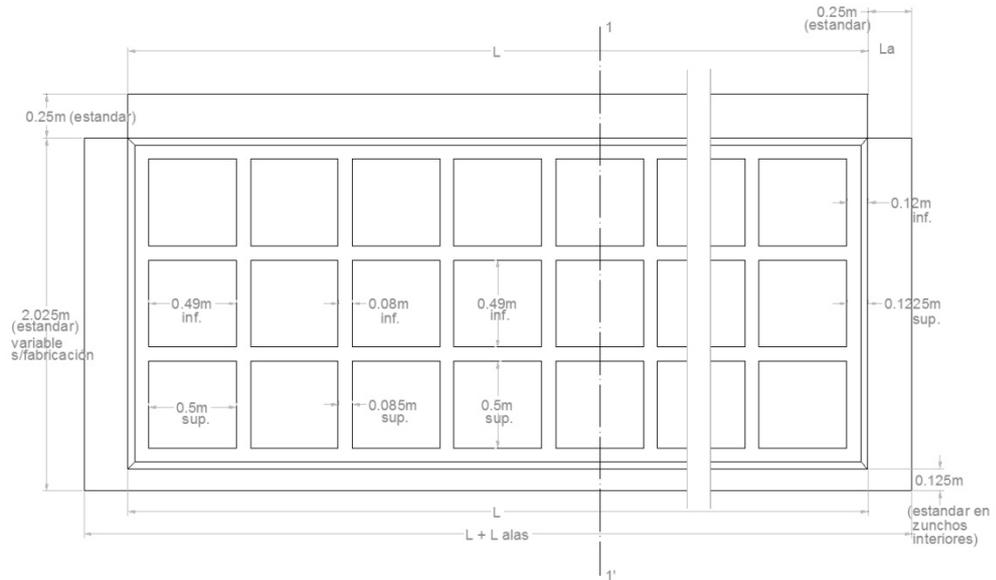
(1) con prelasas aumentar en 2 cm el canto equivalente.

Tabla 3-1. Geometría de la losa equivalente, vigas y zunchos interiores.

FORJADO TIPO FDSC-30-R

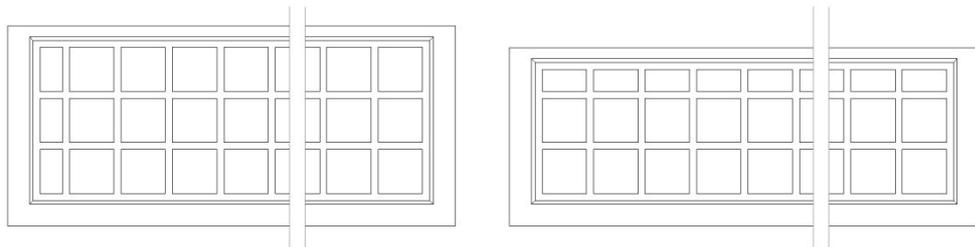
1.- GEOMETRÍA

Planta

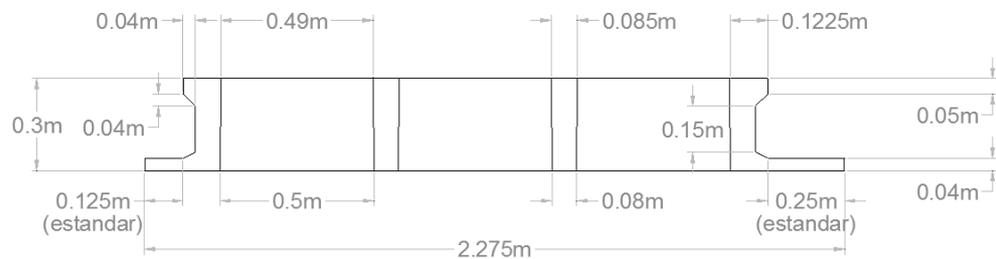


La dimensión de las alas podrá ajustarse a la dimensión perimetral que requiere el forjado

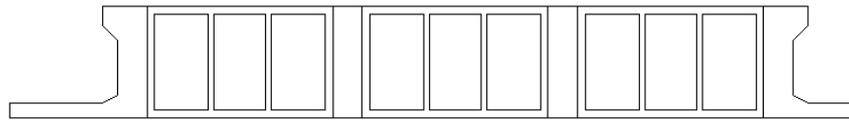
Soluciones con medios casetones



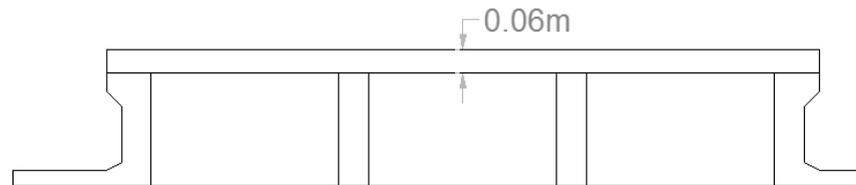
Sección 1-1'



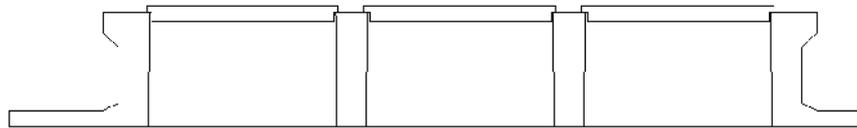
Opción con casetones incorporados en prefabricación:



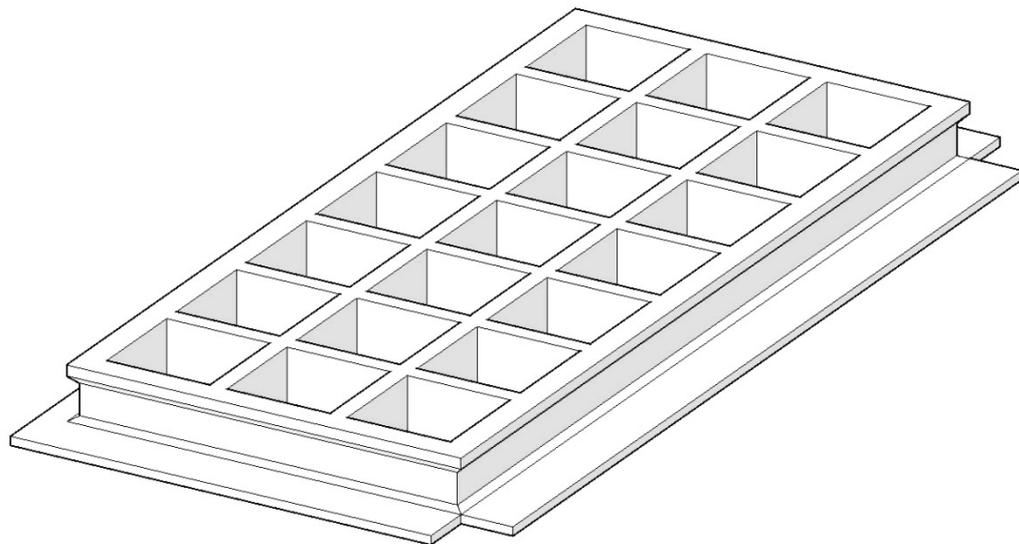
Opción losa de compresión incorporada:



Opción con prelasas:

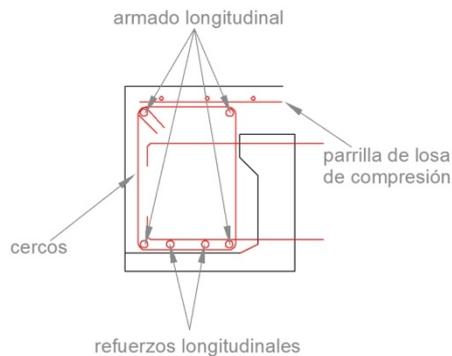


Vista 3D

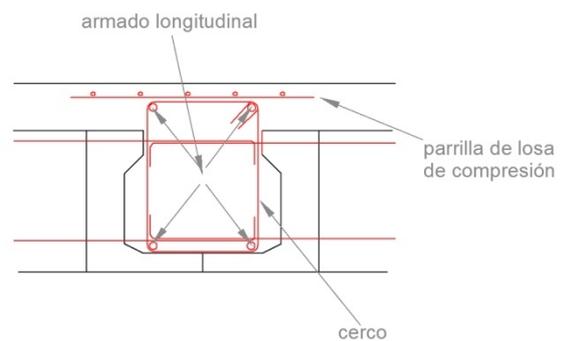


2.- VIGAS Y ZUNCHOS

DETALLE ARMADO VIGA PERIMETRAL



DETALLE ARMADO ZUNCHO CENTRAL



3.- DOSIFICACIÓN Y MATERIALES

Los hormigones a emplear cumplirán la siguiente dosificación:

Árido	1700 Kg
Cemento 42,5 R	400 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2,4 l
Fibra de vidrio 36 mm longitud	15 Kg
Fibra de vidrio 12 mm longitud	4 kg
Agua	200 l, (según el contenido de cemento)

Árido:

Fracción de gruesos, 8/12 mm: 40%.

Fracción de finos, 0/5 mm: 60%.

Los ensayos deberán garantizar una resistencia característica mínima de 35 MPa y una resistencia a flexotracción de 5,5 MPa.

La fibra de vidrio cumplirá las siguientes prescripciones:

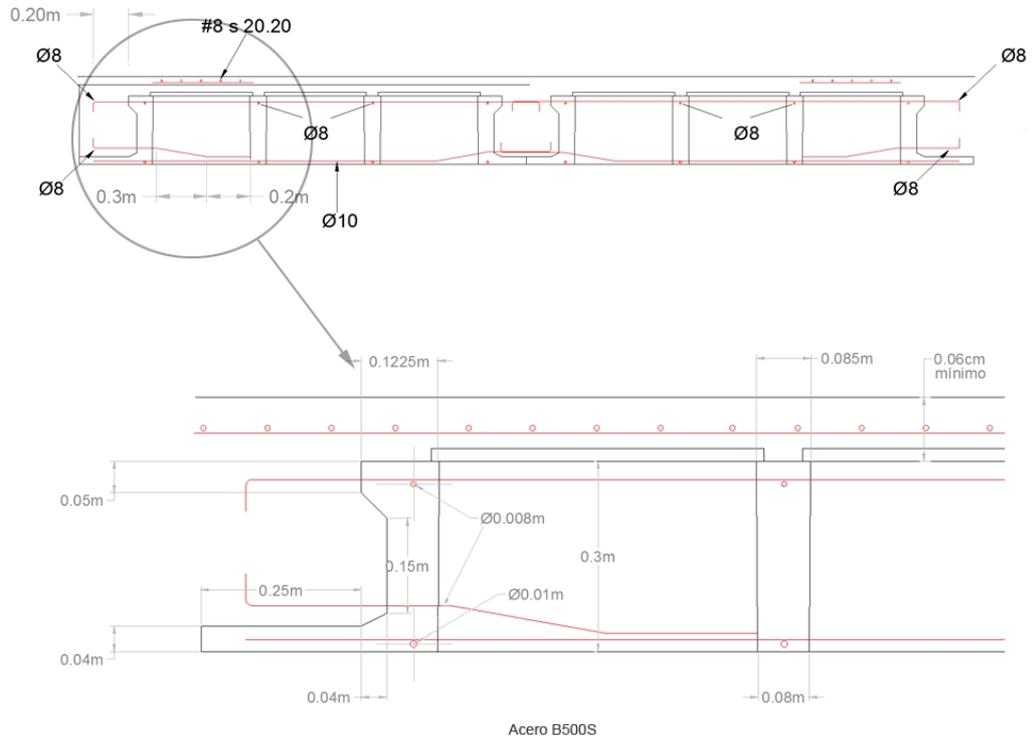
Fibra de vidrio

- Contenido mínimo en $ZrO_2 > 15\%$.
- Longitud de la fibra: 36 mm.
- Pérdida a fuego = 2 %.
- Filamentos unidos formando hebras.
- Diámetro del filamento = 14μ
- Masa lineal (g/km) = 2.450 Tex.
- Densidad = $2,68 \text{ g/cm}^3$
- Alargamiento a rotura de la hebra = 4,5 %.
- Módulo de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Resistencia a la tracción de la hebra (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Resistencia a tracción del Filamento Virgen = 3.500 MPa

Finalmente el acero será certificado del tipo B500S.

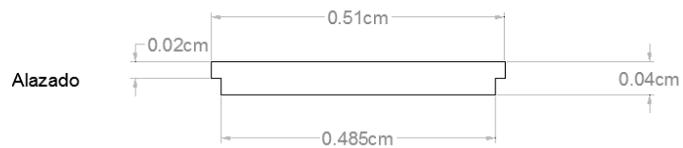
4.- ARMADOS, ANCLAJES Y LOSA DE COMPRESIÓN

Detalle armado losa prefabricada y losa de compresión

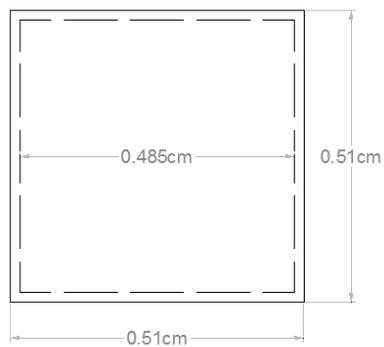


5.- PRELOSAS O CASETONES

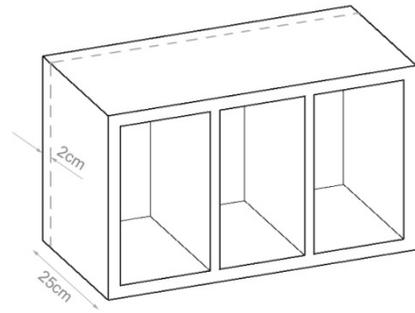
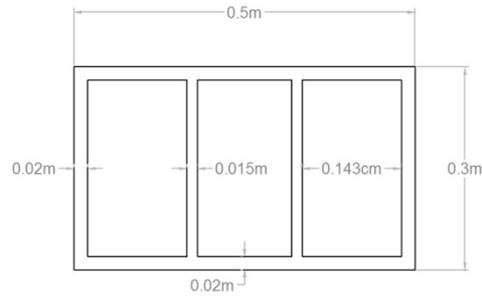
Prelosa



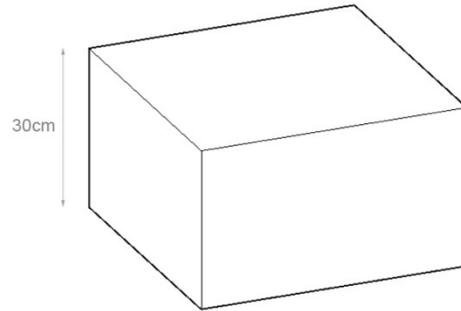
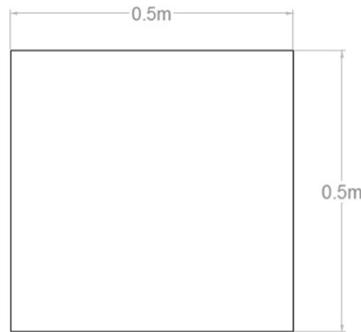
Planta



**Casetón
(hormigón)**



**Casetón
(porexpan)**



6.- PESOS

Calcular según ajuste geométrico. (Ver software adjunto)

7.- ESFUERZOS MÁXIMOS PARA EL FORJADO PREFABRICADO POR METRO DE ANCHO

El calculista deberá comprobar que la combinación de esfuerzos sin mayorar en la losa prefabricada no sobrepasan los siguientes valores de solicitaciones.

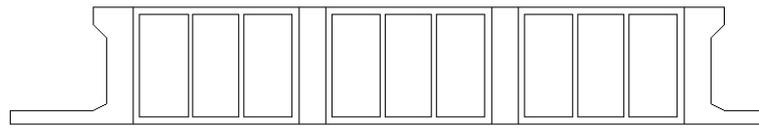
VALORES MÁXIMOS DE SOLICITACIÓN EN LOS NERVIOS PERIMETRALES DE UNIÓN CON VIGAS Y ZUNCHOS

	Momento máximo positivo, (m·kp/m)	Momento máximo negativo, (m·kp/m)	Cortantes, (kp/m)
FDSC-30-R	4.615,00	7.400,00	24480

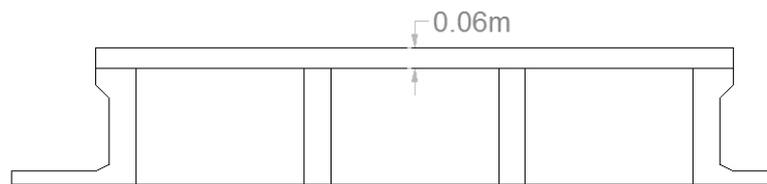
VALORES MÁXIMOS DE SOLICITACIÓN EN LOS NERVIOS INTERIORES

	Momento máximo positivo, (m·kp/m)	Momento máximo negativo, (m·kp/m)	Cortantes, (kp/m)
FDSC-30-R	2.640,00	6.000,00	17820

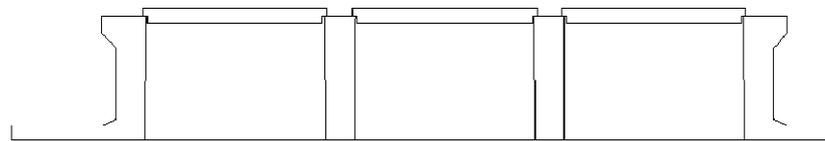
Opción con casetones incorporados en prefabricación:



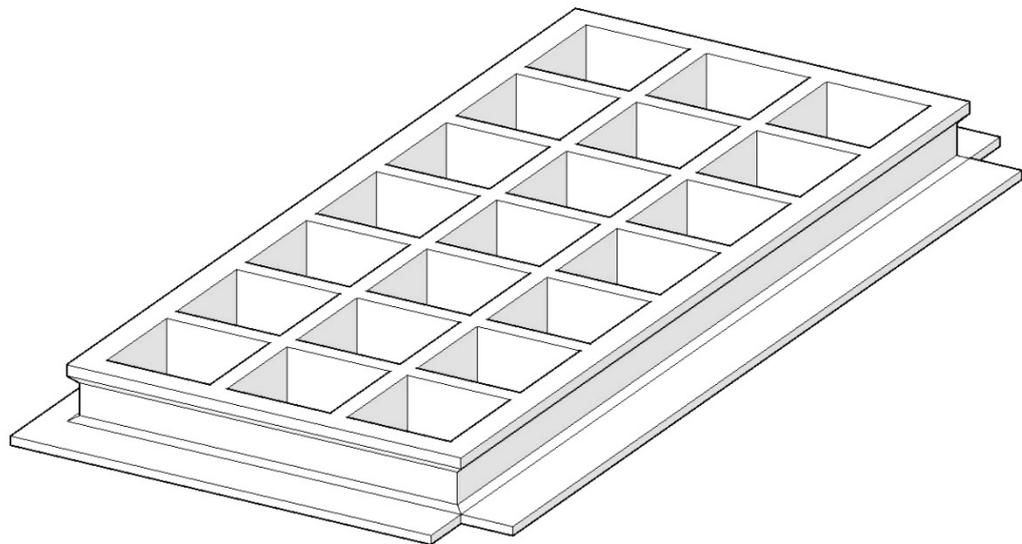
Opción losa de compresión incorporada:



Opción con prelosas:

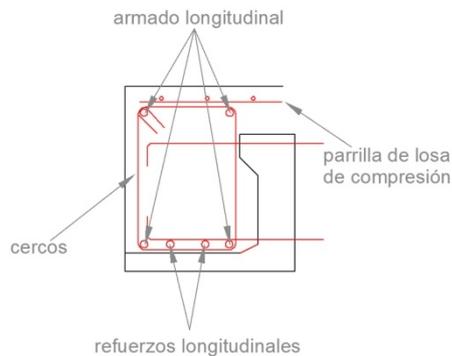


Vista 3D

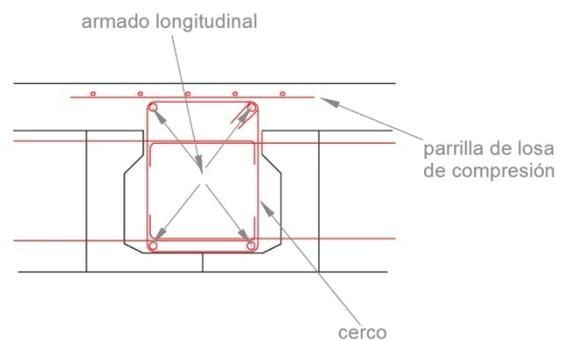


2.- VIGAS Y ZUNCHOS

DETALLE ARMADO VIGA PERIMETRAL



DETALLE ARMADO ZUNCHO CENTRAL



3.- DOSIFICACIÓN Y MATERIALES

Los hormigones a emplear cumplirán la siguiente dosificación:

Árido	1700 Kg
Cemento 42,5 R	400 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2,4 l
Fibra de vidrio 36 mm longitud	15 Kg
Fibra de vidrio 12 mm longitud	4 kg
Agua	200 l, (según el contenido de cemento)

Árido:

Fracción de gruesos, 8/12 mm: 40%.

Fracción de finos, 0/5 mm: 60%.

Los ensayos deberán garantizar una resistencia característica mínima de 35 MPa y una resistencia a flexotracción de 5,5 MPa.

La fibra de vidrio cumplirá las siguientes prescripciones:

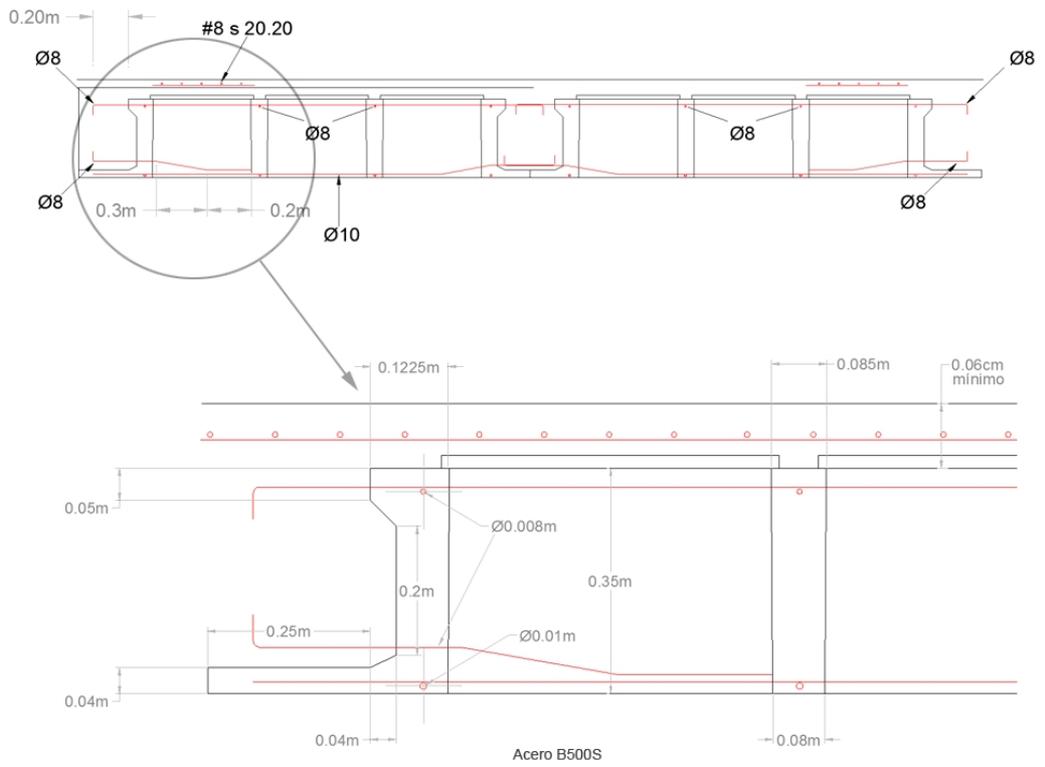
Fibra de vidrio

- Contenido mínimo en ZrO₂ >15%.
- Longitud de la fibra: 36 mm.
- Pérdida a fuego = 2 %.
- Filamentos unidos formando hebras.
- Diámetro del filamento = 14 μ
- Masa lineal (g/km) = 2.450 Tex.
- Densidad = 2,68 g/cm³
- Alargamiento a rotura de la hebra = 4,5 %.
- Módulo de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Resistencia a la tracción de la hebra (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Resistencia a tracción del Filamento Virgen = 3.500 MPa

Finalmente el acero será certificado del tipo B500S.

4.- ARMADOS, ANCLAJES Y LOSA DE COMPRESIÓN

Detalle armado losa prefabricada y losa de compresión

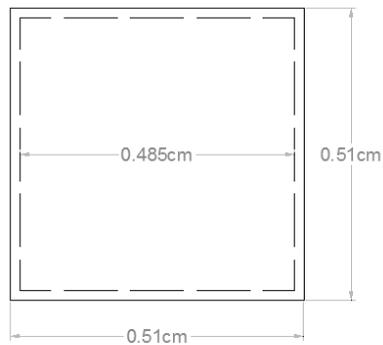


5.- PRELOSAS O CASETONES

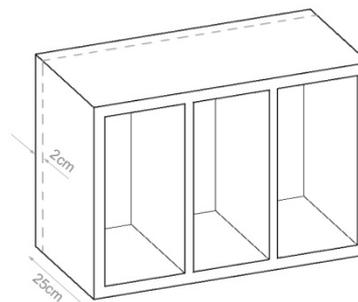
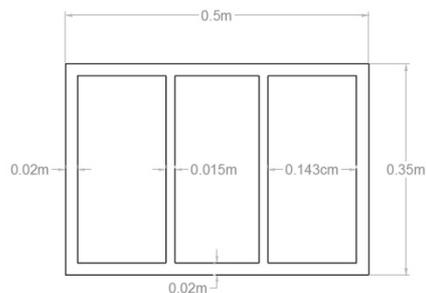
Prelosa



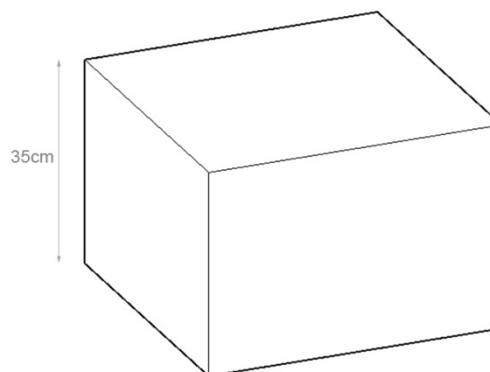
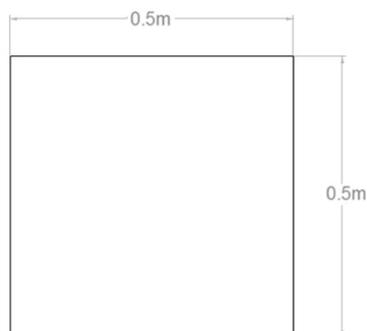
Planta



**Casetón
(hormigón)**



**Casetón
(porexpan)**



6.- PESOS

Calcular según ajuste geométrico. (Ver software adjunto)

7.- ESFUERZOS MÁXIMOS PARA EL FORJADO PREFABRICADO POR METRO DE ANCHO

El calculista deberá comprobar que la combinación de esfuerzos sin mayorar en la losa prefabricada no sobrepasan los siguientes valores de solicitaciones.

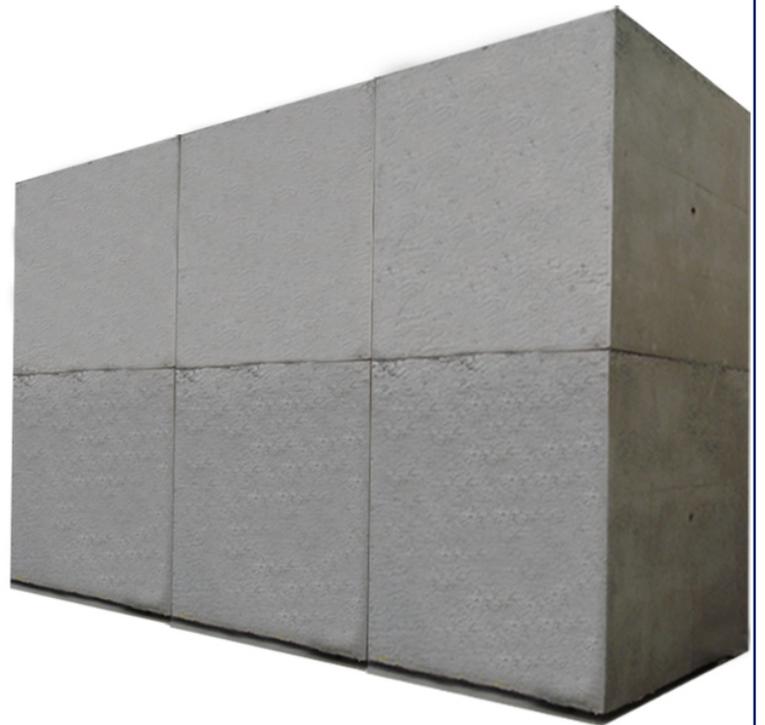
VALORES MÁXIMOS DE SOLICITACIÓN EN LOS NERVIOS PERIMETRALES DE UNIÓN CON VIGAS Y ZUNCHOS

	Momento máximo positivo, (m·kp/m)	Momento máximo negativo, (m·kp/m)	Cortantes, (kp/m)
FDSC-35-R	5.950,00	9.230,00	25980

VALORES MÁXIMOS DE SOLICITACIÓN EN LOS NERVIOS INTERIORES

	Momento máximo positivo, (m·kp/m)	Momento máximo negativo, (m·kp/m)	Cortantes, (kp/m)
FDSC-35-R	3.525,00	7.675,00	20460

CAPÍTULO 4. LOS MUROS DE CAJONES RELLENABLES



CAPÍTULO 4.

LOS MUROS DE CAJONES RELLENABLES

PARTE 1. INTRODUCCIÓN.

Los muros de cajones rellenable aportan una solución de construcción muy rápida, de gran rigidez y estabilidad para pequeñas y grandes alturas de empuje de tierras.

Las principales ventajas de la solución de muros de cajones rellenable son las siguientes:

- Rapidez de construcción.
- Optimización de materiales al emplear tierras para la estabilización de los cajones.
- Gran rigidez, lo cual se traduce en menores deformaciones del muro.
- Menor ocupación de espacio en trasdós.

Los muros de cajones permiten abordar nuevas soluciones de implantación de infraestructuras en el territorio alternativas a los tradicionales terraplenes, reduciendo drásticamente la ocupación de espacio por expropiación.

Respecto a las soluciones prefabricadas convencionales los muros de cajones arrojan las siguientes ventajas:

- Se consigue una rigidez muy superior a la de los muros de tierra armada o keystone.
- No se requiere un gran ancho de relleno en trasdós, por lo que la solución es válida para estabilizar taludes de desmonte en márgenes de infraestructuras.
- El hormigón reforzado con fibra de vidrio con ausencia de fisuraciones garantiza la durabilidad de la solución.
- No se requieren conectadores.
- No se requieren flejes o mallas en trasdós.
- La estabilidad queda garantizada a vuelco y deslizamiento, módulo a módulo y en la base.

Las soluciones que se definen arrojan resultados de coste competitivos respecto de los muros prefabricados o ejecutados in situ, y tiene la principal ventaja de permitir un montaje muy rápido.

El transporte de las piezas también resulta fácil y adaptado a las dimensiones de la caja de un camión.

PARTE 2. GEOMETRÍA Y FORMATOS.

Se considera un único formato de muros de cajones rellenables:

- Muro de cajones rellenables : CCW

El muro funciona por contacto entre las piezas como se describe en el procedimiento de cálculo.

A su vez en la geometría de los muros CCW se consideran 5 posibles tamaños:

Para cada módulo los tamaños se designan por las letras A a E como sigue:

- Módulo CCW- A: profundidad 1,25 m. Código de producto: CCW- A
- Módulo CCW- B: profundidad 2 m. Código de producto: CCW- B
- Módulo CCW- C: profundidad 2,75 m. Código de producto: CCW- C
- Módulo CCW- D: profundidad 3,5 m. Código de producto: CCW- D
- Módulo CCW- E: profundidad 4,25 m. Código de producto: CCW- E



Imagen 55. Muros de cajones rellenables.

Los módulos tipo CCW presentan unas dimensiones de 2x2 m en la cara vista y en trasdós y la longitud o profundidad es la indicada para los módulos A a E. Todos los módulos con la excepción del A están divididos internamente incluyendo una contracubeta de 65 cm de fondo separada por una pared. Esta pared y las paredes del contorno presentan un espesor de 12 cm en la base y 10 cm en coronación. Todos los módulos se encuentran cerrados en la base con una losa de 10 cm de la que sobresalen topes o solapas de 5 cm de profundidad que contactan con el módulo inferior.

Los muros CCW han sido comprobados para alturas de empuje de tierras de hasta 10 m, y presentan la ventaja de que no requieren hormigón de unión entre módulos, funcionando simplemente por contacto.

La unión entre unos cajones y otros se hace por tanto por contacto; estos contactos se producen de la siguiente forma:

- de la base del cajón sobre la coronación de los muros de contorno y sobre el muro interior de la contracubeta del cajón inferior, (contacto vertical).
- de las solapas con el muro frontal de la cubeta, y además con el muro de la contracubeta y en algunos casos con el muro de trasdós, (contacto horizontal).

Para recibir al cajón superior y al efecto de evitar contactos duros se aplicará mortero sobre la coronación de muro inferior con un espesor de 1 cm.

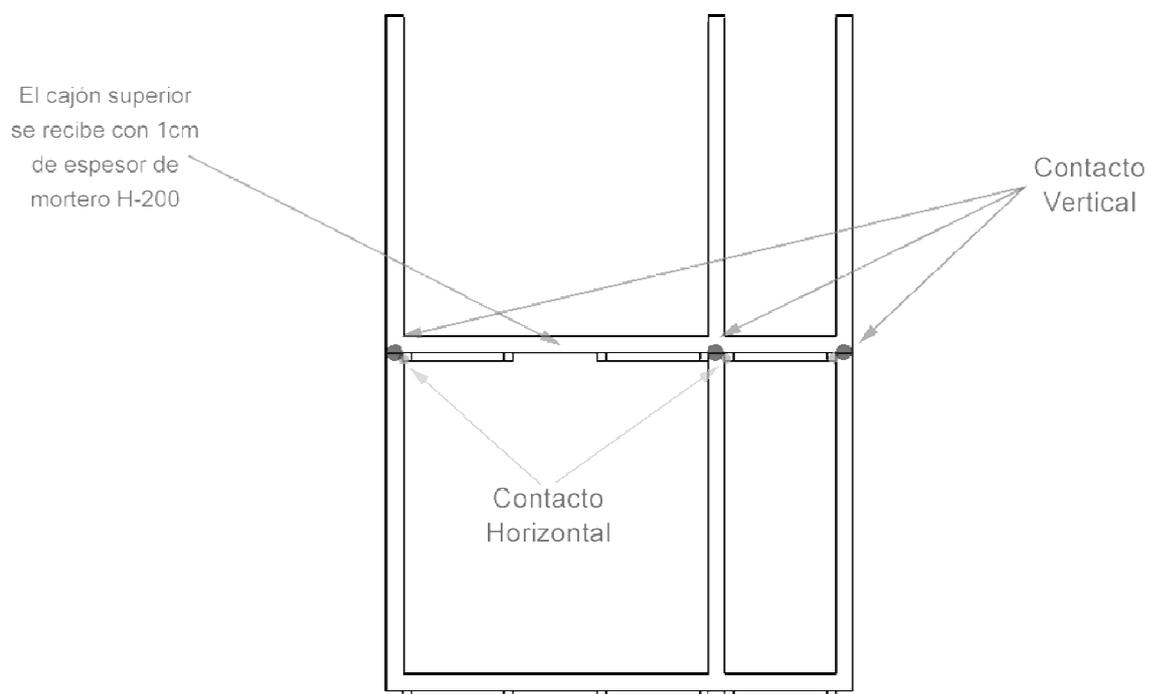


Imagen 56. Contacto entre cajones.

Una de las principales ventajas de los muros es la posibilidad de decalar los módulos respecto de los inferiores, incrementando el momento estabilizador.

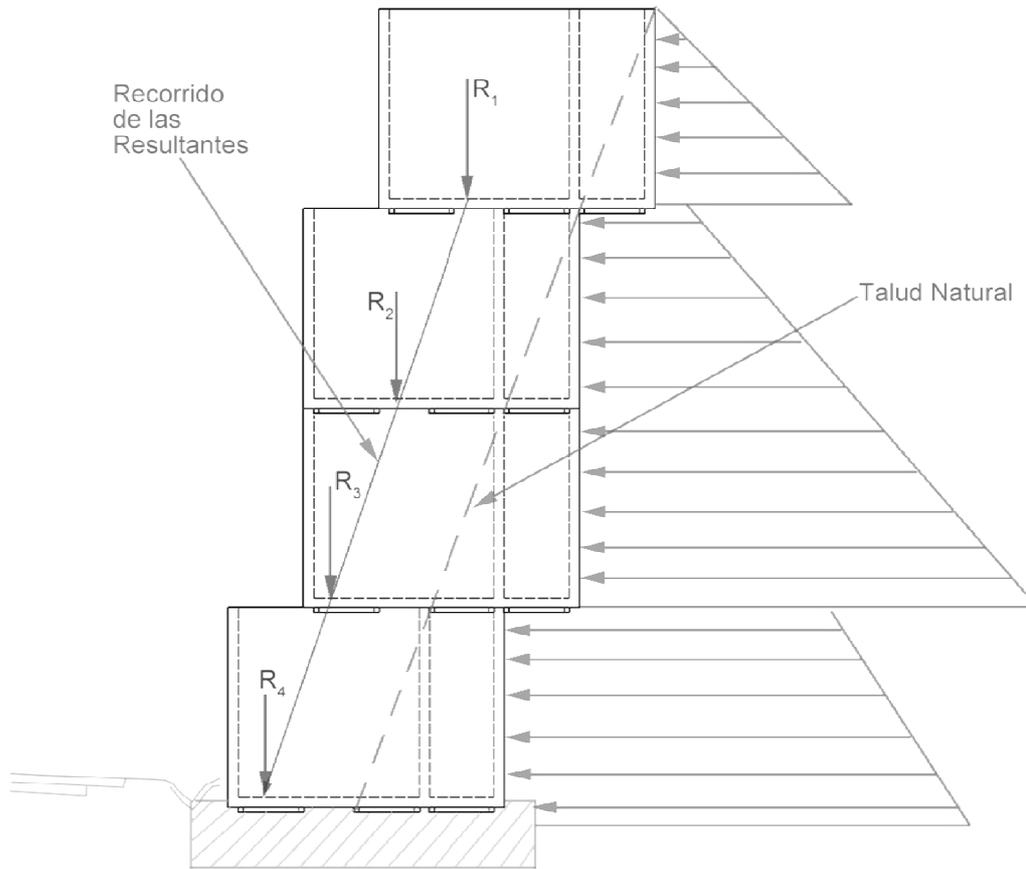


Imagen 57. Estabilidad cajón a cajón, sin vuelco intermedio o en la base. Los módulos aparecen decalados.

Los decalajes posibles entre muros vienen dados por el cuadro siguiente:

Medidas cajones	L (m)	H(m)	D1(m)	D2(m)	D3(m)	D4(m)
CCW-A	1.25	1.05				
CCW-B	2.00	1.05	0.5			
CCW-C	2.75	1.80	0.1	0.5		
CCW-D	3.50	2.55	0.1	0.3	0.3	
CCW-E	4.25	3.30	0.1	0.23	0.24	0.23

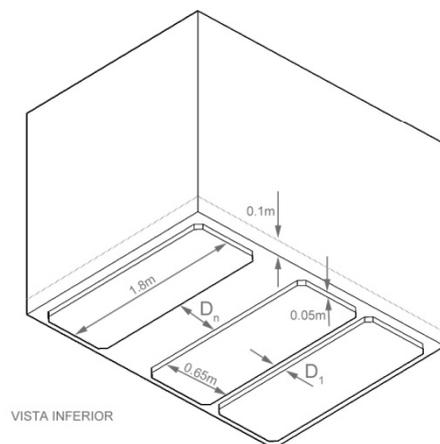
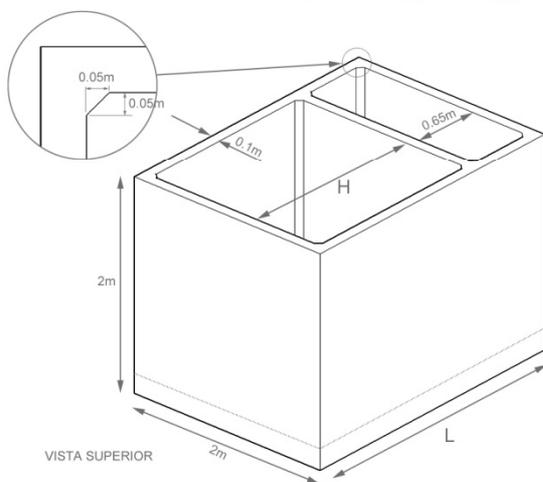


Imagen 58. Cajones de hormigón 2x2 m..

POSIBLES DECALAJES									
D-E	2.65	1.77	0.88		E-D	3.40	2.45	1.50	0.75
D-D	2.65	1.70	0.75		D-D	2.65	1.70	0.75	
C-D	1.90	0.95			D-C	2.65	1.50	0.75	
C-C	1.90	0.75			C-C	1.90	0.75		
B-C	1.15				C-B	1.90	0.75		
B-B	1.15				B-B	1.15			
A-B					B-A				
A-A					A-A				

* La letra a la izquierda de cada pareja corresponde al cajón que se encuentra debajo.

Tabla 4-1. Decalajes de las distintas combinaciones de cajones.

Finalmente el empleo de estos cajones en terraplenes puede hacerse con un módulo de mayor anchura en la base y de menor anchura en coronación. Además cuando se dispongan muros por sendas márgenes del terraplén es posible atirantar los muros de una margen con los de la margen opuesta, permitiendo el empleo de los módulos de menor ancho y anclando los tirantes mediante el relleno de las cubetas con hormigón. No es necesario que estos anclajes se ubiquen a todas las alturas ni en todos los módulos.

De la misma forma es posible la introducción de bandejas de hormigón ancladas en la contracubeta mejorando la estabilidad.

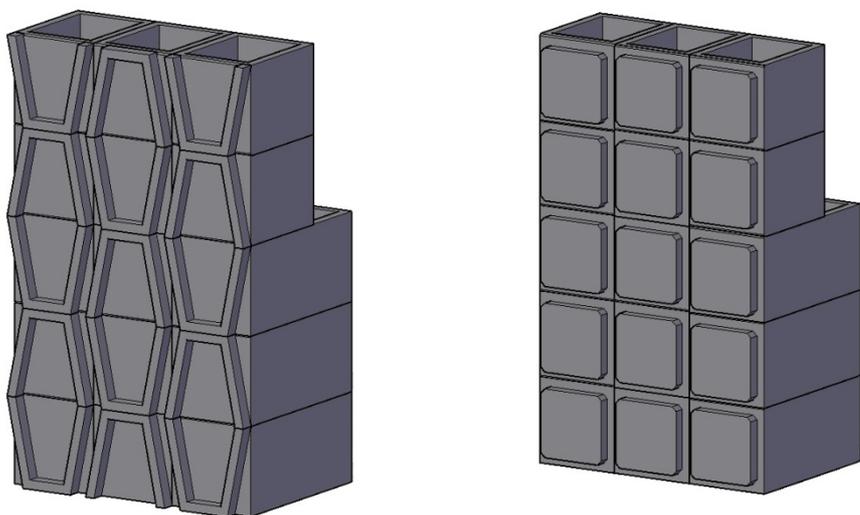


Imagen 59. Solapamiento de módulos para la formación de muros en zonas de relleno o terraplén.

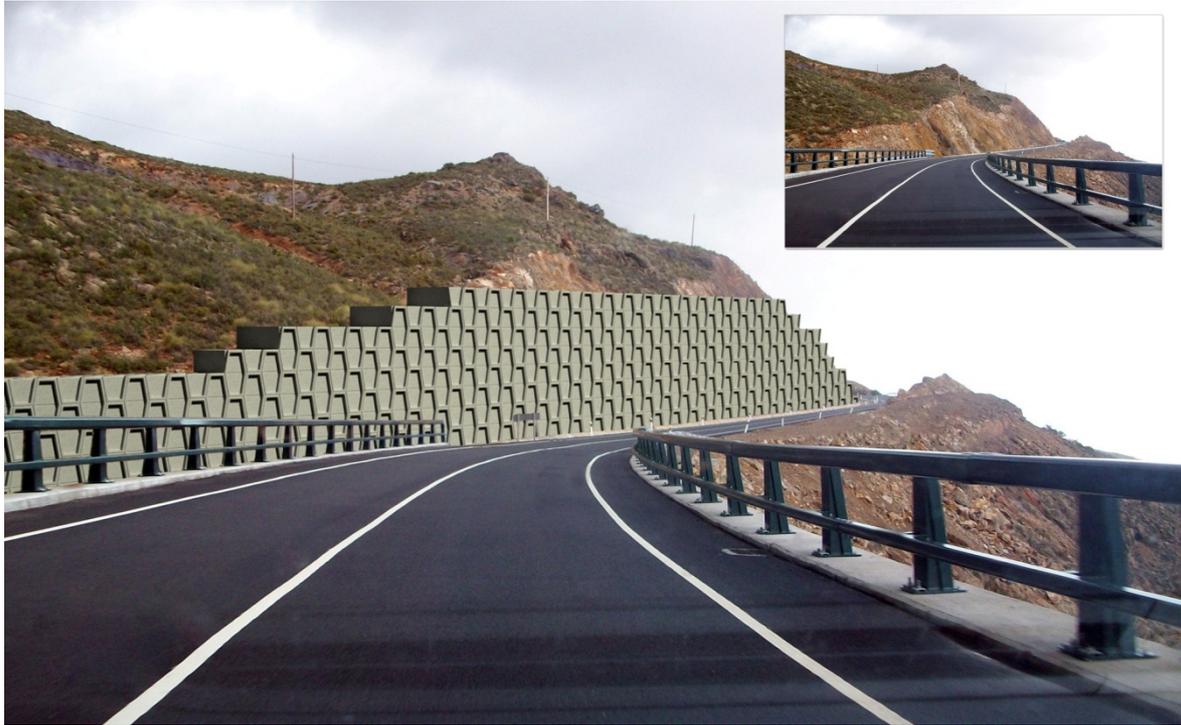


Imagen 60. Protección de talud de desmonte con muros de cajones rellenables.

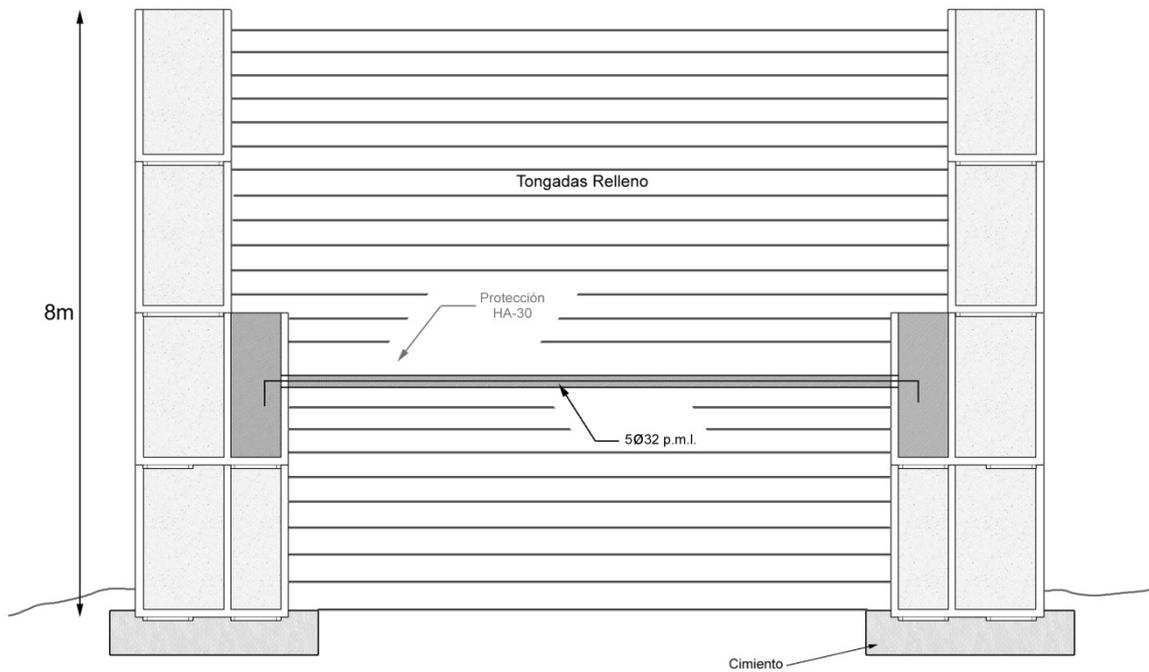


Imagen 61. Atirantado intermedio para optimización de muros.

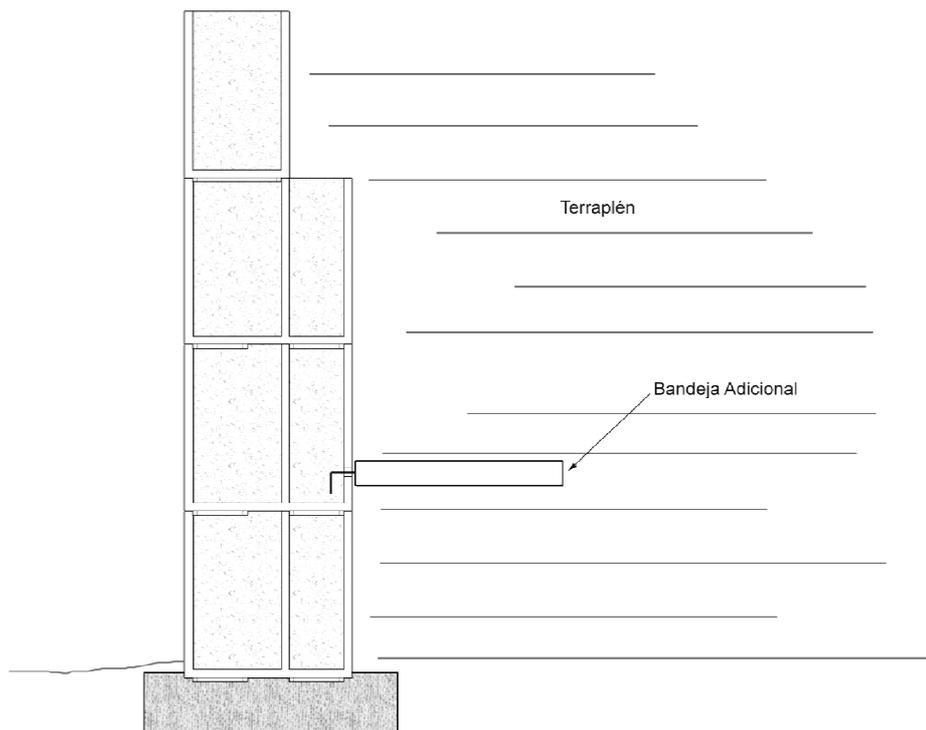


Imagen 62. Empleo de bandejas intermedias para mejora de la estabilidad.

PARTE 3. MATERIALES

Los hormigones a emplear cumplirán la siguiente dosificación:

Árido	1760 Kg
Cemento 42,5 R	360 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2 l
Fibra de vidrio 36 mm longitud	18 Kg
Agua	180 l, (según el contenido de cemento)

Árido:

Fracción de gruesos, 8/12 mm: 40%.

Fracción de finos, 0/5 mm: 60%.

Los ensayos deberán garantizar una resistencia característica mínima de 30 MPa y una resistencia a flexo-tracción de 5,0 MPa.

Opcionalmente podrá emplearse hormigón sin fibras siempre que se garanticen los valores anteriores de resistencia. En dicho caso, se usará mallazo de acero mínimo $\varnothing 6$ s15.15 cm.

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio cumplirá las siguientes prescripciones:

- Contenido mínimo en $ZrO_2 > 15\%$.
- Longitud de la fibra: 36 mm.
- Pérdida a fuego = 2 %.
- Filamentos unidos formando hebras.
- Diámetro del filamento = 14 μ
- Masa lineal (g/km) = 2.450 Tex.
- Densidad = 2,68 g/cm³
- Alargamiento a rotura de la hebra = 4,5 %.
- Módulo de Young (N/mm²) (MPa) = 72.000 Pa
- Resistencia a la tracción de la hebra (Nw/mm²) (MPa) > 1.700 MPa
- Resistencia a tracción del Filamento Virgen = 3.500 MPa

PARTE 4. CONTROL DE CALIDAD.

En la central de fabricación se aplicarán los ensayos correspondientes a un nivel intenso de control de hormigones, de acuerdo con la normativa nacional en cada caso.

Cada lote deberá incluir los ensayos que verifiquen la resistencia característica del hormigón y la resistencia a flexo-tracción, así como aquellos otros que prescriban las correspondientes instrucciones.

Los lotes en el hormigón no superarán los siguientes límites superiores:

Superficie de muro construido: 300 m².

Tiempo de hormigonado: 2 semanas.

La fibra de vidrio incluirá certificado de calidad.

El fabricante entregará el plan de control de la planta y los ensayos correspondientes al control de los muros suministrados.

PARTE 5. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

El proyectista determinará la combinación de módulos más adecuada y óptima para el empuje de tierras a sostener.

Por lo que se refiere al acabado visto del muro, además de la solución lisa, se aportan las siguientes soluciones:

- estalactitas.
- cuadros.
- rombos.
- estratos.
- terminación con mampostería.



Imagen 63. Soluciones constructivas para terminaciones de la cara vista.

PARTE 6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

Para las soluciones definidas de cajones rellenables el procedimiento constructivo y los rendimientos se justifican por los siguientes datos:

- los módulos son transportables por vehículo pesado articulado; el total de módulos por transporte podrá variar entre 3, (para los módulos de 4,25 m de profundidad) y 12 para los módulos de 1,25 m.
- la colocación de los módulos puede hacerse por camión pluma de alto tonelaje o por grúa, (más recomendable cuando las alturas son importantes y cuando se trata de los cajones de mayor peso).
- la colocación de los módulos, (descarga desde vehículos de transporte), ubicándolos sobre el cimientado o sobre una hilera de módulos ya colocados debe tener un rendimiento de entre 4 unidades por hora para el módulo tipo E y 8 módulos por hora para el A.
- el relleno de los módulos puede hacerse con un rendimiento de aproximadamente 12 módulos por hora, cuando no se requiera compactación de tierras, y de 6 módulos por hora cuando se requiera compactación de tierras en el caso de los módulos tipo E. Para un módulo tipo A los rendimientos se consideran de 24 módulos por hora, sin compactación y 12 módulos por hora con compactación.
- la aplicación de mortero de recepción debe tener un rendimiento medio de 8 módulos por hora por peón en el caso de módulos de 1,25 m a 4 módulos por hora en el caso de los módulos mayores de 4,25 m.

Si consideramos la reparación de un talud de desmonte en la margen de una carretera que haya sufrido previamente un deslizamiento, las fases de ejecución del muro se describen por los siguientes gráficos:

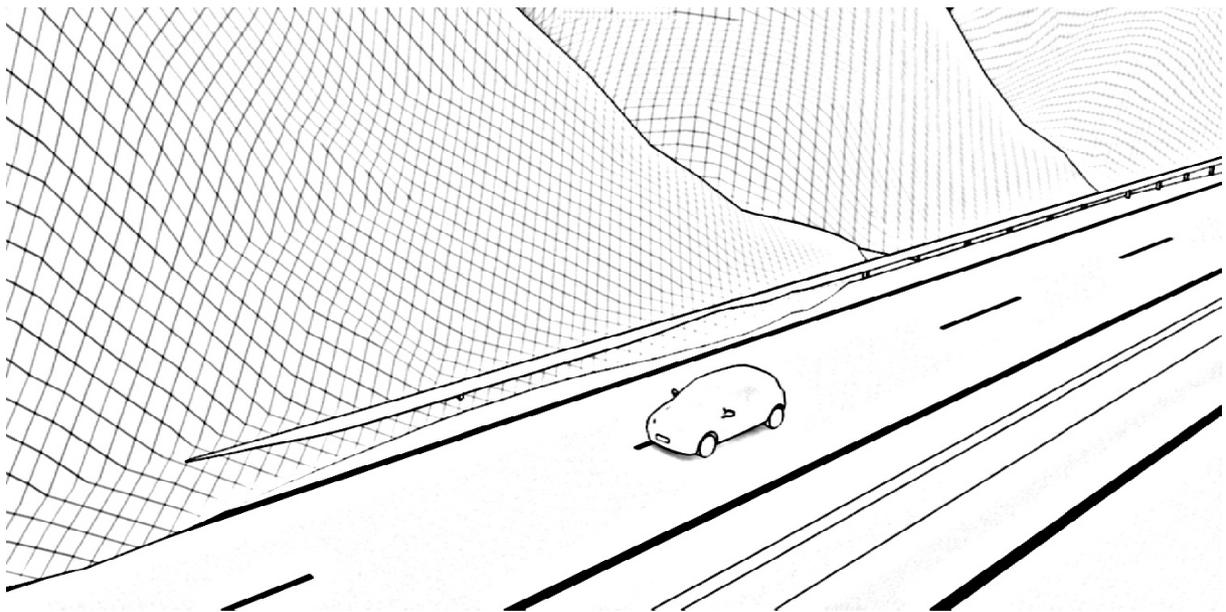


Imagen 64. Deslizamiento de talud en margen de la carretera.

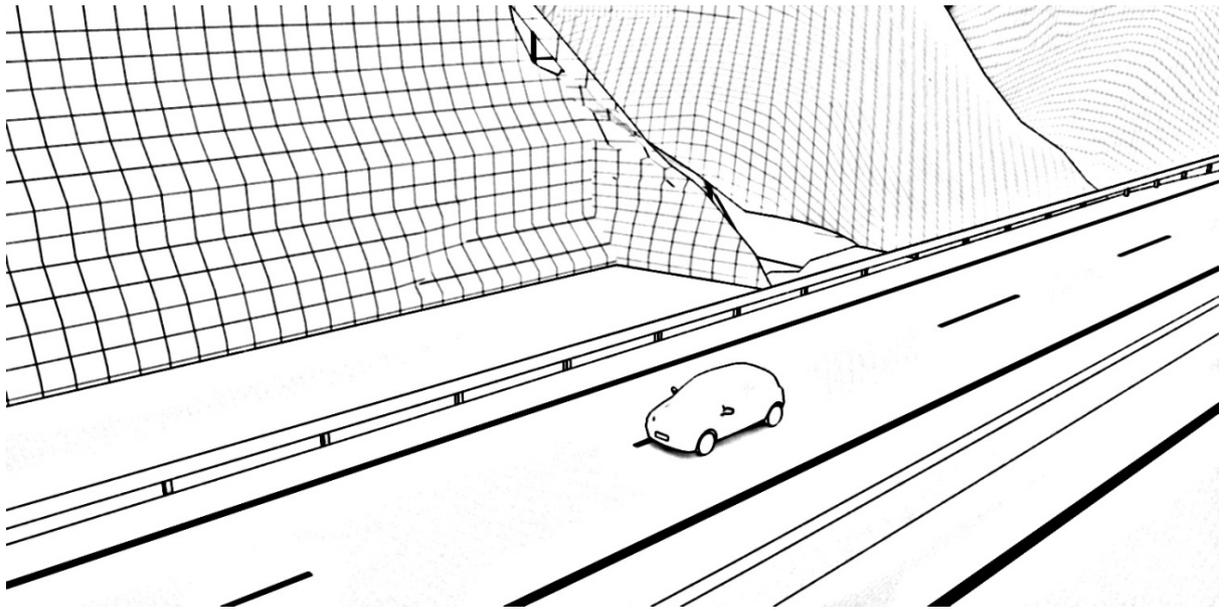


Imagen 65. Retirada de material deslizado y relleno con hormigón en masa en la base del muro. (También puede hacerse por bataches cuando la estabilidad no esté garantizada).

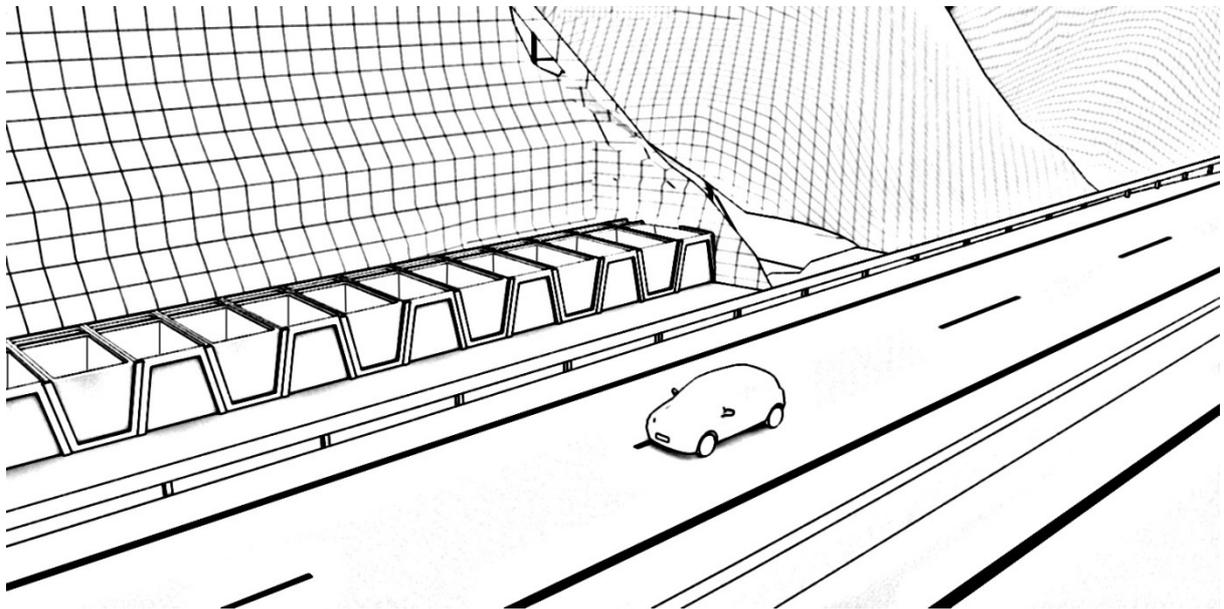


Imagen 66. Colocación de primera hilada de muros.

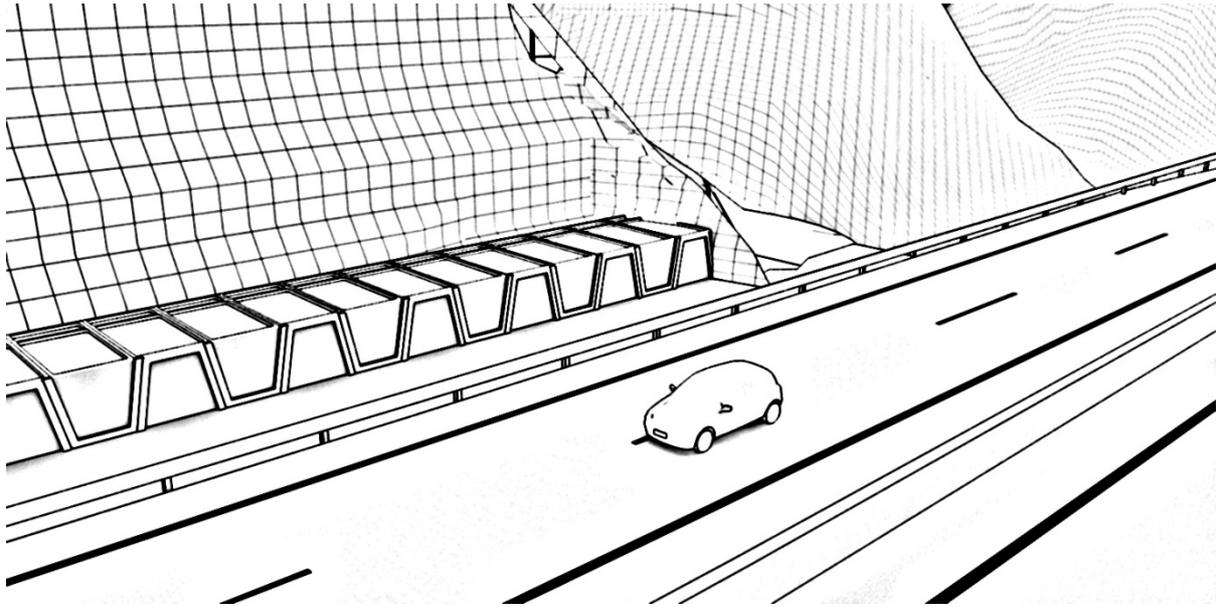


Imagen 67. Relleno de primera hilada de muros.

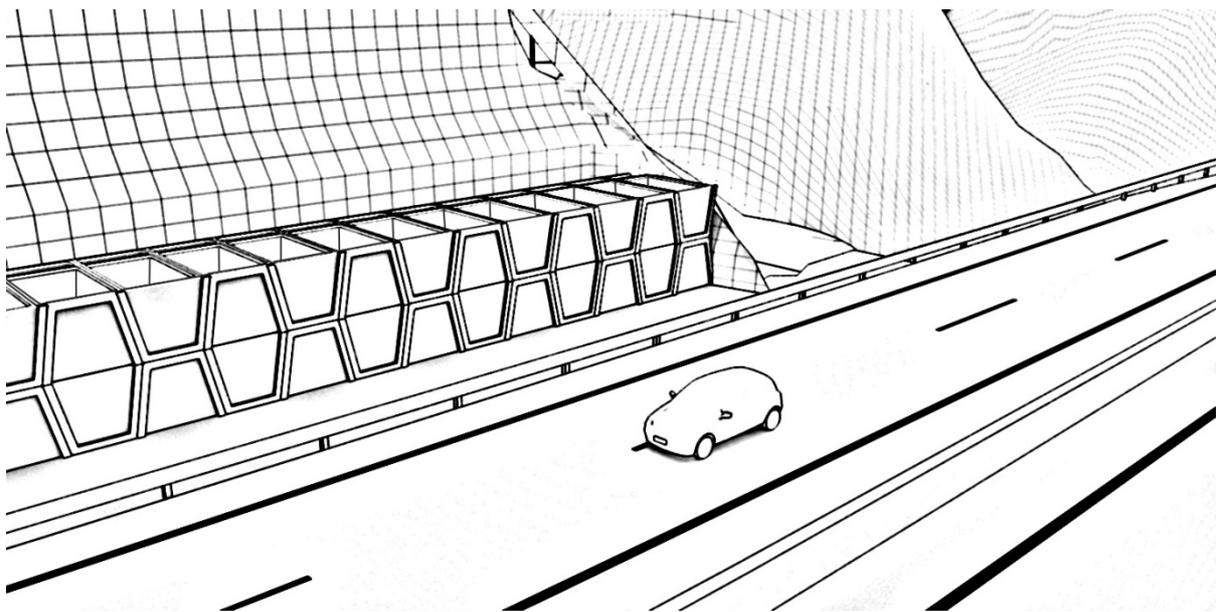


Imagen 68. Colocación de segunda hilada de muros.

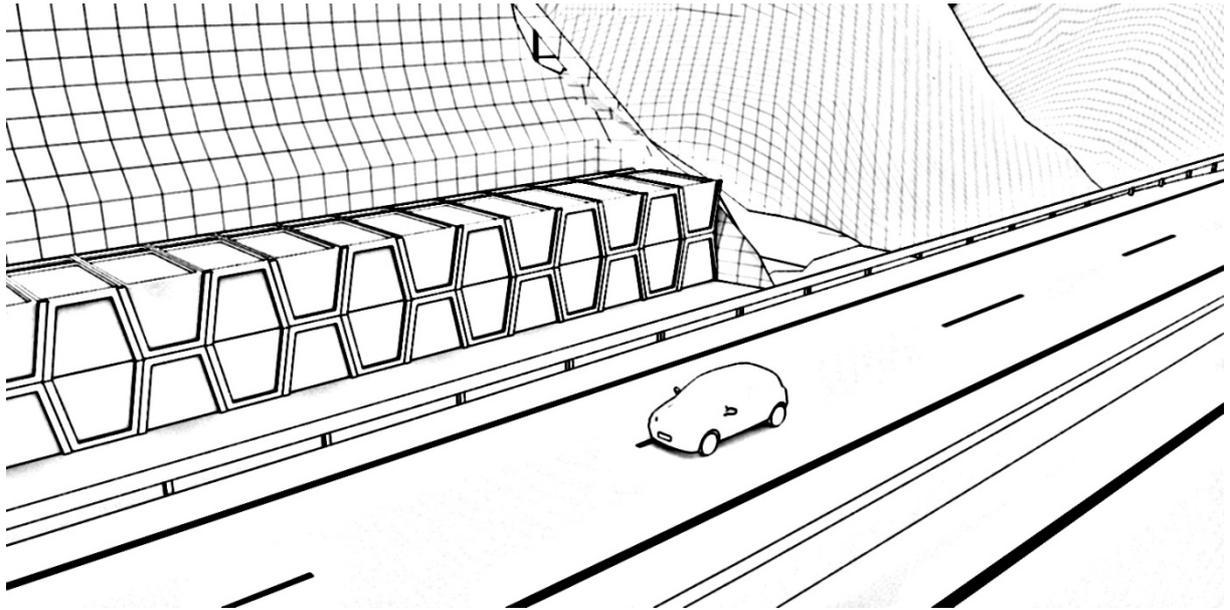


Imagen 69. Relleno de segunda hilada de muros.

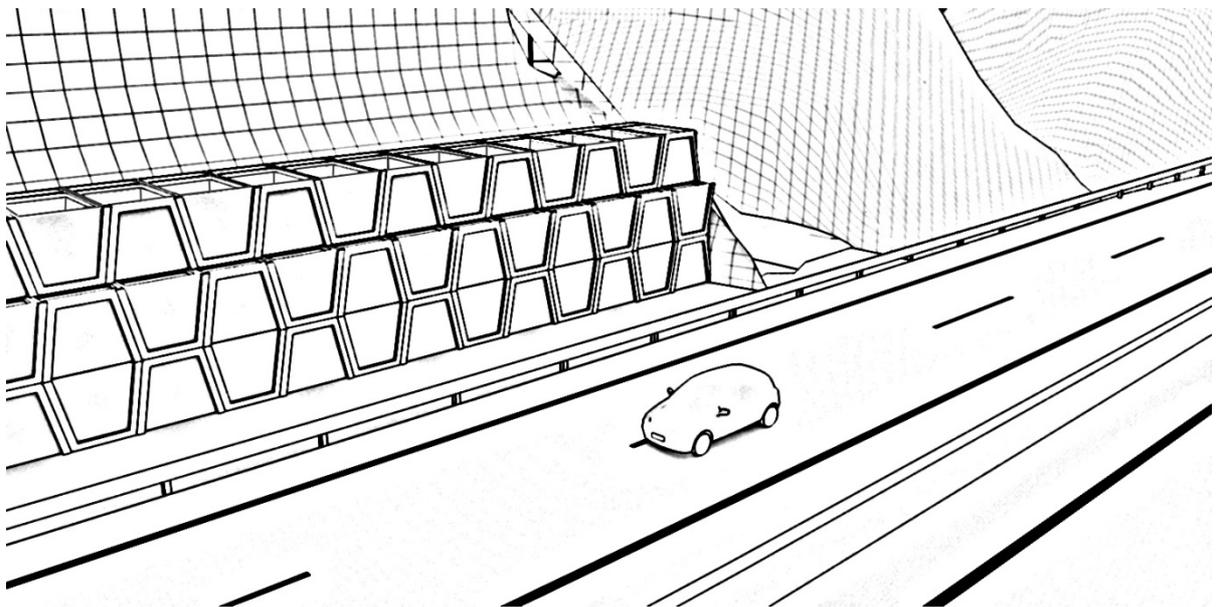


Imagen 70. Colocación de tercera hilada con decalaje respecto de la segunda hilada.

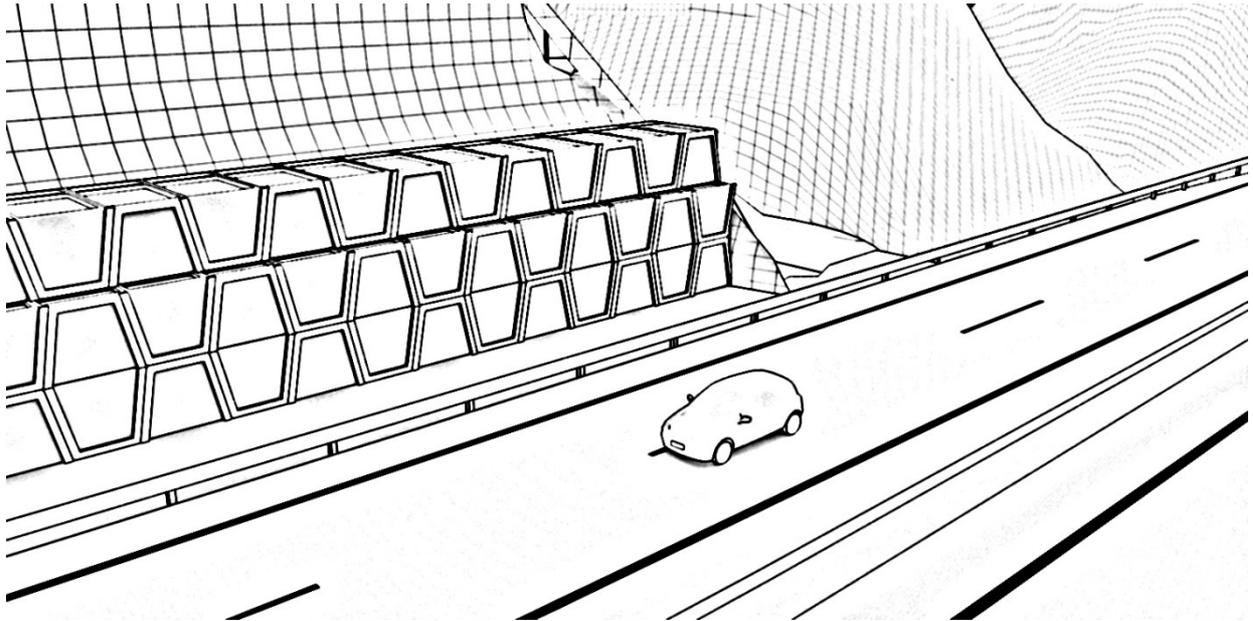


Imagen 71. Relleno de tercera hilada de muros cajones.

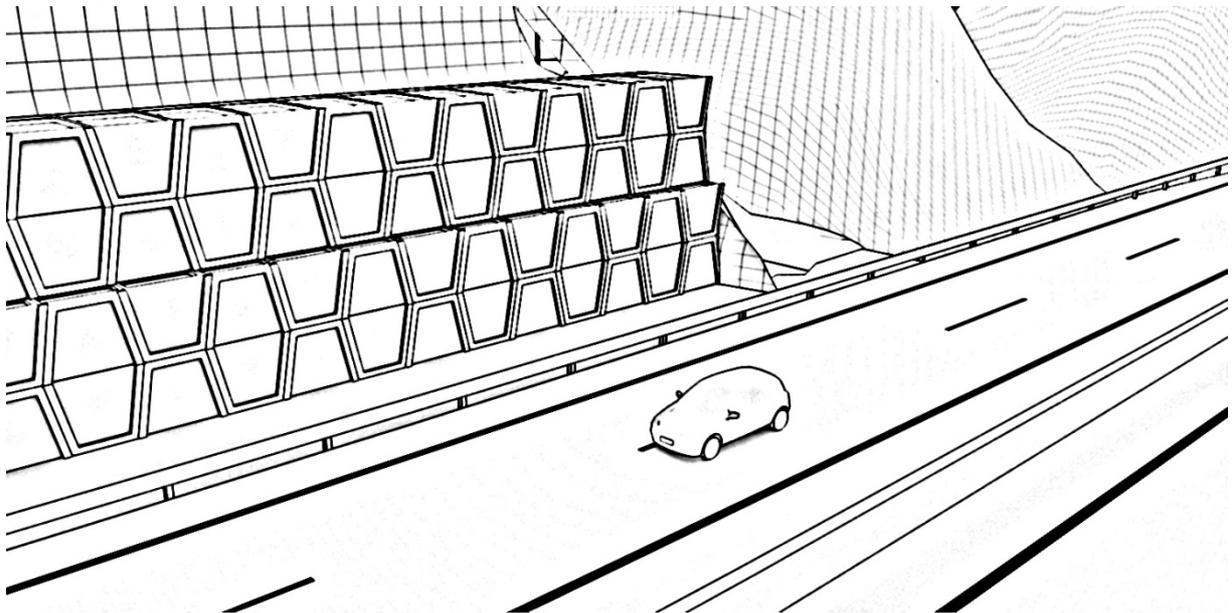


Imagen 72. Colocación de cuarta hilada de muros.

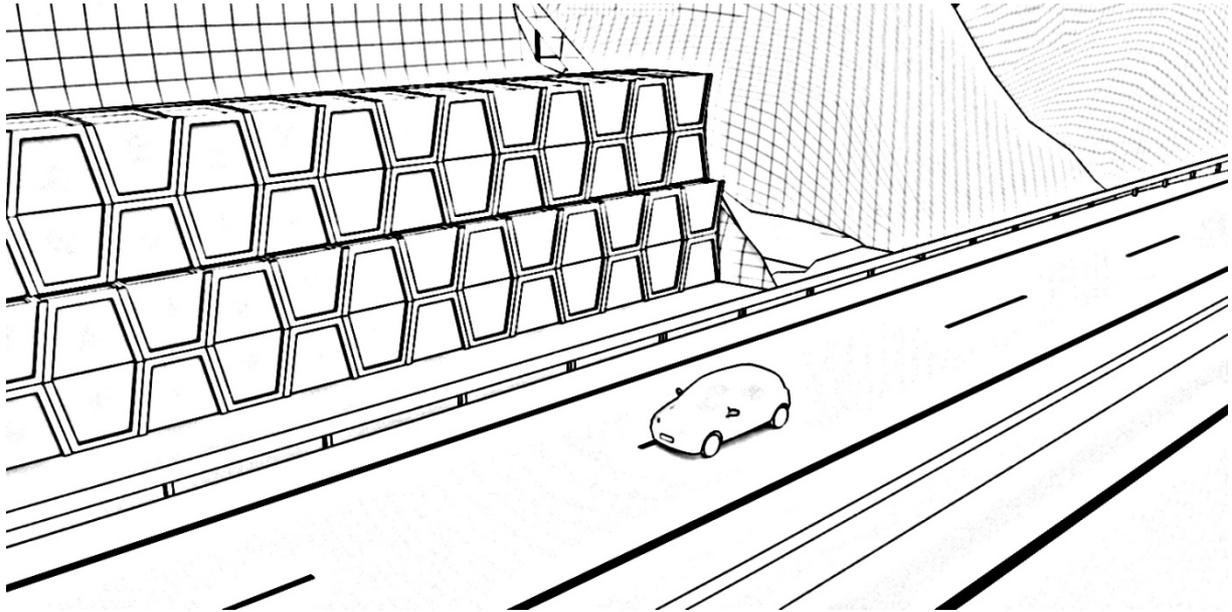


Imagen 73. Relleno de cuarta hilada.

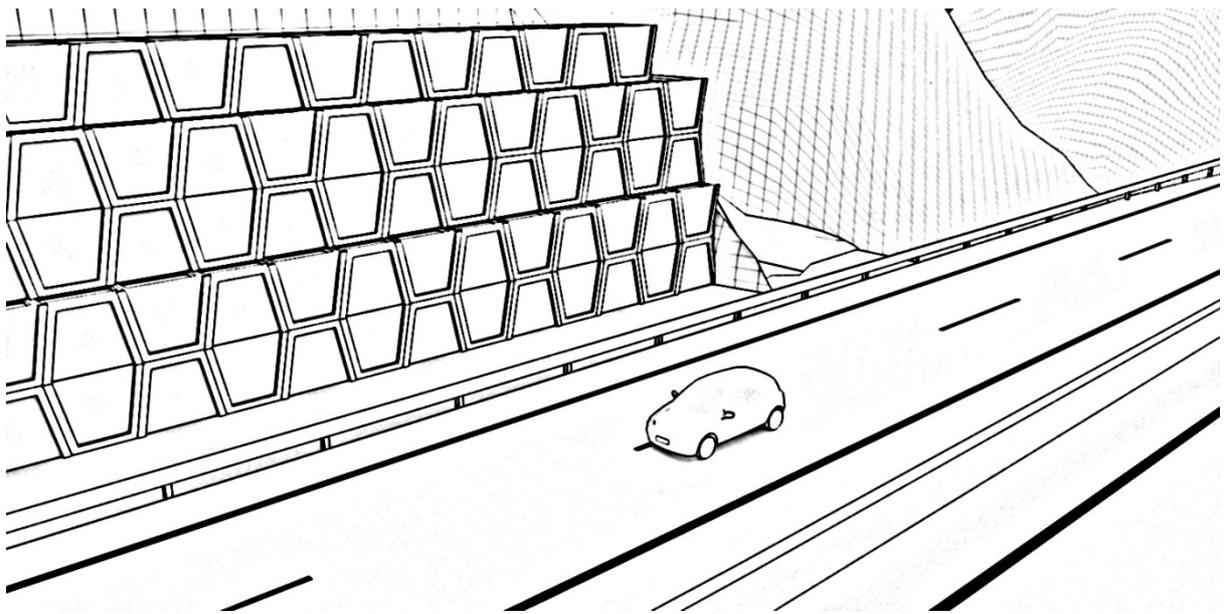
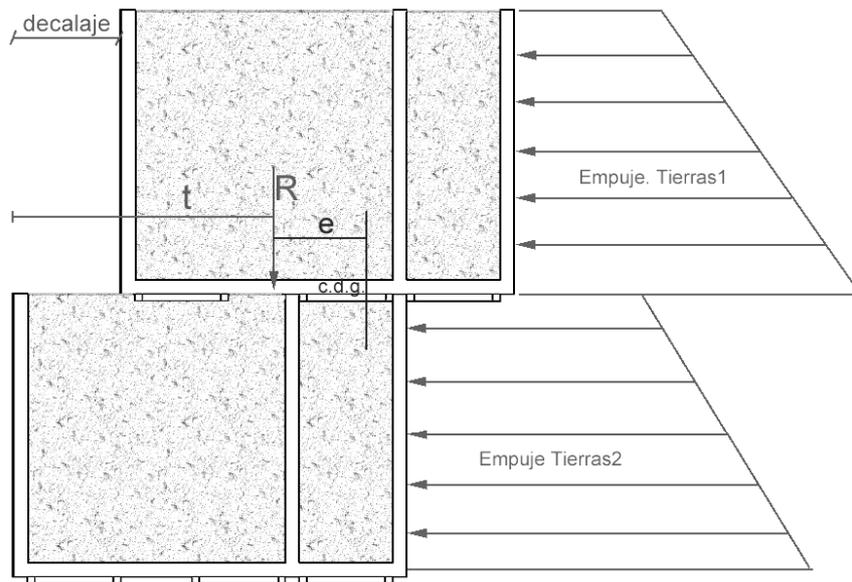


Imagen 74. Colocación y relleno de última hilada con decalaje, (altura total 10 m).

PARTE 7. CÁLCULO ESTRUCTURAL.

El modelo de cálculo estructural se basa en el hecho de considerar que los muros transmiten su reacción vertical dentro de la base del cajón inferior. El descentrado de la fuerza vertical superior se justifica por el empuje de las tierras que genera el brazo mecánico del momento flector respecto del centro de gravedad.

El decalaje permite aumentar artificialmente el brazo mecánico del módulo superior respecto del inferior, aumentando así el momento estabilizador.



t = brazo mecánico artificial generado por el decalaje.

e = brazo mecánico por momento desestabilizador generado por el empuje de tierras.

R = reacción vertical sobre el módulo inferior.

Imagen 75. El decalaje facilita el recentrado de la fuerza vertical sobre el cajón inferior.

Cuando un cajón apoya sobre otro, para que no haya despegue en el contacto vertical todos los puntos deben estar comprimidos. Cuando no ocurra esto se producirá el despegue de los módulos que sólo contactarán parcialmente por el lado del intradós.

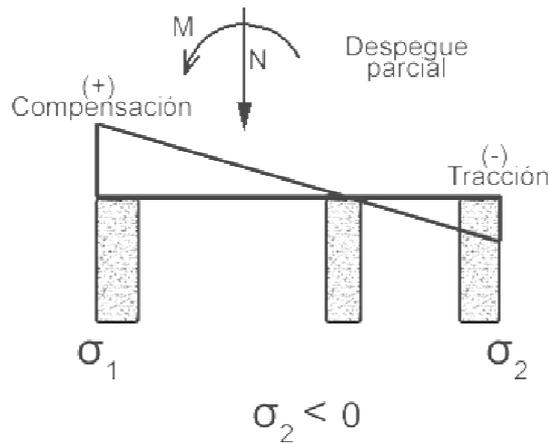


Imagen 76. Despegue entre módulos en el trasdós.

Cuando se produzca el despegue, si no existe decalaje entre muros, el contacto responderá al gráfico siguiente:

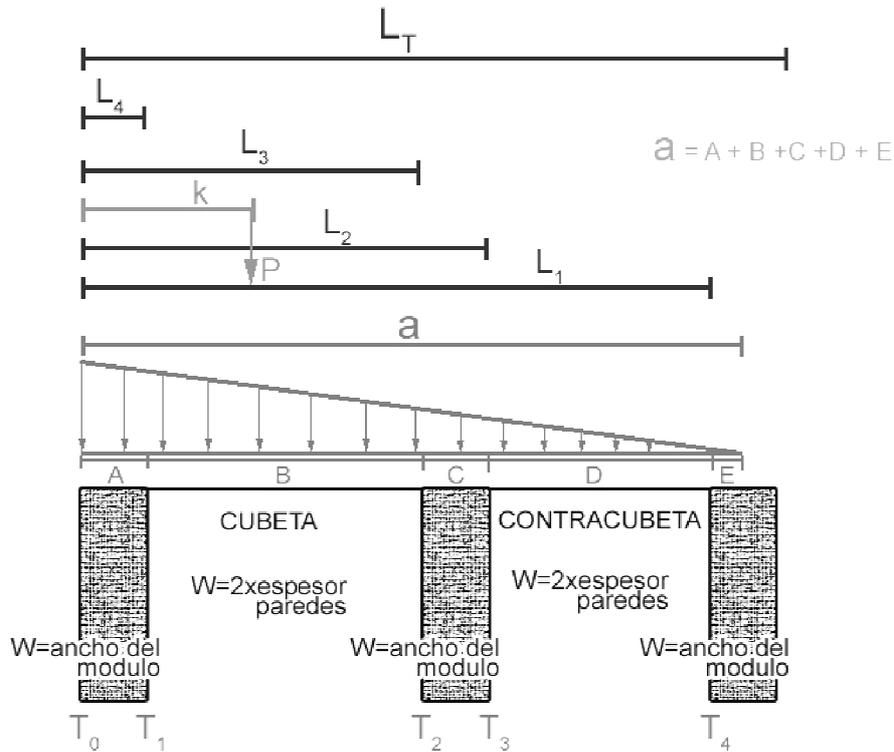


Imagen 77. Mecanismo de contacto de cajones 2x2 cuando hay despegue.

En el gráfico anterior los cajones contactan en una longitud a inferior a la longitud total del módulo L_T .

Las longitudes que aparecen en el gráfico corresponden a:

L_1 = longitud total del cajón menos el espesor de la pared del trasdós.

L_2 = longitud del cajón menos el espesor del muro del trasdós y menos la longitud de la contracubeta.

L_3 = es la longitud L_2 menos el espesor de la pared interior de la contracubeta.

L_4 = es el espesor de la pared frontal de intradós.

T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 , son las tensiones en los bordes de los muros de los módulos.

e , es el espesor de las paredes.

En función del valor de a se pueden producir las siguientes situaciones:

Situación 1.

$$a > L_1,$$

$$\text{Tensiones: } (T_0, T_1, T_2, T_3, T_4)$$

$$A = e$$

$$B = L_2 - e$$

$$C = e$$

$$D = L_1 - L_2$$

$$E = e - L_1 + a$$

$$T_1 = -T_0 L_4 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_3 = -T_0 L_2 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_2 = -T_0 L_3 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_4 = -T_0 L_1 (a)^{-1} + T_0$$

Situación 2.

$$L_1 > a > L_2,$$

$$\text{Tensiones: } (T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 = 0)$$

$$A = e$$

$$B = L_2 - e$$

$$C = e$$

$$D = a - L_3$$

$$E = 0$$

$$T_1 = -T_0 e (a)^{-1} + T_0$$

$$T_3 = -T_0 L_2 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_2 = -T_0 L_3 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_4 = 0$$

Situación 3.

$$L_2 > a > L_3$$

$$\text{Tensiones: } (T_0, T_1, T_2, T_3 = 0, T_4 = 0)$$

$$A = e$$

$$B = L_2 - e$$

$$C = a - L_2$$

$$D = 0$$

$$E = 0$$

$$T_1 = -T_0 e (a)^{-1} + T_0$$

$$T_3 = -T_0 L_2 (a)^{-1} + T_0$$

$$T_2 = 0$$

$$T_4 = 0$$

Situación 4.

$$L_3 > a > L_4$$

$$\text{Tensiones: } (T_0, T_1, T_2 = 0, T_3 = 0, T_4 = 0)$$

$$A = e$$

$$B = a - e$$

$$C = 0$$

$$\begin{aligned}
 D &= 0 \\
 E &= 0 \\
 T_1 &= -T_0 e (a)^{-1} + T_0 \\
 T_2 &= 0 \\
 T_3 &= 0 \\
 T_4 &= 0
 \end{aligned}$$

Situación 5.

$$\begin{aligned}
 a &< L_4 \\
 \text{Tensiones: } (T_0, T_1=0, T_2=0, T_3=0, T_4=0) \\
 A &= a \\
 B &= 0 \\
 C &= 0 \\
 D &= 0 \\
 E &= 0 \\
 T_1 &= 0 \\
 T_2 &= 0 \\
 T_3 &= 0 \\
 T_4 &= 0
 \end{aligned}$$

En cualquiera de las situaciones deberá cumplirse el equilibrio de momentos:

$$\begin{aligned}
 W \cdot T_1 \cdot A \cdot A \cdot 1/2 + (T_0 - T_1) \cdot 0,5 \cdot A \cdot A \cdot W \cdot 1/3 + T_2 \cdot 2e \cdot B \cdot (B/2 + e) + (T_1 - T_2) \cdot 0,5 \cdot (B/3 + e) \cdot \\
 \cdot 2e \cdot B + T_3 \cdot C \cdot W \cdot (L_3 + C/2) + (T_2 - T_3) \cdot 0,5 \cdot C \cdot W \cdot (C/3 + L_3) + T_4 \cdot D \cdot 2e \cdot (L_2 + D/2) + (T_3 - \\
 T_4) \cdot 0,5 \cdot D \cdot 2e \cdot (D/3 + L_2) + T_4/2 \cdot E \cdot W \cdot (E/3 + L_1) = M = P \cdot K
 \end{aligned}$$

De la misma forma en cualquiera de las situaciones se cumplirá el equilibrio de fuerzas:

$$(T_1 + T_2)/2 \cdot A \cdot W + (T_1 + T_2)/2 \cdot B \cdot 2e + (T_2 + T_3)/2 \cdot e \cdot W + (T_3 + T_4)/2 \cdot D \cdot 2e + (T_4)/2 \cdot E \cdot W = P$$

Por iteraciones sucesivas obtendremos el valor de a , y por tanto el valor de las tensiones entre los módulos.

El contacto anterior tal cual se ha definido se producirá cuando el cajón superior sea de dimensión igual o superior al cajón inferior y no haya decalaje, por lo que la zona de solape entre ambos cajones corresponderá a la coronación del cajón inferior. A esta situación la denominaremos situación 1.

IMAGEN SITUACIÓN 1 DE CONTACTOS

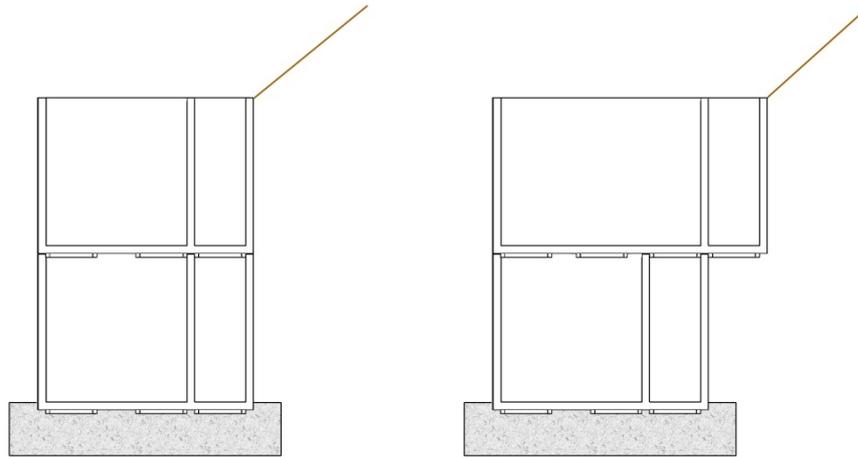


Imagen 78. Situación 1 de contactos.

Cuando el cajón inferior sea mayor que el superior y no haya decalaje, entonces la formulación anterior y los estados se simplificarán ya que T_3 y T_4 serán 0.

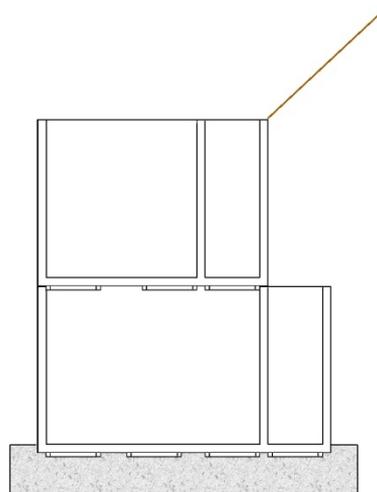


Imagen 79. Situación 2 de contactos.

El tercer caso de contacto es aquel en el que hay decalaje entre cajones, (situación 3)

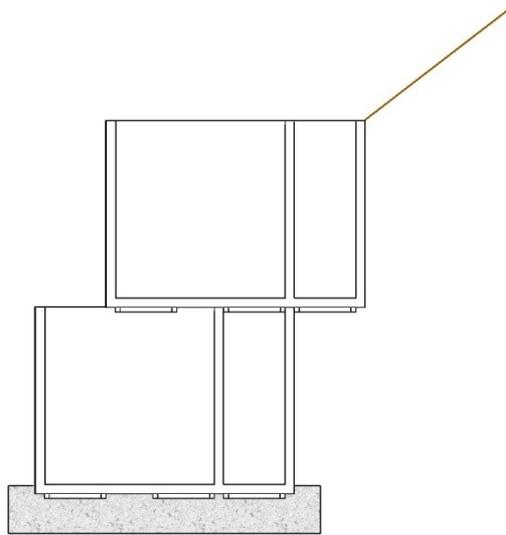


Imagen 80. Situación 3 de contactos.

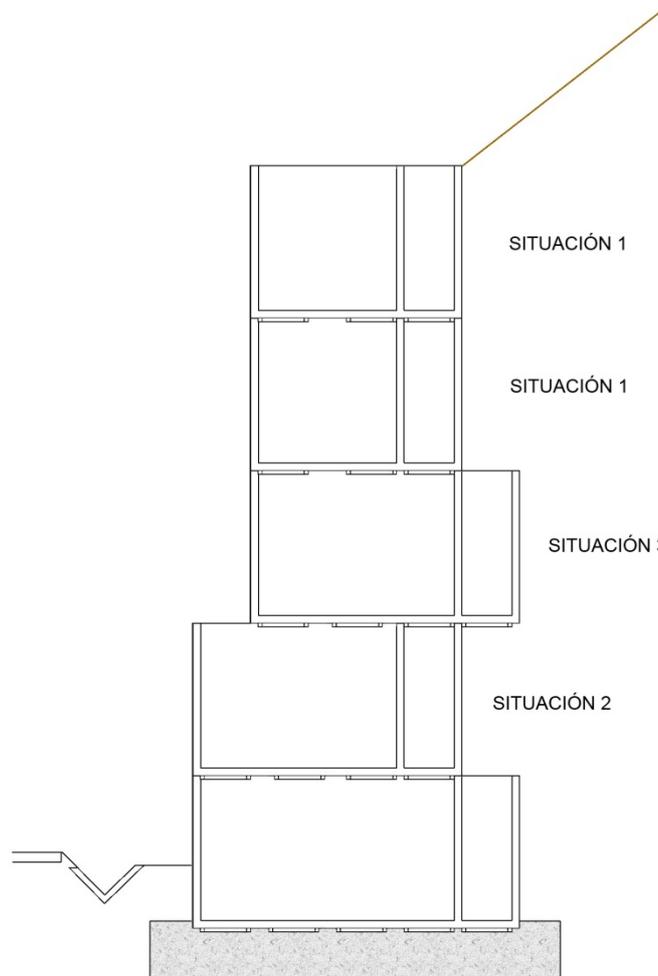


Imagen 81. Diferentes situaciones de contactos en un mismo muro.

En dicho caso de que exista decalaje habrá que considerar dos situaciones:

- 1. Que haya despegue en el trasdós del cajón inferior como en el caso anterior. En este caso el diagrama de tensiones en el contacto responde al siguiente gráfico:

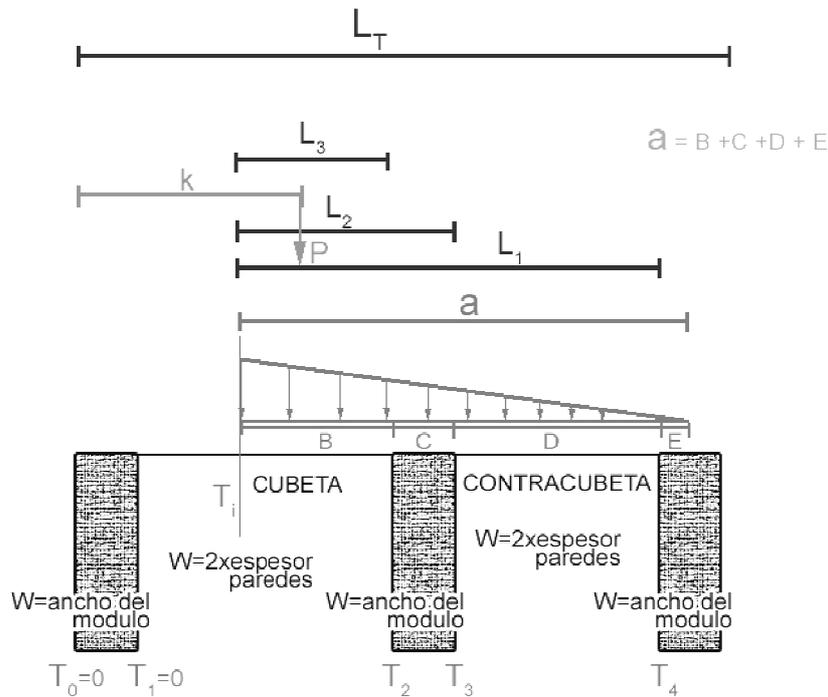


Imagen 82. Mecanismo de contacto de cajones 2x2 cuando hay despegue y hay decalaje.

En este caso las situaciones tensionales posibles, teniendo en cuenta que T_0 y T_1 son 0, y que la tensión bajo el borde del cajón superior es T_i , son las siguientes:

Situación 1.

- $a > L_1,$
- Tensiones: (T_i, T_3, T_2, T_4)
- $B = L_2 - e$
- $C = e$
- $D = L_1 - L_2$
- $E = e - L_1 + a$
- $T_3 = -T_i L_2 (a)^{-1} + T_i$
- $T_2 = -T_i L_3 (a)^{-1} + T_i$
- $T_4 = -T_i L_1 (a)^{-1} + T_i$

Situación 2.

- $L_1 > a > L_2,$
- Tensiones: $(T_i, T_3, T_2, T_4 = 0)$
- $B = L_2 - e$
- $C = e$
- $D = a - L_3$
- $E = 0$
- $T_2 = -T_i L_2 (a)^{-1} + T_i$
- $T_3 = -T_i L_3 (a)^{-1} + T_i$
- $T_4 = 0$

Situación 3.

$$L_2 > a > L_3$$

$$\text{Tensiones: } (T_i, T_2, T_3=0, T_4=0)$$

$$B=L_2-e$$

$$C=a-L_2$$

$$D=0$$

$$E=0$$

$$T_2 = -T_i L_2 (a)^{-1} + T_i$$

$$T_3 = 0$$

$$T_4 = 0$$

Situación 4.

$$L_3 > a > L_4$$

$$\text{Tensiones: } (T_2=0, T_3=0, T_4=0)$$

$$B=a$$

$$C=0$$

$$D=0$$

$$E=0$$

$$T_2 = 0$$

$$T_3 = 0$$

$$T_4 = 0$$

En cualquiera de las situaciones deberá cumplirse el equilibrio de momentos:

$$T_2 \cdot 2e \cdot B \cdot (B/2) + (T_i - T_2) \cdot 0,5 \cdot (B/3) \cdot 2e \cdot B + T_3 \cdot C \cdot W \cdot (L_3 + C/2) + (T_2 - T_3) \cdot 0,5 \cdot C \cdot W \cdot (C/3 + L_3) + T_4 \cdot D \cdot 2e \cdot (L_2 + D/2) + (T_3 - T_4) \cdot 0,5 \cdot D \cdot 2e \cdot (D/3 + L_2) + T_4/2 \cdot E \cdot W \cdot (E/3 + L_1) = M = P \cdot K$$

De la misma forma en cualquiera de las situaciones se cumplirá el equilibrio de fuerzas:

$$(T_i + T_2)/2 \cdot 2e \cdot B + (T_2 + T_3)/2 \cdot C \cdot W + (T_3 + T_4)/2 \cdot D \cdot 2e + (T_4)/2 \cdot E \cdot W = P$$

Como en el caso anterior por iteraciones sucesivas obtendremos el valor de a , y por tanto el valor de las tensiones entre los módulos.

- 2. Que no haya despegue en el borde de intradós. En este caso el gráfico de tensiones viene modificado por la existencia de un valor de compresión en el borde del trasdós T_i . Los valores de tensiones y las distancias son las siguientes:

$$\text{Tensiones: } (T_i, T_2, T_3, T_4, T_i)$$

$$B=L_2-e$$

$$C=e$$

$$D=L_1-L_2$$

$$E=e-L_1+a$$

$$T_2 = (T_i - T_i) L_3 (a)^{-1} + T_i$$

$$T_3 = (T_i - T_i) L_2 (a)^{-1} + T_i$$

$$T_4 = (T_i - T_i) L_1 (a)^{-1} + T_i$$

En esta situación, por lo general debería hacer reacción del terreno del trasdós; sin embargo la importante diferencia de rigideces, (1/100), nos permite despreciar la reacción del terreno del trasdós, teniendo en cuenta la limitación establecida en los decalajes.

En el modelo de cálculo se obtienen los empujes sobre los módulos tanto en situación estática como dinámica. Para ello se aplica la formulación de Coulomb modificada por Mononobe -Okabe.

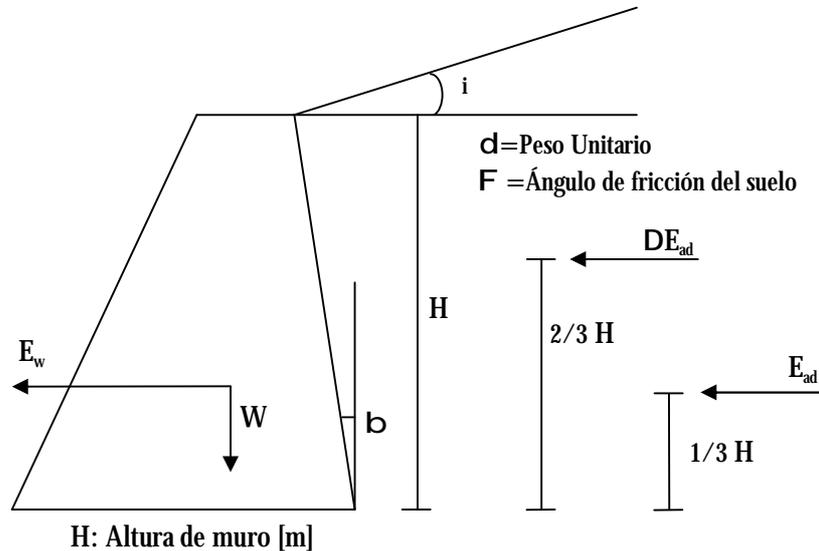


Imagen 83. Mecanismo de empuje en situación dinámica.

$$K_{ad} = \frac{\cos^2 (\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cdot \cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

Donde F es el ángulo de rozamiento, β es el ángulo del trasdós, d es el rozamiento tierras-muro, i es el ángulo del talud y Q viene dado por la relación dinámica siguiente:

$$Q = \text{actg} [k_h / (1 - K_v)]$$

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

1. Se determina el empuje activo en condiciones estáticas.

$$E_a = 1/2 g H^2 K_a$$

2. Se calcula el empuje activo dinámico

$$E_{ad} = 1/2 g H^2 (1 - K_v) K_{ad}$$

3. Se obtiene el incremento dinámico de empuje DE_{ad}

$$DE_{ad} = E_{ad} - E_a$$

E_a actúa a un tercio de H medido desde la base

DE_{ad} actúa a $0,6 H$ medido desde la base

MODELOS DE CÁLCULO.

La presente Guía anexiona un software que permite obtener la estabilidad de los módulos uno a uno para cualquier configuración, siguiendo la formulación anterior. De la misma forma aporta las leyes de contactos entre módulos de muro.

Para la obtención de las tensiones de cada uno de los módulos el calculista podrá emplear un programa de elementos finitos elaborando el cálculo módulo a módulo o bien conjuntamente considerando los contactos entre los módulos; en este último caso deberá emplear un software con capacidades para el tratamiento de contactos entre sólidos. Cuando elabore el cálculo módulo a módulo deberá considerar las cargas que interactúan sobre cada uno de ellos y que son:

- la carga horizontal del empuje de tierras que soportan los módulos por encima del que se calcula.
- el empuje de tierras contra el módulo.
- la carga vertical transmitida por el módulo superior en la ubicación determinada por el cálculo de la estabilidad de los módulos.
- el peso del módulo con las tierras o rellenos que se empleen.
- la reacción inferior horizontal.
- la reacción vertical adecuadamente ubicada según el estudio de estabilidad realizado.

Los valores anteriores pueden obtenerse del cálculo de estabilidad al vuelco y al deslizamiento del módulo y de la obtención de los esfuerzos de contacto entre módulos.

Con los datos anteriores podrán obtenerse los valores de las tensiones internas módulo a módulo.

En cualquier caso el usuario tendrá a su disposición los servicios de ACTISA S.L. que se ofrecen con la contratación de muros tipo CCW. Estos servicios incluyen la redacción del proyecto completo aportando todos los listados de esfuerzos, tensiones y estabilidad de los módulos.

Los cálculos podrán elaborarse para configuraciones de terraplén y de desmonte.

En las posibles configuraciones de empujes serán posibles las siguientes alturas:

- Hasta 10m. pudiendo llegar en algunos casos hasta 12m.
- Los cajones pueden fabricarse con alturas múltiplos de 0,5m (0,5, 1.0, 1.5m...)

FLEXOTRACCIÓN MÁXIMA.

El empleo de muros CCW permite garantizar tensiones en estados límites de servicio en situación casi-permanente por debajo de 50 kg/cm^2 . Las principales tensiones se localizan en los módulos inferiores. Cuando no sea posible garantizar tensiones inferiores se recomendará el hormigonado completo de la cubeta y contracubeta del módulo inferior.

Consecuentemente no es previsible fisuración alguna de los módulos de cajones con empleo de fibras de vidrio.

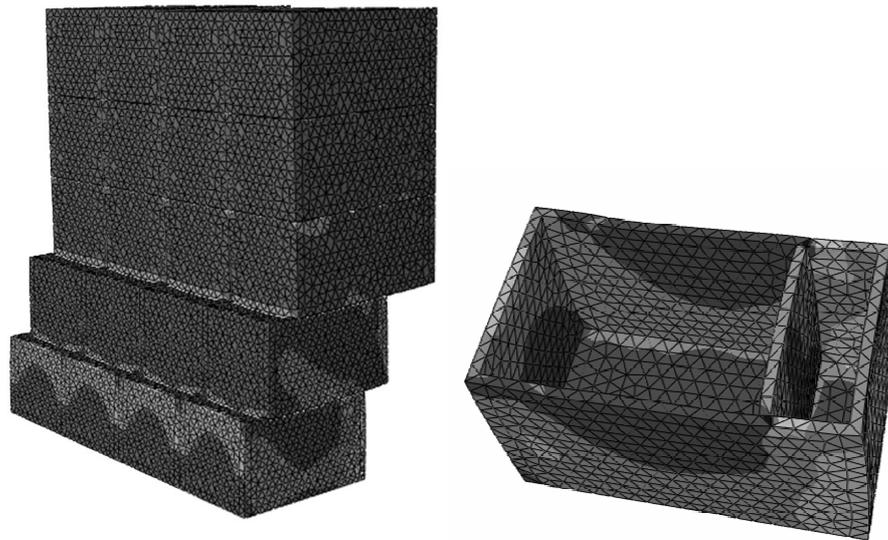


Imagen 84. Tensiones máximas principales para 10 m de altura en desmonte y situación sísmica.

TENSIÓN TANGENCIAL MÁXIMA.

Se garantizarán tensiones inferiores a 30 kg/cm^2 , y consecuentemente el coeficiente de seguridad a cortante será superior a 1,25.

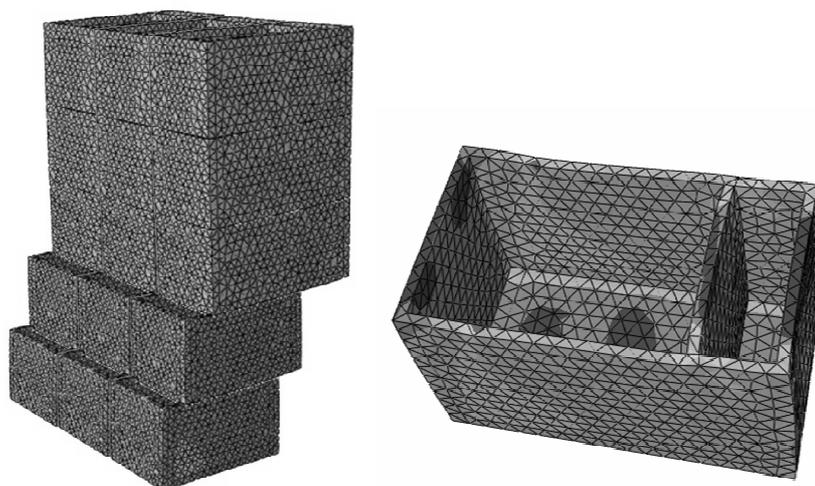


Imagen 85. Cortante máximo para 10 m de altura y situación sísmica.

FALLO POR FISURACIÓN.

Como se ha indicado anteriormente los valores de flexo-tracción máxima indican que no se producirá fisuración en los cajones.

DEFORMACIÓN Y DESPLAZAMIENTOS.

Para la altura mayor de modelización, (10 m), la deformación en coronación suele ser inferior a los 5 mm, por lo que la relación respecto de la altura es $5 / 10.000$, ratio muy inferior a la deformación de un muro convencional de ménsula.

ESTABILIDAD DE CADA UNO DE LOS MÓDULOS.

Como se ha indicado antes la estabilidad módulo a módulo puede calcularse mediante la formulación indicada anteriormente o bien con el empleo del software que se adjunta. El software permite calcular la estabilidad en cada módulo y las tensiones de contacto entre dos módulos, siguiendo la metodología indicada aquí.

ESTABILIDAD GENERAL.

La estabilidad general deberá comprobarse de forma específica en cada proyecto, en función de las siguientes variables:

- altura de la base de hormigón magro en el apoyo.
- características del terreno natural bajo la base de hormigón.
- necesidad de drenaje.

Por lo general conseguida la estabilidad del primer módulo a vuelco, quedará garantizada la estabilidad a vuelco del conjunto incluida la cimentación. Sin embargo, en la estabilidad a deslizamiento influirá de forma importante la altura del cimiento y la contribución del empuje pasivo. Por ello conviene que el primer módulo se empotre al menos 25 cm bajo el nivel del terreno.

La estabilidad a deslizamiento del conjunto requerirá el estudio particular del muro que se proyecte. De la misma forma la estabilidad profunda bajo el cimiento debe ser comprobada de forma global para el talud protegido.

REACCIÓN CONTRA EL TERRENO.

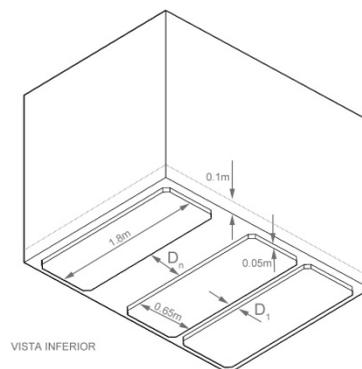
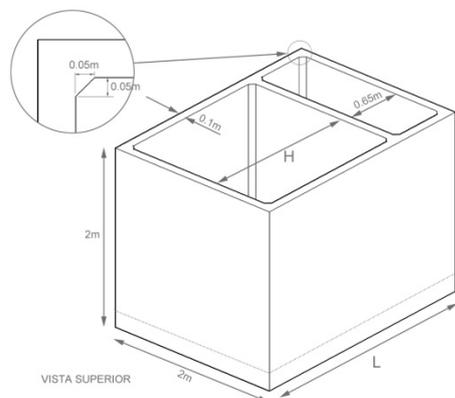
Como en el caso anterior las reacciones contra el terreno deben ser determinadas de forma específica para cada muro, en función del cimiento en la base y las características del terreno.

MUROS DE CAJONES RELLENABLES

1.- GEOMETRÍA

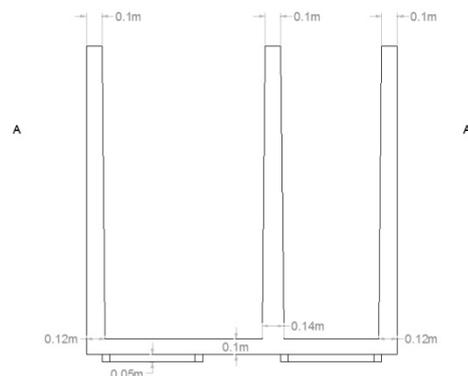
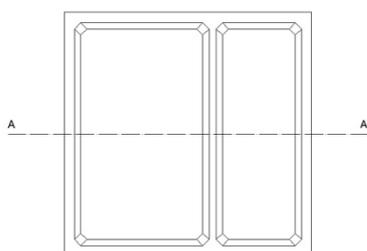
Vista 3D

Medidas cajones	L (m)	H (m)	D1(m)	D2(m)	D3(m)	D4(m)
CCW-A	1.25	1.05	0.5			
CCW-B	2.00	1.05	0.1	0.5		
CCW-C	2.75	1.80	0.1	0.3	0.3	
CCW-D	3.50	2.55	0.1	0.23	0.24	0.23
CCW-E	4.25	3.30				



Sección

SECCIÓN A - A'



2.- DOSIFICACIÓN Y MATERIALES

Los hormigones a emplear cumplirán la siguiente dosificación:

Árido	1760 Kg
Cemento 42,5 R	360 Kg, (contenido mínimo)
Plastificante	2 l
Fibra de vidrio 36 mm longitud	18 Kg
Agua	180 l, (según el contenido de cemento)

Árido:

Fracción de gruesos, 8/12 mm: 40%.

Fracción de finos, 0/5 mm: 60%.

Los ensayos deberán garantizar una resistencia característica mínima de 30 MPa y una resistencia a flexo-tracción de 5,0 MPa.

3.- TENSIONES MAXIMAS ADMISIBLES

- A) Tensión máxima 50 Kg/cm²
- B) Tensión tangencial máxima 30 Kg/cm²

