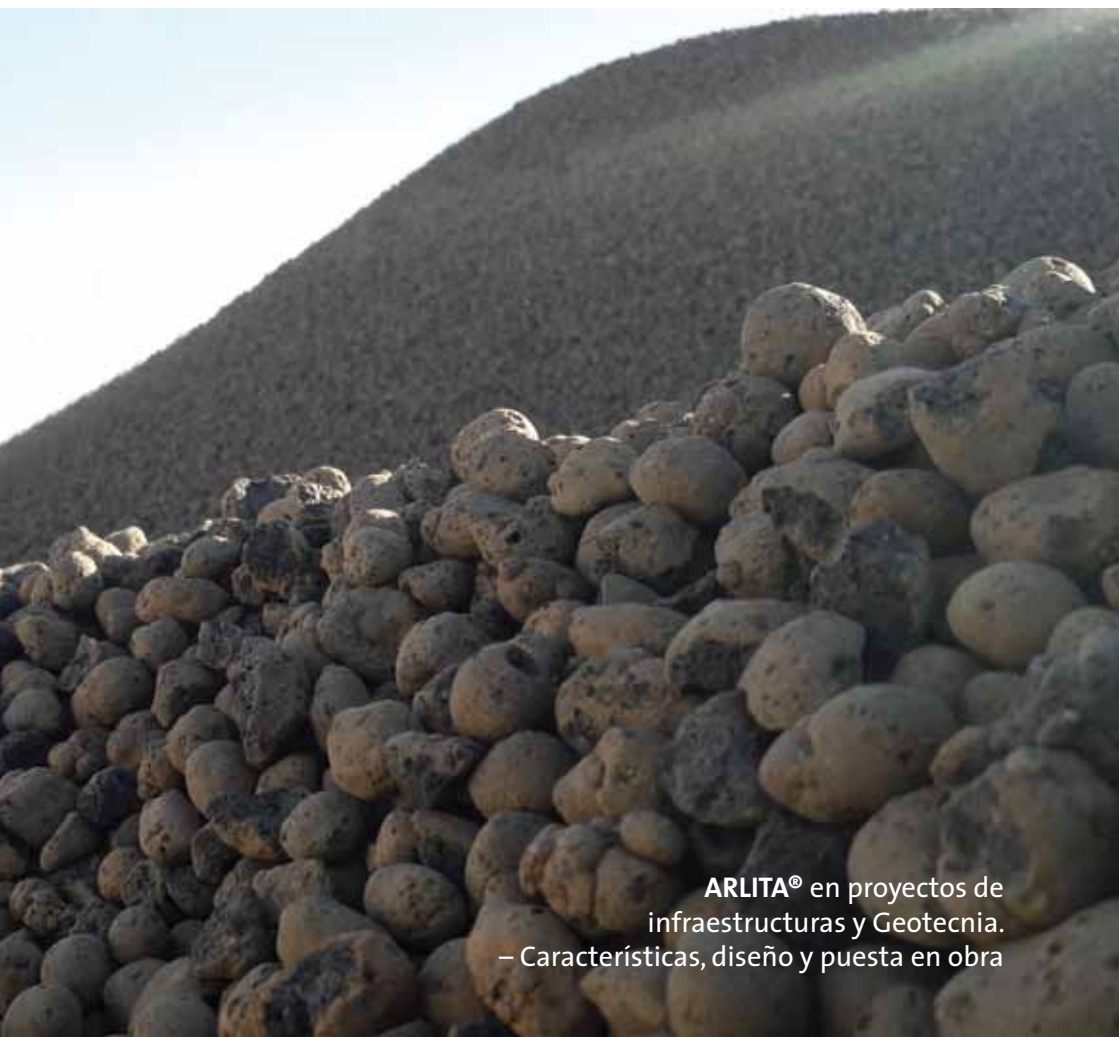


Guía Técnica



ARLITA®



ARLITA® en proyectos de
infraestructuras y Geotecnia.
– Características, diseño y puesta en obra

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN A ARLITA	4
2.	CUADRO NORMATIVO	5
3.	PROPIEDADES BÁSICAS DE ARLITA® PARA APLICACIONES GEOTÉCNICAS	6
3.1.	Dimensiones y granulometría	6
3.2.	Porosidad y huecos vacíos	7
3.3.	Densidad del producto	8
3.4.	Propiedades relacionadas con el contenido de humedad	9
3.4.1.	Aumento de capilaridad	10
3.4.2.	Conductividad hidráulica y permeabilidad al vapor	10
3.4.3.	Contenido de humedad (agua) y contenido de humedad de equilibrio	10
3.4.4.	Conductividad térmica	11
3.5.	Propiedades químicas y resistencia	12
3.5.1.	Solubilidad y pH	12
3.5.2.	Corrosión	12
3.5.3.	Resistencia química	13
4.	PROPIEDADES MECÁNICAS	14
4.1.1.	Cuadro normativo y de calidad de producto	14
4.1.2.	Deformación instantánea sobre una determinada tensión.	
	Ensayo de compactabilidad y de capacidad de carga	15
4.1.3.	Módulo edométrico M	18
4.1.4.	Resistencia al aplastamiento	18
4.1.5.	Deformaciones diferidas sobre tensión de compresión constante (Fluencia)	19
4.1.6.	Deformaciones residuales producidas por acciones cíclicas (fatiga)	21
4.1.7.	Envoltorio de tensiones - Ensayos triaxiales estáticos. Ángulo de corte (Ángulo de fricción)	22
4.1.8.	Resiliencia-Ensayos triaxiales cíclicos	23
5.	COMPORTAMIENTO EN RELLENOS DE NÚCLEOS DE CARRETERAS Y SUBESTRUTURAS FERROVIARIAS	25
5.1.	La compactación	25
5.2.	Limitaciones de tensiones de servicio	27
6.	RECOMENDACIONES GENERALES PARA EJECUCIÓN DE PROYECTO Y APLICACIÓN	30
6.1.	Consideraciones y recomendaciones generales	30
6.2.	Confinamiento de los rellenos aligerados en vías de comunicación	30
6.3.	Extendido y compactación	32
7.	SUMINISTRO A OBRA	35
7.1.	Suministro a granel	35
7.2.	Suministro en cisterna e instalación bombeando con aire a presión	36
7.3.	Suministro en Big-Bags o Sacos	36

8. CONTROL DE CALIDAD	37
8.1. Control de calidad antes de la instalación de las capas de coronación.....	37
8.2. Control de calidad tras la instalación del firme de coronación.....	38
8.2.1. Capacidad portante / rigidez medida en la parte superior del firme.....	38
8.2.1.1 Placa de carga estática.....	38
8.2.1.2. Placa de carga dinámica.....	38
8.2.1.3. CBR.....	38
9. CAMPOS DE APLICACIÓN EN OBRA CIVIL Y GEOTECNIA	39
9.1. Reducción de cargas en infraestructuras enterradas	39
9.2. Reducciones de carga en terraplenes mediante el uso de rellenos de Arlita®	40
9.3. Cuñas/Estructuras de transición	42
9.4. Aumentos y mejoras de estabilidad en terraplenes	43
9.5. Reducción de presión en sistemas de contención	44
9.6. Protección contra el hielo y mejor capacidad de drenaje	45
9.7. Ampliaciones de carreteras y calles con terraplén.....	46
9.8. Tuberías y alcantarillas	47
9.8.1. Tuberías.....	47
9.8.2. Alcantarillas, Colectores y Oleoductos.....	47
9.9 Zonas portuarias y muelles.....	48
9.10. Otras estructuras.....	49
9.11. Plazas.....	49
9.12. Terrenos deportivos	49
10. TABLA RESUMEN CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	50
10. CONSIDERACIONES	51
10.1. Reciclaje	51
11. REREFENCIAS.....	52
ANEXO 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA TERRAPLENES SEGÚN EL PG₃.....	53
ANEXO 2. CALCULO DE RELLENO ALIGERADO EN TERRAPLENES DE CARRETERA	56
ANEXO 3. CÁLCULOS DE LA FLOTABILIDAD EN TERRAPLENES ALIGERADOS EN CARRETERAS	57
ANEXO 4. CÁLCULO DE LAS HELADAS EN LA ESTRUCTURA DE LA CARRETERA.....	58
ANEXO 5. CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN CARRETERAS Y CALLES.....	60
ANEXO 6. CÁLCULO DE LA PRESIÓN LATERAL DE LA TIERRA SOBRE EL MURO DE CONTENCIÓN	62
ARLITA Y MEDIO AMBIENTE	63



1 INTRODUCCIÓN A ARLITA®

Arlita® (Arcilla expandida) se ha utilizado en aplicaciones de ingeniería Civil, geotécnica y de infraestructuras en toda España y Europa para reducir el peso de rellenos, minimizar cargas sobre las estructuras de hormigón soporte y subterráneas así como para la protección del suelo de la penetración de las heladas. El material ha sido utilizado en España desde los años 80 y en países nórdicos como Finlandia desde los años 50. Durante el proceso de fabricación de **Arlita®**, la arcilla natural se calienta a altas temperaturas para crear un material cerámico sinterizado e incombustible. Las partículas de arcilla individuales comienzan a fundirse a 950° para terminar su proceso de sinterización sobre los 1.200°C. Este proceso confiere a la **Arlita®** una elevada resistencia a altas temperaturas y al fuego así como una gran ligereza y resistencia.

Arlita® se puede utilizar como rellenos aligerados en proyectos de construcción de infraestructura ya que presenta una combinación de propiedades de alta resistencia y baja densidad aparente demostrándose como un competidor fuerte y una alternativa a otras soluciones ingenieriles más complejas, ya que es muy sencilla su aplicación y puesta en obra en lugares de difícil acceso, pudiendo ser aplicado mediante bombeo en seco. Además, el uso de **Arlita®** en los proyectos de ingeniería permite reducir considerablemente los tiempos de ejecución en comparación con la construcción de otras soluciones de mejora del suelo y de cimentación, asegurando una menor incertidumbre en costes indirectos.

La densidad aparente seca de **Arlita®** destinada a trabajos en geotecnia es aproximadamente de entre 15 a 20% de la densidad aparente de un suelo granular natural.

Las propiedades mecánicas de **Arlita®** varían de acuerdo con el tamaño y la ratio de expansión de sus partículas de agregado constituyentes. En general, las partículas más pequeñas son las más pesadas, por eso recomendamos para proyectos de rellenos aligerados en infraestructuras, las fracciones de 10/20 mm para asegurar la mayor resistencia con el menor peso. El presente manual se referirá a las características de este producto así como su campo de aplicación.

La arcilla expandida es también considerado un material sostenible. Desde hace miles de años, la arcilla cocida se ha utilizado en una variedad de aplicaciones y es altamente duradera bajo condiciones climáticas cambiantes y exposición a compuestos químicos naturales y sintéticos.

Todos los productos **Arlita®** están marcados CE según normativa y en nuestra página web encontrará información detallada sobre los certificados de rendimiento del producto especificados por las normas correspondientes: www.arlita.es.



2

CUADRO NORMATIVO

El uso de **Arlita®** está reglado por normativa Europea y Española sobre su uso en proyectos de ingeniería y construcción y constituirán la base del diseño para el uso de estos materiales. La orientación específica del diseño a seguir, varía dependiendo del proyecto de construcción y la aplicación y es la responsabilidad última la del ingeniero de proyecto la de asegurar que se sigue la normativa vigente así como las particularidades del producto sobre el proyecto a ejecutar.

Las normas y directrices comúnmente aplicadas para el cálculo y el diseño de estructuras de relleno utilizado agregados de **Arlita®**, son las siguientes:

- UNE-EN 1997-1:2010, Eurocódigo 7.
- Anejo Nacional Español del Eurocódigo 7.
- Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- Guía de Cimentaciones en Carretera (Ministerio de Fomento).
- Código Técnico de la Edificación CTE.
- UNE EN 15732:2014 Materiales ligeros de relleno y productos aislantes térmicos para aplicaciones en ingeniería civil. Productos a base de áridos ligeros de arcilla expandida.
- UNE EN 13055-1:2003 Áridos ligeros.
- PNE-EN 13055 Áridos ligeros (Anulará a UNE-EN 13055-1/2)
- Directiva 89/106/CEE
- EHE-o8

Otras normativas europeas de referencia de interés:

- Geotechnical Design of Roads (Finnish

Transport Agency Instructions 2012)

- Design of Lightweight Structures. Guidelines for Design of Road Subgrade (Finnish Transport Agency 2011)
- RIL 234:2007 Subgrade and Pavement Structures of Yards
- RIL 207:2009 Geotechnical Design. EuroCode
- RIL 261:2013 Frost protection of Buildings and Infrastructure
- Permeable Pavements– Design, Construction and Maintenance Manual (VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, 2015)
- Private Road Improvement – Fundamentals of Design and Implementation (Finnish Road Association 2010)

Los requisitos generales de calidad para la construcción y los materiales de las estructuras creadas a partir de áridos ligeros de arcilla expandida se presentan en:

- UNE EN 15732:2014 Materiales ligeros de relleno y productos aislantes térmicos para aplicaciones en ingeniería civil. Productos a base de áridos ligeros de arcilla expandida.
- UNE EN 13055-1:2003 Áridos ligeros.
- PNE-EN 13055 Áridos ligeros (Anulará a UNE-EN 13055-1/2)

Arlita®, al igual que otros materiales de construcción, se marcarán con la etiqueta CE. Mediante el uso de la etiqueta CE, el fabricante certifica que el producto cumple los requisitos establecidos por la Unión Europea para su uso en el propósito especificado:

- Directiva 89/106/CEE



3 PROPIEDADES BÁSICAS DE ARLITA® PARA APLICACIONES GEOTÉCNICAS

3.1. Dimensiones y granulometría

Las fábricas de Leca®, producen diversos tipos de **Arlita®** en sus distintos centros de producción a lo largo de toda Europa, no obstante para las aplicaciones geotécnicas recomienda una granulometría de 10/20 mm. En los siguientes puntos nos centraremos en el material producido en la fábrica de Portugal que suministra a **Arlita®** al mercado Español. La **Arlita®** 10/20 tiene como característica granulométrica un diámetro medio D_{50} de aproximadamente 13 mm. Al tratarse de un material “grueso” en lo que respecta a la granulometría, presenta una elevada capacidad

drenante, respecto a otros suelos granulares. Esta característica se denomina coeficiente de permeabilidad hidráulica y puede variar en función de la compactación (que es variable en función de la puesta en obra), disminuyendo a medida que éste aumenta, siendo su valor mínimo de 10^{-2} m/s. Su número de huecos libres o de permeabilidad lo abordaremos más adelante. De la curva granulométrica de la Figura 1 podemos retirar los diámetros correspondientes al 60% y al 10%, presentando un $D_{60}=14$ mm y un $D_{10}=10$ mm, obteniendo un coeficiente de uniformidad $C_u=D_{60}/D_{10}=1.4$, siendo un valor de granulometría uniforme y un indicador del carácter drenante del material.

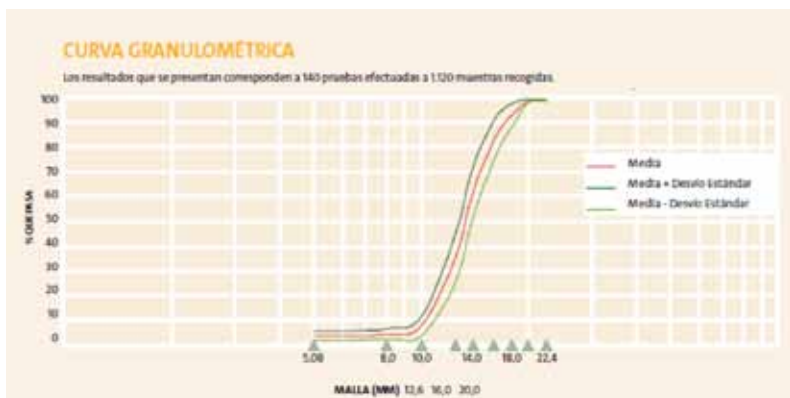


Figura 1. Curva granulométrica.

3.2. Porosidad y huecos vacíos

Igual que el resto de suelos, **Arlita**® aplicada a rellenos, es un medio polifásicos, es decir, presentan una fase sólida, una fase líquida (agua absorbida o externa a las partículas) y una fase gaseosa (huecos vacíos). Sin embargo, la fase gaseosa en la **Arlita**® es más compleja que en otros suelos tales como arenas o áridos triturados en los que tiene mayor relevancia el volumen de los huecos vacíos exteriores que los de sus partículas constituyentes.

En **Arlita**® la fase gaseosa está constituida conforme indica en la Tabla 1.

Espacios vacíos exteriores a los gránulos	Huecos vacíos que confieren permeabilidad al material
Espacios vacíos interiores a los gránulos	Huecos vacíos abiertos -Porosidad abierta
	Huecos vacíos aislados -Porosidad cerrada

Tabla 1. Huecos vacíos en **Arlita** 10/20

En medios granulares, la cuantificación de los huecos vacíos en cuanto al volumen del material puede hacerse según dos índices:

- Índice de huecos vacíos e que es la razón entre volumen de huecos vacíos exteriores a las partículas y el volumen ocupado por la fase sólida.
- Porosidad n que es la razón entre el volumen de huecos vacíos exteriores y el volumen total ocupado por las tres fases.

Los índices e y n se relacionan entre sí mediante las expresiones:

$$e_e = \frac{n_e}{1 - n_e} \quad ; \quad n_e = \frac{e_e}{1 + e_e}$$

Llamaremos n_e a la porosidad exterior de **Arlita**®, presentando un valor de 0,33 y que corresponde a un valor de $e_e=0,5$. La Figura 2 representa el espacio ocupado por estos huecos vacíos respecto al volumen total.

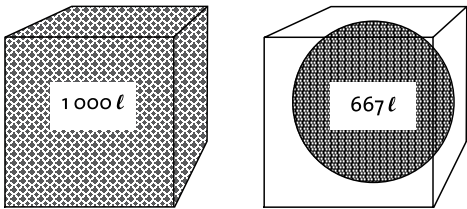


Figura 2. Huecos vacíos exteriores presentes en 1 m³ de **Arlita** 10/20 en granel.

Es este volumen de huecos vacíos externos a los granos el que disminuye bajo el efecto de la operación de compactación. En cuanto a los huecos vacíos interiores de los granos, el volumen que ocupan frente a 1 m del árido está representado en la Figura 3.

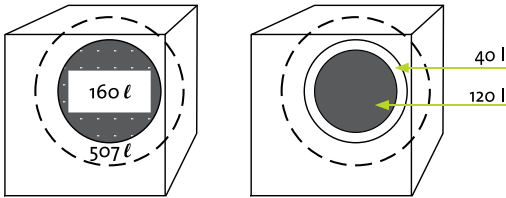


Figura 3. Huecos vacíos interiores en 1 m³ (accesibles y aislados al agua)

Por tanto, en 1 m³ de **Arlita**® 10/20, en media, los huecos vacíos están indicados en el siguiente cuadro:

m³	VOLUMEN DE
0,333	Huecos vacíos exteriores a los granos antes de compactación
0,507	Huecos vacíos accesibles interior a los granos
0,040	Huecos vacíos aislados interiores a los granos

Tabla 2. Volúmenes de huecos vacíos

Tras entender el tamaño de los huecos vacíos, es sencillo llegar a la conclusión que la ligereza de **Arlita**® se basa en esta característica. La influencia del agua en su peso a considerar en la determinación de acciones para el dimensionamiento, lo consideraremos en puntos sucesivos.

3.3. Densidad del producto

Uno de los parámetros que hacen más particular a la **Arlita®** es su densidad en los distintos estados (granel, compactado, en servicio, etc). Hay que tener en cuenta que la **Arlita®** en función de la granulometría con la que estemos trabajando presentará unas características diferentes y por tanto debemos considerar para cada caso el producto que estamos usando. Este manual se centrará en el producto más habitual para aplicaciones en infraestructuras y geotecnia que es la **Arlita® 10/20**, con una densidad aparente seca a pie de obra de aproximadamente 275 kg/m^3 . Para su correcta aplicación y para alcanzar sus máximas prestaciones, el material a granel se debe someter a una compactación de baja energía hasta un valor del 10% del total del volumen (la justificación de este valor la encontraremos en capítulos sucesivos). Tras esta compactación la densidad en seco en el lugar se incrementa habitualmente hasta aproximadamente $\sim 300 \text{ kg/m}^3$. Al evaluar la densidad real de **Arlita®**

colocada en el proyecto, el ingeniero deberá tener en cuenta el volumen de agua absorbida, el agua en la superficie de las partículas y el agua de poro intersticial presente en el árido en su ubicación en el proyecto específico.

Las siguientes propiedades del material influyen en la densidad alcanzada en la estructura agregada ligera:

- Densidad aparente en seco de gránulos

- Cantidad de agua absorbida
- Porosidad superficial de gránulos
- Grano medio de gránulos
- Condiciones de drenaje, y
- Agua subterránea y nivel de agua en la estructura de **Arlita®**.



Figura 3.1. **Arlita®** es más ligero que un árido natural.

3.4. Propiedades relacionadas con el contenido de humedad

Uno de los datos más importantes para la correcta caracterización de un árido ligero en condiciones de puesta en obra es conocer adecuadamente su variación de densidad respecto a las condiciones en estado seco.

La densidad de **Arlita**® 10/20 varía en función de cuánta agua absorbe. Tras una inmersión durante 24 h, el agua absorbida corresponde al 38% de su peso inicial en estado suelto, sin embargo, para duplicar esta cantidad de agua, es necesario que pasen tres meses. Para conseguir la plena saturación que representa un contenido de 130%, apenas se consigue en condiciones de laboratorio (inmersión total de la muestra y forzando a llenar huecos vacíos con bomba de vacío) que son imposibles de alcanzar en condiciones de puesta en obra.

Por tanto, el peso volumétrico para considerar como fuerzas ejercidas en rellenos de **Arlita**® 10/20 debe de ser determinado en función de:

- Duración eventual del tiempo en inmersión.
- Condiciones de drenaje de la interfase entre el relleno aligerado y los elementos constituyentes de las formaciones geológicas confinantes.

Para situaciones típicas y con buenas condiciones de drenaje y absorción de agua no alcanzará el valor correspondiente a 24 h de inmersión, pudiendo calcular la carga para predimensionado de la siguiente manera:

$$2,7 \frac{kN}{m^3} \cdot 1,38 \cdot 1,1 = 4 kN/m^3$$

Siendo:

- 2,7 kN/m³ la densidad en seco.
- 38% de agua absorbida.
- 10% de aumento de peso por compactación.
- 4 kN/m³ densidad a considerar para predimensionado.

En situaciones en las cuales el relleno esté frecuentemente bajo el nivel freático, otros valores de densidad deben de ser utilizados. Para predimensionado en estas condiciones podremos considerar un valor medio de densidad de 5 kN/m³.

Situación	Densidad (kN/m³)
Presencia ocasional de agua	4
Presencia muy frecuente de agua	5

Tabla 3. Densidades de predimensionado

Otra forma de tratar de manera separada la densidad aparente seca de **Arlita**® 10/20 y el agua absorbida, es usando el valor de 335 kN/m³ (probabilidad del 95% de estar por debajo de este valor) y para una densidad de agua en interior de los granos del 38% (correspondiente a 24 h de inmersión) de este valor o del valor medio, u otro porcentaje, si el material llega a estar sumergido por periodos de tiempo más largos.

Sobre la absorción de agua en referencia al ascenso capilar podemos afirmar que es muy pequeña. Para un relleno de **Arlita**® que se encuentra parcialmente inmerso en agua y si tras algunos meses en estas condiciones el contenido de humedad ronda valores del orden del 80% en la parte sumergida, la franja de ascenso capilar a lo largo de la cual la humedad va descendiendo progresivamente hasta alcanzar valores correspondientes al de la humedad atmosférica es de menos de 30 cm de espesor. Así, en términos de aumento de densidad, la importancia de la franja capilar **no tiene ningún valor representativo**, bastando considerar a efectos de pre-dimensionamiento que el nivel freático se encuentra 20 cm por encima del nivel efectivo para tener en cuenta este efecto de capilaridad en los cálculos.

Los valores de densidades han sido obtenidos como valores medios en estado seco, pudiendo ser tomados como valores característicos, ya

que las variaciones de densidades en seco y de absorción de agua se dan en sentidos opuestos. Es decir, los lotes con densidades más altas presentan volúmenes de vacíos más reducidos, por lo que también la absorción de agua disminuye.

Las acciones que resultan del aumento de densidad del relleno ligero (empujes en el trasdós de estribos y muros, tensiones verticales sobre túneles, etc) son en general desfavorables. Aunque los pesos propios de los materiales originan acciones del tipo permanente, el hecho de utilizar un enfoque que considera para la determinación de la acción el peso propio de **Arlita®** más el peso del agua absorbida por los granos y el factor de ser variable la cantidad de agua absorbida se llevan a aconsejar la utilización, en el dimensionamiento de coeficientes parciales de seguridad de 1,5 o 1,3 conforme se trate respectivamente del caso B o C del Eurocódigo7.

3.4.1. Aumento de capilaridad

El aumento de la capilaridad en **Arlita®** depende de la distribución del tamaño de grano, el contenido de finos, la densidad y la porosidad de las partículas. El aumento del tamaño del grano y la reducción de la densidad conducen al aumento del tamaño de los poros y a la posterior desintegración de las fuerzas capilares, como se observa comúnmente en los materiales naturales de la tierra.

3.4.2. Conductividad hidráulica y permeabilidad al vapor

Generalmente, la permeabilidad de **Arlita®**, como la de los materiales naturales del suelo, depende de su distribución de tamaño de grano. Debido a que la gradación de **Arlita®** es la misma que la de la grava natural, presenta una alta permeabilidad del orden de 10^{-3} - 10^{-1} m / s. Debido a esta calidad, **Arlita®** se aplica en capas de drenaje y bloqueo de agua capilar.

Arlita® proporciona un coeficiente de permeabilidad al vapor superior a 7×10^{-6} m²/s en comparación con la grava de drenaje, cuyo valor correspondiente es de 4×10^{-6} m²/s. Igualmente con otros materiales similares, la capacidad de **Arlita®** para conducir el vapor depende considerablemente del contenido de agua inherente del producto y a la posterior desintegración de las fuerzas capilares, como se observa comúnmente en los materiales naturales de la tierra.

3.4.3. Contenido de humedad (agua) y contenido de humedad de equilibrio

Arlita® según sale del horno de producción está completamente seco y su saturación es necesaria para mitigar el polvo. El agua libre puede aparecer en los poros de los granos o puede condensarse en su superficie. Además, el agua puede ser absorbida por los poros internos de los gránulos.

La distribución del tamaño de poro y la superficie específica de los granos tiene un impacto significativo en el contenido de humedad de **Arlita®**. En general, la superficie específica del material compuesto de granos más pequeños es menor debido a la sinterización de la superficie que surge del proceso de cocción. Por el contrario, la superficie específica de un producto de grano fino producido por trituración es mayor. Al mismo tiempo, el volumen de los poros internos es bastante sustancial. Por lo tanto, los gránulos pueden absorber una cantidad significativa de agua. Al estar en contacto con el agua, **Arlita®** puede absorber agua equivalente al 80% del peso del producto seco. **La cantidad de agua absorbida no afecta las propiedades mecánicas de Arlita®, pero afecta significativamente su conductividad térmica.**

Cuando la temperatura ambiente es +20 ° C, el contenido de humedad de equilibrio (EMC) de **Arlita®** es inferior al 0,2%. El contenido de humedad de equilibrio significa el contenido de humedad natural a largo plazo del material con respecto a las condiciones prevalecientes. Para

una humedad relativa igual al 100%, el contenido de humedad de equilibrio higroscópico es de 0,5 - 0,6% en peso, lo que corresponde a 1,5 kg por 1 m³ del producto. En otras palabras, para evitar un 100% de humedad relativa del aire (HR) alrededor de los granos, la cantidad máxima de agua no debe superar el 0,5% del peso del material (contenido de agua 1,5 kg / m³). El contenido de

humedad de equilibrio higroscópico del material del suelo con la misma composición de grano es de 0,5 - 1% del peso, o de 10 - 20 kg/m³ para HR = 100%. Por contenido de humedad higroscópico se entenderá la cantidad de agua absorbida por un material poroso de la atmósfera en una cierta humedad relativa.

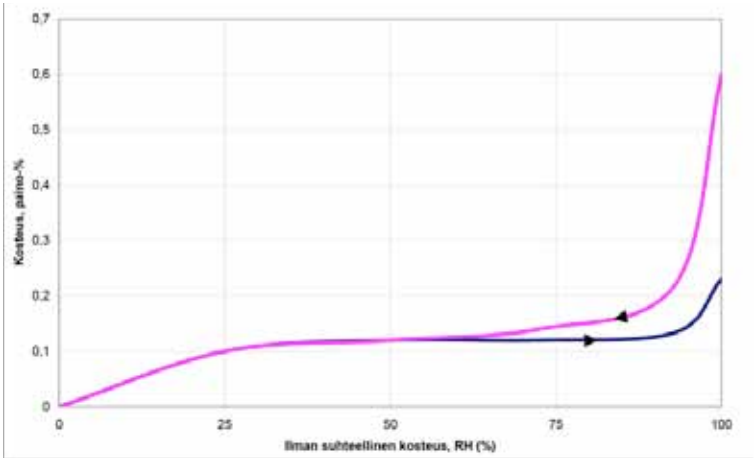


Figura 4. Contenido de humedad de equilibrio de Arlita®. Gráfico superior: EMC de Arlita® desecante, gráfico inferior: EMC de Arlita® saturado

3.4.4. Conductividad térmica

La conductividad térmica de **Arlita**® está determinada por varias propiedades del material, incluyendo su densidad aparente, densidad específica de partículas, tamaño de grano, contenido de agua y temperatura. El aumento del contenido de agua da lugar al crecimiento de la conductividad térmica. La conductividad

térmica de **Arlita**® 10/20 con el contenido de agua cambiante varía entre 0,11 - 0,20 W / mK; Consulte la Tabla 4 Adjunta.

Para fines de dimensionado, se aplicará el valor igual a 0,17 W / mK (el contenido de agua es aproximadamente el 30% del peso).

Contenido de agua y relación de peso, %	seca	1	5	16	22	32	44
Conductividad térmica, W/mK	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15	0,20

Tabla 4. Conductividad térmica Vs Contenido de agua (EN15732:2012)

3.5. Propiedades químicas y resistencia

3.5.1. Solubilidad y pH

Arlita® es un producto cerámico inorgánico, **completamente inerte a otros productos**. Como material cerámico es capaz de resistir la acción de cualquier producto químico durante su puesta en servicio en infraestructuras o durante la vida de la estructura, incluyendo ácidos, sales, álcalis y sustancias orgánicas.

Arlita® es ligeramente alcalino con un valor de pH igual a aprox. 9 - 10. El valor del pH del producto final varía con el tiempo dependiendo de varios factores, incluyendo la calidad y la fuente de la arcilla cruda utilizada en el proceso de fabricación.

El producto final contiene la misma composición química que la de la arcilla cruda utilizada en la producción. En el proceso de fabricación los compuestos metálicos reaccionan y se combinan generando en óxidos. **Arlita® no libera sustancias nocivas en el ambiente circundante**, y basado en las características de solubilidad es similar a los materiales convencionales del suelo. La solubilidad medida y los valores de concentración química no revelan ningún riesgo para la salud o el medio ambiente.

3.5.2. Corrosión

Cuando se utiliza como material de relleno alrededor de materiales enterrados de acero y plástico, **Arlita®** muestra un rendimiento equivalente al de un suelo permeable al agua, sin sustancias orgánicas u otras impurezas. Normalmente, el riesgo de corrosión debido a **Arlita®** es bajo, sin embargo, el ingeniero responsable del diseño debe verificar que las aguas subterráneas en el área no sean agresivas en ningún caso.

Arlita® se comporta de forma similar al

limo en términos de su comportamiento de conductividad eléctrica. No se observa que las sustancias nocivas o corrosivas se filtren de los materiales **Arlita®**.

La concentración de cloruros es inferior al 0,01%, y la concentración de azufre es inferior al 0,02%. Los valores de solubilidad y concentración verificados no causan corrosión ni su progreso o evolución.

En condiciones secas, el avance de la corrosión en la capa **Arlita®** es extremadamente lenta.

La **Arlita®** húmeda, debido a la forma de los granos, produce puntos de oxidación en una superficie de una estructura de acero. El contenido de oxígeno y agua de estos puntos se desvía del ambiente circundante, lo que puede dar como resultado un aspecto de corrosión local. La activación del proceso de corrosión puede evitarse bloqueando la penetración de humedad en la estructura de **Arlita®** mediante el uso de geotextiles impermeables. Con el fin de aumentar la vida útil de una tubería de acero y otros equipos similares rodeados por **Arlita®** o como con otros suelos convencionales, se recomienda la protección contra la corrosión que impida el contacto entre el material grueso y la superficie de acero, mediante ánodos de sacrificio u otros procedimientos. Para fines de protección contra la corrosión, se utilizarán películas de plástico o revestimiento adecuado (pintura, aspersión de betún, etc.) de acuerdo con las instrucciones específicas del fabricante. Se observa, en cualquier caso, que el enterramiento de acero no protegido en suelos granulares en presencia de humedad resulta similar en corrosión a materiales naturales, en cualquier caso, y por lo tanto es aconsejable la protección en todas las circunstancias.

3.5.3. Resistencia química

Arlita® presenta una fuerte resistencia química a diversos combustibles y a la sal usada para facilitar el deshielo así como para otras sustancias químicas relacionadas con el tráfico. También es totalmente estable en ciclos de congelación y descongelación. **En condiciones normales de frío no sufre daños ni cambios en sus propiedades durante la congelación ni muestra reducción de durabilidad o de propiedades mecánicas. Debido a su capacidad para soportar altas temperaturas, Arlita® pertenece a la clase de resistencia al fuego "A1 - incombustible".**





4 PROPIEDADES MECÁNICAS

4.1.1. Cuadro normativo y de calidad de producto

Existen dos documentos normativos que definen las propiedades de los áridos aligerados que se deben de considerar para las aplicaciones de geotecnia de **Arlita**® 10/20:

- UNE-EN 13055-2:2005. Parte 1: Áridos ligeros. Parte 2: Áridos ligeros para mezclas bituminosas, tratamientos superficiales y aplicaciones en capas tratadas y no tratadas.
- UNE-EN 15732:2014: Materiales ligeros de relleno y productos aislantes térmicos para aplicaciones en ingeniería civil. Productos a base de áridos ligeros de arcilla expandida.

La UNE-EN 13055-2 define las propiedades de los áridos ligeros, obtenidos mediante el procesamiento de materiales naturales, artificiales o reciclados y mezclas de estos áridos para mezclas bituminosas, tratamientos superficiales y aplicaciones en capas no tratadas (sin ligantes) y tratadas con conglomerantes hidráulico distintos de hormigón, mortero e inyectado. La normativa EN 15732 tiene un campo de aplicación más amplio que se extiende también a rellenos aligerado en contacto con elementos estructurales, siendo en tanto específico para rellenos aligerados de arcilla expandida. La norma cubre el uso de arcilla expandida LWA (Light Weight Aggregates) como relleno ligero y como materiales de aislamiento en terraplenes para carreteras, vías férreas y otras áreas de tráfico y como relleno ligero para estructuras.

Los ensayos previstos en estas normas, determinan las características de áridos aligerados que los caracterizan en cuanto a producto para la construcción, no tiene por objeto la determinación de los parámetros para la modelización de su comportamiento en la aplicación.

Con todo esto, algunos de los ensayos permiten determinar parámetros de resistencia tales como ángulo de resistencia a cortante y de deformación o como módulo edométrico que pueden ser usados para modelizar el comportamiento de materiales en diversas aplicaciones.

Los valores mínimos o máximos de los parámetros que cuantifican las propiedades para una aplicación en particular, pueden estar definidas en normas o especificaciones relativas a esa misma aplicación.

4.1.2. Deformación instantánea sobre una determinada tensión. Ensayo de compactabilidad y de capacidad de carga

En las infraestructuras en las cuales se requiere parámetros de máxima ligereza y resistencia, la búsqueda de este compromiso es fundamental. Arlita® ha estudiado su producto durante muchos años, llegando a conclusiones que permiten maximizar estas prestaciones.

La norma UNE EN 13055-2, en su Anexo A presenta un ensayo que busca la obtención de:

- Máxima reducción de volumen (compactación) por vibración, frente a un estado inicial de compacidad mínima (granel suelto).
- Registro continuo de deformación originada por una carga constante de compresión uniaxial aplicada a una tasa constante.

Este ensayo es ejecutado sobre muestras de Arlita® 10/20 colocadas en moldes cilíndricos de 200 mm de diámetro y altura. En la primera parte de este ensayo se mide la reducción de

volumen aparente de la probeta tras tres minutos de vibración a unas amplitudes y frecuencias determinadas. En la segunda fase se aplica una carga sobre la probeta con una tasa de $0,06 \pm 0,002$ kN/s hasta conseguir una deformación de la altura del 10% tras la compactación por vibración.

Este ensayo permite demostrar aspectos importantes del comportamiento de Arlita® 10/20, en particular, la forma en que la compactación inicial influye en el comportamiento del material bajo las acciones de compresión.

Una variable de la primera fase de este ensayo consiste en registrar la reducción de volumen por vibración en función del tiempo, obteniendo un gráfico como muestra la Figura 6.

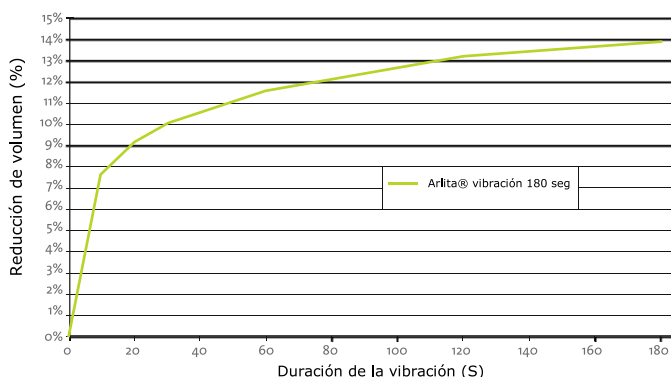


Figura 6. Reducción de volumen vs. Duración de la vibración.

Teniendo en cuenta que en una obra, la reducción de volumen va impuesta por las diversas tongadas de **Arlita® 10/20**, por el tipo de elemento que va a generar esa compactación (placa vibrante o dozer) y número de pasadas para conseguir el 10% de compactación, es importante conocer el

registro de tensiones vs. deformación de **Arlita® 10/20** para diversos estados de compactación que el relleno ligero puede llegar registrar. Para el 10% de compactación el comportamiento típico está descrito en la Figura 7.

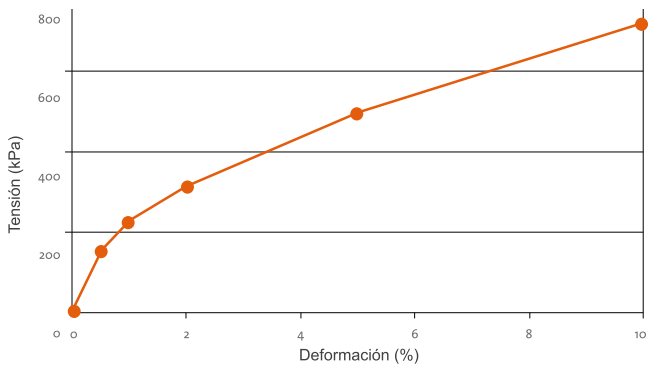


Figura 7. Curva de tensión-Deformación de Arlita10/20, compactada al 10% por vibración según EN15732 Anexo C.

Aunque no se elimina la fricción entre el interior del molde y la muestra, este ensayo permite obtener un orden de magnitud de la deformación producida por una determinada tensión.

Este tipo de ensayos permite la determinación de un módulo de deformabilidad E_c , correspondiente a la derivada del gráfico de tensión-deformación de la Figura 8.

Por ejemplo para una tensión de servicio de 100 kPa la deformación instantánea corresponde a un orden del 0,5%

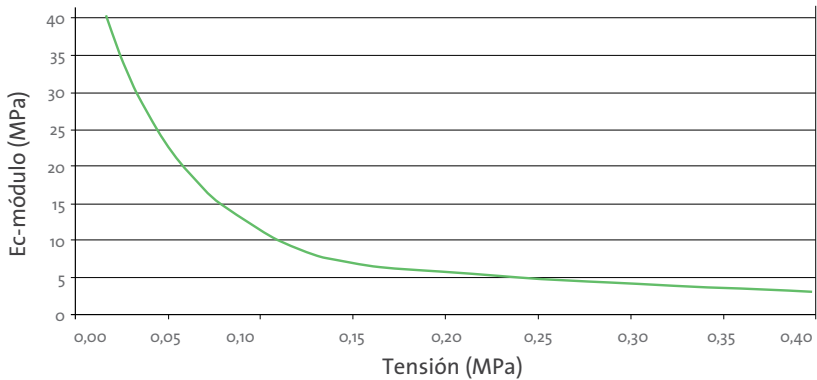


Figura 8. Módulo de deformabilidad de Arlita 10/20 a partir de ensayos de resistencia a compresión (Compactada al 10% por vibración).

Es importante señalar que el principal factor que influye en la curva tensión-deformación es la densidad aparente seca del material en estado granel.

Las curvas presentadas en la figura 9 muestran la influencia de la densidad **tras la compactación** en el comportamiento mecánico de **Arlita® 10/20**.

La curva **a** se refiere al material sin compactar con menor densidad aparente frente a la curva **b** que presenta el comportamiento del material tras la compactación (en laboratorio mediante proceso de vibración) que presenta una densidad aparente más elevada.

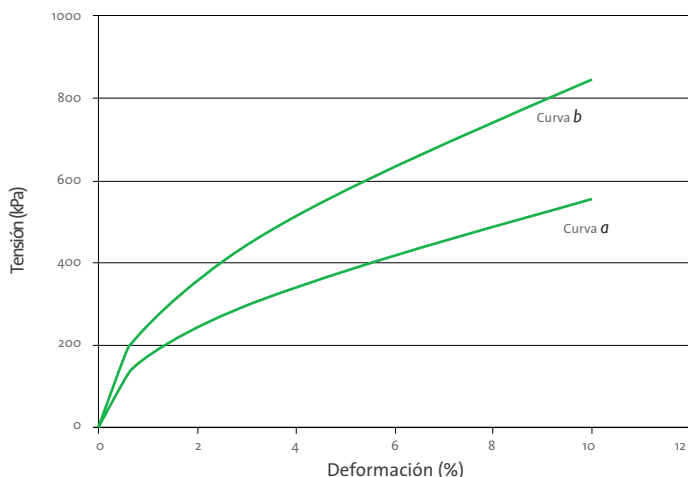


Figura 9. Curvas de tensión-deformación de Arlita 10/20 en estado suelto (curva a) y compactada al 10% por vibración (curva b).

La figura 9 pone de relieve la importancia de asegurar que el relleno ejecutado con **Arlita® 10/20** presente una adecuada compactación, de la cual dependerá su comportamiento en términos de Tensión Vs. Deformación.

Es importante:

- Control en fábrica de que el producto realmente tenga las características de ligerezas.
- Control en obra de compactación para reducir fenómenos de asentamiento

4.1.3. Módulo edométrico M

El ensayo de determinación del módulo de deformación elástico, presentado en el punto anterior, permite obtener valores correspondientes a diferentes estados de tensión. Sin embargo, este módulo E es distinto del **módulo edométrico** que designaremos

por **M**, en cuya determinación las cargas son aplicadas por escalones en equipo que disponen de medidas de reducción de rozamiento lateral. Las diferencias entre estos dos tipos de módulos de deformabilidad son relativamente pequeñas.

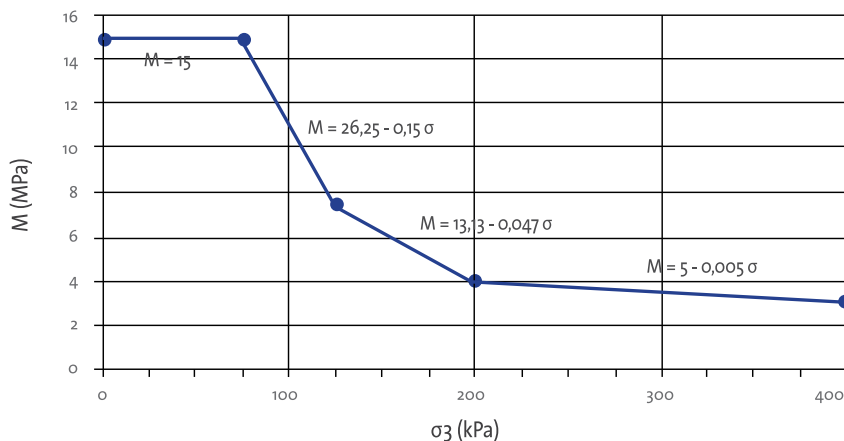


Figura 10. Variación del módulo edométrico M tras reducción de volumen del 10% por vibración en función del nivel de tensión aplicada.

4.1.4. Resistencia al aplastamiento

Otro parámetro que expresa la resistencia mecánica de los áridos ligeros de forma inmediata y normalizada es la resistencia al aplastamiento, obtenida a través del ensayo descrito en el Anexo A de la norma EN 13055-1, que describe las características que los áridos ligeros deben de presentar para ser utilizados en la fabricación de hormigones. Este parámetro no es muy usado en el dimensionado o modelización de rellenos aligerados pero sirve para obtener un valor de tensión máxima de servicio aplicando coeficientes de minoración al valor de tensión de resistencia al aplastamiento del agregado, sin embargo, siendo un parámetro normalizado de simple determinación, sirve sobre todo para realizar control de calidad en fábrica de Arlita®.

En este ensayo se aplica una fuerza sobre un pistón apoyado en una probeta de 100 mm de diámetro y 100 mm de altura rellena de Arlita® vibrado durante 20 segundos, aplicando una fuerza hasta que el pistón penetra 40 mm en el material, registrándose una fuerza que produce esta deformación correspondiente a un esfuerzo.

La tensión de resistencia a aplastamiento corresponde a un límite convencional de deformación de 20%, el cual no se usa en aplicaciones prácticas, determinada sobre muestras poco compactadas. Se trata de un parámetro fácil de determinar que permite controlar las características de producción del granel. **La resistencia al aplastamiento de la Arlita® 10/20 en estas condiciones tiene un valor mínimo de 700 kPa.**

4.1.5. Deformaciones diferidas sobre tensión de compresión constante (Fluencia)

Los efectos diferidos en el tiempo resultantes de la aplicación de esfuerzos sobre cualquier material son validados mediante los ensayos de fluencia. En UNE-EN 157532 en su anexo C establece un ensayo que determina la deformación a compresión de **Arlita**® a una carga constante. La muestra se coloca en un recipiente de acero y se compacta por vibración. La carga F debe aplicarse hasta el nivel predeterminado a niveles de 10 kN/min y se mantiene constante durante 24 h. Debe registrarse la deformación durante dicho periodo.

La fluencia a la compresión debe determinarse a unos niveles de tensión de compresión de 100 N/mm², 150 N/mm² y 200 N/mm². Para **Arlita**® 10/20 puede ser cuantificada a través del parámetro time resistance (Janbu, 1969), siendo este el inverso de la derivada de extensión en función del tiempo para determinados niveles de tensión:

Se constata que, para la generalidad de los suelos y materiales granulares sujetos a una tensión de compresión, a partir de un determinado momento t_p o parámetro R varía linealmente con el tiempo transcurrido después de un momento de referencia t_r , siendo por tanto:

$$R = \frac{dt}{d\varepsilon}$$

Siendo r_s un factor de proporcionalidad llamado time resistance number o creep number.

$$R = r_s \cdot (t - t_r)$$

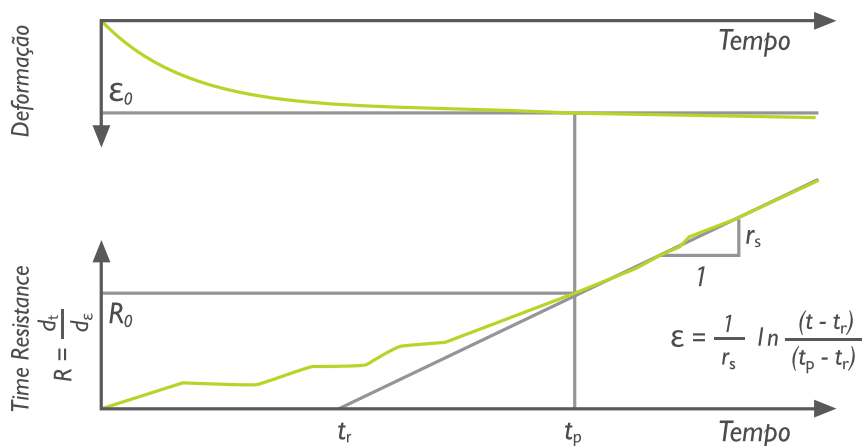


Figura 11. Definición de concepto de time resistance

Así el parámetro r_s , designado por creep number puede ser determinado para diversos niveles de tensión de compresión y permite calcular la deformación para periodos prolongados de tiempo, siendo así cuanto mayor valor de r_s , menos evoluciona la deformación del material sobre una acción constante de compresión.

La extensión al final del periodo t , en segundos, se obtiene a partir de la ecuación generalizada que resulta, para $t_r=0$ y $t_p=30'$ en la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{1}{r_s} \cdot \ln(1,05192 \cdot 10^6 \cdot X_{años})$$

El factor $1,05192 \cdot 10^6$ es igual al número de segundos en un año medio de 365,25 días, dividido por $t_p=30$ seg.

Esta expresión permite cuantificar la deformación por fluencia de **Arlita® 10/20**.

Tras elaboración de estudios comparativos que abarca todos los áridos ligeros producidos por Leca® en las diversas fábricas del grupo Saint-Gobain en Europa revelan que para tensiones de compresión de 100 kPa, el valor del parámetro de **Arlita® 10/20** producida en Portugal (8000) es superior al presentado por otras fábricas.

El cálculo de la deformación por fluencia de **Arlita® 10/20** para un periodo de 100 años, siendo $r_s=8000$, indica que esta es inferior a 2,5‰, siendo despreciable en la práctica.

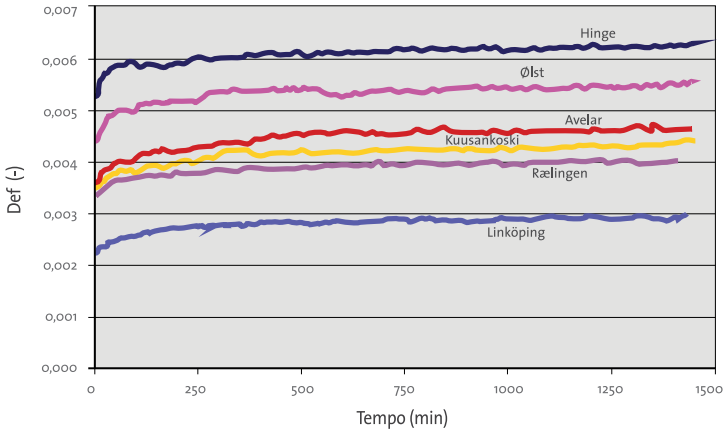


Figura 12. Curva de fluencia de distintas Arlita producidas en fábricas del grupo.

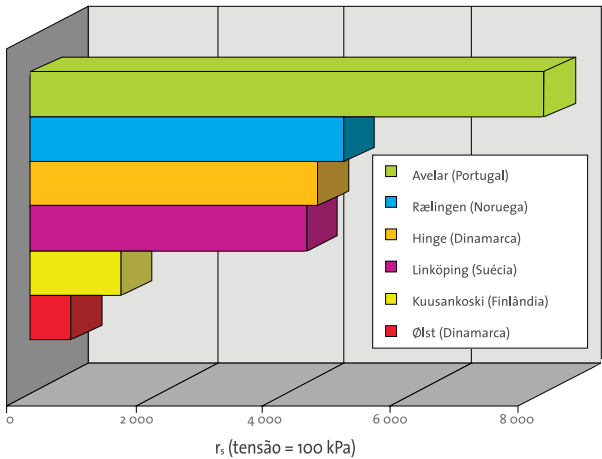


Figura 13. Comparación de diferentes parámetros r_s de otras Arlitas producidas por el grupo.

4.1.6. Deformaciones residuales producidas por acciones cíclicas (fatiga)

En el ensayo de resistencia a acciones cíclicas de compresión (UNE-EN 15732:2014-Anexo B) la muestra se coloca en un recipiente y es compactada por vibración y luego se somete a una carga de compresión cíclica comprendida entre los dos valores preceptivos y una frecuencia de 4 Hz. La curva de carga es casi cuadrada entre dos cargas de compresión. La duración del ensayo es de $2 \cdot 10^6$ ciclos. A ciertos intervalos se mide la deformación a compresión de la muestra manteniéndola bajo una carga de compresión constante igual al 80% de la carga máxima aplicada. Al final del ensayo se mide la

deformación total y se divide por la altura inicial después de la compactación por vibración de la probeta para obtenerse la deformación residual a compresión.

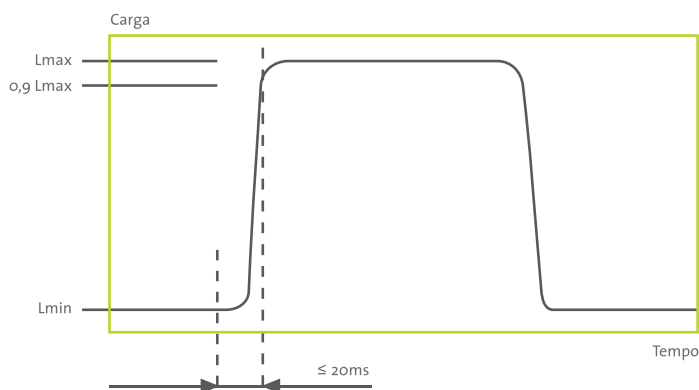


Figura 14. Forma de onda de ensayo de compresión cíclica.

Los ensayos realizados sobre las muestras de **Arlita**® 10/20 fueron aplicadas tensiones cíclicas a un valor máximo de 120kPa.

La variación de la deformación de la muestra de **Arlita**® 10/20 tras los primeros 100 ciclos de carga-descarga, permiten verificar que en la peor situación, evoluciona desde un valor de 0,2% en

el inicio del ensayo (1.000 ciclos) para un valor de 0,5% para el final del ensayo (2.000.000 ciclos).

Hay que destacar que estos resultados permiten su uso en rellenos en carreteras y ferrocarriles con deformaciones residuales mucho menores a las permitidas por las normativas Europeas.

4.1.7. Envolvente de tensiones - Ensayos triaxiales estáticos. Ángulo de corte (Ángulo de fricción).

Los ensayos triaxiales posibilitan la determinación de la envolvente de tensiones de **Arlita® 10/20** expresada en términos de **ángulo de resistencia al corte (ϕ)** y de **cohesión (c)**.

En los ensayos triaxiales estáticos realizados por el laboratorio Noruego SINTEF fueron utilizadas las tensiones de confinamiento constantes, en cuanto la carga axial fue aumentada a una tasa constante de deformación axial (0,02%/s), hasta conseguir una rotura del material-deformación axial del 10%. En los ensayos efectuados fueron usadas tensiones de confinamiento de 20, 40 y 80 kPa, llegando a un pico de 42,5° para un ángulo de resistencia al corte máximo, para tensiones próximas a 200 kPa. Una vez que la envolvente de rotura es curva (Figura 15), para tensiones más elevadas se ha de considerar un valor de 37° para un valor de resistencia al corte asociado a una cohesión de 35 kPa.

(Los ángulos de resistencia al corte son tensiones efectivas una vez que no se generan tensiones neutras. La cohesión es un parámetro para la modelización de comportamiento. No es una propiedad física del material).

En estos ensayos se concluyó que la rotura corresponde a una deformación del 10%. Los parámetros obtenidos son válidos para las trayectorias de tensión similares.

Tal y como ocurre en cualquier otro material el comportamiento friccional depende del estado de compactación. **Como valor conservador para situaciones de confinamiento reducido y sin movilización de deformaciones elevadas podemos considerar el valor de 37° como ángulo de resistencia al corte de Arlita® 10/20.**

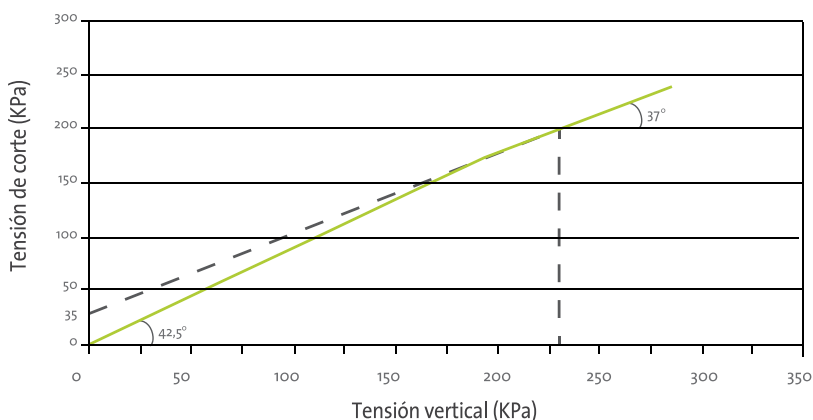


Figura 15. Envolvente de rotura de Arlita® 10/20

4.1.8. Resiliencia-Ensayos triaxiales cíclicos.

A partir del ángulo de resistencia el corte, determinado a partir de los ensayos triaxiales estáticos según norma UNE-EN 13286-7 conforme a lo estipulado en UNE EN 15732:2014, se realizaron ensayos triaxiales cíclicos posibilitando la determinación del componente recuperable de la deformación - **módulo de resiliencia** - y las envolventes de las zonas de comportamiento elástico y elástico-Plástico del material para las trayectorias de estado de tensión previstas.

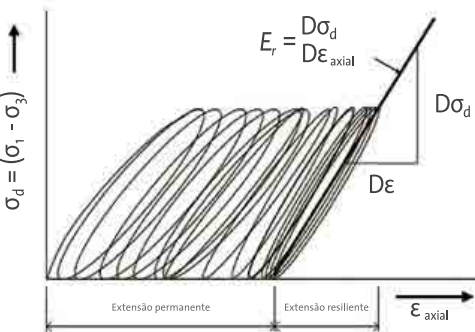


Figura 16. Representación gráfica del módulo de resiliencia de un material

El módulo de resiliencia ϵ_r de un material, constituye una medida de la componente elástica de las deformaciones producidas por una carga dinámica. Para una carga dada, la diferencia entre deformación máxima y deformación permanente es la denominada deformación resiliente. La razón entre σ_d (o $\sigma_1 - \sigma_3$) y la deformación resiliente (ϵ_r) es el módulo de resiliencia para la correspondiente tensión normal media (σ_{mean}). Se trata de un parámetro que puede ser utilizado para dimensionado de núcleos de carreteras o ferrocarriles, basado en métodos mecánicos-empíricos o analíticos.

En Europa, los ensayos triaxiales cíclicos son generalmente efectuados de acuerdo con la norma EN 13286-7 (Mezcla de árido sin ligante y con conglomerante hidráulico. Parte 7: Ensayo triaxial con carga cíclica para mezclas sin ligante) que prevé la aplicación de cinco secuencias de carga cíclica. Cada secuencia corresponde a una tensión de confinamiento y en cada una se aplican seis escalones de carga. Son aplicados 10.000 ciclos carga-descarga en cada escalón con una frecuencia de 10 ciclos/segundo, de acuerdo con una curva sinusoidal siendo la secuencia interrumpida si se alcanza una deformación axial del 0,5%. La figura 3.2.10 representa las secuencias y escalones en los ensayos efectuados.

	Secuencia 1 ($\sigma_3=20\text{kPa}$)	Secuencia 2 ($\sigma_3=45\text{kPa}$)	Secuencia 3 ($\sigma_3=70\text{kPa}$)	Secuencia 4 ($\sigma_3=100\text{kPa}$)	Secuencia 5 ($\sigma_3=150\text{kPa}$)
$\sigma_1 - \sigma_3 \text{ (kPa)}$	20	60	80	100	100
	40	90	120	150	200
	60	120	160	200	300
	80	150	200	250	400
	100	180	240	300	500
	120	210	280	350	600

Tabla 5. Secuencia de escalones de cargas en ensayo triaxial cíclico.

Los escalones de carga pueden ser representados también en la figura 17.

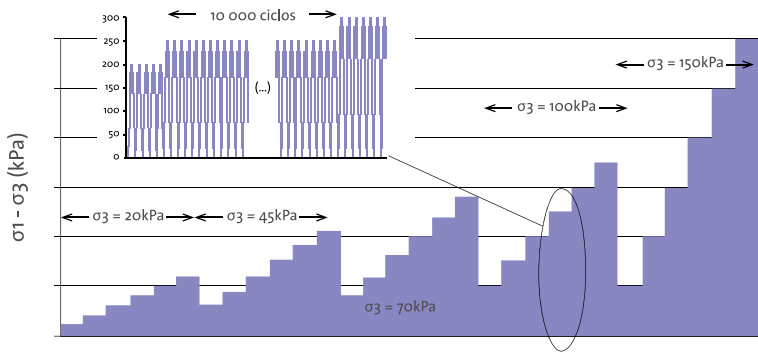


Figura 17. Esquema de cargas en ensayo triaxial.

En este ensayo, al final de cada escala de carga cíclica, y registrado el valor de tensión (σ_1 - σ_2) que produce una deformación unitaria, siendo la media de dos valores obtenidos en cada secuencia igual al valor del módulo de resiliencia de referencia E_r determinando así la curva que mejor se ajusta, siendo esta la descrita por la ecuación siguiente:

$$E_r = E_r^{ref} \cdot \left(\frac{\sigma_{mean}}{P_{ref}} \right)^m$$

En esta ecuación, el módulo de resiliencia de referencia E_r^{ref} corresponde a la tensión de confinamiento (p^{ref}) de 100 kPa.

Para una tensión normal media de referencia (p^{ref}) de 100 kPa., se puede adoptar un módulo de resiliencia de referencia E_r^{ref} para Arlita ® 10/20 de 210 MPa, pudiendo ser adoptado para un exponente m de 0,55.

El ensayo triaxial cíclico permite también obtener las envolventes de comportamiento elástico ($\epsilon < 2,5 \cdot 10^{-3}$) y de comportamiento elástico-plástico ($10^{-7} < \epsilon < 2,5 \cdot 10^{-3}$). La siguiente figura presenta la parametrización sugerida para las envolvente:

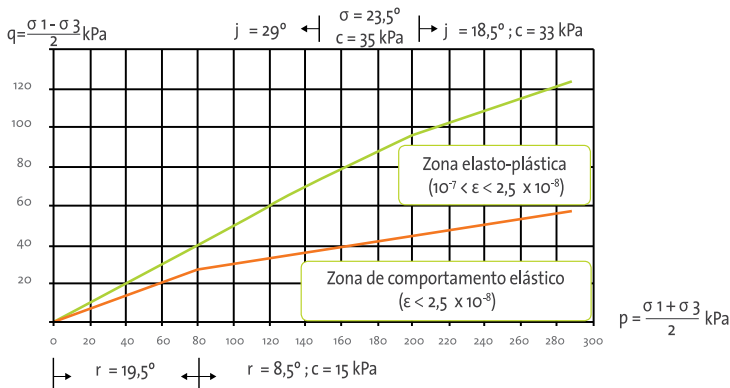


Figura 18. Envolventes de comportamiento elástico y elástico-plástico obtenida a partir de ensayos triaxiales cíclicos.



5 COMPORTAMIENTO EN RELLENOS DE NÚCLEOS DE CARRETERAS Y SUBESTRUTURAS FERROVIARIAS

5.1. La compactación

Cuando se ejecuta un relleno ligero con **Arlita®** en terraplenes bajo carreteras o en subestructuras ferroviarias es importante asegurar que el material se comportará de acuerdo con el trabajo el cual se ha determinado en los ensayos del laboratorio. Para ello, se debe intentar reproducir, siempre que sea posible, el estado de compactación conseguido en los ensayos de laboratorio ya que el estado de compactación tiene una gran influencia de los valores de los diversos valores que influyen en el comportamiento de resistencia del material, normalmente el módulo de deformabilidad y ángulo de resistencia al corte, conforme se ha referido en puntos anteriores.

En lo que respecta a los áridos ligeros en estado de compacidad y en términos de reducción de volumen por compactación, atendiendo a la gran experiencia en multitud de ejecuciones en España y resto de Europa (principalmente en países nórdicos), el control de esta reducción de volumen es un factor esencial en la calidad del relleno aligerado. Cuando una vibración en condiciones normalizadas origina una reducción de 10% de volumen en una muestra contenida en un molde para los ensayos descritos anteriormente, se dice que sufre una **compactación por reducción de volumen del 10%**. De la misma manera en obra, hay que intentar conseguir la reducción

de volumen de las distintas tongadas de **Arlita®** 10/20 en no menos del 10%. Aunque en este caso la reducción de volumen no se deba a una acción exactamente igual (vibración en laboratorio), no deja de haber semejanzas entre compactación en laboratorio y la operación de compactación in situ de la **Arlita®** 10/20.

El tránsito de dozers de cadenas sobre el árido ligero, con tensiones de 50 kPa, a la vez que realizan la extensión del material en las tongadas que define el proyecto, la tensión de contacto entre los granos, hace que se aproximen, reduciendo los espacios vacíos entre los granos. La tensión de 50 kPa definida, es suficientemente reducida para no provocar la rotura y fragmentación de los granos por encima de un mínimo inevitable.

La compactación con dozers puede ser complementaria al uso de placas vibrantes con pesos de entre 80 y 140 kg. En puntos sucesivos se indica gráfico con número de pasadas de los equipos que realicen la ejecución en función de la tongada de **Arlita®** aplicada.

Si observamos el gráfico de ensayo de compactación por vibración en molde cilíndrico, se verifica que 10% no es la reducción máxima posible de conseguir, siendo este valor del 40% para 180 seg de vibración.

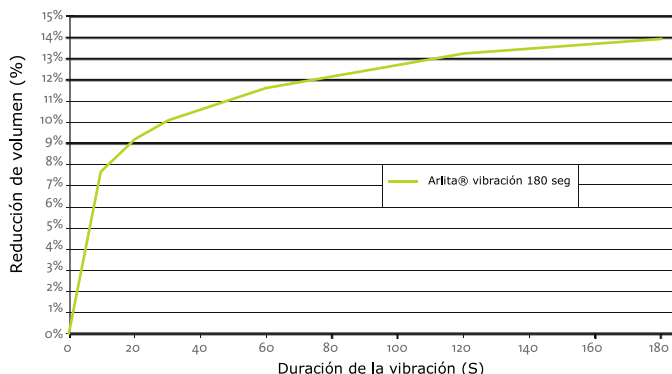


Figura 6. Reducción de volumen vs. Duración de la vibración.

Mientras tanto ensayando a compresión muestras con ambos estados de compactación (10% y 14% como compactación máxima), se verifica que la razón tensión/deformación (módulo de deformación) para muestras vibradas durante 180 segundos y apenas un 30% superior a las muestras sometidas a menor compactación. O sea, la eficiencia del proceso de compactación, disminuye significativamente por debajo del 10% de compactación. Al ensayar las muestras sometidas a vibración durante 180 segundos (14% de compactación), se obtiene un módulo de deformación superior a las muestras vibradas durante 30 segundos (10% de compactación). No obstante, esta constatación merece una reflexión, no debiéndose, a partir de la misma, concluir sobre la viabilidad de obtener en campo, compactaciones del orden del 14%.

El valor del 10% para la reducción de espesor de las tongadas en Arlita® 10/20 es un objetivo fácilmente alcanzable, con un número moderado de pasadas de dozers o placas vibrantes, en

función del espesor de Arlita® aplicada. Sin embargo, si deseamos conseguir obtener el 14% de reducción de espesor, podemos considerar que sería necesario un número de pasadas 6 veces superior, atendiendo a los tiempos de vibración en laboratorio de 30 a 180 segundos. También hay que tener en cuenta que el proceso de en laboratorio (vibración) y en campo con dozers (acción de compresión de manera recurrente) presentan muchas diferencias en términos de eficacia, por lo que la posible hipotética imposición de 14% de compactación obligaría a un número de pasadas mucho más elevadas, lo que provocaría una fragmentación excesiva del árido, principalmente en la superficie, siendo la reducción de espesor debida al cambio granulométrico de la Arlita®.

5.2. Limitaciones de tensiones de servicio.

Es importante resaltar que la funcionabilidad del material, varía con el nivel de tensión al que está sometido. De hecho, para tensiones inferiores a 100 kPa, **Arlita®** 10/20 presenta valores muy reducidos de deformación instantánea, de fluencia y de reducción de resistencia por fatiga, por lo que interesa que en terraplenes de carreteras y en subestructuras ferroviarias las tensiones originadas por este tráfico quede por debajo de este valor. Para garantizar que las tensiones de compresión máximas a las que está sometido el relleno, es inferior a 100 kPa, deben de colocarse tongadas de otros materiales (generalmente zahorras, o áridos con ligantes hidráulicos y mezclas bituminosas) con espesores

suficientes para reducir las cargas transmitidas por los vehículos a niveles de tensión más reducidos. Estos materiales tienen como efecto el aumento de la tensión de confinamiento y por tanto, una reducción de las tensiones de corte derivadas del tráfico de vehículos y un aumento del módulo de resiliencia, o sea, una reducción de la componente permanente de las deformaciones.

Se han realizado diversos estudios en noruega sobre pistas experimentales en Noruega, comprobando estas reducciones de cargas en las distintas capas que conforman un vial.



Figura 19. Pista de pruebas en Sandmoen (Noruega)

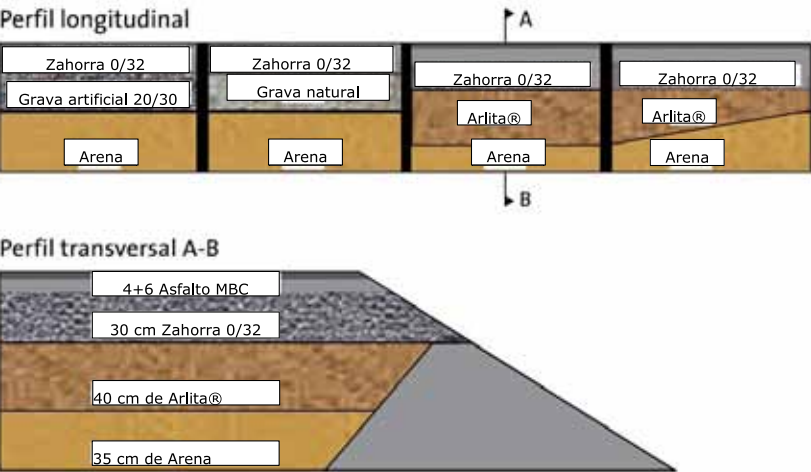


Figura 19. Secciones transversales y longitudinales de pista de pruebas

Entre otros valores, fue evaluado como en la capa de asfalto así como la base y sub- base, se disipan las tensiones en función de la profundidad originadas por el paso de camiones, con un peso por eje de 12 T que generan tensiones por neumático de 700 kPa. Las células de cargas instaladas bajo las capas que conforman la carretera (MBC y base) con un espesor total de 40 cm sobre el relleno de **Arlita®**, con el tránsito del

camión, consiguen marcar apenas una tensión de 100 kPa, con excepción de registros tomados en el arcén, más próximas a las bermas, donde el registro de tensiones llegó a 160 kPa, debido a la imposibilidad de generar un bulbo de tensiones simétrico, como el que se produce en la calzada, de ahí también se deduce la importancia del recubrimiento lateral del relleno aligerado con un material más denso.

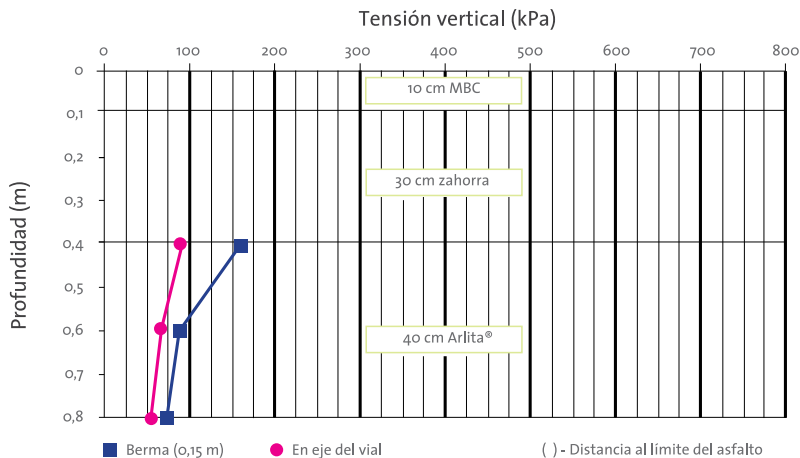


Figura 20. Tensiones registradas por las células de carga por la acción de un neumático con cargas de 61,5 kN/690 kPa pruebas

Para el estudio del comportamiento en caso real de los rellenos aligerados sometidos a ciclos de carga/descarga, se realizó otro ensayo en un vial sobre un relleno aligerado de **Arlita®**, sometiendo la superficie del asfaltado a 5 millones de ciclos de carga-descarga que fueron aumentando hasta llegar a los 700 kPa. La siguiente figura muestra un esquema del ensayo y un gráfico con las deformaciones registradas en el relleno

aligerado y en el pavimento. Incluso tratándose de una situación extremadamente penalizadora para el asfalto (hay que tener en cuenta que son cargas aplicadas sobre un mismo punto, cosa que no ocurre en la práctica), el modelo tuvo un buen comportamiento, siendo las deformaciones del relleno aligerado moderado, incluso tras la rotura de la capa de asfalto.

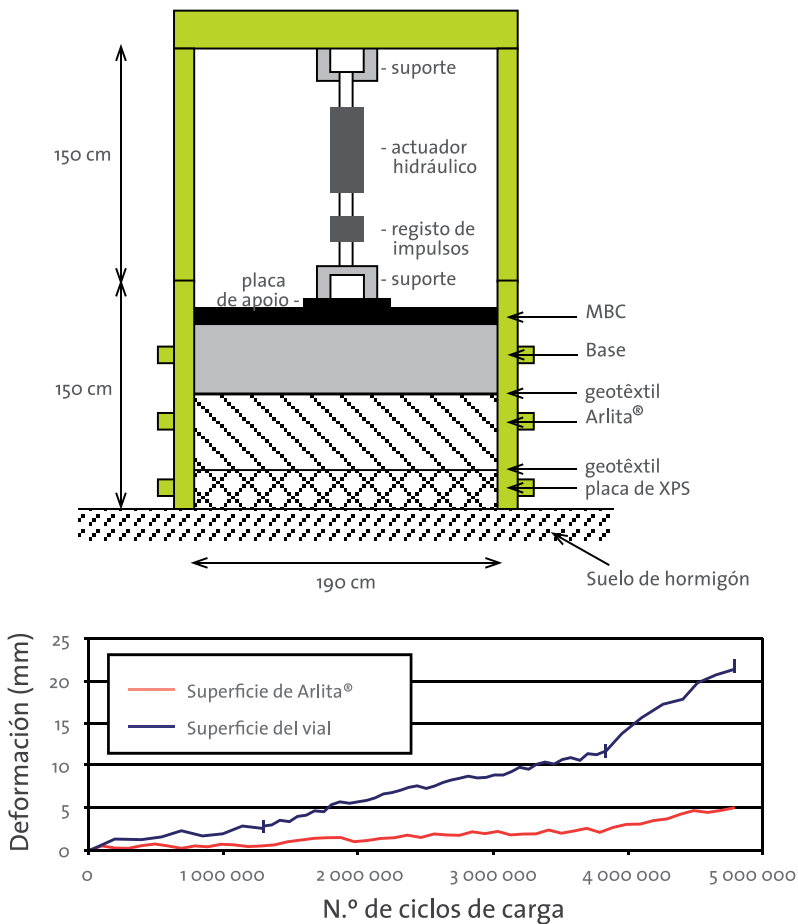


Figura 21. Ensayo de cargas cíclicas

En resumen, para la ejecución de un vial sobre un relleno aligerado, con un espesor de base/sub base sobre el relleno de 40 cm, es suficiente para asegurar una adecuada reducción en

profundidad de las tensiones originadas por el tráfico de vehículos, siendo este espesor el mínimo recomendadas para aplicaciones de carácter permanente.

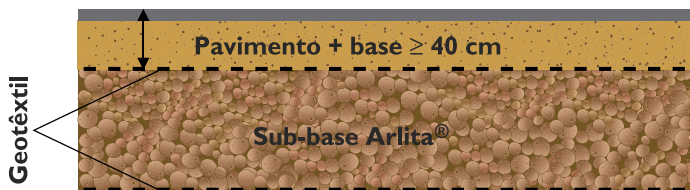


Figura 22. Espesor mínimo de base+subbase sobre relleno aligerado Arlita®



6 RECOMENDACIONES GENERALES PARA EJECUCIÓN DE PROYECTO Y APLICACIÓN

6.1. Consideraciones y recomendaciones generales

Un relleno de **Arlita**® es un medio drenante, dada la dimensión y geometría del material. Por tanto, en aplicaciones con rellenos en trasdós de estructuras de hormigón, es indispensable el uso de placas o láminas drenantes. Por otro lado, en función de la zona donde se ejecute la estructura y la posibilidad de existencia de agua en periodos cortos de tiempo, es necesaria la colocación de tubos-dren para la evacuación de agua, siendo una ventaja la ejecución de esta solución en lechos de **Arlita**® ya que asegura que estos drenajes siempre funcionarán y no se saturarán por lodos asegurando que la estructura no sufrirá empuje por agua.

Por la naturaleza de **Arlita**® 10/20 de ser un granel sin finos, se requiere que en rellenos geotécnicos estén encapsulados dentro de un geotextil para que no exista migración de finos a los núcleos aligerados, manteniendo así las prestaciones de ligereza de **Arlita**® y de resistencia del material de coronación por efecto de lavado. Este geotextil se debe colocar también en las zonas de contacto con estructuras de hormigón o macizos rocosos. Las características de la geomembrana (PEAD) sintética debe de ser de gramaje mínimo de 200 gr/m² y resistente a pH de 9-10.

6.2. Confinamiento de los rellenos aligerados en vías de comunicación

Existe una larga experiencia en el uso de **Arlita**® en obras de infraestructuras, sobre todo en países del norte de Europa, donde existen especificaciones y recomendaciones emitidas

por las autoridades sobre su uso en carreteras y ferrocarriles.

La siguiente figura presenta la configuración típica en aplicaciones de ferrocarril y carreteras:

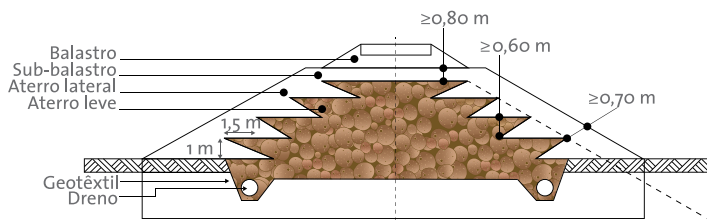


Figura 23. Sección tipo de relleno ligero en ferrocarril adoptado en Suecia

Esta solución prevé la ejecución de prismas de terreno natural con densidad normal y con forma trapezoidal, con el objetivo de confinar lateralmente el relleno natural y así permitir una adecuada compactación del mismo, no obstante esta ejecución puede ser eliminada, siendo entre tanto, recomendada, ya que permite la correcta compactación en la zona más crítica que es la periférica del relleno. Para cualquier ejecución hay que ser especialmente cuidadoso en la correcta colocación del geotextil que deberá envolver completamente el relleno de **Arlita®** y evitar el contacto con otros materiales.

En lo que respecta al geotextil, éste tiene especial importancia en la función de separación evitando

que exista migración de finos al interior de relleno, reduciendo las prestaciones del mismo. El material debe de ser resistente a acciones de punzonamiento y corte.

El geotextil recomendado es de polipropileno con densidades entre 200 y 300 gr/m² de gramaje. El solape entre láminas de geotextil no será en ningún caso inferior a 300 mm.

En obras donde es necesario que sean ejecutadas en fases diferentes, los confinamientos se pueden conseguir en distintos encapsulados de distintos rellenos. Estas son soluciones ideales para rehabilitaciones de carreteras que requieren su ejecución sin realizar cortes de tráfico.

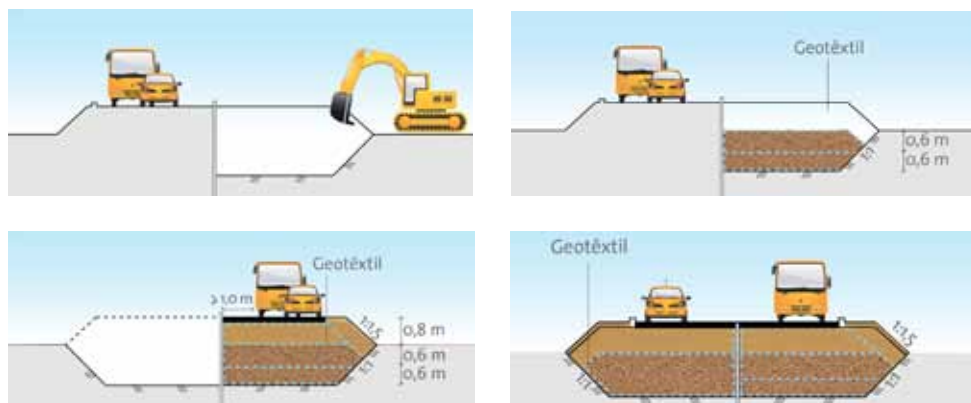


Figura 24. Fases de ejecución de rehabilitación de calzada.

6.3. Extendido y compactación

La compactación de los núcleos aligerados de **Arlita®** es particularmente importante en vías de comunicación y tanto más cuanto menor es el espesor de la capa de base y coronación se haya realizado. Sin embargo la compactación de estos materiales difiere en gran medida de

las operaciones necesarias en la metodología usada en rellenos convencionales. Nuestra gran experiencia sobre los métodos de compactación de **Arlita®**

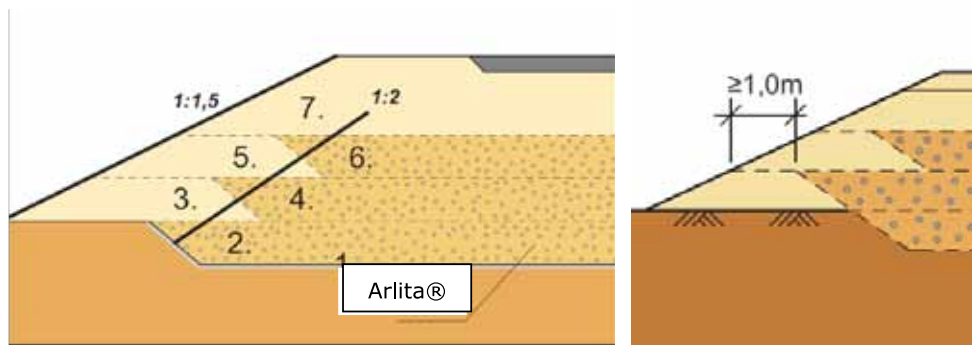


Figura 25. Procedimiento de instalación con espaldones, pendientes máximas de capas Arlita®. Ancho de la parte superior espaldón y el espesor de la capa de protección.

10/20, nos ha llevado a elaborar unas pautas indispensables para conseguir los estados de compactaciones necesarios para conseguir las resistencias necesarias y establecidas en el proyecto y ya comentadas en puntos previos.

Es importante recalcar la diferencia esencial entre la compactación de rellenos convencionales en los cuales se usan apisonadoras, mientras que la compactación de Arlita® 10/20 se realiza con los dozer o máquinas de cadenas que realizan el extendido del material. **Los espesores recomendados para la optimización del proceso** es de 0,6 m, no obstante se pueden realizar compactación de tongadas de hasta 1 m de

Arlita® 10/20. Si se realiza la compactación con apisonadoras, los niveles de tensión generados producen una fragmentación excesiva del granel, además la Arlita® imposibilitará la circulación de este tipo de maquinaria.

La compactación la realizarán los propios equipos que realizan el extendido (dozer ó bulldozers). Es conveniente advertir que estos equipos deben de transmitir siempre una carga inferior a 50 kPa, para limitar la fragmentación del granel. El peso del equipo no será la limitación, pero sí su tensión de contacto. Por ejemplo, un equipo tipo "D7" equipada con cadenas tipo LPG, generalmente originan tensiones de contacto inferiores.

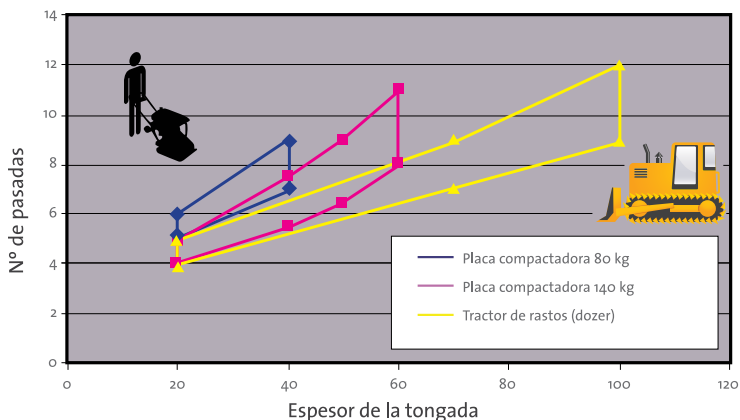


Figura 26. Curva de compactación (Espesor Vs Pasadas)

Para la compactación en zonas localizadas o de complicada geometría tales como trasdoses de muros o elementos estructurales, tuberías, etc, recomendamos el uso de placas vibrantes con pesos entre 80-140 kg.

La energía disipada en el proceso de compactación de **Arlita® 10/20** es inferior a la aplicada en la compactación de otros suelos. La reducida densidad del granel permite que con fuerzas relativamente moderadas se consiga una recolocación de las partículas reduciendo sus huecos vacíos, lo cual se traduce un aumento de la densidad del relleno.

Siguiendo los procedimientos indicados se

originará una compactación y una disminución del espesor de cada tongada y consecuentemente del conjunto del relleno en un 10%, siendo este estado de compacidad imprescindible para garantizar una buena calidad del relleno a lo largo del tiempo.

Otra consideración importante es la operación de compactación que requiere la base que conforma la coronación del vial. Esta compactación debe de realizarse en tongadas no superiores a 30 cm y deben de ejecutarse con apisonadoras (15-50 kN) con posibilidad de modificar la amplitud y la frecuencia para conseguir las mejores prestaciones y



Figura 29. Colocado relleno aligerado de Arlita® con Dozer o excavadora.

realizarse en 3 pasos (con un total de no menos de 6 pasadas):

- Compactación de con alta amplitud y baja frecuencia.

- Compactación con baja amplitud y alta frecuencia.

- Compactación con baja amplitud y baja frecuencia seguida de una compactación por nivelación sin vibración.



Figura 27. Compactación de capa de coronación.



Figura 28. Extendido y compactación de Arlita® con excavadora en estación Ave Zaragoza.



7

SUMINISTRO A OBRA

7.1. Suministro a granel

Por lo general, carga a granel de **Arlita**® se entrega en obra en camiones ya sean basculantes o walking-floor. El envío máximo de un remolque de camión con carga completa es de 75-80 m³. El material se descarga y luego se extiende por una excavadora y niveladora.

En proyectos a gran escala **Arlita**® se suministrarán en varios lugares diferentes a fin de evitar el transporte innecesario y la trituración del material debido al trasiego excesivo de una maquinaria sobre orugas. Las áreas aptas para la descarga de **Arlita**® serán determinados y asignados de antemano.



Figura 29. Suministro de **Arlita**® en camión Walking-floor.



Figura 30. Suministro de **Arlita**® en camión basculante.



Figura 31. Relleno de **Arlita**® sobre falso túnel M-50 Madrid.

7.2. Suministro en cisterna e instalación bombeando con aire a presión

Arlita® se puede descargar y colocar directamente en la zona de instalación requerida mediante una tubería neumática flexible. Este método permite instalar el material en espacios reducidos y difíciles de alcanzar sin almacenamiento provisional. La longitud máxima de la tubería neumática es 30 m. El equipo neumático especial es capaz de entregar **Arlita®** a la distancia de 100 m. Altura de elevación máxima del equipo es 8 m. Contaminación del polvo se tendrá en cuenta en este método de instalación especial.



Figura 32. Puesta en obra mediante bombeo. Estacion de Lesseps- Barcel

7.3. Suministro en Big-Bags o Sacos

Para determinadas aplicaciones se puede suministrar la **Arlita** en Big-Bags de 1,5 o 3 m³, así como en sacos de 50 L. También se puede suministrar en formatos especiales para aplicaciones específicas de ingeniería tal como se muestra en la figura 33.



Figura 33. Suministro se Arlita® en formatos especiales.



CONTROL DE CALIDAD

8.1. Control de calidad antes de la instalación de las capas de coronación

El control de calidad es recomendado para verificar que el material ha sido instalado correctamente rellenando todos los huecos necesarios.

8.1.1. Inspección visual

La superficie de **Arlita®** tras la compactación puede ser inspeccionada para verificar la no existencia de posibles puntos de compactación irregular, con claras desviaciones finales del perfil teórico, tales como excesiva trituración de material, etc. Si existen indicaciones de posibles desviaciones de lo indicado en el proyecto se pueden tomar muestras para posteriormente analizarlas en laboratorio.

8.1.2. Espesores instalados

Las posibles variaciones en la instalación y los espesores de las tongadas serán según las especificaciones del proyecto. El espesor será controlado por la nivelación de las rasantes.

8.1.3. Grado de compactación

El grado de compactación puede ser controlado por la nivelación, por el volumen instalado o por densidad final.

La nivelación debe realizarse en la parte superior de la capa de **Arlita®** y el grado de compactación debe estimarse como la deformación promedio de al menos 5 puntos de medición por cada superficie de 1000 m². Cabe señalar que los posibles cambios en el perfil de relleno deberían evaluarse, ya que esto influiría en las mediciones de compactación basadas únicamente en la nivelación

La compactación relativa se puede controlar en muestras tomadas en el campo. Las muestras deben tener un mínimo de 5 litros y pueden tomarse mediante el uso de un tubo de muestreo que se introduce mecánicamente en el relleno. El muestreo de **Arlita®** se puede realizar preferiblemente mediante el uso de un tubo de muestra combinado con un equipo de vacío. La compactación relativa se puede controlar comparando el volumen de material suelto de la muestra con el volumen del material en el tubo in situ.

El tubo de vacío también se puede usar para tomar muestras para evaluación adicional en el laboratorio en densidad instalada, contenido de humedad, etc., esto no se hace comúnmente, pero puede ser relevante para un control más excesivo cuando se requiere. El método se describe en informes de la

8.2. Control de calidad tras la instalación del firme de coronación

8.2.1. Capacidad portante / rigidez medida en la parte superior del firme.

Se recomienda que esta medición de capacidad portante/rigidez sea ejecutada tras la instalación de un mínimo de 300 mm de material granular en la superficie de **Arlita®**

8.2.1.1. Placa de carga estática

La placa de carga se utiliza para las mediciones de la capacidad portante para proyectos de ejecución de carreteras. Se ha de tener en cuenta que los resultados deben de ser una media de dos test por cada 1000 m² de superficie. La placa usada para ejecutar la medición no será en ningún caso inferior a 700 mm debido a la naturaleza del relleno.

Se debe de tener en cuenta que los resultados en este caso representarán la capacidad de carga del conjunto de la estructura, no del núcleo de **Arlita®** por si sola. La relación típica para suelos granulares debe de ser $ME < 2,5$.

8.2.1.2. Placa de carga dinámica

Este método usa el mismo equipamiento que la placa de carga estática, con aplicaciones de carga cíclicas. Este método no es usado habitualmente para la verificación de la capacidad portante, pero si es usado para proyectos de desarrollo.

8.2.1.3. CBR

Este método no es recomendado para la evaluación de la capacidad portante de materiales granulares en numerosos países. Se ha probado que este método no es práctico para el control de la capacidad portante en rellenos de **Arlita®**, no obstante en algunos proyectos que se ha realizado se han tomado mediciones que se aproximan a:

Referencia de Molde	1	2	3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes por capa	15	30	60
% compactación respecto dmpactor	96,22	97,83	101,24
Índice CBR	52,4	74,25	105,6

Tabla 6. Valores CBR



9 CAMPOS DE APLICACIÓN EN OBRA CIVIL Y GEOTECNIA

En general, **Arlita®** se usa para reducir, compensar o prevenir asentamientos de terrenos, para mejorar la estabilidad de una estructuras o áreas de relleno o para disminuir la presión del suelo sobre una estructura de retención de hormigón habitualmente, producida por relleno en los trasdoses. En las mismas aplicaciones, **Arlita®** puede utilizarse como capa de protección contra el deshielo y la capa de protección contra el hielo.

Para el diseño de la capa de **Arlita®**, se realizará la estimación global de un proyecto de construcción. Antes del diseño, se estudiarán los requisitos geotécnicos especiales y los parámetros críticos del proyecto de construcción.

9.1. Reducción de cargas en infraestructuras enterradas

En el caso de estructuras enterradas subterráneas, el relleno con tierras de la parte superior de la estructura supone una elevada carga muerta actuado sobre la misma. Con la utilización de **Arlita®** como material de relleno ligero se consiguen reducir las cargas muertas a la par de tener un relleno resistente y con una capacidad portante suficiente para soportar incluso tráfico rodado.

Entre las tipologías más comunes de proyectos de este tipo podemos destacar:

- Rellenos sobre estacionamientos subterráneos.
- Rellenos sobre falsos túneles.
- Rellenos sobre estaciones de metro.
- Soterramientos.

El uso de **Arlita®** como relleno en estos casos supone:

- Reducción de cargas muertas actuantes sobre la estructura, por tanto aumentar en economía de hormigón y acero en la estructura.
- Ejecución rápida y sencilla, consiguiendo elevados rendimientos.
- Garantías de drenajes del relleno.
- Material inerte químicamente, ignífugo por tanto seguro y acorde con las últimas normativas de aplicación a la construcción actual.

9.2. Reducciones de carga en terraplenes mediante el uso de rellenos de Arlita®

Un relleno produce cargas adicionales cuando se instala y se compacta en el lugar que requiera el proyecto de obra civil. Los efectos de colocar una carga adicional suelen ser más pronunciados en las ubicaciones de suelos blandos o de baja resistencia dependiendo de la densidad y espesor del material de relleno, el efecto de la carga adicional produce el asentamiento a largo plazo del terraplén o estructura.

La magnitud de la carga afecta a los suelos sensibles al asentamiento en proporción a la debilidad del suelo, con impactos que van desde un asentamiento total alto hasta un asentamiento diferencial inaceptable o inclinación de la estructura.

Mediante el uso de **Arlita®** como material de relleno, el impacto de las cargas adicionales producidas por las capas del suelo en la sub-rasantes pueden reducirse significativamente y los asentamientos a largo plazo disminuirán. Los asentamientos diferenciales creados por cargas o condiciones del suelo pueden compensarse con la ayuda de una estructura de transición.

El diseño de estructuras y rellenos aligerados se basa en la evaluación de la geotecnia en la que los parámetros del suelo y las cargas se contabilizan individualmente para cada proyecto de construcción. **La estructura diseñada puede ser compensada total o parcialmente de las cargas adicionales en la sub-rasante. La compensación parcial puede ser usada cuando los asentamientos han ocurrido en gran parte, el período de uso después de la construcción es relativamente corto, o los asentamientos controlados pueden ser aceptados.** Además, cuando el nivel del agua subterránea o del agua de superficie es alto, puede ser útil reducir parcialmente el peso de la estructura de relleno. La estructura se diseñará para la flotabilidad relacionada con la elevación del nivel de agua en la estructura, lo cual es una preocupación particularmente relevante para las estructuras de **Arlita®** situadas cerca de un cuerpo de agua o área de inundación.

Cuando se utiliza **Arlita®** para la reducción de asentamientos, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos de diseño:

- Propiedades de la sub-estructura subyacente y su historial de cargas.
- Tasa permitida de asentamientos y asentamientos diferenciales
- Tiempo de vida de la infraestructura a ejecutar.
- El nivel de agua subterránea y / o de agua potable y el posible nivel de agua de escorrentías.
- Distancia de la superficie del suelo a la superficie superior de la estructura (altura de la capa de relleno)
- Edificaciones e infraestructuras adyacentes.

Las bases de cálculo para dimensionamiento de las estructuras **Arlita®** para la reducción de la carga y la flotabilidad se presentan en los anexos 2 y 3.

Los métodos de reducción y manejo de asentamientos usando **Arlita®** se muestran en la Figura 34. Las cargas producidas por capas estructurales de terraplenes de caminos y ferrocarril con los asentamientos a largo plazo producidos se presentan en diferentes colores. La línea roja indica las cargas del material estándar del suelo; Las cargas de **Arlita®** están marcadas con la línea verde. Las líneas a trazos en los mismos colores presentan el asentamiento de la sub-rasante afectada por las cargas de diferentes materiales de relleno.

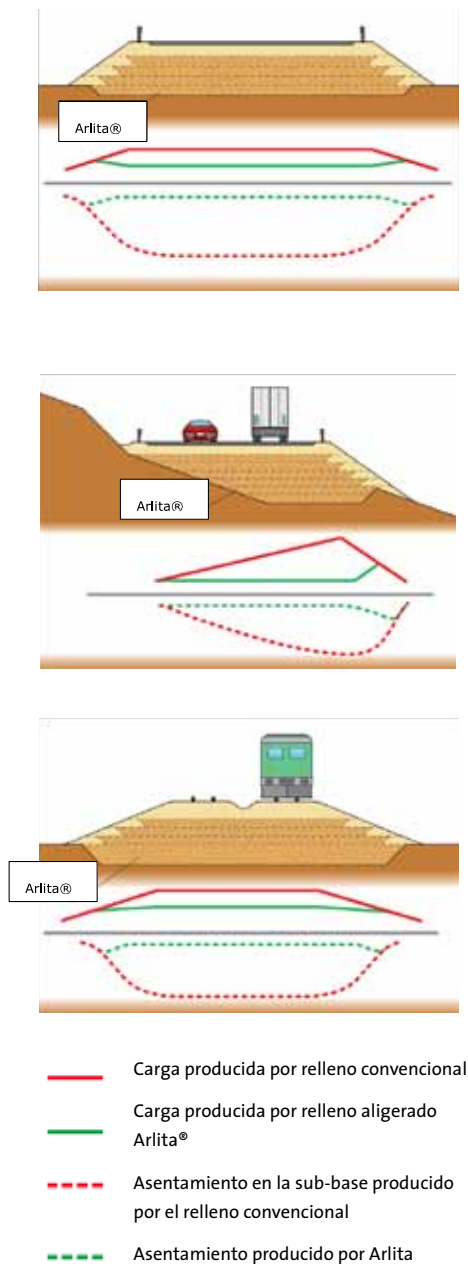


Figura 34. Representación de asentamientos en rellenos para carreteras y ferrocarriles.

9.3. Cuñas/Estructuras de transición

En obras civiles habitualmente hay cargas irregulares y cambios bruscos condiciones de dureza del suelo que aparecen en distancias reducidas y pueden causar asentamientos diferenciales en una estructura o en acceso a la misma impactando negativamente en su capacidad de servicio y durabilidad. Pueden darse diferencias significativas en los asentamientos de los suelos blandos o sub-bases reforzadas, entre las estructuras nuevas y las existentes, así como en puentes, alcantarillas y tuberías.

Se utiliza una estructura de transición para compensar los asentamientos diferenciales. Es una estructura en forma de cuña destinada a igualar los asentamientos a lo largo de su

ubicación. La estructura de transición se diseñará de modo que el valor de asentamiento en la parte más delgada de la cuña corresponda al valor de asentamiento de una estructura adyacente. El asentamiento de la parte más gruesa es similar al asentamiento de la estructura adyacente (asentamientos controlados / asentamientos minimizados). Para evitar el asentamiento de la otra parte de la cuña, a menudo se aplica una losa de transición en la estructura de transición. La longitud y la resistencia de la estructura de cuña se dimensionarán por separado para cada caso. Generalmente, la longitud de la estructura en forma de cuña varía de 5 a 30 metros.

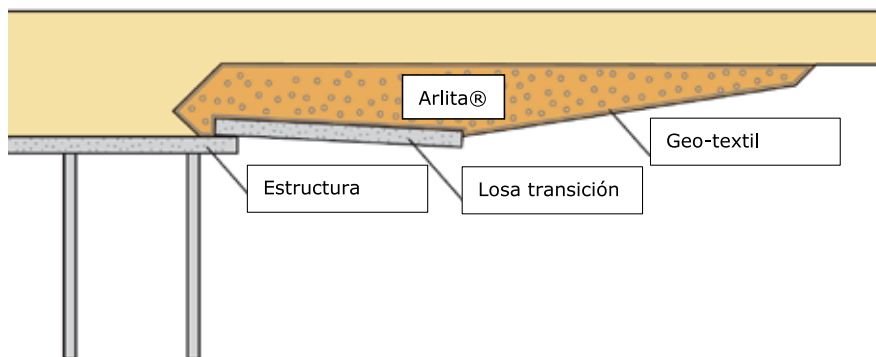


Figura 35. Relleno de Arlita® en cuña de transición entre cimentaciones

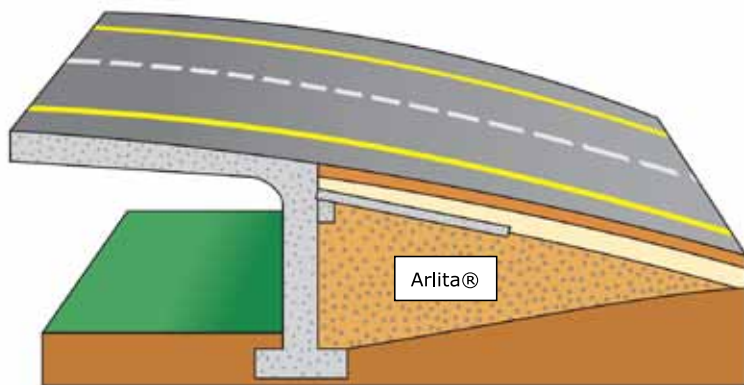


Figura 36. Relleno en trasdós de Arlita® en estribo de puente para reducir asentamientos y presión a la estructura de hormigón

9.4. Aumentos y mejoras de estabilidad en terraplenes

Las cargas producidas por los rellenos convencionales para la ejecución de infraestructuras pueden reducir la estabilidad de los suelos. Una estabilidad insuficiente puede dar lugar a la rotura y al colapso de la estructura así como producir un desplazamiento mayor que el permitido de la estructura o sus estructuras más próximas.

Arlita® ofrece una excelente solución a los problemas de estabilidad. Por regla general, los problemas de estabilidad son típicos de los suelos de baja resistencia. Esto es de particular importancia en áreas próximas a ríos o con niveles freáticos altos.

Arlita® mejora la estabilidad de las estructuras ubicadas en suelos blandos al reducir el impacto de la carga sobre los mismos.

Cuando se diseña utilizando **Arlita®** para mejorar la estabilidad, se debe de tener en cuenta los siguientes aspectos de diseño:

- Propiedades de la estructura existente y su historial de carga
- Presión del agua de poro
- El nivel de agua subterránea (nivel freático) y el posible nivel de agua de escorrentías
- Inclinação de los distintos estratos o capas

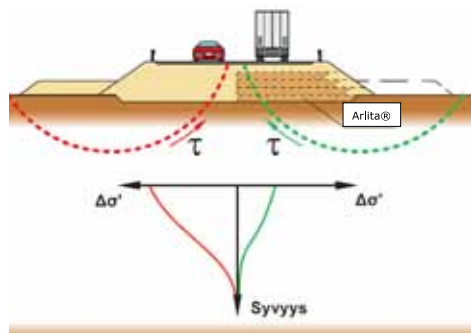


Figura 37. Reducción de carga Arlita® para aumento de la estabilidad. La tensión de en la subbase producida por el relleno de la roca se marca con la línea roja; La tensión en la subbase de Arlita® se muestra con la línea verde

del suelo y posible existencias de lechos del río situados en las proximidades de la estructura.

- Factor de seguridad requerido de la estructura contra el colapso (Círculo de rotura).
- Cargas muertas y vivas
- Edificios y estructuras existentes.

Los fundamentos de mejora de la estabilidad de los suelos mediante el uso **Arlita®** se muestran en las Figuras 37 y 38. Las superficies deslizamiento aparecieron en un terraplén de carretera y las tensiones rotura producida por el relleno de roca y frente al relleno de **Arlita®** se presentan en diversos colores. Las líneas rojas indican la superficie de deslizamiento y la tensión transmitida a la subbase creado por la roca convencional. Las líneas verdes muestran la superficie de deslizamiento de la estructura de relleno implementada con **Arlita®** así como en el gráfico inferior, la tensión adicional que afecta a la sub-base.

La estabilidad de suelo y de la estructura de relleno se evaluará utilizando cálculos geotécnicos comúnmente aceptados para garantizar la seguridad de la estructura final y proporcionar la seguridad necesaria del emplazamiento de la obra.

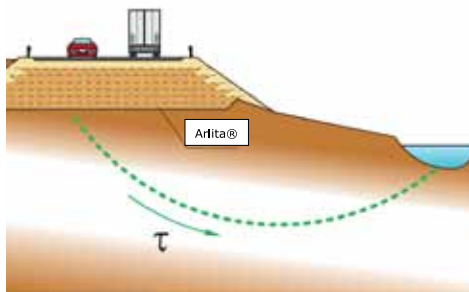


Figura 38. Estructura de carretera junto a canal de agua. La construcción de una estructura de relleno de roca pesada en condiciones similares no es posible sin medidas de refuerzo en el terreno.

9.5. Reducción de presión en sistemas de contención

La presión producida por un relleno sobre una estructura de hormigón se produce en una superficie límite entre la estructura y el terreno. Las estructuras soporte cargadas por la presión de la rellenos o de terrenos incluyen, entre otros, muros de contención, paredes de pilotes (muros pantallas), estribos de puentes, paredes de sótano y otro tipo de cimentaciones.

Como material de relleno, **Arlita®** puede disminuir de una manera muy efectiva la presión ejercida sobre la estructura enterrada. Debido a su ligereza, la presión vertical del relleno ejercida sobre la estructura es hasta un 80% menor que la producida por el relleno de material convencional. La reducción de presiones permite un dimensionamiento optimizado de las estructuras y por lo tanto el uso de **Arlita®** como relleno en estas circunstancias es usualmente una solución rentable.

Cuando **Arlita®** se aplica para disminuir la presión, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos de diseño:

- Reducción de empujes en un 70% del terreno sobre el trasdós del muro.

- Aumento de la seguridad ante vuelco y deslizamiento en muros de gravedad.
- Permitir secciones de muros más esbeltas.
- Reducción de la longitud de cimentación del muro.
- Garantiza un drenaje continuo (40% de huecos libres tras compactación y $k > 10^{-3}$ m/s)
- Material bombeable en caso de dificultades de acceso al tajo.
- En caso de laderas inestables, los rellenos de **Arlita®** actúan como amortiguadores de la presión ejercida por el terreno.
- En estribos de puentes el uso de **Arlita®** reduce el riesgo de asentamientos en la transición de estructura relleno.

Los principios de reducción de la presión de tierra mediante el uso de **Arlita®** se muestran en la Figura 39. Los diagramas de la presión lateral de la tierra sobre el muro de contención en relación con la profundidad de **Arlita®** y el relleno convencional se presentan en diferentes colores.

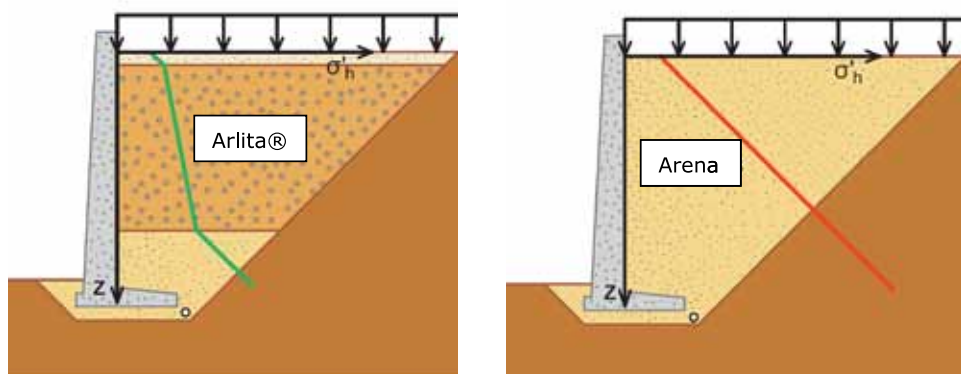


Figura 39. Presión lateral de la tierra producida por relleno en trasdós del muro de contención en relación con la profundidad. La presión ejercida por **Arlita®** se muestra a la izquierda; El impacto correspondiente del material convencional se indica a la derecha.

9.6. Protección contra el hielo y mejor capacidad de drenaje

La solución más rentable es utilizar rellenos **Arlita®** para lograr varios objetivos al mismo tiempo. Por ejemplo, **Arlita®** se aplica como material de relleno para reducir la carga de la estructura de relleno, pero una capa de **Arlita®** de suficiente espesor también proporciona aislamiento térmico, drenaje a través de las capas estructurales superpuestas así como capacidad portante para tráfico rodado.

La heladas sobre una calzada o carretera causa inestabilidades y daños que se observan en el vial, incluyendo superficies irregulares y fragmentación del pavimento. Cuando el suelo es penetrado por las heladas y posteriormente se derrite, los daños son producidos por el agua de fusión que reduce la capacidad de carga de la capa de fondo y las capas estructurales. Mediante el uso de **Arlita®** como material aislante, se pueden evitar los daños por heladas de subbases susceptibles a ser congelados. Esta técnica permite reducción de costes de excavación de suelos, eliminación de rocas, voladuras, etc, debido a la reducción de espesor requerida con el uso de **Arlita®** frente a una estructura resistente a congelaciones con materiales convencionales.

En Finlandia, la profundidad de penetración de las heladas del suelo es de aproximadamente 1,8 - 2,5 m, por debajo de la cual se pueden instalar tuberías de agua sin protección especial

contra heladas. Las tuberías de agua aisladas del hielo con **Arlita®** instalarse en una profundidad menor, lo que disminuye la profundidad de excavación y la cantidad de suelo excavado. Los beneficios de **Arlita®** frente a ejecuciones sin **Arlita®** requieren profundas zanjás son especialmente significativos para suelos blandos, donde la excavación más superficial permite la eliminación de estructuras de retención que de otro modo serían necesarias para soportar una zanja profunda. Además, pueden reducirse o evitarse otras medidas de refuerzo de la subrasante.

Los principios de aislamiento de las heladas con Leca® LWA se muestran en las figuras 40. y 41. Junto con el aislamiento contra heladas, **Arlita®** se utiliza para el drenaje en la misma estructura.

Los materiales utilizados en las estructuras de carreteras y calles, y el espesor total de las estructuras, deberán ser dimensionados en base a su resistencia a la helada ya la carga. En el Anexo 4 se presenta la evaluación del diseño de principio del aislamiento de las heladas para una estructura de carreteras.

Las dimensiones de la resistencia de carga realizadas por los cálculos de la capacidad portante del pavimento Oedemark se proporcionan en el Anexo 5.

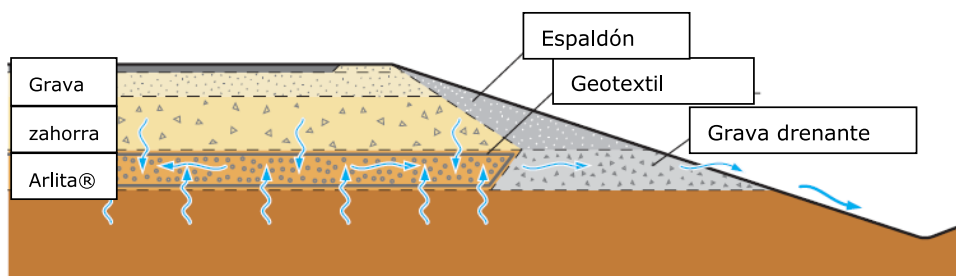


Figura 40. Aislamiento de hielo y solución de drenaje proporcionada por **Arlita®**. El uso de áridos ligeros para fines de protección contra heladas permite evitar o reducir el ascenso de heladas de una subbase.

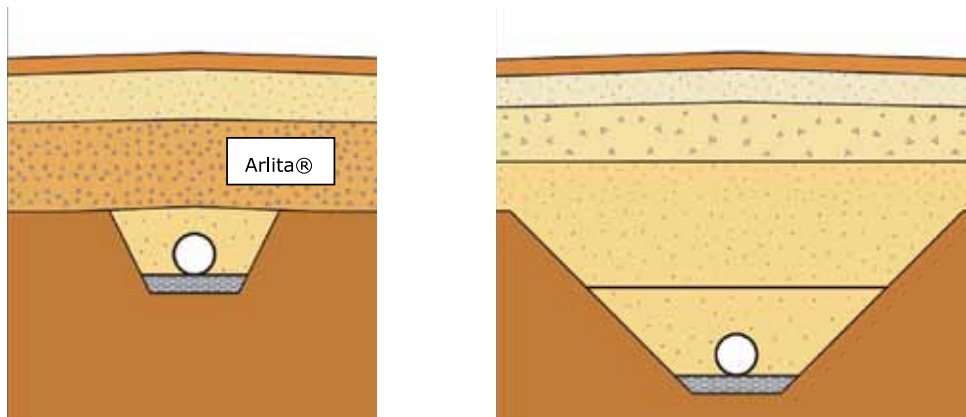


Figura 41. Se presenta a la izquierda una estructura de pavimento y una zanja de tuberías, donde Arlita® se utiliza para la reducción de peso de relleno, aislamiento de heladas y drenaje de estructuras de tuberías y carreteras. A la derecha se muestra una solución convencional donde el tubo se instala en una excavación profunda por debajo del límite de penetración de escarcha.

9.7. Ampliaciones de carreteras y calles con terraplén

La ampliación de terraplenes antiguos por medio de nuevos rellenos convencionales puede provocar asentamientos de las estructuras existentes en su extensión, especialmente en el caso de una subbase de baja resistencia. Cuando **Arlita®** se aplica como un material de relleno para la construcción de las ampliaciones de las carreteras, los asentamientos nocivos del desdoblamiento se pueden reducir o incluso eliminar completamente.

Es necesario un diseño adecuado para evitar los

asentamientos diferenciales perjudiciales en la conexión de las estructuras de relleno existentes y los nuevos y por tanto agrietamiento en capas de coronación producidas por las tensiones de tracción sufridas en el firme. El principio de desdoblamiento en terraplenes de las calles y carreteras se presenta en la Figura 42. El mismo principio se puede aplicar en otras aplicaciones, por ejemplo en las conexiones de las paradas de autobús y de sus estructuras viales con las estructuras de las calles existentes.

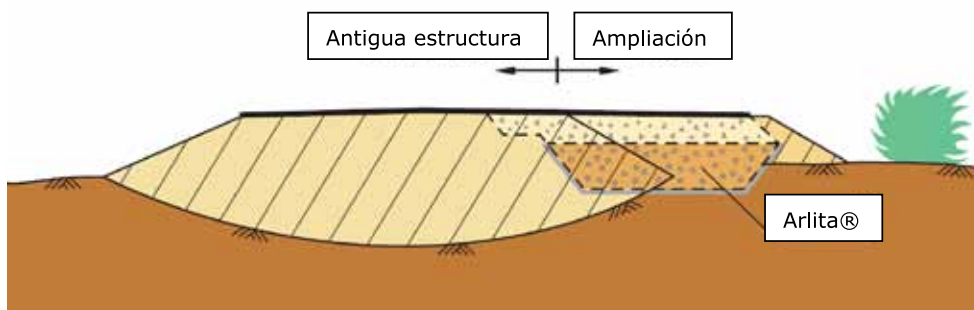


Figura 42. Ampliación de carretera con Arlita®

9.8. Tuberías y alcantarillas

9.8.1. Tuberías

Arlita® encaja perfectamente como material adecuado para el control de asentamientos y el aislamiento de tuberías susceptibles de sufrir fenómenos de congelación. En general, se admite la posibilidad de eliminar por completo los asentamientos de las tuberías instaladas en terrenos blandos y de baja resistencia. Los asentamientos diferenciales se pueden prevenir también usando una estructura de transición, que consta de una masa diseñada en forma de cuña construida a partir de **Arlita®**. Se puede usar también para reducir la profundidad de enterrado para optimizar tiempos de ejecución y mejores condiciones de mantenimientos en el futuro.

9.8.2. Alcantarillas, Colectores y Oleoductos

Arlita® ofrece una excelente posibilidad de reducir las cargas de horizontales y verticales sobre las alcantarillas, oleoductos y puentes de tubos. No sólo reduce el peso de la estructura de relleno, sino que también proporciona aislamiento heladas y reduce el espesor de la capa de relleno.

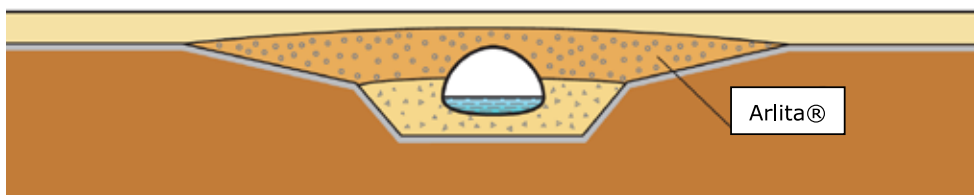


Figura 43. Relleno de Puente de tuberías con Arlita®.

9.9. Zonas portuarias y muelles

En los proyectos de construcción de puertos y muelles los movimiento de tierra se realizan muy a menudo en suelos de baja resistencia y próximos al nivel de agua. **Arlita®** da la posibilidad de mejorar la estabilidad de las estructuras y reducir la presión de la tierra que afecta a las estructuras de muelle fijo. Durante los últimos años **Arlita®** se ha utilizado como material de relleno en numerosos proyectos de muelles de todo el mundo.

La ventaja del uso de relleno aligerado en el trasdós de las tablestacas radica en que se reduce

el empuje desestabilizador (empuje activo), permitiendo reducir por tanto, la profundidad de hinca y tamaño de la tablestaca, incluso en algunos casos permite eliminar el anclaje que asegura la estabilidad de la pantalla.

Arlita® es un material completamente inerte, que no descarga ningún sustancias nocivas en un cuerpo de agua. Por lo tanto, se puede recomendar para la construcción de puertos y muelles como opción ecológica.



Figura 44. En Dinamarca la estabilidad de las estructuras de los puertos fue mejorada con el uso de Arlita®

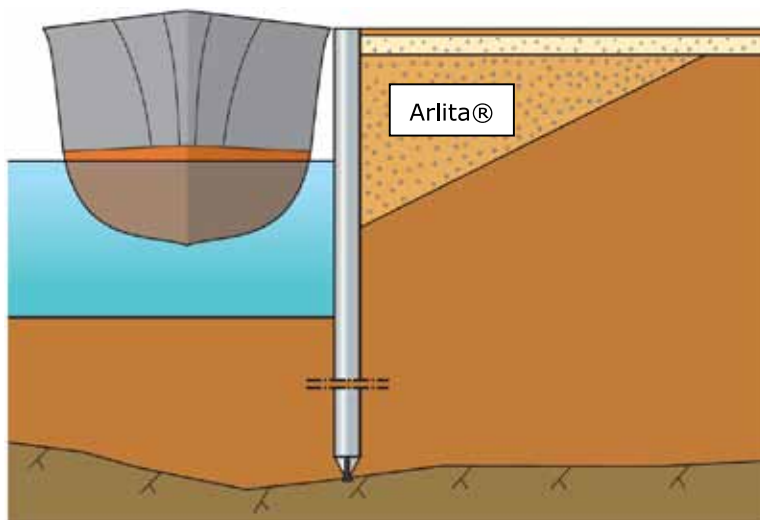


Figura 45. Relleno en trasdós de muro en muelle con Arlita®

9.10. Otras estructuras

9.11 Plazas

Arlita® se utiliza para evitar el asentamiento de las capas estructurales de plazas. Se utiliza también para proteger las plazas de fenómenos de congelación debido a sus propiedades de aislamiento, previniendo sus efectos en tuberías y otros servicios, así como en plazas que en el subsuelo tienen infraestructuras enterradas tales como aparcamientos, metros, etc.



Figura 46. Uso de Arlita® en cimentación de plaza en Finlandia

9.12. Terrenos deportivos

Desde hace más de 55 años **Arlita®** se ha utilizado en la construcción de cimentaciones de diferentes proyectos de infraestructuras deportivas, incluyendo atletismo, fútbol, campos de béisbol, campos deportivos con calefacción y pabellones deportivos. La mayoría de las ventajas del uso de este material en la construcción de las instalaciones deportivas son su ligereza y simplicidad de instalación Independientemente de las épocas del año.

La tasa de aplicaciones varía de la estructura de reducción de peso de llenado a las heladas fines de aislamiento y de drenaje.



Figura 47. Uso de Arlita® en cimentación de campo deportivo.

10. TABLA RESUMEN

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Propiedad	Valor	Comentarios
Densidad de partícula (kg/m³)	650	EN 1097-6
Coeeficiente de forma (D ₆₀ /D ₁₀)	1,4	EN 933-1 EN 933-2
D10 (mm)	10	EN 933-1 EN 933-2
Densidad granel en seco (kg/m³)	275	EN 1097-3
Reducción de volumen tras compactación (%)	10	-
Humedad del material en suministro (%).	7-15	EN 1097-5
Humedad en condiciones sobre nivel freático (%)	25	EN 1097-5
Humedad tras inmersión tras largo periodo de tiempo (%)	38	EN 1097-5
Densidad instalado sobre nivel freático (kN/m³)	3,8	-
Densidad instalación sumergida temporal (kN/m³)	4	-
Ángulo de rozamiento interno (°)	37	Test triaxial Cohesión 0; Compactación del 10%; Tensión=0-150 kPa
Cohesión c´	0	Test triaxial
Tensión máxima admisible previa a roturas de granos (kN/m²)	100	Test edométrico
Tensión máxima de confinamiento previa a rotura (MN/m²)	10-15	Test edométrico
Parámetro de fluencia rs(1*103)	8	
Compresión cíclica (%)	0,57-0,82	Relativa a deformaciones de 2.000.000 ciclos
Módulo resiliencia referencia	210 MPa	
Número exponencial Módulo de resiliencia	0,55	
Valor α=Módulo edométrico/Densidad (kPa/(kg/m³))	40	Tensión vertical=0-50 kPa Tensión vertical=50-350 kPa
Módulo Edométrico	40-6	Tensión vertical=0-50 kPa Tensión vertical=50-350 kPa
pH	8000	

10 CONSIDERACIONES

Arlita[®]10/20 es un material con unas características y propiedades que permiten su uso en diversas obras de ingeniería.

El uso de **Arlita**[®] en las situaciones comentadas, así como en escenarios con características geotécnicas desfavorables, permite dar soluciones rápidas y económicas.

En Europa estas soluciones con el uso de arcillas expandidas llevan aplicándose en obras de ingeniería desde hace más de medio siglo. La aplicación de esta solución está comprobada tanto por las décadas de experiencia transcurrida desde las primeras aplicaciones como por los estudios de proyectos de investigación que vienen haciéndose, permitiendo conocer de forma adecuada el comportamiento de los rellenos aligerados, principalmente en vías de comunicación. Además es un árido ligero que puede ser producido a gran escala a partir de una materia prima de origen natural y sedimentario e insensible a la acción de hidrocarburos así como de otros compuestos orgánicos, ácidos o alcalis.

El uso de **Arlita**[®] permite evitar el desmonte de una cantidad significativa de macizos rocosos. Cada m³ de **Arlita**[®] evita el desmonte de cerca de 5 m³ de rocas para la producción de gravas y zahorras, reduciendo el impacto paisajístico. Como alternativa al uso de arenas naturales, la **Arlita**[®] evita un consumo de un material cuya explotación genera impactos negativos sobre lechos fluviales y zonas costeras. El transporte de **Arlita**[®] genera comparativamente a otros áridos disponibles a la misma distancia un menor impacto sobre las redes viarias y permite un menor número de viajes y combustible tanto en transporte como en operaciones de compactación.

Por todos estos motivos, **Arlita**[®] es una solución inteligente y eficiente en obras de ingeniería, sea cual sea su tamaño.

10.1. Reciclaje

Arlita[®] utilizado en estructuras de relleno permanece inalterado durante cientos de años. **Arlita**[®] se puede extraer de la estructura existente y utilizarse de nuevo para fines ligeros y de aislamiento térmico (protección contra las heladas), en la construcción de suelos e incluso en los proyectos de mejora del mismo.

Arlita[®] una vez extraído del confinamiento inicial, se puede usar nuevamente para alcanzar objetivos de aligeramiento o de aislamiento térmico, o ambos, en distintos sitios al inicial. En general, el reciclado del producto se basará en los resultados del diseño preliminar realizado y la investigación necesaria para asegurar que el producto reciclado cumpla con los requisitos establecidos para el material de una nueva estructura. Hoy en día, se aplicará material etiquetado CE en la construcción. Y debido a este requisito, la reutilización de **Arlita**[®] excavada fuera del área de construcción específica puede verse complicada por las regulaciones vigentes sobre reutilización.



11

REREFENCIAS

InfraRYL, 2015. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 Väylät ja alueet. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy. (General Quality Requirements for Construction of Infrastructure Projects. Part 1. Roads and Areas)

Liikennevirasto, 2011. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 05/2011 (Design of lightweight structures. Guidelines for design of road subgrade (Finnish Transport Agency 05/2011)

Liikennevirasto, 2012. Tien geotekninen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 10/2012 (Geotechnical design of road. Finnish Transport Agency 10/2012)

Liikennevirasto, 2013. Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7. Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet (7.13.2013). Liikenneviraston ohjeita 35/2013. Helsinki 2013 (Adaptation of EuroCode norms. Geotechnical design - NCCI7 – Instructions for design of bridges and foundations (Finnish Transport Agency 35/2013)

MaaRYL 2010. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen maatyöt. Rakennussäätiö RTS, Rakennustieto Oy (MaaRYL 2010. General quality requirements for construction. Earth works in construction of building. Rakennussäätiö RTS, Rakennustieto Oy)

RIL 234-2007. Pihojen pohja- ja päällysrakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (RIL 234-2007 Subgrade and pavement structures of yards. Association of Finnish Civil Engineers)

RIL 207-2009 Geotekninen suunnittelu. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry (RIL 207-2009 Geotechnical design. Association of Finnish Civil Engineers)

RIL 261-2013. Routasuojaus - rakennukset ja infrarakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (RIL 261-2013 Frost protection of buildings and infrastructure. Association of Finnish Civil Engineers)

SFS-EN 933-1 Kiviainesten geometrysten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Vahvistettu 13.08.2012. (SFS-EN 933-1. Testing geometrical properties of stone material. Part 1. Defining grain size distribution. Approved on August 13, 2012)

SFS-EN 1097-6. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 6: Kiintotiheyden ja vedenimukyvyn määrittäminen (SFS-EN 1097-6. Testing mechanical and physical properties of stone material. Part 6: Defining specific gravity and water absorbing capacity)

SFS-EN 1997-1 + A1 + AC. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Vahvistettu 2014-01-27 (EuroCode 7, Geotechnical Design. Part 1: General rules. Approved on January 27, 2014)

SFS-EN 13055:2016:en Lightweight aggregates. Approved on May 27, 2016

SFS-EN 15732:2012. Light weight fill and thermal insulation products for civil engineering applications (CEA). Expanded clay lightweight aggregate products (LWA). Approved on March 4, 2013.

Tiehallinto, 2004. Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. TIEH 2100029-04. Helsinki 2004 (Design of road structure. Guidance of design stage (Finnish Road Administration 2004)

TTY, 2005. Leca-soran vaikutus rakenteiden korroosioon. Kirjallisuusselvitys. Tampereen teknillinen yliopisto. Pohja- ja maarakenteiden laboratorio. 30 s. (Leca LWA impact on corrosion of structures. Desk study. Tampere University of Technology. Laboratory of foundations and earth structures. 30 pages)

VTT, 2015. Vettä läpäisevät päällysteet - Käsikirja suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon. ISBN 978-951-38-8198-6 (Permeable pavements- design, construction and maintenance manual (VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, 2015)

ANEXO 1.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA TERRAPLENES SEGÚN EL PG₃

Extracto

A continuación se recoge un extracto del artículo 330 Terraplenes, tomado de la orden FOM 1382/2002, publicado en el BOE de fecha 11 de junio de 2002.

330.3 Materiales

330.3.2 Características de los materiales

A los efectos de este artículo, los rellenos tipo terraplén estarán constituidos por materiales que cumplan alguna de las condiciones granulométricas siguientes:

- Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE mayor del 70% ($\#20 < 70\%$), según UNE 103101.
- Cernido o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE mayor o igual del 35% ($\#0,080 \text{ off } 35\%$), según UNE 103101.

330.3.3 Clasificación de los materiales

Desde el punto de vista de sus características intrínsecas, los materiales se clasificarán en los tipos siguientes (Cualquier valor porcentual que se indique salvo que se indique lo contrario, se refiere a % en peso):

330.3.3.1. Suelos seleccionados

Se consideraran como suelos seleccionados tales aquellos que cumplen con las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($M_{ff} < 0,2\%$), según UNE 103204.
- Contenido en sales solubles en agua incluido el yeso inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{\max} \text{ fff } 100 \text{ mm}$).
- Cernido por el tamiz 0,4 UNE menor o igual que el quince por ciento ($\#0,4 \text{ off } 15\%$) o que en

caso contrario cumpla todas o cada una de las condiciones siguientes:

- o Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\#2 < 80\%$)
- o Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\#0,4 < 75\%$).
- o Cernido por el tamiz 0,008 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\#0,008 < 25\%$).
- o Limite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.
- o Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.

330.3.3.2. Suelos adecuados

Se consideran suelos adecuados como tales los que no pudieron ser clasificados como suelos seleccionados y cumplan las condiciones siguientes:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($M_{ff} < 1\%$), según UNE 103204.
- Contenido en sales solubles en agua incluido el yeso inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{\max} \text{ fff } 100 \text{ mm}$).
- Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\#2 < 80\%$)
- Cernido por el tamiz 0,008 UNE inferior a treinta y cinco por ciento ($\#0,008 < 35\%$).
- Limite líquido menor de treinta ($LL < 40$), según UNE 103103.
- Si el límite líquido es superior a treinta ($LL > 30$) Índice de plasticidad será superior a 4 ($IP > 4$), según UNE 103103 y UNE 103104.

330.3.3.3 Suelos tolerables

Se consideran como tales los que no pudieron ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados y cumplen las condiciones siguientes:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($M < 2\%$), según UNE 103204.
- Contenido en yeso inferior al cero con dos por ciento (yesos $< 5\%$), según NLT 115.
- Contenido en otras sales solubles distintas del yeso inferior al uno por ciento ($SS < 1\%$), según NLT 114.
- Límite líquido inferior a sesenta y cinco ($LL < 65$), según UNE 103103.
- Si el límite líquido es superior a cuarenta ($LL > 40$) el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP < 0,73(LL - 20)$)
- Asiento en ensayo de colapso inferior al uno por ciento (1%), según NLT 254, para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500 y presión de ensayo de dos decimas de megapascal (0,2 MPa)
- Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al tres por ciento (3%) para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.

330.3.3.4 Suelos marginales

Se consideran como tales los que no pudieron ser clasificados como suelos seleccionados, ni adecuados ni tampoco como suelos tolerables, por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para esto y cumplan las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cinco por ciento ($MO < 5\%$), según UNE 103204.
- Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al cinco por ciento (5%) para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500
- Si el límite líquido es superior a cuarenta ($LL > 40$) el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP < 0,73(LL - 20)$)

330.3.3.5. Suelos inadecuados

Se consideran suelos inadecuados:

- Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores.
- Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos tales como tocones, ramas, etc.
- Los que puedan resultar insalubres para las actividades que sobre los mismos se desarrollen.

330.4 EMPLEO

A.1.330.4.1. Uso por zonas

Teniendo en cuenta las condiciones básicas indicadas en el apartado 330.3 de este artículo, así como las que en su caso se exijan en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, se utilizarán, en las distintas zonas del relleno tipo terraplén, los suelos que en este apartado se indican.

330.4.1.1. Coronación.

Se utilizarán suelos adecuados o seleccionados siempre que su capacidad soporte sea la requerida para el tipo de explanada previsto en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y su índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea como mínimo de cinco (CBR_f5) según UNE 103502.

Se podrán utilizar otros materiales en forma natural o previo tratamiento, siempre que cumplan las condiciones de soporte exigidas, y previo estudio justificativo aprobado por el Director de la Obra.

No se usarán en esta zona suelos expansivos o colapsables, según lo indicado en el apartado 330.4.4 de éste artículo.

Cuando bajo la coronación exista material expansivo o colapsable o con contenido en sulfatos solubles según UNE 103201 mayor del dos por ciento (2%), la coronación habrá de evitar la infiltración de agua hacia el resto del relleno tipo terraplén, bien por el propio tipo de material o bien mediante la utilización de medidas complementarias.

330.4.1.2 Cimiento

En el cimiento se utilizarán suelos tolerables, adecuados o seleccionados siempre que las condiciones de drenaje o estanqueidad lo permitan, que las características del terreno de apoyo sean adecuadas para su puesta en obra y siempre que el índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra sea igual o superior a tres (CBR_{ffl3}), según UNE 103502.

330.4.1.3. Núcleo

Se utilizarán suelos tolerables, adecuados ó seleccionados, siempre que su índice CBR correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra sea igual o superior a tres (CBR_{ffl3}), según UNE 103502.

La utilización de suelos marginales o de suelos con índice CBR menor de tres (CBR<3) puede venir condicionada por problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra, por lo que su empleo queda desaconsejado y en todo caso habrá que justificarse mediante un estudio especial aprobado por el Director de Obra, conforme a lo indicado en el apartado 330.4.4. de éste artículo.

Así mismo la posible utilización de suelos colapsables, expansivos, con yesos, con otras sales solubles, con material orgánica o de cualquier otro tipo de material marginal (según la clasificación del apartado 330.3.3), se reguistará por lo indicado en el apartado 330.4.4 de éste artículo.

330.4.1.4. Espaldones

Se utilizarán materiales que satisfagan las condiciones que defina el Proyecto en cuanto a impermeabilidad, resistencia, peso estabilizador y protección frente a la erosión.

No se usará en estas zonas, suelos expansivos o colapsables, según lo definido en el apartado 330.4.4 de éste artículo.

Cuando en el núcleo exista material expansivo o colapsable o con contenido en sulfatos solubles según UNE 103201 mayor del dos por ciento (2%), los espaldones evitarán la infiltración de agua hacia el mismo, bien por el propio material, bien mediante la adopción de medidas complementarias.

ANEXO 2.

CALCULO DE RELLENO ALIGERADO EN TERRAPLENES DE CARRETERA

Los terraplenes de relleno Arlita® están diseñadas para permitir la compensación de cargas adicionales producidas por una estructura de relleno en un vial con subrasante de una manera total o parcial. La compensación de cargas parcial se puede utilizar principalmente cuando, el período de asentamiento después de la construcción es relativamente corto, o los asentamientos pueden ser aceptados y controlados. Además, cuando el nivel freático es alto, es útil reducir parcialmente el peso de la estructura de relleno (flotabilidad limitada).

Los cálculos del terraplén aligerado ubicado sobre el nivel freático se realizarán utilizando la Ecuación 1.1. En los cálculos se aplicarán las cargas producidas por la capa de suelo que se va a excavar, los áridos ligeros y las capas estructurales. Si parte del árido ligero se coloca por debajo del nivel del agua subterránea se utilizará la Ecuación 1.2. Los símbolos utilizados en los cálculos y explicados a continuación se presentan en las figuras 1.1 y 1.2.

q_{rak}	= Carga de capas estructurales por encima del nivel freático. ($\gamma_{rak} \times h_{rak}$)
q_{kev}	= Carga de Arlita por encima del nivel freático ($\gamma_{kev} \times h_{kev}$)+($\gamma_{kev} \times h_{t\bar{a}}$)
$q_{kev'}$	= Carga de Arlita sumergida por debajo del nivel freático ($\gamma_{kev'} \times h_{rak'}$)
$q_{kaiv.maa}$	= Carga del suelo excavado ($\gamma_{maa} \times h_{kev}$)+($\gamma_{maa'} \times h_{kev'}$)
q_w	= carga relacionada con la reducción del nivel freático producido por la obra ($\gamma_{maa} - h_{maa'}$) $\times h_{\Delta W}$
$h_{\Delta W}$	= Reducción del nivel de agua subterránea.

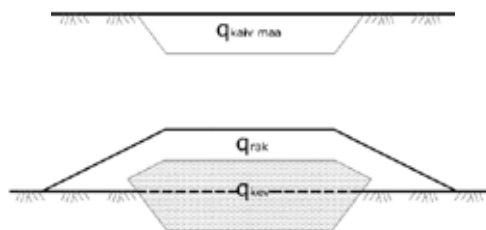


Figura 1.1. Dimensionado de núcleo de Arlita bajo nivel freático.

$$q_{kaiv.maa} \geq q_{rak} + q_{kev} \quad (1.1)$$

$$q_{kaiv.maa} \geq q_{rak} + q_{kev} + q_{kev'} + q_w \quad (1.2)$$

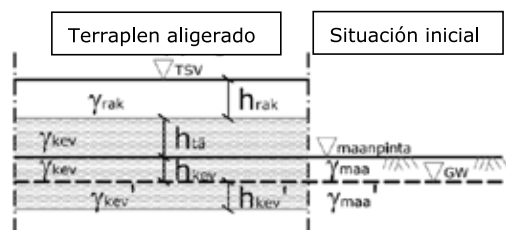


Figure 1.2. Symbols used in Equations 1.1 and 1.2

ANEXO 3.

CÁLCULOS DE LA FLOTABILIDAD EN TERRAPLENES ALIGERADOS EN CARRETERAS

Si una estructura de relleno aligerado Arlita® se encuentra cerca de un cuerpo de agua o en una zona de inundación, y el agua puede inundar el relleno de Arlita®, se tendrá en cuenta un efecto de flotabilidad. El relleno deberá estar dimensionado teniendo en cuenta en nivel freático más alto posible. La seguridad contra la flotabilidad se calculará utilizando las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3. Los símbolos de cálculo correspondientes se presentan en las figuras 1.2 y 2.1. A los efectos de los cálculos, se estima que el valor de peso unitario de Arlita® es el mismo por encima y por debajo del nivel de agua subterránea y es igual a 3 kN /m³.

$$F = Q / U_{\text{noste}} \quad (2.1)$$

$$Q = q_{\text{rak}} + q_{\text{kev}} \quad (2.2)$$

$$U_{\text{noste}} = (\gamma_w - \gamma_{\text{kev}}') \times h_{\text{kev}}' \quad (2.3)$$

Donde

q_{rak} Carga de la capa por encima del nivel freático ($\gamma_{\text{rak}} \times h_{\text{rak}}$)

q_{kev} Carga total del conjunto del relleno aligerado ($\gamma_{\text{kev}} \times h_{\text{kev}} + (\gamma_{\text{kev}} \times h_{\text{ta}})$)

Ejemplo de cálculo:

Los cálculos de seguridad contra la flotabilidad se realizan para una estructura de relleno Arlita® cuyo nivel superior está a +1,5 m de la superficie del suelo. Durante la inundación, el nivel del agua subterránea puede elevarse a 0,8 m por encima de la superficie del suelo. El espesor de la estructura de relleno aligerado es de 1,5 m; Parte de la estructura se encuentra por debajo del nivel normal del agua subterránea. La geometría de la

estructura se presenta en la figura 2.2.

Normalmente, el nivel del freático GWnorm = -0.4 m debajo de la superficie del suelo:

$$\begin{aligned} Q &= q_{\text{rak}} + q_{\text{kev}} = \gamma_{\text{rak}} \times h_{\text{rak}} + \gamma_{\text{kev}} (h_{\text{ta}} + h_{\text{kev}}) \\ &= 20 \text{ kN/m}^3 \times 0,7 \text{ m} + 3 \text{ kN/m}^3 (0,8 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \\ &= 14 \text{ kN/m}^2 + 3,6 \text{ kN/m}^2 = 17,6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$U_{\text{noste}} = (\gamma_w - \gamma_{\text{kev}}') \times h_{\text{kev}}' = (10 - 3) \times 0,3 \text{ m} = 2,1 \text{ kN/m}^2$$

$$F = Q / U_{\text{noste}} = \frac{17,6 \text{ kN/m}^2}{2,1 \text{ kN/m}^2} = 8,38 (F > 1,20) \Rightarrow \text{OK}$$

En condiciones de inundación, el nivel freático GWnorm = +0,8 m sobre la superficie del suelo:

$$\begin{aligned} Q &= q_{\text{rak}} + q_{\text{kev}} = \gamma_{\text{rak}} \times h_{\text{rak}} + \gamma_{\text{kev}} (h_{\text{ta}} + h_{\text{kev}}) \\ &= 20 \text{ kN/m}^3 \times 0,7 \text{ m} + 3 \text{ kN/m}^3 (0 \text{ m} + 0 \text{ m}) \\ &= 14 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$U_{\text{noste}} = (\gamma_w - \gamma_{\text{kev}}') \times h_{\text{kev}}' = (10 - 3) \times 1,5 \text{ m} = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

$$F = Q / U_{\text{noste}} = \frac{14 \text{ kN/m}^2}{10,5 \text{ kN/m}^2} = 1,33 (F > 1,20) \Rightarrow \text{OK}$$

Figura 2.2 Cálculo de la flotabilidad

ANEXO 4.

CÁLCULO DE LAS HELADAS EN LA ESTRUCTURA DE LA CARRETERA

El diseño de una carretera frente a la congelación considera la influencia del clima a través de la profundidad de escarcha del diseño (S), que explica la profundidad de la cimentación sin congelación dependiendo de la región donde se realice la obra.

Las guías de diseño de La agencia Finesa de transporte utilizan un coeficiente ai para definir la capacidad de aislamiento de un material en relación con la capacidad de aislamiento del relleno de arena. Arlita® presenta coeficiente ai de 4, cuando su profundidad de base es de al menos 0,7 m, máxima densidad seca de 400 kg / m³ y teniendo una capa de drenaje de por lo menos 0,15 m de espesor por debajo de Arlita®.

La superestructura de la carretera está diseñada de tal manera que la reducción de la helada esperada permanezca dentro de los límites permitidos, que a su vez dependen de la clase de carretera.

El cálculo del impulso de helada comienza con una elevación de la helada igual a 0 mm cuando el espesor de la superestructura de arena aislante es el mismo que la profundidad de congelación del diseño (S).

El incremento de la helada (RNlask) bajo una superestructura resistente a las heladas puede calcularse mediante la ecuación 3.1 (Finnish Road Administration 2004).

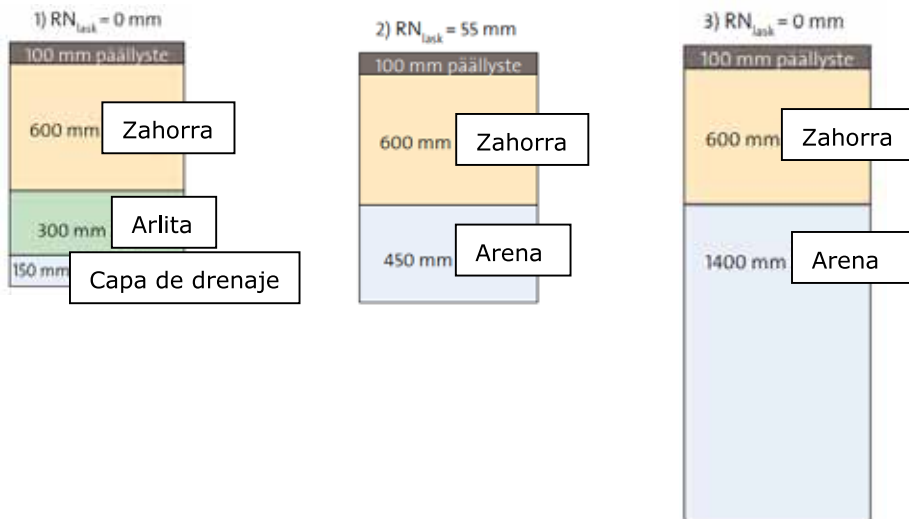
RNlask	= Incremento de helada (mm)
S	= profundidad de congelación de diseño [m]
ai	= Capacidad de aislamiento relacionada con la capacidad de aislamiento de la arena [-]
Ri	= espesor de la capa resistente a las heladas [mm]
t	= Expansión de la helada [%]

Material	Coefficientes de aislamiento térmico ai
Arena	1.0
Asfalto	1.0
Gravas	0.9
Arlita®	4.0

- 1) 100 mm de asfalto, 600 mm de zahorra, 300 mm de Leca, 150 mm Capa de drenaje.
- 2) 100 mm de asfalto, 600 mm de zahorra, 450 mm de arena.
- 3) 100 mm de asfalto, 600 mm de zahorra, 1400 mm de arena.

$$RN_{lask} = (S - a_1 \times R_1 - a_2 \times R_2 - a_i \times R_i) \times t / 100$$

(3.1)



1) Ascenso de congelación con relleno aligerado S=2 y t=6%.

$$RN_{lask} = \frac{2,0 \text{ m} - 1,0 \times 0,1 \text{ m} - 0,9 \times 0,65 \text{ m} - 4,0 \times 0,3 \text{ m} - 1,0 \times 0,15 \text{ m}}{100 \%} \times 6 \% = 0 \text{ mm}$$

2) Ascenso de congelación con relleno de arena S=2 y t=6%.

$$RN_{lask} = \frac{2,0 \text{ m} - 1,0 \times 0,1 \text{ m} - 0,9 \times 0,60 \text{ m} - 1,0 \times 0,45 \text{ m}}{100 \%} \times 6 \% = 55 \text{ mm}$$

3) Ascenso de congelación con relleno de arena S=2 y t=6%.

$$RN_{lask} = \frac{2,0 \text{ m} - 1,0 \times 0,1 \text{ m} - 0,9 \times 0,60 \text{ m} - 1,0 \times 1,4 \text{ m}}{100 \%} \times 6 \% = 0 \text{ mm}$$

ANEXO 5.

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN CARRETERAS Y CALLES

Las determinaciones estructurales del pavimento se determinan mediante el análisis de la capacidad portante. Este análisis puede realizarse, por ejemplo, mediante el método de Odemark (Ecuación 4.1). Se requerirá como datos de entrada la rigidez del pavimento, los espesores estructurales de las carreteras y la rigidez de la sub-rasante o sub-base.

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \times \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \times \left(\frac{h}{a}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}} \tag{4.1}$$

Ea = módulo de rigidez por debajo de la carretera calculado

Ep = módulo de rigidez por encima de la carretera calculado

E = módulo de rigidez de carretera calculado

H = Espesor del relleno calculado

Las tablas 4.1 y 4.2 muestran el dimensionamiento de la capacidad portante de pavimentos para la subrasante arenosa (clase de subgraduación F), el

espesor de los tramos de superestructura sobre la Arlita® es de 700 o 500 mm.

Para obtener más información sobre la metodología de diseño y el cálculo de los parámetros del material, consulte las directrices de Finnish Transport Agency.

La capacidad de carga cumple con los requisitos para todas las clases de carretera cuando, según InfraRYL, se utiliza una superestructura de 700 mm de espesor sobre el agregado ligero.

El grosor de la superestructura de 500 mm sobre el agregado ligero cumple con los requisitos de capacidad de carga para las clases de carretera 5 y 6.

Cuadro 4.1 Carreteras y módulos de rigidez utilizados en el análisis de la capacidad portante del pavimento. El espesor de los campos de superestructura en la parte superior del agregado ligero es de 700 o 500 mm. El grosor de la placa base se muestra, respectivamente, para la superestructura de la carretera de 700/500 mm

	Asfalto (2500 MPa) [mm]	Base de carretera (300 MPa) [mm]	Sub-Base de carretera (200 MPa) [mm]	Arlita® (50 MPa) [mm]	subgrado F (10 MPa) [mm]
Road Class 1	220	150	330/(130)	1000	0
Road Class 2	190	150	360/(160)	1000	0
Road Class 3	160	150	390/(190)	1000	0
Road Class 4	90	150	460/(260)	1000	0
Road Class 5	90	150	460/(260)	1000	0
Road Class 6	40	150	510/(310)	1000	0

Cuadro 4.2. Los resultados de la capacidad de carga de dimensionamiento de 700 mm y 500 mm superestructura.

Tipo de tráfico por carga	Requerimientos (MPa):	Capacidad calculada (MPa):	
		700 mm	500 mm
Carretera Class 1	500	502 (meets)	412 (does not meet)
Carretera Class 2	420	460 (meets)	383 (does not meet)
Carretera Class 3	350	413 (meets)	347 (does not meet)
Carretera Class 4	250	286 (meets)	241 (does not meet)
Carretera Class 5	200	286 (meets)	241 (meets)
Carretera Class 6	175	212 (meets)	179 (meets)

ANEXO 6.

CÁLCULO DE LA PRESIÓN LATERAL DE LA TIERRA SOBRE EL MURO DE CONTENCIÓN

La presión lateral de la tierra aplicada a los muros de contención depende, entre otras cosas, de la naturaleza y la resistencia del relleno y también del movimiento de la pared de retención. Las propiedades del material de relleno se determinan basándose en los datos de la investigación en el suelo o se obtienen de otras fuentes.

La presión de tierra lateral dependiendo del movimiento de la pared puede ser uno de los tres tipos siguientes, que son la presión de tierra activa, la presión de tierra pasiva y la presión de tierra en reposo. La presión de tierra del estado activo se examinará en el siguiente ejemplo de muro de contención en voladizo con relleno de luz. La presión de tierra activa sólo se produce cuando la pared puede moverse a cierta distancia del relleno.

El coeficiente de presión de tierra lateral se determina según la ecuación 5.1, RIL 263-2014.

$$K_a, K_p = \frac{\cos^2(\varphi \pm \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta - \alpha) \left(1 \pm \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi \pm \beta)}{\cos(\delta - \alpha) \cos(\alpha + \beta)} \right)^2} \quad (5.1)$$

- ϕ = ángulo de resistencia al corte ("ángulo de fricción")
- A = inclinación de la pared desde la vertical
- B = inclinación del relleno a la horizontal
- Δ = ángulo de resistencia al cizallamiento de la intercara de relleno ("ángulo de fricción de la pared")

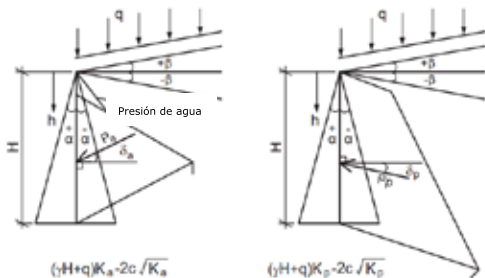


Figura 5.1. Ángulos utilizados para calcular los coeficientes de presión lateral de la tierra (RIL 263-2014).

Presión activa de la tierra se calcula utilizando la ecuación 5.2 (RIL 263-2014).

$$P_a = (\gamma h + q) K_a - 2c \sqrt{K_a}$$

- γ = densidad aparente [kN / m³]
- h = profundidad desde la superficie del suelo [m]
- q = carga superficial [kN / m²]
- K_a = coeficiente de empuje activo [-]
- c = cohesión [kPa]

$$\begin{aligned}
 q &= 10 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{srHK:} \\
 \gamma_s &= 20 \text{ kN/m}^3 \\
 \varphi_s &= 37^\circ, K_s = 0,335 \\
 \text{Leca®:} \\
 \gamma_{\text{Leca}} &= 4 \text{ kN/m}^3 \\
 \varphi_{\text{Leca}} &= 39^\circ, K_s = 0,315 \\
 \sigma &= \frac{1}{4} \sigma (\text{betón}) \\
 \varphi_{\text{F+LS}} &= \tan^{-1}(\tan(\alpha)/1,5)
 \end{aligned}$$

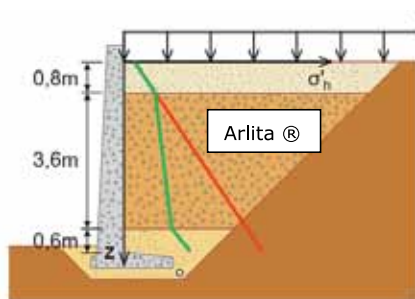


Figura 5.2. Los datos iniciales para el cálculo de muestreo y dando como resultado diagramas de presión lateral de la tierra con relleno regular (rojo), y con relleno ligero (verde).

	Relleno Arlita®		Relleno convencional	
Syvyyss [m]	$\sigma_v = \sum \gamma_i \times s_i + q$ [kN/m ²]	$\sigma_h = K_s \times \sigma_v$ [kN/m ²]	$\sigma_v = \sum \gamma_i \times s_i + q$ [kN/m ²]	$\sigma_h = K_s \times \sigma_v$ [kN/m ²]
0	10	3,4	10	3,4
0,8 (srHk)	26	8,7	26	8,7
0,8 (Leca®)	26	8,2	—	—
4,4 (Leca®)	40,4	12,7	—	—
4,4 (srHk)	40,4	13,5	98	32,8
5,0	52,4	17,6	110	36,9

ARLITA Y MEDIO AMBIENTE

En nuestra operación estamos comprometidos con los principios del desarrollo sostenible. Nuestra estrategia es llegar a ser una empresa ejemplar, que desarrolla soluciones eficientes energéticamente, confortables y de seguridad para la construcción. El uso económico de los recursos naturales es una de nuestras principales prioridades.

Estamos siguiendo el principio de mejora continua Respecto del impacto ambiental, la calidad, la seguridad y los beneficios de nuestros

productos.

1. Materia prima minera.
2. Fabricación Arlita®.
3. Envío y distribución.
4. Construcción.
5. Funcionamiento.
6. El desmontaje.

ARLITA®



C/ Francisco Silvela 42, Planta 1,
28028 Madrid, España

Mobile: +34 699 822 817
e-mail: raul.murciego@saint-gobain.com

www.arlita.es