

**Reutilización de los depósitos
artificiales mineros bajo el
modelo de Economía Circular
La Experiencia Finlandesa**

**TALLER ONLINE “RECURSOS
MINERALES ARTIFICIALES Y NO-
CONVENCIONALES”
25 Junio 2020**

**Marjaana Karhu
Päivi Kivikytö-Reponen**

VTT Technical Research Centre of Finland

DENERG

Denerg es una empresa consultora boutique, que ofrece al mercado servicios personalizados, ágiles y de alta calidad.



Consultoría: en energía, eficiencia energética y Economía Circular.



Asset Management: de plantas de generación de energía renovable.



Desarrollo de proyectos: de energía bajo el modelo de Economía Circular



DENERG Y VTT EN CHILE



Relaves y Depositos en Chile

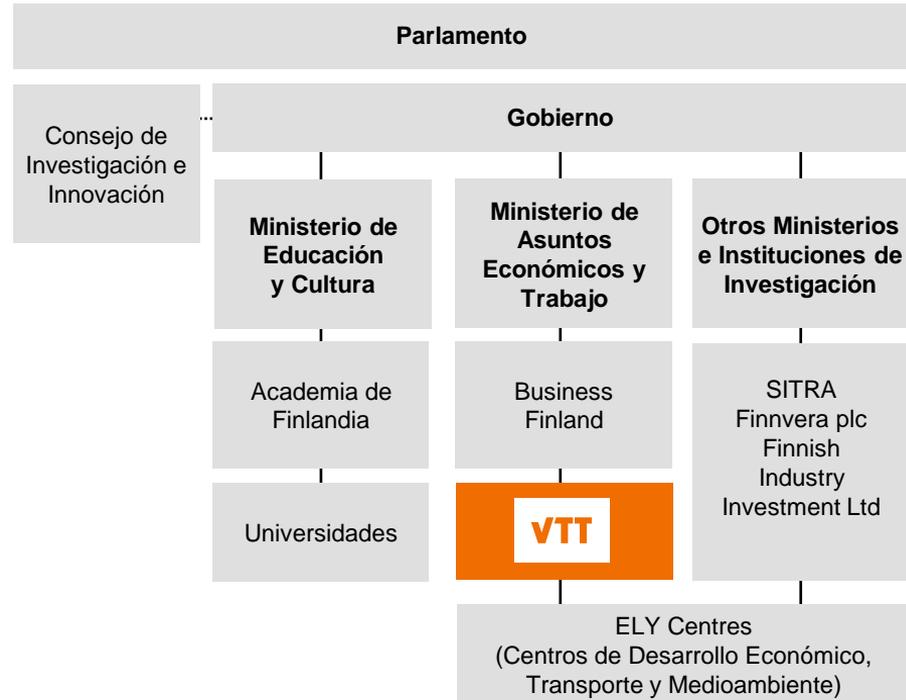
- ❑ A partir de 2011 la ley 20.551 sobre cierre de faenas e instalaciones mineras regula se hace cargo de que hacer con los relaves, pero solo para minas en operación.
- ❑ En Chile existen 742 depósitos de relaves de acuerdo a Sernageomin.
 - 2 en construcción
 - 104 en operación
 - 463 inactivos
 - 173 rn situación de abandono.
- ❑ Menores leyes en los yacimientos, requiere moler mas roca, que resulta en mas relaves.
- ❑ El gobierno del Presidente Piñera creó un Plan para promover la remediación y reprocesamiento de sitios mineros abandonados.
- ❑ Este Plan tiene 3 ejes :
 - Seguridad de la población
 - Medioambiente
 - Economía Circular

VTT en Finlandia

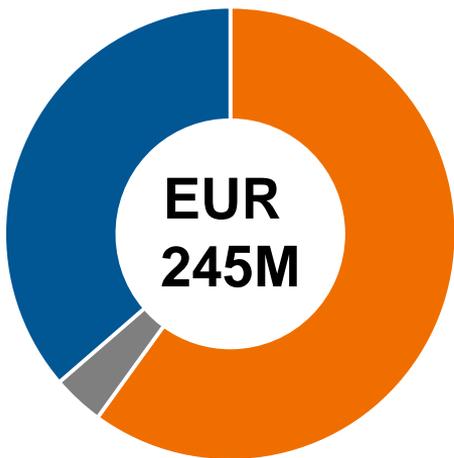
VTT juega un rol central en el Sistema de innovación de Finlandia

VTT es

- Un centro de investigación público que depende del Ministerio de Economía y Trabajo.
- Es el operador Europeo mas grande de Finlandia en los programas macro de la UE.
- Participa en mas de 30 programas tecnológicos nacionales, en 2 centros de excelencia y 4 programas nacionales academicos de Finlandia.
- Un socio estratégico para las universidades



VTT hoy



147 M€

Facturación (parent 147 M€)

9 M€

Otros ingresos operacionales

89 M€

Aporte del Estado

2,103

Personas

47%

de la facturación es del extranjero*

27%

De las innovaciones
Finlandesas tienen
algún nexo con las
competencias de VTT'

406

patent families

VTT

is propiedad del estado dirigido por el Ministerio de
Asuntos Económicos y Trabajo

Redesign mineral and metal loops

Päivi Kivikytö-Reponen

D.Sc. (Tech), Jefe de Grupo “Economía Circular Industrial” en VTT



+20 años de experiencia académica, industrial e investigación, desarrollo y gerenciamiento de proyectos. Ha trabajado con Desarrollo circular de materiales, rendimiento de materiales, mantenimiento y gestion de ciclo de vida. Dentro de sus objetivos de investigación está activamente buscar la combinación de soluciones digitales con ciclos de vida y Desarrollo circular.

Marjaana Karhu

M.Sc. (Tech), Científica Senior en VTT



+13 años de experiecnias en investigación y Desarrollo como científica y gerenciando proyectos en VTT. En los últimos años ha trabajado en desarrollo de materiales, proceso y rendimiento de materiales, y los últimos 5 años su foco ha estado en soluciones de economía circular y en particular en minerals y utilización de aplicaciones de alto valor.

Adicionalmente, en VTT hay +20 personas en distintos equipos trabajando en:

- Economía Circular: team leader Päivi Kivikytö-Reponen
- Materiales sustentables: team leader Tomi Lindroos
- Recuperación de Metales y materiales: team leader Päivi Kinnunen

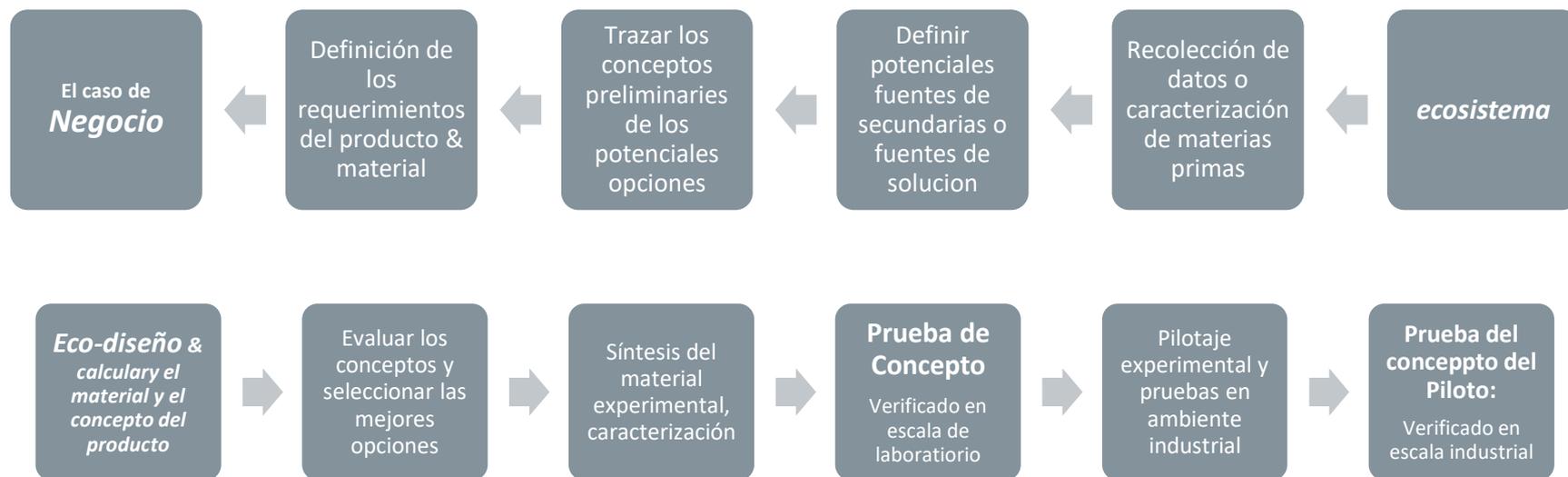
VTT, excelencia en el rediseño de circuitos minerales y metálicos (economía circular y otros residuos)

VTT Inventory of Finnish tailings

La industria minera finlandesa produce aproximadamente **50 Mt** de desechos mineros al año

- ❑ En la práctica actual, se transportan en forma de suspensión y se depositan en depósitos de almacenamiento.
- ❑ Aumenta el flujo de residuos, abre nuevas minas, aumenta el interés por la valorización de los relaves
- ❑ La cadena de valor de la batería, Li, Co están en foco, Finlandia tiene reservas
- ❑ VTT ha recopilado un inventario de relaves finlandeses que incluye información sobre Sitio de la mina, ciudad, relaves apilados (años), tamaño de pila (Mt), contenido de metal en relaves (g / t), infraestructura existente (cobertura de pila, carretera, depósito) Valor de cada metal, valor total

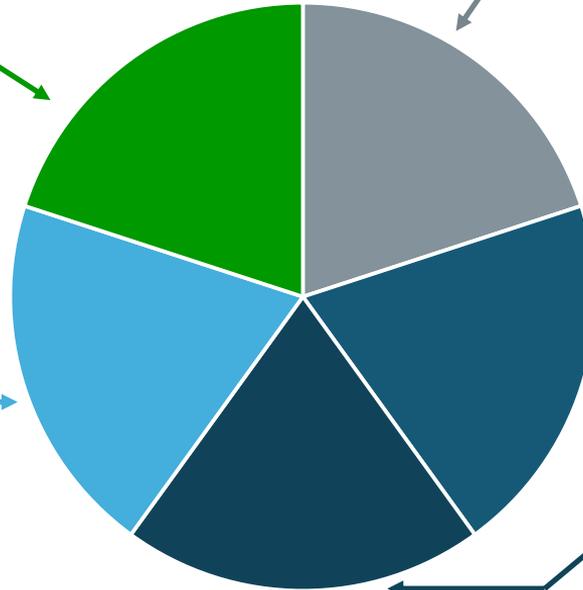
Proceso Diseño Circular para utilización de Materias primas Secundarias



La vision holistica de VTT para el diseño de sistemas circulares

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y BENEFICIOS: Impacto Medioambiental y beneficios a lo largo del ciclo de vida y cadena de valor con foco en integración primaria y secundaria del flujo de materiales.

TECHNO-ECONOMICS: Evaluación tecno.económica de los procesos y productos.

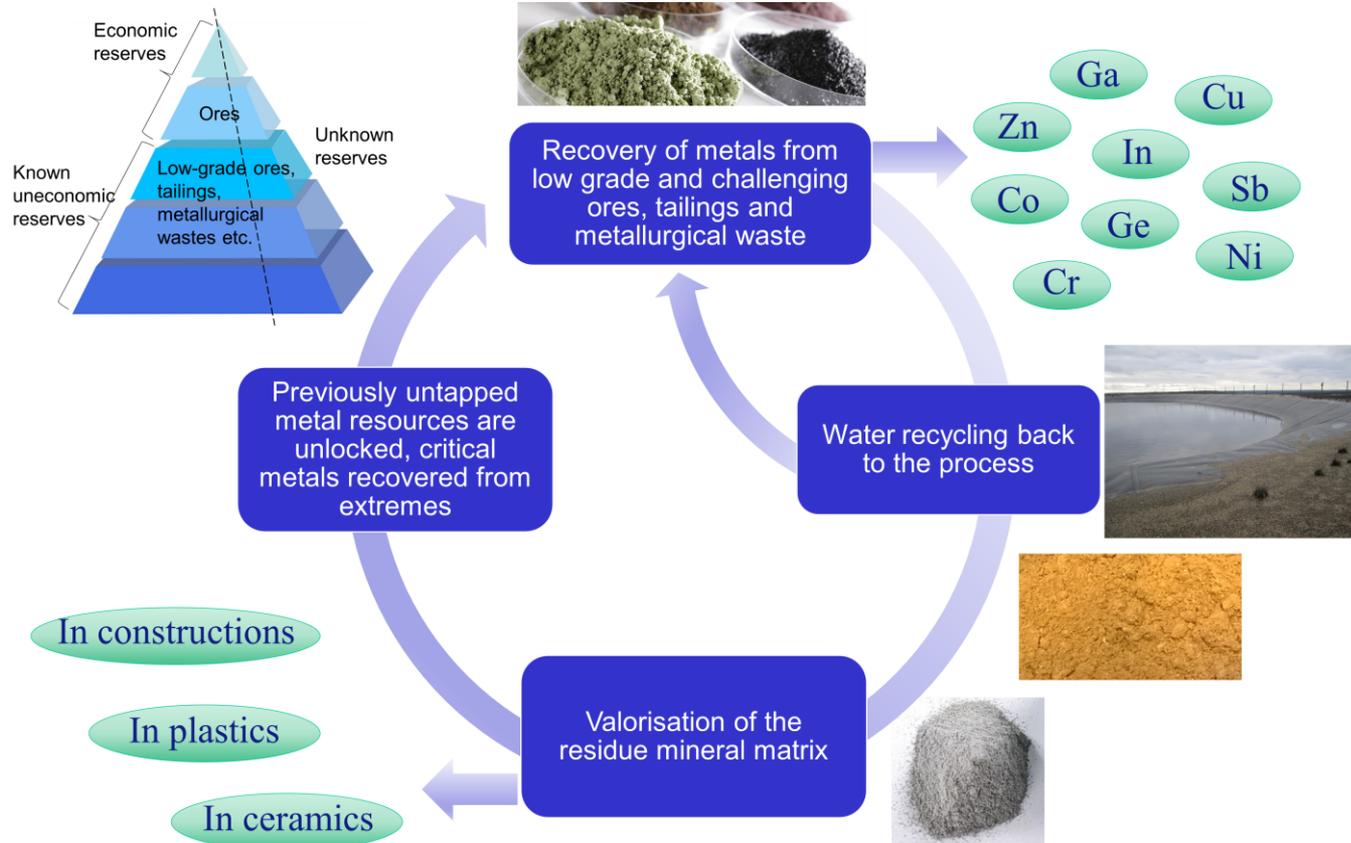


FLUJOS DE METALES: Analysis of flows of metallic elements in the ecosystem, identification of losses and bottlenecks

FLUJOS DE VALOR: Evaluacion de la cadena de valor, anlálisis de valor de desarrollo en el ecosistema, identificación de ineficiencias.

DINÁMICAS DE SISTEMAS: Analisis de los factores que infuyen en los flujos de las materias primas y creación de valor, promoviendo aceleración; operación ambiente

Concepto Casi-Cero Residuos Mineros



Referencias de Proyectos Actualmente en Ejecución en VTT

CeraTAIL, 2015-2019, financiado por Academy of Finland

Nuevos métodos de síntesis para cerámicas porosas de relaves mineros

- **OBJETIVO DEL PROYECTO:** investigar las posibilidades de relaves mineros inertes finlandeses como materia prima para la industria cerámica (TRL 1 - 3)
- Rol de VTT :
 - Viabilidad de relaves mineros como materia prima para materiales cerámicos que agreguen valor y funciones adicionales, tales como cerámica para aislamiento térmico y eléctrico.
 - Métodos utilizados: cerámica sinterizada por reacción asistida por modelado termodinámico y adaptación de la composición mediante la mezcla de relaves mineros con otros residuos industriales.
 - Los relaves mineros investigados seleccionados se concentran en composiciones que tienen potencial para ser utilizadas como materias primas para compuestos cerámicos con excelentes propiedades a altas temperaturas:
 - Relaves de mina ricos en cuarzo y feldespato alcalino: relaves de minas de mineral de molibdeno, relaves de minas de mineral de oro y relaves de minas de mineral de cuarzo
 - Relaves mineros ricos en magnesita: relaves mineros de mineral de talco
 - La comparación con las características de los materiales disponibles comercialmente y el rendimiento específico de la aplicación proporcionan información crítica sobre la viabilidad de las materias primas secundarias.



Design out of waste – Recent projects

CeraTAIL, 2015-2019 , financiado por Academy of Finland

Nuevos métodos de síntesis para cerámicas porosas de relaves mineros

RESULT HIGHLIGHT ¹ – cerámica de alta temperatura de relaves mineros demostrada (TRL 3)

- La factibilidad de relaves mineros ricos en cuarzo y feldespato como materia prima en una fabricación de cerámica a base de silicato de alúmina para soportar altas temperaturas ($> 1450\text{ }^{\circ}\text{C}$) demostrada en escala de laboratorio.
- La sinterización por reacción de composiciones seleccionadas dio como resultado la formación de componentes cerámicos con estructura de mullita rodeada por una fase de vidrio amorfo. La formación de estructuras de mullita que los componentes de cerámicas soporten altas temperaturas.



Table 1

Main minerals of the tailing samples (% total area).

Mineral group	Mineral	FMT1	FMT2	FMT3
Quartz	Quartz, SiO_2	40	11	64
Alkali feldspars	Albite, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	23	31	–
	Andesine (Ca,Na) $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	12	3	–
	K-feldspar, KAlSi_3O_8	6	15	–
K-micas	Biotite, $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	6	20	–
	Muscovite, $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	3	2	27
	Kaolinite, $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	–	–	4
Clay minerals		–	–	–
Carbonate minerals	Calcite, CaCO_3	–	6	–

Table 2

Chemical composition of the mining tailing samples. Total oxide concentrations measured with XRF method [16].

Sample code	SiO_2	Al_2O_3	Si/Al molar ratio	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O
FMT1	73.2	11.1	5.6	2.93	4.84	1.95	1.51	3.45
FMT2	57.3	14.3	3.4	5.03	3.14	5.36	4.66	3.91
FMT3	89.8	5.16	14.8	0.57	0.11	0.04	1.2	0.11

¹Karhu, M., et al. Mining tailings as raw materials for reaction-sintered aluminosilicate ceramics: Effect of mineralogical composition on microstructure and properties. *Ceramics International* 45 (2019) 4840–4848, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.11.180>

CeraTAIL, 2015-2019, financiado por Academy of Finland

Nuevos métodos de síntesis para cerámicas porosas de relaves mineros

RESULT HIGHLIGHT ² – Solución de alta gama de relaves mineros demostrada y validada (TRL 3-4)

- Revestimientos cerámicos demostrados y validados por la tecnología de pulverización térmica que utiliza relaves mineros ricos en magnesita junto con el proceso de anodizado de aluminio como materia prima para la fabricación de polvo.
- Los recubrimientos cerámicos mostraron la capacidad de aislamiento eléctrico al mismo nivel pero una tasa de desgaste considerablemente menor que para los recubrimientos primarios de aluminato de magnesio..
- Posibilidad de sustituir materias primas vírgenes en aplicaciones de revestimiento cerámico de aislamiento eléctrico de alta temperatura

Table 1

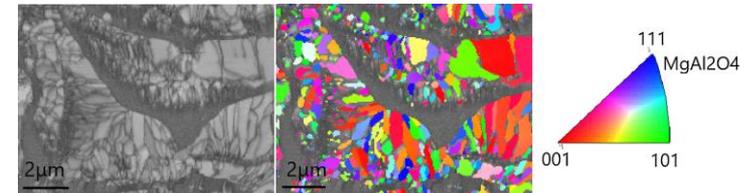
The main identified minerals of the talc ore tailings sample (% total volume).

Mineral	Sample vol%
Magnesite, MgCO_3	80.0
Talc, $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	9.4
Chlorite, $(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}$	4.9
Dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	1.8

Table 2

Chemical composition of the talc ore tailings sample (wt.%).

	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	LOI
Talc ore tailings sample	38.5	10.1	8.2	0.8	0.61	42.7



²Karhu, M., et al. Mining tailings as a raw material for glass-bonded thermally sprayed ceramic coatings: microstructure and properties. Journal of the European Ceramic Society (2020), <https://10.1016/j.jeurceramsoc.2020.04.038>



REslag, 2015-2019, H2020 project

Convertir los desechos de la industria del acero en una valiosa materia prima de bajo costo para la industria intensiva en energía

- **PROJECT TARGET:** Escoria como materia prima para la producción de cerámica refractaria mediante el desarrollo de material refractario alternativo basado en el uso máximo de escorias de la industria del acero. (TRL 5-7)
- **RESULT HIGHLIGHT** ⁴ - Producto valioso de la escoria de la industria del acero desarrollado y probado
- VTT y Renotech Oy desarrollaron un método para el reemplazo parcial de materia prima de cerámica refractaria con escoria de la industria del acero.
- Los componentes de prueba creados como resultado del pilotaje se instalaron para su uso en dos entornos industriales diferentes en Finlandia (protegiendo una estructura de concreto de salpicaduras fundidas calientes con un elemento refractario fundido) y en España (elementos refractarios fundidos en un horno para evaluar su resistencia a la temperatura en el uso a largo plazo)



⁴ press release:

<https://www.vttresearch.com/media/news/valuable-product-from-steel-industry-slag>



REslag, 2015-2019, H2020 project

Convertir los desechos de la industria del acero en una valiosa materia prima de bajo costo para la industria intensiva en energía

RESULT HIGHLIGHT ⁵ - Producto valioso de la escoria de la industria del acero validado contra materiales refractarios comerciales de hasta 1200 ° C

- El 100% de los agregados utilizados están basados en escoria que muestran un rendimiento comparable a la referencia comercial → reducción notable del uso de materia prima virgen.
- También es posible el reemplazo parcial de cemento (10%) por escoria sin diferencias significativas en las resistencias registradas. → reducir las emisiones de CO₂.
- Resistencias a la compresión de los moldes a base de escoria >90 MPa, comparables a los materiales comerciales.
- Los valores de conductividad térmica de los moldes a base de escoria muestran valores más bajos - mejor capacidad de aislamiento térmico que los comerciales..

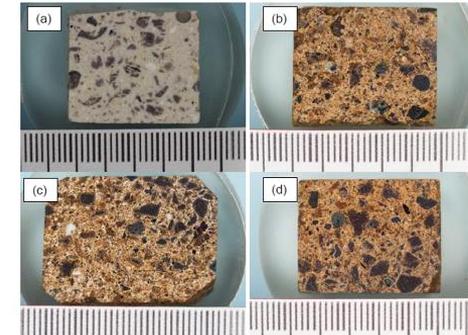


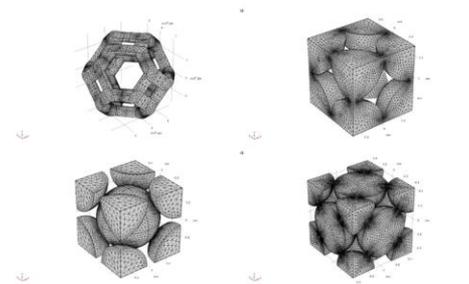
Figure 6. Reproscopía images of refractory specimens cross-sections (a) Commercial reference04 (b) Pmms24 (c) Recipe24 and (d) Recipe43.

Recipe code	Thermal conductivity $\lambda_{RT-1000^{\circ}C}$ [W/m*K]	Thermal expansion coefficient $\alpha_{RT-1100}$ [1/K]
Slag based castable	1.34-0.92	$8.55 \cdot 10^{-6}$
Reference	2.41-2.11	$6.80 \cdot 10^{-6}$

⁵ Karhu, M et al. Ferrochrome slag feasibility as a raw material in refractories: evaluation of thermophysical and high temperature mechanical properties. Waste and Biomass Valorization (2020), DOI: 10.1007/s12649-020-01092-4.

MIN-Pet, 2015-2018, funded by EIT RM Productos Minerales secundarios de Petrit T

- PROJECT TARGET: Desarrollo y comercialización de productos industriales resultante de la fabricación de esponja de hierro como materia prima secundaria. (TRL 5-7).
- RESULT HIGHLIGHT ^{6 7} - Demostración y validación de paneles acústicos basados en hormigón de espuma de escoria (agregados estructurales livianos).
- Rol de VTT :
- Diseño de materiales para la optimización de la absorción acústica, mediciones acústicas (escala de laboratorio y escala piloto)



⁶ Mastali et al. Mechanical and acoustic properties of fiber-reinforced alkali-activated slag foam concretes containing lightweight structural aggregates. *Construction and Building Materials* 187 (2018) 371–381.

⁷ Mastali et al, Impacts of Casting Scales and Harsh Conditions on the Thermal, Acoustic, and Mechanical Properties of Indoor Acoustic Panels Made with Fiber-Reinforced Alkali-Activated Slag Foam Concretes, *Materials* 2019, 12(5), 825; <https://doi.org/10.3390/ma12050825>

Design out of waste – Recent projects

TISPHERO, 2016-2019, financiado por EIT RM

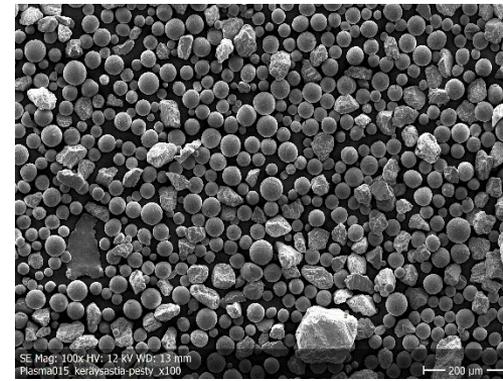
- PROJECT TARGET (TRL 5-7): mejora y lanzamiento en el mercado de tecnología innovadora basada en esferoidización por plasma para la producción de polvo esférico.
- RESULT HIGHLIGHT– proceso e instalación para usar chatarra de titanio de bajo costo - material de desecho producido por compañías europeas, en lugar de usar alambre costoso o polvos irregulares que provienen actualmente de fuera de la UE.



Scrap



Semi product



Final product

Metals and Materials recovery

EU H2020 – NEMO – coordinated by VTT

NEAR-ZERO-WASTE RECYCLING OF LOW-GRADE SULPHIDIC MINING WASTE



VTT TASKS

- Optimización de la precipitación de sulfuro para la biolixiviación de PLS para la recuperación de Ni, Co y Zn
- Lixiviación y recuperación de cobalto
- Recuperación de REE de soluciones de biolixiviación diluidas (extracción con solvente)
- Todas las tareas se realizarán en una escala piloto de escritorio
- Química del manganeso

Metals and Materials recovery

PROYECTOS RECIENTES

“El Proyecto de CObalto”

- El depósito de sulfuro de Co-Zn de alto grado más recalcitrante en Finlandia
- Piloto de banco de pruebas de biolixiviación de tanque agitado
 - Tiempo de lixiviación 10 días.
 - Co rendimiento 93%, Zn rendimiento 100%
 - Consumo de ácido extremadamente bajo..

Financiado por Academy of Finland



Beyond the obvious