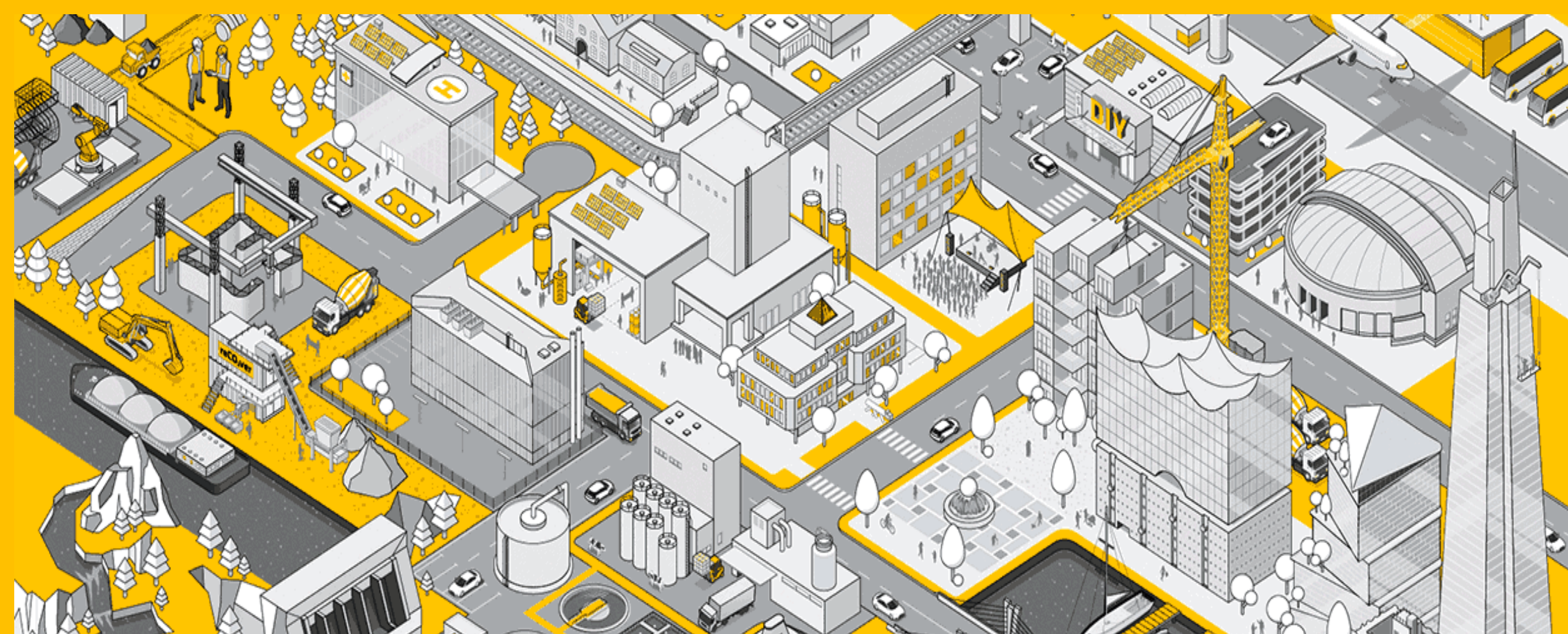


ARGOS - SIKA 2025

JUNTOS
ES POSIBLE

CONSTRUYENDO CONFIANZA





GEOPOLÍMEROS EN CONCRETO

JULIO 2025, DARÍO MARTÍNEZ

SIKA COLOMBIA

BUILDING TRUST



RETOS DEL CONCRETO CONVENCIONAL

- Alta huella de carbono del cemento Portland
- Consumo energético y emisiones de CO₂
- Impacto ambiental global



SOSTENIBILIDAD DEL HORMIGÓN

EL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN MÁS UTILIZADO



+

Está disponible localmente, es fuerte, duradero y económico.

-

Emisiones de carbono muy altas y tasa de reciclaje muy baja.



Consumo creciente impulsado por varias megatendencias



Para ahorrar recursos y reducir las emisiones de carbono, debemos repensar el uso del hormigón:

Fabricación de hormigón: más verde. Menos clínker, áridos alternativos, menos agua

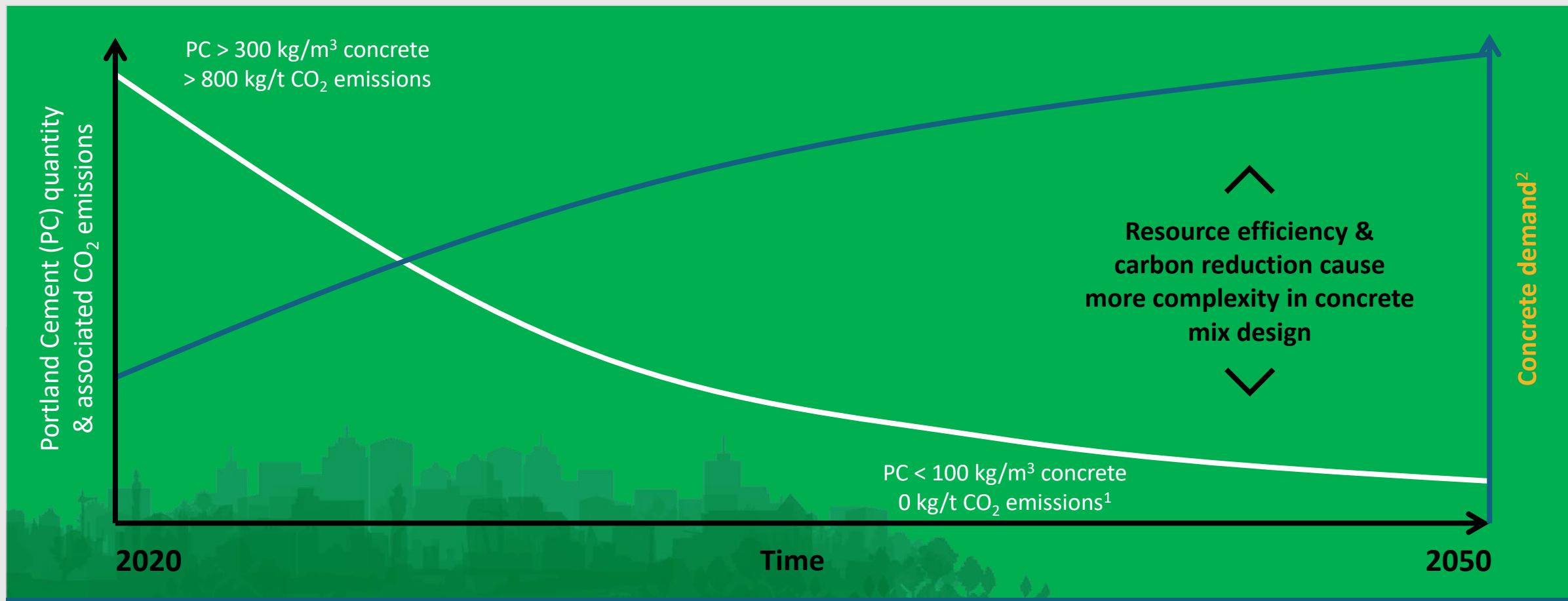
Construcción con hormigón: más esbelta. Menos hormigón gracias al diseño eficiente del edificio y al mayor rendimiento del hormigón

Uso del hormigón: más tiempo. La durabilidad prolonga la vida útil

Fin de la vida útil: reutilización. Reciclar, no reciclar

Sostenibilidad del hormigón

Más sostenibilidad = más complejidad

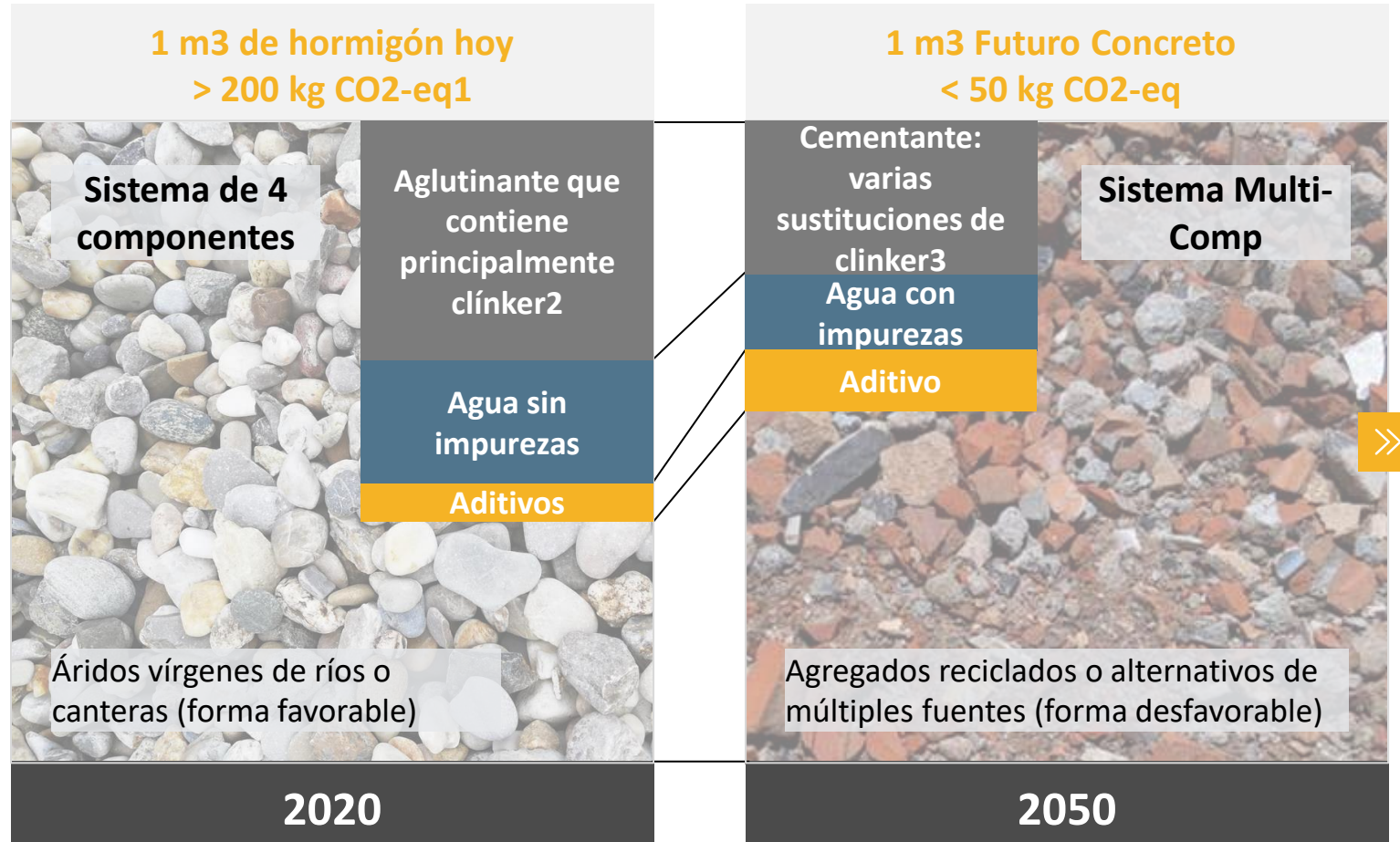


¹ By support of Net Emissions Technologies (NETs), de-carbonation of electricity & recarbonation

² Concrete consumption will increase driven by several megatrends: urbanization, population growth, global warming (coast protection, irrigation dams, ...)

SOSTENIBILIDAD DEL HORMIGÓN

DISEÑOS DE MEZCLAS MÁS COMPLEJOS



¹ LCA assessment by Sika Mix Design Tool / ² Calcined limestone / ³ Calcined clays, limestone powder, ...

Sika Sand App
Algorithm for aggregates



El contenido reducido de clínker, menos agua y la forma desfavorable de los agregados son más desafiantes para el rendimiento del concreto (trabajabilidad y resistencia).

La información holística sobre los agregados cambiará las reglas del juego para un concreto más sostenible y optimizado en costos.

¿QUÉ ES UN GEOPOLÍMERO?

Material inorgánico, se produce por reacción química entre un **aluminosilicato** (como cenizas volantes, metacaolín o escoria) y una **solución alcalina** (como hidróxido de sodio o silicato de sodio). Esta reacción produce una estructura tridimensional similar a la de los polímeros orgánicos, pero compuesta por Al, Si, O.

Joseph Davidovits, 1970s

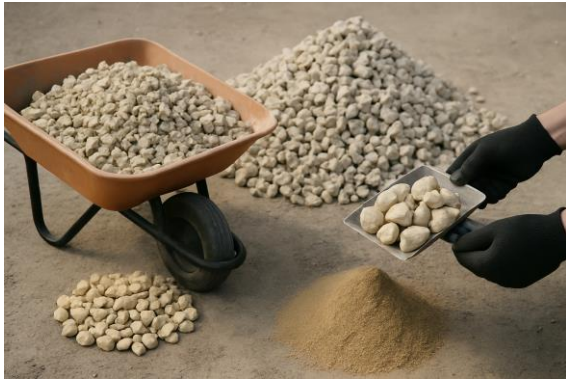
En **1970**, este químico francés creó el concepto de **geopolímeros** como una alternativa al cemento Portland. Estructuras antiguas como las pirámides egipcias, propuso que algunas pudieron haber sido construidas con materiales similares a cementos sintéticos, no solo con bloques tallados.

Desarrolló una teoría y una tecnología basada en la **activación alcalina de materiales ricos en sílice y alúmina**.



COMPOSICIÓN

AGREGADOS



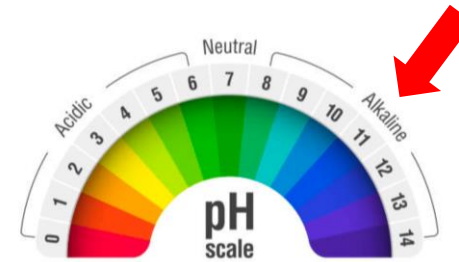
- Áridos convencionales utilizados en el concreto geopolímero
- Clasificación y manejo idénticos

SCM



- Materiales cementicios suplementarios disponibles
- SCM convencionales: GGBS, cenizas volantes, humo de sílice
- Nuevos SCM: arcillas calcinadas, metacaolines, BOF, etc.

ACTIVADOR



- Fuente de alcalinidad: puede ser una amplia variedad de productos químicos
- Por lo general, una mezcla patentada
- Líquido y/o sólido
- El activador reacciona con el SCM haciendo que el hormigón frague y endurezca

ADITIVOS



- En algunos casos se pueden usar aditivos convencionales a base de Sika

Geopolímero cementante



EJEMPLO DE GEOPOLIMERO

Zeolitas

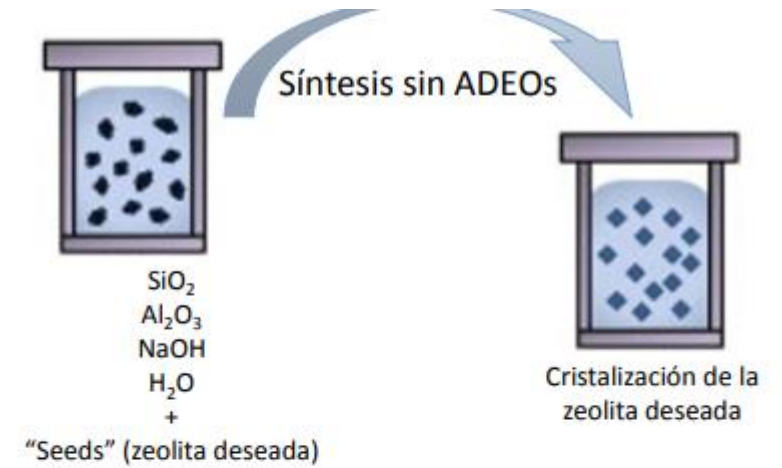
Sólidos cristalinos microporosos que poseen canales y cavidades de dimensiones moleculares (3-12Å), formadas por unidades tetraédricas que componen una red tridimensional. Su composición química y estructura pueden ser definidas durante su preparación. Estos materiales poseen elevada estabilidad, por ello son empleados en diversos procesos químicos industriales como catalizadores.

APLICACIONES :

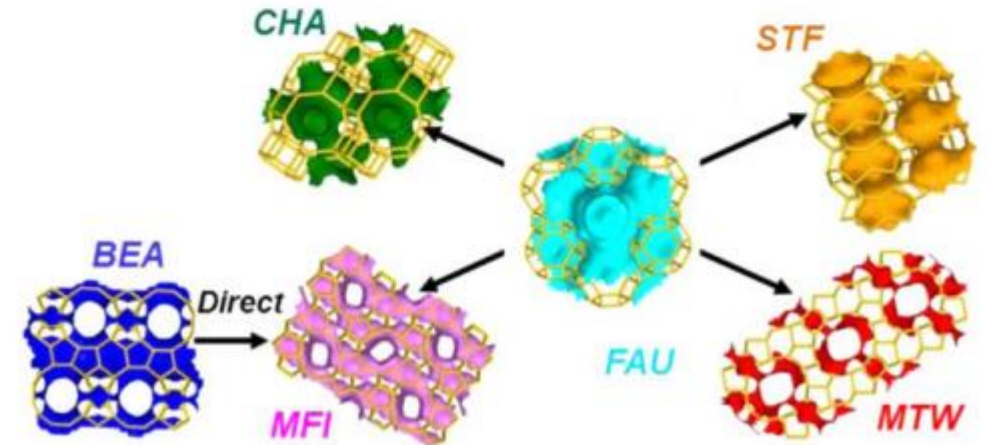
Refino y petroquímica: Craqueo catalítico Química Fina:

Selectividad del catalizador al producto deseado

Medioambiente: Control de las emisiones de gases nocivos



Transformación de zeolitas



¿POR QUÉ SON IMPORTANTES LOS GEOPOLÍMEROS?

Sostenibilidad y medio ambiente

- **Reducción de emisiones de CO₂ y reciclaje de residuos** : Pueden fabricarse con residuos industriales como cenizas volantes o escorias, lo que reduce significativamente las emisiones de carbono. Ayudando a disminuir el impacto ambiental de industrias como la energética y la metalúrgica.

Construcción y materiales

- **Durabilidad y alta resistencia mecánica y química**: Son ideales para estructuras expuestas a ambientes agresivos, como plantas químicas o zonas costeras. Estructuras con vida útil más larga que muchos materiales convencionales, lo que reduce costos de mantenimiento y reemplazo.



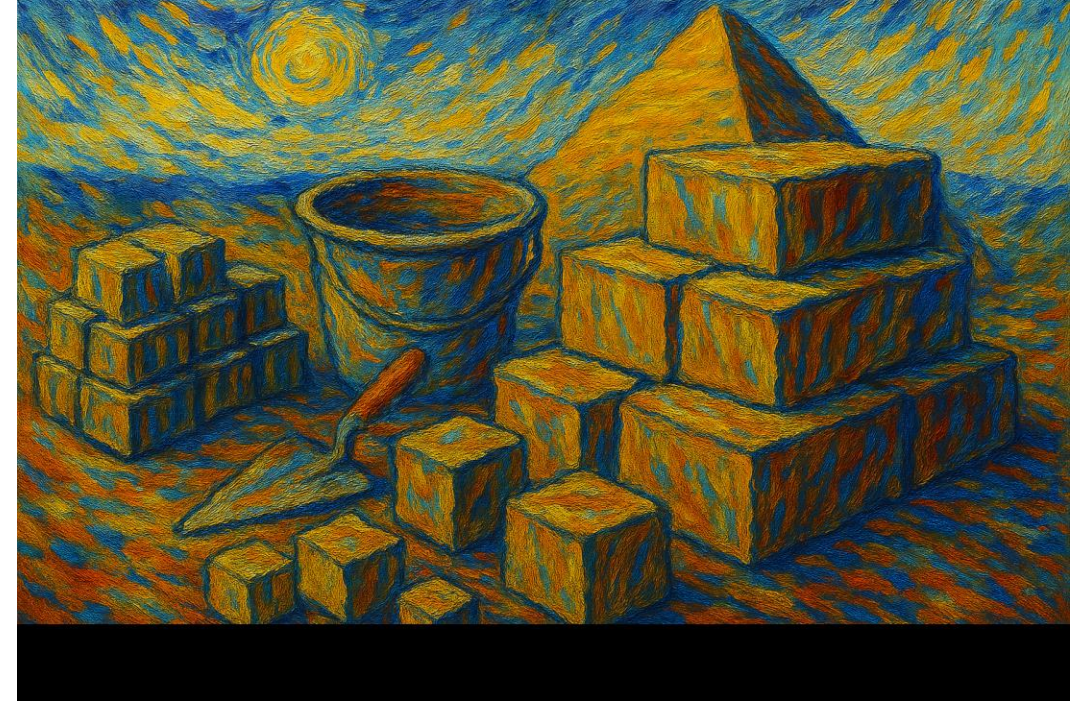
¿POR QUÉ SON IMPORTANTES LOS GEOPOLÍMEROS?

Aplicaciones industriales y tecnológicas

- **Aislantes térmicos, resistentes al fuego y encapsulamiento de residuos peligrosos:** Se usan en aplicaciones donde se requiere resistencia a altas temperaturas, como en aeroespacial o fundiciones, también se puede inmovilizar residuos peligrosos.

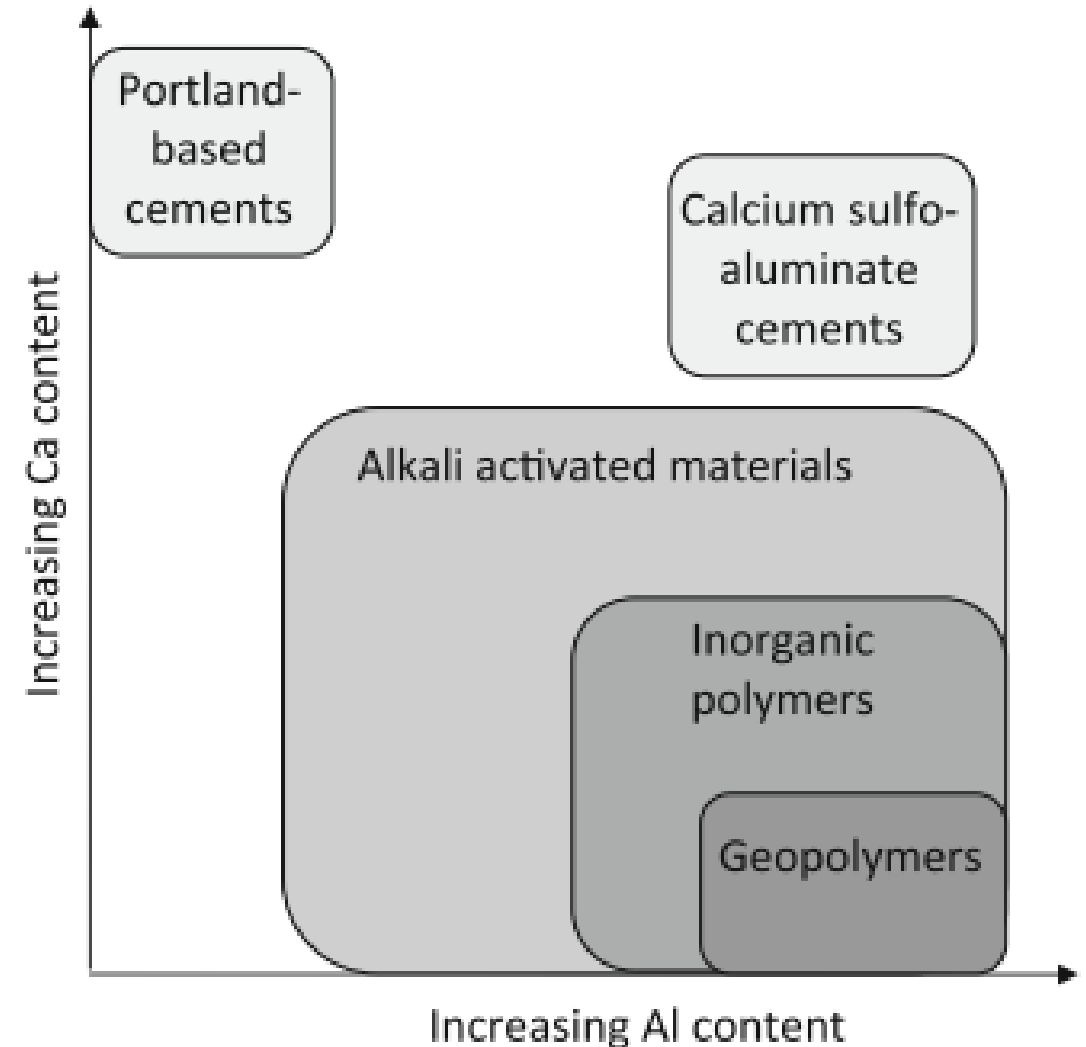
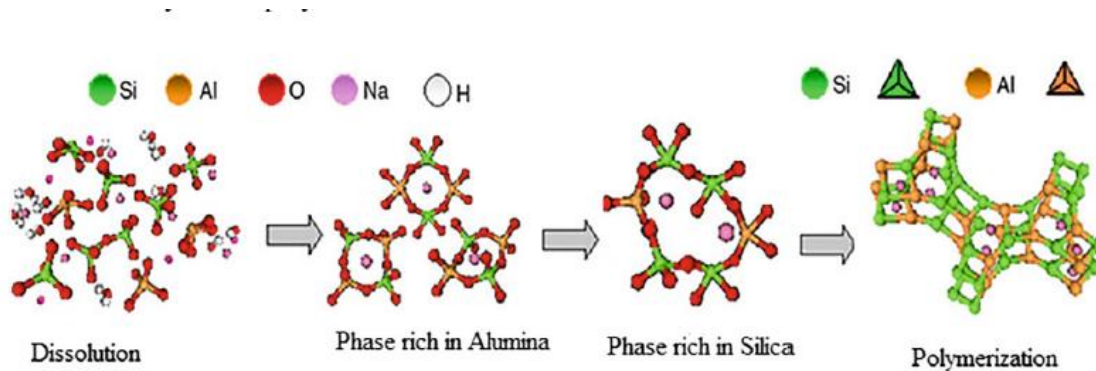
Investigación y desarrollo

- **Materiales avanzados y economía circular:** Aplicaciones en impresión 3D, nanotecnología y fabricación de componentes de alto rendimiento. Modelo de producción más eficiente y menos dependiente de recursos vírgenes, alineándose con políticas globales de economía circular.



GEOPOLÍMEROS ES UN SCMS?

- Materiales inorgánicos formados por activación alcalina de aluminosilicatos
- Materias primas disponibles: cenizas volantes, escorias, metacaolín, arcillas calcinadas
- Reacción de polimerización: formación de redes tridimensionales



GEOPOLÍMEROS ACTIVADOS POR ÁLCALI

PROS

- Reducción de emisiones de CO₂ de hasta un 80% en comparación con el OPC
- Desarrollo de alta resistencia
- Buena resistencia a:
 - Ambientes químicamente agresivos (ácidos, sulfatos)
 - Altas temperaturas (hasta 1200 °C)
- Versatilidad y adaptabilidad local para uso en todo el mundo
- Tecnología de mezcla y fundición similar a la del hormigón OPC
- #WASTEWEALTH: Los precursores sólidos de aluminosilicato disponibles provienen de residuos/subproductos industriales o minerales de bajo valor industrial.

CONS

- Problemas de trabajabilidad
- Baja fuerza en la edad temprana
- Métodos de prueba estandarizados limitados
- Problemas de competencia/escasez de abastecimiento/suministro (SCM vs. aglutinante, activadores)
- Alto impacto ambiental de algunos activadores alcalinos
- Problemas de manejo de materiales alcalinos: consideraciones de seguridad y salud ocupacional.
- La resistencia a la carbonatación y a la congelación-descongelación aún no explorado en profundidad

GEOPOLÍMEROS ACTIVADOS POR ÁLCALI

Industrial By-products

Blast furnace slag (BFS) / Basic Oxygen Furnace (BOF)	Metallurgical (iron manufacturing /steelmaking) by-products
Fly Ash (FA)	Coal-fired plants
Fayalite slag (FS) a.k.a Copper slag	Copper smelting by-product
Biomass a.k.a. Agricultural waste ashes (e.g. sugarcane ash, wheat ash, maize cob ash, rice husk ash (RHA), olive biomass bottom ash, cotton shell ash, coconut shell ash, bamboo biomass ash, etc.)	Thermally treated agricultural residues/by-products
Calcined Clays (e.g. metakaolin or halloysite)	Natural clay deposits
Natural pozzolans (e.g. Pumice, Volcanic ash, Diatomaceous earth)	Volcanic/Sedimentary
Clay-rich sludges	Water/sewage treatment
Mine tailings (e.g. Red mud)	Mineral extraction residues (e.g. Bauxite processing)
Spent Fluid Catalytic Cracking (SFCC) & Spent Alumina Catalysts (SAC)	Industrial oil refineries by-product
Calcined paper sludge / Waste paper sludge (WPS) ash	Paper industry
Waste glass powder (Bottle-glass/BG, Glass-wool/GW)	Industrial, automotive, household waste, etc.
Municipal Waste Incineration (MWI) Fly/Bottom Ash	Municipal solid waste
	Waste-Residue

MAPEO GEOPOLÍMEROS

Material/Precursor	Abundance	
	Volume	Main geographical availability
Blast Furnace Slag / Basic Oxygen Furnace Slag	(2020) 300 Mt/yr & (2018) 125 Mt/yr , respectively	China, USA, Brazil, Japan, Europe
Fly Ash	(2016) 3,2 Mt/yr DE	Worldwide; APAC dominated market share in 2021
Copper slag	24.6 MT/yr + 11% per year	N. America, Asia, Europe, S. America
Agricultural waste ashes	(2021) ~ 170 Mt/yr	Worldwide
Natural pozzolans/Calcined Clays	largely abundant	Worldwide
Clay-rich sludges	???	Worldwide
Mine tailings	up to 8 billion tons stored globally	Worldwide (Dams, pond, etc.)
Waste glass powder	(2018) 135 Mt/yr (21% gets recycled)	Worldwide
Calcined waste paper sludge	???	Worldwide
Municipal Waste Incineration (MWI) Fly/Bottom Ash	(exp. by 2050) 920 Mt/yr	Worldwide



Arcillas
calcinadas

BUILDING TRUST



ARCILLAS CALCINADAS

- Weathering
- Hydrothermal alteration
- Sedimentation
- Low-grade metamorphism
- Burial diagenesis

- Kaolin Most reactive when calcined → Metakaolin
- Smectite (e.g. montmorillonite)
- Illite (e.g. micas)
- Chlorite
- Sepiolite-palygorskite

FORMATION

ACTIVATION

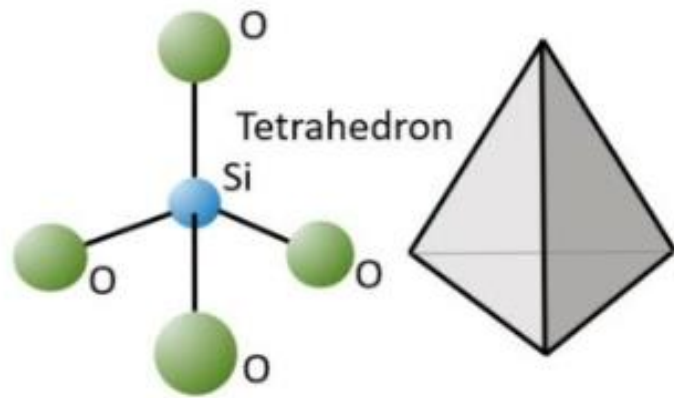
CLAYS

MINERAL
GROUPS

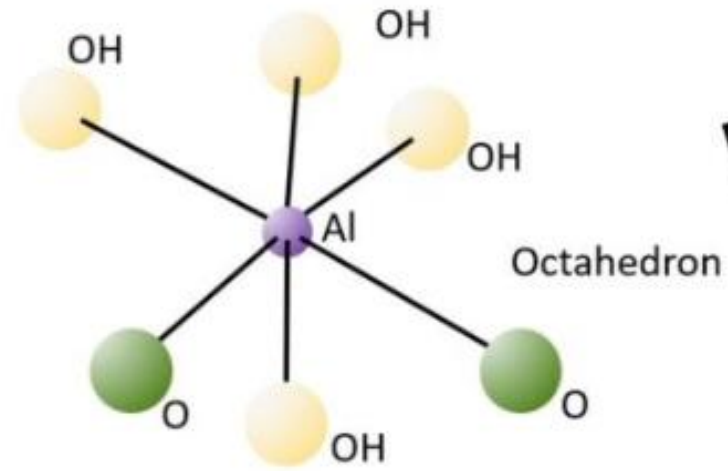
ABUNDANCE

- Thermal calcination
- Mechanical processing
- Chemical treatment

- Kaolinite-rich:
wet tropical and equatorial regions
(*S. Asia, S. Africa, S. America*)
- All other mineral groups:
colder climate zones



Tetrahedrally coordinated silicon



Octahedrally coordinated aluminum

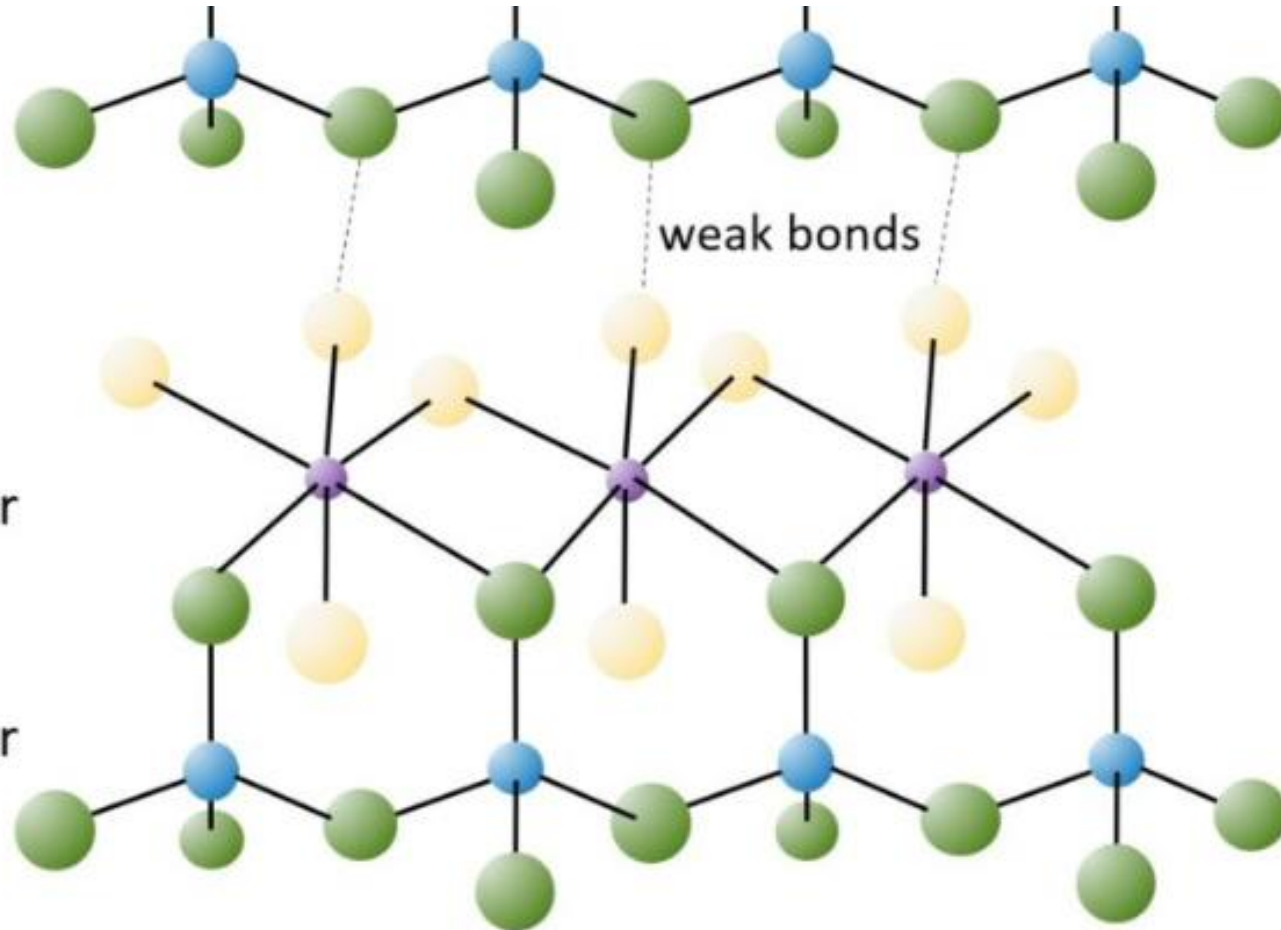
SE2021

Bottom of
next layer

Kaolin

Octahedral layer

Tetrahedral layer



- O²⁻
- OH⁻
- Al³⁺
- Si⁴⁺

SE2021

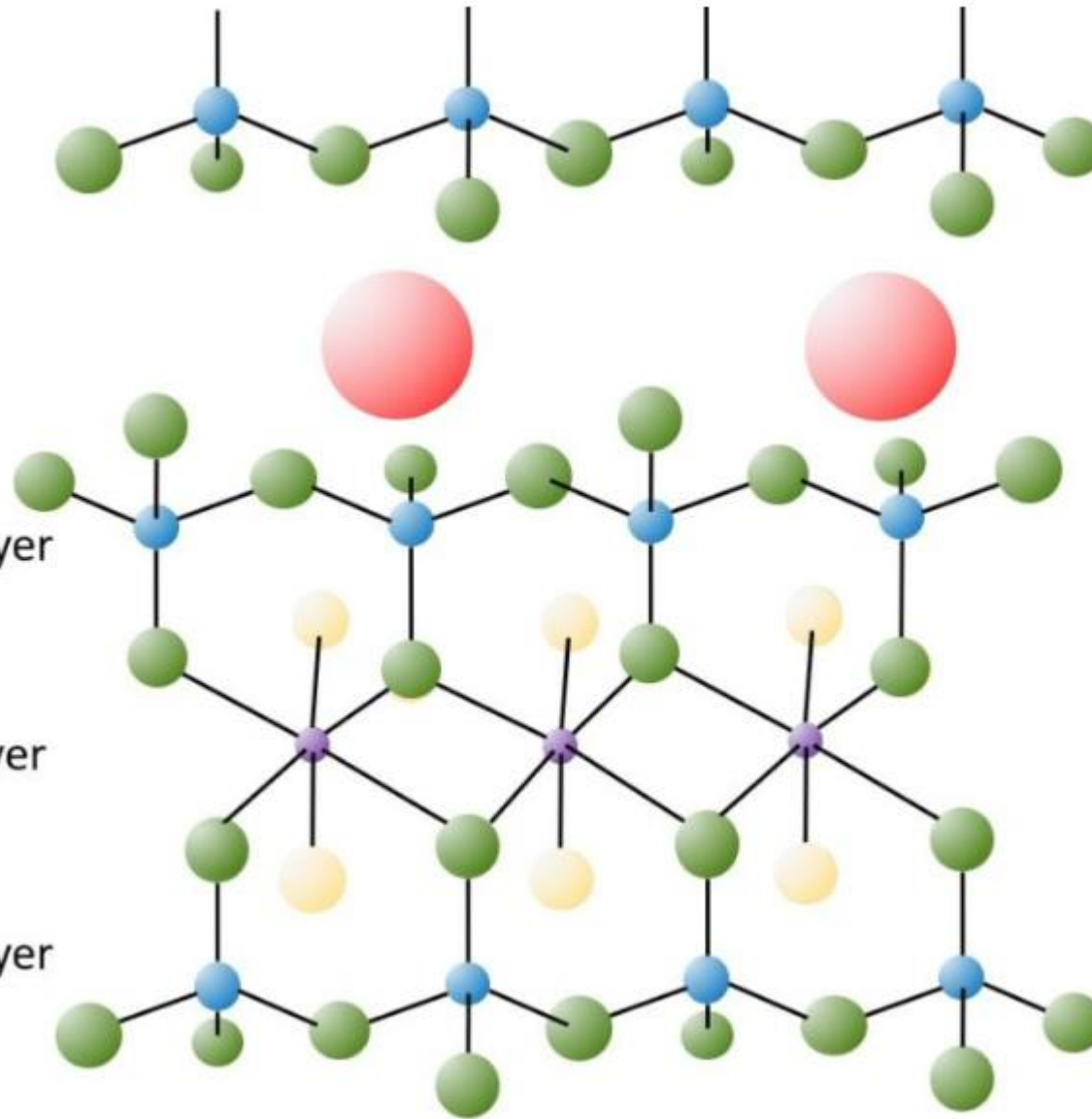
Bottom of
next layer

Illite

Tetrahedral layer

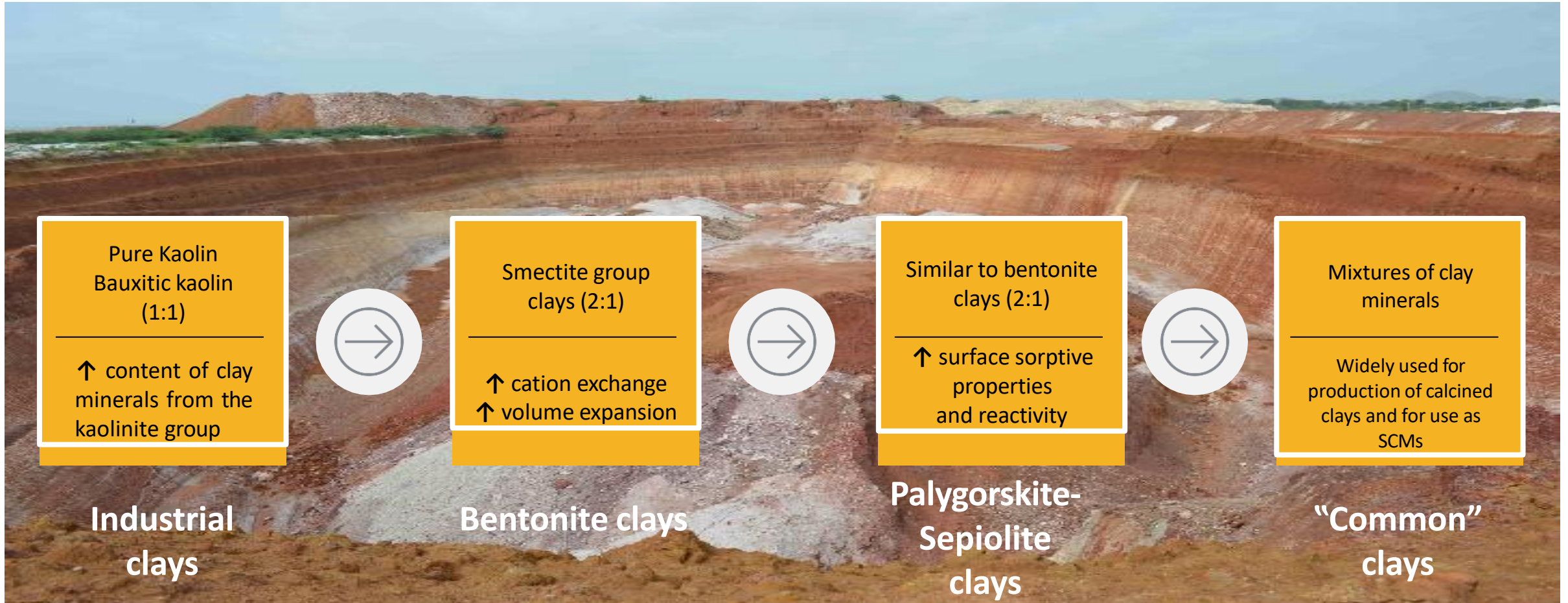
Octahedral layer

Tetrahedral layer



SE2021

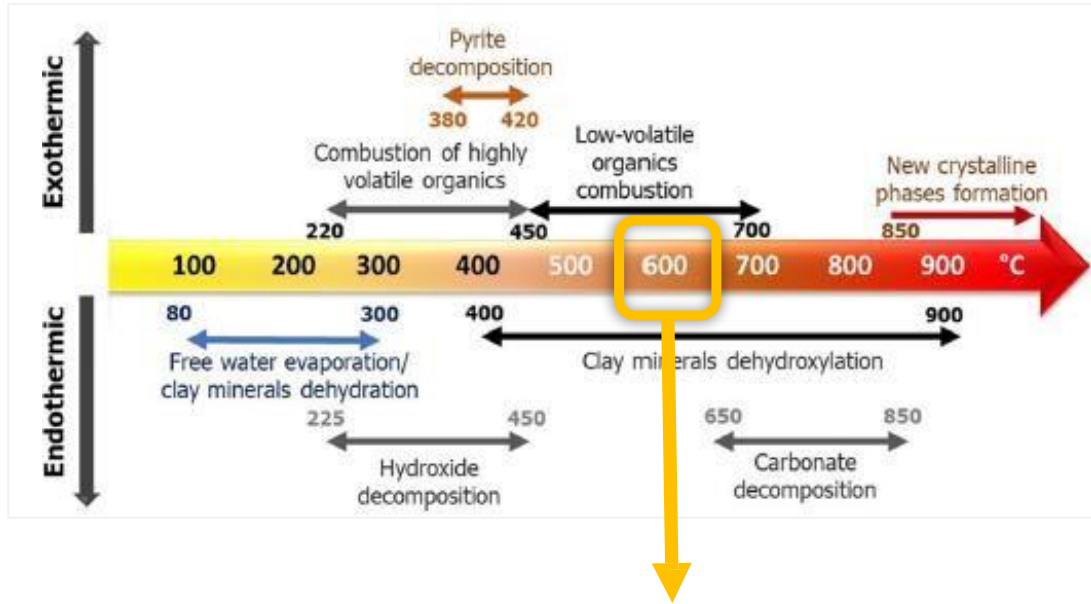
ARCILLAS CALCINADAS USOS INDUSTRIALES



ARCILLAS CALCINADAS USOS INDUSTRIALES



ARCILLAS CALCINADAS ACTIVACIÓN TÉRMICA

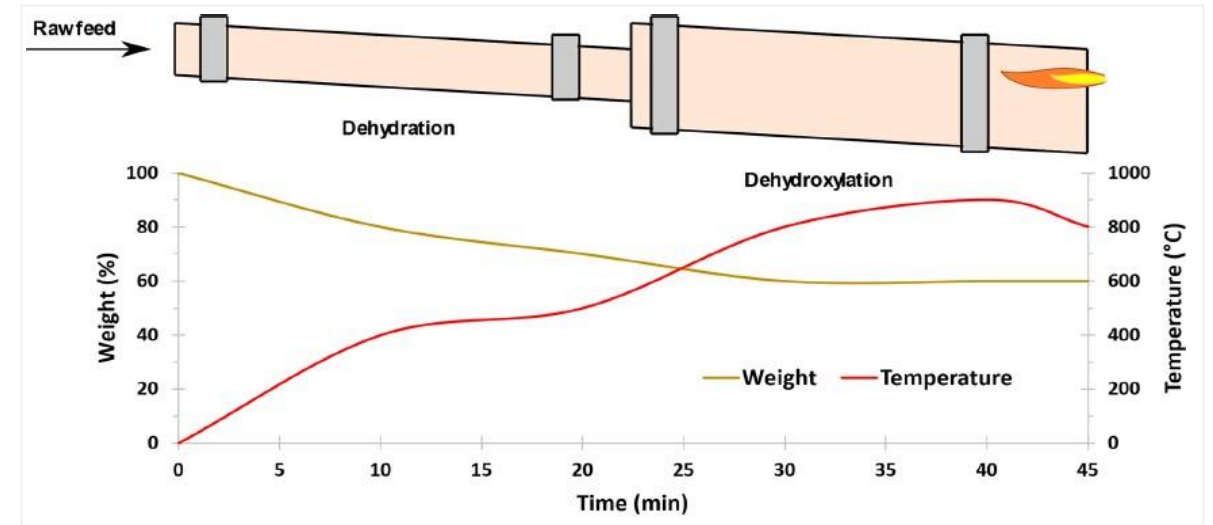
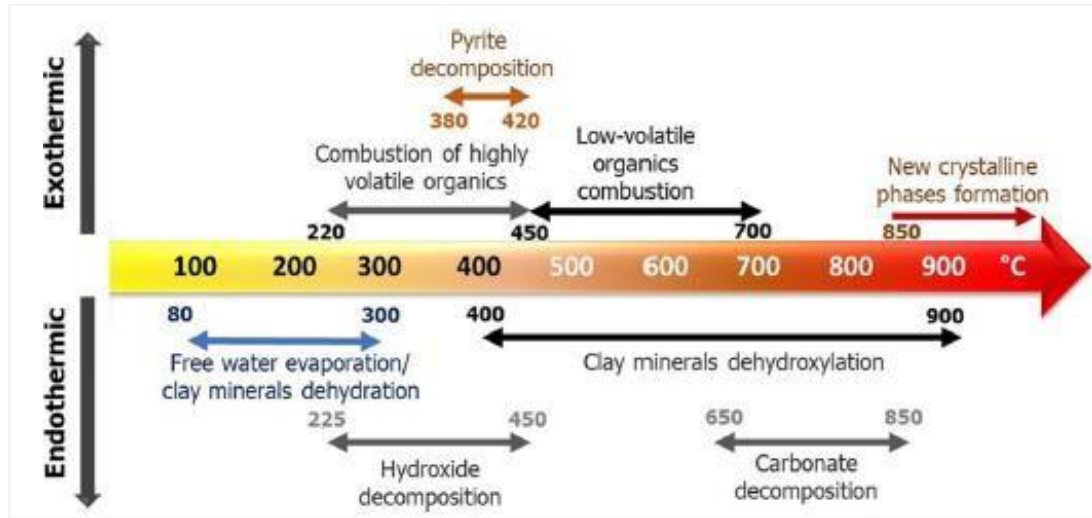


- 200-300°C: deshidratación
- Pérdida de agua en la superficie y en el agua de la capa intermedia
- 350-950 °C: dihidroxilación, eliminación de agua ligada
- 600-800°C: desorden estructural
- Principal impulsor de la reactividad de la arcilla calcinada
- >850°C: proceso de recristalización
- Conversión de fases desordenadas y metaestables en fases más cristalinas, lo que resulta en la formación de productos no reactivos

550 – 650 °C: La deshidroxilación de la caolinita deshidratada produce una fase de aluminosilicato amorfo de rayos X (metacaolín) que proporciona la propiedad puzolánica a la arcilla.

800 °C: Deshidroxilación de esmectitas deshidratadas que proporciona montmorillonita calcinada reactiva

ARCILLAS CALCINADAS ACTIVACIÓN TERMICA



Parámetros críticos

- La temperatura de calcinación debe ser tan alta como para garantizar la deshidroxilación completa de los minerales arcillosos
- La temperatura de calcinación debe ser tan baja como para evitar la recristalización
- La temperatura en el horno debe mantenerse entre 700-800 °C
- Alimentación homogénea y mezclada para una producción eficiente de CC
- El tamaño de partícula del material de alimentación en el horno debe ajustarse de acuerdo con el tiempo de residencia en la cámara de combustión
- Contenido de humedad de la materia prima

ARCILLAS CALCINADAS OPORTUNIDADES Y RETOS

Fortaleza

Hasta un 70% menos de huella de CO₂ en comparación con OPC

600 kg de CO₂/t OPC (fuente: VDZ) / 695 kg de CO₂/t OPC (fuente escribiente)

150-200kg CO₂/t CC (dependiendo de la temperatura de calcinación)

Precusores de geopolímeros

Producción de cementos de cal-puzolana

Cementos de arcilla calcinada de piedra caliza

LC3 Las arcillas con un contenido de caolinita >40% pueden alcanzar una resistencia superior a la CEM I después de 7d

Debilidades

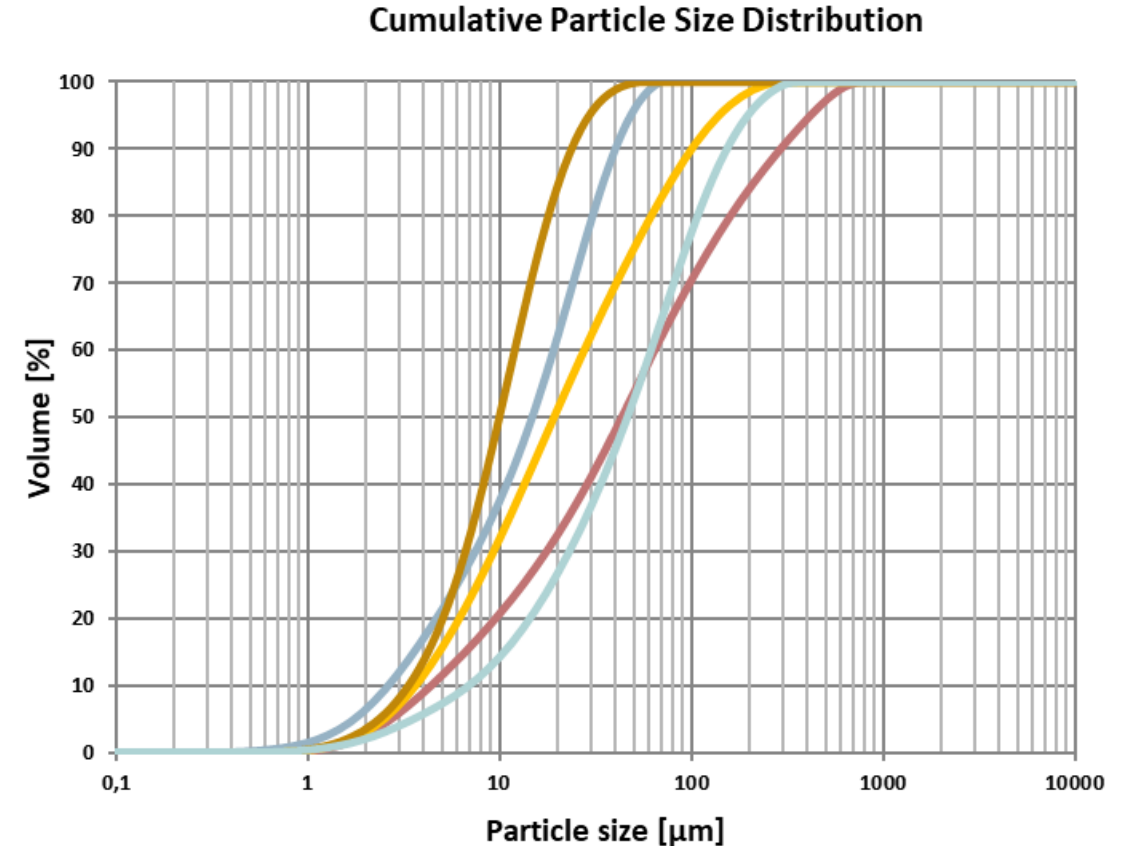
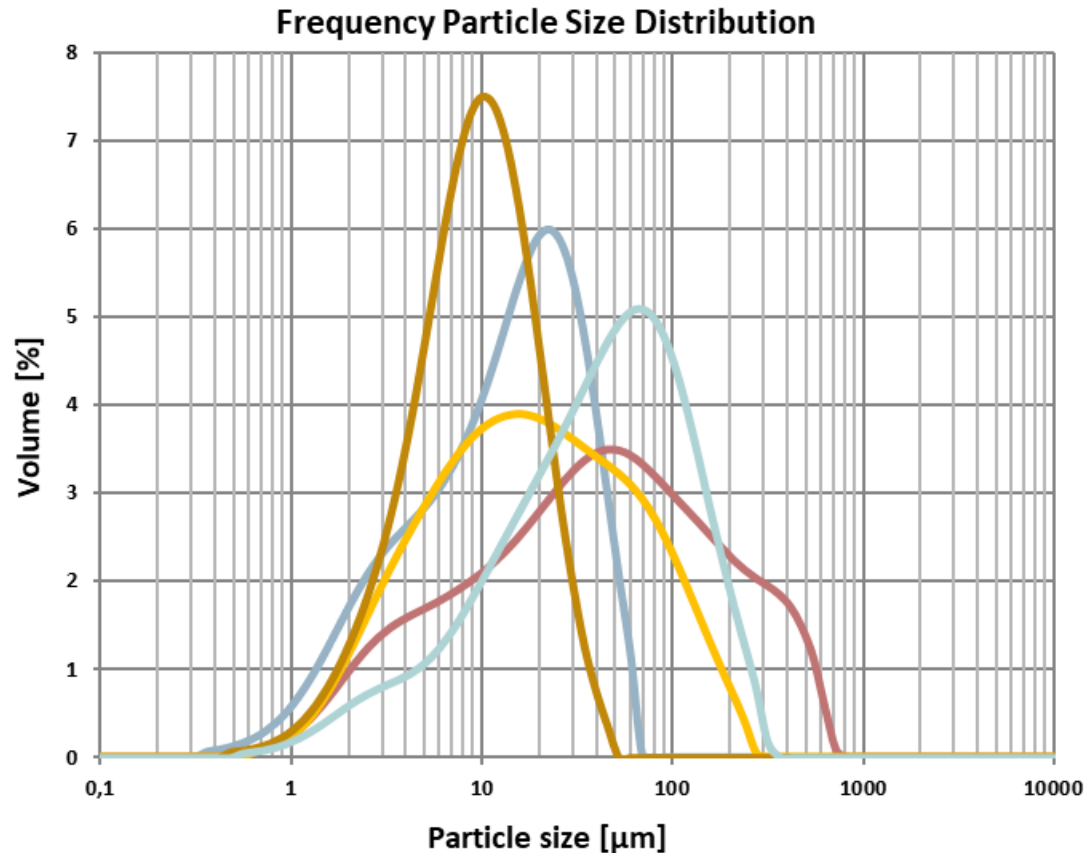
Reducción de la trabajabilidad

Alta demanda de agua en mezclas de hormigón

Retraso en el desarrollo de la fuerza (> 7d)

PRUEBAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA OBTENER GEOPOLÍMEROS

CARACTERIZACION



— Liament ct — CRM Intrasa (sieved 0,50 mm) — Argical M1000 — temPozz A 85 — temPozz G 65

PRUEBAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA OBTENER GEOPOLÍMEROS

CARACTERIZACION

Physical Characterization	Specific gravity [g/cm³]	Specific surface area (Blaine) [cm²/g]	Particle Size Distribution						
			D10 [µm]	D50 [µm]	D90 [µm]				
Liament ct	2,63	9000	2,28	12,8	34,8				
Argical M 1000	2,66	22860	3,16	16,6	86,8				
CRM Intrasa (sieved <0,5 mm)	2,69	9085	3,75	37,4	252,3				
temPozz A85	2,36	19790	1,60	5,4	14,7				
temPozz G65	2,56	5780	6,01	40,2	132,7				
Chemical Characterization	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂
	[%]								
Liament ct	51,30	24,40	6,03	7,89	3,24	3,14	6,03	2,07	1,00
Argical M 1000	54,00	42,30	0,10	1,05	0,11	0,62	0,06	0,07	1,56
CRM Intrasa (sieved <0.5 mm)	46,82	31,86	0,33	5,55	0,37	0,66	0,06	0,04	2,08
temPozz A85	51,30	33,10	1,14	1,17	0,31	2,37	8,03	0,03	0,66
temPozz G65	62,90	29,20	1,85	3,66	0,22	0,41	0,00	0,05	1,48

PRUEBAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA OBTENER GEOPOLÍMEROS

CARACTERIZACION



Chemical Characterization	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂
	[%]								
Liament ct	51,30	24,40	6,03	7,89	3,24	3,14	6,03	2,07	1,00
Argical M 1000	54,00	42,30	0,10	1,05	0,11	0,62	0,06	0,07	1,56
CRM Intrasa (sieved <0.5 mm)	46,82	31,86	0,33	5,55	0,37	0,66	0,06	0,04	2,08
temPozz A85	51,30	33,10	1,14	1,17	0,31	2,37	8,03	0,03	0,66
temPozz G65	62,90	29,20	1,85	3,66	0,22	0,41	0,00	0,05	1,48

Diseño de mezcla para
geopolímero base Arcillas
calcinadas

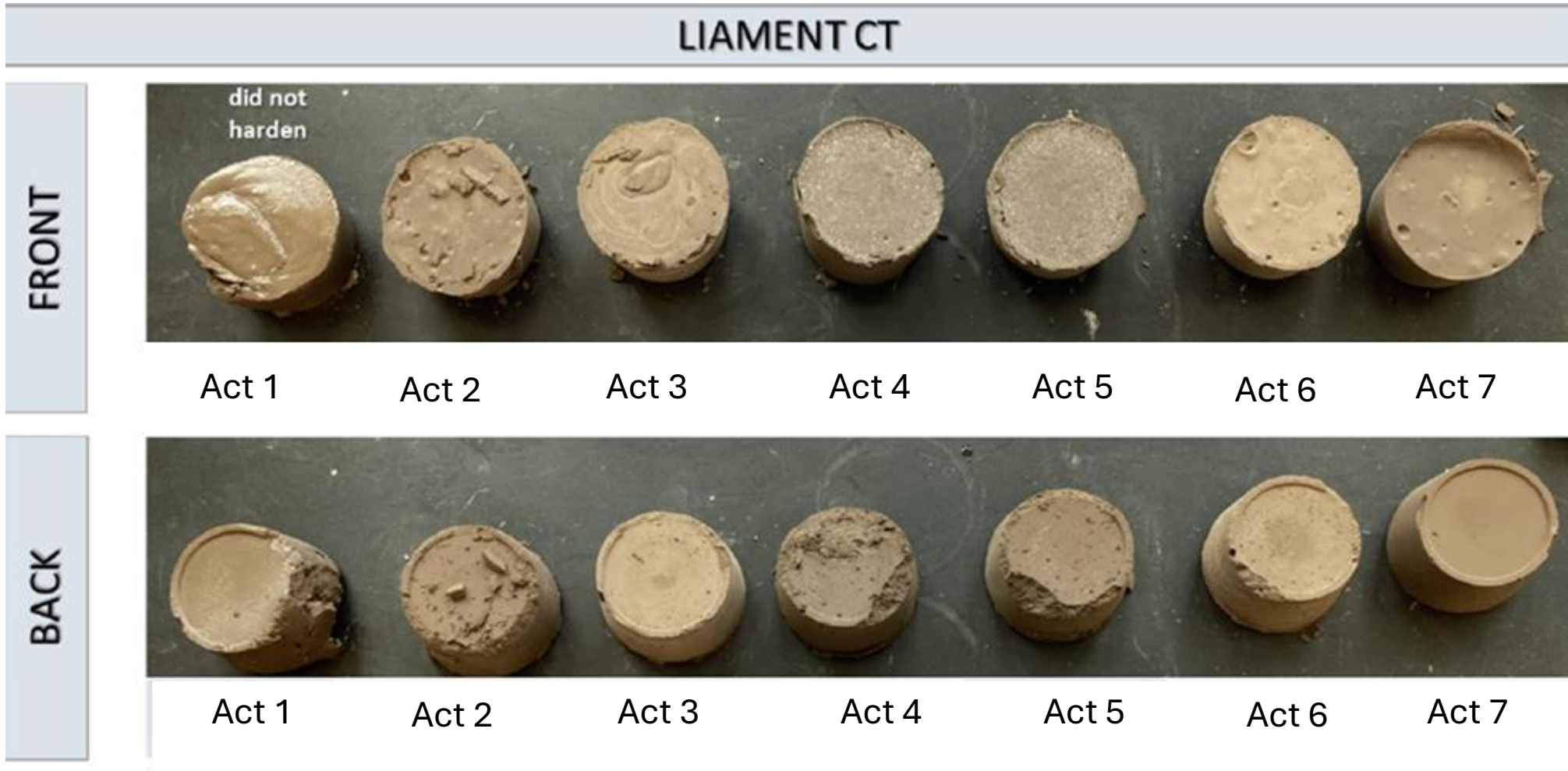
200 g calcined clay
2-15% Activator
w/b 0,55 – 0,62

Diseño de mezcla para
geopolímero base Arcillas
calcinadas

Mortar formulation very
similar to a normalized
mortar acc. to EN 480-1

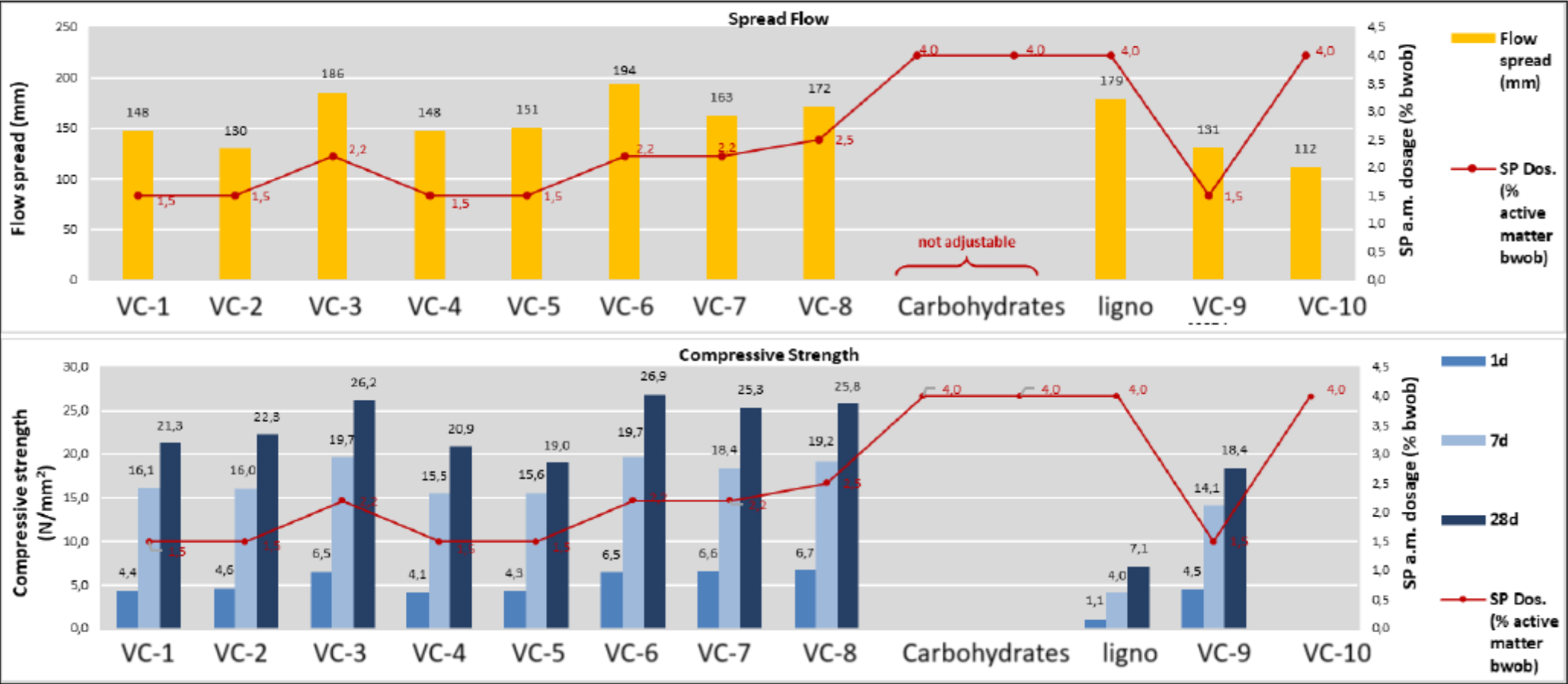
PRUEBAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA OBTENER GEOPOLÍMEROS

CARACTERIZACION



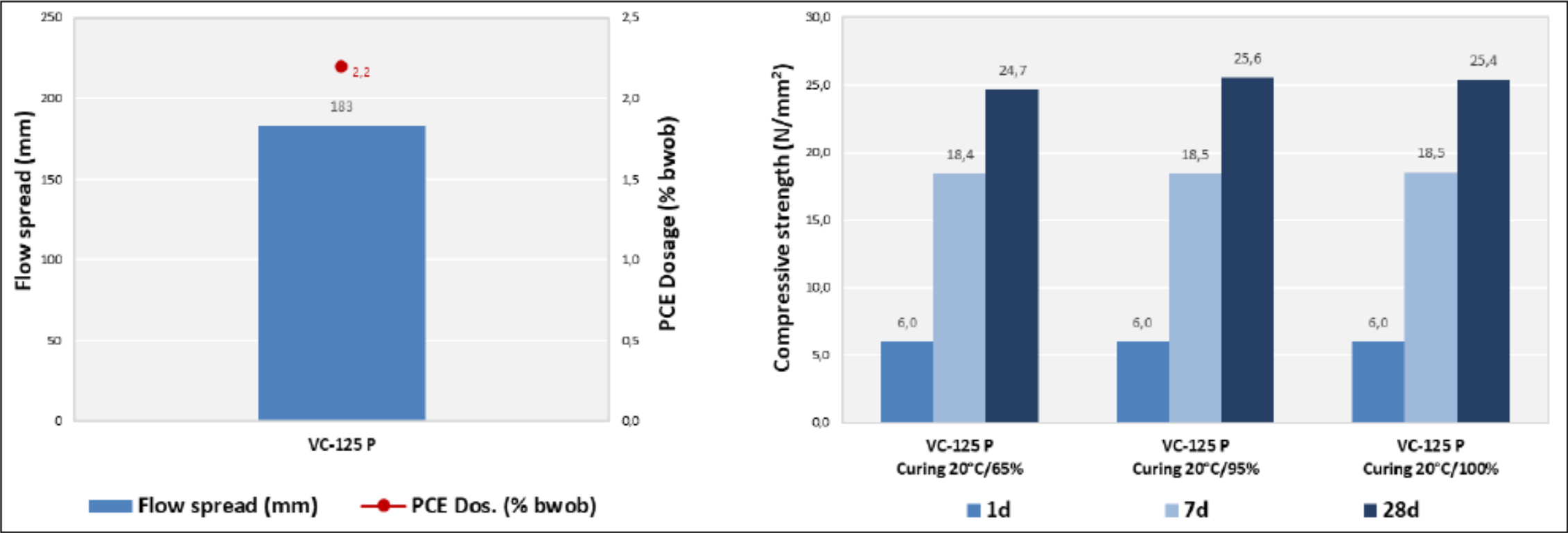
PRUEBAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA OBTENER GEOPOLÍMEROS

CARACTERIZACION AGRICAL M1000



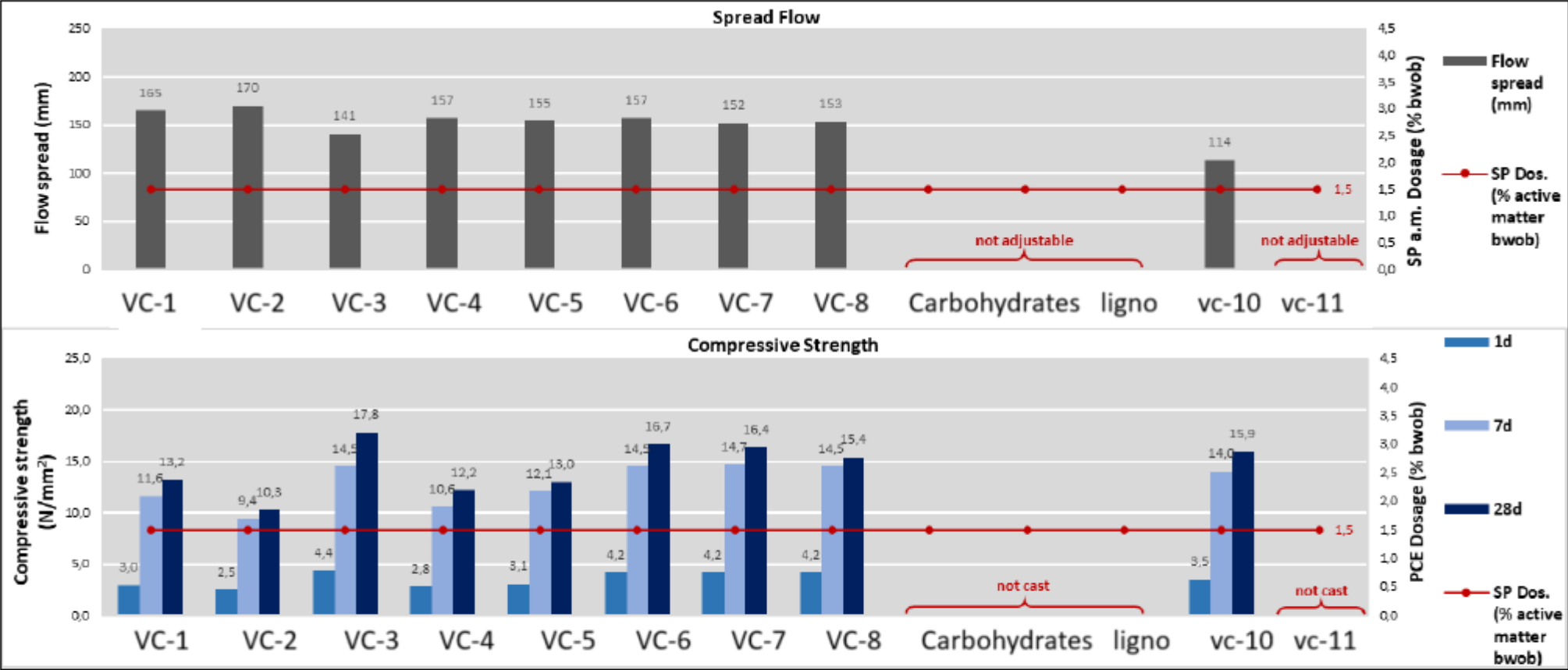
PRUEBAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA OBTENER GEOPOLÍMEROS

CARACTERIZACION AGRICAL M1000



PRUEBAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA OBTENER GEOPOLÍMEROS

CARACTERIZACION CRM-INTRANSA



ARGOS - SIKA 2025

JUNTOS
ES POSIBLE



CONSTRUYENDO CONFIANZA



ARGOS - SIKA 2025

JUNTOS
ES POSIBLE