

**INFORME SOBRE COMPOSICIÓN
QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE
SUELOS ESTABILIZADAS CON
STABILE-SC4 (NAVES KEYTER
INTARCON, LUCENA)**

METODOLOGÍA

Se ha realizado un análisis de fluorescencia de RX para determinar la composición química de los suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de conglomerante Stabile-SC4. Así mismo, se ha realizado una determinación mediante difracción de RX para caracterizar la composición química de dichas muestras. Las muestras son las siguientes:

OBRA: NAVES KEYTER INTARCON LUCENA				
Las muestras analizadas son probetas que han sido sometidas al ensayo de hinchamiento acelerado (UNE-EN 13286-49)				
CATA	HRB	DOSIFICACION %	EXPANSIÓN VOLUMETRICA (HINCHAMIENTO ACCELERADO) %	Denominación muestra
1	i.tech STABILE SC-4	3	5.5	C1-3% P2
3	i.tech STABILE SC-4	1	14.2	C3-1% M
		3	6.3	C3-3% P1
		4	4.6	C3-4% B
4	i.tech STABILE SC-4	3	1.3	C4-3% MB

La **fluorescencia de RX (FRX)** es una técnica analítica que se basa en la medida de las intensidades que, posteriormente y con la ayuda de curvas de calibración, son transformadas en concentraciones de los diferentes elementos químicos. Un equipo de FRX consta de una fuente de excitación (generalmente un tubo de RX) que hace llegar a la muestra una banda de longitudes de onda compuesta por el espectro continuo de las radiaciones características del elemento que se compone el tubo. Esta banda de longitudes de onda produce en la muestra una radiación de fluorescencia primaria, debido a la interacción de las radiaciones de excitación con los elementos que componen la muestra emitiéndose un haz de RX que puede ser medido con un sistema de detección adecuado. El aparato utilizado para estos análisis es el siguiente:

Espectrómetro de fluorescencia de RX por dispersión de longitud de onda, modelo S4 PIONEER, marca BRUKER
Tubo de Rh (60 kV, 150 mA)
Detectores: proporcional de gas, y de centelleo
Límite de detección: de 0.1 a 10 ppm

El sistema de análisis realizado es el siguiente:

Análisis MultiResVac34:

Espectro de barrido semicuantitativo (sin standards)

Medida en vacío

Máscara de colimador 34mm

Muestra en rotación

Cristales: LiF200, PET, OVO-55

72 Elementos a medir: (de C a U, exceptuando N, Tc, Rh, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Pm, Pa, y los gases nobles)

La preparación de pastillas (pressed pellets) se realiza mediante la mezcla de 5 gr de material muestra y 0.5 gr de cera aglutinante. La homogenización se hace en un mortero de ágata. Finalmente la muestra se prensa a 90 bares sobre base de ácido bórico.

Por último, se ha calcinado una proporción de la muestra para obtener la pérdida por calcinación. Esta pérdida por calcinación, obtenida en porcentaje en peso, se debe a la presencia de H₂O y CO₂ en la muestras.

El **ensayo de difracción de RX (DRX)** está normalizado según la UNE-EN 13925-3. Se ha preparado un agregado en polvo de la muestra mediante molienda. La muestra se ha disuelto en agua y tras dicho agregado ha sido introducido en el aparato de DRX (tras una pastilla de cuarzo que ha permitido calibrarlo) y se le ha sometido a un barrido de 2°/minuto, a una longitud de onda de 1.5405 entre un ángulo 2 θ de 2 a 60°. El método de DRX tiene carácter semicuantitativo aunque la cuantificación se ha realizado con el programa X Powder que tiene en consideración múltiples iteraciones de modelos de mezcla para ajustar estas mezclas con el difractograma real. El error de esta cuantificación es el mínimo que se puede producir en la actualidad para la interpretación mediante DRX. Los minerales que pueden ser detectados en el difractograma deben tener una proporción relativa en la muestra superior al 2%.



COMPOSICIÓN QUÍMICA (FLUORESCENCIA DE RX)

Muestra	C3-3% P1	C1-3%P2	C3-1%M	C3-4%B	C4-3%MB
SiO ₂ (%)	30,85	43,25	30,33	30,40	30,32
Al ₂ O ₃ (%)	9,99	8,93	9,64	9,70	8,53
Fe ₂ O ₃ (%)	3,66	3,71	3,81	3,69	3,49
MnO (%)	0,05	0,05	0,08	0,06	0,06
MgO (%)	1,95	1,56	1,74	1,77	1,40
CaO (%)	23,35	16,89	23,69	23,35	25,16
Na ₂ O (%)	0,33	0,24	0,31	0,30	0,19
K ₂ O (%)	1,72	1,53	1,76	1,70	1,44
TiO ₂ (%)	0,51	0,48	0,53	0,51	0,47
P ₂ O ₅ (%)	0,15	0,13	0,15	0,14	0,12
F (PPM)	0	0	0	0	0
S (PPM)	536	285	304	736	344
Cl (PPM)	457	135	677	175	41
Sc (PPM)	0	0	0	0	0
V (PPM)	0	0	0	0	0
Cr (PPM)	156	158	163	176	101
Co (PPM)	0	0	0	0	0
Ni (PPM)	49	56	64	53	46
Cu (PPM)	55	63	64	59	62
Zn (PPM)	99	105	96	113	102
Ga (PPM)	9	12	15	18	10
Ge (PPM)	0	0	0	0	0
As (PPM)	0	0	0	0	0
Se (PPM)	0	0	0	0	0
Br (PPM)	0	5	0	4	0
Rb (PPM)	68	65	73	68	61
Sr (PPM)	679	500	741	679	530
Y (PPM)	14	15	17	15	16
Zr (PPM)	135	117	141	130	117
Nb (PPM)	9	0	10	12	9
Mo (PPM)	0	0	0	0	0
Pd (PPM)	0	0	0	0	0
Ag (PPM)	0	0	0	0	0
Cd (PPM)	0	0	0	0	0
In (PPM)	0	0	0	0	0
Sn (PPM)	0	0	0	0	0
Sb (PPM)	0	0	0	0	0
Te (PPM)	0	0	0	0	0
I (PPM)	0	0	0	0	0
Cs (PPM)	0	0	0	0	0



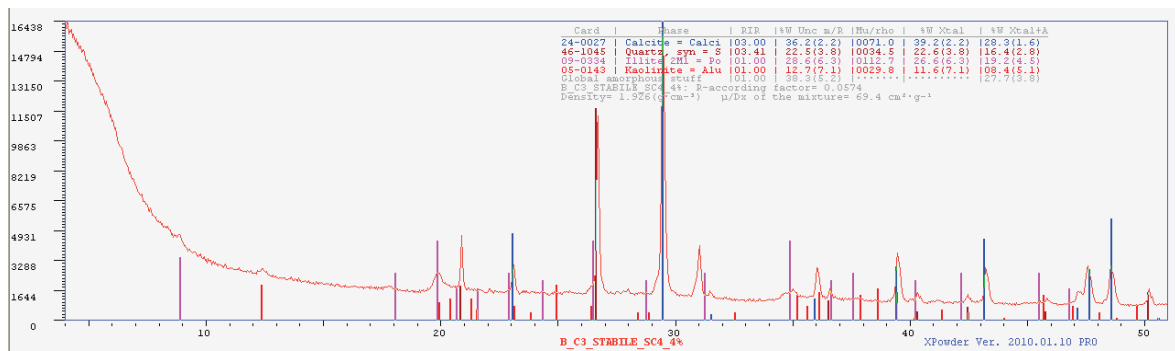
Ba (PPM)	222	228	218	232	185
La (PPM)	0	0	0	0	0
Hf (PPM)	0	0	0	0	0
Ta (PPM)	0	0	0	0	0
W (PPM)	0	0	0	0	0
Pb (PPM)	0	0	0	0	0
Bi (PPM)	0	0	0	0	0
Th (PPM)	0	0	0	0	0
U (PPM)	0	0	0	0	0
H2O+CO2 (%)	27,10	23,00	27,60	28,00	28,60



COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (DIFRACCIÓN DE RX)

MUESTRA B_C3_STABILE_SC4_4%

La muestra contiene calcita, cuarzo, illita y caolinita.



Las proporciones en las que aparecen estos minerales en la muestra total son las siguientes (los porcentajes de la columna de la derecha se le han aplicado todas las correcciones):

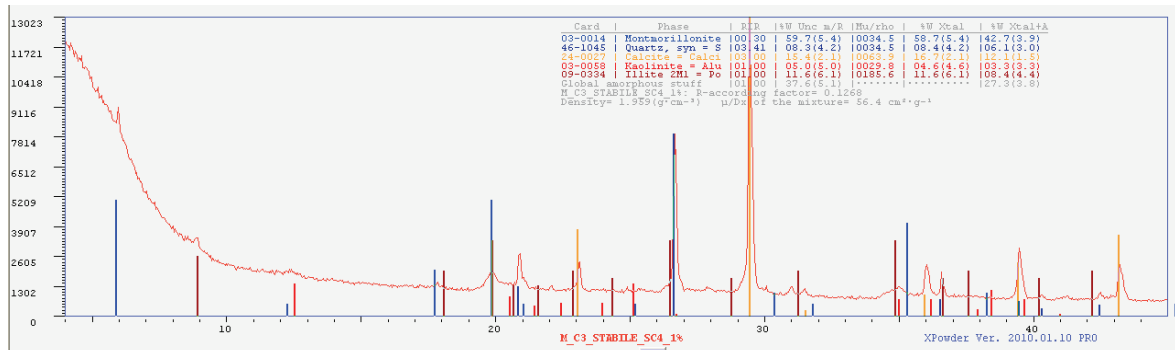
Card	Phase	RIR	%W Unc m/R	Mu/rho	%W Xtal	%W Xtal+A
24-0027	Calcite = Calci	03.00	36.2(2.2)	00071.0	39.2(2.2)	28.3(1.6)
46-1045	Quartz, syn = S	03.41	22.5(3.8)	00034.5	22.6(3.8)	16.4(2.8)
09-0334	Illite, 2M1 = Po	01.00	28.6(6.3)	0112.7	26.6(6.3)	19.2(4.5)
05-0143	Kaolinite = Alu	01.00	12.7(7.1)	00029.8	11.6(7.1)	08.4(5.1)
Global amorphous stuff		01.00	38.3(5.2)	*****	*****	27.7(3.8)

B_C3_STABILE_SC4_4%: R-according factor= 0.0574
Density= 1.926(g⁻³cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 69.4 cm²·g⁻¹



MUESTRA M_C3_STABILE_SC4_1%

La muestra contiene montmorillonita, calcita, cuarzo, illita y caolinita.



Las proporciones en las que aparecen estos minerales en la muestra total son las siguientes (los porcentajes de la columna de la derecha se le han aplicado todas las correcciones):

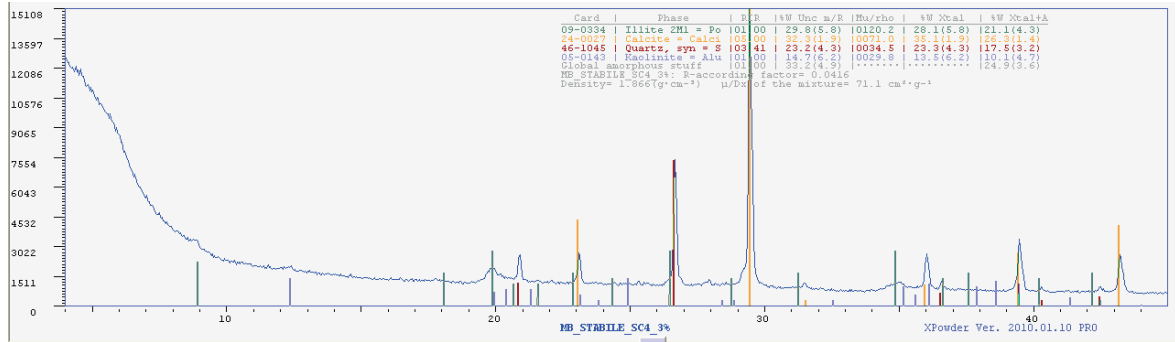
Card	Phase	RIR	%W Unc m/R	Mu/rho	%W Xtal	%W Xtal+A
03-0014	Montmorillonite	00 30	59.7(5.4)	0034.5	58.7(5.4)	42.7(3.9)
46-1045	Quartz, syn = S	03 41	08.3(4.2)	0034.5	08.4(4.2)	06.1(3.0)
24-0027	Calcite = Calci	03 00	15.4(2.1)	0063.9	16.7(2.1)	12.1(1.5)
03-0058	Kaolinite = Alu	01 00	05.0(5.0)	0029.8	04.6(4.6)	03.3(3.3)
09-0334	Illite 2M1 = Po	01 00	11.6(6.1)	0185.6	11.6(6.1)	08.4(4.4)
Global amorphous stuff		01 00	37.6(5.1)	.....	.....	27.3(3.8)

M_C3_STABILE_SC4_1%: R-according factor= 0.1268
Density= 1.959(g⁻³) μ/Dx of the mixture= 56.4 cm²·g⁻¹



MUESTRA MB_STABILE_SC4_3%

La muestra contiene calcita, cuarzo, illita y caolinita.



Las proporciones en las que aparecen estos minerales en la muestra total son las siguientes (los porcentajes de la columna de la derecha se le han aplicado todas las correcciones):

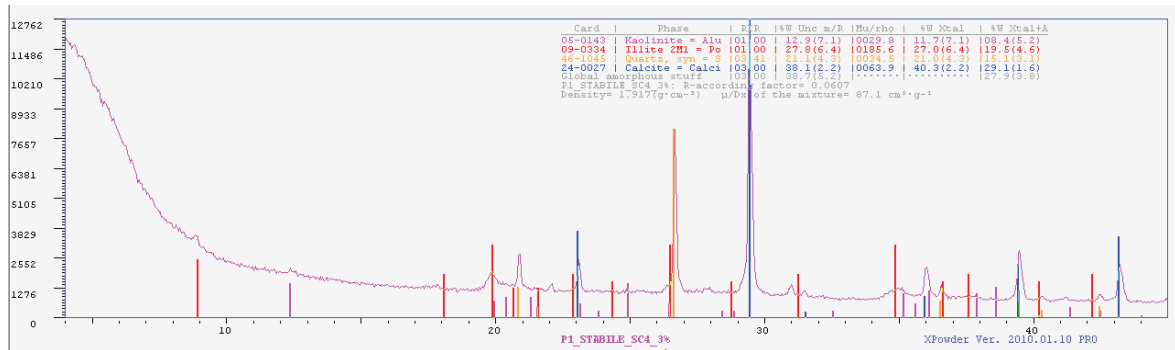
Card	Phase	RIR	%W Unc	m/R	Mu/rho	%W Xtal	%W Xtal+A
09-0334	Illite 2M1 = Po	01.00	29.8	(5.8)	0120.2	28.1	(5.8) | 21.1(4.3)
24-0027	Calcite = Calci	05.00	32.3	(1.9)	0071.0	35.1	(1.9) | 26.3(1.4)
46-1045	Quartz, syn = S	03.41	23.2	(4.3)	0034.5	23.3	(4.3) | 17.5(3.2)
05-0143	Kaolinite = Alu	01.00	14.7	(6.2)	0029.8	13.5	(6.2) | 10.1(4.7)
Global amorphous stuff		01.00	33.2	(4.9)	.....	.....	| 24.9(3.6)

MB_STABILE_SC4_3%: R-according factor= 0.0416
Density= 1.866(g·cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 71.1 cm²·g⁻¹



MUESTRA P1_STABILE_SC4_3%

La muestra contiene calcita, cuarzo, illita y caolinita.



Las proporciones en las que aparecen estos minerales en la muestra total son las siguientes (los porcentajes de la columna de la derecha se le han aplicado todas las correcciones):

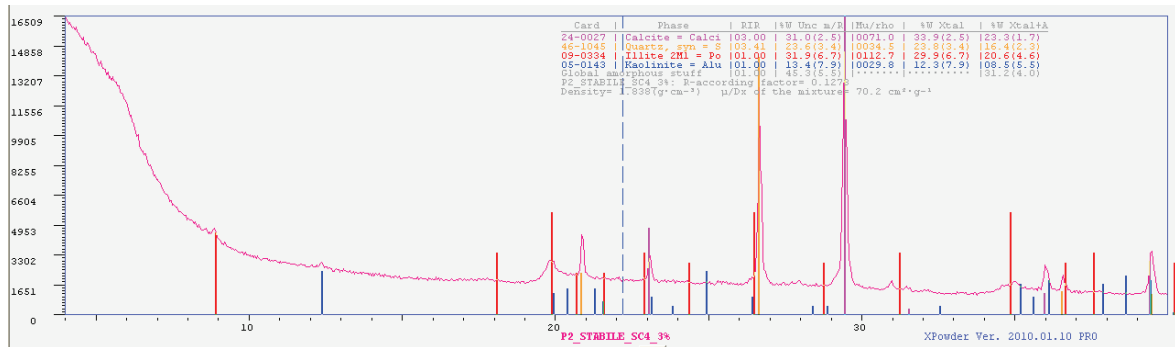
Card	Phase	RIR	%W Unc m/R	Mu/rho	%W Xtal	%W Xtal+A
05-0143	Kaolinite = Alu	01 00	12.9(7.1)	0029.8	11.7(7.1)	08.4(5.2)
09-0334	Illite 2M1 = Po	01 00	27.8(6.4)	0185.6	27.0(6.4)	19.5(4.6)
46-1045	Quartz, syn = S	03 41	21.1(4.3)	0034.5	21.0(4.3)	15.1(3.1)
24-0027	Calcite = Calci	03 00	38.1(2.2)	0063.9	40.3(2.2)	29.1(1.6)
	Global amorphous stuff	03 00	38.7(5.2)	.....	.....	27.9(3.8)

P1_STABILE_SC4_3%: R-according factor= 0.0607
Density= 1.917(g·cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 87.1 cm²·g⁻¹



MUESTRA P2_STABILE_SC4_4%

La muestra contiene calcita, cuarzo, illita y caolinita.



Las proporciones en las que aparecen estos minerales en la muestra total son las siguientes (los porcentajes de la columna de la derecha se le han aplicado todas las correcciones):

Card	Phase	RIR	%W Unc m/R	Mu/rho	%W Xtal	%W Xtal+A
24-0027	Calcite = Calci	03.00	31.0(2.5)	00071.0	33.9(2.5)	23.3(1.7)
46-1045	Quartz, syn = S	03.41	23.6(3.4)	00034.5	23.8(3.4)	16.4(2.3)
09-0334	Illite 2M1 = Po	01.00	31.9(6.7)	0112.7	29.9(6.7)	20.6(4.6)
05-0143	Kaolinite = Alu	01.00	13.4(7.9)	0029.8	12.3(7.9)	08.5(5.5)
	Global amorphous stuff	01.00	45.3(5.5)	.....	.....	31.2(4.0)

P2_STABILE_SC4_3%: R-according factor= 0.1273
Density= 1.838(g·cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 70.2 cm²·g⁻¹



CONCLUSIONES

- Todas las muestras contienen cantidades muy significativas de **carbonato cálcico (calcita) y cuarzo**.
- Todas las muestras contienen **arcillas** de carácter illítico y caolinítico que **NO** tienen carácter expansivo.
- La muestra estabilizada con el conglomerante Stabile-SC4 en una **dosificación del 1%** contiene una cantidad significativa de **montmorillonita (arcilla expansiva)**, lo que **justifica los resultados obtenidos en el ensayo de hinchamiento acelerado**.
- La **dosificación del 3% y del 4%** con el conglomerante Stabile-SC4 **elimina la fracción de arcilla montmorillonítica** de la muestra reduciendo drásticamente su carácter expansivo.

Granada, 13 de Septiembre de 2022

José Miguel Azañón Hernández
Catedrático de Universidad
Dpto. de Geodinámica