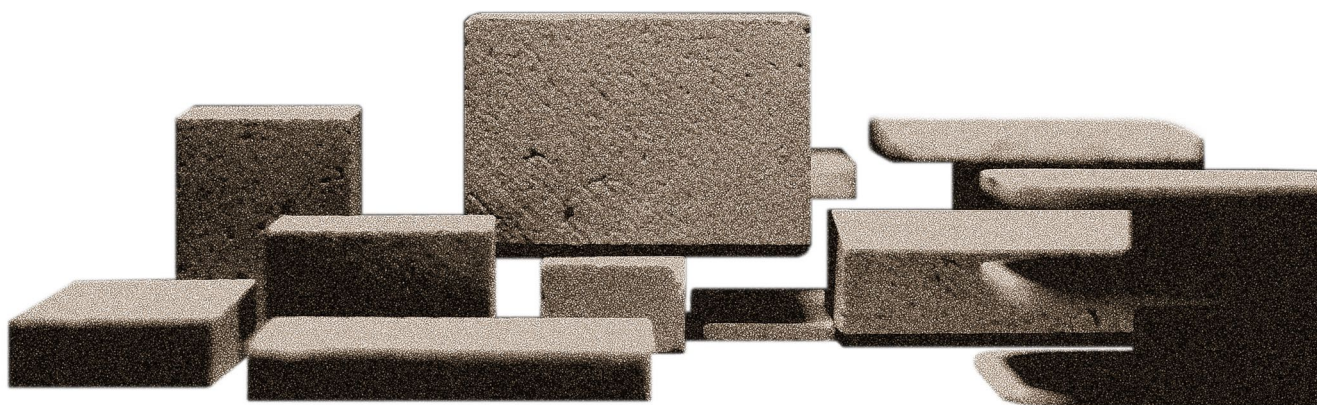


ESTUDIO EXPERIMENTAL DE GEOPOLÍMEROS DE ARCILLAS

en función de la resistencia mecánica



JUAN CARLOS CALDERÓN PEÑAFIEL

Anexos

ANEXOS		195
Anexo 1.0 “Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks”		197
Anexo 2.0 “Materiales de arcilla geo-polimerizada: Tecnologías para la arquitectura del futuro”		215
Anexo 3.0 “La tierra: un material compuesto”		220
Anexos de la campaña experimental		
Anexo 4.0	Descripción de análisis y ensayos	238
Anexo 5.0	Procedimientos experimentales y equipos	247
Anexo 6.6.1.1	Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico de arcilla Tipo A	250
Anexo 6.6.1.2	Información suministrada por el distribuidor de arcilla Tipo A	251
Anexo 6.6.1.3	Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo A	252
Anexo 6.6.1.6	Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo A	256
Anexo 6.6.1.7	Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo A	259
Anexo 6.6.2.1	Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico de arcilla Tipo B	263
Anexo 6.6.2.2	Información suministrada por el distribuidor de arcilla Tipo B	264
Anexo 6.6.2.3	Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo B	265
Anexo 6.6.2.6	Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo B	269
Anexo 6.6.2.7	Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo B	272
Anexo 6.6.3.1	Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico de arcilla Tipo C	274
Anexo 6.6.3.2	Información suministrada por el distribuidor de arcilla Tipo C	275
Anexo 6.6.3.3	Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo C	276
Anexo 6.6.3.6	Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo C	280
Anexo 6.6.3.7	Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo C	283
Anexo 6.6.4.1	Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico arcilla Tipo D	285
Anexo 6.6.4.2	Información suministrada por el distribuidor de arcilla Tipo D	286
Anexo 6.6.4.3	Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo D	287
Anexo 6.6.4.6	Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo D	291
Anexo 6.6.4.7	Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo D	294
Anexo 6.7.1	Diseño de experimentos	296
Anexo 6.9.1	Resistencia a la compresión y flexión: Campaña experimental A (GEO-A)	310
Anexo 6.9.2	Resistencia a la compresión y flexión: Campaña experimental B (GEO-B)	312
Anexo 6.9.3	Resistencia a la compresión y flexión: Campaña experimental C (GEO-C)	313
Anexo 6.9.4	Resistencia a la compresión y flexión: Campaña experimental D (GEO-D)	316
Anexo 6.9.5	Resistencia a la compresión y flexión: Campaña experimental E (GEO-E)	317
Anexo 6.9.6	Resistencia a la compresión y flexión: Ensayos complementarios	319
Anexo 6.12.1	Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla	330
Anexo 6.12.2	Análisis termogravimétrico ATG de geo-polímeros a base de arcilla	339
Anexo 6.12.3	Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla	344
Anexo 6.12.4	Análisis de porosimetría por inyección de mercurio de geo-polímeros a base de arcilla	360
Anexo 6.12.6	Determinación de la absorción de agua por capilaridad de geo-polímeros a base de arcilla	364
Anexo 6.12.7	Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla	370
Anexo 6.12.8	Determinación del módulo de elasticidad dinámico MOE de geo-polímeros a base de arcilla	382

Anexo 1.0 "Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks".

Artículo sobre la optimización de la resistencia a compresión y el impacto ambiental de bloques experimentales de arcilla polimerizada, presentado a la revista "Construction & Building Materials".

Elsevier Editorial System(tm) for
Construction & Building Materials
Manuscript Draft

Manuscript Number: CONBUILDMAT-D-18-08444

Title: Compressive strength and embodied environmental impact of
experimental polymerized-clay bricks

Article Type: Research Paper

Keywords: Geopolymers; polymerized-clay bricks; clay; clay bricks;
alkaline activation; NaOH; aluminosilicates; embodied environmental
impact; life cycle assessment; compressive strength

Corresponding Author: Mr. JUAN CARLOS CALDERON PEÑAFIEL,

Corresponding Author's Institution: Universitat Politècnica de Catalunya

First Author: JUAN CARLOS CALDERON PEÑAFIEL

Order of Authors: JUAN CARLOS CALDERON PEÑAFIEL; Mariana Palumbo, Ph.D;
Alba Torres Rivas, Ph.D Student; Dieter Boer, Ph.D; Joan Ramon Rosell,
Ph.D

Abstract: The aim of this investigation was to evaluate the simple
compressive strength and the embodied environmental impact of
polymerized-clay bricks manufactured with experimental procedures similar
to geopolymerization, comparing them with common ceramic bricks and
compressed earth blocks (CEB). Commercial raw clay containing 49% by
weight of kaolinite and an alkaline activator based on NaOH and Na₂SiO₃
was used with curing temperatures of 80 to 120 °C for 2 to 24 hours.
Experimental polymerized-clay bricks, with the appropriate formulation,
reached compressive strengths greater than 20 MPa with an 80-90%
reduction of environmental impact compared with common ceramic bricks.

Suggested Reviewers: Ignacio Zabalza Bribián
Centre of Research for Energy Resources and Consumption
izabal@unizar.es

Ahmed Jelidi
Laboratoire de Génie Civil, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis,
Université de Tunis El Manar
ahmed.jelidi@tunet.tn

Lorenzo Miccoli
BAM Federal Institute for Materials Research and Testing
lorenzo.miccoli@bam.de

Adamah Messan
Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
adamah.messan@2ie-edu.org

Taha Ashour
Benha University
taha.ashour@fagr.bu.edu.eg

Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks

JC Calderon-Peñañiel (a,b*), A Torres-Rivas (c), M Palumbo (c), D Boer (d), JR Rosell (a,b)

a Departament de Tecnologia de l'Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Campus Sud, Av. Diagonal, 649, 08028 Barcelona, Spain.
b Laboratori de materials- EPSEB, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Campus Sud, Av. Doctor Marañón, 44-50, 08028 Barcelona, Spain.
c Departament d'Enginyeria Química, Universitat Rovira i Virgili, Av. Paisos Catalans 26, Tarragona, Spain
d Departament d'Enginyeria Mecànica, Universitat Rovira i Virgili, Av. Paisos Catalans 26, Tarragona, Spain

Abstract:

The aim of this investigation was to evaluate the simple compressive strength and the embodied environmental impact of polymerized-clay bricks manufactured with experimental procedures similar to geopolymerization, comparing them with common ceramic bricks and compressed earth blocks (CEB). Commercial raw clay containing 49% by weight of kaolinite and an alkaline activator based on NaOH and Na₂SiO₃ was used with curing temperatures of 80 to 120 °C for 2 to 24 hours. Experimental polymerized-clay bricks, with the appropriate formulation, reached compressive strengths greater than 20 MPa with an 80-90% reduction of environmental impact compared with common ceramic bricks.

Highlights

- Na₂SiO₃ is not essential to ensure compressive strength of polymerized-clay bricks
- Exposure time to temperature had the biggest influence in the compressive strength
- Experimental clay bricks can achieve a compressive strength greater than 20 MPa
- Experimental clay bricks show better environmental qualities than ceramic bricks

Keywords:

Geopolymers, polymerized-clay bricks, clay, clay bricks, alkaline activation, NaOH, aluminosilicates, embodied environmental impact, life cycle assessment, compressive strength

1. Introduction.

Energy is the main resource for the manufacturing of modern materials. For centuries, natural raw materials have been transformed into processed products to build, investing increasing amounts of energy (*Figure 1*) and producing greater environmental impacts.

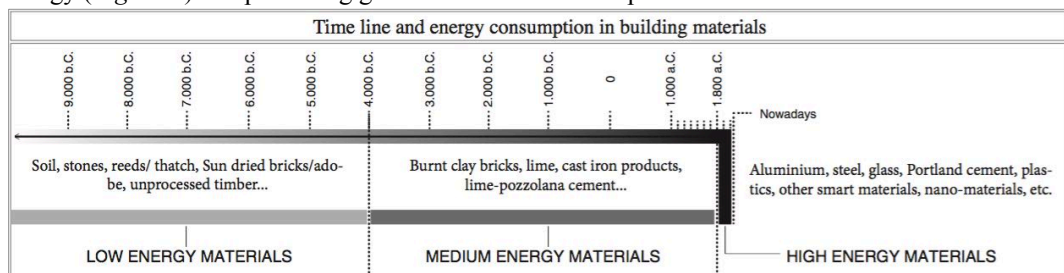


Figure 1. Timeline and energy consumption in building materials (data by Venkatarama ⁽¹⁾)

Nowadays the activity in the construction sector represents a serious threat to the environment. It consumes most of the natural resources and is responsible for 30% of carbon dioxide emissions ^[2 - 3 - 4 - 5]. From their construction to their demolition, buildings consume 40% of the energy produced worldwide ^[6 - 7]. For the reduction of the grey energy in buildings, it is important to reduce not only the operational energy demand but also its embodied energy, by accurately choosing the construction materials ^[8 - 9 - 10].

* Corresponding author. Email addresses: juan.carlos.calderon@upc.edu (J.C. Calderón-Peñañiel).

The growing emphasis on the conservation and protection of the environment has boosted the search for low environmental impact alternatives to replace the currently mainstream materials^[11]. Portland cement, which together with steel revolutionized the building culture of the 20th century^[12], is probably the most paradigmatic example. Currently Portland-cement-based concrete is the most widely used material on the planet^[13], with a consumption of 1m³ per person per year^[14]. Portland cement is produced primarily from a mixture of limestone (80%) and clay (20%) calcined to temperatures around 550 - 700°C at 1450°C for 1 to 6 hours (depending on the oven) and then ground into fine particles. The resulting product, so-called clinker, may be mixed with aggregates and other materials to form composites such as concrete or mortar and are often further mixed with additives to enhance or modify its performance^[15]. The production of 1 ton of Portland cement generates a total of 0.94 tons of CO₂^[16 - 17] (that is, almost one ton of CO₂ per ton of cement). Globally, nearly 3 Gt of Portland cement are produced yearly, and this figure is expected to be doubled by 2056^[18].

Compressive strength is one of the most important mechanical properties of construction materials^[19]. Therefore, the challenge has been (and still is) to develop a building material that can compete with the most used construction materials in its (mechanical and other) properties, but at a lower environmental cost. In this regard, geopolymers emerged as a possible alternative to conventional construction materials^[20 - 21], as they offer outstanding resistant characteristics, with lower embodied energy^[22 - 23 - 24].

This study focuses on the evaluation of the simple compressive strength and the embodied environmental impact of polymerized-clay bricks manufactured by experimental procedures analogous to geopolymerization. Geopolymerization is the term used to refer to the chemical reaction that occurs when mixing aluminosilicates with concentrated alkaline (or less commonly with acid) “activators”, usually hydroxides and alkaline silicates. This chemical reaction creates a new molecular network, forming materials called ‘geopolymers’^[25 - 26].

For the manufacturing of geopolymers, aluminosilicates (raw materials rich in Al₂O₃ and SiO₂)^[27] are used. These materials play an important role as sources of Al³⁺ and Si⁴⁺ ions, for which is preferable that they are composed of more than 70% alumina and silica in a reactive amorphous phase^[28].

Several precursor materials have been used as sources of alumina and silica ions in geopolymers, which affect their final properties. The most commonly used to date are fly ash^[29 - 30 - 31], blast furnace slag^[32 - 33 - 34], metakaolin^[35 - 36 - 37] and other raw materials rich in highly reactive aluminosilicates^[38 - 39 - 40]. The geopolymers manufactured from these precursor materials generally have outstanding mechanical performance and have been issued of most of the investigations to date, including some works focusing on the analysis of their environmental impact^[41 - 42].

Further studies have investigated the possibility of using other sources of aluminosilicates. Clay is one of such alternative sources. In most cases, clay is subjected to a previous process of thermal alteration that amplifies the natural reactive characteristics of the material. This is the case of metakaolin (kaolin calcined to temperatures around 550 - 700°C)^[43 - 44 - 45]. It has also been proved that pozzolanic soils can be treated with alkaline solutions to form similar materials to metakaolin-based geopolymers, due to the high temperatures at which the raw materials were exposed in volcanic activity^[46].

Studies on geopolymerization of natural non-calcined clay are scarce because the aluminosilicates in raw clays are less reactive than in calcined ones^[47]. Nonetheless, the high availability of clay justifies its study as a source of aluminosilicates in geopolymers.

Previous investigations on “alkaline activation” of clay mainly focused on the characterization of materials activated by alkali; the comparative influence of the concentration of NaOH and KOH solutions on the early age characteristics of kaolin-based geopolymers; the influence of curing temperature; the stoichiometry of the reaction of alkali-activation of kaolinite; the importance of specific surface area in the geopolymerization of heated illitic clay; among other aspects affecting the polymerization process [48 - 49 - 50 - 51 - 52 - 53]. In none of these investigations the embodied impact of the precursor materials was considered in the design and selection of formulations and manufacturing methods.

This research focuses on the evaluation of the environmental impact caused by the manufacture of experimental polymerized-clay bricks developed in the *Laboratori de materials, Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)*, using compressive strength as a functional unit. Bi-objective optimization is used for the ulterior selection of those formulations that simultaneously present higher compressive strength and lower environmental impact, which are compared with commonly used clay building materials such as ceramic bricks and compressed earth blocks (CEB).

2. Materials and methodology

2.1 Materials

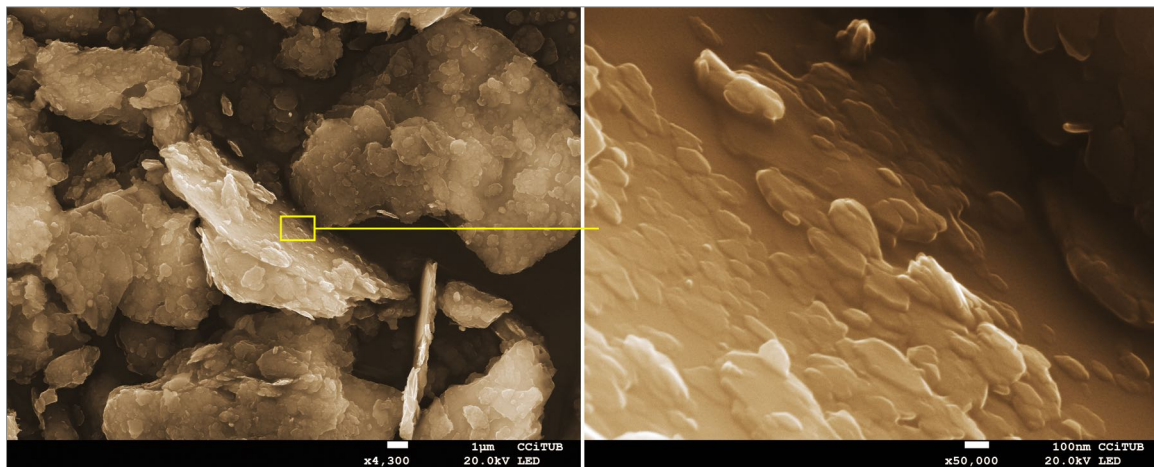


Figure 2. SEM micrographs of Clay

Trade clay (Clay *BEIG PEN / F* supplied by *Argiles Colades S.A.*, from *La Bisbal d'Empordà*, Girona - Spain) was used as a base material, both as the main binder in mixtures and as a precursor source of inorganic aluminosilicates. The chemical and mineral compositions of the clay were provided by the distributor and are shown in *Table 1* and *Table 2* respectively. The particle size was equal to or less than 125µm according to the supplier's data. *Figure 2* shows the layered structure of kaolin with a smaller surface area than the spherical particles of fly ash but with nanometric particles susceptible to geopolymerization [54].

Table 1. Chemical composition of clay. Data provided by the supplier (elementary analysis, expressed in %).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	PPC	K ₂ O	CaO	MgO
56.53	23.32	10.39	8.40	0,64	0.40	0.31

Table 2. Mineralogical composition of clay. Data provided by the supplier (elementary analysis, expressed in %)

Kaolinite	Quartz	Hematite	Feldspar K	Plagioclase
49.00	42.00	6.00	2.00	1.00

Figure 3 shows the result of the particle size analysis by laser diffraction (ADL). 9.808 μm is the median mass diameter (MMD) or the median volume distribution. The particle size below which 10% of the sample is found is 1,761 μm . The particle size below which 90% of the sample is found is 52.524 μm . The weighted average by volume or the mass moment average is 21.585 μm .

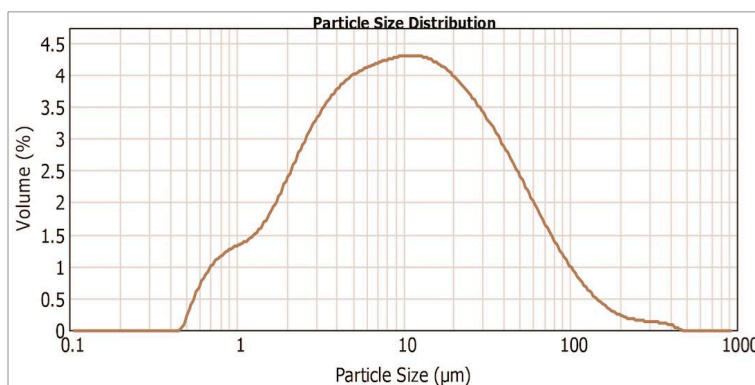


Figure 3. Particle size analysis (ADL)

Trade sand (Siliceous sand –Standard– L-105115, supplied by *Àrids per a la Indústria i la Depuració*, S.L., Barcelona) was used as filler. It was used to improve the workability of the mixtures and as an indirect silica source. According to the supplier, its SiO_2 content was $\geq 98.5\%$ SiO_2 and its particle size smaller than 250 μm .

An alkaline solution was used for the polymerization. Alkaline activators act as a catalyst and the metal cation serves to form a structural element and balance the negative frame carried by the tetrahedral aluminum. The initial reaction mechanism is driven by the ability of the alkaline solution to dissolve the base material and release the silicon and reactive aluminum in the solution.

The alkaline solution was prepared using deionized water (electrical conductivity $\sigma = 5.49 \text{ uSm}^{-1}$), granules of sodium hydroxide NaOH and, in some cases, sodium silicate.

2.2. Preparation of the samples

An alkaline solution NaOH was prepared by dissolving granules of NaOH in deionized water (molarity adjusted to each case to 5 M or 10 M). The solution was mixed for 5 minutes at 2000 rpm using a magnetic stirrer and then allowed to cool to room temperature for 24 hours in hermetic containers. In some mixtures, sodium silicate was added after cooling time by following the same procedure as described before.

To produce the mixtures the precursors of aluminosilicates (sand and clay) were mixed for 2 minutes at 140 rpm using an automatic mortar mixer. Then, the alkaline solution was added and the whole was mixed for five additional minutes at 285 rpm. The mixture was cast in 4x4x16cm stainless steel molds by pressing by hand and cured in the oven at a specific time and temperature indicated in each case (Curing). The mixtures were then removed from the oven, unmolded and allowed to cool.

After conditioning at 25°C and 60% relative humidity for 28 days (samples GEO A) and 14 days (rest of the samples), the specimens were tested under compression. The detailed experimental conditions and the identification of each sample are summarized in *Table 3*. All proportions refer to the amount of clay by weight.

“Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks”

Table 3. Factors and variables of the different samples

Sample	Clay	Sand	Water	NaOH	Molarity alkaline solution (M)	Na ₂ SiO ₃	Curing (°C)	(Hours)
Geo A-01	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.04	80	2
Geo A-02	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.04	80	2
Geo A-03	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.04	80	2
Geo A-04	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.04	80	2
Geo A-05	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.08	80	2
Geo A-06	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.09	80	2
Geo A-07	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.08	80	2
Geo A-08	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.09	80	2
Geo A-09	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.04	120	2
Geo A-10	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.04	120	2
Geo A-11	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.04	120	2
Geo A-12	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.04	120	2
Geo A-13	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.08	120	2
Geo A-14	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.09	120	2
Geo A-15	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.08	120	2
Geo A-16	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.09	120	2
Geo A-17	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.04	80	4
Geo A-18	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.04	80	4
Geo A-19	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.04	80	4
Geo A-20	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.04	80	4
Geo A-21	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.08	80	4
Geo A-22	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.09	80	4
Geo A-23	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.08	80	4
Geo A-24	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.09	80	4
Geo A-25	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.04	120	4
Geo A-26	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.04	120	4
Geo A-27	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.04	120	4
Geo A-28	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.04	120	4
Geo A-29	1.00	1.00	0.33	0.07	5	0.08	120	4
Geo A-30	1.00	1.00	0.37	0.07	5	0.09	120	4
Geo A-31	1.00	1.00	0.28	0.11	10	0.08	120	4
Geo A-32	1.00	1.00	0.31	0.13	10	0.09	120	4
GEO-B01	1.00	1.00	0.30	0.12	10	0.00	80	24
GEO-B02	1.00	1.00	0.30	0.06	5	0.00	80	24
GEO-B05	1.00	1.00	0.30	0.12	10	0.08	80	24
GEO-B06	1.00	1.00	0.30	0.06	5	0.07	80	24
P05-01	1.00	1.00	0.36	0.14	10	0.00	0	0
P05-02	1.00	1.00	0.36	0.14	10	0.00	110	4
P05-03	1.00	1.00	0.36	0.14	10	0.00	110	7
P05-04	1.00	1.00	0.36	0.14	10	0.00	110	24
P06-01	1.00	1.00	0.30	0.12	10	0.08	0	0
P06-02	1.00	1.00	0.30	0.12	10	0.08	110	4
P06-03	1.00	1.00	0.30	0.12	10	0.08	110	7
P06-04	1.00	1.00	0.30	0.12	10	0.08	110	24
P07-01	1.00	0.75	0.30	0.12	10	0.08	100	4
P07-02	1.00	1.00	0.30	0.12	10	0.08	100	4
P07-03	1.00	1.25	0.30	0.12	10	0.08	100	4
P07-04	1.00	1.50	0.30	0.12	10	0.08	100	4

2.3 Simple compressive strength.

For testing simple compressive strength, the standards *UNE-EN 196-1*, *UNE-EN 772-1*, *UNE-EN 12390-3*, *1015-11* and *UNE-EN 12390-4* were used as a reference. Six prismatic blocks of each sample (40 x 40 x 80 mm) were placed in-between two 40 x 40 mm support plates and compressed using a universal test machine according to *EN ISO 6507-1* and *EN 1015-11*. The load was increased progressively at a rate between 50 N/s and 500 N/s in such a way that rupture took place between 20 and 90 seconds after the beginning of the test. A 300 kN electromechanical automatic press with displacement, deformation and load control and the respective devices for the bending and compression test were used at the application of load. The maximum load reached by each specimen was recorded and the compressive strength of the material was calculated.

2.4. Embodied environmental impact

The embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks was evaluated using the life cycle assessment (LCA) methodology. The aim of the LCA was twofold. First, to evaluate which combination of the compositions and production processes tested in the laboratory, simultaneously had a better environmental and mechanical performance. Second, the evaluation of the environmental impacts associated to the production of the experimental bricks in comparison with similar existing building products made from clay, such as ceramic clay bricks and compressed earth blocks (CEB). Thus, the scope of the LCA analysis was limited to the production process, taking into account the impacts associated with the raw materials used in each case and to the energy consumed during the production process.

The energy consumed during the production process was estimated under the hypothesis that the experimental bricks were manufactured at an industrial scale. The main assumptions made are described in detail in sub-section 2.4.2. These are based on the industrial production of ceramic bricks, though adapted to the temperatures and times needed to cure the bricks at the laboratory. The *allocation at the point of substitution* system model in *Ecoinvent database 3.4* was used to determine the environmental impacts associated with the inventory. The results obtained are expressed using the *ReCiPe* weighting method (End Points).

2.4.1. Bi-objective optimization of the polymerized-clay bricks

For the accomplishment of the first objective of the LCA, the environmental impacts (points) and compressive strengths (MPa) of the formulations were plotted together. In such a plot, the optimal solutions conform the Pareto front below, which no solution exists that simultaneously improves both objectives. In other words, each point in the Pareto frontier minimizes the total environmental impact and maximizes the compressive strength. The formulations situated at the extremes of the Pareto frontier (extreme optimal) have the best performance in one of the objectives (either low environmental impact or high compressive strength). The rest of the solutions are so-called dominated solutions, that is, they have worse performance in one of the objectives in comparison to the solutions forming the Pareto front, and thus can be dismissed.

2.4.2. Comparison with similar building products

For the second objective of the LCA, the environmental impacts associated with the production of the optimal experimental bricks (extreme and balanced optimal) were compared to those of similar

existing building products. The main characteristics of the products analyzed are presented in *Table 4*.

Table 4. Main characteristics of the products analyzed and production parameters assumed in the calculations.

Product	Composition	Water content (kg/kg)	Density (dry, kg/m ³)	Compressive strength (MPa)	Furnace temperature (°C)	Residence time (h)
Polymerized-clay brick	Clay, sand, NaOH, Na ₂ SiO ₂	0.110-0.173	1875	2,4 – 29,0	0 to 120	2 to 24
Ceramic clay brick	Clay, sand	0.149	1800	19,61	1250 ⁵³	13,5 ⁵³
Compressed earth block	Clay, sand	0.074	1850	3.63	-	-

It was assumed that both, the experimental blocks and the ceramic clay bricks were produced in a tunnel oven powered by natural gas. The performance of the furnace was assumed to be 60%^[55]. The main production parameters are presented in *Table 4*.

The methodology presented by LJ Villa^[56] was used for determining the heat flow of the oven. The heat flow of the oven was calculated as:

$$Q_{process} = (w \times q_{drying} + q_{plaster}) \times \frac{100}{r} \quad Eq. 1$$

Where:

$Q_{process}$ (kJ/kg) is the heat needed in the process, not considering furnace heat losses; w (Parts per unit) is the average water content of the bricks at the entrance of the furnace; q_{drying} (kJ/kg) is the heat needed to dry the bricks; $q_{plaster}$ (kJ/kg) is the heat of fusion of the fired plaster; and r is the furnace performance, which was set to 60%.

The heat needed to dry the bricks (q_{drying}) was calculated following the expression:

$$q_{drying} = q_w + q_l + q_v \quad Eq. 2$$

Where:

q_w (kJ/kg) is the heat needed to increase the temperature of water from 30°C to 100°C; q_l (kJ/kg) is the heat involved in the evaporation of water; and q_v (kJ/kg) is the heat needed to increase the temperature of water vapor from 100°C to the final temperature of the vapor (200°C for the ceramic clay brick and the maximum temperature for the experimental samples).

For the bricks cured at temperatures lower than 100°C, the factors q_l and q_v were 0. From the laboratory tests, it can be considered that it takes 24 hours to dry the bricks. Thus, when shorter times were used, the amount of energy was reduced proportionally, assuming that the drying was not complete at the end of the process.

The heat of fusion of the fired plaster was calculated following the equation:

$$q_{plaster} = (1 - w) \times C_{pplaster} \times (T_f - T_i) \quad Eq. 3$$

Where:

“Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks”

$C_{p\text{plaster}}$ is the specific heat of the clay plaster, calculated as the weighted average of the specific heats of each of its components, shown in Table 5; and T_f and T_i are the maximum and initial temperatures, respectively.

Table 5. Specific heat and portions of the raw materials of the clay bricks

Raw material	Cp (kJ/kg·K)	Mass (parts per unit)	
		Polymerized-clay bricks	Ceramic clay bricks
Clay	0.92	0.25-0.67	0.92
Sand	0.80	0.16-0.55	0.01
NaOH	1.49	0.00-0.07	0.00
Na ₂ SiO ₂	0.92	0.00-0.05	0.00
Water	4.18	0.09-0.22	0.07

In the case of the CEBs, only the impact associated with the raw materials was considered as their production process does not involve heat contribution. The rest of the impacts (due to infrastructure, packaging, etc.) were not included as these were assumed to be less significant and common in all production processes.

3. Results

3.1 Simple compressive strength

Simple compressive strength tests were performed on all samples (with 6 replicates of each sample). The results are shown in Table 6. The sample that showed the highest compressive strength (29.0 MPa) was P06-04 with 0.3 water, 0.12 NaOH, 0.08 Na₂SiO₃, exposed at 110°C for 24 hours.

Table 6. Simple compressive strength results

Sample	Compressive strength [MPa]	Sample	Compressive strength [MPa]	Sample	Compressive strength [MPa]	Sample	Compressive strength [MPa]
Geo A-01	3,9	Geo A-13	4,2	Geo A-25	8,4	P05-01	2,4
Geo A-02	3,3	Geo A-14	2,9	Geo A-26	10,4	P05-02	5
Geo A-03	5,1	Geo A-15	6,1	Geo A-27	8,5	P05-03	5
Geo A-04	3,8	Geo A-16	4,6	Geo A-28	5,9	P05-04	22,5
Geo A-05	3,6	Geo A-17	4,8	Geo A-29	11,8	P06-01	4,4
Geo A-06	2,9	Geo A-18	3,8	Geo A-30	6,4	P06-02	5,3
Geo A-07	7,8	Geo A-19	5,5	Geo A-31	5,5	P06-03	20,7
Geo A-08	6,2	Geo A-20	4,5	Geo A-32	8,2	P06-04	29
Geo A-09	7,5	Geo A-21	3,7	GEO-B01	25,7	P07-01	25,6
Geo A-10	7,4	Geo A-22	3,6	GEO-B02	15,9	P07-02	22,7
Geo A-11	7,4	Geo A-23	7	GEO-B05	17,3	P07-03	22,4
Geo A-12	6,5	Geo A-24	6,8	GEO-B06	20,2	P07-04	24,9

The resistance to simple compression was the response variable by which the role of the rest of the variables were analyzed: water, NaOH, Na₂SiO₃, temperature and time of exposure. All the analyzed variables could be classified as qualitative values, because despite having been quantitative, not a complete range of values have been used, whereas different predefined values

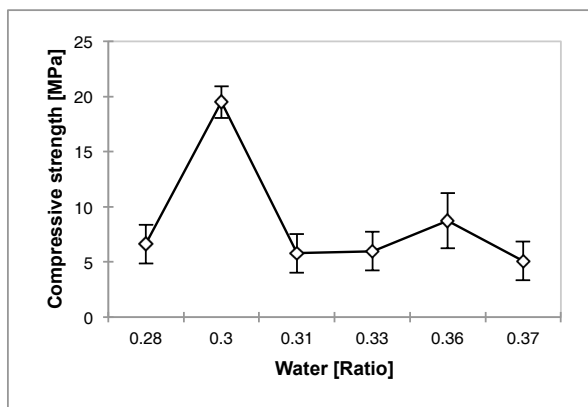


Figure 4. Average compressive strength data according to the water content

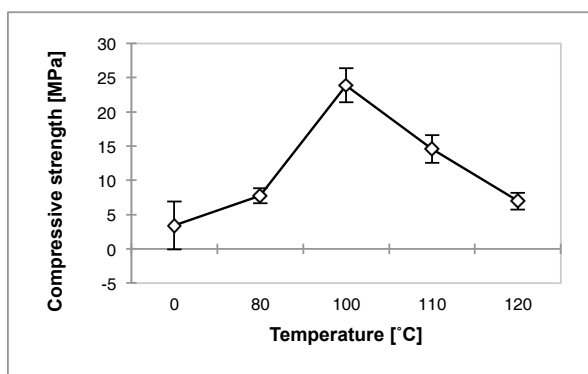


Figure 5. Average compressive strength data according to the temperature

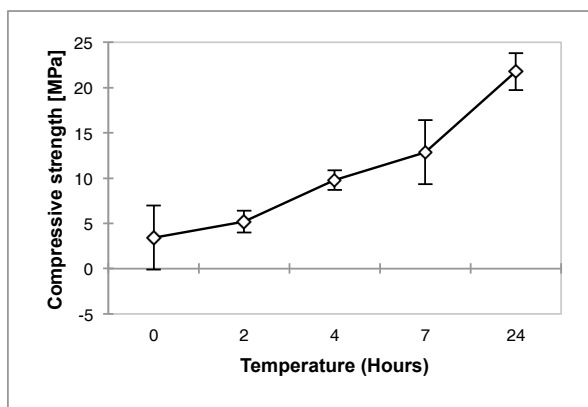


Figure 6. Average compressive strength data according to the exposure time to temperature

where chosen (0.28, 0.30, 0.31, 0.33, 0.36, 0.37kg/kg for the water content, 0, 80, 100, 110, 120°C for the temperature, 0, 2, 4, 7, 24h for the curing time). Due to this reason, all the samples were analyzed following an Analysis of Variance (ANOVA), taking the variables as qualitative and the resistance result as quantitative. All the variables and the compression resistance where analyzed, it showed that the most influential variables in the mechanical performance of the samples analyzed were water (Figure 4), temperature (Figure 5) and the time of exposure to temperature (Figure 6) which obtained a lower p-value than the level of significance.

The following figures represent the mean value of the compressive strength for the different values of the variables and the least square deviation of the samples of each of the values of the variables.

The increase in water, which provides a means of reaction and ensures the workability of the mixture during the process and handling^[57], negatively influences the resistance to

compression due to the evaporation of water and the increase of the porous network of the material.

It was observed that the increase in NaOH content was reflected in the increase in compressive strength. Higher concentrations of NaOH promote higher resistances in the early stages of the reaction. However, the resistance of aged samples can be compromised with concentrations higher than 14M due to an excessive OH⁻ in the solution,

causing an undesirable morphology and non-uniformity of the final products^[58]. From the

analysis of results it was also concluded that the incorporation of Na₂SiO₃ did not guarantee an improvement in the mechanical performance of most of the samples. Furthermore it was observed that the addition of Na₂SiO₃ is dispensable in samples with outstanding mechanical performance (P5-04 and Geo B-01).

The reaction between the alkaline activation solution and the aluminosilicates source increases with increasing the curing temperature. However, a too high temperature will cause a decrease in the compressive strength, due to the fast vaporization of the mixing water^[59]. The results showed that the time of exposure to temperature has a greater impact in mechanical performance than the increase in temperature. Exposing samples at a temperature of 110 °C for 24 hours resulted in a 4.5 times greater resistance to compression than those samples exposed to the same temperature for 4

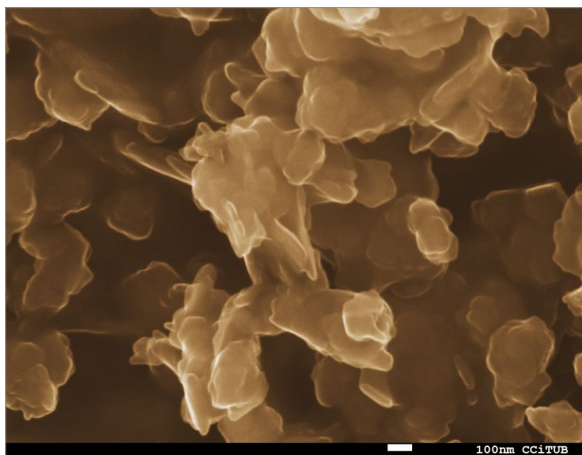


Figure 7. SEM micrograph of GEO-B01 sample.

and 7 hours and 9.3 times higher than samples that were cured at room temperature. It was also deduced that between the samples exposed to 4 hours and the samples exposed to 7 hours there was no significant increase in the resistance to simple compression.

Figure 7 shows the reorganization and fusion of the clay sheets by the polymerization generated by the action of the alkaline activator, the temperature and the exposure time, which affects the mechanical behavior of the sample (GEO-B01).

The results obtained from samples P07-01 to P07-04 showed that the proportion of sand influenced the compression resistance but not to the same extent as the other variables. It was observed that the best results were obtained with a ratio of 0.75 and 1.5 of sand in proportion to the weight of the clay. In any case, the workability of the mixture that had a ratio of 1 of sand (P07-02) was better than mixtures which had a ratio of 0.75 (P07-01).

3.2. Embodied environmental impact

3.2.1. Bi-objective optimization of the polymerized-clay bricks

The diverse mixtures and manufacturing methods tested were compared regarding their environmental impact and compressive strength. The results are presented in Figure 8. The results are presented using the Total Points of the *ReCiPe* weighting method for ease of comparison. The optimal formulations, that is, those formulations from which it is not possible to improve one of the parameters without worsening one of the other two, constitute the Pareto frontier. These are highlighted using darker markers in the figure.

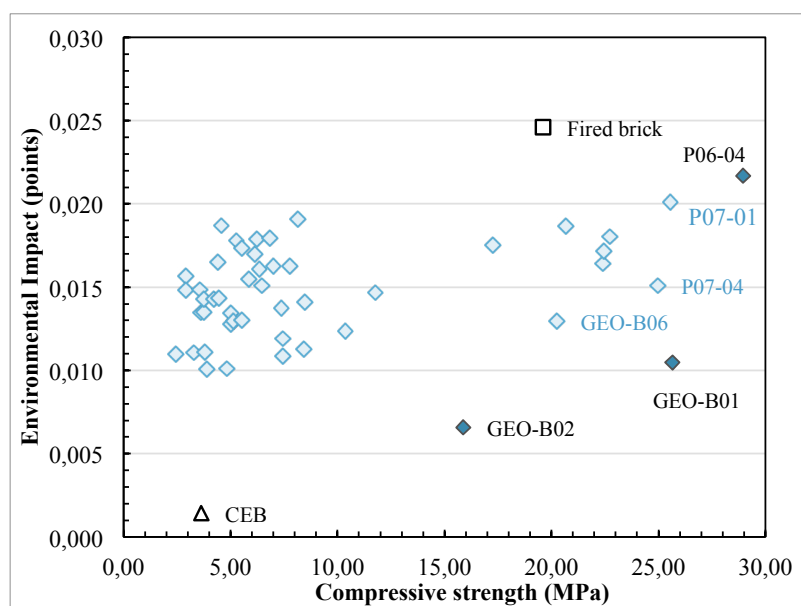


Figure 8. Comparison of the different formulations FU: kilograms.

It was found that 3 of the 48 experimental formulations are optimal solutions (darker marks in Figure 8). As the environmental impact of the additives is high, the results are highly sensitive to the amount of additives in the samples. 9 of the forty-eight samples showed higher compression strengths than an average ceramic brick (20,2 to 29.0 MPa).

From the optimal solutions, GEO-B02 is the sample showing the lowest environmental impact, as it

is produced at 80°C and incorporates low amounts of NaOH (3% dry weight). However, it is also the sample in the Pareto frontier with lower compressive resistance (15.9 MPa). GEO-B01 is the sample showing a more balanced performance, as its environmental impact is still low and its compressive strength is 25.8 MPa, which is higher to average ceramic bricks. Sample P06-04 is the one showing the highest compressive strength (29 MPa) and also the highest environmental impact. With respect to GEO-B01, the compressive strength is increased by 11% and the environmental impact in 52%. The main differences in the production process between samples GEO-B01 and P06-04 were the addition of 4% of Na₂SiO₃ in the mixture and the shift of curing temperature from 80°C to 110°C.

Although excluded from the optimal solutions, it is interesting to note that P07-04 and P07-01 also show remarkable strength (24,9 and 25,6 Mpa), but at a higher environmental cost than GEO-B01. In the three cases the mixtures incorporated the same amount of NaOH, but P07-04 and P07-01 also included 5% of Na₂SiO₃ and were cured at 110°C for 4h, while the former (GEO-B01) was cured at 80°C for 24h.

As described before, the environmental impact taken into account includes two main sources: embodied impact of raw materials and the impact of energy use during manufacturing. The weight of the former was found to be more significant than the latter being most of the impact due to the additives used (NaOH and Na₂SiO₃).

It is worth to highlight that the results show how the improvement of the mechanical properties is not linked with an increase of the embodied impact, which shows the interest on integrating the LCA analysis from early stages in material design.

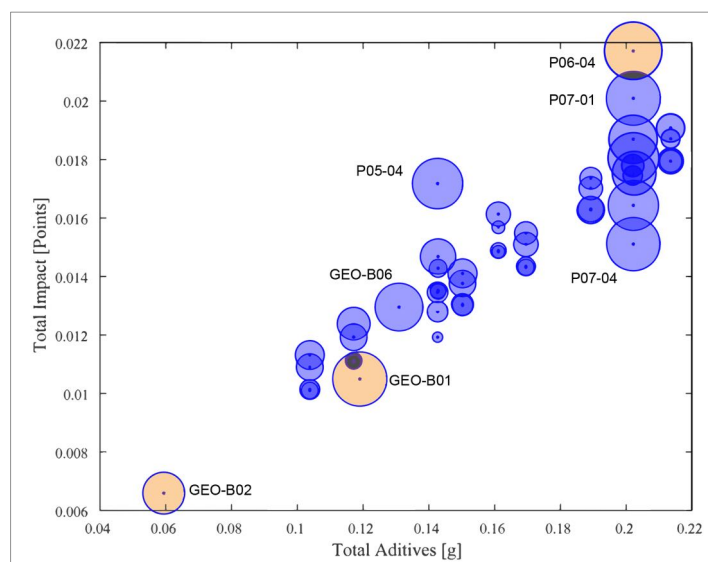


Figure 9. Effect of the dosage of additives on the EI

In *Figure 9* the formulations are plotted according to their additive content and their EI. The size of the bubbles corresponds to the compressive strength; optimal solutions are highlighted in orange. The results show that EI is highly dependent on the dosage of additives, regardless of the kind of substance used. However, some of the samples depart from this trend. This is the case of samples P05-04, P07-04 and P06-04. While P06-04 and P07-04 have the same amount of additives but are cured at 110 °C for 24 h and 100 °C for 4h respectively, this is, the EI associated with the manufacture of P07-04, 31% lower, which results in a 15% lower compressive strength.

It is remarkable that two of the optimal solutions (GEO-B02 and P06-04) are extreme solutions, with the lowest and highest content of additives and the lowest and highest environmental impact respectively. This reveals the significance of additives in the EI of the samples.

Taking into account that both additives play an important role in the process of clay polymerization, the effect of both substances together was analyzed. In *Figure 10*, the total amount of additives is

“Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks”

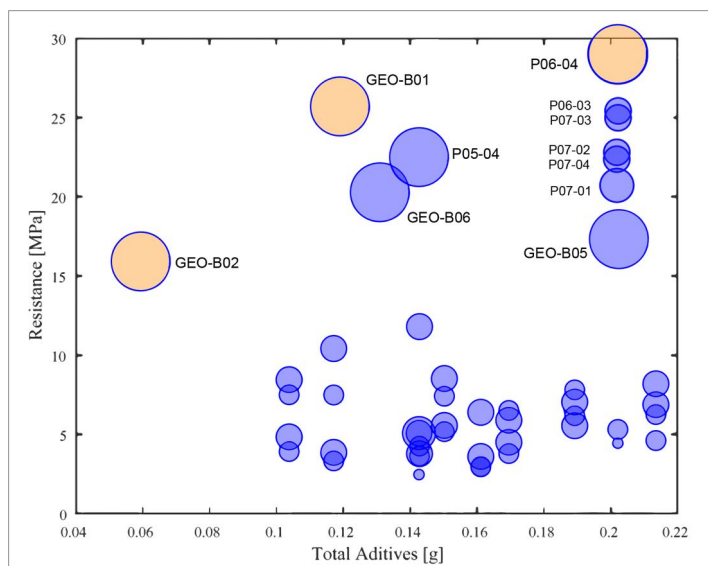


Figure 10. Effect of the dosage of additives on the compressive strength

and P06-03). This may be due to the lower content of water of these samples (in all cases, 0.3 g_{H2O}/g_{clay}, using NaOH solutions 10 molar).

plotted against the compressive strength. The size of the bubbles corresponds to the curing time, which is a parameter that was found to have a significant influence on the results. This is made evident in this figure, where the samples are divided into two groups: smaller bubbles (samples cured for 2, 4 and 7 h) correspond to the samples with compressive resistances lower than 15 MPa, and fall at the lower part of the plot; and bigger bubbles, which are cured for 24h and fall at the upper area of the plot (>15 MPa). All the optimal solutions are in this second group. Only five samples cured at less than 24h showed good compressive strength (P07-01 to 04

3.2.2. Comparison with similar building products

The optimal mixtures and manufacturing methods were compared with similar building products in

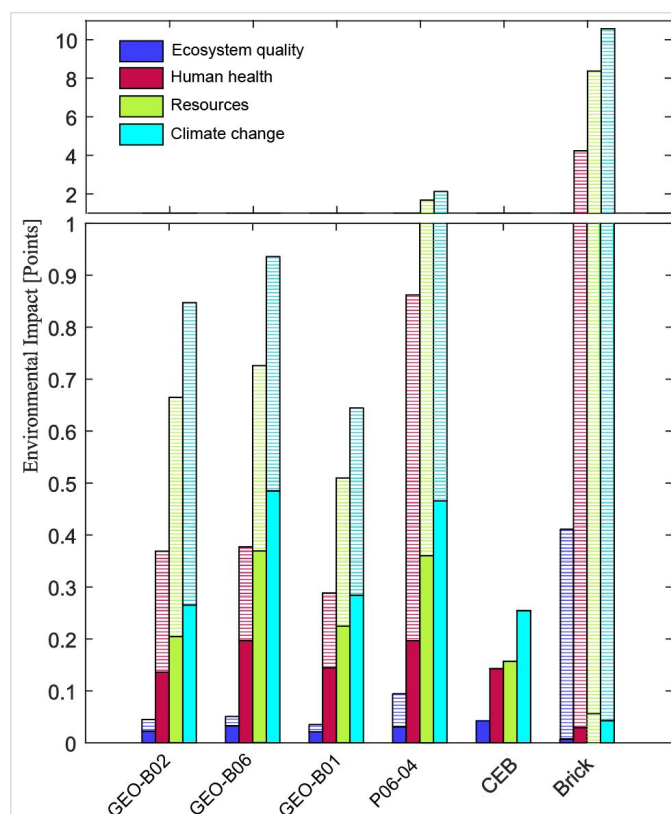


Figure 11. Environmental impact of a massive wall supporting 200 kg/mL

the market, i.e., an average ceramic brick and a compressed earth block (CEB). For this comparison, the functional unit (FU) was normalized with compressive strength, to compare the impact of material units that offer the same performance.

The results are shown in Figure 11. The environmental impact (EI) is split into four distinct impact categories, that is Human Health, Ecosystems, Resource depletion and Climate change (*ReCiPe* endpoints). For each category, the impacts corresponding to the raw materials and the energy consumption during manufacturing are distinguished (dashed and solid hatches respectively).

The EI of ceramic bricks is higher than that of the optimal of the experimental polymerized-clay bricks formulations in the four impact categories, mainly due to energy consumption. Compared to ceramic bricks, the experimental

polymerized-clay bricks reduce the EI from energy consumption but increase the EI due to material use, especially in the categories of climate change and resource depletion.

Among the experimental polymerized-clay bricks, the sample GEO-B06 is the one showing higher EI both due to energy and material use. The results indicate that the EI of the raw materials in optimal formulations is between 4.5 and 8 times higher than in the ceramic bricks but the impact resulting from energy use is reduced more than 10 times, which results in an overall lower EI. Thus, any of the optimal formulations of the polymerized-clay bricks would be a better choice than average ceramic brick.

Per functional unit CEB continue to be the best environmental option. However, due to remarkably lower strength (2-5 MPa), in constructions and buildings wider walls will be required to support usual loads, which may be a concern if land cost is high or constraint use of space prevails.

4. Conclusions

The effect of five manufacturing variables on the mechanical properties and the environmental impact of 48 experimental polymerized-clay bricks were analyzed.

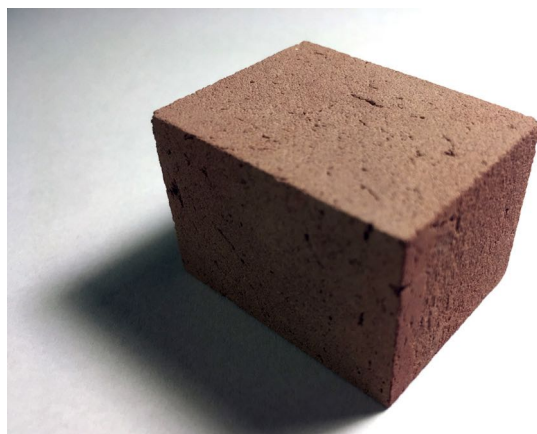


Figure 12. GEO-B01 is the sample showing a more balanced performance with 25.7 MPa compressive strength.

It was concluded that the simple compressive strength is closely linked to the proportions of the precursor materials and the curing characteristics. Among the variables studied, although the alkaline activator is an indispensable factor to initiate the polymerization reactions, the water content, the curing temperature and the curing time, played a decisive role in the increase of resistance to simple compression. As for the alkaline activator, it was observed that the increase in water content in the mixture is detrimental to the compressive strength.

The best results were obtained with closest values to the plastic limit of the clay, while a higher concentration of NaOH (molarity) favored mechanical performance. It was observed that the content of Na_2SiO_3 is not essential to guarantee a good resistance to compression as observed in the samples GEO-B01 (Figure 12; 25.7MPa), Geo-B02 (15.9MPa) and P05-04 (22.5MPa).

The results showed that the increase in temperature caused an increase in the compressive strength. It was observed that a temperature of 80°C was enough to obtain a good compression resistance, increasing the time of the exposure time to temperature to 24 hours.

Among the 48 mixtures analyzed, 9 exceeded 20 MPa of simple compressive strength, being the sample P06-04 the one with highest strength (29.0 MPa), which is comparable to the performance of high resistance ceramic brick.

When the compressive strength of the samples was evaluated against their embodied environmental impact, it was found that three formulations could be considered optimal solutions. It was observed that the improvement in the mechanical performance of the materials was not linked to an increase in their environmental impact, which shows the interest on including this parameter in an early stage in the material design.

“Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks”

Using polymerized bricks results in 80 to 94% reduction of the environmental impact compared to average ceramic-clay bricks. Moreover, compared to construction and building materials manufactured at temperatures above 1000°C, the experimental polymerized-clay bricks required ten times lower temperature (80°C - 100°C), reachable even by solar energy.

On the other hand, depending on the mechanical solicitations, it is possible to choose among the optimal formulations obtained. For example, for non-load-bearing walls, the prototype B06-02 may be the best choice, but for walls bearing heavy loads, other options, such as P06-04, will offer a better performance.

Experimental polymerized-clay bricks show a greater simple compressive strength and better environmental characteristics than average ceramic bricks, which justifies research that encourages the optimization and further development of this experimental material.

Conflict of interest

The authors declare there are no conflicts of interest.

Acknowledgments

This study has been supported by *Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación* (SENESCYT)-Ecuador, the *Ministerio de Economía y Competitividad* (MINECO) and the *Universitat Rovira i Virgili* (URV) (FJCI-2016-28789), the Spanish Government (BIA2017-83912-C2-1-R) and the Catalan Government through GICITED-UPC research group (2017SGR1758).

References

- ¹ Venkatarama Reddy, B. V. (2009). *Sustainable materials for low carbon buildings*. International Journal of Low-Carbon Technologies, 4(3), 175–181. <http://doi.org/10.1093/ijlct/ctp025> p. 176.
- ² Sinha, R., Lennartsson, M., & Frostell, B. (2016). *Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study*. Building and Environment, pp. 104, 162–171.
- ³ United Nations. (2009). *Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers*, 1–62. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- ⁴ Mercader, M. P., Ramírez de Arellano, A., & Olivares, M. (2012). *Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución*. Informes de La Construcción, 64(527), 401–414. <http://doi.org/10.3989/ic.10.082>
- ⁵ Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). *Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction*. Construction and Building Materials, 29, 512–519. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>
- ⁶ OCDE. *Environmental sustainable building – challenges and policies*. Paris, France; 2003. p. 194. Retrieved from: Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). *Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction*. Construction and Building Materials, 29, 512–519. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054> p. 516.
- ⁷ United Nations. (2009). *Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers*, 1–62. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- ⁸ Thormark, C. (2006). *The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building*. Building and Environment, 41(8), 1019–1026. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026> p. 1025.
- ⁹ Venkatarama Reddy, B. V. (2009). *Sustainable materials for low carbon buildings*. International Journal of Low-Carbon Technologies, 4(3), 175–181. <http://doi.org/10.1093/ijlct/ctp025> p. 175.
- ¹⁰ Cabeza, LF, Barreneche, Miró, L., Morera, JM, Bartoli, E, & Fernández, A. Inés. (2013). *Low carbon and low embodied energy materials in buildings: a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23, 536–542. p. 538
- ¹¹ Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Minx, J. C., Farahani, E., Susanne, K., ... Zwicker, T. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 671-723. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415416>
- ¹² Venkatarama Reddy, B. V. (2009). *Sustainable materials for low carbon buildings*. International Journal of Low-Carbon Technologies, 4(3), 175–181. <http://doi.org/10.1093/ijlct/ctp025>

“Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay bricks”

- ¹³ Hendriks, Worrell, E., De Jager, D., Blok, K., & Riemer, P. (2004). *Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry*, 1–11. Retrieved from <http://www.wbcscement.org/pdf/tf1/prghgt42.pdf>
- ¹⁴ Gartner E. *Industrially interesting approaches to “low-CO₂” cements*. *Cem Concr Res* 2004;34(9):1489–98.
- ¹⁵ Habert, G., & Roussel, N. (2009). Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives. *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 397–402. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.001>
- ¹⁶ Nazari, A., & Sanjayan, J. G. (2017). *Handbook of Low Carbon Concrete*. Butterworth-Heinemann. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128045244>. p.195.
- ¹⁷ Habert, G., & Roussel, N. (2009). *Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives*. *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 397–402. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.001>
- ¹⁸ Taylor, M., Tam, C., & Gielen, D. (2006). *Energy Efficiency and CO₂ Emissions from the Global Cement Industry*. IEA-WBCSD Cement Energy Efficiency Industry Workshop, (September). Retrieved from http://www.iea.org/work/2006/cement/taylor_background.pdf
- ¹⁹ Aubert, J. E., Maillard, P., Morel, J. C., & Al Rafii, M. (2015). *Towards a simple compressive strength test for earth bricks?* *Materials and Structures*, (APRIL). <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4641.4242>
- ²⁰ Komnitsas, K. A. (2011). *Potential of geopolymer technology towards green buildings and sustainable cities*. *Procedia Engineering*, 21, 1023–1032. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2108>
- ²¹ Nazari, A., Sanjayan, J. G., & Van Deventer, J. S. J. (2017). Chapter 10 – *Progress in the Adoption of Geopolymer Cement*. In *Handbook of Low Carbon Concrete* (pp. 217–262). <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-804524-4.00010-5>
- ²² Pacheco-Torgal, F. (2015). *Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes*. United Kingdom: Woodhead Pub.
- ²³ Davidovits, J. (2015). *Geopolymer, Chemistry and Applications*. (J. Davidovits, Ed.) (4th ed.). Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- ²⁴ Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2009). *Geopolymers. Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. CRC Press, Woodhead Publishing, Great Abington, Cambridge, UK. <http://doi.org/10.1533/9781845696382>
- ²⁵ Davidovits, J. (2015). *Geopolymer, Chemistry and Applications*. (J. Davidovits, Ed.) (4th ed.). Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- ²⁶ Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2009). *Geopolymers. Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. CRC Press, Woodhead Publishing, Great Abington, Cambridge, UK. <http://doi.org/10.1533/9781845696382>
- ²⁷ Wan, Q., Rao, F., & Song, S. (2017). *Reexamining calcination of kaolinite for the synthesis of metakaolin geopolymers - roles of dehydroxylation and recrystallization*. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 460, 74–80. <http://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.01.024>
- ²⁸ Liew, Y. M., Heah, C. Y., Mohd Mustafa, A. B., & Kamarudin, H. (2016). *Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review*. *Progress in Materials Science*, 83, 595–629. <http://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.08.002>. p. 597
- ²⁹ Lahoti, M., Wong, K. K., Tan, K. H., & Yang, E. H. (2018). *Effect of alkali cation type on strength endurance of fly ash geopolymers subject to high temperature exposure*. *Materials and Design*, 154, 8–19. <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.05.023>
- ³⁰ You, S., Ho, S. W., Li, T., Maneerung, T., & Wang, C.-H. (2018). *Techno-economic analysis of geopolymer production from the coal fly ash with high iron oxide and calcium oxide contents*. *Journal of Hazardous Materials*, (August). <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.089>
- ³¹ Assi, L., Ghahari, S. A., Deaver, E. E., Leaphart, D., & Ziehl, P. (2016). *Improvement of the early and final compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete at ambient conditions*. *Construction and Building Materials*, 123, 806–813. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.069>
- ³² Chen, X., Zhu, G. R., Wang, J., & Chen, Q. (2018). *Effect of polyacrylic resin on mechanical properties of granulated blast furnace slag based geopolymer*. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 481(July), 4–9. <http://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.07.003>
- ³³ Luna-Galiano, Y., Leiva, C., Villegas, R., Arroyo, F., Vilches, L., & Fernández-Pereira, C. (2018). *Carbon fiber waste incorporation in blast furnace slag geopolymer-composites*. *Materials Letters*, 233, 1–3. <http://doi.org/10.1016/J.MATLET.2018.08.099>
- ³⁴ Karthik, A., Sudalaimani, K., Vijayakumar, C. T., & Saravanakumar, S. S. (2018). *Effect of bio-additives on physico-chemical properties of fly ash-ground granulated blast furnace slag based self cured geopolymer mortars*. *Journal of Hazardous Materials*, (August). <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.078>
- ³⁵ Rowles, M., & O'Connor, B. (2003). *Chemical optimisation of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers synthesised by sodium silicate activation of metakaolinite*. *Journal of Materials Chemistry*, 13(November), 1161–1165. <http://doi.org/10.1039/b212629j>
- ³⁶ Selmani, S., Sdiri, A., Bouaziz, S., Joussein, E., & Rossignol, S. (2017). *Effects of metakaolin addition on geopolymer prepared from natural kaolinitic clay*. *Applied Clay Science*, 146(June), 457–467. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2017.06.019>
- ³⁷ Tironi, A., Castellano, C. C., Bonavetti, V., Trezza, M. A., Scian, A. N., & Irassar, E. F. (2015). *Blended Cements Elaborated with Kaolinitic Calcined Clays*. *Procedia Materials Science*, 8, 211–217. <http://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.066>
- ³⁸ Hwang, C. L., Huynh, T. P. (2015). *Effect of alkali-activator and rice husk ash content on strength development of fly ash and residual rice husk ash-based geopolymers*. *Construction and Building Materials*, 101, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.025>
- ³⁹ Ye, N., Yang, J., Liang, S., Hu, Y., Hu, J., Xiao, B., & Huang, Q. (2016). *Synthesis and strength optimization of one-part geopolymer based on red mud*. *Construction & Building Materials*, 111, 317–325.
- ⁴⁰ Tuyan, M., Andiç-Çakir, Ö., & Ramyar, K. (2018). *Effect of alkali activator concentration and curing condition on strength and microstructure of waste clay brick powder-based geopolymer*. *Composites Part B: Engineering*, 135(November 2016), 242–252. <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.10.013>
- ⁴¹ Passuello, A., Rodríguez, E. D., Hirt, E., Longhi, M., Bernal, S. A., Provis, J. L., & Kirchheim, A. P. (2017). *Evaluation of the potential improvement in the environmental footprint of geopolymers using waste-derived activators*. *Journal of Cleaner Production*, 166, 680–689. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.007>

- ⁴² Collins, F. G., Turner, L. K., & Collins, F. G. (2017). *Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete*. *Construction & Building Materials*, 43(January 2013), 125–130. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>
- ⁴³ Wan, Q., Rao, F., & Song, S. (2017). *Reexamining calcination of kaolinite for the synthesis of metakaolin geopolymers - roles of dehydroxylation and recrystallization*. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 460, 74–80. <http://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.01.024>
- ⁴⁴ Borges, P. H. R., Banthia, N., Alcamand, H. A., Vasconcelos, W. L., & Nunes, E. H. M. (2016). *Performance of blended metakaolin/blastfurnace slag alkali-activated mortars*. *Cement and Concrete Composites*, 71, 42–52. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.04.008>
- ⁴⁵ Liew, Y. M., Heah, C. Y., Mohd Mustafa, A. B., & Kamarudin, H. (2016). *Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review*. *Progress in Materials Science*, 83, 595–629. <http://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.08.002>. p. 597
- ⁴⁶ Lemougna, P. N., MacKenzie, K. J. D., & Melo, U. F. C. (2011). *Synthesis and thermal properties of inorganic polymers (geopolymers) for structural and refractory applications from volcanic ash*. *Ceramics International*, 37(8), 3011–3018. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.05.002>
- ⁴⁷ Liew, Y. M., Heah, C. Y., Mohd Mustafa, A. B., & Kamarudin, H. (2016). *Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review*. *Progress in Materials Science*, 83, 595–629. <http://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.08.002>
- ⁴⁸ Slaty, F., Khoury, H., Wastiels, J., & Rahier, H. (2013). *Characterization of alkali activated kaolinitic clay*. *Applied Clay Science*, 75–76, 120–125. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2013.02.005>
- ⁴⁹ Hounsi, A. D., Lecomte-Nana, G., Djétéli, G., Blanchart, P., Alowanou, D., Kpelou, P., ... Praisler, M. (2014). *How does Na, K alkali metal concentration change the early age structural characteristic of kaolin-based geopolymers*. *Ceramics International*, 40(PART A), 8953–8962. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.02.052>
- ⁵⁰ Esaifan, M., Rahier, H., Barhoum, A., Khoury, H., Hourani, M., & Wastiels, J. (2015). *Development of inorganic polymer by alkali-activation of untreated kaolinitic clay: Reaction stoichiometry, strength and dimensional stability*. *Construction and Building Materials*, 91, 251–259. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.034>
- ⁵¹ Dietel, J., Warr, L. N., Bertmer, M., Steudel, A., Grathoff, G. H., & Emmerich, K. (2017). *The importance of specific surface area in the geopolymerization of heated illitic clay*. *Applied Clay Science*, 139, 99–107. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2017.01.001>
- ⁵² Hu, N., Bernsmeier, D., Grathoff, G. H., & Warr, L. N. (2017). *The influence of alkali activator type, curing temperature and gibbsite on the geopolymerization of an interstratified illite-smectite rich clay from Friedland*. *Applied Clay Science*, 135, 386–393. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2016.10.021>
- ⁵³ Aldabsheh, I., Khoury, H., Wastiels, J., & Rahier, H. (2015). *Dissolution behavior of Jordanian clay-rich materials in alkaline solutions for alkali activation purpose*. Part I. *Applied Clay Science*, 115, 238–247. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.004>
- ⁵³ Review, A. L., Force, A. I. R., & Directorate, M. (2012). *ALKALI-ACTIVATED GEOPOLYMERS: A LITERATURE REVIEW*. Air Force USA.p.09.
- ⁵⁴ Hounsi, A. D., Lecomte-Nana, G. L., Djétéli, G., & Blanchart, P. (2013). *Kaolin-based geopolymers: Effect of mechanical activation and curing process*. *Construction and Building Materials*, 42, 105–113. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.06>
- ⁵⁵ *Guide to the brick sector (CTG043)*. Industrial energy efficiency accelerator (IEEA), Carbon trust. Available at: <https://www.carbontrust.com/media/206484/ctg043-brick-industrial-energy-efficiency.pdf>
- ⁵⁶ LJ Villa (2013) *Evaluation of the thermal efficiency of a tunnel oven for the production of ceramic sanitary pieces at the production site #1 Fanaloza Penco (in Spanish)*, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bio-Bio, Chile.
- ⁵⁷ Slaty, F., Khoury, H., Wastiels, J., & Rahier, H. (2013). *Characterization of alkali activated kaolinitic clay*. *Applied Clay Science*, 75–76, 120–125. p.120. Recuperado en octubre 2017 de: <http://doi.org/10.1016/j.clay.2013.02.005>.
- ⁵⁸ Slaty, F., Khoury, H., Wastiels, J., & Rahier, H. (2013). op. cit. p.122.
- ⁵⁹ Heah, C. Y., Kamarudin, H., Mustafa Al Bakri, A. M., Bnhussain, M., Luqman, M., Khairul Nizar, I., ... Liew, Y. M. (2013). *Kaolin-based geopolymers with various NaOH concentrations*. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 20(3), 313–322. <http://doi.org/10.1007/s12613-013-0729-0> p.320

Anexo 2.0 "Materiales de arcilla geo-polimerizada: Tecnologías para la arquitectura del futuro".

Artículo sobre geopolímeros y geopolímeros a base de arcilla, presentado en la Jornada de doctorat del programa de Tecnologia de l'Arquitectura, de l'Edificació i de l'Urbanisme el 2 JULIOL 2018.

Materiales de arcilla geo-polimerizada: Tecnologías para la arquitectura del futuro

Calderón-Peñañiel J.C.^{a b c}, Rosell J.R.^{a b}, Avellaneda J.^{a c}

^aDepartamento de Tecnología de la Arquitectura, ^bLaboratorio de Materiales, ^b Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB). ^c Escola Tècnica Superior d' Arquitectura de Barcelona. ^a Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Campus Sud, Barcelona, Spain.
arq.juancarloscalderon@gmail.com

Este artículo tiene la intención de exponer de manera sintética y a modo de resumen el trabajo de investigación presentado en la *Jornada de Doctorado del programa de Tecnología de la Arquitectura, de la Edificación y del Urbanismo* de la *Universitat Politècnica de Catalunya*. La arcilla es el material más utilizado en la historia de la arquitectura, pese a ello, no ha sido posible dotarla de características resistentes comparables a las del hormigón a base de cemento Portland mediante estrategias de "estabilización" convencional. Esta investigación se enfocó en el estudio de materiales experimentales de arcilla polimerizada mediante procedimientos análogos a la "geopolimerización". El propósito principal fue probar si los materiales de arcilla polimerizada podrían utilizarse como materiales de construcción que cumplan requerimientos mecánicos y ambientales modernos. Como objetivos complementarios se planteó: comparar el comportamiento de diferentes tipos de arcilla, diferentes tipos de activador alcalino, diferentes proporciones y procedimientos de fabricación, optimizar las variables que intervienen en la fabricación del material tomando en cuenta la resistencia a compresión simple final y la energía incorporada. El estudio se desarrolló en dos partes: la primera enfocada en la revisión bibliográfica y la segunda en una campaña experimental. Como resultado se obtuvieron probetas de arcilla polimerizada resistente al agua con altas resistencias a compresión (20-30 MPa) y menor impacto ambiental que materiales convencionales de uso masivo como el ladrillo cerámico. Se confirmó la viabilidad de implementación de materiales a base de arcilla polimerizada en el futuro de la arquitectura y la construcción.

Palabras clave: arcillas, tierra, aluminosilicatos, geopolímeros, materiales.

1. Introducción

Los polímeros (geo-polímeros) a base de arcillas son materiales fabricados con procedimientos análogos a los de geopolimerización. "Geopolimerización" es el término utilizado para hacer referencia a la reacción química que se produce al mezclar aluminosilicatos con activadores alcalinos concentrados (o menos frecuentemente con ácidos), comúnmente hidróxidos y/o silicatos alcalinos, con lo cual se obtiene una nueva red molecular polimérica formando materiales denominados "geopolímeros" [1].

El término "geopolímero" fue acuñado por el científico Joseph Davidovits y empezó a utilizarse en la década de 1970. Existen diferentes tipos de geopolímeros: los más estudiados hasta la fecha han sido fabricados a partir de cenizas volantes [2] escorias de alto horno [3], metacaolín [4] y otras materias primas ricas en aluminosilicatos altamente reactivos [5]. Los geopolímeros son materiales que presentan características sobresalientes en cuanto a su resistencia mecánica, resistencia al fuego y resistencia a agentes corrosivos. Investigaciones sobre impacto ambiental [6] demuestran que los geopolímeros son una alternativa a materiales con

gran cantidad de energía incorporada [7] como es el caso del hormigón a base de cemento Portland, que es el material de construcción más utilizado en el mundo [8].

Para la fabricación de geopolímeros la materia prima comúnmente utilizada está compuesta por aluminosilicatos, osea materiales ricos en alúmina (Al_2O_3 , óxido de aluminio) y sílice (SiO_2 , óxido de silicio). Es preferible que los aluminosilicatos se encuentren en una fase amorfa reactiva y constituyan más del 70% de la composición del material precursor, debido a que estos elementos desempeñan un papel importante como fuente de iones Al^{3+} y Si^{4+} [9].

Por otro lado, la arcilla es el aglomerante más utilizado en la historia de la humanidad: el Departamento de Energía de los Estados Unidos estima que más de la mitad de la población mundial vive en casas de arcilla sin cocer construidas con tecnologías vernáculas (adobe, tierra apisonada, bahareque, etc.) [10].

El atractivo de la arcilla natural como material de construcción radica en su bajo impacto ambiental, su

disponibilidad y sus características. El lado negativo está marcado por la baja resistencia que comúnmente adquiere en comparación con materiales procesados (ladrillos de arcilla cocida, concreto a base de cemento Portland, cerámica, etc.). Esta es la principal razón por la que adolece de una imagen deficiente, no cumple con algunos estándares de productividad y calidad, no pasa muchas de las pruebas de durabilidad y requerimientos técnicos superados por materiales industriales. Además, las estructuras a base de arcilla natural comúnmente requieren un alto mantenimiento ya que son propensas a la erosión bajo la lluvia, al fácil deterioro de sus superficies, al agrietamiento ante pequeños esfuerzos de tracción y/o compresión y a un crítico comportamiento ante acciones dinámicas en zonas sísmicas: pueblos enteros han sido destruidos por inundaciones y terremotos.

En la mayoría de países industrializados la arcilla sin cocer es un material de construcción poco frecuente. En los países en vías de desarrollo poco a poco se reemplaza la construcción con arcilla natural por prácticas constructivas emuladas de los países desarrollados, principalmente porque la arcilla está vinculada con la pobreza [11]. En el ámbito de la arquitectura existe la creencia generalizada de que la arcilla es un material completamente explorado y superado pero en realidad es uno de los materiales menos estudiados y menos entendidos [12].

La búsqueda de estrategias para dotar a los materiales a base de arcilla de características más resistentes se remonta a la prehistoria. Productos como la orina, la sangre, el estiércol, la goma arábiga, el jugo de agave, el betún natural, la caseína proveniente de la leche, las fibras vegetales y animales, la arena, el yeso, la cal, las cenizas, las puzolanas, etc. [13] son ejemplos de algunos “estabilizantes” de arcilla utilizados empíricamente por constructores.

Recientemente la problemática ambiental ha volcado el interés científico hacia el estudio de mecanismos de estabilización de la arcilla para su utilización como material de construcción “moderno”. Investigaciones sobre la influencia de agregados de plantas y fibras, mezclas con cal, diferentes mezclas de estabilizantes alternativos, cenizas, adición de cemento, metacaolín, residuos industriales, etc. son muestra de un gran abanico de estudios llevados a cabo en los últimos años. En este contexto los “estabilizadores” de la arcilla de uso más frecuente son el cemento, la cal y el betún, que comúnmente se agregan en proporciones que van del 5 al 15% en peso [14]. El cemento es el “estabilizante” más utilizado aunque estudios recientes no recomiendan su empleo y

evidencian problemas inherentes a compatibilidad e impacto ambiental [15].

La resistencia a la compresión se ha considerado a menudo la característica mecánica más importante de los materiales de construcción [16], por tanto el principal desafío ha sido y sigue siendo el uso de la menor cantidad de energía para la obtención de materiales más resistentes. Un estudio realizado en 2015 [17] recoge datos de diferentes estrategias de “estabilización” de arcilla: los resultados muestran que puede adquirir resistencias a la compresión que oscilan entre 0,39 MPa para bloques sin estabilizar y 6,5 MPa para bloques estabilizados con un 20% de cemento. Esto demuestra que la resistencia a compresión simple obtenida con materiales a base de arcillas “estabilizadas” mediante estrategias convencionales está muy por debajo de la resistencia a la compresión estándar del hormigón a base de cemento Portland (20 MPa o más).

En la actualidad la combinación de técnicas de análisis (DRX, SEM, FRX, TG, ADL, etc.) hace posible caracterizaciones químico-estructurales mucho más precisas de las partículas de cristales individuales de arcilla, estando aún lejos de conocer por completo la compleja estructura físico-química [18]. De todos modos, estos avances han permitido el desarrollo de tecnologías alternativas: procesos microbiológicos [19], nanotecnología [20] geopolimerización [21] activación alcalina [22], etc. y se han convertido en herramientas que han definido los nuevos horizontes en el desarrollo de los materiales a base de arcilla. De hecho, los minerales de arcilla empiezan a ser entendidos como “nanomateriales naturales” con gran potencial para dispersarse como partículas de unidades de tamaño nanométrico en fases poliméricas, formando nuevos materiales ‘nanocompuestos’ con propiedades termomecánicas superiores [23].

La posibilidad de utilizar diferentes fuentes de aluminosilicatos en la fabricación de geopolímeros ha propiciado el estudio de materiales precursores alternativos. En el caso de las arcillas generalmente se parte de un proceso previo de alteración térmica que amplifica las características reactivas naturales del material, tal como sucede con el metacaolín (caolín calcinado a más de 500°C). También se ha demostrado que los suelos puzolánicos tratados con soluciones alcalinas dan como resultado materiales similares a los geopolímeros a base de metacaolín, debido a las elevadas temperaturas a las que la materia prima fue expuesta por actividad volcánica [24].

“Materiales de arcilla geo-polimerizada: Tecnologías para la arquitectura del futuro”

Objetivos:

La geo-polimerización de arcillas naturales presenta desafíos, sobre todo porque los aluminosilicatos presentes en las arcillas son poco reactivos en comparación a los aluminosilicatos presentes en cenizas volantes o metacaolín, y porque existen diferentes tipos de arcilla que difieren en composición química y mineralógica, lo cual complejiza el problema. Los estudios sobre “geopolímeros” de arcilla natural son relativamente recientes pero aportan información relevante sobre: el proceso de polimerización en las arcillas, la influencia del ratio alúmina/sílice, la concentración de hidróxidos alcalinos y/o el comportamiento de Na y K.

A diferencia de estudios previos el propósito principal de esta investigación fue probar si las arcillas, sin ser sometidas a un proceso de deshidroxilación previo o a uno posterior de alteración por “calcinación”, pueden ser utilizadas mediante procedimientos análogos a la geopolimerización para la fabricación de materiales de construcción que cumplan requerimientos mecánicos y ambientales modernos.

Como objetivos secundarios se plantearon: comparar el comportamiento de diferentes tipos de arcilla, diferentes tipos de activador alcalino, diferentes proporciones y diferentes procedimientos de fabricación. También se planteó optimizar las variables que intervienen en la fabricación del material, tomando en cuenta la resistencia a compresión simple y el impacto medioambiental, para finalmente plantear posibles aplicaciones y usos en la arquitectura.

A continuación se describen y se justifican los procedimientos aplicados a esta investigación, los resultados generales y las conclusiones.

2. Metodología y materiales

El desarrollo del trabajo se dividió en dos partes: la primera etapa fue la revisión del estado del arte y la segunda el diseño y desarrollo de la campaña experimental.

La revisión del estado del arte, en la primera parte, incluyó un análisis del rol de la arcilla en la historia de la arquitectura y las estrategias tradicionales de estabilización. En segundo lugar se estudiaron los minerales de arcilla (clasificación, composición, estructura atómica, etc.) con el objetivo de comprender las características del material para

aplicar los principios de geo-polimerización. En tercer lugar se incluyó un estudio sobre geopolimerización: antecedentes históricos, terminología, estructura, rol de los aluminosilicatos y los activadores alcalinos, proceso de síntesis, mecanismos de reacción, impacto medioambiental, etc. Finalmente, el estudio se enfocó en las investigaciones sobre geopolimerización de arcillas, se recogieron criterios rectores y experiencias determinantes para el diseño y desarrollo de la campaña experimental. Esta última se desarrolló teniendo como referencia la normativa española vigente.

Materiales:

La arcilla fue utilizada como material base, conglomerante principal y como fuente de aluminosilicatos inorgánicos. Se escogieron cuatro tipos de arcilla (suministradas por *Argiles Colades S.A.* del sector de *La Bisbal d'Empordá*, Girona-Barcelona) con los siguientes nombres comerciales: Arcilla BEIG PEN/F, Arcilla ROJA, Arcilla LILA y Caolín MD-25.

Las arcillas fueron caracterizadas mediante los siguientes análisis: determinación del límite líquido, determinación del límite plástico, análisis por difracción de rayos X (DRX), análisis termogravimétrico (TG), análisis por fluorescencia de rayos X (FRX), análisis granulométrico (ADL) y análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM).

La arena se utilizó como relleno, mejoró la trabajabilidad de la mezcla y aportó indirectamente sílice al polímero. La arena utilizada fue suministrada por *Arids per a la Indústria i la Depuració, S.L.*-Barcelona (arena sílicea (Standard) L-105115).

Como solvente principal se utilizó agua desionizada suministrada por Adesco S.A. (Barcelona). Los activadores alcalinos utilizados fueron hidróxido de sodio, hidróxido de potasio y silicato de sodio suministrado por LabKem (Barcelona). También se hicieron algunas pruebas utilizando óxido de calcio (CL-90Q suministrado por Cales de Pachs S.A. Barcelona) como estabilizante adicional.

Diseño experimental:

Para el diseño de experimentos fue necesario considerar como variables los materiales precursores (arcilla, arena, agua y los diferentes aditivos alcalinos), las condiciones de fabricación (característica y tiempo de amasado) y las condiciones de curado (temperatura y tiempo).

El diseño de experimentos se dividió en dos partes. La primera parte constituyó una etapa de experimentación piloto basada en datos recolectados del estado del arte: en esta etapa se realizaron 66 mezclas y se fabricaron 198 probetas. El objetivo principal de los ensayos preliminares fue tener un primer acercamiento al comportamiento de los materiales precursores ante diferentes mezclas con activadores alcalinos, disminuir el nivel de incertidumbre, observar la trabajabilidad del material y finalmente analizar la influencia de las variables en la resistencia a compresión simple del material compuesto.

Los experimentos de la segunda etapa se diseñaron a partir de los resultados obtenidos en la primera etapa y se dividieron en seis campañas, con un total de 106 mezclas y 319 probetas fabricadas. Para el diseño de experimentos (*DOE*) de cada una de estas etapas se usó el software *Minitab17*. La intención de cada campaña fue determinar el valor óptimo de las diferentes variables que intervienen en la resistencia a compresión simple del material.

Elaboración de probetas:

Los procedimientos experimentales, los equipos y los materiales variaron según cada experimento. De todos modos el procedimiento general se dividió en tres etapas: primero la preparación de los activadores alcalinos; segundo la preparación del polímero en donde intervinieron principalmente los materiales precursores, el activador alcalino y en algunos casos aditivos; finalmente la etapa de curado en la que algunas probetas fueron expuestas a temperatura (80°C-100°C) y luego almacenadas bajo condiciones ambientales. Los equipos utilizados pueden dividirse en dos grupos: por un lado están las máquinas (amasadora automática, estufa y agitador magnético) y, por otro, equipos básicos de laboratorio (recipientes, moldes, utensilios, etc).

Caracterización de geo-polímeros de arcilla:

Todas las probetas fabricadas bajo diferentes condiciones y dosificaciones, tanto en la primera como en la segunda parte experimental, fueron ensayadas a flexión y compresión simple. Además, con el objetivo de determinar las propiedades del material optimizado, se realizaron varios análisis de caracterización: difracción de rayos X (DRX), análisis termogravimétrico (TG), análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM), porosimetría de mercurio, porosidad, densidad aparente y densidad relativa, succión capilar, permeabilidad al vapor de

agua, módulo de elasticidad dinámico (MOE), resistencia mecánica, durabilidad, lixiviación y comportamiento térmico.

3. Resultados y conclusiones

Las probetas experimentales de arcilla polimerizada alcanzaron resistencias a compresión simple entre 20 y 30 MPa (dependiendo de cada mezcla). Los resultados demostraron que el material optimizado es resistente al agua. Un análisis de ciclo de vida determinó que el impacto ambiental de la fabricación de probetas experimentales a base de arcilla polimerizada es menor que el impacto de ladrillos de arcilla cocida.

Los resultados detallados serán expuestos en el documento final de tesis. Esta es una investigación en fase “alfa”, por tanto es importante señalar que los resultados obtenidos no pueden considerarse una panacea, más bien constituyen un aporte al desarrollo científico al reducir el nivel de incertidumbre y abrir futuras líneas de estudio que ayuden a la optimización de la tecnología y a su aplicación en la arquitectura.

A modo de conclusión se puede decir que los minerales de arcilla natural, sin tratamientos previos de deshidroxilación o tratamientos posteriores de cocción a alta temperatura, pueden ser utilizados como materiales precursores fuente de aluminosilicatos en la fabricación de materiales polimerizados mediante tecnologías análogas a la geopolimerización.

Se concluyó que los diferentes tipos de arcilla se comportan de manera distinta ante el mismo tipo de activación alcalina. Esto prueba que no existe una formulación universal aplicable a todas las arcillas, sino que cada tipo de arcilla requiere un diseño de mezcla específico para una correcta polimerización.

Por otro lado, se concluye que:

- La adición de pequeños porcentajes CaO, a pesar de ser prescindible su utilización, aporta al incremento de la resistencia y consolidación del polímero.
- El uso de silicato de sodio es prescindible ya que esto aminora el impacto medioambiental del material.
- La exposición a 80°C durante 4-24 horas favorece el proceso de polimerización sin representar una carga energética que penalice sustancialmente el material en comparación a materiales de uso masivo, que requieren temperaturas superiores a

"Materiales de arcilla geo-polimerizada: Tecnologías para la arquitectura del futuro"

1000°C (como derivados del cemento Portland o los mampuestos cerámicos).

- Es posible fabricar polímeros a base de arcilla a temperatura ambiente mediante el uso de estabilizantes adicionales que funcionen como agentes defloculantes, como por ejemplo hexametafosfato sódico y/o "captadores" de agua (por ejemplo la "cal viva").
- Para la fabricación de geopolímeros a base de arcilla es posible usar diferentes activadores alcalinos y diferentes métodos de fabricación. La elección de los materiales de partida y los procesos utilizados influirán en la resistencia al agua y en el comportamiento mecánico.

Finalmente se concluye que los materiales de arcilla polimerizada podrían constituir una alternativa tecnológica coherente con la realidad ambiental y con los desafíos a los que se encara la arquitectura del nuevo milenio. Las características del material abren varias posibilidades en cuanto a su aplicación en elementos constructivos: mampuestos, piezas prefabricadas de diferente formato, elementos estructurales, materiales de impresión 3D, etc.

Referencias.

- Davidovits, J. (2015). Geopolymer, Chemistry and Applications. (J. Davidovits, Ed.) (4th ed.). Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- ² Lahoti, M., Wong, K. K., Tan, K. H., & Yang, E. H. (2018). Effect of alkali cation type on strength endurance of fly ash geopolymers subject to high temperature exposure. *Materials and Design*, 154, 8–19. <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.05.023>
- ³ Luna-Galiano, Y., Leiva, C., Villegas, R., Arroyo, F., Vilches, L., & Fernández-Pereira, C. (2018). Carbon fiber waste incorporation in blast furnace slag geopolymer-composites. *Materials Letters*, 233, 1–3. <http://doi.org/10.1016/j.MATLET.2018.08.099>
- ⁴ Selmani, S., Sdiri, A., Bouaziz, S., Joussein, E., & Rossignol, S. (2017). Effects of metakaolin addition on geopolymer prepared from natural kaolinitic clay. *Applied Clay Science*, 146(June), 457–467. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2017.06.019>
- ⁵ Hwang, C. L., & Huynh, T. P. (2015). Effect of alkali-activator and rice husk ash content on strength development of fly ash and residual rice husk ash-based geopolymers. *Construction and Building Materials*, 101, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.025>
- ⁶ Collins, F. G., Turner, L. K., & Collins, F. G. (2017). Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions : A comparison between geopolymer and OPC cement concrete and OPC cement concrete. *Construction & Building Materials*, 43(January 2013), 125–130. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>
- ⁷ Nazari, A., & Sanjayam, J. G. (2017). Handbook of Low Carbon Concrete. Butterworth-Heinemann. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128045244>. p.195.
- ⁸ Hendriks, Worrell, E., De Jager, D., Blok, K., & Riemer, P. (2004). Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry, 1–11. Retrieved from <http://www.wbcsdcement.org/pdf/tf1/prghgt42.pdf>
- ⁹ Liew, Y. M., Heah, C. Y., Mohd Mustafa, A. B., & Kamarudin, H. (2016). Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review. *Progress in Materials Science*, 83, 595–629. <http://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.08.002>. p. 597
- ¹⁰ Avrami, E., Guillaud, H., & Hardy, M. (2008). Terra Literature Review: An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. (A. Escobar, Ed.). Los Angeles: Institute, The Getty Conservation. Retrieved from https://getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/terra_lit_review.pdf#page=34
- ¹¹ Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>
- ¹² Morel, J. C., Aubert, J. E., Millogo, Y., Hamard, E., & Fabbri, A. (2013). Some observations about the paper "earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction" by F. Pacheco-Torgal and S. Jalali. *Construction and Building Materials*, 44, 419–421. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.054>
- ¹³ Minke, G. (2001). Manual de construcción en tierra : la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura tradicional. Montevideo : Nordan-Comunidad. Retrieved from http://catalog.upc.edu/record=b1323040~S1*cat pp. 47-59.
- ¹⁴ Gallipoli, D., Bruno, A. W., Perlot, C., & Mendes, J. (2017). A geotechnical perspective of raw earth building. *Acta Geotechnica*, 12(3), 463–478. <http://doi.org/10.1007/s11440-016-0521-1>
- ¹⁵ Damme, H. Van, & Houben, H. (2017). Earth concrete . Stabilization revisited. *Cement and Concrete Research Journal*.
- ¹⁶ Aubert, J. E., Maillard, P., Morel, J. C., & Al Rafii, M. (2015). Towards a simple compressive strength test for earth bricks ? Towards a simple compressive strength test for earth. *Materials and Structures*, (APRIL). <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4641.4242>
- ¹⁷ Alam, I., Naseer, A., & Shah, A. A. (2015). Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone areas. *Construction and Building Materials*, 77, 154–159. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.046>
- ¹⁸ Bergaya, F., & Lagaly, G. (2013). General introduction: Clays, clay minerals, and clay science. *Developments in Clay Science*, 5, 1–19. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-098258-8.00001-8>. p 1.
- ¹⁹ Achal, V., Mukherjee, A., Kumari, D., & Zhang, Q. (2015). Earth-Science Reviews Biomineralization for sustainable construction – A review of processes and applications. *Earth Science Reviews*, 148, 1–17. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.05.008>
- ²⁰ F. Pacheco-Torgal, M. V. Diamanti, A. N. and C.-G. G., & Oxford. (2013). Nanotechnology in eco-efficient construction. (Woodhead Publishing Limited, Ed.).
- ²¹ Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2009). Geopolymers. Structures, Processing, Properties and Industrial Applications. CRC Press, Woodhead Publishing, Great Abington, Cambridge, UK. <http://doi.org/10.1533/9781845696382>
- ²² Pacheco-Torgal, F. (2015). Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes. United Kingdom: Woodhead Pub.
- ²³ Bergaya, F., & Lagaly, G. (2013). Handbook of clay science. Elsevier, p. XX
- ²⁴ Lemounga, P. N., MacKenzie, K. J. D., & Melo, U. F. C. (2011). Synthesis and thermal properties of inorganic polymers (geopolymers) for structural and refractory applications from volcanic ash. *Ceramics International*, 37(8), 3011–3018. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.05.020>

Anexo 3.0 "La tierra: un material compuesto".

Artículo enfocado en la tierra, un material de construcción compuesto de una serie de minerales (silicatos) unidos por la arcilla, conglomerante principal que pertenece a la familia de los filosilicatos.

La tierra: un material compuesto

CONTENIDO

LA TIERRA: UN MATERIAL COMPUESTO

- Antecedentes
- Reseña histórica
- Innovación tecnológica: la tierra como material contemporáneo
 - Innovación de elementos y sistemas constructivos
 - Innovación del material
- Limitantes
- Características
 - Componentes
 - Componentes gaseosos
 - Componentes líquidos
 - Componentes sólidos
 - Propiedades
 - Plasticidad
 - Compactibilidad
 - Cohesión
 - Clasificación granulométrica
 - Clasificación mineralógica
 - Silicatos
 - Filosilicatos

ANTECEDENTES

La tierra, material comúnmente conocido con el nombre de suelo, barro, lodo y diversos coloquialismos que dependen de los dialectos geográficos, se define como la parte no pétreo de la corteza terrestre que se puede excavar sin explosivos [1].

En la arquitectura, la tierra es el material que se obtiene del suelo y está compuesto por diferentes minerales que tienen como principal conglomerante la arcilla. Esta última permite fabricar elementos constructivos que se moldean en estado plástico y endurecen al secarse. Por tanto, en esta investigación, la palabra "tierra" es utilizada como

1 Torrijo Echarri, F. J., & Cortés Gimeno, R. (2007). *Los suelos y las rocas en ingeniería geológica: herramientas de estudio*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. p. 05.

sinónimo de materiales compuestos a base de arcilla.

La gran disponibilidad de arcillas a nivel mundial es la principal razón por la que la "tierra", a lo largo de la historia, se convirtió en el material de construcción más utilizado. El *Departamento de Energía de los Estados Unidos* estima que más de la mitad de la población global continúa viviendo en casas de "tierra" sin cocer construidas con tecnologías vernáculas (adobe, tierra apisonada, bahareque, etc.) [1], mientras que cifras de la *UNESCO* señalan que son más de dos mil millones de personas y aproximadamente el 10% de edificaciones del patrimonio mundial arquitectónico [2].

De cualquier forma, estos datos, aparentemente alentadores para los entusiastas del material, evidencian que la tendencia marcada en el pasado por el uso común de la "tierra" cruda en la construcción cambió a partir del advenimiento de los materiales y la arquitectura moderna. La "tierra", con la arcilla como conglomerante principal, poco a poco ha sido y es desplazada por materiales procesados que muestran mejores características resistentes.

En las últimas décadas la problemática ambiental ha provocado un resurgimiento en el interés de tecnologías de construcción a base de arcilla sin cocer, que hasta ahora, han seguido aplicándose mediante los mismos principios utilizados milenios atrás (Fig.2.1.1).

El propósito de este capítulo es doble. En primer lugar, analizar el rol de los materiales

de construcción a base de arcilla sin cocer (comúnmente denominados "tierra") mediante una reseña histórica y un análisis de limitantes e innovaciones tecnológicas del material. En segundo lugar, realizar un primer acercamiento a estos materiales mediante el estudio de sus componentes, propiedades, clasificación granulométrica y clasificación mineralógica como precedentes al estudio de las arcillas.

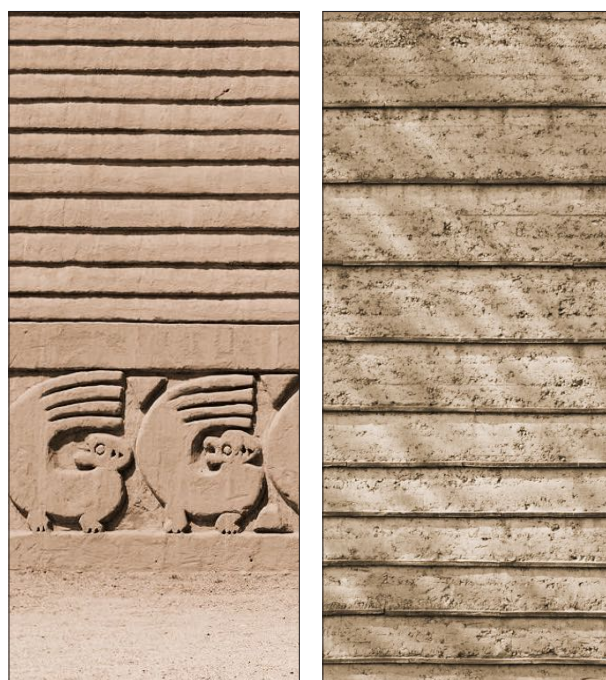


Fig. 2.1.1 (Izquierda) Muro de "tierra" apisonada en la antigua ciudad de Chan Chan - Perú, construido aproximadamente hace 2600 años. Fig. 2.1.2. (Derecha) Muro de "tierra" apisonada en la casa *Lehmhaus Rauch*, en el poblado de Schllins - Austria, construida por Martin Rauch en el año 2008.

RESEÑA HISTÓRICA

Los antecedentes histórico-tecnológicos de la construcción con "tierra" han sido poco estudiados. En la mayoría de los casos han sido difíciles de identificar ruinas en contexto arqueológico [3]. La mayor parte de las edificaciones de "tierra"

1 Avrami, E., Guillaud, H., & Hardy, M. (2008). *Terra Literature Review: An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation*. (A. Escobar, Ed.). Institute, The Getty Conservation. Los Angeles. Recuperado en Octubre 2016 de: https://getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/terra_lit_review.pdf#page=34. p XI.

2 L. Eloundou, T. Joffroy. (2013). *Earthen Architecture in today's World, in Proceedings of the UNESCO International Colloquium on the Conservation of World Heritage Earthen Architecture*, UNESCO Publishing. Recopilado de: Damme, H. Van, & Houben, H. (2017). *Earth concrete . Stabilization revisited*. Cement and Concrete Research Journal.p.2.

3 Pastor Quiles, María (2016). *Aproximación al estudio arqueológico de la construcción con tierra y a su aplicación a la arquitectura prehistórica*, V Jornadas de Investigación de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Alicante. Universidad de Alicante. Facultad de Filosofía y Letras. Alicante.

construidas en la antigüedad, al terminar su ciclo funcional con la ayuda del hombre o de los agentes climáticos, se desintegraron y volvieron a formar parte de la naturaleza. Esto ha repercutido en una pérdida irreversible de información de la arquitectura y las técnicas constructivas empleadas por las civilizaciones antiguas que activamente usaron la "tierra" como material de construcción.

Los vestigios más antiguos registrados hasta ahora están en Medio Oriente, en la región de la actual Irán, Irak, Jordania, Siria, Israel, Líbano y Turquía (Fig. 2.2.1, Fig. 2.2.2, Fig. 2.2.3). En estos lugares se ha encontrado evidencia arqueológica de edificaciones permanentes que datan de hace más de 10.000 años atrás [1].

Diferentes técnicas y métodos de construcción se desarrollaron por influencia directa del clima, la vegetación y las condiciones geológicas y tecnológicas de cada región. En lugares en donde han existido abundantes fuentes de madera o piedra, la "tierra" ha sido utilizada en sistemas de construcción mixtos (modelos tectónicos y estereotómicos), mientras que en lugares en los que la madera o la piedra han sido escasos, la "tierra" ha sido empleada para la conformación de estructuras portantes y envolventes (modelos estereotómicos) (Fig. 2.2.4).

Los constructores de la antigüedad aprovecharon la ventaja de preparar piezas de tamaño reducido y perfeccionaron el proceso de compactación y secado. Además el uso de materiales como la paja y otros "estabilizantes", se incorporaron mediante un proceso paulatino de experimentación de la técnica.

De cualquier modo, la historia ha demostrado que los avances tecnológicos en la construcción con barro crudo no fueron suficientemente rápidos y eficaces para satisfacer las crecientes demandas de la arquitectura y la construcción en función del tiempo. Con el paso de los años la "tierra" fue desplazada por materiales procesados que



Fig. 2.2.1. En la región de Medio Oriente que corresponde a la actual Irán, Irak, Jordania, Siria, Israel, Líbano y Turquía se han encontrado los vestigios más antiguos de construcción con tierra hasta hoy.



Fig. 2.2.2. Ruinas de antiguas viviendas. Los hallazgos arqueológicos en la antigua ciudad Cananea de Jericó, demuestran el uso de diferentes técnicas de construcción con tierra en murallas y edificios de vivienda, hace más de 10.000 mil años.



Fig. 2.2.3. Vestigios de Çatalhöyük. En su apogeo este asentamiento de la época neolítica llegó a cubrir 13 hectáreas. En sus capas inferiores (y más antiguas) el yacimiento data de hace más de 10.000 años atrás, y las más recientes de 7.700 años atrás.

1 Schroeder, H. (2016). *Sustainable Building With Earth* (Springer). Switzerland. p. 02.

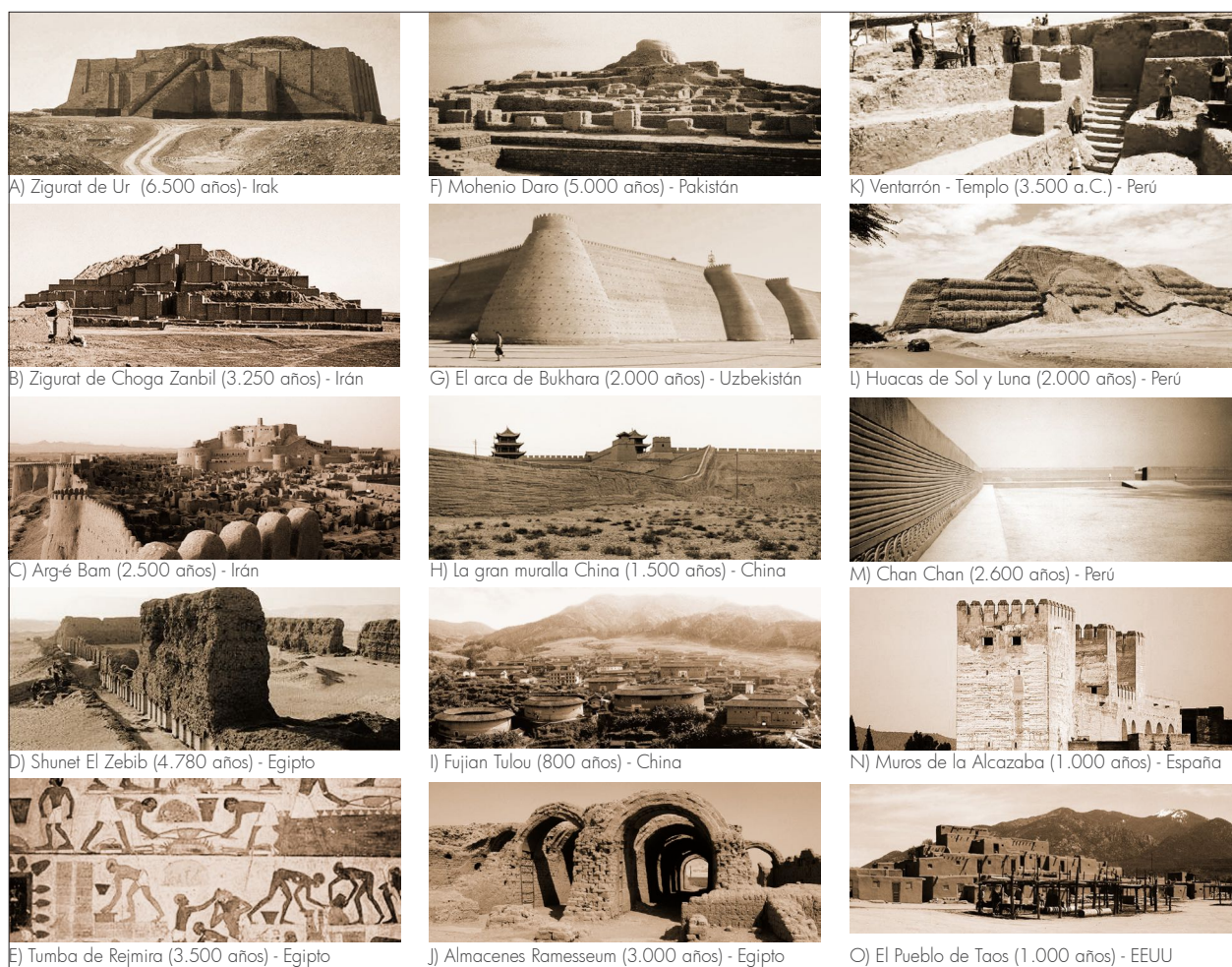


Fig. 2.2.4. Ejemplos de obras arquitectónicas ancestrales construidas con "tierra", dan testimonio del dominio de diferentes técnicas de construcción en diferentes épocas y lugares del mundo. Además evidencian que la línea de tendencia marcada en el pasado por el uso común de la tierra cruda como material de construcción, llegó a un punto de inflexión a partir del advenimiento de los materiales y la arquitectura 'moderna': la tierra poco a poco ha sido y es desplazada por materiales industrialmente procesados.

alcanzaban resistencias similares a la piedra y podían moldearse previamente. Un claro ejemplo de este fenómeno fue la fabricación de ladrillos de arcilla cocida que, desde el punto de vista de la resistencia mecánica, la resistencia a la humedad y a otros agentes, constituyó un avance en la tecnología de la construcción. Las propiedades cerámicas que adquiría la arcilla al ser sometida a altas temperaturas fue conocida desde hace más de 5.000 años, pero no fue sino hasta la revolución industrial que la producción y uso del ladrillo cerámico se masificó a una escala sin precedentes, desplazando a la piedra y a los bloques de arcilla cruda (adobes) y convirtiéndose en el mampuesto más utilizado.

El arribo de los materiales "modernos" (encabezados por el hormigón y acero) patrocinaron una nueva concepción de los modelos arquitectónicos y urbanos en los que la "tierra" cruda, como material de construcción, parecía no tener cabida. El hormigón se convirtió en el material de construcción más utilizado en el mundo y la academia (por ejemplo disciplinas como la Arquitectura y la Ingeniería) volcó su atención hacia los materiales industrializados.

A partir de la década de 1970, con el advenimiento de la problemática medioambiental, un minoritario grupo de actores de la construcción retomaron el interés por el uso y el estudio de la "tierra". Un

de este tipo de iniciativa fue la conformación de CRAterre que, desde 1979, ha destacado como una de las principales organizaciones dedicadas a la investigación y divulgación de conocimiento, con énfasis en la recuperación y difusión de técnicas tradicionales de construcción con barro (Fig.2.2.5).

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA: LA TIERRA COMO MATERIAL CONTEMPORÁNEO

Hay pocos registros de innovación de la "tierra" como material. Como ejemplos pueden señalarse el desarrollo de máquinas diseñadas para comprimir bloques de "tierra", la implementación de métodos de encofrados para muros de "tierra" apisonada y el uso de diferentes tipos de "estabilizantes" [1]. En países en los que más se usa la arcilla cruda

como material de construcción, gran parte de las técnicas aplicadas en la actualidad no han sido modificadas o innovadas sustancialmente (Fig. 2.3.1). El adobe, la tapia, el cob, el bahareque, la quincha, etc. (Fig. 2.2.5), siguen fabricándose y utilizándose con los mismos principios empleados durante milenios.

Hasta ahora, los principales actores en el ámbito de la construcción con "tierra" (CRATERRE, ICOMOS, ISCEAH, WHEAP, RED PROTERRA, etc.) han puesto especial énfasis en la recuperación y difusión de técnicas tradicionales con programas de rehabilitación del patrimonio y ayuda social en diferentes países y sectores en vías de desarrollo. En una escala menor y menos fructífera se ha trabajado en la innovación de mecanismos de optimización de la técnica y la materia prima, en algunos casos, implementando tecnologías complementarias y sistemas de construcción mixtos.

1 Minke, G. (2009). *Building with earth: design and technology of a sustainable architecture*. Basel [etc.] : Birkhäuser. Recuperado en Octubre 2016 de: http://catalog.upc.edu/record=b1360313~S1*cat, 72-76.

De hecho, en la mayoría de ocasiones, la innovación tecnológica actual viene dada por

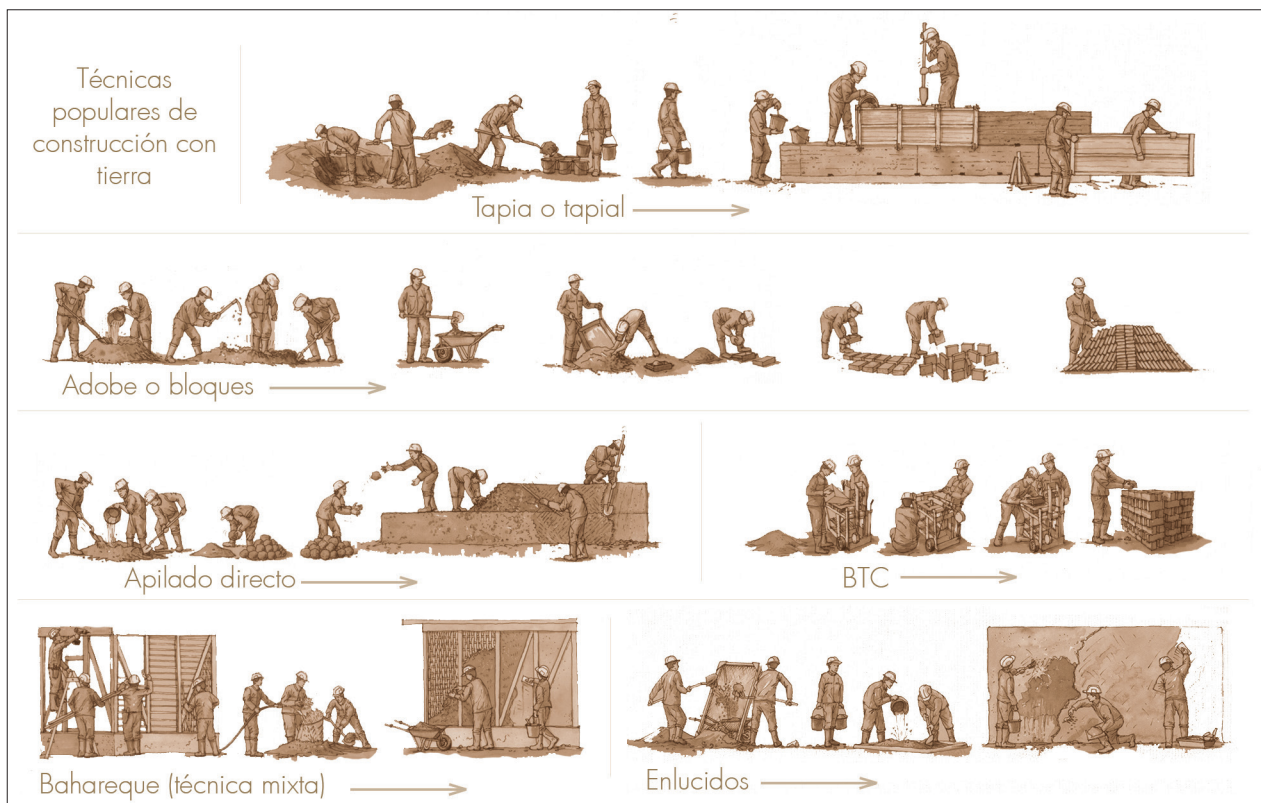


Fig. 2.2.5. Ejemplos de técnicas populares de construcción con "tierra" que siguen utilizándose en todo el mundo.

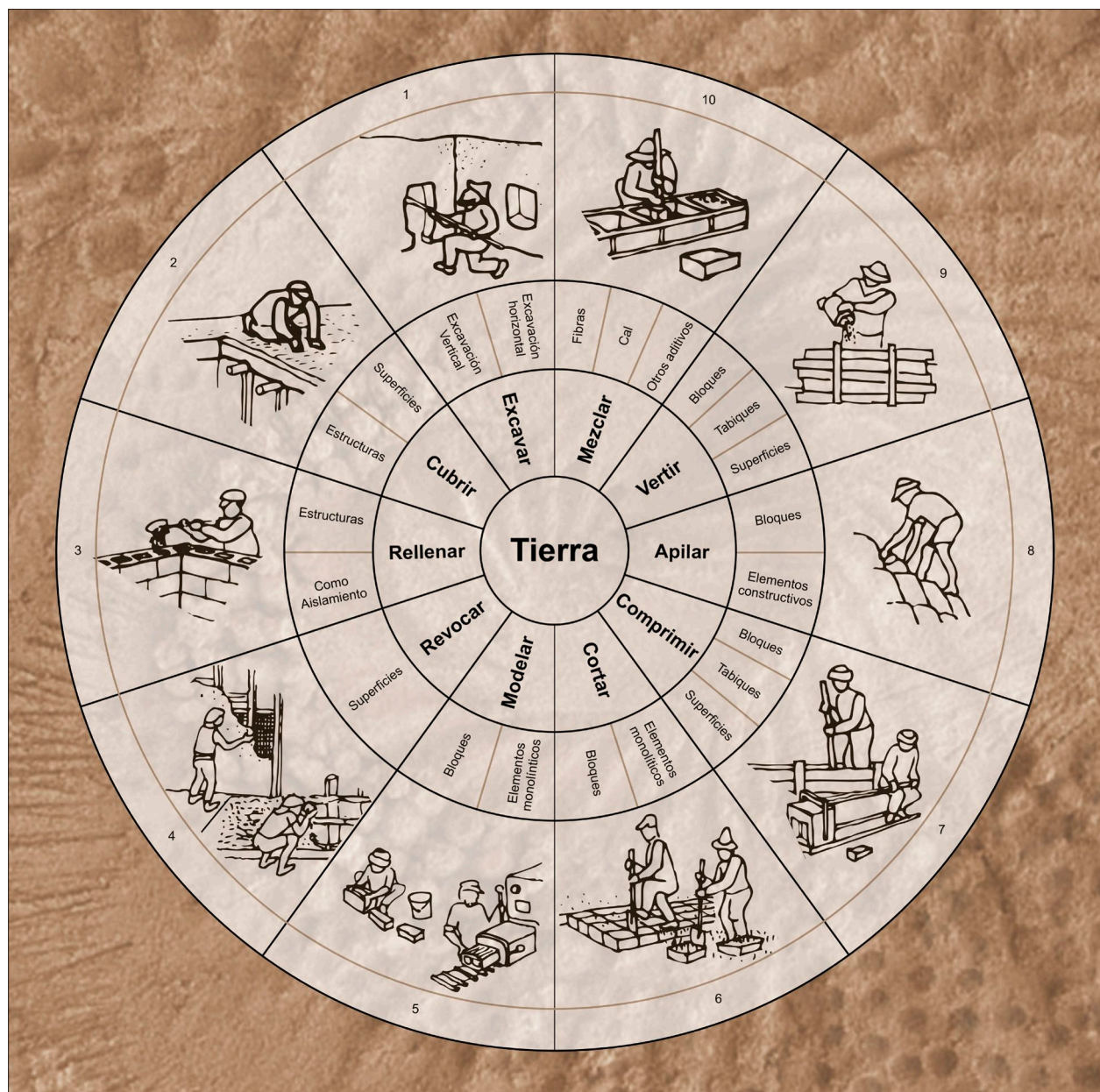


Fig. 2.3.1. La “rueda de la tierra” (originalmente propuesta por CRAterre) ejemplifica los diferentes modos de aplicación del material en la construcción. En la mayoría de países en vías de desarrollo la tierra se utiliza mediante tecnologías tradicionales, mientras que en países industrializados las tecnologías tradicionales se han modificado mediante el uso de herramientas, máquinas y sistemas de producción .

el uso de herramientas, máquinas, materiales y tecnologías que son incorporadas y que se utilizan para la optimización del material, el elemento constructivo y/o el sistema constructivo según cada caso.

A continuación el análisis de la innovación de la construcción en “tierra” se divide en dos partes. Por un lado se examina la innovación de elementos de

construcción y sistemas constructivos y por otra la innovación o “estabilización de la materia prima (la “tierra”).

Innovación de elementos y sistemas de construcción

En el caso de mampuestos de barro crudo (adobe) la innovación ha consistido en pasar del moldeado



Fig. 2.3.2a Los bloques convencionales de tierra compactados (BTC) alcanzan una resistencia a la compresión que oscila entre 2 y 6,5 MPa dependiendo el tipo de estabilización y el porcentaje de aditivo utilizado. Esta resistencia es baja comparada con la resistencia del hormigón o los ladrillos cerámicos (mayores a 20MPa).

manual del bloque a moldearlo mediante el uso de prensas mecánicas que garantizan una mejor compactación (por ejemplo el BTC, Fig. 2.3.2a) [1]. Algo similar ha ocurrido con los bloques o elementos extrusionados [2] que mediante el uso de máquinas extrusoras, en algunos casos, se ha garantizado una mejor productividad y control de calidad del producto final (Fig. 2.3.2b).

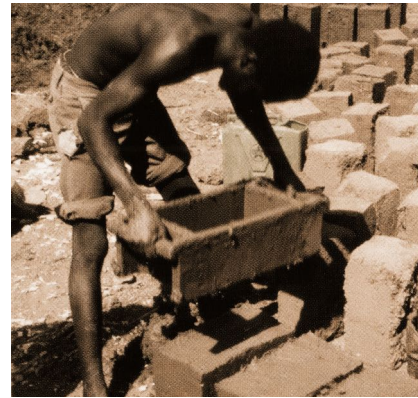
En el caso de la tapia, el uso de martillos neumáticos y sistemas de encofrado moderno han ayudado notablemente a reducir los tiempos de producción y a garantizar la calidad de compactación del material [3]. Además, con el

1 Calderón P., J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. Tesis de máster. Tecnología de la Arquitectura la Edificación y el Urbanismo. Universidad Politécnica de Catalunya.

2 Heath, A., Walker, P., Fourie, C., & Lawrence, M. (2009). *Compressive strength of extruded unfired clay masonry units*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials, 162(3), 105–112. Recuperado en Octubre 2016 de: <http://doi.org/10.1680/coma.2009.162.3.105>.

3 Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). *A Review of Rammed Earth Construction*. In D. of A. & C. Engineering (Ed.), DTI Project Report (p. 80). Bath: University of Bath. Recuperado en Octubre 2016 de: <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/a-review-of-rammed-earth-construction>.

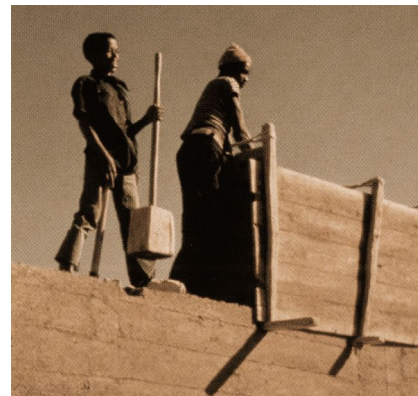
Bloque de tierra tradicional



Bloque de tierra "innovado"



Tapial de tierra. Sistema tradicional



Tapial de tierra. Sistema "innovado"



Fig. 2.3.2b La innovación de los elementos y sistemas constructivos con tierra ha sido principalmente impulsada por la implementación de tecnología, es decir, uso de herramientas y maquinaria que ha facilitado y optimizado la aplicación del material.

uso de estas tecnologías complementarias ha sido posible producir elementos prefabricados de tierra compactada de diferente tamaño y formato [1]. En el caso de las estructuras con entramados de fibras, la proyección de barro mediante compresores y dispersores ha servido para aminorar los tiempos de fabricación y controlar los acabados [2]. En definitiva, la tecnología contemporánea (máquinas y herramientas) han facilitado las acciones de modelar, cortar, comprimir, apilar, verter, mezclar, excavar, cubrir, rellenar, revocar, etc.

Por otra parte, la "tierra" y los elementos de construcción de "tierra" han empezado a utilizarse en sistemas de construcción mixtos. Así, el "BTC anti-sísmico", el "adobe anti-sísmico", "la tapia anti-sísmica", la "quincha metálica", "los elementos de tierra con refuerzo de hormigón", los "elementos de tierra con refuerzo metálico", "los elementos de tierra con aislamiento y/o calefacción incorporada", etc. forman parte de un gran abanico de tecnologías auxiliares de la construcción con barro [3]. Es decir, se han empezado a utilizar tecnologías constructivas y materiales complementarios como estrategias de "innovación" intentando garantizar un mejor desempeño mecánico y de resistencia en general (Fig. 2.3.3).

Innovación del material

La búsqueda de estrategias para dotar de características más resistentes a la "tierra" como material de construcción, se remonta a la prehistoria. Productos como la orina, la sangre, el estiércol, la goma arábiga, el jugo de agave, el betún natural, la caseína proveniente de la leche, las fibras vegetales y animales, la arena, el yeso,

1 Pan, W. (2012). *Prefabrication and Automation in Rammed Earth Building Construction*. In Proceedings of the CIB IAARC W119, Workshop 2012 (pp. 57–61). Munich, Germany. Recuperado en Octubre 2016 de: <https://bit.ly/2FkddBx>.

2 Minke, G. (2009). *op. cit.*

3 Hall, M. R., Lindsay, R., & Krayenhoff, M. (2012). *Modern earth buildings : materials, engineering, construction and applications*. (ELSEVIER, Ed.) (1st Edition). Woodhead Publishing.

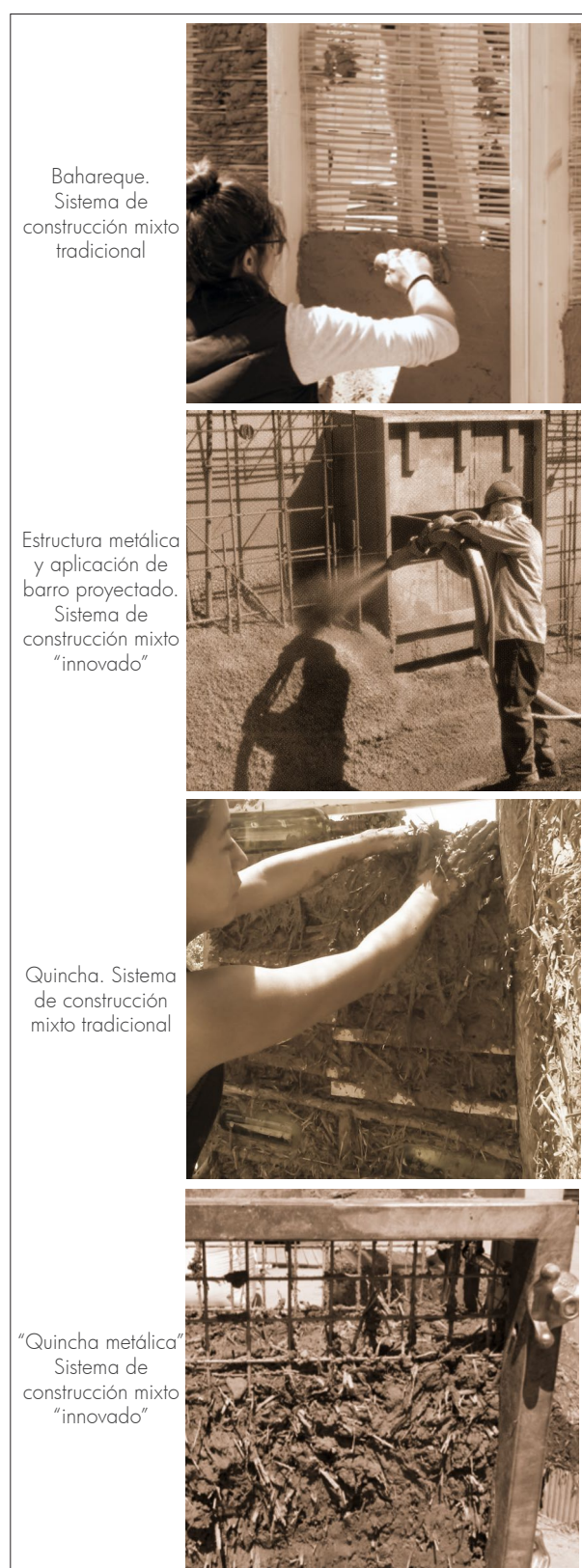


Fig. 2.3.3 En la actualidad se utilizan tecnologías constructivas y materiales complementarios como estrategias de apoyo e "innovación" que permiten superar los limitantes del material y de las tecnologías tradicionales.

la cal, las cenizas, las puzolanas, etc. [1,2], son ejemplos de algunos “estabilizantes” de arcilla utilizados empíricamente por constructores de todos los tiempos.

Las advertencias sobre el cambio climático y los problemas derivados del calentamiento global captaron el interés de los actores de la construcción y universidades en todo el mundo. Esto ha repercutido en el estudio científico de mecanismos de estabilización de la arcilla para su utilización como material de construcción “moderno” [3]. Investigaciones sobre la influencia de agregados de plantas y fibras, mezclas con cal, uso de cenizas, adición de cemento, uso de metacaolín, uso de residuos industriales, etc., son muestras de un gran abanico de estudios llevados a cabo en los últimos años, pero sin repercusiones notables en aplicaciones que cumplan las demandas actuales de la arquitectura y la construcción (Fig. 2.3.4).

Actualmente los “estabilizantes modernos” de la tierra de uso más frecuente son el cemento, la cal y el betún que comúnmente se agregan en proporciones que van del 5 al 15% en peso [4]. De estos, el cemento Portland es el más utilizado aunque estudios recientes no recomiendan su empleo y evidencian problemas inherentes a incompatibilidad e impacto ambiental [5,6].

1 Minke, G. (2001). *Manual de construcción en tierra : la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura tradicional*. Montevideo : Nordan-Comunidad. Recuperado en Octubre 2016 de: http://catalog.upc.edu/record=b1323040~S1*cat pp. 47-59.

2 Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction : a comprehensive guide*. London : Intermediate Technology Publications. Recuperado en Octubre 2016 de: http://catalog.upc.edu/record=b1189617~S1*cat pp. 73-103.

3 Venkatarama Reddy, B. V., & Latha, M. S. (2014). *Retrieving clay minerals from stabilised soil compacts*. Applied Clay Science, 101, 362–368. Recuperado en Octubre 2016 de: <http://doi.org/10.1016/j.clay.2014.08.027>.

4 Gallipoli, D., Bruno, A. W., Perlot, C., & Mendes, J. (2017). *A geotechnical perspective of raw earth building*. Acta Geotechnica, 12(3), 463–478. Recuperado en Octubre 2016 de: <http://doi.org/10.1007/s11440-016-0521-1>.

5 Damme, H. Van, & Houben, H. (2017). *Earth concrete . Stabilization revisited*. Cement and Concrete Research Journal.

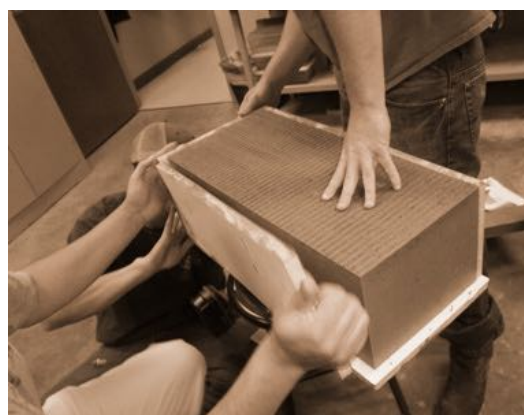
6 Gallipoli, D., Bruno, A. W., Perlot, C., & Mendes, J. (2017). *op. cit.*



“Hormigones” de arcilla con fluidificantes químicos



“Bio polímeros” y “bio mineralización” de arcillas



“Polimerización” de arcillas

Fig. 2.3.4 En los últimos años, el interés por alcanzar un mayor entendimiento de la tierra y sus componentes ha decantado en estudios enfocados en la innovación del material: biomineralización, polimerización, nanocompuestos, uso de defloculantes, etc. forman parte de una serie investigaciones con las que se inaugura el nuevo milenio.

De todos modos, los bloques de tierra cruda normalmente alcanzan resistencias a la compresión que oscilan entre 0,39MPa para bloques sin estabilizar y 6,5MPa para bloques estabilizados con un 20% de cemento [1]. Estas cifras están muy por debajo de la resistencia estándar del hormigón a base de cemento Portland o ladrillos cocidos modernos (20MPa).

LIMITANTES

La resistencia mecánica y la humedad son las razones principales por las cuales la “tierra” cruda adolece de una imagen deficiente, no cumple con algunos estándares de productividad y calidad y no pasa muchas de las pruebas de durabilidad y requerimientos técnicos superados por materiales industriales [2].

Además, las estructuras a base de barro comúnmente requieren un alto mantenimiento ya que son propensas a la erosión bajo la lluvia, al fácil deterioro de sus superficies, al agrietamiento ante pequeños esfuerzos de tracción y/o compresión y a un crítico comportamiento ante acciones dinámicas

en zonas sísmicas [3]. La historia ha demostrado que pueblos enteros (Fig. 2.4.1) han sido destruidos por inundaciones [4] y terremotos [5].

CARACTERÍSTICAS

La “tierra” es un material compuesto por diferentes elementos y su composición depende de varios factores que son el resultado de un largo proceso de formación. Los suelos se diferencian según sus partículas que varían en tamaño y/o estructura mineral, dotando al material de propiedades específicas.

Esto lo convierte en un material complejo, que al contrario de la creencia popular, requiere un minucioso estudio para su correcta caracterización, aplicación y/o innovación.

Componentes

Componentes gaseosos

La “tierra” normalmente contiene aire en las cavidades libres entre partículas sólidas y líquidas. Generalmente los componentes del aire son nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y en algunos casos metano. El aire no aporta a la resistencia, al contrario, contribuye a la porosidad y reduce la densidad del material. Los orificios vacíos ocupados por aire pueden ser ocupados por agua en forma de vapor.

1 Alam, I., Naseer, A., Shah, A. A. (2015). *Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone areas*. Construction and Building Materials, 77, 154–159. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.046>.

2 Damme, H. Van, & Houben, H. (2017). *op. cit.*



Fig. 2.4.1 Destrucción de casas de adobe en el terremoto de Irán de 2003.

3 Miccoli, L., Müller, U., & Fontana, P. (2014). *Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob*. Construction and Building Materials, 61, 327–339. Recuperado en Octubre 2016 de: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.009>.

4 Guettala, A., Abibsi, A., & Houari, H. (2006). Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure. Construction and Building Materials, 20(3), 119–127. Recuperado en Octubre 2016 de: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.001>.

5 Blondet, M., & Aguilar, R. (2007). *Seismic Protection of Earthen Buildings*. In Conferencia Internacional en ingeniería sísmica. (pp. 482–777). Lima. Recuperado en Octubre 2016 de: <http://www.cismid-uni.org>.

Componentes líquidos

El principal líquido constituyente del suelo es el agua y algunas sustancias disueltas en ella tales como azúcares, alcohol, ácidos, bases y sales. Generalmente en la naturaleza, el constituyente líquido proviene de la lluvia o de fuentes naturales de agua.

El agua puede cambiar las propiedades físicas del barro (Fig. 2.5.1). Activa la capacidad aglutinante de la arcilla y dota al material de la plasticidad necesaria para su manipulación. Existen diferentes tipos de agua presentes en la tierra: agua de cristalización o agua estructural, agua absorbida y agua capilar o agua de poros. El agua estructural está químicamente enlazada y se elimina calentando la tierra a temperaturas que pueden ir de 400°C a 900°C. El agua absorbida y capilar se elimina a temperaturas que van desde 50°C a 120°C [1].

Si la tierra se humedece se expande y si se seca se contrae. El efecto que produce el agua repercute

1 Minke, G. (2009). *op. cit.* p. 21.

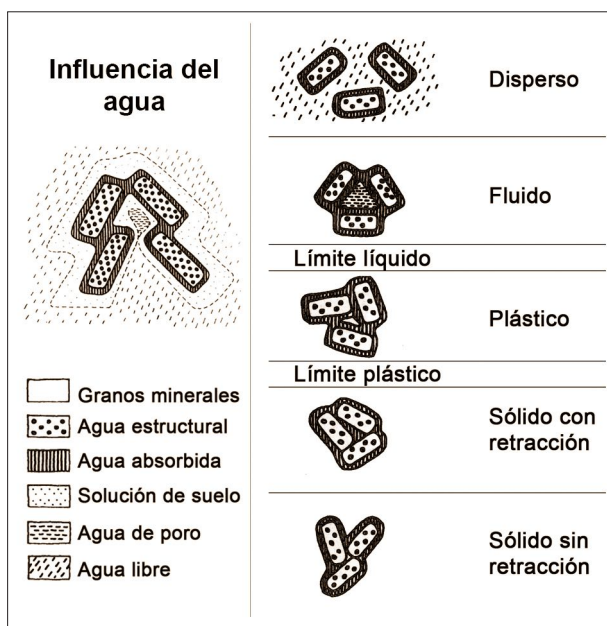


Fig. 2.5.1 La tierra está compuesta por diferentes elementos. El agua es el principal factor responsable del cambio de estado (líquido, plástico, sólido).

directamente en varias propiedades de la tierra, de ellas, las mas representativas son: la cohesión, expansión del material, contracción, plasticidad, y la función que cumple como disolvente de diferentes elementos como sodio, magnesio, calcio, etc., facilitando la redistribución de sus compuestos.

Componentes sólidos

Los constituyentes sólidos son insolubles en agua y se pueden dividir en constituyentes orgánicos e inorgánicos. Los componentes sólidos orgánicos representan las sustancias orgánicas provenientes de plantas y animales y pueden dividirse en: plantas y animales vivos, desechos de animales, plantas y animales en descomposición y humus. En un suelo extraído en una profundidad menor a 40cm por lo general encontraremos materia orgánica y humus. La tierra que se ha de utilizar como material de construcción debe estar libre de estas sustancias, pues no forman parte del material apto para construcción debido a su condición degradable (Fig.2.5.2).

Dentro de los componentes sólidos inorgánicos se pueden distinguir dos grupos de minerales: los minerales no degradados, que son idénticos

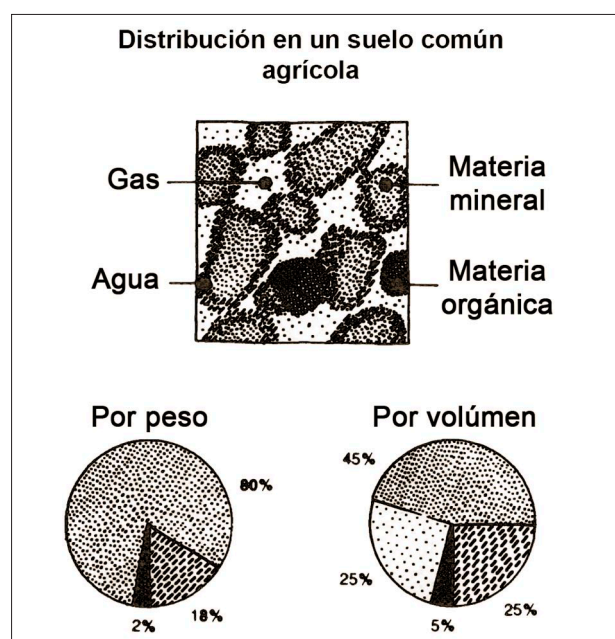


Fig. 2.5.2 El material para la construcción debe estar libre de materia orgánica.

en características a la roca de la que se derivan y constituyen las diferentes partículas minerales (arcilla, arena, grava y rocas; generalmente representan la mayor parte del suelo o tierra) y los minerales degradados, que son el resultado de la degradación química de los minerales de la roca original.

Al utilizar la "tierra" como material de construcción, los limos, la arena y otros agregados constituyen material de relleno.

La arcilla es el principal aglomerante del resto de partículas y sus características y propiedades dependen de su composición química y mineralógica.

Propiedades

La mayoría de las propiedades del barro varían de acuerdo a los diferentes elementos que lo componen. La granulometría de dichos elementos y la estructura mineral de los componentes internos y externos juegan un papel determinante en el comportamiento y propiedades del material.

Plasticidad

La plasticidad es la propiedad que permite moldear ciertos suelos aplicando fuerzas externas y mantener las formas adquiridas aun cuando la humedad y dichas fuerzas desaparecen. Los suelos tienen diferente plasticidad dependiendo de su composición. Las arenas y los limos tienen una plasticidad baja mientras que suelos con alto contenido de arcillas tienen una plasticidad mayor debido a sus propias características.

La plasticidad de un suelo, así como los límites entre diferentes estados de consistencia, están determinados por los límites de *Atterberg* que define los límites de plasticidad: máximo y mínimo. Si sobrepasamos el límite máximo de plasticidad el material adquiere fluidez y pierde su capacidad de mantener la forma. Si el material tiene un porcentaje de humedad por debajo del límite mínimo de plasticidad, la masa terrosa se vuelve

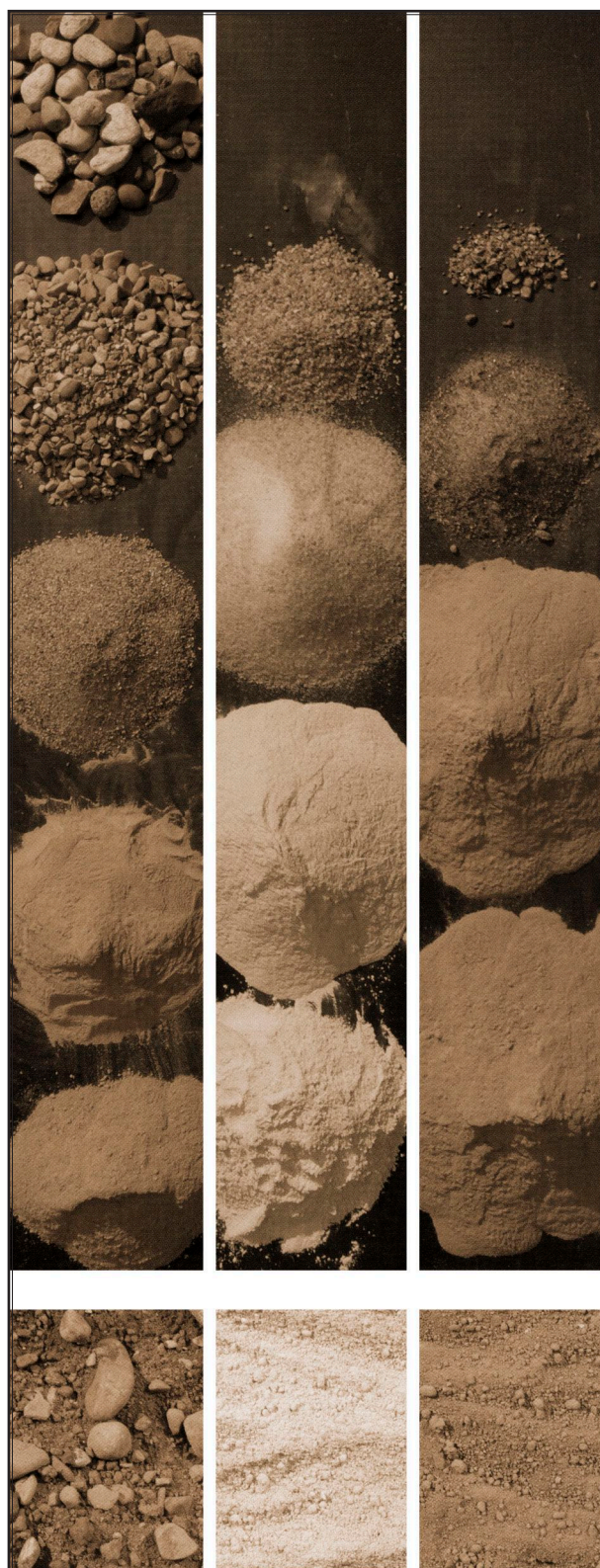


Fig. 2.5.3 Ejemplos de diferentes tipos de suelo compuestos por diferentes tipos de partículas que determinan su comportamiento. Es necesario conocer la composición, características y propiedades del suelo seleccionado para su correcta aplicación, evitando aquellos con contenido degradable (materia orgánica).

y no se puede moldear. La diferencia entre los dos porcentajes límites de humedad (máximo y mínimo) se llama número o índice de plasticidad [1].

Compactibilidad

La compactibilidad de un suelo define su máxima capacidad para compactarse según una energía de compactación y un grado de humedad dados. A medida que aumenta la densidad de un suelo, se reduce su porosidad y puede penetrar menos agua. Esta propiedad es el resultado de la interpenetración de los granos, que a su vez resulta en una reducción del agua. La compactibilidad de un suelo se mide mediante la prueba de compactación Proctor [2].

Cohesión

La cohesión de un suelo es una expresión de la capacidad de sus granos (Fig. 2.5.3) para permanecer juntos cuando se aplica un esfuerzo de tracción sobre el material. La cohesión depende de las propiedades adhesivas o de cementación del mortero que une los granos entre sí. La cohesión se mide mediante una prueba de tracción en condiciones húmedas [3].

Clasificación granulométrica

Un suelo normalmente se clasifica según el tamaño de sus partículas (Fig.2.5.4) que generalmente se determina mediante el uso de tamices. Según el tamaño de partícula los componentes sólidos de la "tierra" o suelo se pueden clasificar en rocas, grava, arena, limo, arcillas y coloides. La proporción y distribución de estos componentes determinan la estructura, textura y a su vez las propiedades de los suelos.

Los granos de un tamaño mayor de 0.06 mm pueden ser apreciados a simple vista o con ayuda de una lupa; los comprendidos entre 0.06 y 2 micras, que pueden ser examinados con la ayuda del microscopio, forman la fracción fina; los menores de 2 micras constituyen la fracción muy fina. Se requiere el uso del microscopio electrónico para percibir su forma y su estructura laminar.

La mayoría de los suelos naturales contienen partículas de dos o más fracciones. Las características particulares de un suelo compuesto están principalmente determinadas por las propiedades de la fracción más fina. La fracción gruesa actúa como un agregado o parte inerte de un suelo compuesto con participación entre el 80 y 90% del peso seco total, la parte decisiva o activa la constituye el 10% o 20% del resto formado por los finos [4].

4 Jiménez Salas, J. A., Justo Alpañés, J. L., & Serrano González, A. A. (1971). *Geotécnia y cimientos*. Madrid : Rueda. p. 14.

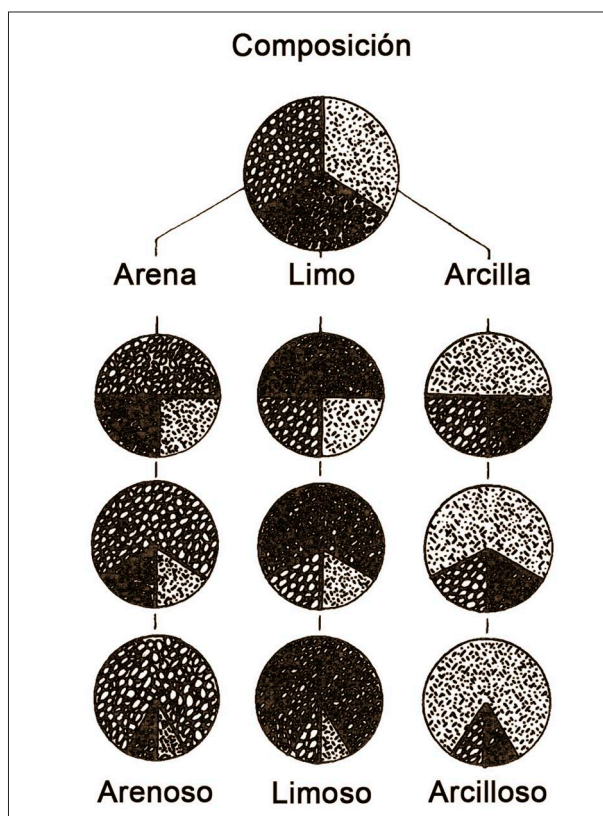


Fig. 2.5.4 Clasificación popular según la granulometría de los suelos.

1 Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *op. cit.* p. 32.
2 *Ibíd.* p. 33.
3 *Ibíd.*

Las arenas y las gravas se denominan suelos de grano grueso y los limos y arcillas, suelos de grano fino. Los suelos de grano grueso son suelos sin cohesión que exhiben plasticidad cero. Los suelos de grano fino, especialmente las arcillas, son plásticos y son la base de los materiales de construcción de "tierra" (Fig. 2.5.5). Para los suelos de grano fino la clasificación adicional se lleva a cabo utilizando un hidrómetro o un análisis de sedimentación que utiliza la ley de Stokes para la caída de partículas individuales de pequeño tamaño (limos y arcillas) [1].

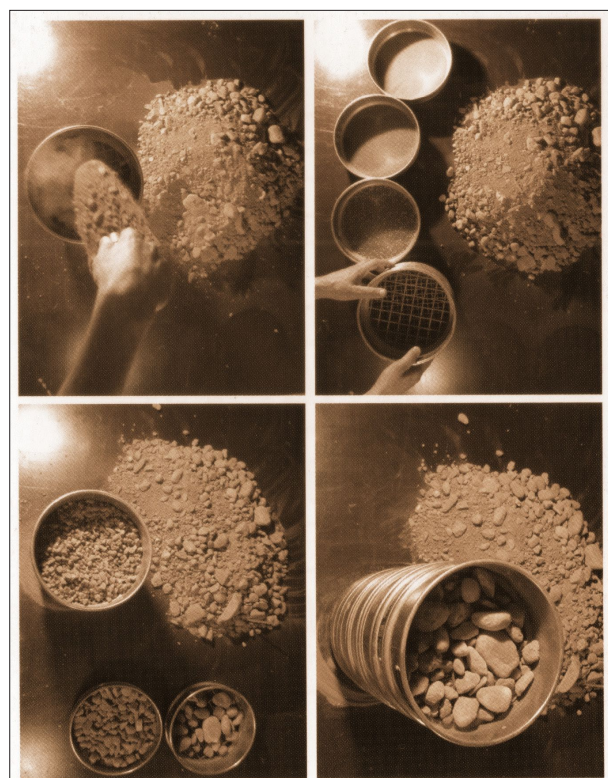
El análisis por difracción de rayos X (DRX) o el análisis de la distribución de tamaños de partículas

mediante difracción láser (ADL) son técnicas ampliamente utilizadas para un análisis de tamaño de partículas más exhaustivo. Los instrumentos que se emplean en esta técnica son particularmente atractivos por su capacidad de analizar tamaños de partículas en el rango de 0.02 a 2.000 micras. La adquisición rápida de datos y la facilidad de verificación son dos factores importantes en comparación al los análisis de sedimentación convencional [2].

Clasificación mineralógica

La "tierra" es un material compuesto por diferentes tipos de silicatos (Fig.2.5.6).

1 *Ibíd.*



Clasificación del suelo según su granulometría.					
Clasificación:	Rocas	Grava	Arena	Limo	Arcillas y coloides
Tamaño:	20 - 200 mm.	2 - 20 mm.	0,06 - 2 mm.	0,002 (2μ) - 0,06 mm.	< a 0,002 mm. (2μ)

Fig. 2.5.5 Clasificación de los suelos según el tamaño de partícula.

Silicatos

Los silicatos forman parte de la mayoría de las rocas, arenas y arcillas, de hecho, el 95% de la corteza terrestre está formada por silicatos [3]. Su composición y estructura se relacionan directamente con la naturaleza de la roca madre y los factores ambientales que les dio origen [4].

Los silicatos son el grupo de minerales más rico en especies. La unidad básica de los silicatos está formada por cuatro átomos de oxígeno y un átomo de silicio, por tanto, el oxígeno es el elemento más abundante de la corteza terrestre seguido por el silicio [5].

En general, los silicatos no tienen aspecto metálico y se caracterizan por su elevada dureza. Su clasificación se establece en varios conjuntos

2 Hall, M. R., Lindsay, R., & Krayenhoff, M. (2012). *op. cit* p 158.

3 Rubio, S. A., & Lopez, M. (2012). *Minerales y Rocas*. Recuperado en Octubre 2016 de: <http://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/Edafologia/aplicaciones/GIMR/index.php>.

4 Dominguez, J., & Schifter, I. (1995). "Las arcillas: el barro noble" en: *La ciencia para todos*. [en línea] México: Fondo de Cultura Económica, vol.3: Química. Recuperado en octubre 2016 de: 17/07/2018: <https://bit.ly/2zL97zT>

5 *Ibidem.*

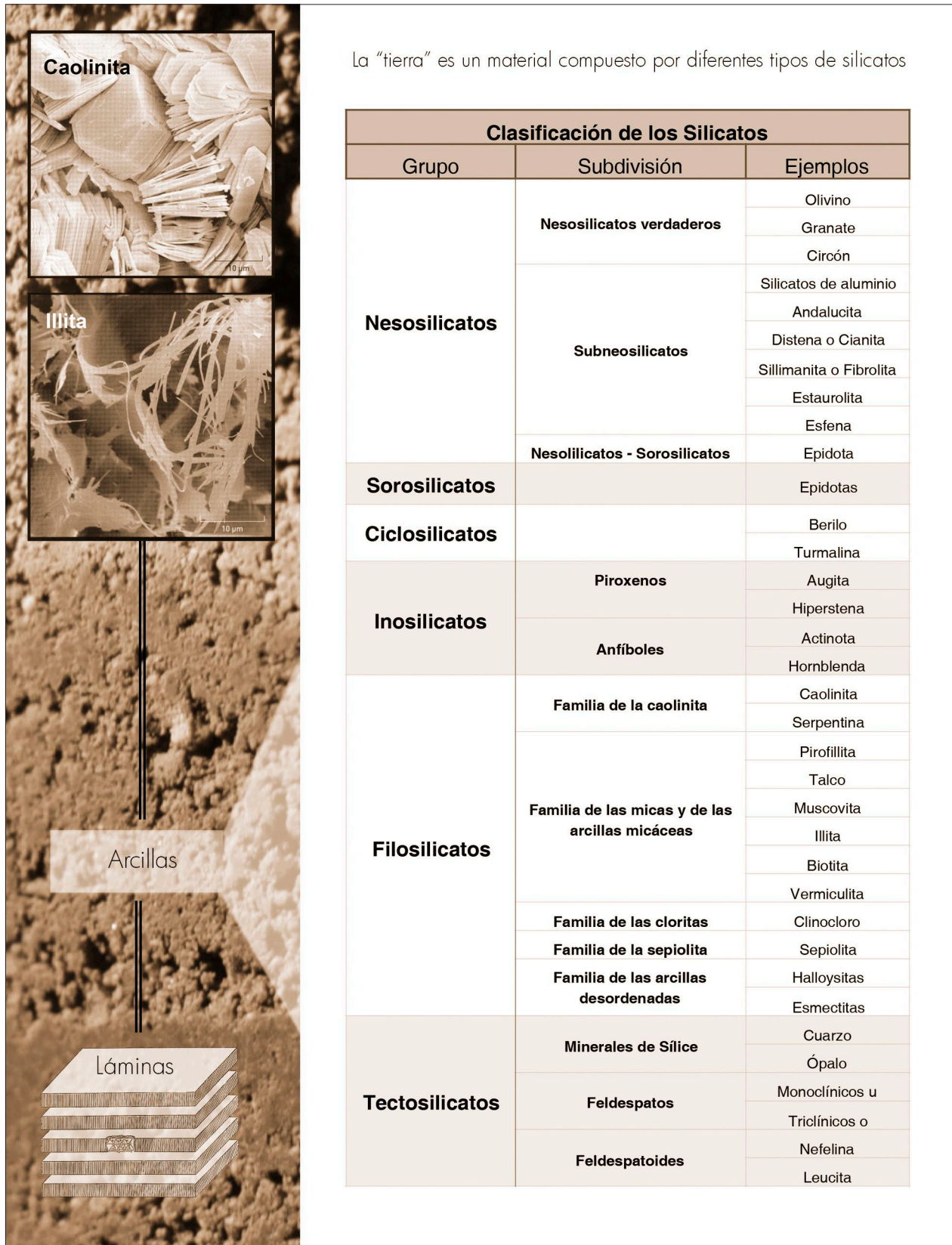


Fig.2.5.6 Los silicatos representan el grupo mineral más amplio, abarcando el 95% de los componentes de la corteza terrestre.

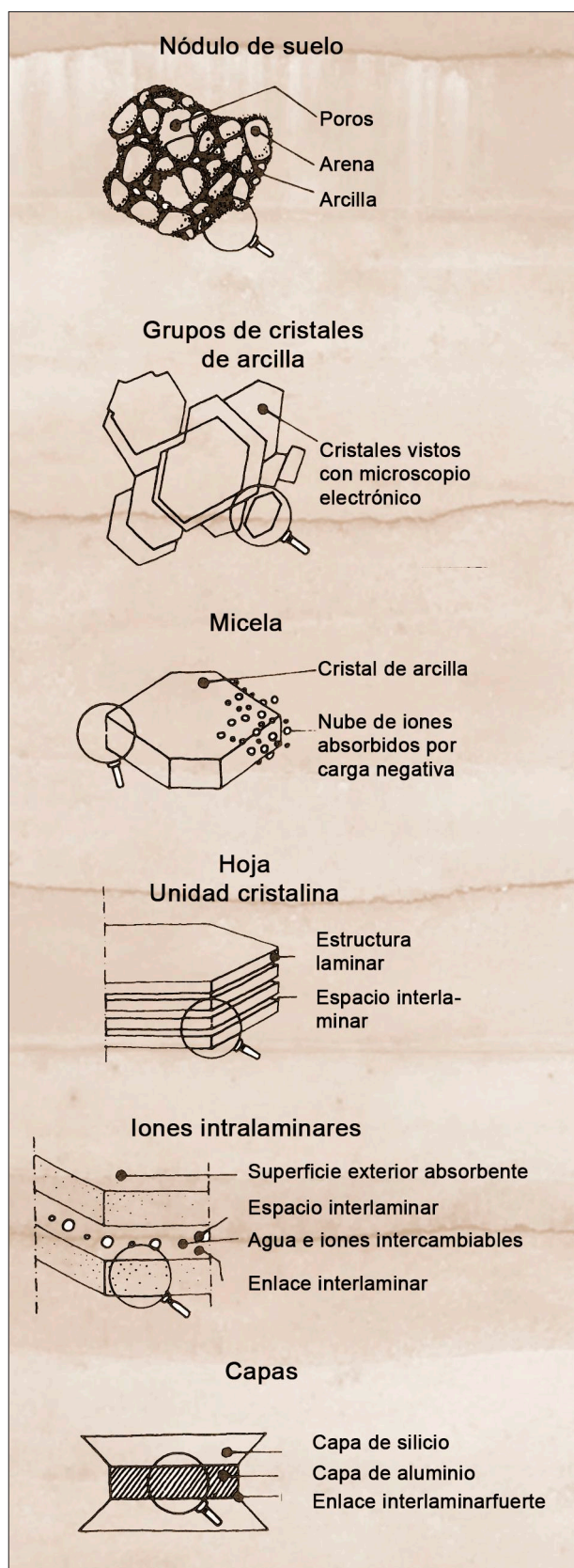


Fig.2.5.7 Esquema de las macro y micro partículas constituyentes de la tierra, en este ejemplo arcillas (silicatos-filosilicatos).

y subconjuntos en función de su estructura (Fig.2.5.6), determinada en cada caso por la manera de agrupación de tetraedros de silicatos (SiO_4). En cualquier tipo de silicatos el silicio puede ser remplazado parcialmente por el aluminio obteniéndose así aluminosilicatos [1].

Filosilicatos y arcillas

Los filosilicatos se caracterizan por una estructura laminar. Los minerales arcillosos o simplemente las arcillas son filosilicatos que por sus características son de relevante importancia para la "tierra" como material de construcción y para la ciencia de materiales en general.

Las arcillas se caracterizan por estar formadas por partículas muy finas de forma aplanada y con una superficie específica elevada (Fig.2.5.7). Son minerales de alteración y se forman a partir de otros minerales silicatados mediante un proceso de alteración química. Otros filosilicatos que no son minerales arcillosos, tienen origen ígneo o metamórfico [2].

A medida que se profundiza en el estudio de la tierra, se evidencia el error que supone abordar este material de construcción, como si se tratase de un material homogéneo, de composición invariable, que no demanda rigor técnico, y que responde a soluciones constructivas y tecnológicas universales.

Para entender el comportamiento de materiales térreos y proponer estrategias de optimización e innovación, tanto del material como de elementos y sistemas constructivos, es necesario el estudio de las arcillas: el tema que se aborda a continuación.

1 Rubio, S. A., & Lopez, M. (2012). *op. cit.*

2 *Ibidem.*

CREDITOS DE IMAGENES

- Fig. 2.0.1. La tierra es un material compuesto diferentes tipos de silicatos, entre ellos, los filosilicatos (arcillas) son el conglomerante principal. Fotografía: Isabella Breda, 2015, in occasione di PORTONI APERTI _ XVIII Festa della Ceramica – Nove (VI), Tessitura, Recuperado en Octubre 2018 de http://www.isabellabreda.it/il-mestiere-dellarte-_mulino-de-bortoli-_novevi/
- Fig. 2.1.1. (Izquierda) Muro de tierra apisonada en la antigua ciudad de Chan Chan - Perú, construido aproximadamente hace 2600 años. Recuperado en Octubre 2018 de: <http://www.welcomeperutravel.com/espanol/fotos-peru/trujillo/muro-chan-chan.html>
- Fig. 2.1.2. (Derecha) Muro de tierra apisonada en la casa Lehmhaus Rauch, en el poblado de Schlins - Austria, construida por Martin Rauch en el año 2008. Recuperado en Octubre 2018 de: http://tectonicablog.com/wp-content/uploads/2009/11/MG_3539-455x303.jpg.
- Fig. 2.2.1. En la región de Medio Oriente que corresponde a la actual Irán, Irak, Jordania, Siria, Israel, Líbano y Turquía se han encontrado los vestigios más antiguos de construcción con tierra hasta hoy. Recuperado en Octubre 2018 de: <https://maps.google.com/>.
- Fig. 2.2.2. Ruinas de antiguas viviendas. Los hallazgos arqueológicos en la antigua ciudad Cananea de Jericó, demuestran el uso de diferentes técnicas de construcción con tierra en murallas y edificios de vivienda, hace más de 10.000 mil años. Recuperado en Octubre 2018 de: <http://arqueologues.blogspot.com.es/2011/01/jericotell-es-sultan-palestina.html>.
- Fig. 2.2.3. Vestigios de Çatalhöyük. En su apogeo este asentamiento de la época neolítica llegó a cubrir 13 hectáreas. En sus capas inferiores (y más antiguas) el yacimiento data de más de 10.000 años y las más recientes de 7.700 años atrás. Recuperado en Octubre 2018: <https://scotthaddow.files.wordpress.com/2012/06/panosouth.jpg>.
- Fig. 2.2.4. Ejemplos de obras arquitectónicas ancestrales construidas con "tierra", dan testimonio del dominio de diferentes técnicas de construcción en diferentes épocas y lugares del mundo. Además evidencian que la línea de tendencia marcada en el pasado por el uso común de la tierra cruda como material de construcción, llegó a un punto de inflexión a partir del advenimiento de los materiales y la arquitectura 'moderna': la tierra poco a poco ha sido y es desplazada por materiales industrialmente procesados.
 - A) Zigurat de Ur (6.500 años). Recuperado en Octubre 2018 de: <https://bit.ly/2EP573D>
 - B) Zigurat de Choga Zanbil (3.250 años). Recuperado en Octubre 2018 de: <https://bit.ly/2Sw3FX1>
 - C) Arg-é Bam (2.500 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2Sw3FX1>
 - D) Shunet El Zebib (4.780 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2CMCim2>
 - E) Tumba de Rejmira (3.500 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2JlM6ol>
 - F) Mohenio Daro (5.000 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2Ay64ZY>
 - G) El arca de Bukhara (2.000 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2Jnsb8k>
 - H) La gran muralla China (1.500 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2Ay72p4>
 - I) Fujian Tulou (800 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2F2blnB>
 - J) Almacenes Ramesseum (3.000 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2SuurPb>
 - K) Ventarrón - Templo (3.500 a.C.). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2EZr7ZE>
 - L) Huacas de Sol y Luna (2.000 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2zfBMJY>
 - M) Chan Chan (2.600 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2SqY6c9>
 - N) Muros de la Alcazaba (1.000 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2Dbq7ix>
 - O) El Pueblo de Taos (1.000 años). Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://bit.ly/2COotDx>
- Fig. 2.2.5. Ejemplos de técnicas populares de construcción con "tierra" que siguen utilizándose en todo el mundo. Recuperado en Octubre de 2018 de: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l'architecture*. Belin. pp. 28,29,42,43,70,82,90.
- Fig. 2.3.1. La "rueda de la tierra" (originalmente propuesta por CRAterre) ejemplifica los diferentes modos de aplicación del material en la construcción. En la mayoría de países en vías de desarrollo la tierra se utiliza mediante tecnologías tradicionales, mientras que en países industrializados las tecnologías tradicionales se han modificado mediante el uso de herramientas, máquinas y sistemas de producción. Figura de autor a partir de: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l'architecture*. Belin. p 26
- Fig. 2.3.2a. Los bloques convencionales de tierra compactados (BTC) alcanzan una resistencia a la compresión que oscila entre 2 y 6,5 MPa dependiendo el tipo de estabilización y el porcentaje de aditivo utilizado. Esta resistencia es baja comparada con la resistencia del hormigón o los ladrillos cerámicos (20Mpa). Fotografía de autoría propia. Festival Grains d'Isère 2015 (Les Grands Ateliers, Villefontaine).
- Fig. 2.3.2b. La innovación de los elementos y sistemas constructivos con tierra ha sido principalmente impulsada por la implementación de tecnología, es decir, uso de herramientas y maquinaria que ha facilitado y optimizado la aplicación del material. Se muestra:
 - A. Bloque de tierra tradicional. Recuperado en Octubre de 2018: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l'architecture*. Belin. p. 44
 - B. Bloque de tierra "innovado". Recuperado en Octubre de 2018: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l'architecture*. Belin. p. 44
 - C. Tapial de tierra. Sistema tradicional. Recuperado en Octubre de 2018: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l'architecture*. Belin. p. 30.
 - D. Tapial de tierra. Sistema "innovado". Recuperado en Octubre de 2018: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l'architecture*. Belin. p. 30

- Fig. 2.3.3. En la actualidad se utilizan tecnologías constructivas y materiales complementarios como estrategias de apoyo e “innovación” que permiten “superar” los limitantes del material y de las tecnologías tradicionales. Se muestra:
 - A. Bahareque. Sistema de construcción mixto tradicional. Fotografía de autoría propia. Festival Grains d’Isère 2015 (Les Grands Ateliers, Villefontaine).
 - B. Estructura metálica y aplicación de barro proyectado. Sistema de construcción mixto “innovado”. Recuperado en Octubre de 2018: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l’architecture*. Belin. p.71
 - C. Quincha. Sistema de construcción mixto tradicional. Recuperado en Octubre de 2018: <https://bit.ly/2qfBvCm>.
 - D. “Quincha metálica” Sistema de construcción mixto “innovado”. Fotografía de autoría propia. Festival Grains d’Isère 2015 (Les Grands Ateliers, Villefontaine).
- Fig. 2.3.4. En los últimos años, el interés por alcanzar un mayor entendimiento de la tierra y sus componentes ha decantado en estudios enfocados en la innovación del material: biomineralización, polimerización, nanocompuestos, uso de defloculantes, etc. forman parte de una serie investigaciones con las que se inaugura el nuevo milenio. Se muestra:
 - A. “Hormigones de arcilla”. Recuperado en Octubre de 2018 de: MOEVUS-DORVAUX, M., et al. (2016). *Béton d’Argile Environnemental*. CRAterre. Villefontaine. p. 69
 - B. “Bio polímeros” y “bio mineralización” de arcillas. Recuperado en Octubre de 2018 de: Vissac, A. (2017), et al. *Argiles & Biopolymères*. CRAterre. Villefontaine. pp. 21, 22,
 - C. “Polimerización” de aluminosilicatos de arcillas. Recuperado en Octubre de 2018 de: <https://moorepartners.ca/floored/>
- Fig. 2.4.1. Destrucción de casas de adobe en el terremoto de Irán de 2003. Recuperado en Octubre de 2018 de: Blondet, M., & Aguilar, R. (2007). *SEISMIC PROTECTION OF EARTHEN BUILDINGS*. In Conferencia Internacional en ingeniería sísmica. (pp. 482-777). Lima. Recuperado de: <http://www.cismid-uni.org>. p. 2
- Fig. 2.5.1. La tierra está compuesta por diferentes elementos. El agua es el principal factor responsable del cambio de estado (líquido, plástico, sólido). Recuperado en Octubre de 2018 de: Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction : a comprehensive guide*. London : Intermediate Technology Publications. Recuperado de http://cataleg.upc.edu/record=b1189617~S1*cat p. 22.
- Fig. 2.5.2. El material para la construcción debe estar libre de materia orgánica. Recuperado en Octubre de 2018 de: Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction : a comprehensive guide*. London : Intermediate Technology Publications. Recuperado de http://cataleg.upc.edu/record=b1189617~S1*cat p. 20.
- Fig. 2.5.3. Ejemplos de diferentes tipos de suelo compuestos por diferentes tipos de partículas que determinan su comportamiento. Es necesario conocer la composición, características y propiedades del suelo seleccionado para su correcta aplicación, evitando aquellos con contenido degradable (materia orgánica). Recuperado en Octubre de 2018: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l’architecture*. Belin. p. 104.
- Fig. 2.5.4. Clasificación popular según la granulometría de los suelos. Recuperado en Octubre de 2018 de: Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction : a comprehensive guide*. London : Intermediate Technology Publications. Recuperado de http://cataleg.upc.edu/record=b1189617~S1*cat p. 21.
- Fig. 2.5.5. Clasificación de los suelos según el tamaño de partícula. Recuperado en Octubre de 2018: Fontaine, L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l’architecture*. Belin. p. 102.
- Fig.2.5.6. Los silicatos representan el grupo mineral más amplio, abarcando el 95% de los componentes de la corteza terrestre. Autoría propia a partir de: Rubio, S. A., & Lopez, M. (2012). *Minerales y Rocas*. Recuperado de: <http://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/Edafologia/aplicaciones/GIMR/index.php> y L., & Anger, R. (2009). *Bâtir en terre Du grain de sable à l’architecture*. Belin. p. 159.
- Fig.2.5.7. Esquema de las macro y micro partículas constituyentes de la tierra, en este ejemplo arcillas (silicatos-filosilicatos). Recuperado en Octubre de 2018 de: Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction : a comprehensive guide*. London : Intermediate Technology Publications. Recuperado de: http://cataleg.upc.edu/record=b1189617~S1*cat p. 26.

DESCRIPCIÓN DE ANÁLISIS Y ENSAYOS

A continuación se describen los análisis realizados en la campaña experimental y aplicados en la caracterización de materiales precursores y "geopolímeros".

Análisis por difracción de rayos X (DRX)

Los rayos X se definen como una radiación electromagnética de longitud de onda corta causada por la desaceleración de electrones de elevada energía o por transiciones electrónicas que implican electrones de los orbitales internos de los átomos. La interacción entre el vector eléctrico de la radiación X y los electrones de la materia por la que pasa da lugar a una dispersión. Cuando los rayos X son dispersados por un cristal, se observan interferencias entre los rayos dispersados debido a que las distancias entre los centros de dispersión son del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la radiación, dando como resultado una difracción [1].

El ensayo DRX consiste en medir la desviación que sufre un haz de rayos X cuando incide sobre las partículas. Los ángulos de desviación están

1 Bouzón Orgeira, N. (2015). *Activadores Alcalinos Alternativos a Partir De La Ceniza De Cáscara De Arroz. Para La Preparación De Geopolímeros*. Doctorado. Universitat Politècnica de València. p.67. Recuperado en octubre 2016 de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/54126>.

Detalles del ensayo DRX:

Sample preparation methodology:

Manual pressing of some of the received powder materials, by means of a glass plate to get a flat surface, in cylindrical standard sample holders of 16 millimetres of diameter and 2.5, 1.5 or 0.5 millimetres of height.

Instrument and experimental conditions:

PANalytical X'Pert PRO MPD Alpha1 powder diffractometer in Bragg-Brentano $\theta/2\theta$ geometry of 240 millimetres of radius $\text{Cu K}_{\alpha 1}$ radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). Work power: 45 kV – 40 mA. Focalizing Ge (111) primary monochromator Sample spinning at 2 revolutions per second Variable automatic divergence slit to get an illuminated length in the beam direction of 10 millimetres. Mask defining a length of the beam over the sample in the axial direction of 12 millimetres. Diffracted beam 0.04 radians Soller slits X'Celerator Detector: Active length = 2.122°. $\theta/2\theta$ scan from 4 to 80° 2θ with step size of 0.017° and measuring time of 80 seconds per step.

estrechamente relacionados con la distancia entre los planos de la red cristalina del material, siguiendo la ley de Bragg. Con un análisis DRX es posible identificar algunos compuestos cristalinos de un material. Cada estructura cristalina genera un único patrón de difracción. La Difracción de Rayos X (DRX) es una técnica no destructiva, lo que permite la recuperación del material estudiado sin ningún tipo de deterioro [2].

Los análisis DRX fueron realizados en los *Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona*, con un equipo PANalytical X'Pert PRO MRD (Fig. 6.4.1).

Análisis por fluorescencia de rayos X (FRX)

La fluorescencia de rayos X es un análisis que se usa para detectar la composición química de un material que ha sido excitado al ser expuesto a rayos X de alta energía o rayos gamma.

Tanto los rayos X como los gamma pueden ser suficientemente energéticos para desprender electrones fuertemente ligados en los orbitales internos del átomo. Esto genera energía mediante emisión de un fotón, que es igual a la diferencia de energía entre los dos orbitales que intervienen. La radiación emitida es característica de los átomos componentes del material. La fluorescencia de rayos

2 *Ibíd.*



Fig. 6.4.1 (derecha) Equipo de Análisis por difracción de rayos X (PANalytical X'Pert PRO MRD diffractometer). Fig. 6.4.2 (izquierda) Equipo de análisis por fluorescencia de rayos X (Panalytical, Axios PW 4400/40 sequential wavelength - dispersive X-ray spectrophotometer (WDXRF)).

X tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas y líquidas [1].

Los análisis FRX fueron realizados en los *Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona*, con un equipo *Panalytical, Axios PW 4400/40 sequential wavelength-dispersive X-ray spectrophotometer (VVDXRF)* (Fig. 6.4.2).

Análisis termogravimétrico (ATG)

El análisis termogravimétrico es una técnica en la que continuamente se recogen datos de la masa de una muestra colocada en una atmósfera controlada en función de la temperatura y tiempo, aumentando la temperatura de la muestra (normalmente de forma lineal con el tiempo), la línea que representa la masa en función del tiempo y la temperatura se denomina termograma o curva de descomposición térmica. En esta curva (ATG) refleja las variaciones de masa que son características de las reacciones químicas que se producen durante el experimento a medida que aumenta el tiempo y la temperatura [2].

La derivada termogravimétrica (DTG) muestra información sobre la velocidad de pérdida o ganancia de masa en función de la temperatura y del tiempo. Esta curva permite identificar con mayor facilidad las variaciones de masa, en especial cuando las pérdidas son muy pequeñas o también cuando existen procesos químicos con

temperaturas muy próximas [3].

El análisis termogravimétrico (ATG) fue realizado mediante un equipo SDT Q600 de TA Instruments, en una atmósfera de aire y un caudal de gas de 100 mL·min⁻¹. La cantidad de muestra en los ensayos realizados es especificada en cada caso. Se ha procedido inicialmente a equilibrar la temperatura del equipo a 30 °C, y calentar posteriormente hasta 1000 °C a una velocidad de 10 °C·min⁻¹. Los análisis ATG fueron realizados en el Departamento de Ciencia de Materiales y Química Física de la *Universitat de Barcelona* (Fig.6.4.3).

Análisis de la distribución de tamaños de partículas mediante difracción láser (ADL)

El Análisis de Partículas por Difracción de Rayos Láser (ADL) es una técnica empleada para la determinación de la distribución del tamaño de partículas de un material, comúnmente denominada granulometría láser. Es una técnica de medición de tamaño de partículas que van desde cientos de nanómetros hasta varios milímetros a partir de la variación angular de la luz dispersada cuando un rayo láser pasa a través de una muestra de partículas.

Las partículas grandes dispersan la luz en ángulos pequeños y las partículas pequeñas dispersan la luz en ángulos grandes. Luego se analizan los datos de la intensidad de dispersión angular para calcular el tamaño de las partículas responsables de crear el patrón de dispersión. La información

1 *Ibidem.* p.65.

2 *Ibidem.* p.72.



Fig. 6.4.3 Equipo SDT Q600 de TA Instruments.

3 Formosa, J. (2012). *Tesis: Formulaciones de nuevos morteros y cementos especiales basadas en subproductos de magnesio.* Universitat de Barcelona. p. 70.



Fig. 6.4.4 Equipo de análisis de la distribución de tamaños de partículas mediante difracción láser Mastersizer 2000 Malvern PANalytical.

es procesada aplicando modelos ópticos, que consideran las partículas como esferas, reflejando así, la distribución del tamaño de partículas [1].

Los análisis ADL (Fig. 6.4.4) fueron realizados en el *Institute of Earth Sciences Jaume Almera of the Spanish Scientific Research Council (ICTJA-CSIC)* en Barcelona, con un equipo *Mastersizer 2000 Malvern PANalytical*.

Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido (SEM) proporciona información morfológica y topográfica sobre la superficie de los sólidos que son necesarias para entender el comportamiento del material, así como información cuantitativa y cualitativa sobre la composición elemental de las diversas áreas de una superficie. Una imagen SEM, expone la superficie de una muestra sólida que es barrida con un haz de electrones. Proceso que se repite hasta completar el análisis del área deseada. Al barrer la superficie con electrones de energía elevada se producen diversos tipos de señales. Las muestras para estos análisis deben cumplir dos condiciones: estar secas y ser conductoras [2].

Las muestras se recubrieron con paladio-platino. El voltaje de emisión del haz de electrones fue entre 15 y 20 Voltios. Los análisis SEM fueron realizados en los *Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona*, con un equipo *JSM-7010F Field Emission Scanning Electron Microscope* (Fig. 6.4.5).

1 Bouzón Orgeira, N. (2015) op.cit. p.64.

2 *Ibidem*. p.69.

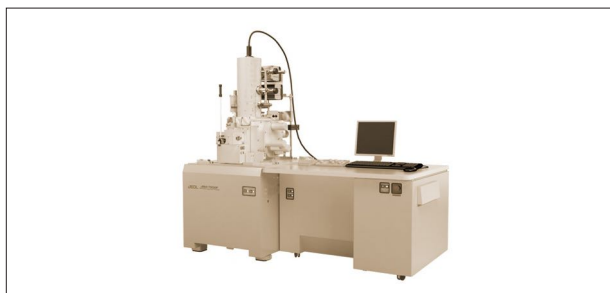


Fig. 6.4.5 Equipo de análisis SEM JSM-7010F Field Emission Scanning Electron Microscope.

Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande (UNE 103103:1994)

Para la determinación del límite líquido de un suelo se tomó como referencia la norma UNE 103103:1994. Esta norma determina el procedimiento mediante la utilización del aparato o cuchara de *Casagrande* (Fig. 6.4.6).

Se define límite líquido, a los efectos de esta norma, como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de dos golpes por segundo [3].

La determinación del límite líquido de las arcillas se llevó a cabo en el *Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)*.

Determinación del límite plástico de un suelo. (UNE 103104:1993)

Para la determinación del límite plástico de las arcillas se utilizó como referencia la norma UNE 103104:1993. Esta norma tiene por objeto

3 Asociación Española de Normalización y Certificación (1986- ...). (1999). *Geotecnia : ensayos de campo y de laboratorio*. Madrid : AENOR. Recuperado en Octubre 2017 de: http://catalog.upc.edu/record=b1267849~S1*cat pp. 99-107.



Fig. 8.4.6 Aparato de Casagrande.



Fig. 6.4.7 Izquierda: determinación del límite plástico de arcillas conforme a la norma UNE 103104:1993. Derecha: equipo AutoPore V Series Mercury Porosimeters para análisis de porosimetría por inyección de mercurio.

especificar el método para la determinación del límite plástico de un suelo, definido a los efectos de esta norma como la humedad más baja con la que pueden formarse con un suelo cilindros de 3mm de diámetro, rodando dichos cilindros entre los dedos de la mano y una superficie liza, hasta que los cilindros empiecen a resquebrajarse (Fig. 6.4.7 Izquierda) [1].

La determinación del límite plástico de las arcillas se llevó a cabo en el *Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)*.

Porosimetría de Mercurio

La porosimetría por inyección de mercurio (Hg) es una técnica utilizada en la caracterización del sistema macroporoso de los materiales. Se basa en la aplicación de presión para forzar la filtración de mercurio en la red porosa del material.

Este análisis se utiliza en el estudio de materiales que presentan macroporos y mesoporos y se puede llegar a medir poros de hasta 6 nm; con este análisis se determina el área, el volumen de macro y mesoporos y se calcula la distribución de

la porosidad del material [2].

El análisis de porosimetría de mercurio (Fig. 6.4.7 derecha) se realizó en el *Departamento de Química de la Universidad de Navarra*.

Porosidad y densidad (método convencional)

Para la determinación de la densidad del material se tomó como referencia la norma UNE-EN 772-13 [3]. También se tomó en cuenta la norma europea UNE-EN 1936 que especifica métodos de determinación de la densidad real, de la densidad aparente y de la porosidad abierta y total de la piedra natural [4].

La determinación de porosidad, densidad aparente y densidad relativa de los geopolímeros escogidos se llevó a cabo en el *Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)* (Fig. 6.4.8).

Determinación de la absorción de agua por capilaridad

Para la determinación de la absorción de agua por capilaridad se tomó como referencia la norma UNE-EN 772-11. Esta norma europea describe un método para determinar el coeficiente de absorción

2 Recuperado en Octubre 2017 de: <http://www.incar.csic.es/porosimetria-de-mercurio>.

3 Recuperado en Octubre 2017 de: <https://bit.ly/2vKeYjp>.

4 Recuperado en Octubre 2017 de: <https://bit.ly/2M5EABO>.



Fig. 6.4.8 Determinación de la porosidad y la densidad según las instrucciones establecidas en las norma correspondientes.

1 Asociación Española de Normalización y Certificación (1986- ...). (1999). *Geotecnia : ensayos de campo y de laboratorio*. Madrid : AENOR. Recuperado en Octubre 2017 de: http://catalog.upc.edu/record=b1267849~S1*cat pp. 109-110.

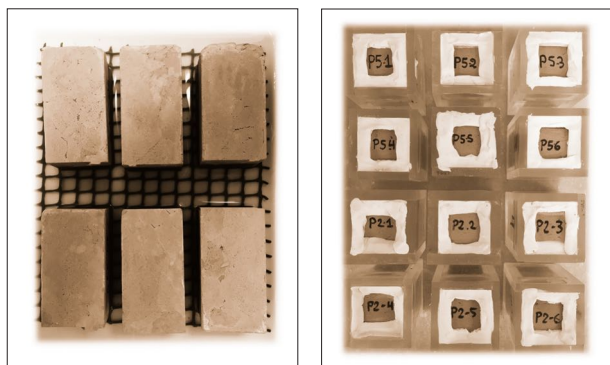


Fig. 6.4.9 Izquierda: determinación de la absorción de agua por capilaridad conforme a la norma UNE-EN 772-11. Derecha: determinación de la permeabilidad al vapor del agua conforme a la norma UNE-EN ISO 12572.

de agua por capilaridad de las piezas para fábrica de albañilería de hormigón, de hormigón celular curado en autoclave, de piedra natural y de piedra artificial, y la tasa inicial de absorción de agua de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería [1].

La determinación de la absorción por capilaridad (Fig. 6.4.9 Izquierda) de los geopolímeros escogidos se llevó a cabo en el *Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)*.

Permeabilidad al vapor de agua

Para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua se tomó como referencia la norma UNE-EN ISO 12572: Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua.

Esta norma especifica un método basado en ensayos de plato para determinar la permeabilidad al vapor de agua de los productos de edificación y la permeabilidad de los materiales de construcción bajo condiciones isoterma. Se especifican diferentes tipos de condiciones de ensayo. Los principios generales son aplicables a todos los materiales y productos de edificación higroscópicos

y no higroscópicos [2].

La determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los geopolímeros escogidos se llevó a cabo en el *Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)*.

Determinación del módulo de Young dinámico (MOE) por excitación de la vibración por impulso

El módulo de Young se obtiene utilizando el método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto descrito por J. Rosell y I. Cantalapiedra [2010] [3] y sustentado en la Norma ISO 12680 [4]. Este método, basado en la aplicación y medición de ondas acústicas generadas a partir de impactos para analizar la frecuencia de resonancia en las probetas, constituye un ensayo no destructivo.

Las probetas utilizadas según RILEM de formato 4x4x16cm son pesadas y medidas antes de ser

2 Recuperado en Octubre 2017 de: <https://bit.ly/2vMAwMo>.

3 Rosell, J. R., & Cantalapiedra, I. R. (2011). Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto aplicado a morteros de cal y cemento Simple method of dynamic Young 's modulus determination in lime and cement mortars. *Materiales de Construcción*, 301, 39-48. <http://doi.org/10.3989/mc.2010.53509>.

4 Norma UNE-EN ISO 12680-1: "Métodos de ensayo para productos refractarios. Parte 1: Determinación del módulo de Young dinámico (MOE) por excitación de la vibración por impulso" (2007).

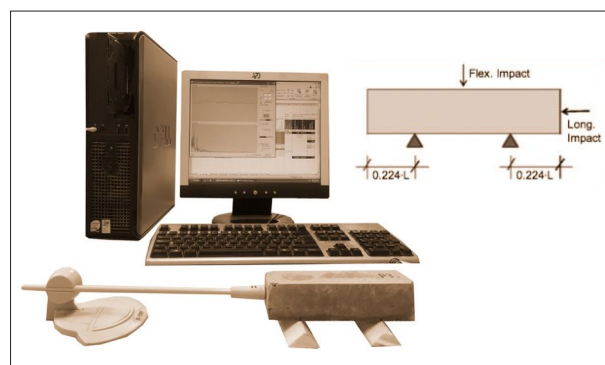


Fig. 6.4.10 Para la determinación del módulo de Young dinámico (MOE) se tomó como referencia la norma UNE-EN ISO 12680-1.

1 Recuperado en Octubre 2017 de: <https://bit.ly/2M7bp12>.

excitadas mediante pequeños impactos, con un martillo con un peso aproximado del 5% de la probeta, para evitar el desplazamiento de la misma por acción de los golpes (Fig. 6.4.10a). Las frecuencias generadas por el impacto son captadas con un micrófono en ambiente de laboratorio ($20 \pm 2^\circ\text{C}$; 10% HR) y luego procesadas mediante un software que analiza la señal mediante la transformada rápida de Fourier (FFT) que proporciona el valor de la velocidad de frecuencia longitudinal de la vibración. Para el cálculo de los resultados se siguen los procedimientos establecidos para análisis mediante vibraciones transversales [1]. Para el cálculo del módulo de elasticidad no se ha considerado un coeficiente de Poisson hipotético.

La determinación del MOE (Fig.6.4.10b) de los geopolímeros escogidos se llevó a cabo en el Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB).

Determinación de la resistencia mecánica

La resistencia mecánica de un cuerpo, determina su capacidad de soportar fuerzas (según el material y la geometría). Todos los "geopolímeros" fabricados en esta campaña experimental fueron sometidos a ensayos de resistencia a flexión y compresión en el Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB).

Las condiciones del laboratorio, los equipos empleados y los procedimientos de los ensayos toman como referencia la norma UNE-EN 196-1. Para la aplicación de carga se utilizó una prensa automática multiensayo electromecánica de 300 kN con control en desplazamiento, deformación y carga (Mecánica Científica REF. 42 0440-ESP (Fig.6.4.11)), y los dispositivos respectivos para el ensayo de flexión (Fig.6.4.13) y compresión (Fig.6.4.15).

Resistencia a flexión

Para la determinación de la resistencia a flexión se tomaron como referencia las normas UNE-EN 196-1, UNE-EN 1015-11 y UNE-EN 12390-5. Se ensayaron probetas prismáticas de formato RILEM de formato $4 \times 4 \times 16$ cm. a una velocidad de 50N/s. Para todos los ensayos se utilizó el método del punto central de carga, sometiendo las probetas a un momento flector mediante la aplicación de una carga a través de un rodillo superior y dos rodillos inferiores. Se registró la carga máxima alcanzada y se calculó la resistencia a flexión [2]. La resistencia a flexión viene dada por la fórmula:

$$f_{cf} = \frac{3 \times F \times l}{2 \times d_1 \times d_2^2}$$

Donde f_{cf} es la resistencia a flexión en MPa; F es la carga máxima en N; l es la distancia entre los dos rodillos soportes en mm; y d_1 y d_2 son las dimensiones laterales de la sección en mm. La resistencia a flexión se expresa con una aproximación de 0,1 MPa.

2 Recuperado en Octubre de 2017 de: <https://bit.ly/2vK6KsB>.

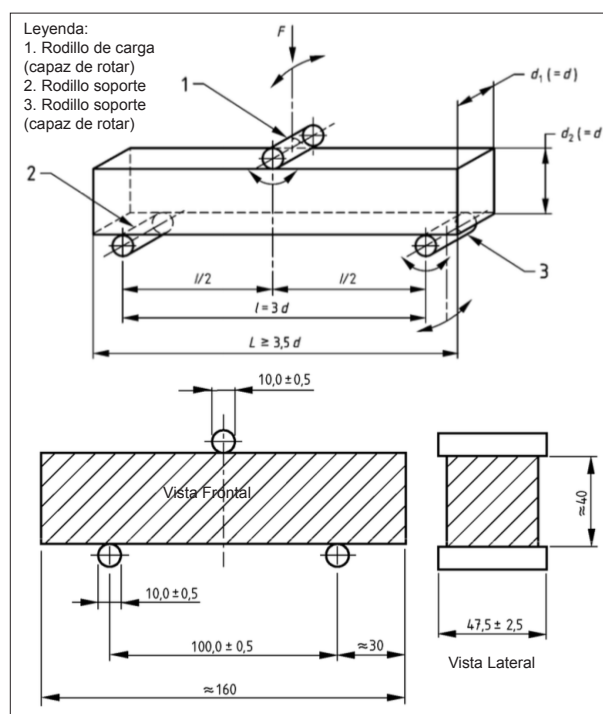


Fig. 6.4.12 Probeta y dispositivo de carga normalizado para la determinación de la resistencia a flexión.

1 Rosell, J. R., & Cantalapedra, I. R. (2011) cita a Ricardo, M. y Baettig, P.: "Determinación del módulo de elasticidad de la madera mediante vibraciones transversales", Maderas. Ciencia y tecnología, vol. 3(1-2), pp. 44-51 (2001).

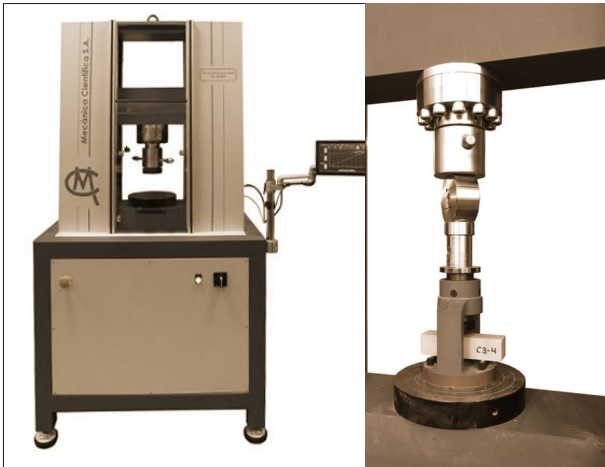


Fig. 6.4.11 - Izquierda - Prensa utilizada en los ensayos a flexión y compresión. (Mecánica Científica REF. 42 0440-ESP) y Fig. 6.4.13 - Derecha - Imágenes de ensayo a flexión.

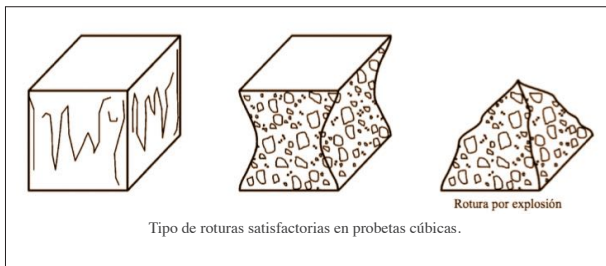


Fig. 6.4.14 Gráfico con esquema de los tipos de roturas satisfactorias en ensayo a compresión.



Fig. 6.4.15 Imágenes de ensayo a compresión.

Resistencia a compresión

Para la determinación de la resistencia a compresión se tomaron en cuenta las normas UNE-EN 196-1, UNE-EN 772-1, UNE-EN 12390-3, 1015-11 y UNE-EN 12390-4. Se ensayaron probetas prismáticas. Las probetas se comprimen mediante dos platos de apoyo de 40mm x 40mm empujados por la máquina de ensayo conforme a la norma EN ISO 6507-1 y EN 1015-11 (Fig.6.4.14). La carga se aplica constante y progresivamente a un ritmo comprendido entre 50 N/s y 500 N/s de tal modo que la rotura se lleva a cabo en un lapso que oscila entre 20s y 90s. Se registra la carga máxima alcanzada por la probeta y se calcula la resistencia a compresión del material [1].

La resistencia a compresión está dada por la ecuación:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

donde f_c es la resistencia a compresión en MPa; F es la carga máxima de rotura en N; A_c es el área transversal de la probeta sobre la que actúa la fuerza de compresión en mm^2 . La resistencia a compresión se expresa con una aproximación de 0,1MPa.

Determinación de la durabilidad mediante ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

Para la determinación de la durabilidad mediante ensayo de erosión acelerada *Swinburne* (SAET) se tomó como referencia la norma UNE 41410:2008.

Esta norma especifica un ensayo que tiene por objeto determinar si los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas sometidas a exposición severa son aptos o no, para ello se ensayan dos bloques enteros elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días y expuestos a una corriente continua de agua durante 10 minutos. En la figura (Fig. 6.4.16) se muestra un esquema

1 Recuperado en Octubre de 2017 de: <https://bit.ly/2KWcIeF>.

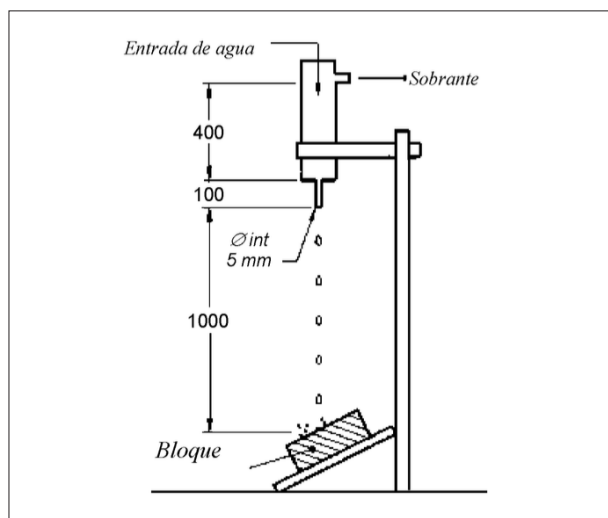


Fig. 6.4.16 Esquema del equipo para el ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET).

del equipo a utilizar [1].

La determinación de la durabilidad mediante ensayo de erosión acelerada *Swinburne (SAET)* se llevó a cabo en el *Laboratorio de materiales de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)*.

Análisis de lixiviación

Para realizar el ensayo de lixiviación se tomó

1 Recuperado en Octubre de 2017 de: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0042285#.Wx6iri0rxZ0>.



Fig. 6.4.17 Análisis de lixiviación.

como referencia la norma UNE-EN 15863: Caracterización de residuos. Ensayo de comportamiento durante la lixiviación para la caracterización básica [2]. Esta norma europea se aplica para determinar el comportamiento en la lixiviación de residuos monolíticos en condiciones dinámicas. Este test tiene como objetivo determinar la liberación de los componentes inorgánicos de un residuo monolítico en función del tiempo, cuando se pone en contacto con una solución acuosa (lixiviante). Los análisis de lixiviación (Fig.6.4.17) fueron realizados en el Departamento de Ciencia de Materiales y Química Física de la Universitat de Barcelona.

Análisis del comportamiento térmico

Para la determinación de las propiedades térmicas del material se utilizó un equipo Quickline 30 (*Thermal properties analyzer*) (Fig. 6.4.18). Se midió la transmitancia térmica de probetas cúbicas de 10cm de lado fabricadas con el "geopolímero" señalado en cada caso. También se revisó la norma UNE-EN1745:2002: Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto, norma europea que especifica procedimientos para determinar las propiedades térmicas de la fábrica de albañilería y de las piezas para fábrica [3].

2 Recuperado en Octubre de 2017 de: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0042285#.Wx6iri0rxZ0>.

3 Recuperado en Octubre de 2017 de: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0051621&pdf=#.WwQ8Gy8rzX8>.

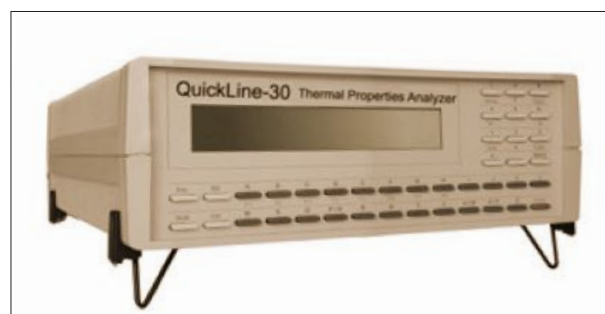


Fig. 6.4.18 Equipo Quickline 30 (*Thermal properties analyzer*) utilizado para el análisis del comportamiento térmico.

La determinación de las propiedades térmicas del material se llevó a cabo en el *Laboratorio del fuego de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB)*.

Análisis del Impacto ambiental

La investigación y el análisis del comportamiento ambiental de los bloques experimentales de arcilla polimerizada desarrollados en esta tesis, fue un trabajo de co-autoría con J.R. Rosell del *Departament de Tecnologia de l'Arquitectura de la Universitat Politècnica de Catalunya*; A. Torres-Rivas y M. Palumbo del *Departament d'Enginyeria Química de la Universitat Rovira i Virgili*; y D. Boer del *Departament d'Enginyeria Mecànica de la Universitat Rovira i Virgili*. La investigación realizada está detallada en el artículo: "*Compressive strength and embodied environmental impact of experimental polymerized-clay brick*" adjuntado en el apartado: Anexo 1.0.

El impacto ambiental incorporado de los bloques experimentales de arcilla polimerizada se evaluó utilizando la metodología de evaluación del ciclo de vida (ACV). El objetivo del ACV fue doble. Primero, evaluar qué combinación de las composiciones y procesos de producción probados en el laboratorio, mostraron simultáneamente un mejor desempeño ambiental y mecánico. En segundo lugar, evaluar los impactos ambientales asociados a la producción de bloques experimentales de arcilla polimerizada en comparación con productos de construcción fabricados a partir de arcilla: ladrillos de arcilla cocida y bloques de tierra comprimida (BTC). Por lo tanto, el alcance del análisis de ACV se limitó al proceso de producción, teniendo en cuenta los impactos asociados con las materias primas utilizadas en cada caso y la energía consumida durante el proceso de producción.

La energía consumida durante el proceso de producción se estimó bajo la hipótesis de que los ladrillos experimentales se fabricaron a escala industrial. Se utilizó la base de datos Ecoinvent 3.4 para determinar los impactos ambientales asociados de cada materia prima y los procesos de producción.

Los resultados obtenidos se expresaron utilizando el método de ponderación ReCiPe (puntos finales). Para lograr el primer objetivo, se evaluaron los impactos ambientales (puntos) y las resistencias a la compresión (MPa) de las muestras.

Para el segundo objetivo del ACV, se compararon los impactos ambientales asociados con la producción de los materiales comparados. En el caso de las BTC, solo se consideró el impacto asociado con las materias primas, ya que su proceso de producción no implica el uso de calor. Los resultados relevantes se exponen más adelante en el apartado 6.13: Análisis del impacto ambiental.

Imágenes utilizadas:

- Fig. 6.4.1. Equipo de Análisis por difracción de rayos X (PANalytical X'Pert PRO MRD diffractometer). Recuperado el 06-08-2018 de: <https://bit.ly/2OMIsao>
- Fig. 6.4.2. Equipo de análisis por fluorescencia de rayos X (Analytical, Axios PW 4400/40 sequential wavelength - dispersive X-ray spectrophotometer (WDXRF)). Recuperado el 06-08-2018 de: <https://bit.ly/2KrPrRr>
- Fig. 6.4.3. Equipo SDT Q600 de TA Instruments. Recuperado 06-08-2018 de: <https://bit.ly/2AHuBok>
- Fig. 6.4.4. Equipo de análisis de la distribución de tamaños de partículas mediante difracción láser Mastersizer 2000 Malvern PANalytical. Recuperado el 06-08-2018 de: <https://bit.ly/2M6Sxzf>
- Fig. 6.4.5. Equipo de análisis SEM JSM-7010F Field Emission Scanning Electron Microscope. Recuperado el 06-08-2018 de: <https://goo.gl/images/hN4SGn>
- Fig. 6.4.6. Aparato de Casagrande. Recuperado el 06-08-2018 de: <https://goo.gl/images/hN4SGn>
- Fig. 6.4.7. Izquierda: determinación del límite plástico de arcillas conforme a la norma UNE 103104:1993. Recuperado el 06-08-2018 de: <https://goo.gl/images/yM4ocs>. Derecha: equipo AutoPore V Series Mercury Porosimeters para análisis de porosimetría por inyección de mercurio. Recuperado el 06-08-2018 de: <http://www.micromeritics.com/Product-Showcase/AutoPore-V.aspx>
- Fig. 6.4.8. Para la determinación de la porosidad y la densidad es importante pesar las muestras correctamente, siguiendo las instrucciones establecidas en las norma correspondientes. Recuperado el 06-08-2018 de: <https://goo.gl/images/DTV7j1>
- Fig. 6.4.9. Izquierda: determinación de la absorción de agua por capilaridad conforme a la norma UNE-EN 772-11. Derecha: determinación de la permeabilidad al vapor del agua conforme a la norma UNE-EN ISO 12572. (Autoría propia)
- Fig. 6.4.10. Información recuperada de Rosell, J. R., & Cantalapiedra, I. R. (2011). Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto aplicado a morteros de cal y cemento. *Materiales de Construcción*, 301, 39–48. <http://doi.org/10.3989/mc.2010.53509>. Imagen (Autoría propia)
- Fig. 6.4.11. Prensa utilizada en los ensayos a flexión y compresión. (Mecánica Científica REF. 42 0440-ESP) (Autoría propia)
- Fig. 6.4.12. Probeta y dispositivo de carga normalizado para la determinación de la resistencia a flexión. Recuperado el 06-08-2018 de normas UNE-EN 196-1:2005 y EN 12390-5:2009.
- Fig. 6.4.13. Imagen de ensayo a flexión. (Autoría propia)
- Fig. 6.4.14. Gráfico con esquema de los tipos de roturas satisfactorias en ensayo a compresión. Recuperado el 06-08-2018 de norma UNE-EN 12390-3:2009.
- Fig. 6.4.15. Imagen de ensayo a compresión. (Autoría propia)
- Fig. 6.4.16. Gráfico del equipo para el ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET). Recuperado el 06-08-2018 de norma UNE 41410:2008.
- Fig. 6.4.17. Análisis de lixiviación. (Autoría propia)
- Fig. 6.4.18. Equipo Quickline 30 (Thermal properties analyzer) utilizado para el análisis del comportamiento térmico. Recuperado el 06-08-2018 de <https://bit.ly/2CR9bzo>

Anexo 5.0 Procedimientos experimentales y equipos

PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES Y EQUIPOS

Los equipos requeridos se dividen en dos grupos, por un lado están las máquinas: amasadora automática, estufa y agitador magnético; por otro lado equipos básicos de laboratorio: recipientes, moldes, utensilios, etc. A continuación se explica cada uno de los procesos y se señalan los equipos y materiales utilizados en la campaña experimental.

6.8.1 Preparación del activador alcalino**Equipos:**

- Guantes de látex;
- Guantes de protección al calor;
- Agitador magnético (Selecta Agimatic Ref.243);
- Balanza de laboratorio (Electronic scale 5000g);
- Vasos de precipitado (1500 ml);
- Matraz de Erlenmeyer con tapa (2000 ml);
- Cucharón (40 ml). (Fig. 6.8.1.1).

Materiales:

- NaOH;
- KOH;
- Na_2SiO_3 ;
- Agua destilada.w

Procedimiento:

La solución alcalina se prepara mezclando NaOH o KOH con agua destilada con el siguiente procedimiento (Fig. 6.8.1.2):

1. Se calculan las proporciones según la molaridad y la cantidad de solución alcalina requerida. Se utilizan guantes de látex en todo el proceso.
2. Se pesa el agua en vasos de precipitación.

3. Se pesa y agrega poco a poco el hidróxido metálico (es decir las perlas de NaOH o KOH, manipulándolas con el cucharón) al agua destilada.

4. Debido a la reacción exotérmica entre el agua y el hidróxido metálico, se manipula el vaso con guantes de protección al calor y se lo coloca en el agitador magnético para mezclar la solución durante 5 minutos a 2000 rpm.

5. Cuando se hayan disuelto por completo las perlas de NaOH o KOH (según el caso) se deja enfriar la solución a temperatura ambiente por 24 horas.

6. Una vez fría, se añade Na_2SiO_3 en la proporción correspondiente (o no, según el caso) se coloca nuevamente el vaso en el agitador magnético por otros 5 minutos mezclando la solución a 2000rpm.

7. La solución obtenida se deposita en el matraz, se tapa y almacena durante 24 horas antes de su utilización.

6.8.2 Preparación de geo-polímero**Equipos:**

- Guantes de látex
- Amasadora (Mecánica científica E095).
- Balanza de laboratorio (Electronic scale - 5000g).
- Vasos de precipitado (1500 ml).
- Bol de aluminio (3000 ml).
- Cucharón (20 ml).
- Espátula (Fig. 6.8.2.1)

Materiales:

- Arcilla;
- Arena;
- Solución alcalina;
- Aditivo, (si corresponde).

Procedimiento:

El mortero se prepara mezclando los materiales precursores de aluminosilicatos (arena y arcilla) con la solución alcalina (NaOH o KOH) y en los casos que correspondan con aditivos (tales como CaO o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) con el siguiente procedimiento (Fig. 6.8.2.2):

1. Se pesan los materiales que intervienen en base al diseño de experimento correspondiente. La solución alcalina se coloca en un vaso y los precursores de aluminosilicatos en un bol. En caso de utilizar aditivos se pesan en un recipiente de



Fig. 6.8.1.1 Equipo necesario para la preparación del activador alcalino.

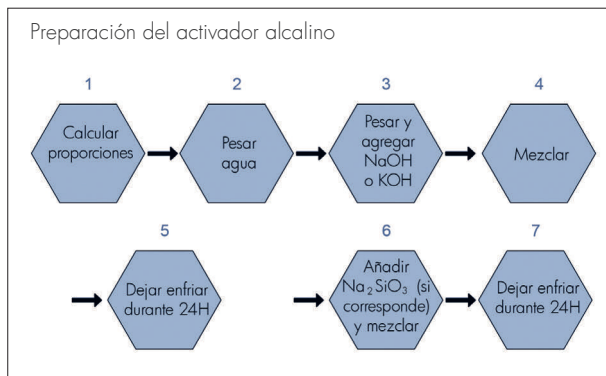


Fig. 6.8.1.2 Esquema de procedimiento de elaboración del activador alcalino.

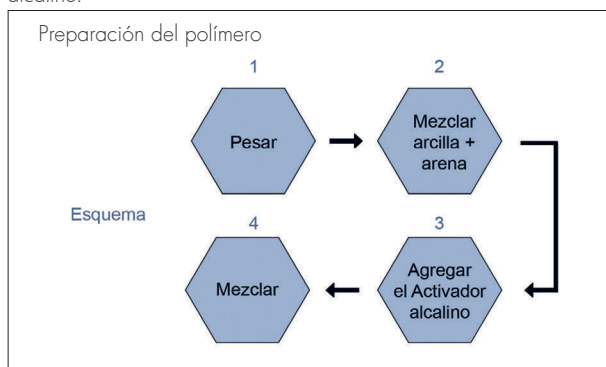


Fig. 6.8.2.2 Esquema de procedimiento de preparación de polímero.

igual forma. Se utilizan guantes de látex en todo el proceso de elaboración de la solución alcalina.

2. Se vierte la arcilla y la arena en el recipiente de la amasadora, se asegura la sujeción en la máquina y se mezcla durante dos minutos a 140 rpm.

3. A continuación se agrega poco a poco la solución alcalina que ha sido preparada y pesada previamente a la mezcla en la proporción correspondiente y si es el caso se agrega el aditivo.

4. Se mezclan los materiales durante 5 minutos a 285 rpm.

6.8.3 Procedimientos de fabricación de probetas

Equipos:

- Guantes de neopreno;
- Molde triple para probetas RILEM de 4x4x16cm;
- Espátula (Fig. 6.8.3.1).

Materiales:

- Polímero (paso anterior);
- Desencofrante.

Procedimiento:

1. Se pone desencofrante en los moldes.

2. Se deposita el polímero (previamente elaborado) en las respectivas celdas del molde. En caso de que la mezcla sea muy plástica se vierte directamente y se compacta dejando caer el molde 7 veces desde la parte frontal y 7 veces desde la posterior desde una altura de 1cm, si la mezcla es poco plástica se coloca directamente con las manos utilizando la presión de los dedos o la espátula para esparcir uniformemente. Finalmente se enrasa con la espátula (Fig. 6.8.3.2).

6.8.4 Procedimiento de curado

Equipos:

- Guantes de protección al calor;
- Estufa.

Procedimiento:

1. A continuación, haciendo uso de los guantes



Fig. 6.8.2.1 Equipo necesario para la preparación del polímero.

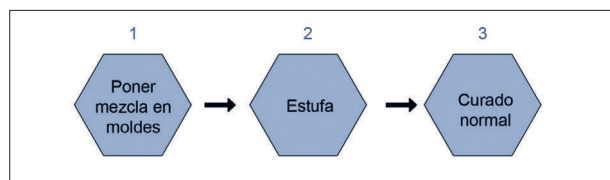


Fig. 6.8.3.2 Esquema de procedimiento de fabricación de probetas y curado.



Fig. 6.8.3.1 Equipo necesario para moldeo de probetas y curado.

de protección al calor, se colocan los moldes en la estufa precalentada con temperatura constante (80°C, 100°C, 120°C según el caso) durante el tiempo determinado (2h, 4h, 8h, 24h, 48h según cada caso). Si el DOE señala lo contrario se dejan secar las probetas a temperatura y condiciones ambientales durante el tiempo estipulado en cada caso.

2. Finalmente se sacan los moldes de la estufa (si es el caso) y se dejan enfriar el tiempo que sea necesario. A continuación se desmoldan las probetas y se almacenan durante el tiempo señalado (14 y 28 días, según cada caso) a temperatura ambiente y en condiciones constantes.

Imágenes utilizadas:

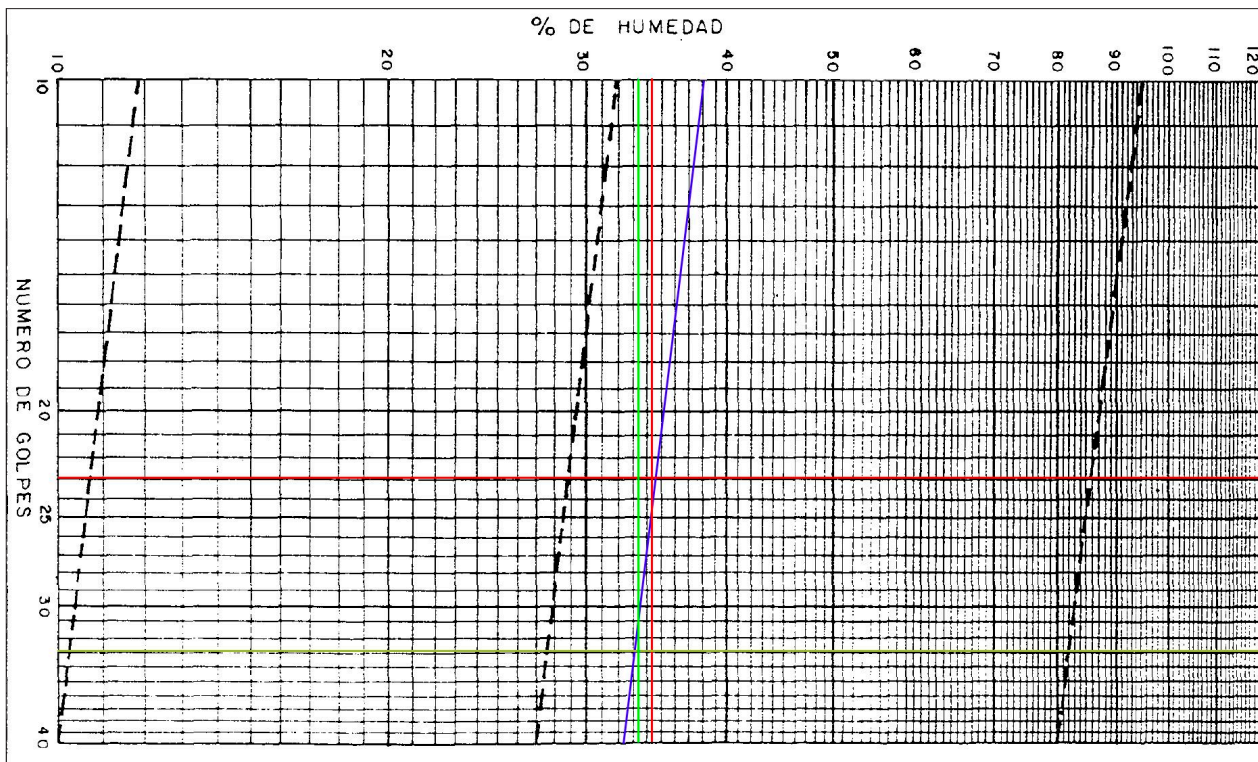
- Fig. 6.8.1.1. Equipo necesario para la preparación del activador alcalino. Autoría propia.
- Fig. 6.8.1.2. Esquema de procedimiento de elaboración del activador alcalino. Autoría propia.
- Fig. 6.8.2.1. Equipo necesario para la preparación del polímero. Autoría propia.
- Fig. 6.8.2.2. Esquema de procedimiento de preparación de polímero. Autoría propia.
- Fig. 6.8.3.1. Equipo necesario para moldeo de probetas y curado. Autoría propia.
- Fig. 6.8.3.2. Esquema de procedimiento de fabricación de probetas y curado. Autoría propia.

Anexo 6.6.1.1 Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico de arcilla Tipo A

Datos recolectados para la determinación del límite líquido y determinación del límite plástico

Determinación del límite líquido Arcilla A			Determinación del límite plástico Arcilla A		
Muestra	A1	A2	Muestra	A1	A2
Numero de golpes		23,00 33,00	Tara cuenco	27,00	30,80
Tara cuenco	27,00	30,80	Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	36,20	36,30
Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	31,70	37,60	Tara + muestra seca (gr)	34,60	35,40
Tara + muestra seca (gr)	30,50	35,90	Agua	1,60	0,90
Agua	1,20	1,70	Suelo	7,60	4,60
Suelo	3,50	5,10	% de Humedad	21,05	19,57
% de Humedad	34,29	33,33			
Límite líquido		A 34,2	Límite plástico		A 20,3
Límite plástico		A 20,3			
Índice de plasticidad		A 13,9			

Gráfico del Límite Líquido - Arcilla A



Anexo 6.6.1.2 Información suministrada por el distribuidor de arcilla Tipo A

Análisis químico arcilla PEN MICRONIZADA LILA.

argilescolades s.a.
Pastes per la ceràmica

Muestra	PEN M LILA	COMPOSICION QUÍMICA (Análisis Elemental, expresado en %)
Na ₂ O	0,000	
MgO	0,310	
Al ₂ O ₃	23,32	
SiO ₂	56,53	
P ₂ O ₅	0,000	
SO ₃	0,000	
K ₂ O	0,640	
CaO	0,400	
TiO ₂	0,000	
Cr ₂ O ₃		
MnO	0,000	
Fe ₂ O ₃	10,390	
PPC	8,400	

Composición Mineralógica

Mineral	%
Clorita	0
Illita	0
Caolinita	49
Quarz	42
Feldespató K	2
Plagioclastio	1
Guethita	0
Hematita	6
Calcita	0
Dolomita	0

Granulometría.

0,500	0,300	0,125	0,090	0,063	0,045	0,036	RESTO
0	0	6,13	6,81	9,71	13,53	36,02	27,01

Color de la arcilla en crudo: lila

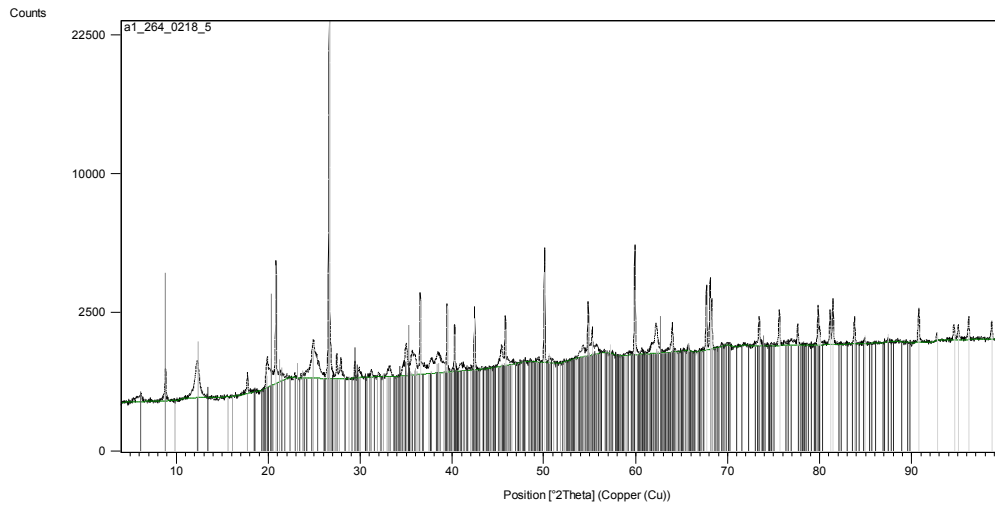
Color de la arcilla a 1000°C: rojo-anaranjado

Color de la arcilla a 1250°C: beige-tostado

6.6.1.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo A

Anexo DRX FRACCION TOTAL mediante el software X'Pert HighScore (PANalytical)

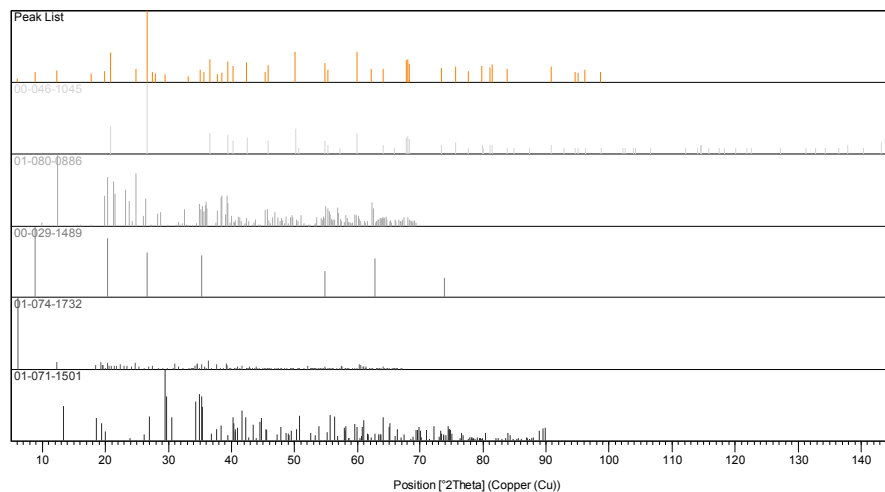
Gráfico - Arcilla A



Identified Patterns List

Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
00-046-1045	Quartz, syn	1,015	Si O ₂
01-080-0886	Kaolinite	0,050	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
00-029-1489	hydrated halloysite	0,157	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄ !2 H ₂ O
01-074-1732	Vermiculite	0,006	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (O H) ₂
01-071-1501	Hedenbergite	0,030	Ca Fe Si ₂ O ₆

Plot of Identified Phases

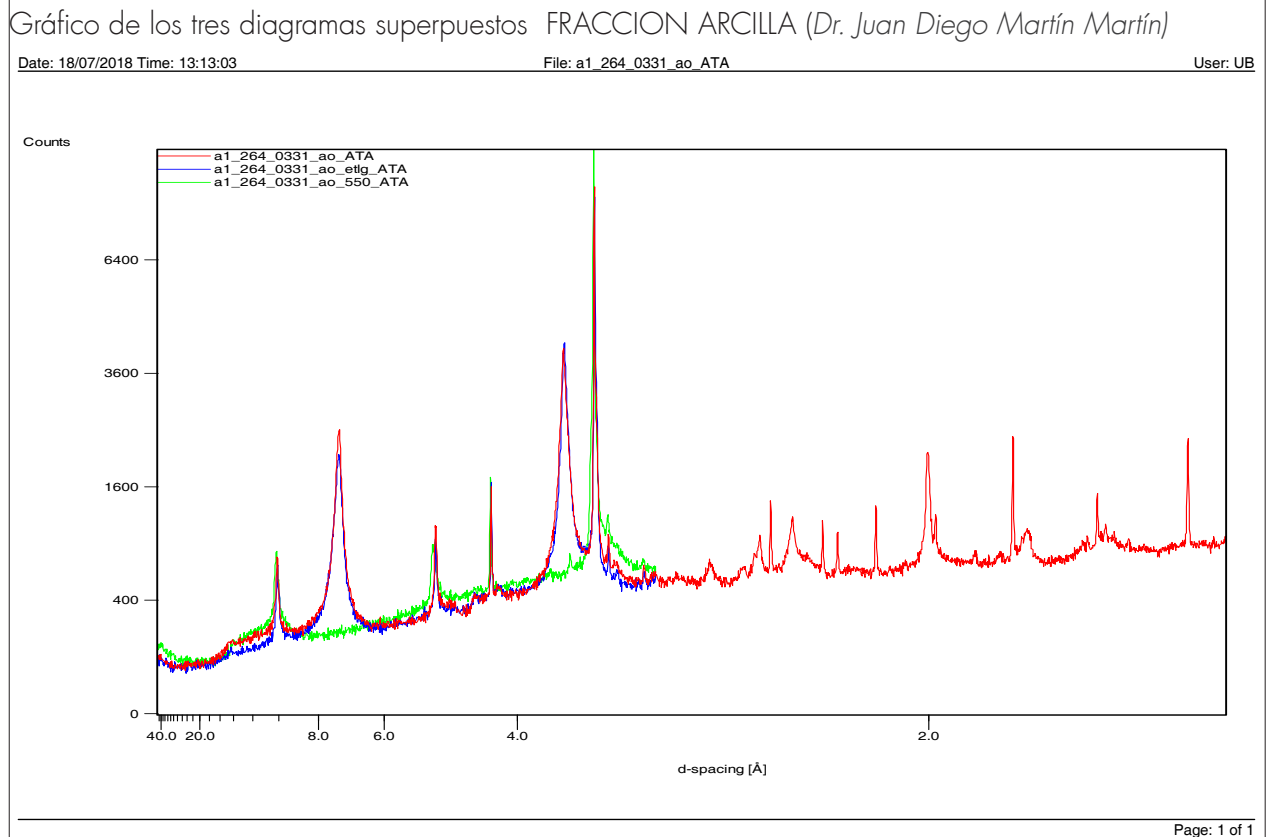
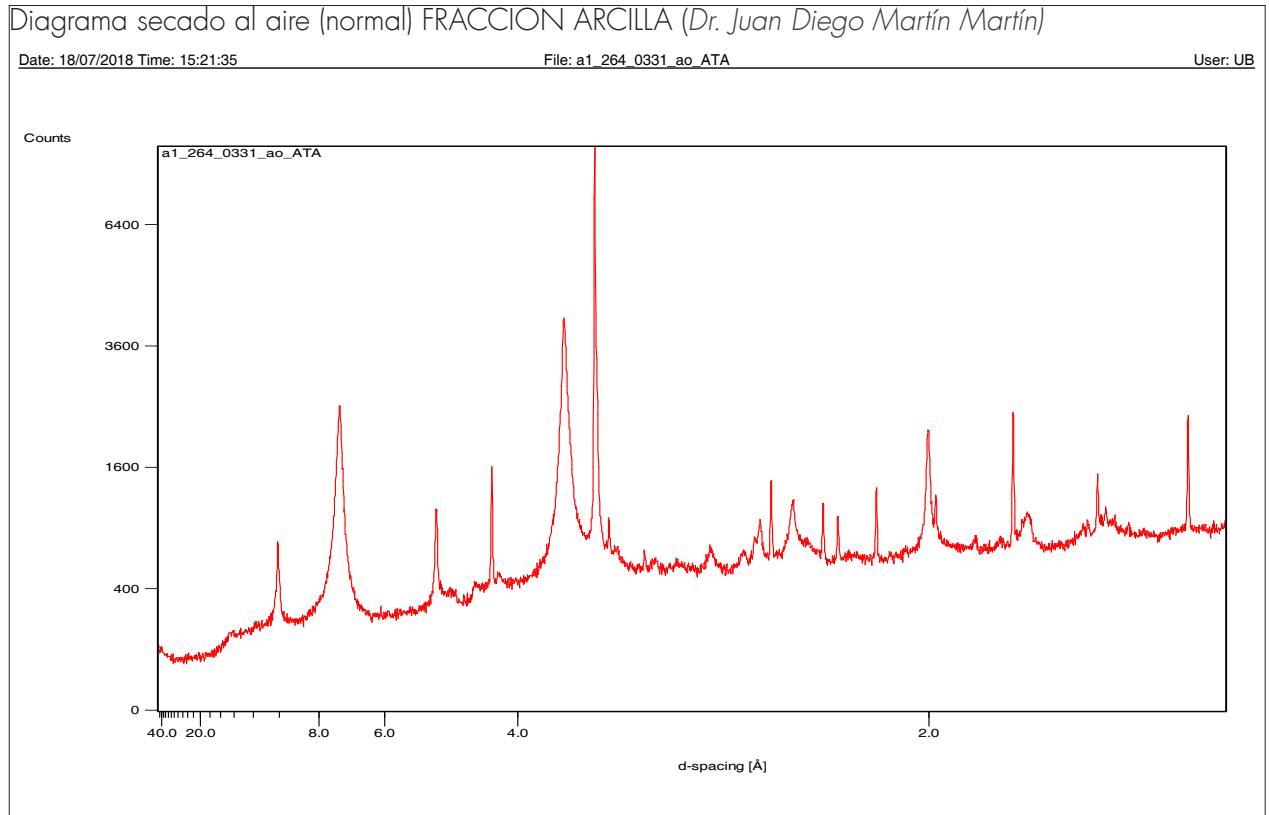


6.6.1.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo A

Anexo. DRX - LISTA DE PICOS- FRACCION TOTAL mediante el software X'Pert HighScore (PANalytical)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
6,0544	84,20	0,6528	14,58614	0,36	0,7834	01-074-1732
8,8514	555,93	0,0816	9,98227	2,37	0,0979	00-029-1489
12,2783	683,49	0,2856	7,20287	2,91	0,3427	01-080-0886; 01-074-1732
17,7492	376,42	0,1020	4,99310	1,60	0,1224	01-080-0886
19,8594	612,33	0,2448	4,46707	2,61	0,2938	01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
20,8476	4119,61	0,0816	4,25751	17,56	0,0979	00-046-1045; 01-074-1732
24,8957	916,43	0,2448	3,57364	3,91	0,2938	01-080-0886; 01-074-1732
26,6266	23454,09	0,0816	3,34512	100,00	0,0979	00-046-1045; 00-029-1489
27,4364	567,33	0,0816	3,24820	2,42	0,0979	01-080-0886; 01-074-1732
27,8950	430,25	0,1224	3,19583	1,83	0,1469	01-080-0886
29,4216	366,21	0,1020	3,03339	1,56	0,1224	01-071-1501
33,1353	208,10	0,4080	2,70141	0,89	0,4896	01-080-0886; 01-074-1732
35,0088	748,34	0,2448	2,56101	3,19	0,2938	01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
35,6265	550,18	0,4080	2,51801	2,35	0,4896	01-080-0886; 01-074-1732
36,5239	2499,00	0,0816	2,45818	10,65	0,0979	00-046-1045; 01-074-1732
37,7330	332,54	0,3264	2,38214	1,42	0,3917	01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
38,4603	458,26	0,4896	2,33875	1,95	0,5875	01-080-0886; 01-071-1501
39,4478	2027,99	0,0816	2,28245	8,65	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
40,2704	1255,64	0,0612	2,23770	5,35	0,0734	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
42,4326	1886,09	0,1020	2,12854	8,04	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
45,3619	513,52	0,2040	1,99767	2,19	0,2448	01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
45,7704	1425,65	0,0816	1,98078	6,08	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
50,1163	4415,22	0,1020	1,81872	18,82	0,1224	00-046-1045
54,8486	1730,72	0,0816	1,67247	7,38	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 00-029-1489; 01-074-1732
55,3088	807,82	0,0816	1,65964	3,44	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
59,9301	4373,90	0,1020	1,54223	18,65	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
62,2190	888,45	0,2448	1,49088	3,79	0,2938	01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
64,0072	888,63	0,1020	1,45347	3,79	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732; 01-071-1501
67,7117	2312,08	0,1020	1,38268	9,86	0,1224	00-046-1045
68,1114	2557,53	0,0816	1,37554	10,90	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886
68,2856	1673,84	0,0816	1,37245	7,14	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886
73,4287	932,09	0,1020	1,28850	3,97	0,1224	00-046-1045; 01-071-1501
75,6265	1162,39	0,0816	1,25642	4,96	0,0979	00-046-1045
77,6390	656,85	0,1020	1,22880	2,80	0,1224	00-046-1045; 01-071-1501
79,8447	1261,62	0,1020	1,20031	5,38	0,1224	00-046-1045; 01-071-1501
81,1401	1123,55	0,1020	1,18439	4,79	0,1224	00-046-1045
81,4512	1481,74	0,1020	1,18065	6,32	0,1224	00-046-1045
83,8004	876,00	0,0816	1,15343	3,73	0,0979	00-046-1045; 01-071-1501
90,7755	1144,95	0,1224	1,08207	4,88	0,1469	00-046-1045
94,5946	512,92	0,1632	1,04819	2,19	0,1958	00-046-1045
95,0699	451,27	0,1632	1,04421	1,92	0,1958	00-046-1045
96,2048	749,33	0,1020	1,03488	3,19	0,1224	00-046-1045
98,7019	545,05	0,1224	1,01527	2,32	0,1469	00-046-1045

Anexo 6.6.1.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo A



Anexo 6.6.1.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo A

Analisis DRX - Interpretación - FRACCION ARCILLA (Dr. Juan Diego Martín Martín)

MUESTRA 0331 A * ** ***

Cuato (Q) : 3,34 Å - 4,26 Å

Calceda (Ca) : 3,04 Å

Hematite (Hm) 2,69 Å

Ilita (I) 10 - 5 Å

Caolinita (K) 7,15 - 3,38 Å

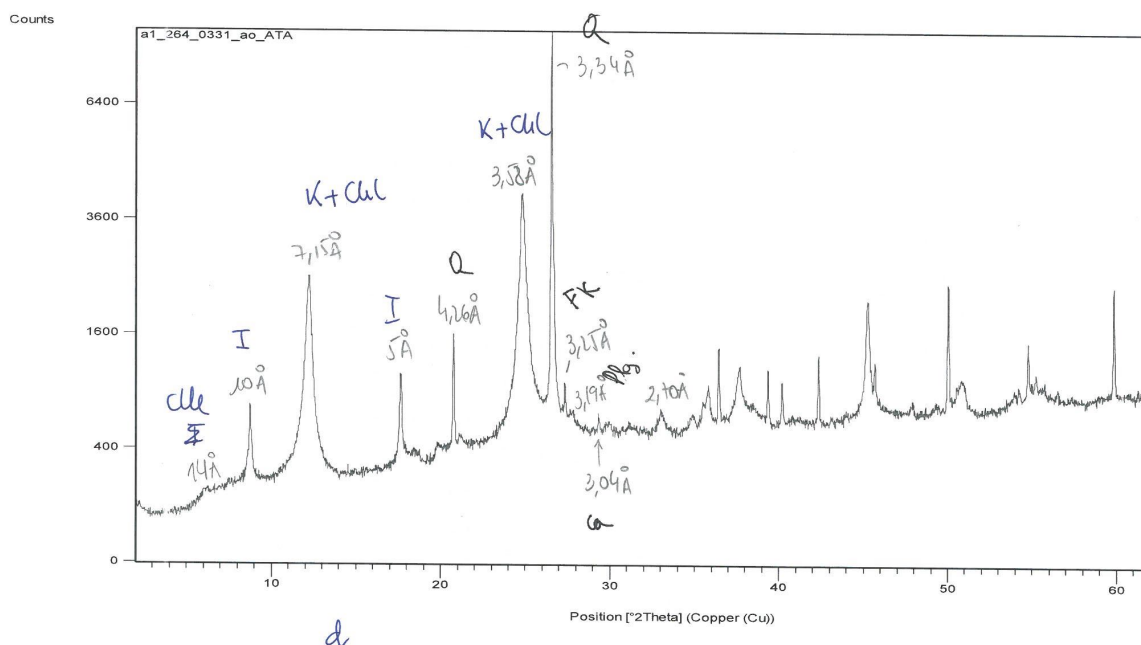
clonita (Cl) 14 - 7,10 - 4,72 - 3,54

Caolinita > Ilita >> clonita.

F_K : 3,25 Å

M_S 3,19 Å

Q	Ca	Hm	Cl		K	Il.	Cl
***	*	*	***		***	**	*



Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra T



MASTERSIZER



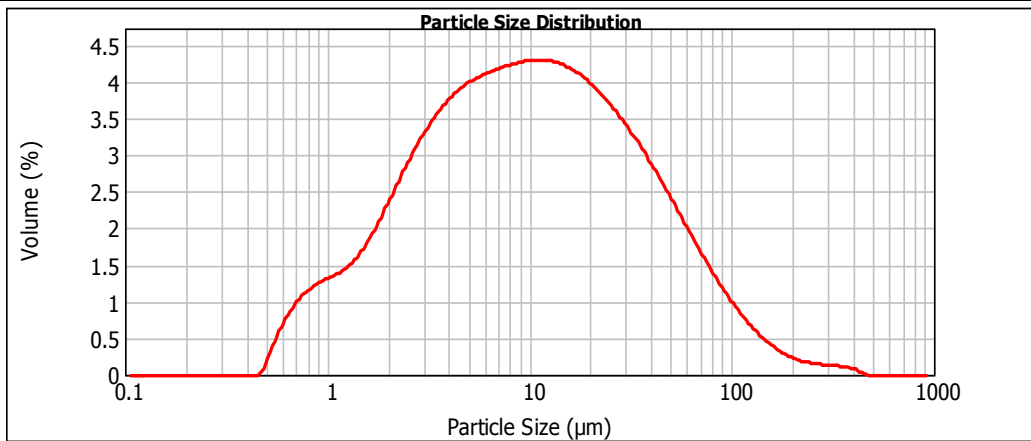
Result Analysis Report

Sample Name: A - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 11:47:03
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 11:47:04
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 13.70 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.851 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0089 %Vol	Span : 5.176	Uniformity: 1.77	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.33 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 4.526 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 21.585 um	

d(0.1): 1.761 um d(0.5): 9.808 um d(0.9): 52.524 um



— A - Average, jueves, 12 de julio de 2018 11:47:03

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	1.01	7.096	3.16	50.238	1.71	355.656	0.08
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	1.07	7.962	3.19	56.368	1.53	399.052	0.04
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.16	8.934	3.22	63.246	1.34	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.16	10.024	3.23	70.963	1.16	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.29	11.247	3.23	79.621	0.99	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.46	12.619	3.21	89.337	0.82	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.66	14.159	3.17	100.237	0.68	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.87	15.887	3.12	112.468	0.55	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	2.08	17.825	3.04	126.191	0.43	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.29	20.000	2.94	141.589	0.33	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.47	22.440	2.83	158.866	0.26	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.03	3.557	2.63	25.179	2.71	178.250	0.20	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.29	3.991	2.77	28.251	2.57	200.000	0.15	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.50	4.477	2.88	31.698	2.42	224.404	0.11	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.68	5.024	2.97	35.566	2.26	251.785	0.13	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.81	5.637	3.03	39.905	2.08	282.508	0.10	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.90	6.325	3.08	44.774	1.90	316.979	0.09		
0.142	0.00	1.002	0.96	7.096	3.13	50.238		355.656			

Operator notes: con desfloculante

Anexo 6.6.1.6 Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo A

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 2



MASTERSIZER



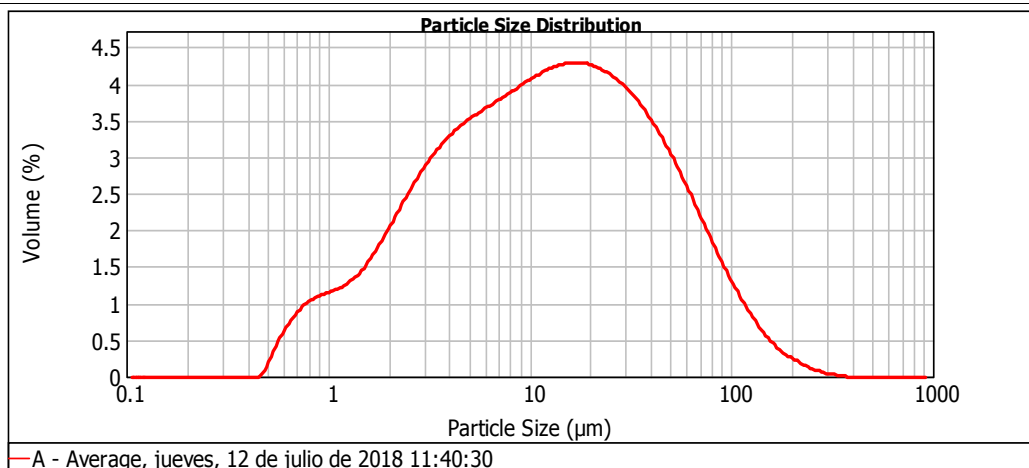
Result Analysis Report

Sample Name: A - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 11:40:30
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 11:40:31
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 12.53 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.757 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0090 %Vol	Span : 4.760	Uniformity: 1.54	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.19 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.055 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 23.775 um	

d(0.1): 1.954 um d(0.5): 12.166 um d(0.9): 59.870 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.88	7.096	2.88	50.238	2.18	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.93	7.962	2.95	56.368	1.97	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.00	8.934	3.02	63.246	1.75	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.11	10.024	3.09	70.963	1.52	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.26	11.247	3.14	79.621	1.30	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.43	12.619	3.19	89.337	1.08	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.61	14.159	3.22	100.237	0.89	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.80	15.887	3.23	112.468	0.70	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.98	17.825	3.19	126.191	0.55	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.15	20.000	3.19	141.589	0.41	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.29	22.440	3.14	158.866	0.30	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.02	3.557	2.42	25.179	3.07	178.250	0.22	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.25	3.991	2.52	28.251	2.97	200.000	0.16	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.45	4.477	2.61	31.698	2.86	224.404	0.10	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.60	5.024	2.68	35.566	2.72	251.785	0.06	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.72	5.637	2.75	39.905	2.56	282.508	0.03	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.80	6.325	2.81	44.774	2.39	316.979	0.02		
0.142	0.00	1.002	0.84	7.096	2.81	50.238	2.39	355.656	0.02		

Operator notes: sin desfloculante

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 3



MASTERSIZER



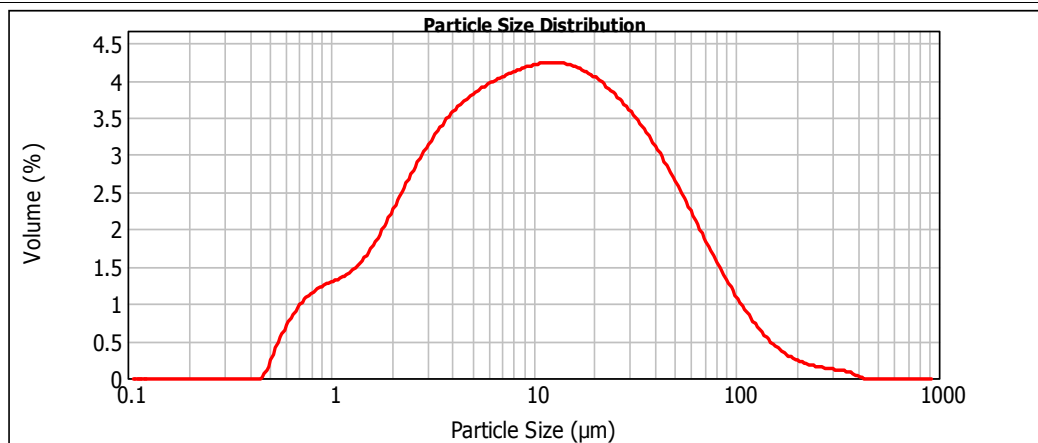
Result Analysis Report

Sample Name: A_2 - Average	SOP Name:	Measured: martes, 03 de julio de 2018 10:51:28
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: martes, 03 de julio de 2018 10:51:29
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 14.07 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.815 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0094 %Vol	Span : 5.092	Uniformity: 1.7	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.29 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 4.658 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 22.378 um	

d(0.1): 1.795 um d(0.5): 10.532 um d(0.9): 55.428 um



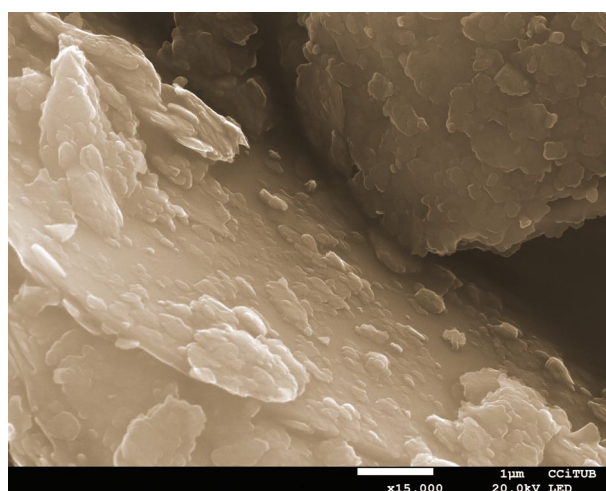
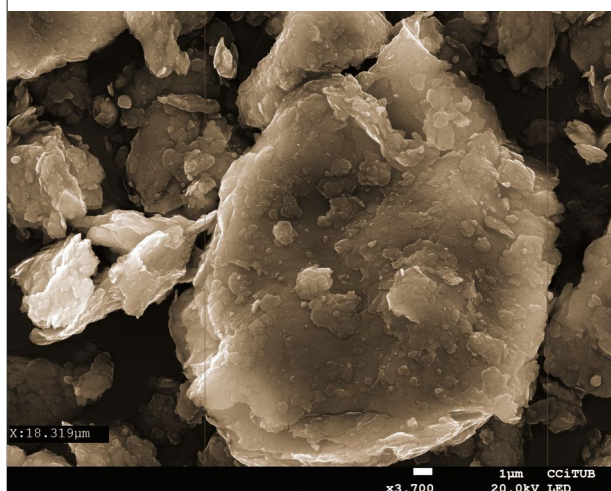
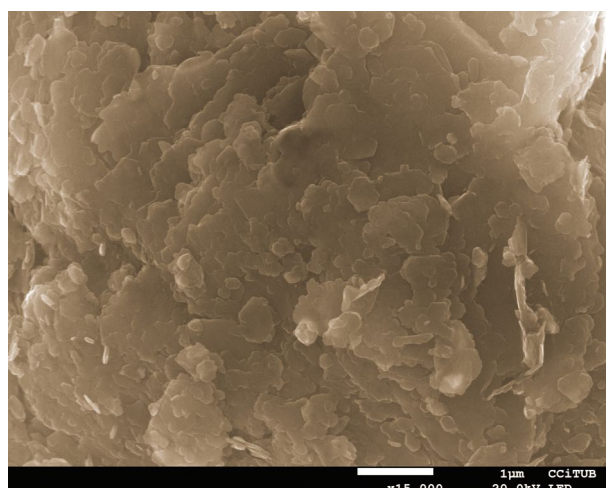
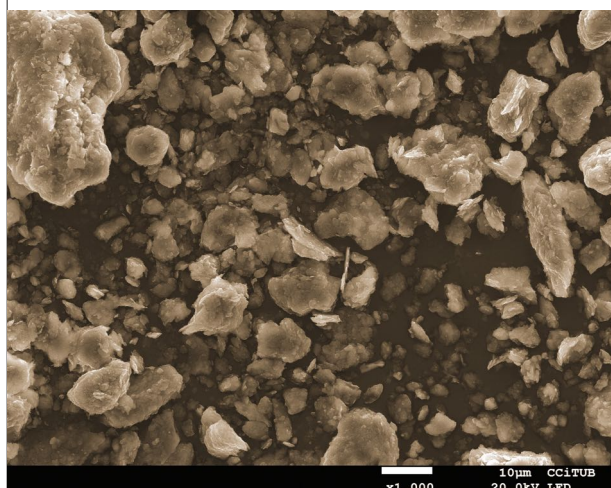
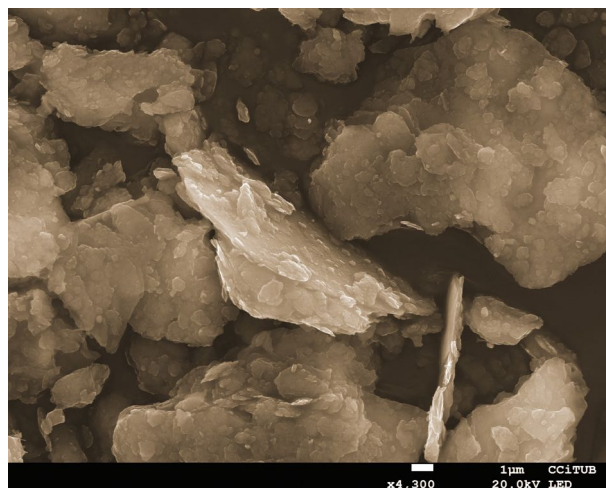
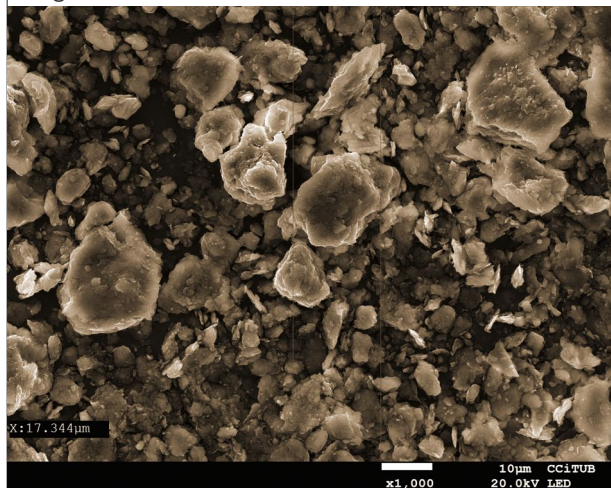
— A_2 - Average, martes, 03 de julio de 2018 10:51:28

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.99	7.096	3.07	50.238	1.89	355.656	0.05
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	1.04	7.962	3.11	56.368	1.69	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.12	8.934	3.15	63.246	1.49	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.24	10.024	3.18	70.963	1.29	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.39	11.247	3.19	79.621	1.10	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.58	12.619	3.17	89.337	0.91	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.77	14.159	3.13	100.237	0.75	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.97	15.887	3.08	112.468	0.60	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	2.34	17.825	3.01	126.191	0.47	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.49	20.000	2.92	141.589	0.27	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.03	3.170	2.63	22.440	2.82	158.866	0.21	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.29	3.557	2.74	25.179	2.70	178.250	0.16	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.50	3.991	2.83	28.251	2.57	200.000	0.13	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.67	4.477	2.90	31.698	2.43	224.404	0.09	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.80	5.024	2.97	35.566	2.26	251.785	0.08	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.89	5.637	3.02	39.905	2.08	282.508	0.08	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.94	6.325		44.774		316.979			
0.142	0.00	1.002		7.096		50.238		355.656			

Operator notes:

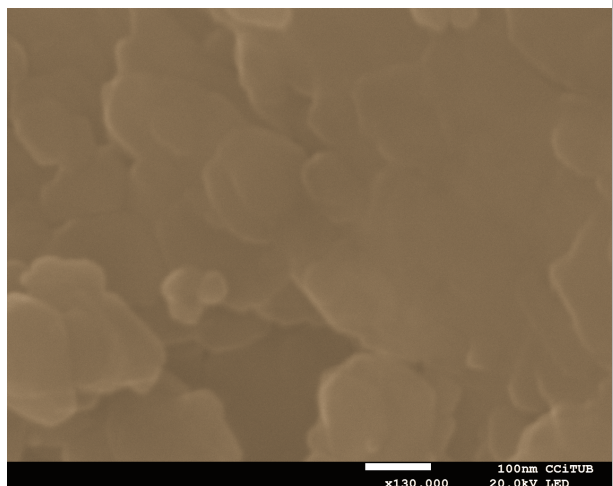
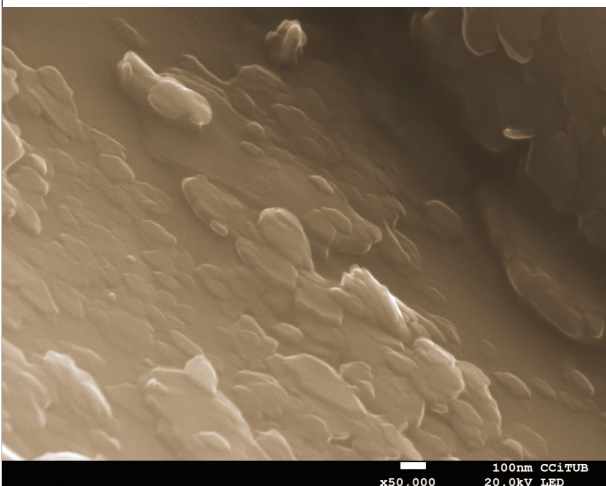
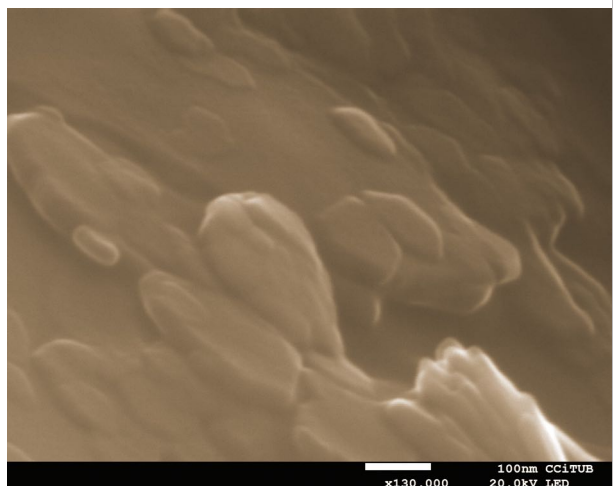
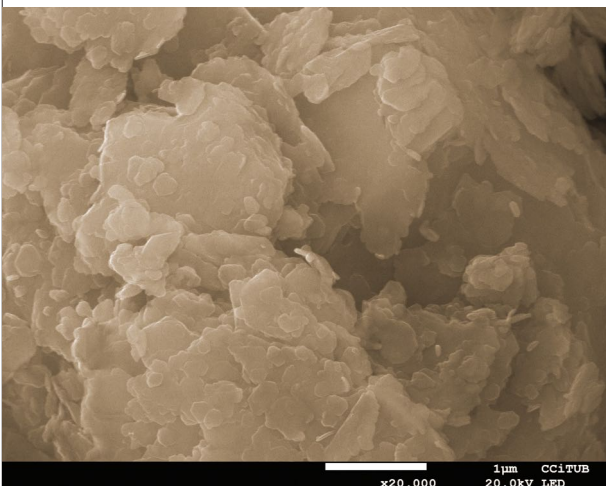
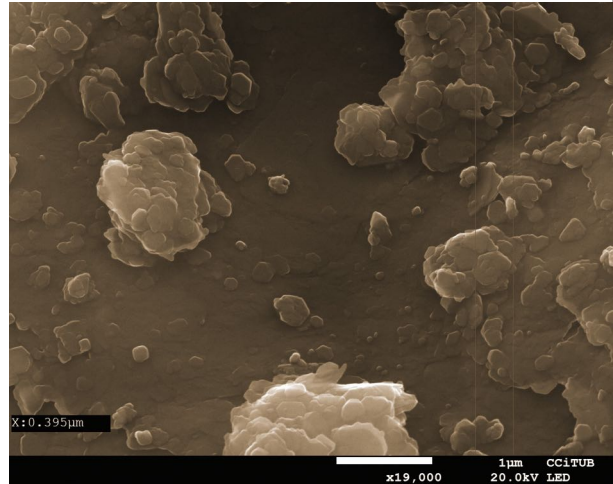
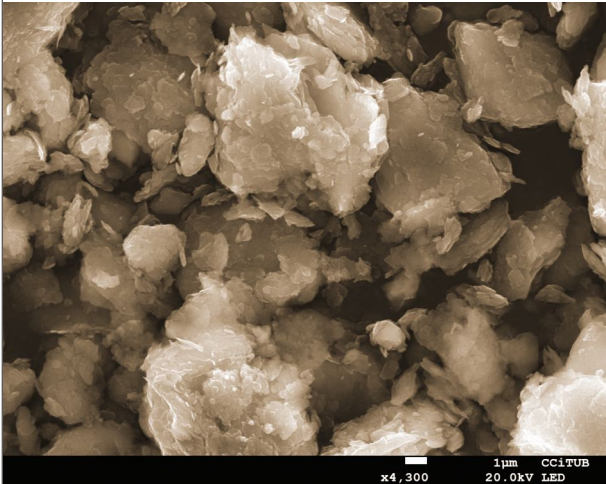
Anexo 6.6.1.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo A

Imágenes SEM



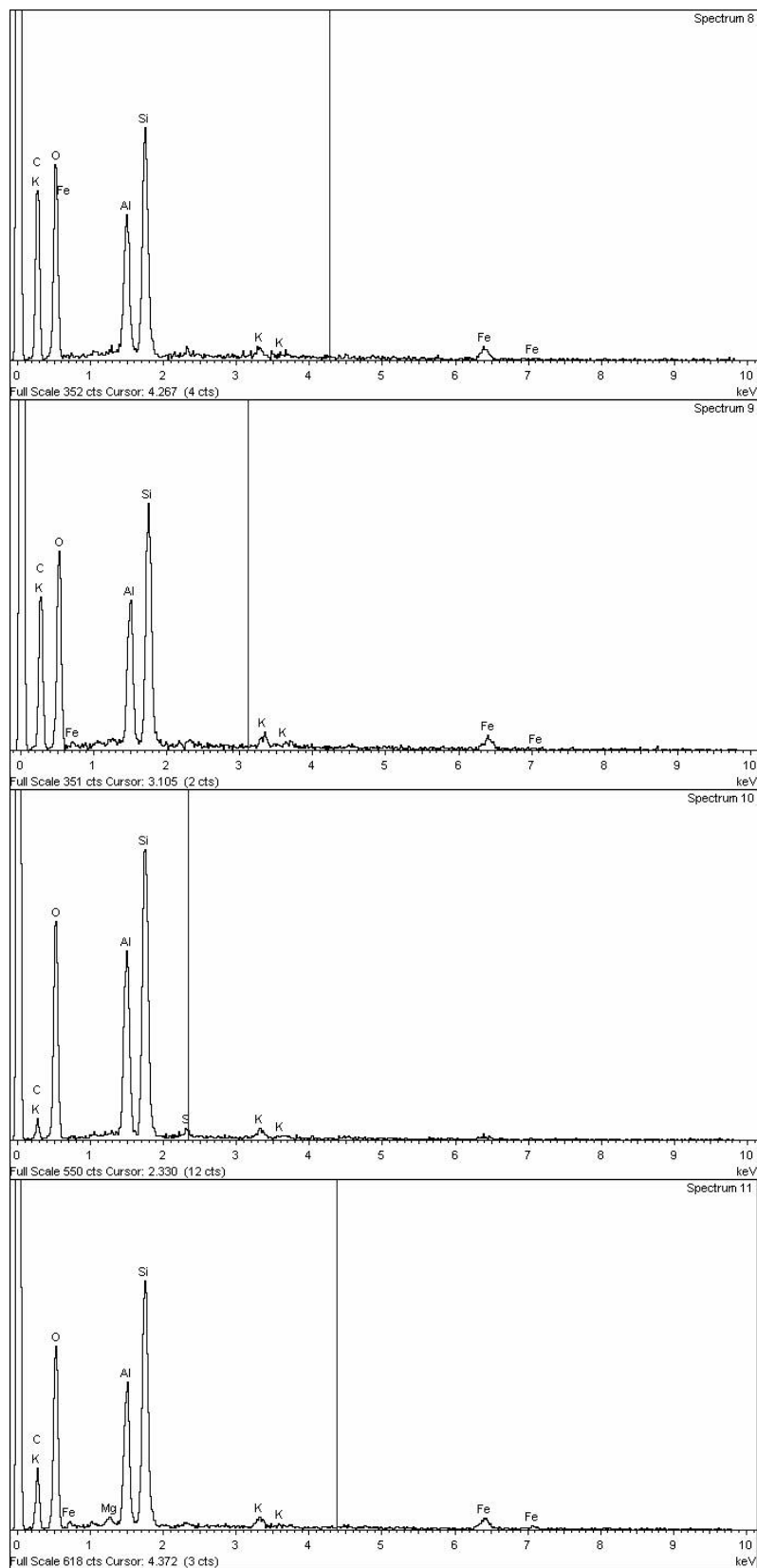
Anexo 6.6.1.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo A

Imágenes SEM



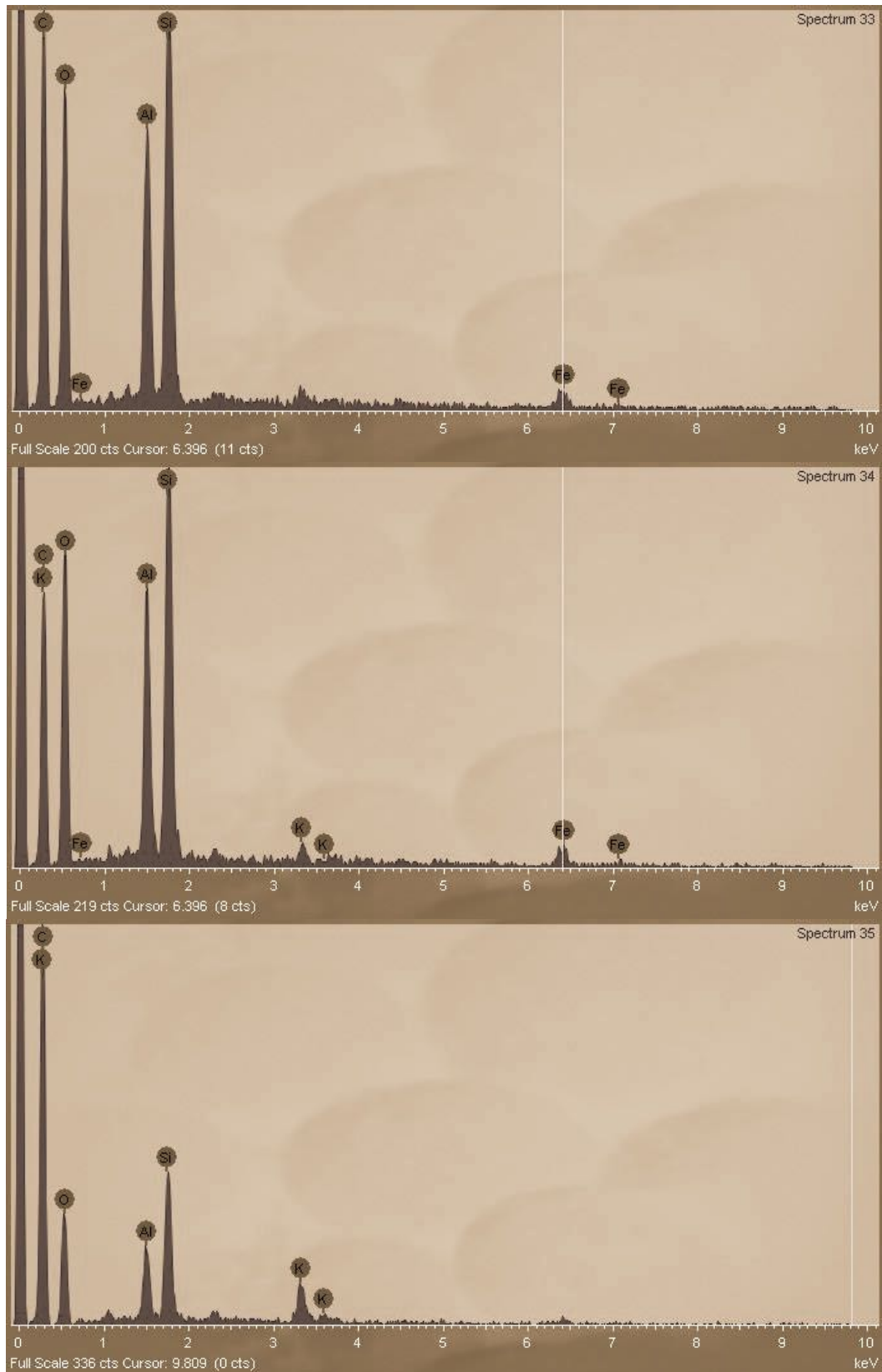
Anexo 6.6.1.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo A

Espectros (SEM)



Anexo 6.6.1.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo A

Espectros (SEM)

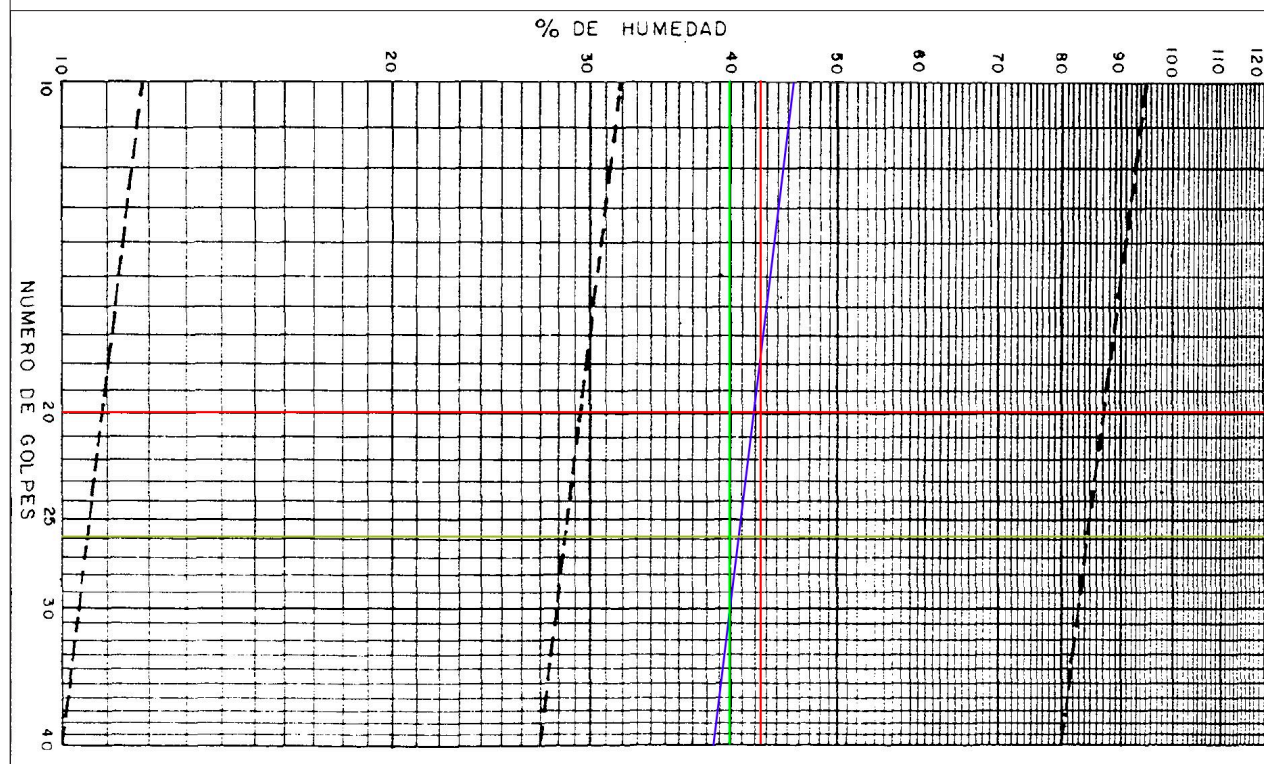


Anexo 6.6.2.1 Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico de arcilla Tipo B

Datos recolectados para la determinación del límite líquido y determinación del límite plástico

Determinación del límite Arcilla B			Determinación del límite plástico Arcilla B		
Muestra	B1	B2	Muestra	B1	B2
Numero de golpes	20,00	26,00	Tara cuenco	25,60	30,60
Tara cuenco	30,60	25,60	Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	33,50	38,00
Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	36,30	31,90	Tara + muestra seca (gr)	31,80	36,60
Tara + muestra seca (gr)	34,60	30,10	Agua	1,70	1,40
Agua	1,70	1,80	Suelo	6,20	6,00
Suelo	4,00	4,50	% de Humedad	27,42	23,33
% de Humedad	42,50	40,00			
Límite líquido	B	40,8	Límite plástico	B	25,4
Límite plástico	B	25,4	Indice de plasticidad	B	15,4
Indice de plasticidad	B	15,4			

Gráfico del Límite Líquido - Arcilla B



argilescolades s.a.
Pastes per la ceràmica

Producto: Arcilla PEN F BEIG

Composición Mineralológica

Mineral	%
Montmorillonita	3
Clorita	2
Illita	2,4
Caolinita	9
Quarz	43
Feldespatio K	4
Plagioclastio	5
Guethita	0
Hematita	3
Calcita	7
Dolomita	1

Composición Química

Oxido	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	pF
%	0,34	2,52	18,13	55,22	0,14	3,59	4,62	0,75	0,00	6,20	8,5

Granulometría de la muestra

Luz de malla (mm)	0,500	0,300	0,125	0,090	0,063	0,045	0,036	Resto
%	0	0	6,13	6,81	9,71	13,53	36,02	27,01

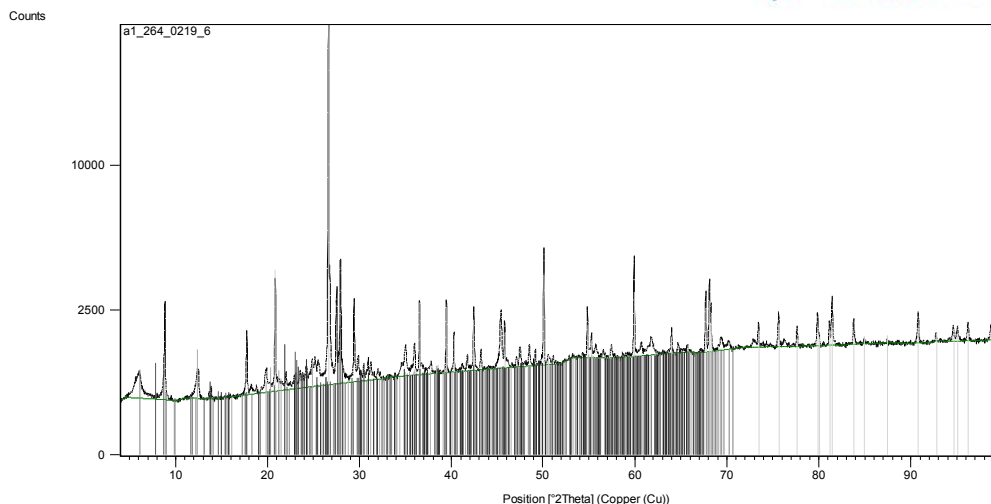
ARGILES COLADES S.A.

Crta C-66 km 12;
P.I. Rissec Sud; Avinguda Puntúii nº33
17121 Corçà (Girona) ESPAÑA
Tel. 972 630 102 - Fax. 972 630 855
info@argilescolades.com

Anexo 6.6.2.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo B

Analisis DRX FRACCION TOTAL mediante el software X'Pert HighScore (PANalytical)

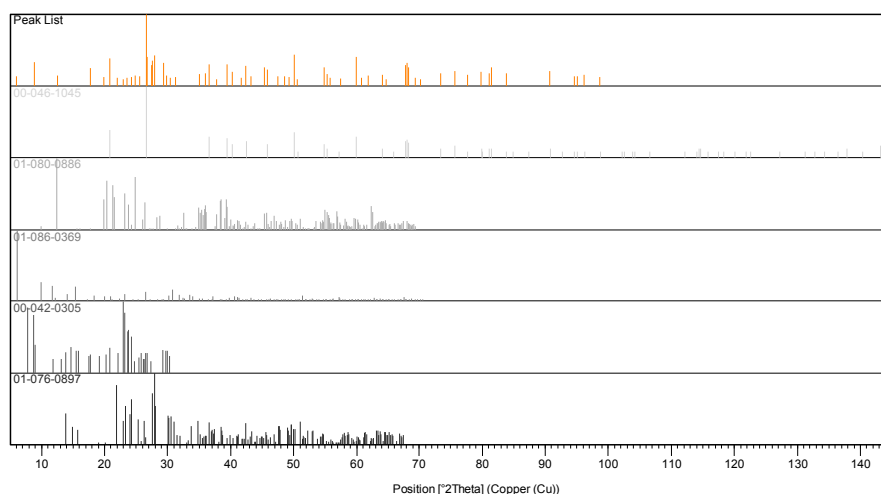
Grafico - Arcilla B:



Identified Patterns List:

Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
00-046-1045	Quartz, syn	1,011	Si O ₂
01-080-0886	Kaolinite	0,042	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
01-086-0369	Zeolite	0,022	Ca _{0.5} (Al Si O ₄)
00-042-0305	Aluminum Silicon Oxide	0,034	(Al ₂ O ₃) _{1.50} (Si O ₂) _{0.072}
01-076-0897	Albite low	0,062	Na (Al Si ₃ O ₈)

Plot of Identified Phases:

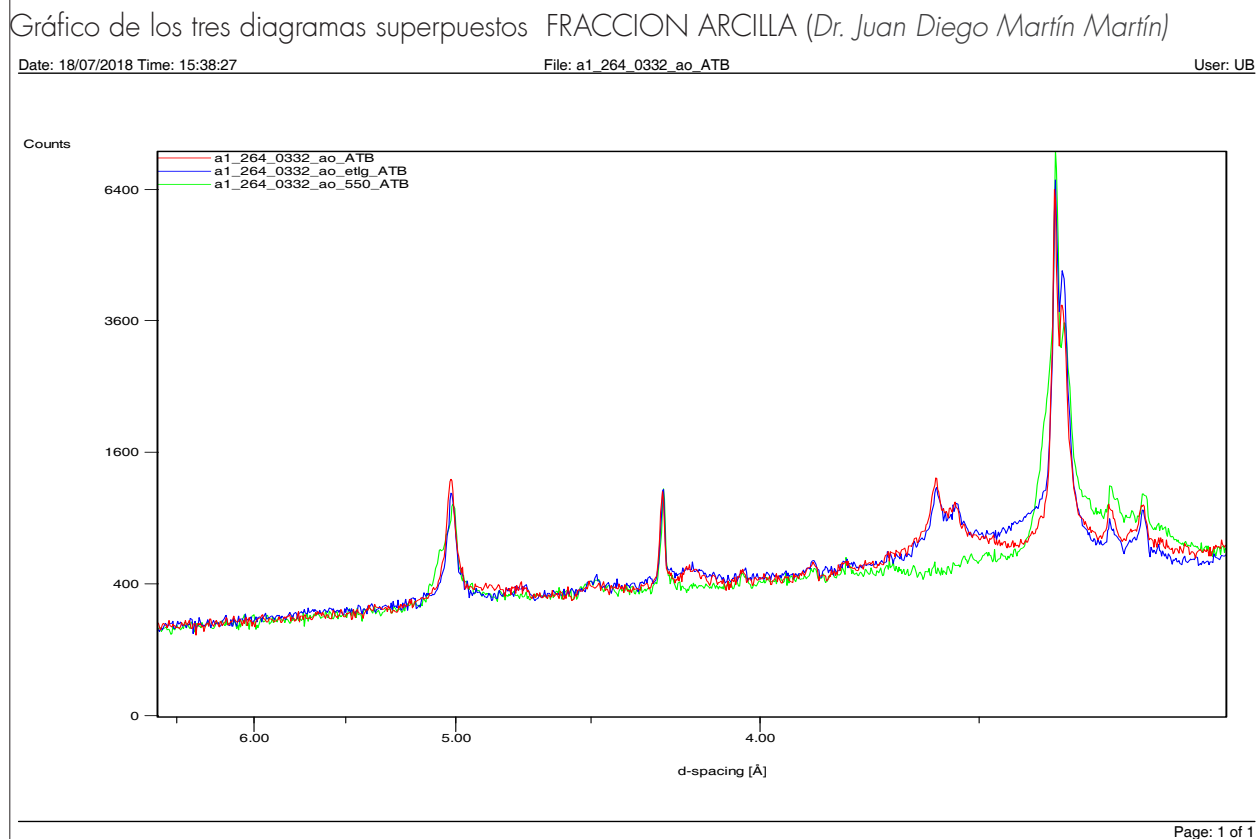
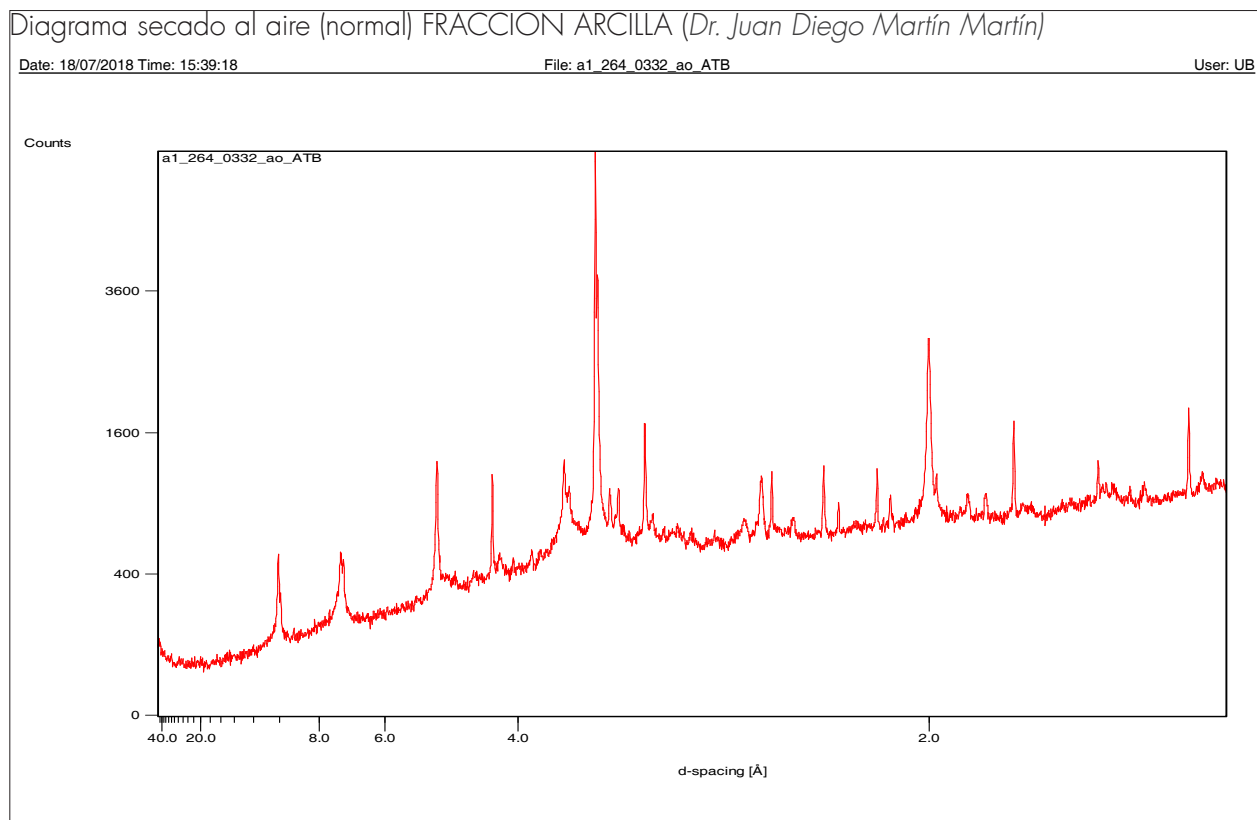


Anexo 6.6.2.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) ARCILLA B

Analisis DRX - LISTA DE PICOS- FRACCION TOTAL mediante el software X'Pert HighScore (PANalytical)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
6,0696	430,25	0,3264	14,54981	1,98	0,3917	01-086-0369
8,8555	2527,07	0,0816	9,97768	11,65	0,0979	00-042-0305
12,5038	502,76	0,0816	7,07346	2,32	0,0979	01-080-0886
17,7548	1417,75	0,0816	4,99153	6,54	0,0979	01-080-0886; 00-042-0305
19,8680	387,76	0,2448	4,46514	1,79	0,2938	01-080-0886; 01-086-0369
20,8444	3236,22	0,0816	4,25814	14,92	0,0979	00-046-1045; 01-086-0369; 00-042-0305
22,0202	329,70	0,1224	4,03335	1,52	0,1469	00-042-0305; 01-076-0897
22,9874	215,57	0,2448	3,86580	0,99	0,2938	00-042-0305; 01-076-0897
23,5306	321,49	0,1632	3,77776	1,48	0,1958	00-042-0305
24,2107	375,37	0,2040	3,67316	1,73	0,2448	01-080-0886; 00-042-0305; 01-076-0897
24,8612	535,85	0,1632	3,57851	2,47	0,1958	01-080-0886
25,5448	456,15	0,2448	3,48427	2,10	0,2938	00-042-0305
26,6245	21686,79	0,0816	3,34538	100,00	0,0979	00-046-1045; 01-086-0369; 00-042-0305; 01-076-0897
26,7682	3660,99	0,0816	3,32774	16,88	0,0979	00-046-1045; 00-042-0305
27,4517	1939,01	0,0612	3,24643	8,94	0,0734	01-080-0886; 00-042-0305
27,5441	2805,21	0,0612	3,23574	12,94	0,0734	00-042-0305; 01-076-0897
27,9234	3997,82	0,1224	3,19264	18,43	0,1469	01-076-0897
29,4132	2300,58	0,1020	3,03423	10,61	0,1224	01-086-0369
29,8390	512,14	0,1632	2,99190	2,36	0,1958	01-080-0886; 00-042-0305
30,4566	336,48	0,1224	2,93262	1,55	0,1469	01-076-0897
31,2339	383,56	0,1224	2,86139	1,77	0,1469	01-080-0886
35,0090	675,37	0,2448	2,56100	3,11	0,2938	01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
35,9852	725,57	0,1224	2,49373	3,35	0,1469	01-080-0886; 01-076-0897
36,5263	2098,08	0,0816	2,45802	9,67	0,0979	00-046-1045; 01-086-0369; 01-076-0897
37,7473	223,31	0,3264	2,38127	1,03	0,3917	01-080-0886
39,4466	2070,74	0,0816	2,28251	9,55	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-076-0897
40,2671	949,52	0,0612	2,23788	4,38	0,0734	00-046-1045; 01-080-0886; 01-076-0897
41,7039	323,93	0,1224	2,16404	1,49	0,1469	01-080-0886; 01-076-0897
42,4221	1786,06	0,1020	2,12905	8,24	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
43,1937	450,83	0,1224	2,09279	2,08	0,1469	01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
45,3907	1537,11	0,2040	1,99647	7,09	0,2448	01-080-0886; 01-076-0897
45,7714	1234,45	0,0816	1,98074	5,69	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
47,5215	437,83	0,2040	1,91180	2,02	0,2448	01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
48,5225	441,90	0,1428	1,87467	2,04	0,1714	01-080-0886; 01-086-0369
49,2008	381,71	0,0816	1,85040	1,76	0,0979	01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
50,1196	4225,41	0,0816	1,81861	19,48	0,0979	00-046-1045; 01-076-0897
50,6061	237,37	0,3264	1,80226	1,09	0,3917	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369
54,8485	1487,55	0,0816	1,67247	6,86	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-076-0897
55,3054	646,85	0,0816	1,65973	2,98	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
55,7626	301,47	0,3264	1,64720	1,39	0,3917	01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
57,4567	290,87	0,2448	1,60259	1,34	0,2938	01-080-0886; 01-076-0897
59,9337	3581,55	0,0816	1,54214	16,51	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
60,7028	326,76	0,2448	1,52443	1,51	0,2938	01-086-0369; 01-076-0897
61,7792	471,64	0,3264	1,50043	2,17	0,3917	01-080-0886; 01-086-0369
64,0199	595,16	0,0816	1,45321	2,74	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
64,6970	207,23	0,2448	1,43963	0,96	0,2938	01-080-0886; 01-086-0369; 01-076-0897
67,7141	1969,69	0,1020	1,38264	9,08	0,1224	00-046-1045; 01-086-0369
68,1164	2361,37	0,0816	1,37545	10,89	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369
68,2823	1489,11	0,0816	1,37251	6,87	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-086-0369
69,3906	338,43	0,2448	1,35327	1,56	0,2938	01-080-0886; 01-086-0369
70,2048	216,59	0,3264	1,33956	1,00	0,3917	01-086-0369
73,4371	705,12	0,1020	1,28837	3,25	0,1224	00-046-1045
75,6303	1043,15	0,0816	1,25637	4,81	0,0979	00-046-1045
77,6406	582,56	0,1224	1,22878	2,69	0,1469	00-046-1045
79,8614	913,18	0,1020	1,20010	4,21	0,1224	00-046-1045
81,1449	724,20	0,1428	1,18433	3,34	0,1714	00-046-1045
81,4467	1535,32	0,1632	1,18070	7,08	0,1958	00-046-1045
83,7983	762,19	0,1020	1,15345	3,51	0,1224	00-046-1045
90,7739	968,38	0,1428	1,08208	4,47	0,1714	00-046-1045
94,6087	446,44	0,1632	1,04807	2,06	0,1958	00-046-1045
95,0764	418,59	0,1632	1,04415	1,93	0,1958	00-046-1045
96,2069	553,95	0,1224	1,03486	2,55	0,1469	00-046-1045
98,6872	396,65	0,2448	1,01538	1,83	0,2938	00-046-1045

Anexo 6.6.2.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) ARCILLA B



Anexo 6.6.2.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) ARCILLA B

Analisis DRX - Interpretación - FRACCION ARCILLA (Dr. Juan Diego Martín Martín)

MOEJTRA 0332 β

Eswe d'la
L. Mombusilla

Quartz (Q) : 3,34 - 4,26 Å

Feldspato potásico (Fk) : 4,05 Å

Micoclasa (Pg) : 4,19 Å

Calcita (Ca) : 3,04 Å

Goethita (Gh) : 4,18 Å

Hematita (Hm) : 2,69 Å

Illita (I) : 10(001) - 5(002) Å Illita + muscovita

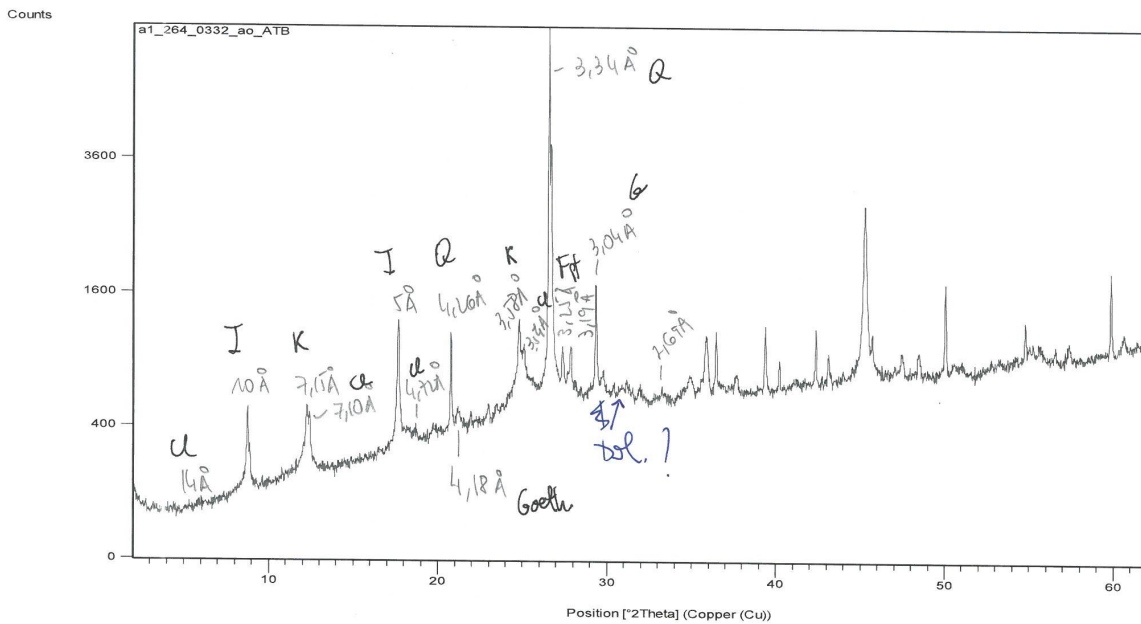
Caolinita (K) : 7,15 - 3,57 Å

Clorita (Cl) : 14 y 7,10 - 4,72 - 3,54 Å

Illita - Caolinita \gg clorita



Q	Fk	Pg	Ca	Goeth	Hm	Clays	Illita	K	Cl
XXX	XX	XX	XX	X	X	XX	XX	XXX	X
		X	X						



Anexo 6.6.2.6 Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo B

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra T



MASTERSIZER



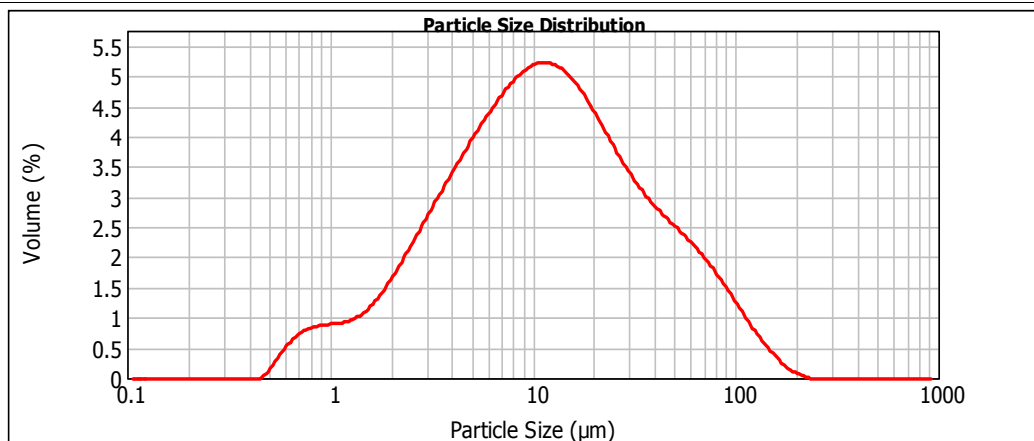
Result Analysis Report

Sample Name: B - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 12:02:15
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 12:02:16
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 13.47 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.736 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0106 %Vol	Span : 4.640	Uniformity: 1.41	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.09 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.514 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 21.291 um	

d(0.1): 2.359 um d(0.5): 11.312 um d(0.9): 54.846 um



— B - Average, jueves, 12 de julio de 2018 12:02:15

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.68	7.096	3.61	50.238	1.83	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.70	7.962	3.76	56.368	1.70	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.74	8.934	3.86	63.246	1.56	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.83	10.024	3.92	70.963	1.41	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.96	11.247	3.93	79.621	1.23	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.13	12.619	3.78	89.337	1.05	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.33	14.159	3.62	100.237	0.85	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.54	15.887	3.43	112.468	0.66	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.77	17.825	3.22	126.191	0.48	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.00	20.000	2.99	141.589	0.33	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.02	3.170	2.22	22.440	2.77	158.866	0.20	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.20	3.557	2.44	25.179	2.56	178.250	0.08	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.37	3.991	2.66	28.251	2.38	200.000	0.03	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.50	4.477	2.87	31.698	2.22	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.59	5.024	3.07	35.566	2.08	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.64	5.637	3.27	39.905	1.95	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.66	6.325	3.45	44.774		316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.66	7.096		50.238		355.656	0.00		

Operator notes: con desfloculante

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 2



MASTERSIZER



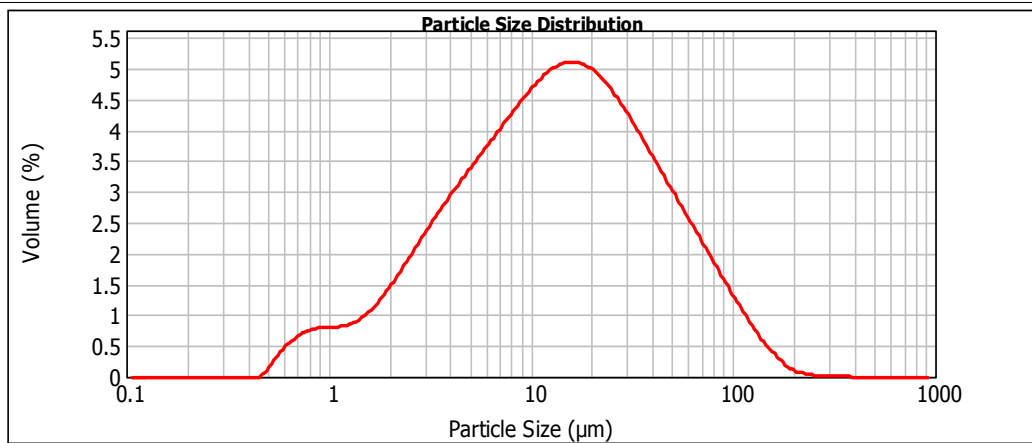
Result Analysis Report

Sample Name: B - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 11:56:39
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 11:56:40
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 12.19 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.667 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0105 %Vol	Span : 4.060	Uniformity: 1.28	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.991 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 6.052 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 23.639 um	

d(0.1): 2.564 um d(0.5): 13.669 um d(0.9): 58.064 um



— B - Average, jueves, 12 de julio de 2018 11:56:39

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.61	7.096	3.11	50.238	2.16	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.62	7.962	3.28	56.368	1.95	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.66	8.934	3.44	63.246	1.74	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.66	10.024	3.58	70.963	1.74	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.74	11.247	3.70	79.621	1.53	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.85	12.619	3.79	89.337	1.31	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.00	14.159	3.83	100.237	1.10	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.18	15.887	3.84	112.468	0.89	796.214	0.00
0.050	0.00	0.366	0.00	2.518	1.37	17.825	3.79	126.191	0.69	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.56	20.000	3.70	141.589	0.51	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.75	22.440	3.57	158.866	0.35	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.02	3.557	1.94	25.179	3.41	178.250	0.23	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.19	3.991	2.12	28.251	3.22	200.000	0.11	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.34	4.477	2.30	31.698	3.02	224.404	0.05	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.46	5.024	2.46	35.566	2.80	251.785	0.03	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.54	5.637	2.63	39.905	2.59	282.508	0.01	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.58	6.325	2.79	44.774	2.38	316.979	0.01		
0.142	0.00	1.002	0.60	7.096	2.95	50.238	2.38	355.656	0.02		

Operator notes: *sin desfloculante*

Anexo 6.6.2.6 Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo B

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 3



MASTERSIZER



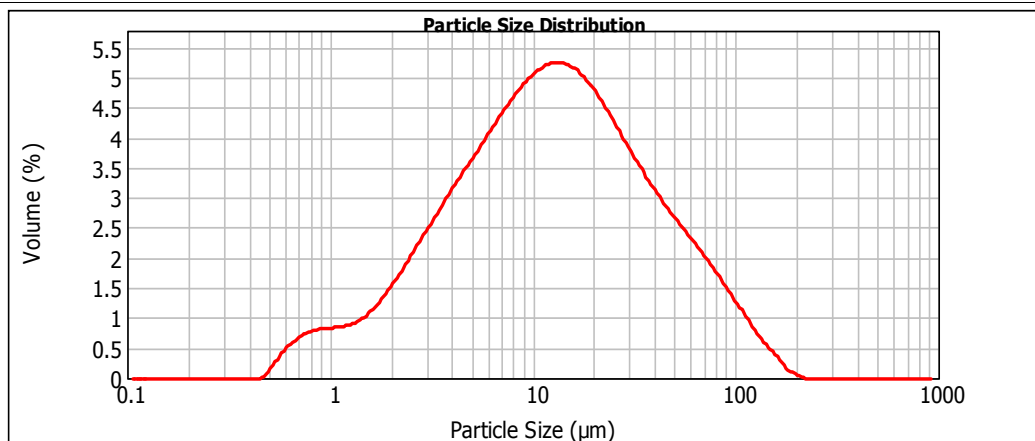
Result Analysis Report

Sample Name: B_2 - Average	SOP Name:	Measured: martes, 03 de julio de 2018 11:02:52
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: martes, 03 de julio de 2018 11:02:53
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 13.43 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.693 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0112 %Vol	Span : 4.285	Uniformity: 1.32	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.03 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.809 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 22.077 um	

d(0.1): 2.483 um d(0.5): 12.368 um d(0.9): 55.483 um



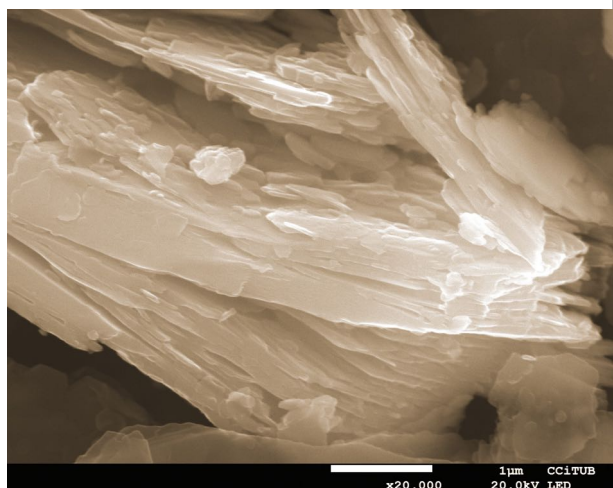
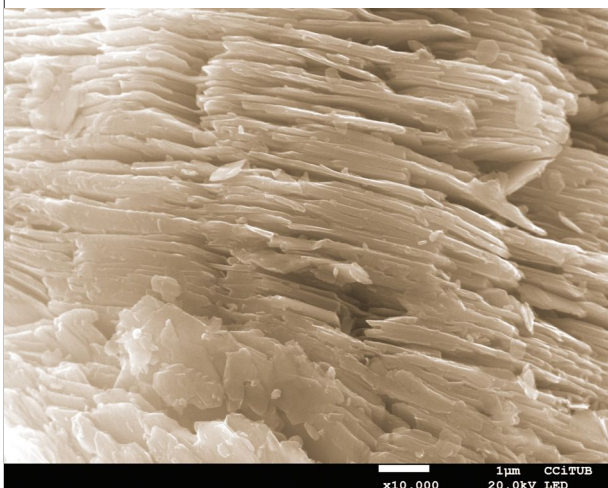
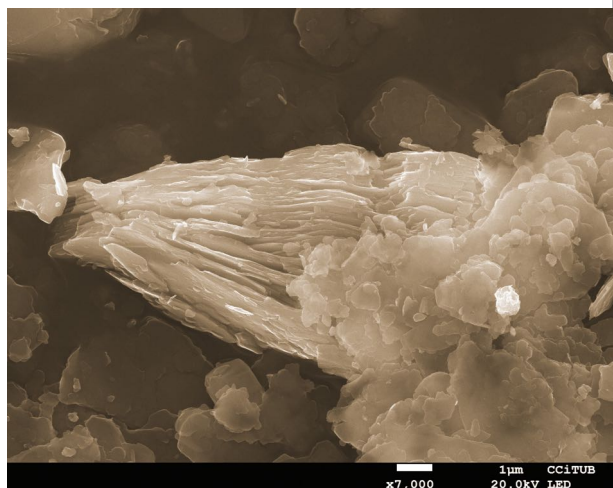
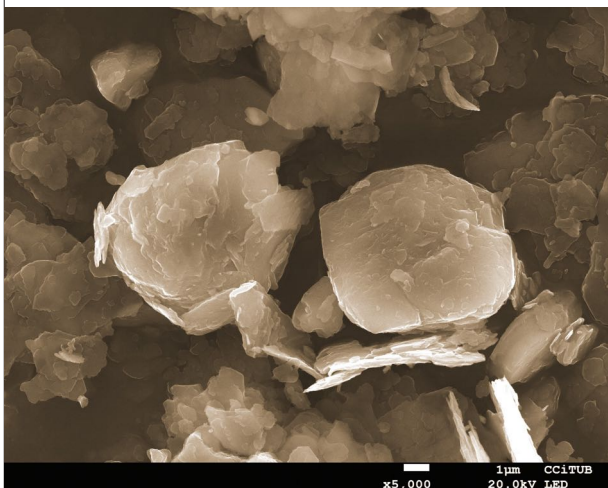
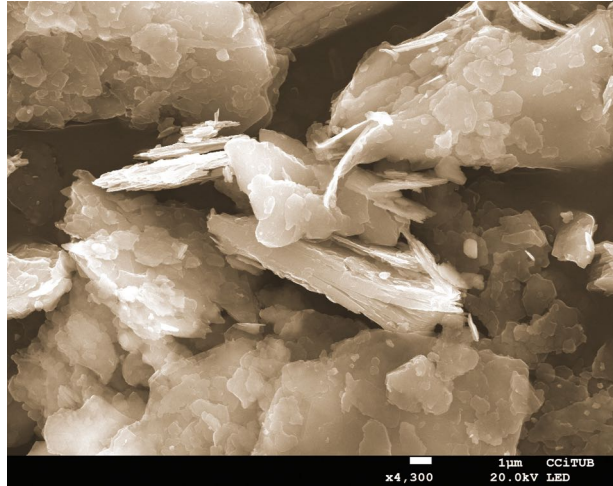
B_2 - Average, martes, 03 de julio de 2018 11:02:52

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.63	7.096	3.41	50.238	1.92	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.65	7.962	3.59	56.368	1.76	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.69	8.934	3.74	63.246	1.60	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.78	10.024	3.85	70.963	1.43	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.90	11.247	3.93	79.621	1.25	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.06	12.619	3.95	89.337	1.06	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.24	14.159	3.92	100.237	0.86	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.43	15.887	3.83	112.468	0.67	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.64	17.825	3.69	126.191	0.49	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.85	20.000	3.52	141.589	0.35	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.05	22.440	3.31	158.866	0.20	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.19	3.557	2.25	25.179	3.10	178.250	0.07	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.35	3.991	2.45	28.251	2.87	200.000	0.01	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.47	4.477	2.65	31.698	2.65	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.56	5.024	2.84	35.566	2.45	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.60	5.637	3.03	39.905	2.26	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.60	6.325	3.03	44.774	2.09	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.62	7.096	3.23	50.238	2.09	355.656	0.00		

Operator notes:

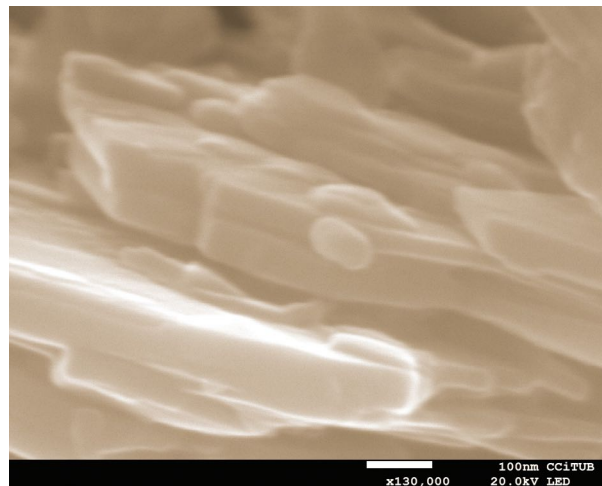
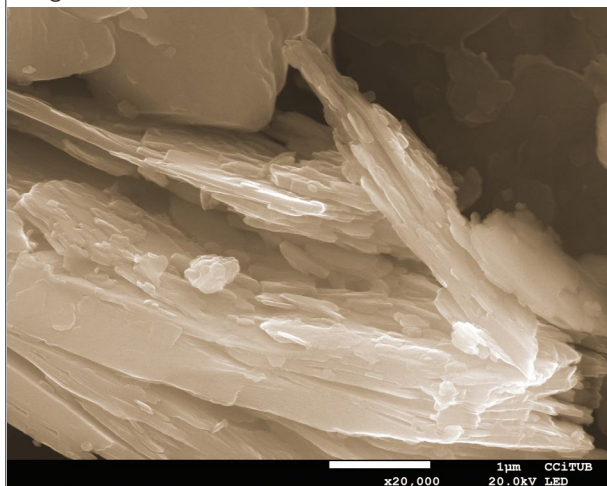
Anexo 6.6.2.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo B

Imágenes SEM

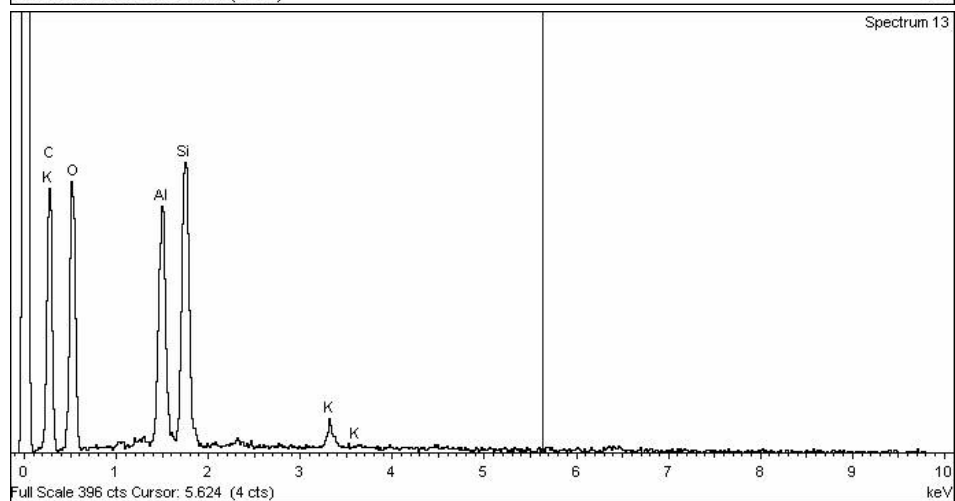
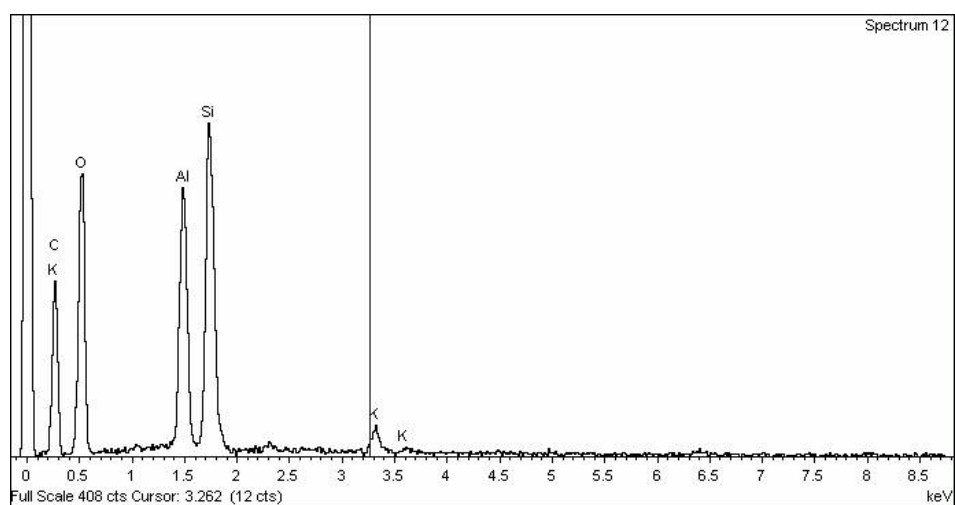


Anexo 6.6.2.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo B

mágenes SEM



Espectros (SEM)



Anexo 6.6.3.1- Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico de arcilla Tipo C

Datos recolectados para la determinación del límite líquido y determinación del límite plástico

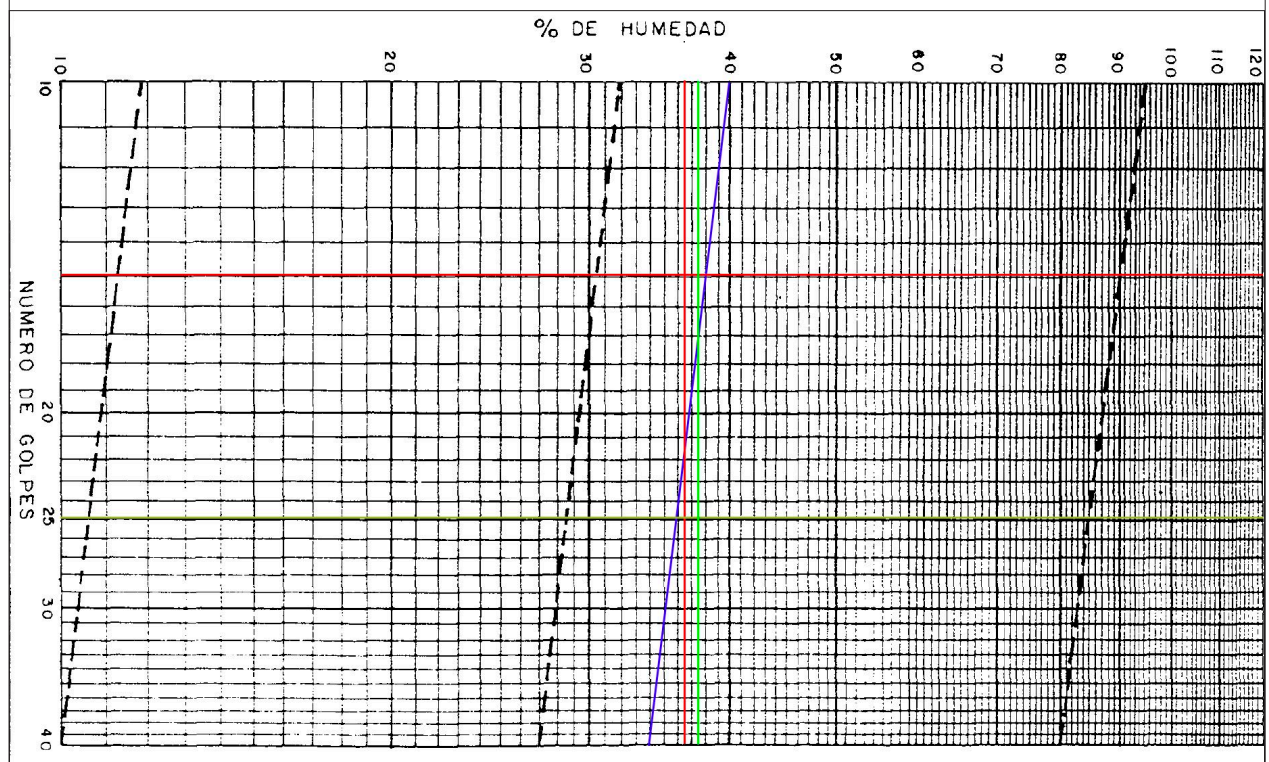
Determinación del límite líquido Arcilla C

Muestra	C1	C2
Numero de golpes	15,00	25,00
Tara cuenco	25,20	30,10
Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	29,60	35,70
Tara + muestra seca (gr)	28,40	34,20
Agua	1,20	1,50
Suelo	3,20	4,10
% de Humedad	37,50	36,59
Límite líquido	C	36,0
Límite plástico	C	22,4
Índice de plasticidad	C	13,6

Determinación del límite plástico Arcilla C

Muestra	C1	C2
Tara cuenco	30,10	25,20
Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	36,70	32,90
Tara + muestra seca (gr)	35,40	31,60
Agua	1,30	1,30
Suelo	5,30	6,40
% de Humedad	24,53	20,31
Límite plástico	C	22,4

Gráfico del Límite Líquido - Arcilla C



argilescolades s.a.
Pastes per la ceràmica

Producto: Arcilla PEN VERMELLA/RO

Composición Mineralológica

Mineral	%
Montmorillonita	3
Clorita	2
Illita	2,4
Caolinita	9
Quarz	43
Feldespató K	4
Plagioclastio	5
Guethita	0
Hematita	3
Calcita	7
Dolomita	1

Composición Química

Oxido	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	pF
%	0,34	2,52	18,13	55,22	0,14	3,59	4,62	0,75	0,00	6,20	8,5

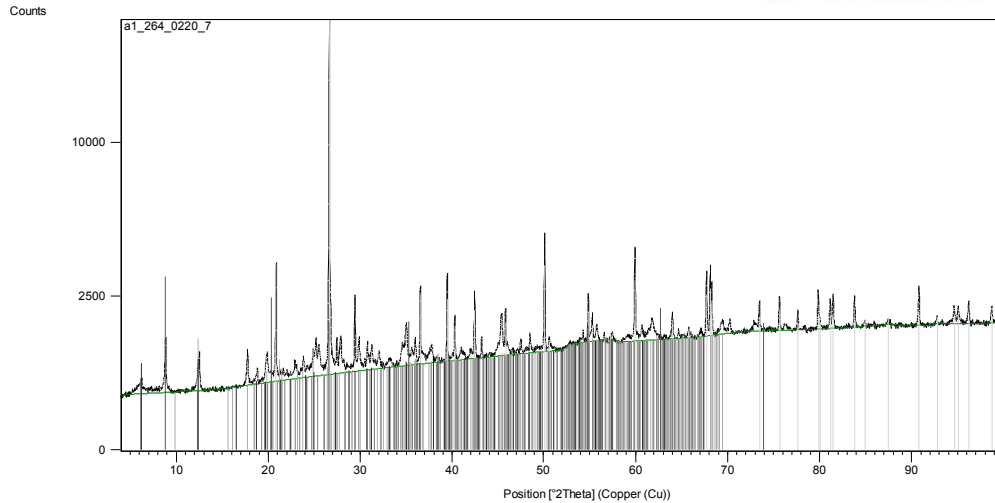
Granulometría de la muestra

Luz de malla (mm)	0,500	0,300	0,125	0,090	0,063	0,045	0,036	Resto
%	32,95	25,28	12,35	8,28	7,35	7,15	5,29	1,25

Valoración
Arcilla illítica - calcárea,
Color en crudo rojo fuerte

Analisis DRX FRACCION TOTAL mediante el software X'Pert HighScore (PANalytical)

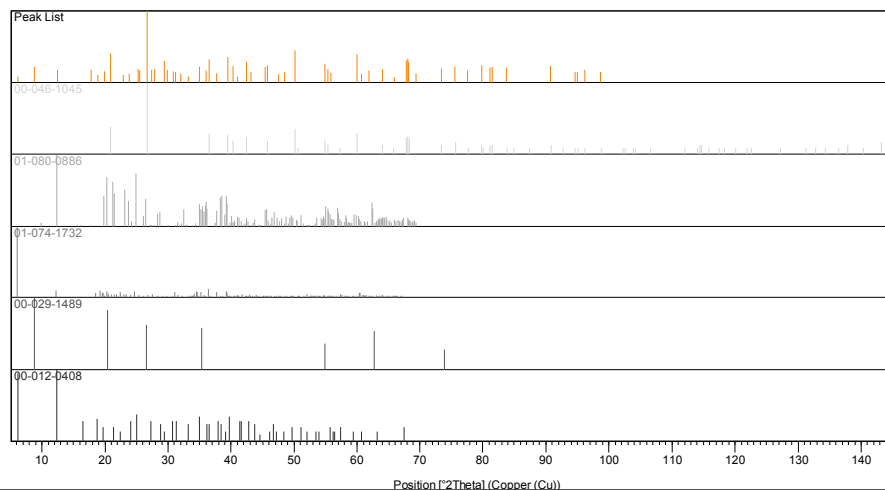
Gráfico - Arcilla C:



Identified Patterns List:

Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
00-046-1045	Quartz, syn	1,008	Si O ₂
01-080-0886	Kaolinite	0,047	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
01-074-1732	Vermiculite	0,011	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (O H) ₂
00-029-1489	hydrated halloysite	0,143	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄ 2 H ₂ O
00-012-0408	Calcium Aluminum Oxide Hydrate	0,026	Ca Al ₂ O ₄ · 10 H ₂ O

Plot of Identified Phases:

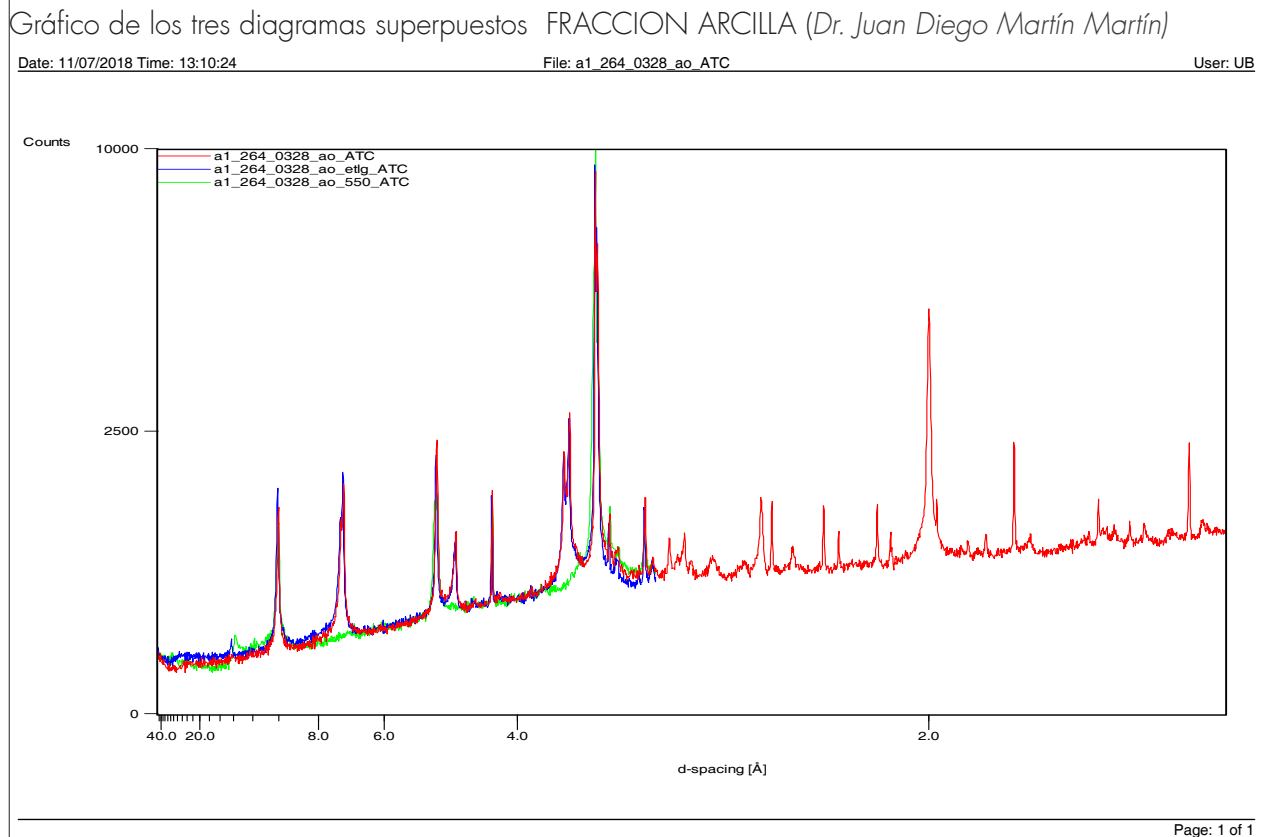
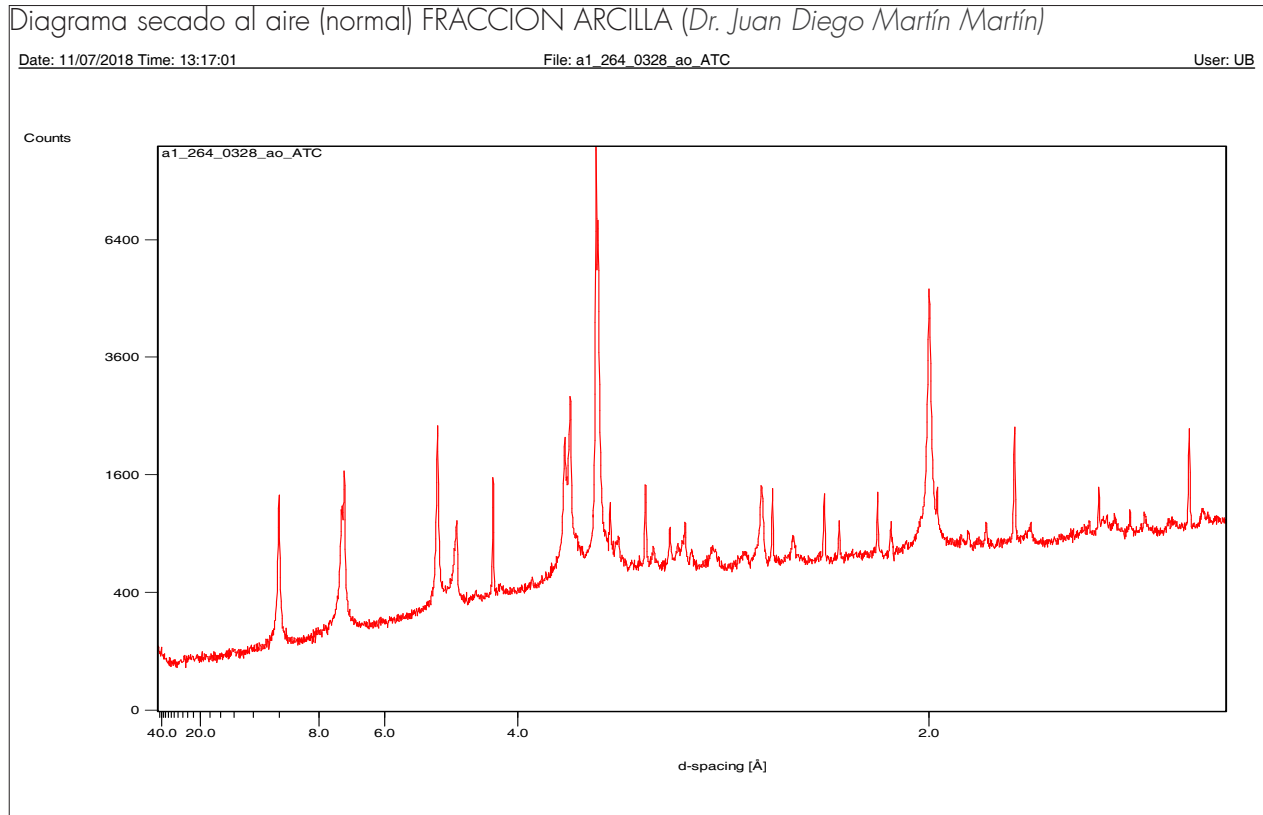


Anexo 6.6.3.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo C

Análisis DRX - LISTA DE PICOS- FRACCION TOTAL mediante el software X'Pert HighScore (PANalytical)

Pos. [°2 θ .]	Height [cts]	FWHM [°2 θ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2 θ .]	Matched by
6,1606	163,05	0,4896	14,33496	0,83	0,5875	01-074-1732; 00-012-0408
8,8573	1011,61	0,1020	9,97574	5,16	0,1224	00-029-1489
12,5301	656,04	0,0612	7,05867	3,35	0,0734	01-080-0886
17,7499	638,87	0,1020	4,99290	3,26	0,1224	01-080-0886
18,8155	229,24	0,1632	4,71247	1,17	0,1958	00-012-0408
19,8867	515,64	0,2448	4,46098	2,63	0,2938	01-080-0886; 01-074-1732
20,8582	3263,96	0,0612	4,25535	16,65	0,0734	00-046-1045; 01-074-1732
22,9564	247,67	0,2448	3,87094	1,26	0,2938	01-074-1732
23,8182	331,41	0,1632	3,73280	1,69	0,1958	01-080-0886
25,2104	755,28	0,0816	3,52973	3,85	0,0979	01-074-1732
25,4887	589,63	0,2448	3,49182	3,01	0,2938	01-074-1732
26,6370	19605,05	0,0816	3,34383	100,00	0,0979	00-046-1045; 00-029-1489
27,4428	630,71	0,1632	3,24745	3,22	0,1958	01-080-0886; 01-074-1732; 00-012-0408
27,8938	734,04	0,1632	3,19597	3,74	0,1958	01-080-0886
29,4272	1912,24	0,1020	3,03282	9,75	0,1224	00-012-0408
29,8605	659,41	0,1224	2,98979	3,36	0,1469	01-080-0886; 01-074-1732
30,7809	520,38	0,1224	2,90245	2,65	0,1469	01-074-1732; 00-012-0408
31,2266	476,25	0,1224	2,86204	2,43	0,1469	01-080-0886; 00-012-0408
32,0301	340,97	0,2040	2,79205	1,74	0,2448	01-080-0886
33,1796	150,42	0,4896	2,69791	0,77	0,5875	01-080-0886; 01-074-1732; 00-012-0408
35,0307	951,20	0,1836	2,55946	4,85	0,2203	01-080-0886; 01-074-1732; 00-012-0408
35,9906	565,03	0,1224	2,49337	2,88	0,1469	01-080-0886; 01-074-1732
36,5348	2069,59	0,0816	2,45747	10,56	0,0979	00-046-1045; 01-074-1732; 00-012-0408
37,7490	340,09	0,4080	2,38117	1,73	0,4896	01-080-0886; 01-074-1732
39,4556	2494,76	0,0816	2,28201	12,73	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
40,2814	1094,69	0,0816	2,23712	5,58	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
41,0382	177,84	0,4896	2,19759	0,91	0,5875	01-080-0886; 01-074-1732
42,4377	1770,71	0,0816	2,12830	9,03	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
43,1796	457,69	0,1020	2,09344	2,33	0,1224	01-080-0886
45,3844	1005,75	0,1632	1,99673	5,13	0,1958	01-080-0886; 01-074-1732
45,7839	1191,84	0,0816	1,98023	6,08	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
47,5372	308,84	0,1632	1,91121	1,58	0,1958	01-080-0886; 01-074-1732
48,5299	452,67	0,1224	1,87441	2,31	0,1469	01-080-0886; 01-074-1732; 00-012-0408
50,1276	4012,85	0,0816	1,81834	20,47	0,0979	00-046-1045
54,8597	1371,15	0,1020	1,67215	6,99	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732; 00-029-1489
55,3115	732,71	0,1020	1,65956	3,74	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
55,7784	394,21	0,1632	1,64677	2,01	0,1958	01-080-0886; 01-074-1732; 00-012-0408
59,9405	3182,65	0,1020	1,54199	16,23	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
60,6977	354,89	0,2448	1,52455	1,81	0,2938	01-080-0886; 01-074-1732; 00-012-0408
61,8049	558,70	0,2448	1,49987	2,85	0,2938	01-080-0886; 01-074-1732
64,0080	724,44	0,1224	1,45345	3,70	0,1469	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
65,8397	135,61	0,4896	1,41738	0,69	0,5875	00-046-1045; 01-080-0886; 01-074-1732
67,7186	2015,68	0,1224	1,38256	10,28	0,1469	00-046-1045
68,1238	2237,77	0,1020	1,37532	11,41	0,1224	00-046-1045; 01-080-0886
68,2884	1612,20	0,0816	1,37240	8,22	0,0979	00-046-1045; 01-080-0886
69,3865	333,93	0,3264	1,35334	1,70	0,3917	01-080-0886
73,4494	798,17	0,1020	1,28819	4,07	0,1224	00-046-1045
75,6340	981,68	0,1020	1,25632	5,01	0,1224	00-046-1045
77,6379	581,46	0,1020	1,22882	2,97	0,1224	00-046-1045
79,8577	1173,21	0,0816	1,20015	5,98	0,0979	00-046-1045
81,1484	860,41	0,1020	1,18429	4,39	0,1224	00-046-1045
81,4580	980,79	0,1224	1,18057	5,00	0,1469	00-046-1045
83,8023	943,29	0,1224	1,15341	4,81	0,1469	00-046-1045
90,8023	1120,69	0,1020	1,08182	5,72	0,1224	00-046-1045
94,6110	464,62	0,1632	1,04805	2,37	0,1958	00-046-1045
95,0592	458,88	0,1632	1,04429	2,34	0,1958	00-046-1045
96,1964	624,31	0,1632	1,03494	3,18	0,1958	00-046-1045
98,6942	470,65	0,1224	1,01533	2,40	0,1469	00-046-1045

Anexo 6.6.3.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) ARCILLA C



Anexo 6.6.3.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) ARCILLA C

Analisis DRX - Interpretación - FRACCION ARCILLA (Dr. Juan Diego Martín Martín)

MUESTRA 0328 - C

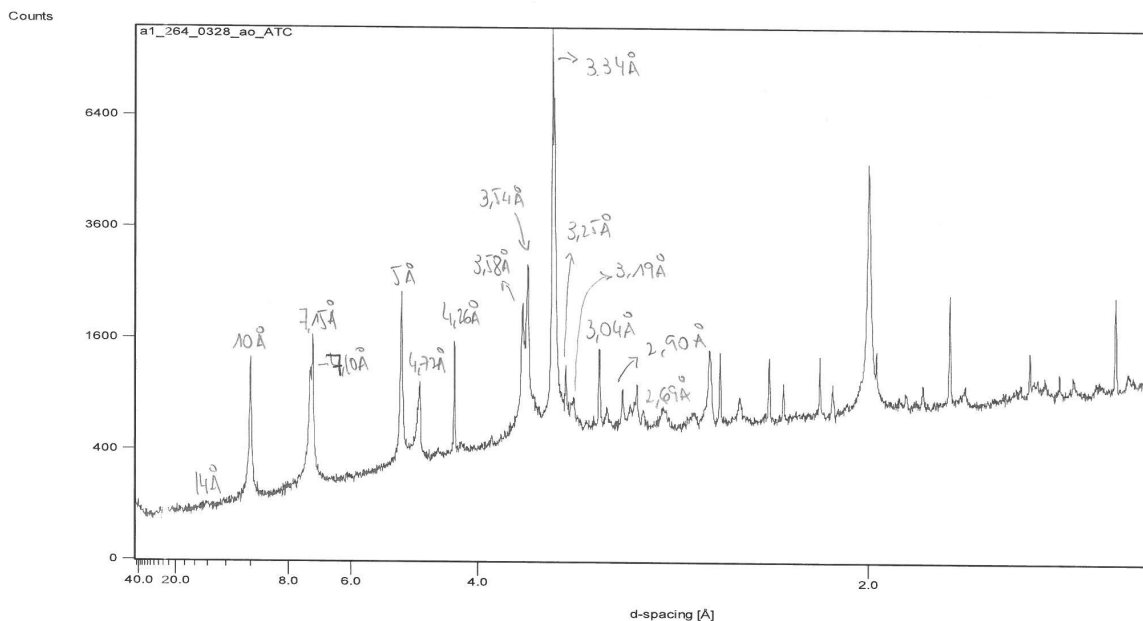
- Cuarcio (Q) : 3,34 - 4,26 Å
- Feldespato potásico (Fr): 3,25 Å
- Plagioclasa (Pg): 3,19 Å
- Calcita (Ca) 3,04 Å
- ~~Dolomita (D) 2,89 Å~~
- Hematita (Hm) 2,69 Å
- Ilita (I) : 10 Å (001) - 5 Å (002)
- Kalivita (K) : 7,15 (001) - 3,58 (002)
- Clorita (Ch) : 14 (001) - 7,0 (002) - 4,72 (003) - 3,54 (004)

Ilita > K > Ch

K > Ilita >> Ch

*** Dominant
** Abundant
* Present

Cl	Q	Fr	Pg	Ca	Hm	Clay	Clay Minerals
*	***	*	*	**	*	***	K il. Ch
							** ** *



Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra T



MASTERSIZER



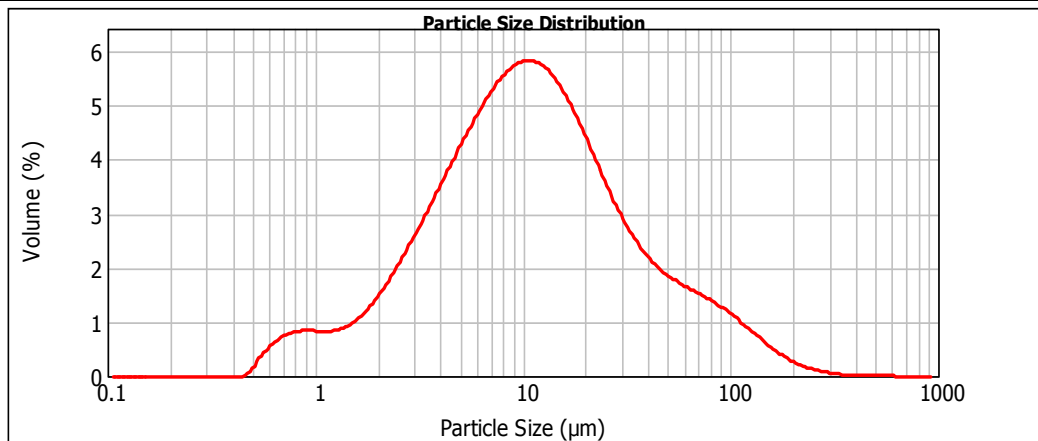
Result Analysis Report

Sample Name: C - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 12:12:27
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 12:12:28
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 15.85 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.701 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0128 %Vol	Span : 4.662	Uniformity: 1.54	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.09 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.511 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 21.615 um	

d(0.1): 2.492 um d(0.5): 10.624 um d(0.9): 52.019 um



— C - Average, jueves, 12 de julio de 2018 12:12:27

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.62	7.096	4.07	50.238	1.34	355.656	0.02
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.63	7.962	4.24	56.368	1.26	399.052	0.02
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.63	8.934	4.24	63.246	1.18	447.744	0.02
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.66	10.024	4.35	70.963	1.18	502.377	0.02
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.73	11.247	4.39	79.621	1.10	563.677	0.02
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.85	12.619	4.35	89.337	1.02	632.456	0.01
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.01	14.159	4.24	100.237	0.92	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.21	15.887	4.05	112.468	0.81	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.43	17.825	3.80	126.191	0.69	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.67	20.000	3.50	141.589	0.57	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.94	22.440	3.17	158.866	0.45	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.02	3.557	2.21	25.179	2.83	178.250	0.34	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.24	3.991	2.50	28.251	2.51	200.000	0.24	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.40	4.477	2.78	31.698	2.22	224.404	0.17	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.51	5.024	3.07	35.566	1.96	251.785	0.11	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.59	5.637	3.35	39.905	1.75	282.508	0.07	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.63	6.325	3.61	44.774	1.58	316.979	0.05		
0.142	0.00	1.002	0.63	7.096	3.86	50.238	1.45	355.656	0.02		

Operator notes: *sin desfloculante*

Anexo 6.6.3.6 Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo C

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 2



MASTERSIZER



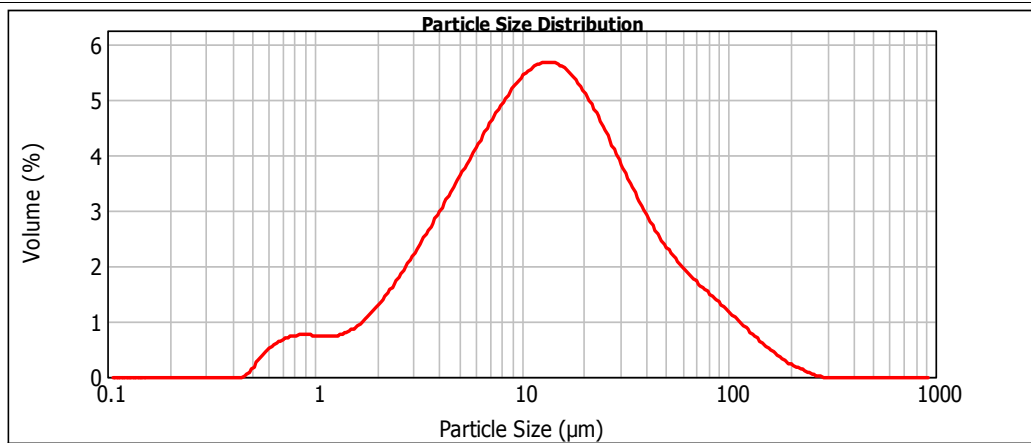
Result Analysis Report

Sample Name: C - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 12:08:13
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 12:08:14
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 14.13 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.632 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0125 %Vol	Span : 4.040	Uniformity: 1.3	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.987 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 6.080 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 22.562 um	

d(0.1): 2.748 um d(0.5): 12.635 um d(0.9): 53.789 um



— C - Average, jueves, 12 de julio de 2018 12:08:13

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.55	7.096	3.57	50.238	1.67	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.55	7.962	3.80	56.368	1.50	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.57	8.934	3.99	63.246	1.50	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.57	10.024	4.15	70.963	1.35	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.63	11.247	4.15	79.621	1.21	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.73	12.619	4.24	89.337	1.08	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.87	14.159	4.28	100.237	0.95	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.04	15.887	4.25	112.468	0.82	796.214	0.00
0.050	0.00	0.366	0.00	2.518	1.23	17.825	4.15	126.191	0.69	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.43	20.000	3.99	141.589	0.56	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.65	22.440	3.77	158.866	0.43	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.02	3.557	1.87	25.179	3.51	178.250	0.31	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.23	3.991	2.11	28.251	3.23	200.000	0.22	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.37	4.477	2.35	31.698	2.93	224.404	0.13	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.47	5.024	2.59	35.566	2.63	251.785	0.08	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.54	5.637	2.84	39.905	2.35	282.508	0.01	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.57	6.325	3.09	44.774	2.09	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.57	7.096	3.34	50.238	1.87	355.656	0.00		

Operator notes: sin desfloculante

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 3



MASTERSIZER



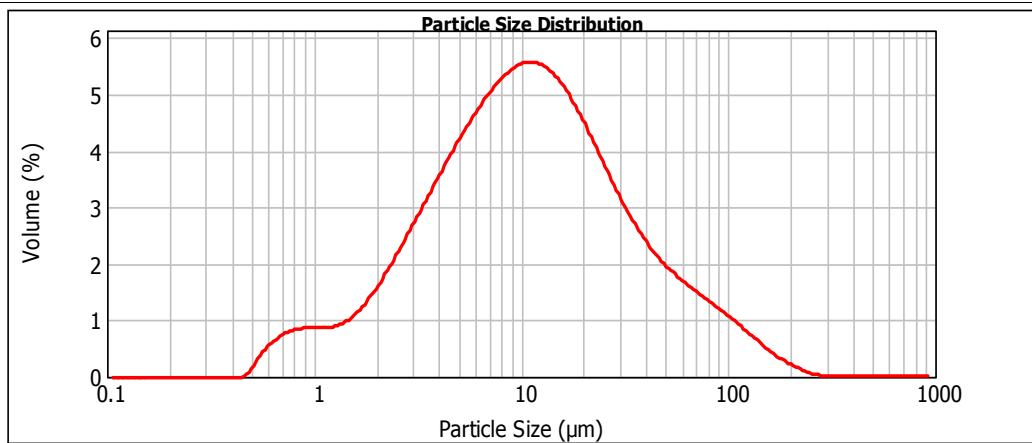
Result Analysis Report

Sample Name: C - Average	SOP Name:	Measured: martes, 03 de julio de 2018 11:11:29
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: martes, 03 de julio de 2018 11:11:31
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 16.28 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.709 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0129 %Vol	Span : 4.468	Uniformity: 1.51	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.11 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.420 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 21.375 um	

d(0.1): 2.401 um d(0.5): 10.710 um d(0.9): 50.250 um



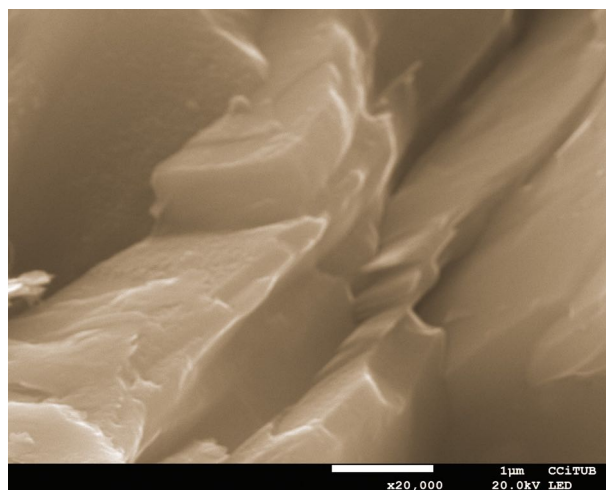
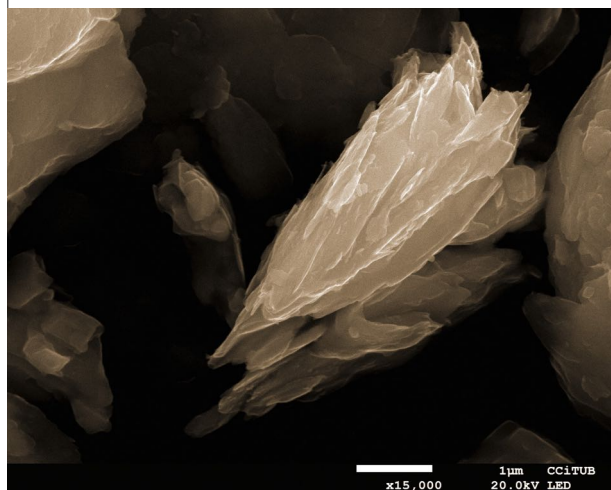
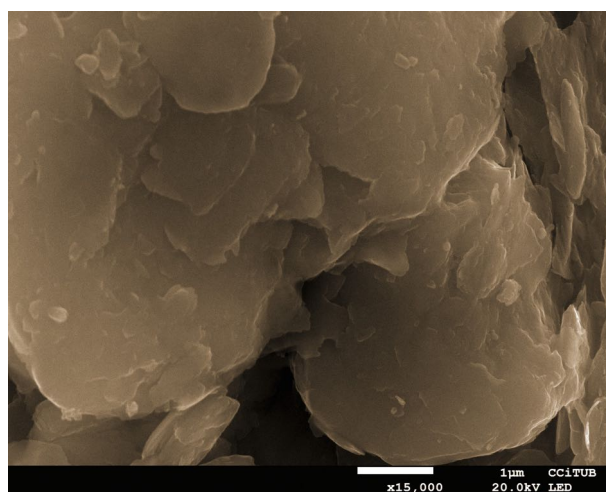
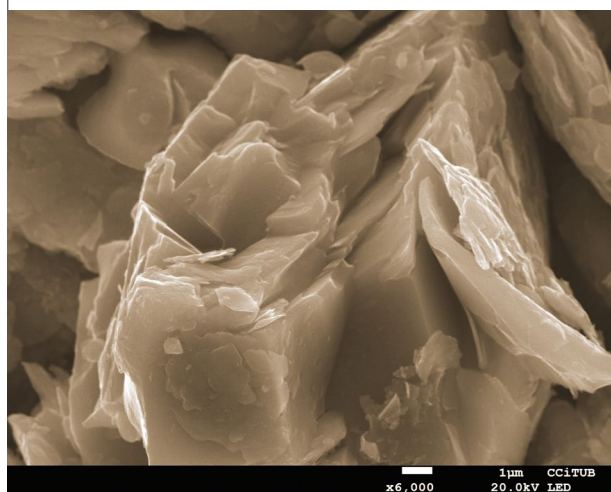
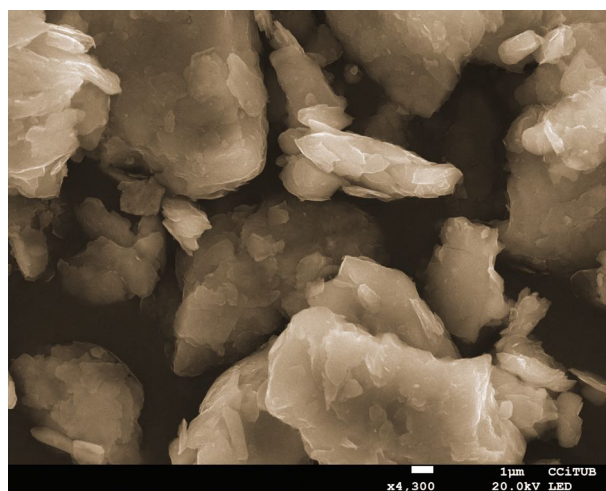
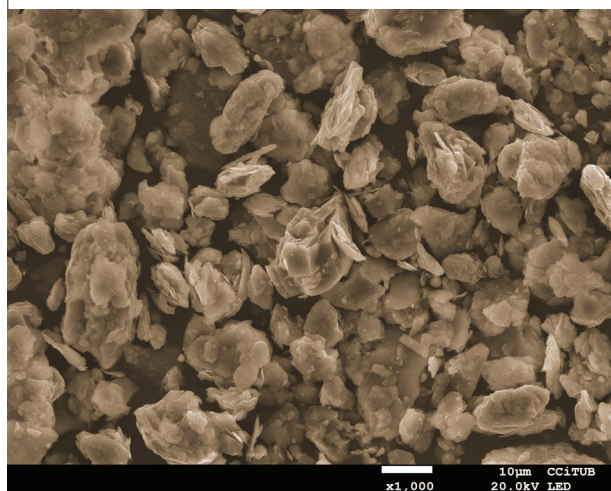
— C - Average, martes, 03 de julio de 2018 11:11:29

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.65	7.096	3.88	50.238	1.41	355.656	0.01
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.66	7.962	4.03	56.368	1.29	399.052	0.01
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.69	8.934	4.13	63.246	1.18	447.744	0.02
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.69	10.024	4.19	70.963	1.08	502.377	0.02
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.78	11.247	4.18	79.621	0.98	563.677	0.02
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.91	12.619	4.11	89.337	0.87	632.456	0.02
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.08	14.159	4.11	100.237	0.76	709.627	0.02
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.29	15.887	3.97	112.468	0.68	796.214	0.02
0.050	0.00	0.366	0.00	2.518	1.52	17.825	3.78	126.191	0.64	893.367	0.02
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.76	20.000	3.54	141.589	0.52	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.02	22.440	3.27	158.866	0.40	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.02	3.557	2.28	25.179	2.97	178.250	0.30	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.24	3.991	2.54	28.251	2.68	200.000	0.20	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.40	4.477	2.79	31.698	2.40	224.404	0.14	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.52	5.024	3.04	35.566	2.14	251.785	0.06	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.61	5.637	3.27	39.905	1.91	282.508	0.03	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.64	6.325	3.50	44.774	1.71	316.979	0.01		
0.142	0.00	1.002	0.65	7.096	3.70	50.238	1.55	355.656	0.01		

Operator notes:

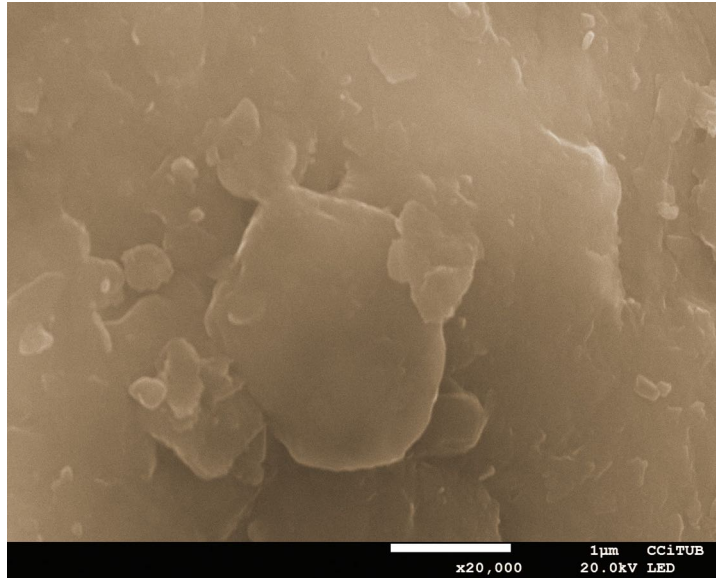
Anexo 6.6.3.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo C

Imágenes SEM

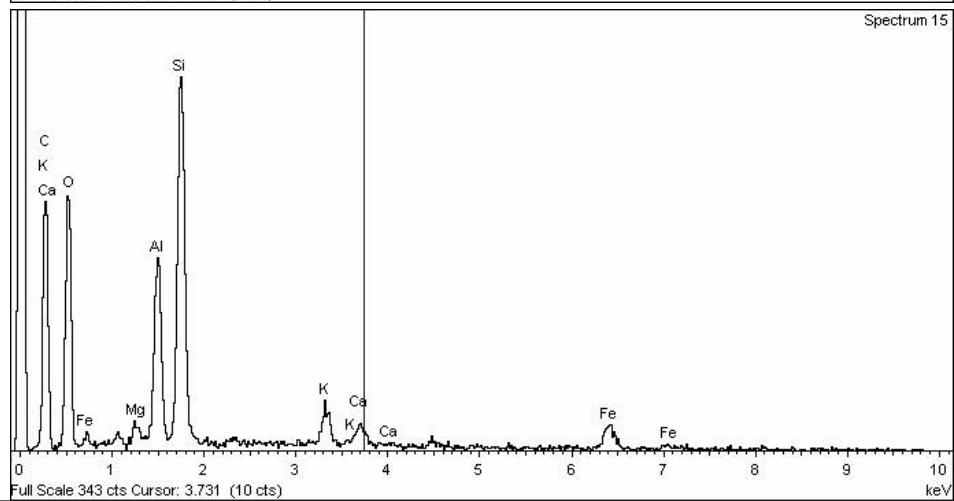
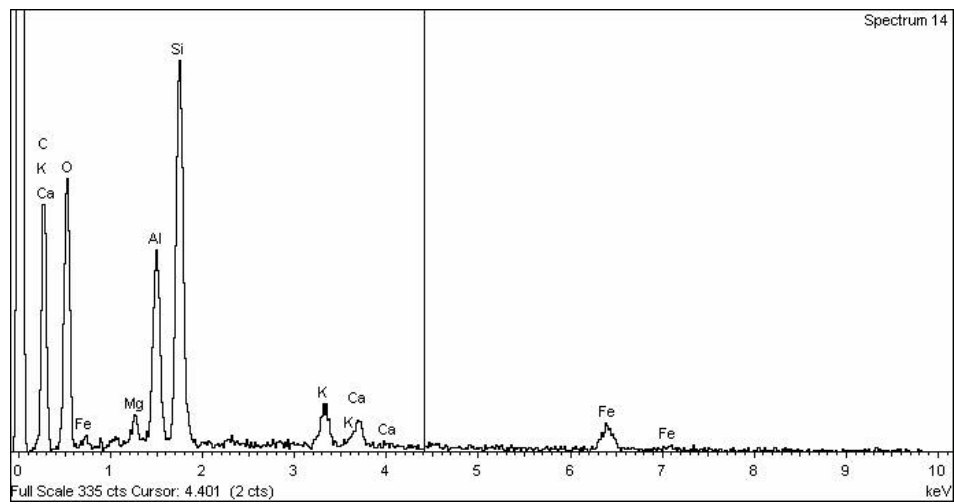


Anexo 6.6.3.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo C

Imágenes SEM



Espectros (SEM)



Anexo 6.6.4.1- Determinación del límite líquido y determinación del límite plástico de arcilla Tipo D

Datos recolectados para la determinación del límite líquido y determinación del límite plástico

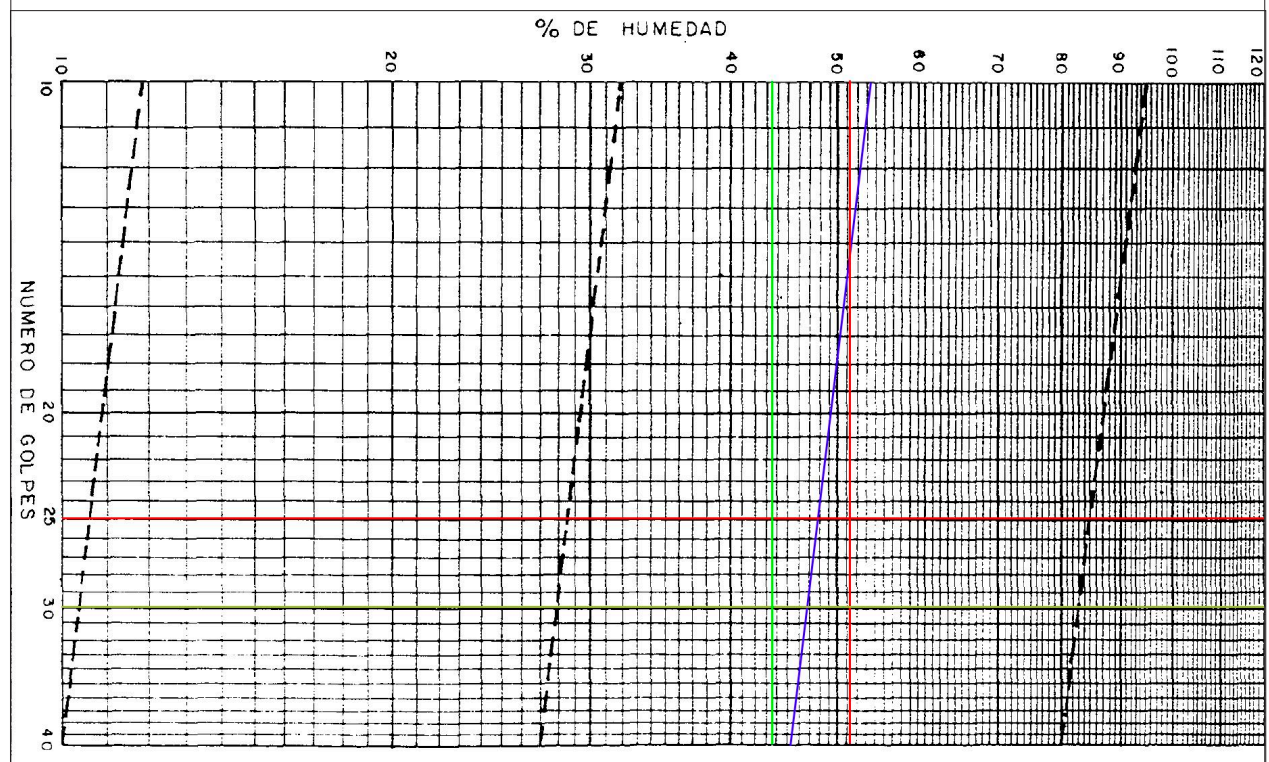
Determinación del límite líquido Arcilla D

Muestra	D1	D2
Numero de golpes	25,00	30,00
Tara cuenco	29,40	75,80
Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	35,60	81,40
Tara + muestra seca (gr)	33,50	79,70
Agua	2,10	1,70
Suelo	4,10	3,90
% de Humedad	51,22	43,59
Límite líquido	D	47,9
Límite plástico	D	35,3
Índice de plasticidad	D	12,6

Determinación del límite plástico Arcilla D

Muestra	D1	D2
Tara cuenco	29,40	75,80
Tara cuenco + muestra + H2O (gr)	38,90	84,70
Tara + muestra seca (gr)	36,40	82,40
Agua	2,50	2,30
Suelo	7,00	6,60
% de Humedad	35,71	34,85
Límite plástico	D	35,3

Gráfico del Límite Líquido - Arcilla D



argilescolades s.a.
Pastes per la ceràmica

Muestra	PEN CAOLIN A	COMPOSICION expresado en %)	QUÍMICA	(Análisis	Elemental,
Na ₂ O	0,000				
MgO	0,000				
Al ₂ O ₃	30,900				
SiO ₂	52,300				
P ₂ O ₅	0,000				
SO ₃	0,000				
K ₂ O	3.390				
CaO	0,100				
TiO ₂	0,000				
Cr ₂ O ₃					
MnO	0,000				
Fe ₂ O ₃	1,540				
PPC	8,400				

Granulometría.

Inferior a 10micras 88,5%
Inferior a 2micras 45,8%

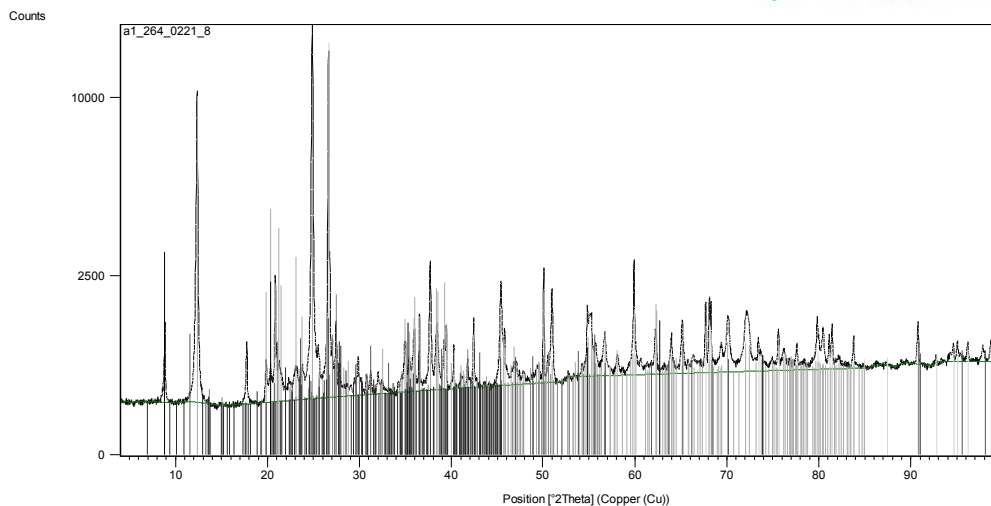
Características físicas

Blancura >80%
PH 6.5 – 7
Pérdida al fuego 10,30% +/-1
Humedad <1%
Densidad 2,61 g/cm³
Plasticidad
- Límite líquido 55,5%
- Límite plástico 29,0%
- Índice de plasticidad 26,5%

Anexo 6.6.4.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) de arcilla Tipo D

Analisis DRX FRACCION TOTAL

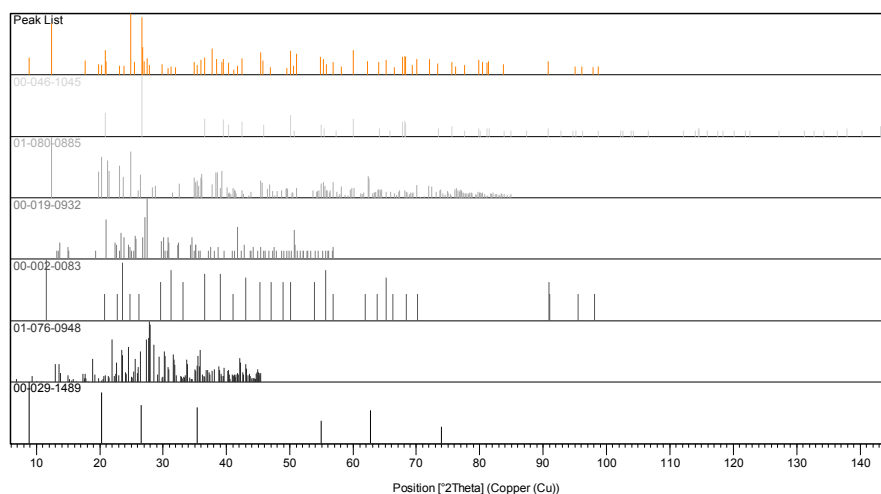
Gráfico - Arcilla D:



Identified Patterns List:

Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
00-046-1045	Quartz, syn	0,893	Si O ₂
01-080-0885	Kaolinite	0,676	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
00-019-0932	Microcline, intermediate	0,120	K Al Si ₃ O ₈
00-002-0083	Calcium Aluminum Oxide Hydrate	0,064	Ca ₃ Al ₂ O ₆ x H ₂ O
01-076-0948	Anorthite	0,051	Ca (Al ₂ Si ₂ O ₈)
00-029-1489	hydrated halloysite	0,208	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄ !2 H ₂ O

Plot of Identified Phases:

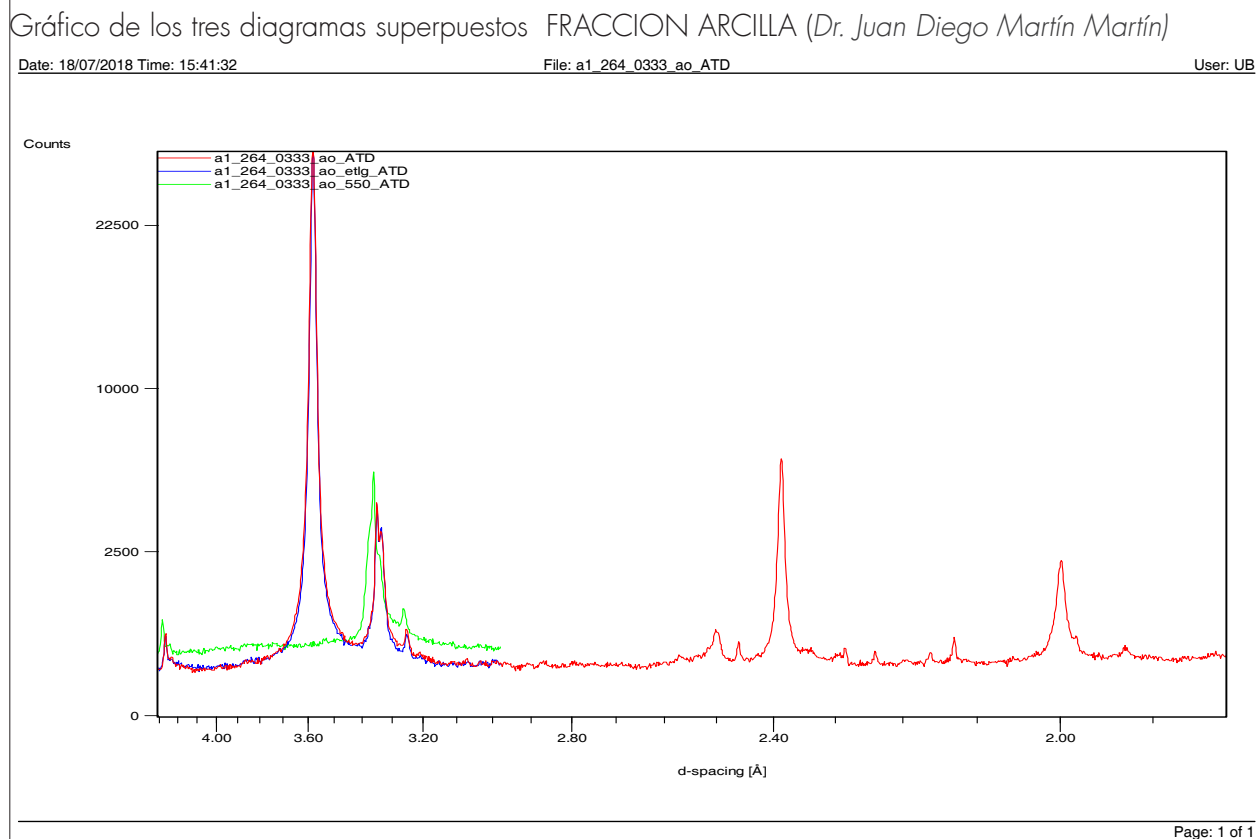
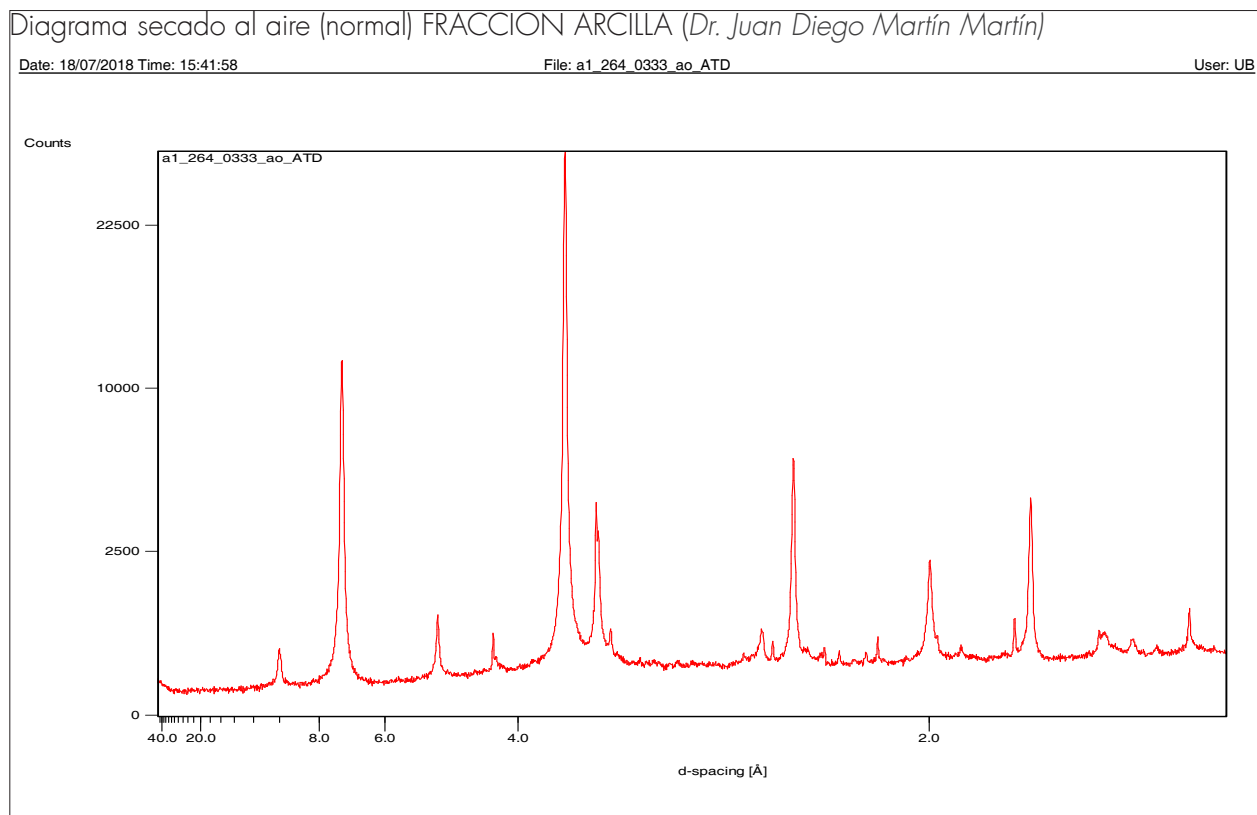


Anexo 6.6.4.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) ARCILLA D

Análisis DRX - LISTA DE PICOS- FRACCION TOTAL

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
8.8577	1173.38	0.1224	9.97526	8.22	0.1469	00-029-1489
12.3621	10120.68	0.1632	7.15420	70.86	0.1958	01-080-8885
17.7561	811.42	0.1020	4.99117	5.68	0.1224	01-076-0948
19.8562	485.75	0.1020	4.46778	3.40	0.1224	01-080-8885; 01-076-0948
20.3381	428.10	0.1632	4.36299	3.00	0.1958	01-080-8885; 01-076-0948; 00-029-1489
20.8436	2335.06	0.0612	4.25831	16.35	0.0734	00-046-1045; 00-002-0083; 01-076-0948
21.0037	757.81	0.1020	4.22620	5.31	0.1224	00-046-1045; 00-019-0932; 01-076-0948
23.1116	347.19	0.3264	3.84531	2.43	0.3917	01-080-8885; 00-019-0932; 01-076-0948
23.8204	361.39	0.3264	3.73246	2.53	0.3917	01-080-8885; 00-019-0932
24.8781	14282.30	0.1836	3.57611	100.00	0.2203	01-080-8885; 00-019-0932; 00-002-0083; 01-076-0948
25.5114	682.45	0.1632	3.48877	4.78	0.1958	00-019-0932; 01-076-0948
26.6239	12666.69	0.1020	3.34545	88.69	0.1224	00-046-1045; 00-019-0932; 00-029-1489
26.7711	2932.61	0.0816	3.32739	20.53	0.0979	00-046-1045; 00-019-0932; 00-029-1489
27.0444	729.03	0.1224	3.29439	5.10	0.1469	00-019-0932
27.4583	1139.47	0.1428	3.24565	7.98	0.1714	00-019-0932; 01-076-0948
27.8261	386.50	0.1632	3.20359	2.71	0.1958	01-076-0948
29.8589	480.06	0.1428	2.98995	3.36	0.1714	00-019-0932; 01-076-0948
30.7567	200.63	0.2040	2.90468	1.40	0.2448	00-019-0932; 01-076-0948
31.2104	272.23	0.1632	2.86349	1.91	0.1958	00-002-0083
31.9981	240.71	0.1632	2.79478	1.69	0.1958	01-076-0948
34.8913	682.90	0.1224	2.56937	4.78	0.1469	01-080-8885; 00-019-0932; 01-076-0948
35.4048	420.71	0.1632	2.53327	2.95	0.1958	01-080-8885; 00-019-0932; 01-076-0948; 00-029-1489
35.9401	874.05	0.1428	2.49676	6.12	0.1714	01-080-8885; 00-019-0932; 01-076-0948
36.5234	1231.64	0.1020	2.45821	8.62	0.1224	00-046-1045; 00-002-0083; 01-076-0948
37.6968	2634.14	0.1632	2.38434	18.44	0.1958	01-080-8885; 01-076-0948
38.4026	1012.69	0.2856	2.34213	7.09	0.3427	01-080-8885
39.2264	682.07	0.1632	2.29482	4.78	0.1958	01-080-8885; 01-076-0948
39.4447	984.05	0.0816	2.28262	6.89	0.0979	00-046-1045; 01-080-8885; 00-019-0932; 01-076-0948
40.2656	610.04	0.0816	2.23796	4.27	0.0979	00-046-1045; 01-080-8885; 01-076-0948
41.1598	128.20	0.3264	2.19138	0.90	0.3917	01-080-8885; 00-019-0932; 00-002-0083; 01-076-0948
41.7691	371.85	0.0816	2.16081	2.60	0.0979	01-080-8885; 00-019-0932; 01-076-0948
42.4226	1107.43	0.0816	2.12902	7.75	0.0979	00-046-1045; 01-080-8885; 00-019-0932; 01-076-0948
45.3503	1945.48	0.1428	1.99815	13.62	0.1714	01-080-8885; 00-019-0932; 00-002-0083; 01-076-0948
45.7690	865.73	0.1020	1.98084	6.06	0.1224	00-046-1045; 01-080-8885; 00-019-0932
46.9060	240.09	0.6528	1.93544	1.68	0.7834	01-080-8885; 00-002-0083
49.4532	213.42	0.3264	1.84155	1.49	0.3917	01-080-8885; 00-019-0932
50.1130	2312.82	0.1020	1.81884	16.19	0.1224	00-046-1045; 01-080-8885; 00-019-0932; 00-002-0083
50.5314	369.77	0.1632	1.80476	2.59	0.1958	00-046-1045; 01-080-8885; 00-019-0932
51.0027	1777.22	0.1632	1.78918	12.44	0.1958	01-080-8885; 00-019-0932
54.8395	1271.24	0.1020	1.67272	8.90	0.1224	00-046-1045; 01-080-8885; 00-029-1489
55.2836	1045.86	0.3264	1.66033	7.32	0.3917	00-046-1045; 01-080-8885; 00-019-0932
55.7529	485.00	0.1632	1.64746	3.40	0.1958	01-080-8885; 00-019-0932; 00-002-0083
56.7561	671.33	0.2856	1.62070	4.70	0.3427	01-080-8885; 00-019-0932; 00-002-0083
58.1361	283.99	0.2856	1.58547	1.99	0.3427	01-080-8885
59.9269	2461.62	0.1020	1.54230	17.24	0.1224	00-046-1045; 01-080-8885
62.2458	710.23	0.2448	1.49030	4.97	0.2938	01-080-8885
64.0087	643.35	0.1428	1.45344	4.50	0.1714	00-046-1045; 01-080-8885
65.1529	915.90	0.1632	1.43065	6.41	0.1958	01-080-8885; 00-002-0083
66.3888	228.90	0.4896	1.40699	1.60	0.5875	01-080-8885; 00-002-0083
67.7012	1299.48	0.1224	1.38287	9.10	0.1469	00-046-1045
68.1038	1423.08	0.1020	1.37567	9.96	0.1224	00-046-1045; 01-080-8885
68.2809	1310.90	0.0816	1.37254	9.18	0.0979	00-046-1045; 01-080-8885; 00-002-0083
69.3683	421.28	0.2448	1.35365	2.95	0.2938	01-080-8885
70.1139	967.93	0.2856	1.34107	6.78	0.3427	01-080-8885; 00-002-0083
72.0960	1001.93	0.3672	1.30900	7.02	0.4406	01-080-8885
73.4138	499.63	0.1224	1.28872	3.50	0.1469	00-046-1045; 01-080-8885
75.6191	689.25	0.1224	1.25653	4.83	0.1469	00-046-1045; 01-080-8885
76.1986	301.57	0.4080	1.24841	2.11	0.4896	01-080-8885
77.6124	404.25	0.1224	1.22916	2.83	0.1469	00-046-1045; 01-080-8885
79.8254	940.34	0.1020	1.20055	6.58	0.1224	00-046-1045; 01-080-8885
80.4805	654.42	0.2040	1.19242	4.58	0.2448	01-080-8885
81.1289	567.88	0.1020	1.18452	3.98	0.1224	00-046-1045; 01-080-8885
81.4394	758.05	0.1224	1.18079	5.31	0.1469	00-046-1045; 01-080-8885
83.7855	495.50	0.1224	1.15359	3.47	0.1469	00-046-1045; 01-080-8885
90.7767	730.10	0.1020	1.08206	5.11	0.1224	00-046-1045; 00-002-0083
95.0453	275.87	0.2448	1.04441	1.93	0.2938	00-046-1045
96.1698	311.26	0.1224	1.03516	2.18	0.1469	00-046-1045
97.8299	244.26	0.2448	1.02198	1.71	0.2938	00-002-0083
98.6778	311.51	0.1632	1.01545	2.18	0.1958	00-046-1045

Anexo 6.6.4.3 Análisis por difracción de rayos X (DRX) ARCILLA D



Analisis DRX - Interpretación - FRACCION ARCILLA (Dr. Juan Diego Martín Martín)

MOEIRA 0333 ~~SD~~

Quartz (Q) : 3,34 Å - 4,26 Å

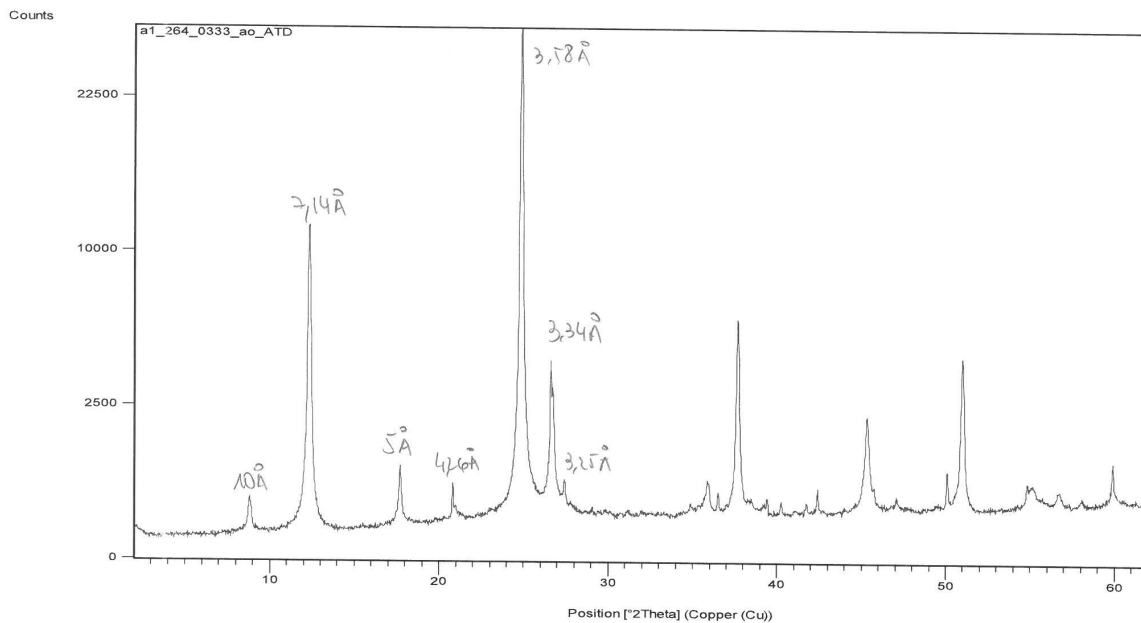
Feldspato potásico (Fk) 3,25 Å

Illita (τ) 10 - 5 Å

Caolinita (κ) 7,15 - 3,58 Å

Caolinita \gg illita

Q	Fk	Clg	κ	illita
***	*	***	***	x



Anexo 6.6.4.6 Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo D

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra T



MASTERSIZER



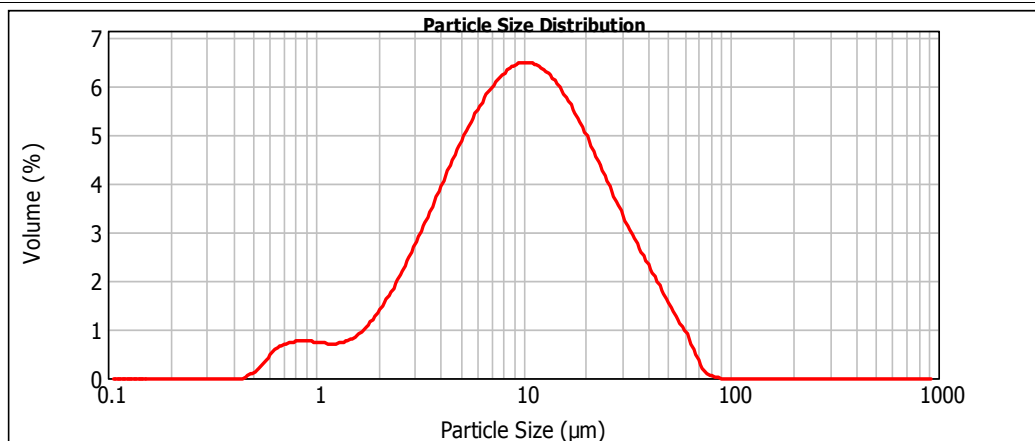
Result Analysis Report

Sample Name: D - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 12:24:29
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 12:24:30
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 13.50 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.840 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0107 %Vol	Span : 2.877	Uniformity: 0.884	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.09 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.504 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 13.732 um	

d(0.1): 2.684 um d(0.5): 9.745 um d(0.9): 30.722 um



D - Average, jueves, 12 de julio de 2018 12:24:29

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.55	7.096	4.61	50.238	1.01	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.53	7.962	4.77	56.368	0.74	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.55	8.934	4.87	63.246	0.42	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.61	10.024	4.89	70.963	0.08	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.73	11.247	4.84	79.621	0.01	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.90	12.619	4.71	89.337	0.00	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.13	14.159	4.51	100.237	0.00	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.40	15.887	4.25	112.468	0.00	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.71	17.825	3.95	126.191	0.00	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.04	20.000	3.61	141.589	0.00	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.03	3.170	2.40	22.440	3.25	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.15	3.557	2.77	25.179	2.90	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.34	3.991	3.13	28.251	2.55	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.49	4.477	3.48	31.698	2.22	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.55	5.024	3.82	35.566	1.91	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.58	5.637	4.12	39.905	1.62	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.57	6.325	4.39	44.774	1.32	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.57	7.096	4.39	50.238	1.32	355.656	0.00		

Operator notes: con desfloculante

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 2



MASTERSIZER



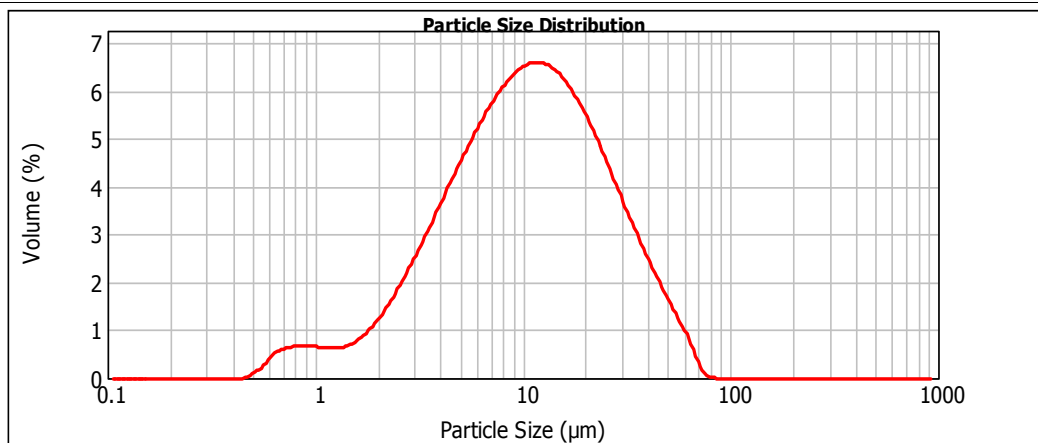
Result Analysis Report

Sample Name: D - Average	SOP Name:	Measured: jueves, 12 de julio de 2018 12:18:52
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: jueves, 12 de julio de 2018 12:18:53
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 12.90 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.793 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0109 %Vol	Span : 2.731	Uniformity: 0.841	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.02 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.887 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 14.358 um	

d(0.1): 2.888 um d(0.5): 10.506 um d(0.9): 31.582 um



— D - Average, jueves, 12 de julio de 2018 12:18:52

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.48	7.096	4.44	50.238	1.06	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.47	7.962	4.66	56.368	0.76	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.47	8.934	4.66	63.246	0.76	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.48	10.024	4.83	70.963	0.42	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.54	11.247	4.93	79.621	0.05	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.65	12.619	4.96	89.337	0.00	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.81	14.159	4.91	100.237	0.00	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.02	15.887	4.78	112.468	0.00	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.28	17.825	4.58	126.191	0.00	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.56	20.000	4.30	141.589	0.00	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.87	22.440	3.98	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.02	3.557	2.20	25.179	3.61	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.12	3.991	2.55	28.251	3.22	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.30	4.477	2.89	31.698	2.82	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.43	5.024	3.24	35.566	2.44	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.49	5.637	3.57	39.905	2.07	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.52	6.325	3.89	44.774	1.72	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.51	7.096	4.18	50.238	1.40	355.656	0.00		

Operator notes: *sin desfloculante*

Anexo 6.6.4.6 Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL) de arcilla Tipo D

Reporte original de resultados del análisis ADL Muestra 3



MASTERSIZER



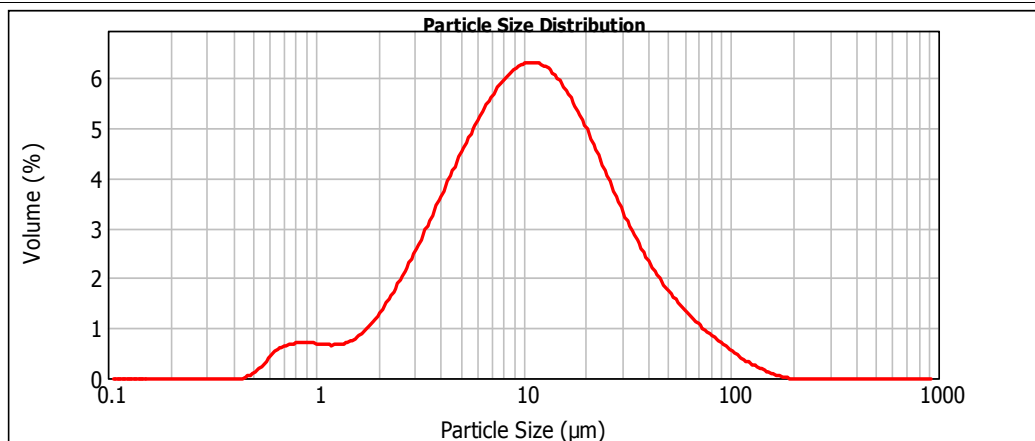
Result Analysis Report

Sample Name: D_2 - Average	SOP Name:	Measured: martes, 03 de julio de 2018 11:22:57
Sample Source & type:	Measured by: MASTERSIZER 2000	Analysed: martes, 03 de julio de 2018 11:22:58
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Kaolinite high	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.570	Absorption: 0.1	Size range: 0.100 to 1000.000 um	Obscuration: 13.23 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.774 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0111 %Vol	Span : 3.262	Uniformity: 1.06	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.03 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.847 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 16.695 um	

d(0.1): 2.821 um d(0.5): 10.547 um d(0.9): 37.226 um



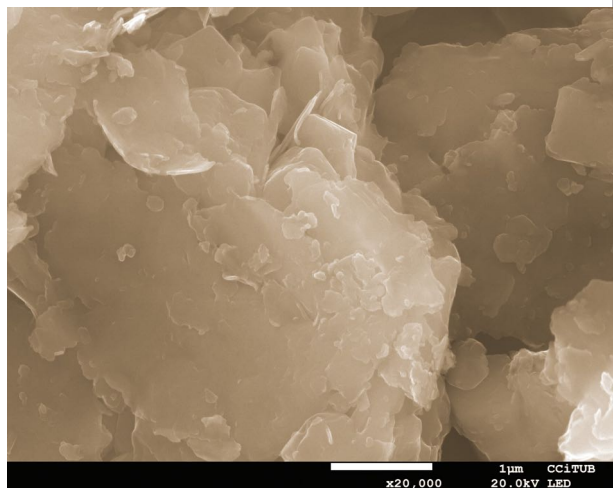
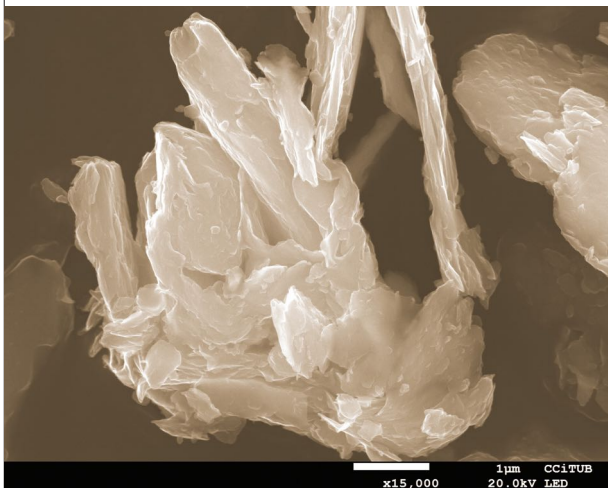
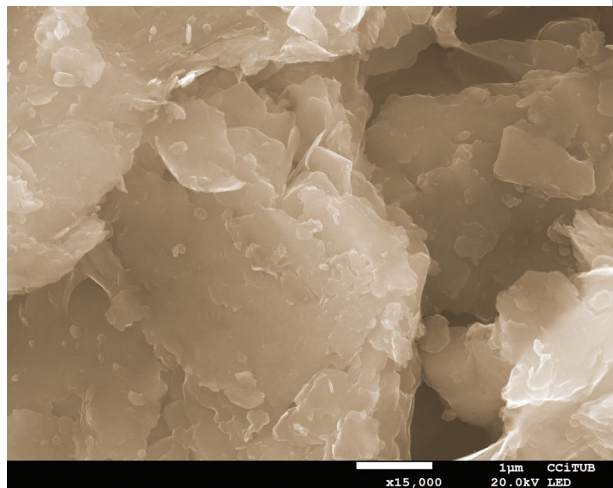
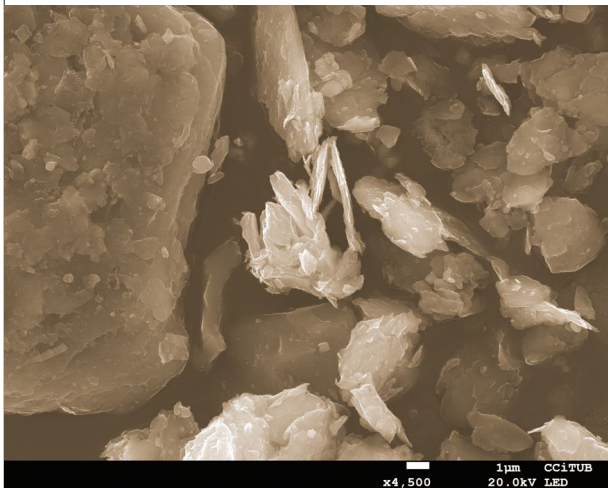
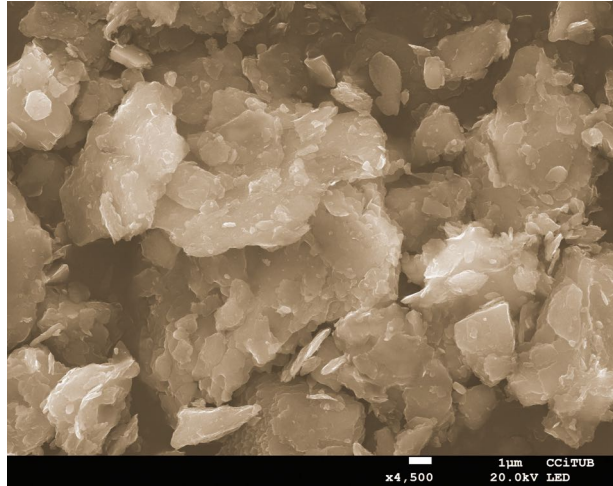
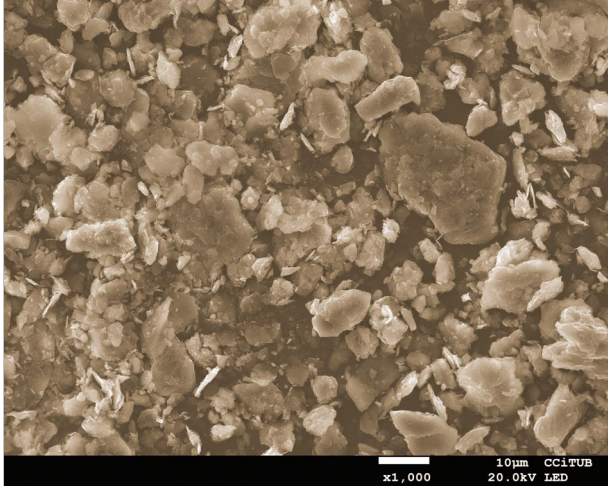
D_2 - Average, martes, 03 de julio de 2018 11:22:57

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.51	7.096	4.37	50.238	1.21	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.50	7.962	4.56	56.368	1.03	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.51	8.934	4.69	63.246	0.87	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.57	10.024	4.75	70.963	0.73	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.68	11.247	4.74	79.621	0.59	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.84	12.619	4.64	89.337	0.47	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.05	14.159	4.48	100.237	0.36	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.30	15.887	4.24	112.468	0.25	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.58	17.825	3.94	126.191	0.17	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.88	20.000	3.61	141.589	0.09	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.03	3.170	2.21	22.440	3.25	158.866	0.04	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.13	3.557	2.55	25.179	2.89	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.31	3.991	2.88	28.251	2.54	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.45	4.477	3.22	31.698	2.21	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.51	5.024	3.55	35.566	1.92	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.54	5.637	3.85	39.905	1.65	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.54	6.325	4.13	44.774	1.42	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.53	7.096	4.37	50.238	1.42	355.656	0.00		

Operator notes:

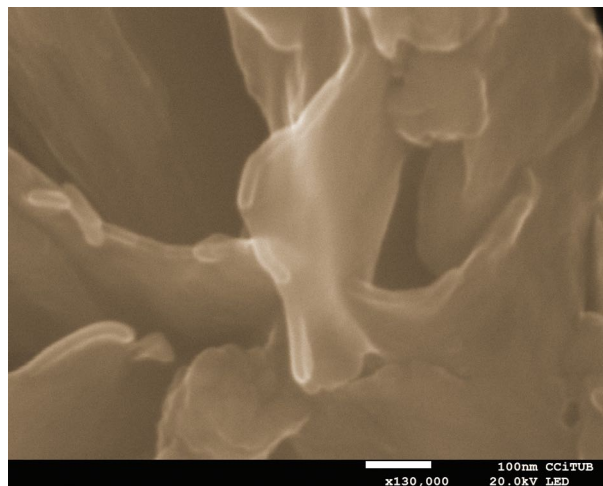
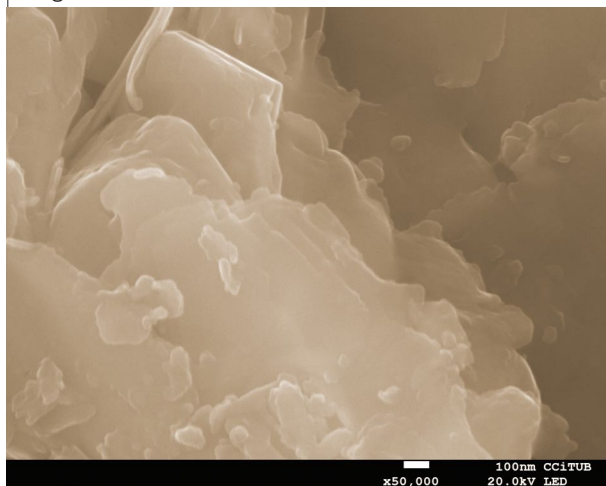
Anexo 6.6.4.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo D

Imágenes SEM

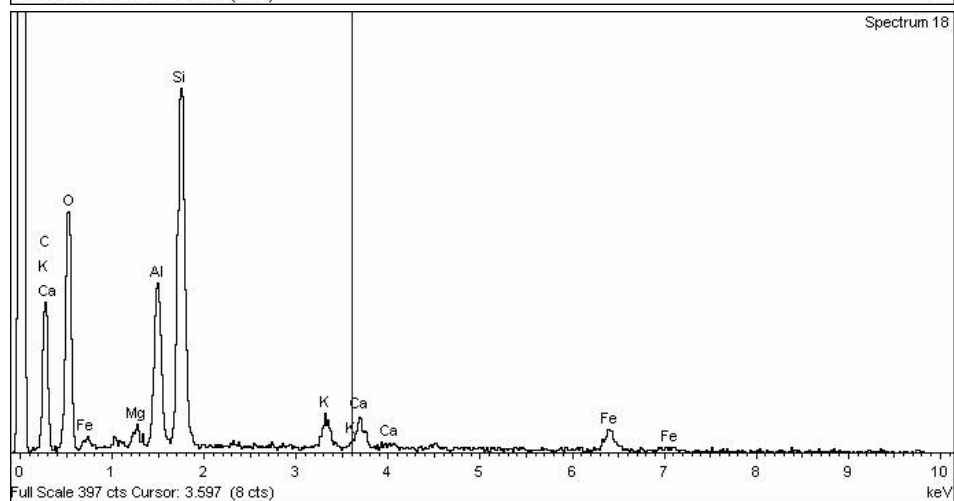
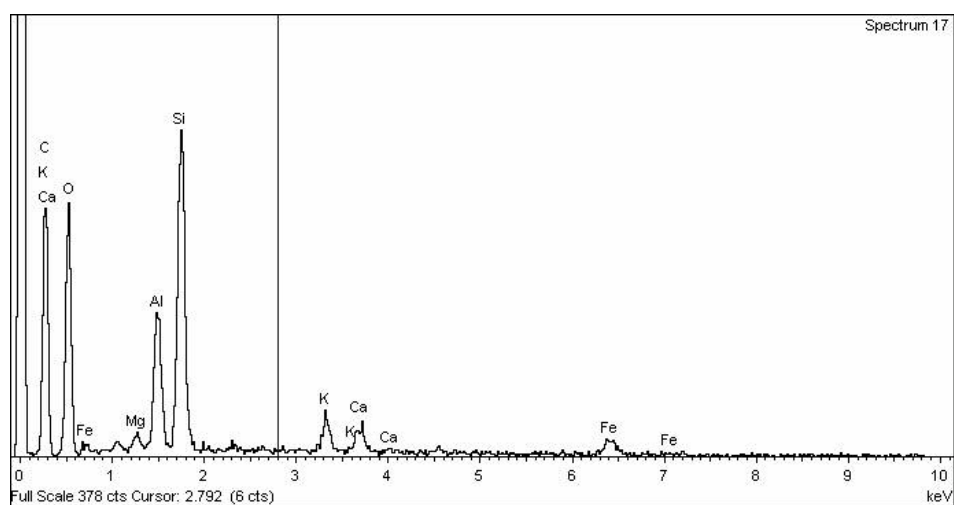


Anexo 6.6.4.7 Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) de arcilla Tipo D

mágenes SEM



Espectros (SEM)



Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-A

Campaña - ENSAYO Geo A																									
Código	Código de Mezcla Ref.	Aridos						Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.	
		Arcilla Tipo A		Arena silicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		fc		
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo					
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	MPa	
Geo A-01	GEO01	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	29,3	3,9	78,1	10,4	78,1	5,2	300seg.	80	2	20	28	3,9	
Geo A-02	GEO02	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	33,0	4,4	88,0	11,7	88,0	5,9	300seg.	80	2	20	28	3,3	
Geo A-03	GEO03	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	29,3	3,9	112,9	15,0	112,9	7,5	300seg.	80	2	20	28	5,1	
Geo A-04	GEO04	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	33,0	4,4	127,3	17,0	127,3	8,5	300seg.	80	2	20	28	3,8	
Geo A-05	GEO05	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	58,5	7,8	107,3	14,3	107,3	7,2	300seg.	80	2	20	28	3,6	
Geo A-06	GEO06	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	66,0	8,8	121,0	16,1	121,0	8,1	300seg.	80	2	20	28	2,9	
Geo A-07	GEO07	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	58,5	7,8	142,1	18,9	142,1	9,5	300seg.	80	2	20	28	7,8	
Geo A-08	GEO08	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	66,0	8,8	160,3	21,4	160,3	10,7	300seg.	80	2	20	28	6,2	
Geo A-09	GEO09	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	29,3	3,9	78,1	10,4	78,1	5,2	300seg.	120	2	20	28	7,5	
Geo A-10	GEO10	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	33,0	4,4	88,0	11,7	88,0	5,9	300seg.	120	2	20	28	7,4	
Geo A-11	GEO11	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	29,3	3,9	112,9	15,0	112,9	7,5	300seg.	120	2	20	28	7,4	
Geo A-12	GEO12	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	33,0	4,4	127,3	17,0	127,3	8,5	300seg.	120	2	20	28	6,5	
Geo A-13	GEO13	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	58,5	7,8	107,3	14,3	107,3	7,2	300seg.	120	2	20	28	4,2	
Geo A-14	GEO14	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	66,0	8,8	121,0	16,1	121,0	8,1	300seg.	120	2	20	28	2,9	
Geo A-15	GEO15	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	58,5	7,8	142,1	18,9	142,1	9,5	300seg.	120	2	20	28	6,1	
Geo A-16	GEO16	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	66,0	8,8	160,3	21,4	160,3	10,7	300seg.	120	2	20	28	4,6	
Geo A-17	GEO17	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	29,3	3,9	78,1	10,4	78,1	5,2	300seg.	80	4	20	28	4,8	
Geo A-18	GEO18	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	33,0	4,4	88,0	11,7	88,0	5,9	300seg.	80	4	20	28	3,8	
Geo A-19	GEO19	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	29,3	3,9	112,9	15,0	112,9	7,5	300seg.	80	4	20	28	5,5	
Geo A-20	GEO20	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	33,0	4,4	127,3	17,0	127,3	8,5	300seg.	80	4	20	28	4,5	
Geo A-21	GEO21	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	58,5	7,8	107,3	14,3	107,3	7,2	300seg.	80	4	20	28	3,7	
Geo A-22	GEO22	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	66,0	8,8	121,0	16,1	121,0	8,1	300seg.	80	4	20	28	3,6	
Geo A-23	GEO23	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	58,5	7,8	142,1	18,9	142,1	9,5	300seg.	80	4	20	28	7,0	
Geo A-24	GEO24	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	66,0	8,8	160,3	21,4	160,3	10,7	300seg.	80	4	20	28	6,8	
Geo A-25	GEO25	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	29,3	3,9	78,1	10,4	78,1	5,2	300seg.	120	4	20	28	8,4	
Geo A-26	GEO26	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	33,0	4,4	88,0	11,7	88,0	5,9	300seg.	120	4	20	28	10,4	
Geo A-27	GEO27	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	29,3	3,9	112,9	15,0	112,9	7,5	300seg.	120	4	20	28	8,5	
Geo A-28	GEO28	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	33,0	4,4	127,3	17,0	127,3	8,5	300seg.	120	4	20	28	5,9	
Geo A-29	GEO29	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	243,8	32,5	5	48,8	20,0	58,5	7,8	107,3	14,3	107,3	7,2	300seg.	120	4	20	28	11,8	
Geo A-30	GEO30	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	275,0	36,7	5	55,0	20,0	66,0	8,8	121,0	16,1	121,0	8,1	300seg.	120	4	20	28	6,4	
Geo A-31	GEO31	750,0	100	750,0	100,0	39,0	292,5	208,9	27,9	10	83,6	40,0	58,5	7,8	142,1	18,9	142,1	9,5	300seg.	120	4	20	28	5,5	
Geo A-32	GEO32	750,0	100	750,0	100,0	44,0	330,0	235,7	31,4	10	94,3	40,0	66,0	8,8	160,3	21,4	160,3	10,7	300seg.	120	4	20	28	8,2	

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo A							
Código	Aridos			Activadores alcalinos			
	Arcilla Tipo A micro 200µ	Arena 250µ	H2O+NaOH en relación a arcilla M5	H2O+NaOH en relación a arcilla M10	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco	Alcalino	Alcalino	H2O	NaOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
Geo A	24000,0	24000,0	4980,0	4980,0	7707,1	2252,9	1494,0

Observaciones - ENSAYO Geo A

Objetivo: analizar los factores que afectan a la resistencia a compresión, y de qué manera lo hacen.

Características: Intervienen las siguientes variables: % NaOH (mínimo 39% y máximo 44%), molaridad (mínimo 5M y máximo 10M), % Na₂SiO₃ (mínimo 10% y máximo 20%), temperatura (mínimo 80 y máximo 120), y tiempo de exposición a la temperatura (mínimo 2 horas y máximo 2 horas). Constantes: arcilla-arena, 20°C-28 días.

La plasticidad de las mezclas varía según la cantidad de agua que contienen. Las mezclas son más fáciles de manejar con las dosificaciones que contienen menor cantidad de activador alcalino, mientras que las muestras que tienen más contenido de activador alcalino son viscosas y se pegan a las manos.

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-B

Campaña - ENSAYO Geo B (1 parte)																								
Código	Código de Mezcla Ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C. <i>f_c</i> MPa		
		Arcilla Tipo A		Arena silicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla		Curado A			Curado B	
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo				
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas		°C	Días
GEO-B02	GEO-B02	750,0	100	750,0	100,0	35,8	268,2	223,5	29,8	5	44,7	20,0	0,0	0,0	268,2	35,8	44,7	2,9	300seg.	80	24	20	14	15,9
GEO-B05	GEO-B05	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,9	223,5	29,8	10	89,4	40,0	62,6	8,3	375,5	50,1	152,0	9,2	300seg.	80	24	20	14	17,3
GEO-B01	GEO-B01	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,9	223,5	29,8	10	89,4	40,0	0,0	0,0	312,9	41,7	89,4	5,6	300seg.	80	24	20	14	25,7
GEO-B06	GEO-B06	750,0	100	750,0	100,0	35,8	268,2	223,5	29,8	5	44,7	20,0	53,6	7,1	321,8	42,9	98,3	6,2	300seg.	80	24	20	14	20,2

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo B (1 parte)								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo A micro 200µ	Arena 250µ		H2O+NaOH en relación a arcilla M5	H2O+NaOH en relación a arcilla M10	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco		Alcalino	Alcalino	H2O	NaOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO B	3000,0	3000,0		536,4	625,8	894,0	268,2	116,2

Observaciones - ENSAYO Geo B
Objetivo: El objetivo de esta campaña es analizar factores que afectan a la resistencia a compresión, y de qué manera.
Características: Intervienen las siguientes variables: molaridad (mínimo 5M y máximo 10M), el porcentaje de activador alcalino (NaOH), el porcentaje de Na ₂ SiO ₃ (mínimo 0% y máximo 20%), el resto de factores serán constantes: arcilla-arena, 20°C-14 días.
Las mezclas son más fáciles de manejar con las dosificaciones que contienen menor cantidad de activador alcalino, las muestras con más activador alcalino son viscosas y se pegan a las manos.

Campaña - ENSAYO Geo B (2 parte)																								
Código	Código de Mezcla Ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C. <i>f_c</i> MPa		
		Arcilla Tipo A		Arena silicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla		Curado A			Curado B	
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo				
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas		°C	Días
GEO-B04	GEO-B04	750,0	100	750,0	100,0	38,1	286,1	223,5	29,8	5	62,6	28,0	0,0	0,0	286,1	38,1	62,6	4,0	300seg.	80	24	20	14	15,1
GEO-B07	GEO-B07	750,0	100	750,0	100,0	46,5	348,7	223,5	29,8	10	125,2	56,0	69,7	9,3	418,4	55,8	194,9	11,5	300seg.	80	24	20	14	18,1
GEO-B03	GEO-B03	750,0	100	750,0	100,0	46,5	348,7	223,5	29,8	10	125,2	56,0	0,0	0,0	348,7	46,5	125,2	7,7	300seg.	80	24	20	14	29,3
GEO-B08	GEO-B08	750,0	100	750,0	100,0	38,1	286,1	223,5	29,8	5	62,6	28,0	57,2	7,6	343,3	45,8	119,8	7,4	300seg.	80	24	20	14	12,4

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo B (2 parte)								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo A micro 200µ	Arena 250µ		H2O+NaOH en relación a arcilla M5	H2O+NaOH en relación a arcilla M10	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco		Alcalino	Alcalino	H2O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO B	3000,0	3000,0		572,2	697,3	894,0	375,5	126,9

Observaciones - ENSAYO Geo B
Objetivo: El objetivo de esta campaña es analizar factores que afectan a la resistencia a compresión, y de qué manera.
Características: Intervienen las siguientes variables: molaridad (mínimo 5M y máximo 10M), el porcentaje de activador alcalino (KOH), el porcentaje de Na ₂ SiO ₃ (mínimo 0% y máximo 20%), el resto de factores serán constantes: arcilla-arena, 20°C-14 días.
Las mezclas son más fáciles de manejar con las dosificaciones que contienen menor cantidad de activador alcalino, las muestras con más activador alcalino son viscosas y se pegan a las manos.

La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO₂/Al₂O₃ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-C

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C1																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO C1 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	125,2	16,7	125,2	7,7	300seg.	80	24	30	14	16,9
GEO C1 02	750,0	100	750,0	100,0	52,7	395,2	253,1	33,8	10	142,0	18,9	0,0	0,0	395,2	52,7	142,0	8,6	300seg.	80	24	30	14	12,7
GEO C1 03	750,0	100	750,0	100,0	58,9	442,0	283,1	37,8	10	158,9	21,2	0,0	0,0	158,9	21,2	158,9	9,6	300seg.	80	24	30	14	9,1
GEO C1 04	750,0	100	750,0	100,0	65,2	488,8	313,1	41,8	10	175,7	23,4	0,0	0,0	175,7	23,4	175,7	10,5	300seg.	80	24	30	14	7,2

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo C1							
Código	Aridos			Activadores alcalinos			
	Arcilla Tipo A micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Aditivo 2
	Argilescolades		Sibelco	Alcalino		H2O	KOH
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)
GEO C1	3000,0		3000,0	1674,4		1072,6	601,8

Observaciones - ENSAYO Geo C1	
Objetivo: comparar el comportamiento de probetas bajo acción de diferente porcentaje de activador alcalino (NaOH y KOH).	
Características: Variables: porcentaje de activador alcalino (NaOH + KOH). Constantes: arcilla-arena, KOH-M10, 80°C-24H y 14 días-30°C.	
Las mezclas 01-02 tienen plasticidad adecuada para su manejo. Las mezclas 03-04 son viscosas y difíciles de trabajar manualmente, se adhieren a las manos con facilidad.	

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C2																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO C2 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	194,9	26,0	194,9	11,5	300seg.	80	24	30	14	14,9
GEO C2 02	750,0	100	750,0	100,0	52,7	395,2	253,1	33,8	10	142,0	18,9	79,0	10,5	474,2	63,2	221,0	12,8	300seg.	80	24	30	14	9,6
GEO C2 03	750,0	100	750,0	100,0	58,9	442,0	283,1	37,8	10	158,9	21,2	88,4	11,8	247,3	33,0	247,3	14,2	300seg.	80	24	30	14	6,8
GEO C2 04	750,0	100	750,0	100,0	65,2	488,8	313,1	41,8	10	175,7	23,4	97,8	13,0	273,5	36,5	273,5	15,4	300seg.	80	24	30	14	5,4

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo C2							
Código	Aridos			Activadores alcalinos			
	Arcilla Tipo A micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Aditivo 2
	Argilescolades		Sibelco	Alcalino		H2O	KOH
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)
GEO C2	3000,0		3000,0	1674,4		1072,6	601,8

Observaciones - ENSAYO Geo C2	
Objetivo: comparar el comportamiento de probetas bajo acción de diferente porcentaje de activador alcalino (NaOH y KOH) con adición constante de silicato de sodio.	
Características: Variables: porcentaje de activador alcalino (NaOH + KOH). Constantes: arcilla-arena, KOH-M10, Na ₂ SiO ₃ , 80°C-24H y 14 días-30°C.	
Mezcla 01 plasticidad adecuada para trabajar con la mano. Mezcla 02 más viscosa, difícil de trabajar con la mano. Mezcla 03 más líquida, viscosa y difícil de trabajar. 04 más líquida, puede ser vertida con facilidad.	

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-C

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C3																								
Código	Aridos				Activadores alcalinos												Mezclado		Curado				R.C.	
	Arcilla Tipo A		Arena silicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>		
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa		
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días		
GEO C3 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	125,2	16,7	125,2	7,7	300seg.	80	0	30	14	3,6	
GEO C3 02	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	125,2	16,7	125,2	7,7	300seg.	80	7	30	14	10,7	
GEO C3 03	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	125,2	16,7	125,2	7,7	300seg.	80	14	30	14	18,8	
GEO C3 04	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	125,2	16,7	125,2	7,7	300seg.	80	24	30	14	20,5	

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo C3								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo A micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilecolades		Sibelco	Alcalino		H2O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO C3	3000,0		3000,0	1393,4		892,6	500,8	0,0

Observaciones - ENSAYO Geo C3
Objetivo: comparar el comportamiento de probetas bajo acción de diferente tiempo de exposición a 80°C.
Características: Variables: Tiempo de exposición de probetas a 80°C. Constantes: arcilla-arena, KOH-M10, 80°C y 14 días-30°C.
La mezcla es plástica, algo viscosa, a pesar de que se pega a los dedos, es maleable.

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C4																								
Código	Aridos				Activadores alcalinos												Mezclado		Curado				R.C.	
	Arcilla Tipo A		Arena silicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>		
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa		
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días		
GEO C4 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	194,9	26,0	194,9	11,5	300seg.	80	0	30	14	4,5	
GEO C4 03	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	194,9	26,0	194,9	11,5	300seg.	80	7	30	14	9,4	
GEO C4 04	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	194,9	26,0	194,9	11,5	300seg.	80	14	30	14	15,7	
GEO C4 05	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	194,9	26,0	194,9	11,5	300seg.	80	24	30	14	16,5	

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo C4								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo A micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilecolades		Sibelco	Alcalino		H2O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO C4	3000,0		3000,0	1393,4		892,6	500,8	278,8

Observaciones - ENSAYO Geo C4
Objetivo: comparar el comportamiento de probetas bajo acción de diferente tiempo de exposición a 80°C con la adición de silicato de sodio.
Características: Variables: Tiempo de exposición de probetas a 80°C. Constantes: arcilla-arena, KOH-M10, Na ₂ SiO ₃ , 80°C y 14 días-30°C.
La mezcla es plástica, algo viscosa, a pesar de que se pega a los dedos, es maleable.

La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO₂/Al₂O₃ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-C

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C5																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C		Días
GEO C5 01	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	223,1	29,8	8	100,2	13,4	0,0	0,0	100,2	13,4	100,2	6,3	300seg.	80	24	30	14	14,7
GEO C5 02	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	207,1	27,6	10	116,2	15,5	0,0	0,0	116,2	15,5	116,2	7,2	300seg.	80	24	30	14	17,4
GEO C5 03	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	193,2	25,8	12	130,1	17,3	0,0	0,0	130,1	17,3	130,1	8,0	300seg.	80	24	30	14	18,0
GEO C5 04	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	181,1	24,1	14	142,2	19,0	0,0	0,0	142,2	19,0	142,2	8,7	300seg.	80	24	30	14	19,3

Total de materiales utilizados en campaña- ENSAYO Geo C5						
Código	Aridos			Activadores alcalinos		
	Arcilla Tipo A micro 200µ	Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco	Alcalino	H2O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO C5	3000,0	3000,0	1293,1	804,5	488,6	0,0

Observaciones - ENSAYO Geo C5	
Objetivo: comparar el comportamiento de probetas bajo acción de diferente molaridad de KOH (concentración).	
Características: Variables: Molaridad de KOH. Constantes: arcilla-arena, porcentaje de activador alcalino (KOH+H2O), 80°C y 14 días-30°C.	
Las mezclas son poco plásticas, algo secas, algo difíciles de compactar manualmente.	

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C6																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C		Días
GEO C6 01	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	223,1	29,8	8	100,2	13,4	64,7	8,6	164,9	22,0	164,9	9,9	300seg.	80	24	30	14	10,5
GEO C6 02	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	207,1	27,6	10	116,2	15,5	64,7	8,6	180,9	24,1	180,9	10,8	300seg.	80	24	30	14	11,8
GEO C6 03	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	193,2	25,8	12	130,1	17,3	64,7	8,6	194,8	26,0	194,8	11,5	300seg.	80	24	30	14	14,7
GEO C6 04	750,0	100	750,0	100,0	43,1	323,3	181,1	24,1	14	142,2	19,0	64,7	8,6	206,9	27,6	206,9	12,1	300seg.	80	24	30	14	15,7

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo C6						
Código	Aridos			Activadores alcalinos		
	Arcilla Tipo A micro 200µ	Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco	Alcalino	H2O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO C6	3000,0	3000,0	1293,1	804,5	488,6	258,8

Observaciones - ENSAYO Geo C6	
Objetivo: comparar el comportamiento de probetas bajo acción de diferente molaridad de KOH (concentración), con adición de silicato de sodio.	
Características: Variables: Molaridad de KOH. Constantes: arcilla-arena, porcentaje de activador alcalino (KOH+H2O), Na ₂ SiO ₃ , 80°C y 14 días-30°C.	
Las mezclas son plásticas, adecuadas para el trabajo manual.	

La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO₂/Al₂O₃ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-D

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo D1																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A - Horno		Curado B - Normal		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		KOH		CaO		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	%	%	(Gramos)	(Gramos)	%	M	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO D1 01	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	45,0	6,0	172,1	22,9	172,1	10,3	300seg.	80	24	30	14	16,9
GEO D1 02	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	75,0	10,0	440,6	58,7	202,1	11,9	300seg.	80	24	30	14	21,6
GEO D1 03	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	105,0	14,0	232,1	30,9	232,1	13,4	300seg.	80	24	30	14	22,0
GEO D1 04	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	135,0	18,0	262,1	34,9	262,1	14,9	300seg.	80	24	30	14	22,7

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo D1								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo A micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades		Sibelco	Alcalino		H2O	KOH	CaO
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO D1	3000,0		3000,0	1462,5		954,0	508,5	360,0

Observaciones - ENSAYO Geo D1
Objetivo: comparar el comportamiento de las probetas con la adición de CaO en diferentes proporciones.
Características: se utiliza la siguiente variable: CaO (6%,10%, 14%, 18%) y se mantienen constantes: arcilla-arena, porcentaje de activador alcalino, y condiciones de curado.
Las mezclas son casi secas, al límite plástico. Son difíciles de compactar manualmente.

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo D2																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A - Horno		Curado B - Normal		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		KOH		CaO		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	%	%	(Gramos)	(Gramos)	%	M	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO D2 01	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	45,0	6,0	172,1	22,9	172,1	10,3	300seg.	0	0	30	14	10,6
GEO D2 02	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	75,0	10,0	440,6	58,7	202,1	11,9	300seg.	0	0	30	14	11,6
GEO D2 03	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	105,0	14,0	232,1	30,9	232,1	13,4	300seg.	0	0	30	14	10,4
GEO D2 04	750,0	100	750,0	100,0	48,7	365,6	238,5	31,8	10	127,1	16,9	135,0	18,0	262,1	34,9	262,1	14,9	300seg.	0	0	30	14	10,2

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo D2								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo A micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades		Sibelco	Alcalino		H2O	KOH	CaO
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO D2	3000,0		3000,0	1462,5		954,0	508,5	360,0

Observaciones - ENSAYO Geo D2
Objetivo: comparar el comportamiento de las probetas con la adición de CaO en diferentes proporciones, sin uso de horno.
Características: se utiliza la siguiente variable: CaO (6%,10%, 14%, 18%) y se mantienen constantes: arcilla-arena, porcentaje de activador alcalino, y condiciones de curado.
Las mezclas son casi secas, al límite plástico. Son difíciles de compactar manualmente.

La Arcilla Tipo A tiene un ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. La "cal viva" (CaO) es utilizada como aditivo adicional, con el objetivo de captar agua y generar calor. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.C) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-E

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E1																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo B		Arena sílicea		H ₂ O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO E1 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	348,3	46,4	125,2	7,7	300seg.	80	24	30	14	2,1
GEO E1 02	750,0	100	750,0	100,0	53,1	398,4	223,1	29,8	14	175,3	23,4	0,0	0,0	175,3	23,4	175,3	10,5	300seg.	80	24	30	14	2,7

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo E1						
Código	Aridos		Activadores alcalinos			
	Arcilla Tipo B	Arena 250µ	H ₂ O+KOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	La Bisbal	Sibelco	Alcalino	H ₂ O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO E1	1500,0	1500,0	746,8	446,3	300,5	0,0

Observaciones - ENSAYO Geo E1	
Objetivo: comparar el comportamiento de arcilla tipo B bajo la acción de diferentes porcentajes de activador alcalino	
Características: se utiliza la siguiente variable: Porcentaje de activador alcalino, KOH (10M y 14M) y se mantienen constantes: arcilla-arena, y condiciones de curado.	
Las mezclas son poco plásticas.	

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E2																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo B		Arena sílicea		H ₂ O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO E2 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	418,0	55,7	194,9	11,5	300seg.	80	24	30	14	2,0
GEO E2 02	750,0	100	750,0	100,0	53,1	398,4	223,1	29,8	14	175,3	23,4	79,7	10,6	255,0	34,0	255,0	14,5	300seg.	80	24	30	14	1,7

Total de materiales utilizados en campaña- ENSAYO Geo E2						
Código	Aridos		Activadores alcalinos			
	Arcilla Tipo B	Arena sílicea	H ₂ O+KOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	La Bisbal	Sibelco	Alcalino	H ₂ O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO E2	1500,0	1500,0	746,8	446,3	300,5	149,4

Observaciones - ENSAYO Geo E2	
Objetivo: comparar el comportamiento de arcilla tipo B bajo la acción de diferentes porcentajes de activador alcalino y la adición de silicato de sodio.	
Características: se utiliza la siguiente variable: Porcentaje de activador alcalino, KOH (10M y 14M) y se mantienen constantes: arcilla-arena, porcentaje de silicato de sodio y condiciones de curado.	
Las mezclas son poco plásticas.	

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-E

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E3																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo C		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO E3 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	348,3	46,4	125,2	7,7	300seg.	80	24	30	14	1,9
GEO E3 02	750,0	100	750,0	100,0	53,1	398,4	223,1	29,8	14	175,3	23,4	0,0	0,0	175,3	23,4	175,3	10,5	300seg.	80	24	30	14	2,0

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo E3								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo C micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades		Sibelco	Alcalino		H ₂ O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO E3	1500,0		1500,0	746,8		446,3	300,5	0,0

Observaciones - ENSAYO Geo E3	
Objetivo: comparar el comportamiento de arcilla tipo C bajo la acción de diferentes porcentajes de activador alcalino	
Características: se utiliza la siguiente variable: Porcentaje de activador alcalino, KOH (10M y 14M) y se mantienen constantes: arcilla-arena, y condiciones de curado.	
Las mezclas son poco plásticas.	

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E4																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo C		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO E4 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	418,0	55,7	194,9	11,5	300seg.	80	24	30	14	2,2
GEO E4 02	750,0	100	750,0	100,0	53,1	398,4	223,1	29,8	14	175,3	23,4	79,7	10,6	255,0	34,0	255,0	14,5	300seg.	80	24	30	14	1,4

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo E4								
Código	Aridos			Activadores alcalinos				
	Arcilla Tipo C micro 200µ		Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades		Sibelco	Alcalino		H ₂ O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)		(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO E4	1500,0		1500,0	746,8		446,3	300,5	149,4

Observaciones - ENSAYO Geo E4	
Objetivo: comparar el comportamiento de arcilla tipo C bajo la acción de diferentes porcentajes de activador alcalino y la adición de silicato de sodio.	
Características: se utiliza la siguiente variable: Porcentaje de activador alcalino, KOH (10M y 14M) y se mantienen constantes: arcilla-arena, porcentaje de silicato de sodio y condiciones de curado.	
Las mezclas son poco plásticas.	

La Arcilla Tipo B tiene un ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 3,48. La Arcilla Tipo C tiene un ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 3,19. La Arcilla Tipo D tiene un ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 1,82. %A.A.Á (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-E

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E5																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo D		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO E5 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	0,0	0,0	348,3	46,4	125,2	7,7	300seg.	80	24	30	14	9,1
GEO E5 02	750,0	100	750,0	100,0	53,1	398,4	223,1	29,8	14	175,3	23,4	0,0	0,0	175,3	23,4	175,3	10,5	300seg.	80	24	30	14	5,5

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo E5						
Código	Aridos		Activadores alcalinos			
	Arcilla Tipo D micro 200µ	Arena 250µ	H2O+KOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco	Alcalino	H ₂ O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO E5	1500,0	1500,0	746,8	446,3	300,5	0,0

Observaciones - ENSAYO Geo E5	
Objetivo: comparar el comportamiento de arcilla tipo D bajo la acción de diferentes porcentajes de activador alcalino	
Características: se utiliza la siguiente variable: Porcentaje de activador alcalino, KOH (10M y 14M) y se mantienen constantes: arcilla-arena, y condiciones de curado.	
Las mezclas son plásticas y se pueden manejar manualmente.	

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E6																							
Código	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.		
	Arcilla Tipo D		Arena sílicea		H2O+KOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>	
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		KOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa	
	(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	
GEO E6 01	750,0	100	750,0	100,0	46,4	348,3	223,1	29,8	10	125,2	16,7	69,7	9,3	418,0	55,7	194,9	11,5	300seg.	80	24	30	14	9,7
GEO E6 02	750,0	100	750,0	100,0	53,1	398,4	223,1	29,8	14	175,3	23,4	79,7	10,6	255,0	34,0	255,0	14,5	300seg.	80	24	30	14	5,9

Total de materiales utilizados en campaña - ENSAYO Geo E6						
Código	Aridos		Activadores alcalinos			
	Arcilla Tipo D	Arena sílicea	H2O+KOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	La Bisbal	Sibelco	Alcalino	H ₂ O	KOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO E6	1500,0	1500,0	746,8	446,3	300,5	149,4

Observaciones - ENSAYO Geo E6	
Objetivo: comparar el comportamiento de arcilla tipo D bajo la acción de diferentes porcentajes de activador alcalino y la adición de silicato de sodio.	
Características: se utiliza la siguiente variable: Porcentaje de activador alcalino, KOH (10M y 14M) y se mantienen constantes: arcilla-arena, porcentaje de silicato de sodio y condiciones de curado.	
Las mezclas son plásticas y se pueden manejar manualmente.	

La Arcilla Tipo B tiene un ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 3,48. La Arcilla Tipo C tiene un ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 3,19. La Arcilla Tipo D tiene un ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 1,82. %A.A.Á (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

GEO-FP

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo FPA																								
Código	Aridos				Activadores alcalinos												Mezclado		Curado				R.C.	
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H ₂ O+NaOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>		
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa		
	(Gramos)	%	(Gramos)	%	%	(Gramos)	(Gramos)	%	M	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días		
GEO FP 01	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	0,0	0,0	89,3	11,9	89,3	5,6	300seg.	80	24	30	14	15,67	
GEO FP 02	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	0,0	0,0	312,4	41,7	89,3	5,6	300seg.	80	24	30	14	-	
GEO FP 03	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	0,0	0,0	89,3	11,9	89,3	5,6	300seg.	80	24	30	14	-	
GEO FP 04	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	0,0	0,0	89,3	11,9	89,3	5,6	300seg.	80	24	30	14	15,76	

Materiales - ENSAYO Geo FPA						
Código	Aridos			Activadores alcalinos		
	Arcilla Tipo A micro 200µ	Arena 250µ	H ₂ O+NaOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco	Alcalino	H ₂ O	NaOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO FP	3000,0	3000,0	1249,6	892,6	357,0	0,0

Observaciones - ENSAYO Geo FPA
Objetivo: fabricación de 12 bloques para ensayos complementarios.
Características: dosificación homogénea y factores constantes en todos las probetas.
Al momento de mezclar los precursores, puede observarse que las mezclas GEO FP01 - FP04 están al límite de plasticidad tendiendo a secas. Al mezclar los precursores de GEO P05-P08 puede observarse que la mezcla es plástica, con una plasticidad adecuada para la manipulación con la mano.

Campaña de ensayos - ENSAYO Geo FPB																								
Código	Aridos				Activadores alcalinos												Mezclado		Curado				R.C.	
	Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H ₂ O+NaOH en relación a arcilla		Agua destilada		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		<i>f_c</i>		
	La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa		
	(Gramos)	%	(Gramos)	%	%	(Gramos)	(Gramos)	%	M	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días		
GEO FP 05	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	80	24	30	14	-	
GEO FP 06	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	80	24	30	14	11,86	
GEO FP 07	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	80	24	30	14	-	
GEO FP 08	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	80	24	30	14	9,32	

Materiales - ENSAYO Geo FPB						
Código	Aridos			Activadores alcalinos		
	Arcilla Tipo A micro 200µ	Arena 250µ	H ₂ O+NaOH en relación a arcilla	Agua destilada	Activador Alcalino	Aditivo 2
	Argilescolades	Sibelco	Alcalino	H ₂ O	NaOH	Na ₂ SiO ₃
	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)	(Gramos)
GEO FP	3000,0	3000,0	1249,6	892,6	357,0	250,0

Observaciones - ENSAYO Geo FPB
Objetivo: fabricación de 12 bloques para ensayos complementarios.
Características: dosificación homogénea y factores constantes en todos las probetas.
Al momento de mezclar los precursores, puede observarse que las mezclas GEO FP05-FP08 son plásticas, adecuadas para la manipulación.

La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO₂/Al₂O₃ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

Pruebas piloto

Campana de ensayos preliminares - ENSAYO P01																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c. <i>f_c</i> MPa		
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B			
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.		Tiempo	Temp.	Tiempo			
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas		°C	Días
P01-01	001A-1 P	1000,0	100	250,0	25,0	25,0	250,0	240,4	24,0	1	9,6	1,0	0,0	0,0	9,6	1,0	9,6	0,8	300seg.	80	24	23	21	1,0
P01-02	001A-2 P	1000,0	100	500,0	50,0	25,0	250,0	240,4	24,0	1	9,6	1,0	0,0	0,0	9,6	1,0	9,6	0,6	300seg.	80	24	23	21	0,9
P01-03	001A-3 P	1000,0	100	1000,0	100,0	25,0	250,0	240,4	24,0	1	9,6	1,0	0,0	0,0	9,6	1,0	9,6	0,5	300seg.	80	24	23	21	0,5
P01-04	001A-4 P	1000,0	100	1500,0	150,0	25,0	250,0	240,4	24,0	1	9,6	1,0	0,0	0,0	9,6	1,0	9,6	0,4	300seg.	80	24	23	21	0,7

Campana de ensayos preliminares - ENSAYO P02																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c. <i>f_c</i> MPa		
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B			
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.		Tiempo	Temp.	Tiempo			
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas		°C	Días
P02-01	003A-1	1200,0	100	300,0	25,0	31,2	375,0	360,6	30,0	1	14,4	1,2	0,0	0,0	14,4	1,2	14,4	1,0	300seg.	80	24	23	21	1,7
P02-02	003A-2	1000,0	100	500,0	50,0	37,5	375,0	360,6	36,1	1	14,4	1,4	0,0	0,0	14,4	1,4	14,4	1,0	300seg.	80	24	23	21	1,4
P02-03	003A-3	700,0	100	700,0	100,0	53,6	375,0	360,6	51,5	1	14,4	2,1	0,0	0,0	14,4	2,1	14,4	1,0	300seg.	80	24	23	21	1,3
P02-04	003A-4	508,8	100	763,2	150,0	73,7	375,0	360,6	70,9	1	14,4	2,8	0,0	0,0	14,4	2,8	14,4	1,1	300seg.	80	24	23	21	1,1

Campana de ensayos preliminares - ENSAYO P03																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c. <i>f_c</i> MPa		
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B			
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.		Tiempo	Temp.	Tiempo			
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas		°C	Días
P03-01	002A-1	866,7	100	433,3	50,0	37,5	325,0	232,1	26,8	10	92,9	10,7	0,0	0,0	92,9	10,7	92,9	6,7	300seg.	100	24	23	18	10,9
P03-02	002A-2	650,0	100	650,0	100,0	50,0	325,0	232,1	35,7	10	92,9	14,3	0,0	0,0	92,9	14,3	92,9	6,7	300seg.	100	24	23	18	15,9
P03-03	002A-3	520,0	100	780,0	150,0	62,5	325,0	232,1	44,6	10	92,9	17,9	0,0	0,0	92,9	17,9	92,9	6,7	300seg.	100	24	23	18	7,2

Campana de ensayos preliminares - ENSAYO P04																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c. <i>f_c</i> MPa		
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B			
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.		Tiempo	Temp.	Tiempo			
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas		°C	Días
P04-01	1Y	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	100	96	23	14	22,7
P04-02	2Y	750,0	100	750,0	100,0	57,0	427,5	305,4	40,7	10	122,1	16,3	85,5	11,4	207,6	27,7	207,6	12,2	300seg.	100	96	23	14	8,7
P04-03	3Y	750,0	100	750,0	100,0	66,7	500,0	357,1	47,6	10	142,9	19,0	100,0	13,3	242,9	32,4	242,9	13,9	300seg.	100	96	23	14	5,4

Campana de ensayos preliminares - ENSAYO P05																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c. <i>f_c</i> MPa		
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B			
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.		Tiempo	Temp.	Tiempo			
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas		°C	Días
P05-01	002A0	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	267,9	35,7	10	107,1	14,3	0,0	0,0	107,1	14,3	107,1	6,7	300seg.	-	-	30	14	2,4
P05-02	002A-3	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	267,9	35,7	10	107,1	14,3	0,0	0,0	107,1	14,3	107,1	6,7	300seg.	110	4	30	14	5,0
P05-03	002A-1	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	267,9	35,7	10	107,1	14,3	0,0	0,0	107,1	14,3	107,1	6,7	300seg.	110	7	30	14	5,0
P05-04	002A-2	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	267,9	35,7	10	107,1	14,3	0,0	0,0	107,1	14,3	107,1	6,7	300seg.	110	24	30	14	22,5

La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO₂/Al₂O₃ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *f_c* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

Pruebas piloto

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P06																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c.		
		Arcilla Tipo A		Arena silícea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		fc	
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo		
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	MPa
P06-01	001A-0	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	-	-	30	14	4,4
P06-02	001A-1	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	110	2	30	14	5,3
P06-03	001A-2	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	110	7	30	14	20,7
P06-04	001A-3	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,4	223,1	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	110	24	30	14	29,0

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P07																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c.		
		Arcilla Tipo A		Arena silícea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		fc	
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H2O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo		
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	MPa
P07-01	A1-1	857,1	100	642,9	75,0	41,7	357,1	255,1	29,8	10	102,0	11,9	71,4	8,3	173,4	20,2	173,4	10,4	300seg.	100	4	30	14	25,6
P07-02	A1-2	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	100	4	30	14	22,7
P07-03	A1-3	666,7	100	833,3	125,0	41,7	277,8	198,4	29,8	10	79,4	11,9	55,6	8,3	135,0	20,2	135,0	8,3	300seg.	100	4	30	14	22,4
P07-04	A1-4	600,0	100	900,0	150,0	41,7	250,0	178,6	29,8	10	71,4	11,9	50,0	8,3	121,4	20,2	121,4	7,5	300seg.	100	4	30	14	24,9

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X1																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c.		
		Arcilla Tipo A		Arena silícea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		fc	
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo		
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	MPa
P00X1-01	1	1000,0	100	500,0	50,0	36,0	360,0	360,0	36,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	300seg.	-	-	23	28	2,4
P00X1-02	2	1000,0	100	500,0	50,0	36,0	360,0	200,0	20,0	20	160,0	16,0	0,0	0,0	160,0	16,0	160,0	9,6	300seg.	80	6	23	28	5,0
P00X1-03	3	1000,0	100	500,0	50,0	46,0	460,0	300,0	30,0	13	160,0	16,0	0,0	0,0	160,0	16,0	160,0	9,6	300seg.	80	6	23	28	2,0
P00X1-04	4	1000,0	100	500,0	50,0	52,0	520,0	360,0	36,0	11	160,0	16,0	0,0	0,0	160,0	16,0	160,0	9,6	300seg.	80	6	23	28	1,4

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X2																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c.		
		Arcilla Tipo A		Arena silícea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		fc	
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo		
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	MPa
P00X2-01	001X-1	1000,0	100	500,0	50,0	51,3	513,0	366,4	36,6	10	146,6	14,7	0,0	0,0	146,6	14,7	146,6	8,9	300seg.	100	24	23	14	7,2
P00X2-02	001X-2	750,0	100	750,0	100,0	68,4	513,0	366,4	48,9	10	146,6	19,5	0,0	0,0	146,6	19,5	146,6	8,9	300seg.	100	24	23	14	8,4
P00X2-03	001X-3	500,0	100	1000,0	200,0	102,6	513,0	366,4	73,3	10	146,6	29,3	0,0	0,0	146,6	29,3	146,6	8,9	300seg.	100	24	23	14	2,1

Campaña de ensayos preliminares - P00X3 - Prueba de aditivos (arcilla térmicamente activada)																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Agua		Estabilizantes					Mezclado		Curado				Resist.					
		Arcilla Tipo A		Arena silícea		Arcilla activada a 750°C x4h		H ₂ O		Aditivo 1		Aditivo 2		Con respecto a la masa final del bloque (%)		Mezcla	Curado A			Curado C		fc		
		La Bisbal		Sibelco		La Bisbal		Destilada		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		285 rpm	Horno	Molde	Temp.	Tiempo total	Temp.		Tiempo	
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días	Promedio		
P00X3-01	1Z	0,0	0	750,0	100,0	750,0	100,0	305,3	40,7	10	122,1	16,3	85,5	11,4	957,6	127,7	300seg.	Si	no	100	24	23	11	24,8
P00X3-02	2Z	375,0	50	375,0	100,0	750,0	100,0	305,3	27,1	10	122,1	10,9	85,5	11,4	957,6	127,7	300seg.	Si	no	100	24	23	11	8,1
P00X3-03	3Z	500,0	67	250,0	33,3	750,0	100,0	305,3	24,4	10	122,1	9,8	85,5	11,4	957,6	127,7	300seg.	Si	no	100	24	23	11	7,6

La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO₂/Al₂O₃ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. fc hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

Pruebas piloto

Campaña de ensayos preliminares - P00X4 - Prueba de aditivos (arcilla térmicamente activada)																									
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos						Agua		Estabilizantes						Mezclado		Curado						Resist. <i>fc</i>	
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea		Arcilla activada a 750°C x4h		H ₂ O		Aditivo 1		Aditivo 2		Con respecto a la masa final del bloque (%)		Mezcla		Curado A			Curado C				
		La Bisbal		Sibelco		La Bisbal		Destilada		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		285 rpm		Hor no	Mol de	Temp. °C	Tiempo total Horas	Temp. °C	Tiempo Dias		MPa Promedio
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	Seg.								
P00X4-01	1GP	0,0	0	1000,0	200,0	500,0	100,0	305,4	61,1	10	122,1	24,4	85,5	17,1	707,6	70,8	300seg.	Si	no	100	4	23	11	-	
P00X4-02	2GP	0,0	0	1125,0	300,0	375,0	100,0	305,4	81,4	10	122,1	32,6	85,5	22,8	582,6	51,8	300seg.	Si	no	100	4	23	11	-	
P00X4-03	3GP	0,0	0	1300,0	650,0	200,0	100,0	305,4	152,7	10	122,1	61,1	85,5	42,8	407,6	31,4	300seg.	Si	no	100	4	23	11	-	

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X5																									
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos						Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C. <i>fc</i>	
		Arcilla		Arena 3mm		H ₂ O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla		Curado A		Curado B			
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm		Temp. °C	Tiempo Horas	Temp. °C	Tiempo Dias		MPa
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.						
P00X5-01	000A-0	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	375,0	50,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	300seg.	-	-	30	14	1,4		
P00X5-02	000A-1	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	375,0	50,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	300seg.	100	4	30	14	1,1		
P00X5-03	000A-2	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	375,0	50,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	300seg.	100	24	30	14	1,1		
P00X5-04	000A-3	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	375,0	50,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	300seg.	100	24	30	14	1,1		
P00X5-05	000A-4	750,0	100	750,0	100,0	36,7	275,0	275,0	36,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	300seg.	100	24	30	14	1,6		

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X6 - Prueba de aditivos																											
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos						Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C. <i>fc</i>			
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea		H ₂ O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		Aditivo 3		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla		Curado A			Curado B		
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Diferentes		Total		Total		285 rpm		Temp. °C	Tiempo Horas		Temp. °C	Tiempo Dias	MPa
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	Tipo	(Gramos)	%	(Gramos)	%						
P00X6-01	001B-0	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	0,0	0,0	0,0	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	80	48	30	21	35,2
P00X6-02	001B01	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	12,0	1,6	Sikame nt FF	151,8	20,2	163,8	9,8	300seg.	80	48	30	21	32,6
P00X6-03	001B02	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	12,8	1,7	Sikame nt 165 ES	151,8	20,2	164,6	9,9	300seg.	80	48	30	21	32,3
P00X6-04	001B03	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	7,5	1,0	ViscoCr ete 125	151,8	20,2	159,3	9,6	300seg.	80	48	30	21	23,6

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X8																									
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos						Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c. <i>fc</i>	
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea diámetro 3mm		H ₂ O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla		Curado A		Curado B			
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm		Temp. °C	Tiempo Horas	Temp. °C	Tiempo Dias		MPa
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.						
P00X8-01	A3-1	857,1	100	642,9	75,0	41,7	357,1	255,1	29,8	10	102,0	11,9	71,4	8,3	173,4	20,2	173,4	10,4	300seg.	100	4	30	14	19,2	
P00X8-02	A3-2	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	100	4	30	14	20,2	
P00X8-03	A3-3	666,7	100	833,3	125,0	41,7	277,8	198,4	29,8	10	79,4	11,9	55,6	8,3	135,0	20,2	135,0	8,3	300seg.	100	4	30	14	21,7	
P00X8-04	A3-4	600,0	100	900,0	150,0	41,7	250,0	178,6	29,8	10	71,4	11,9	50,0	8,3	121,4	20,2	121,4	7,5	300seg.	100	4	30	14	19,3	

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X9																									
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos						Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c. <i>fc</i>	
		Arcilla Tipo A		Arena sílicea diámetro 3mm-6mm		H ₂ O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla		Curado A		Curado B			
		La Bisbal		Sibelco		Alcalino		H ₂ O		NaOH		Na ₂ SiO ₃		Total		Total		285 rpm		Temp. °C	Tiempo Horas	Temp. °C	Tiempo Dias		MPa
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.						
P00X9-01	A4-1	857,1	100	642,9	75,0	41,7	357,1	255,1	29,8	10	102,0	11,9	71,4	8,3	173,4	20,2	173,4	10,4	300seg.	100	4	30	14	7,0	
P00X9-02	A4-2	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	100	4	30	14	5,2	
P00X9-03	A4-1	666,7	100	833,3	125,0	41,7	277,8	198,4	29,8	10	79,4	11,9	55,6	8,3	135,0	20,2	135,0	8,3	300seg.	100	4	30	14	5,5	
P00X9-04	A4-2	600,0	100	900,0	150,0	41,7	250,0	178,6	29,8	10	71,4	11,9	50,0	8,3	121,4	20,2	121,4	7,5	300seg.	100	4	30	14	6,6	

La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO₂/Al₂O₃ igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. *fc* hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.7.1 Diseño de experimentos

Pruebas piloto

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X9																								
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.c.		
		Arcilla Tipo A		Arena silicea diámetro 3mm-6mm		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		fc	
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino	H2O	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Total	Total	285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa									
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla		(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días
P00X9-01	A4-1	857,1	100	642,9	75,0	41,7	357,1	255,1	29,8	10	102,0	11,9	71,4	8,3	173,4	20,2	173,4	10,4	300seg.	100	4	30	14	7,0
P00X9-02	A4-2	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	151,8	20,2	151,8	9,2	300seg.	100	4	30	14	5,2
P00X9-03	A4-1	666,7	100	833,3	125,0	41,7	277,8	198,4	29,8	10	79,4	11,9	55,6	8,3	135,0	20,2	135,0	8,3	300seg.	100	4	30	14	5,5
P00X9-04	A4-2	600,0	100	900,0	150,0	41,7	250,0	178,6	29,8	10	71,4	11,9	50,0	8,3	121,4	20,2	121,4	7,5	300seg.	100	4	30	14	6,6

Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X10 - Pruebas aleatorias																											
Código	Código de Mezcla ref.	Aridos				Activadores alcalinos										Mezclado		Curado				R.C.					
		Arcilla Tipo A		Arena silicea		H2O+NaOH en relación a arcilla		Agua		Activador Alcalino		Aditivo 2		Aditivo 3		% A.A.A respecto a la masa de arcilla		% A.A.A respecto a la masa final del bloque		Mezcla	Curado A		Curado B		fc		
		La Bisbal	Sibelco	Alcalino	H2O	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Varios	Total	Total	285 rpm	Temp.	Tiempo	Temp.	Tiempo	MPa											
		(Gramos)	%	(Gramos)	% arcilla	% arcilla	(Gramos)	(Gramos)	% arcilla	M	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)	% arcilla	(Gramos)		%	Tipo	(Gramos)	%	(Gramos)	%	Seg.	°C	Horas	°C	Días
P00X10-01	00X-2	750,0	100	750,0	100,0	24,0	180,0	128,6	17,1	10	51,4	6,9	40,0	5,3	180,0	24,0	Agua de mar	91,4	12,2	271,4	15,3	300seg.	110	24	30	14	10,0
P00X10-02	00X-6	750,0	100	750,0	100,0	41,7	312,5	223,2	29,8	10	89,3	11,9	62,5	8,3	75,0	10,0	Cal viva	151,8	20,2	226,8	13,1	300seg.	110	-	30	14	29,6
P00X10-03	00X-7	750,0	100	900,0	120,0	46,9	351,5	251,0	33,5	10	100,4	13,4	70,3	9,4	10,0	1,3	Hexam etafosf ato	170,7	22,8	180,7	9,9	300seg.	110	72	30	14	21,4
P00X10-04	00X-8	750,0	100	750,0	100,0	40,0	300,0	214,3	28,6	10	85,7	11,4	60,0	8,0	10,0	1,3	Hexam etafosf ato	145,7	19,4	155,7	9,4	300seg.	110	72	30	14	25,4
P00X10-05	00X-9	750,0	100	750,0	100,0	40,0	300,0	214,3	28,6	10	85,7	11,4	60,0	8,0	10,0	1,3	Hexam etafosf ato	145,7	19,4	155,7	9,4	300seg.	110	72	30	14	25,0
P00X10-06	00X-10	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	267,9	35,7	10	107,1	14,3	75,0	10,0	75,0	10,0	Cal F plus	182,1	24,3	257,1	14,6	300seg.	110	-	30	14	31,2
P00X10-07	00X-11	750,0	100	750,0	100,0	50,0	375,0	267,9	35,7	10	107,1	14,3	75,0	10,0	75,0	10,0	Cal viva	182,1	24,3	257,1	14,6	300seg.	110	-	30	14	26,1

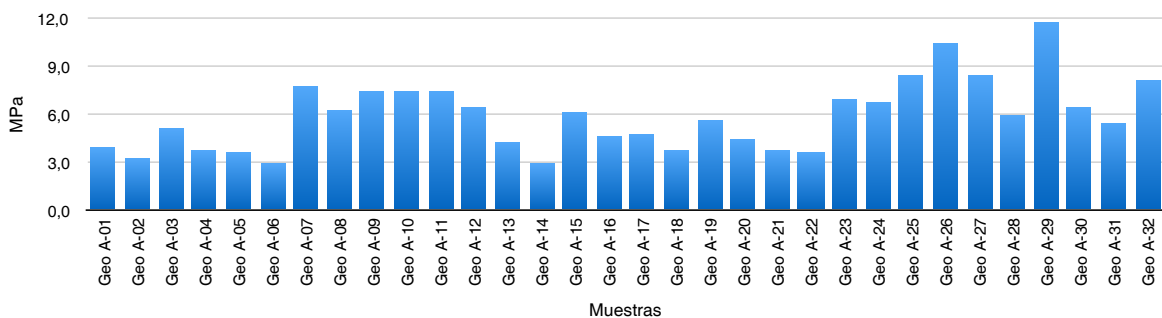
La Arcilla Tipo A tiene un ratio SiO_2/Al_2O_3 igual a 2,62. %A.A.A (Activador Alcalino + Aditivo 2) es la cantidad total de aditivos. fc hace referencia a la resistencia a compresión (R.c) obtenida con la mezcla (más detalles en el apartado resultados).

Anexo 6.9.1 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-A

Resistencia Mecánica - Campaña - ENSAYO Geo A																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (<i>f</i> _{cf})				Rotura Compresión <i>f</i> A				Rotura Compresión <i>f</i> B				Dimensiones (<i>Ac</i>)			<i>f</i> A / <i>Ac</i>	<i>f</i> B / <i>Ac</i>	<i>f</i> c
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	<i>f</i> cf	AM1	AM2	AM3	<i>f</i> A	BM1	BM2	BM3	<i>f</i> B	d1	d2	<i>Ac</i>	<i>f</i> A	<i>f</i> B	Promedio <i>f</i> A y B
Geo A-01	15/11/17	617,82	657,04	843,37	1,7	6541,00	4844,46	6403,71	5929,72	6384,10	5354,40	5883,96	5874,15	38,00	40,00	1520,00	3,90	3,86	3,9
Geo A-02	15/11/17	676,66	706,08	686,46	1,7	5903,57	5481,89	4314,90	5233,46	4844,46	4952,33	4511,04	4769,28	38,00	40,00	1520,00	3,44	3,14	3,3
Geo A-03	15/11/17	588,40	539,36	558,98	1,4	7256,88	7580,50	8423,87	7753,75	8031,61	7737,41	7845,28	7871,43	38,00	40,00	1520,00	5,10	5,18	5,1
Geo A-04	15/11/17	696,27	666,85	549,17	1,6	5472,08	6178,16	5874,15	5841,46	5442,66	6138,93	5158,27	5579,96	38,00	40,00	1520,00	3,84	3,67	3,8
Geo A-05	15/11/17	657,04	657,04	666,85	1,6	6119,32	4991,56	4942,53	5351,13	5687,83	5462,28	5609,38	5586,49	38,00	40,00	1520,00	3,52	3,68	3,6
Geo A-06	15/11/17	490,33	441,30	519,75	1,2	4766,01	4334,52	4118,77	4406,43	4099,16	4540,46	4864,07	4501,23	38,00	40,00	1520,00	2,90	2,96	2,9
Geo A-07	21/11/17	1108,15	990,47	951,24	2,5	10973,59	12356,32	11758,11	11696,00	12199,41	11591,40	11944,44	11911,75	38,00	40,00	1520,00	7,69	7,84	7,8
Geo A-08	21/11/17	1206,21	843,37	1068,92	2,6	7335,34	11238,36	9757,57	9443,76	7600,12	10973,59	9806,60	9460,10	38,00	40,00	1520,00	6,21	6,22	6,2
Geo A-09	21/11/17	1323,89	392,26	1647,51	2,8	11620,82	11611,01	10551,90	11261,25	11542,37	13484,08	9277,04	11434,50	38,00	40,00	1520,00	7,41	7,52	7,5
Geo A-10	21/11/17	1500,41	1608,28	1412,15	3,7	10345,96	11326,62	11964,05	11212,21	11287,40	11650,24	11365,85	11434,50	38,00	40,00	1520,00	7,38	7,52	7,4
Geo A-11	21/11/17	931,63	1078,73	862,98	2,4	10748,03	10914,75	13739,05	11800,61	10149,83	10120,41	11581,59	10617,28	38,00	40,00	1520,00	7,76	6,99	7,4
Geo A-12	21/11/17	1068,92	951,24	941,43	2,4	7776,63	9198,59	10708,81	9228,01	10571,51	10551,90	10179,25	10434,22	38,00	40,00	1520,00	6,07	6,86	6,5
Geo A-13	22/12/01	1108,15	951,24	931,63	2,5	7403,98	5491,70	6325,26	6406,98	7384,37	5207,30	6668,49	6420,05	38,00	40,00	1520,00	4,22	4,22	4,2
Geo A-14	22/12/01	784,53	735,50	764,91	1,9	4618,91	4040,32	4922,91	4527,38	4344,32	4020,71	4658,14	4341,05	38,00	40,00	1520,00	2,98	2,86	2,9
Geo A-15	22/12/01	931,63	951,24	1010,08	2,4	9022,07	7825,67	11483,53	9443,76	9757,57	8835,75	9041,69	9211,67	38,00	40,00	1520,00	6,21	6,06	6,1
Geo A-16	22/12/01	657,04	588,40	549,17	1,5	6168,35	7835,47	6795,97	6933,27	7031,33	6864,62	7001,91	6965,95	38,00	40,00	1520,00	4,56	4,58	4,6
Geo A-17	15/11/17	951,24	1049,31	892,40	2,4	7384,37	7737,41	6845,01	7322,26	7364,76	7796,25	6658,68	7273,23	38,00	40,00	1520,00	4,82	4,79	4,8
Geo A-18	15/11/17	715,88	813,95	637,43	1,8	5374,02	6374,29	5148,47	5632,26	5560,34	6442,94	5972,22	5991,83	38,00	40,00	1520,00	3,71	3,94	3,8
Geo A-19	15/11/17	804,14	872,79	823,75	2,1	7580,50	8904,39	8404,26	8296,38	8443,48	9178,98	7845,28	8489,25	38,00	40,00	1520,00	5,46	5,59	5,5
Geo A-20	15/11/17	804,14	853,17	735,50	2,0	7806,05	7119,59	5883,96	6936,54	7305,92	6364,48	6227,19	6632,53	38,00	40,00	1520,00	4,56	4,36	4,5
Geo A-21	15/11/17	1000,27	813,95	1019,89	2,3	5854,54	5020,98	5874,15	5583,22	6874,43	5609,38	4962,14	5815,31	38,00	40,00	1520,00	3,67	3,83	3,7
Geo A-22	15/11/17	1029,69	941,43	588,40	2,1	5511,31	5481,89	5442,66	5478,62	5403,44	5315,18	5344,60	5354,40	38,00	40,00	1520,00	3,60	3,52	3,6
Geo A-23	21/11/17	990,47	980,66	872,79	2,3	5756,47	12189,60	12209,22	10051,77	9963,51	11601,21	12169,99	11244,90	38,00	40,00	1520,00	6,61	7,40	7,0
Geo A-24	21/11/17	1019,89	951,24	1117,95	2,5	10306,74	10836,29	11081,46	10741,50	10365,58	9541,82	10198,86	10035,42	38,00	40,00	1520,00	7,07	6,60	6,8
Geo A-25	21/11/17	1216,02	1353,31	1676,93	3,5	14101,89	7041,14	12405,35	11182,79	14788,35	14749,13	13631,17	14389,55	38,00	40,00	1520,00	7,36	9,47	8,4
Geo A-26	21/11/17	1725,96	1480,80	1333,70	3,7	17975,50	15425,78	13719,43	15706,90	14886,42	17857,82	14788,35	15844,20	38,00	40,00	1520,00	10,33	10,42	10,4
Geo A-27	21/11/17	1274,86	1225,83	1265,05	3,1	13729,24	12650,51	14219,57	13533,11	13336,98	10630,35	12787,81	12251,71	38,00	40,00	1520,00	8,90	8,06	8,5
Geo A-28	21/11/17	1000,27	745,30	980,66	2,2	8806,33	9394,72	8816,13	9005,73	9080,91	9796,79	7492,24	8789,98	38,00	40,00	1520,00	5,92	5,78	5,9
Geo A-29	22/12/01	2049,58	2343,78	2226,10	5,4	16141,66	16377,02	17857,82	16792,17	20633,09	16641,80	19623,01	18965,96	38,00	40,00	1520,00	11,05	12,48	11,8
Geo A-30	22/12/01	1343,50	1470,99	1833,83	3,8	12366,12	8825,94	10512,68	10568,25	10551,90	7943,35	7776,63	8757,29	38,00	40,00	1520,00	6,95	5,76	6,4
Geo A-31	22/12/01	804,14	402,07	598,20	1,5	8443,48	8394,45	9424,14	8754,02	8227,74	7825,67	7943,35	7998,92	38,00	40,00	1520,00	5,76	5,26	5,5
Geo A-32	22/12/01	n/a	n/a	n/a	n/a	14307,63	11076,26	14088,95	13157,61	9793,66	11901,58	13164,18	11619,81	38,00	40,00	1520,00	8,66	7,64	8,2

Resistencia a compresión simple - Campaña experimental A (GEO-A)

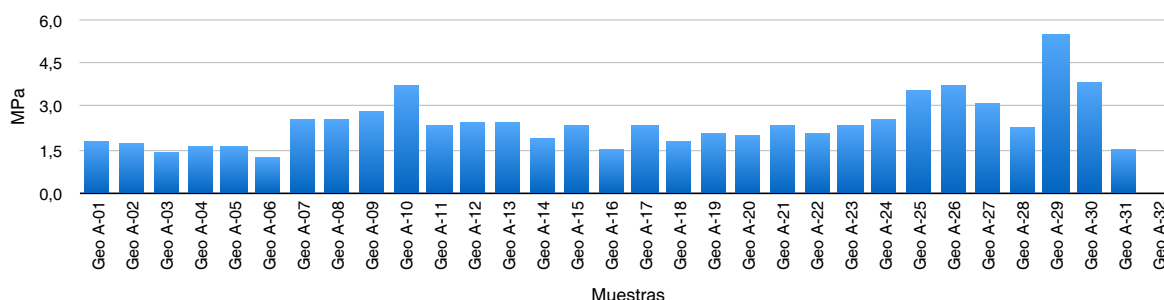


Anexo 6.9.1 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-A

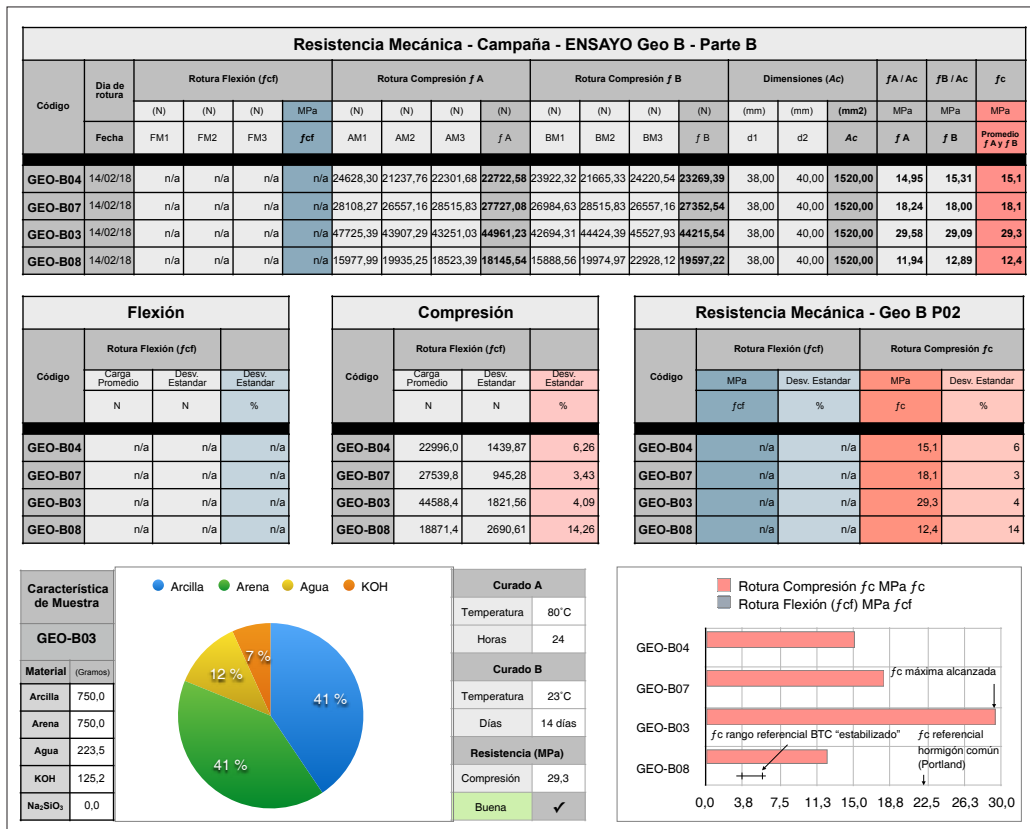
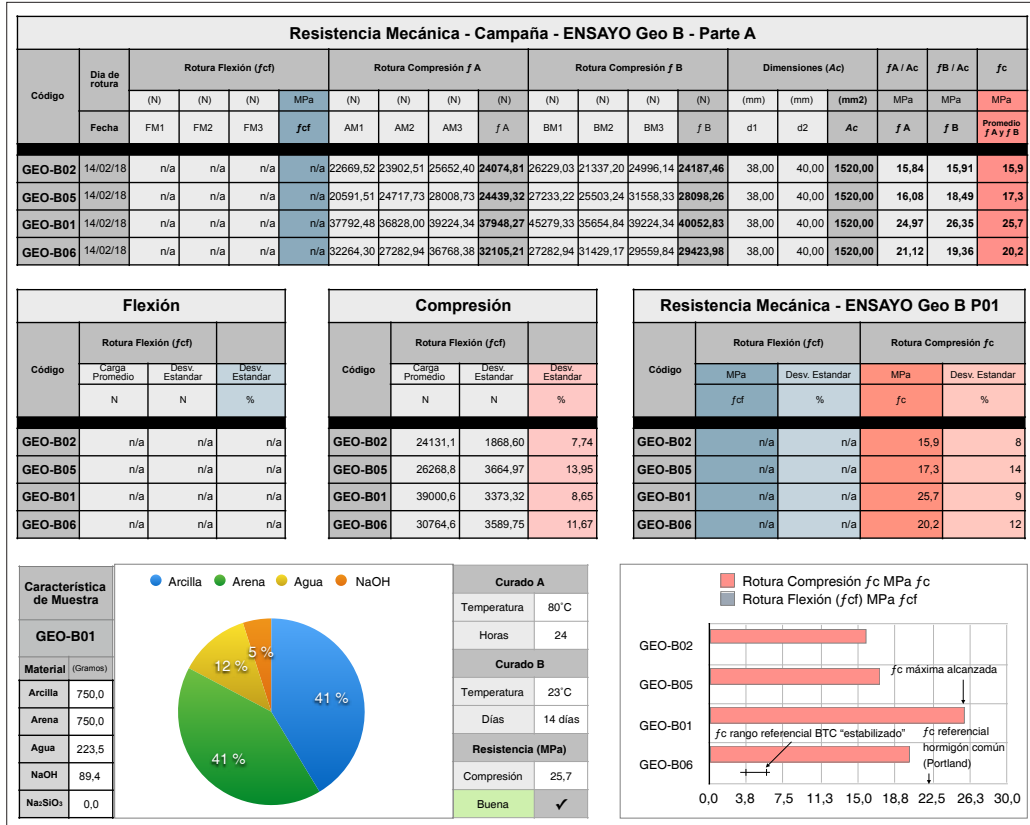
Flexión				Compresión			Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo A				
Código	Rotura Flexión (fcf)			Código	Rotura Flexión (fcf)			Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar		Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	N	N	%		N	N	%	fcf	%	fc	%
Geo A-01	706,1	120,51	17,07	Geo A-01	5901,9	679,86	11,52	1,7	17	3,9	12
Geo A-02	689,7	14,98	2,17	Geo A-02	5001,4	597,25	11,94	1,7	2	3,3	12
Geo A-03	562,2	24,68	4,39	Geo A-03	7812,6	397,75	5,09	1,4	4	5,1	5
Geo A-04	637,4	77,84	12,21	Geo A-04	5710,7	415,35	7,27	1,6	12	3,8	7
Geo A-05	660,3	5,66	0,86	Geo A-05	5468,8	446,25	8,16	1,6	1	3,6	8
Geo A-06	483,8	39,63	8,19	Geo A-06	4453,8	324,21	7,28	1,2	8	2,9	7
Geo A-07	1016,6	81,66	8,03	Geo A-07	11803,9	493,56	4,18	2,5	8	7,8	4
Geo A-08	1039,5	183,20	17,62	Geo A-08	9451,9	1651,37	17,47	2,6	18	6,2	17
Geo A-09	1121,2	651,70	58,12	Geo A-09	11347,9	1390,46	12,25	2,8	58	7,5	12
Geo A-10	1506,9	98,23	6,52	Geo A-10	11323,4	543,28	4,80	3,7	7	7,4	5
Geo A-11	957,8	110,22	11,51	Geo A-11	11208,9	1352,47	12,07	2,4	12	7,4	12
Geo A-12	987,2	70,94	7,19	Geo A-12	9831,1	1147,19	11,67	2,4	7	6,5	12
Geo A-13	997,0	96,75	9,70	Geo A-13	6413,5	927,48	14,46	2,5	10	4,2	14
Geo A-14	761,6	24,68	3,24	Geo A-14	4434,2	362,57	8,18	1,9	3	2,9	8
Geo A-15	964,3	40,83	4,23	Geo A-15	9327,7	1225,21	13,14	2,4	4	6,1	13
Geo A-16	598,2	54,60	9,13	Geo A-16	6949,6	535,79	7,71	1,5	9	4,6	8
Geo A-17	964,3	79,27	8,22	Geo A-17	7297,7	461,99	6,33	2,4	8	4,8	6
Geo A-18	722,4	88,44	12,24	Geo A-18	5812,0	535,79	9,22	1,8	12	3,8	9
Geo A-19	833,6	35,36	4,24	Geo A-19	8392,8	608,98	7,23	2,1	4	5,5	7
Geo A-20	797,6	59,11	7,41	Geo A-20	6784,5	738,34	10,88	2,0	7	4,5	11
Geo A-21	944,7	113,66	12,03	Geo A-21	5699,3	699,60	12,28	2,3	12	3,7	12
Geo A-22	853,2	233,51	27,37	Geo A-22	5416,5	76,88	1,42	2,1	27	3,6	1
Geo A-23	948,0	65,30	6,89	Geo A-23	10648,3	2546,94	23,92	2,3	7	7,0	24
Geo A-24	1029,7	83,79	8,14	Geo A-24	10388,5	536,80	5,17	2,5	8	6,8	5
Geo A-25	1415,4	236,65	16,72	Geo A-25	12786,2	2948,13	23,06	3,5	17	8,4	23
Geo A-26	1513,5	198,16	13,09	Geo A-26	15775,6	1748,75	11,09	3,7	13	10,4	11
Geo A-27	1255,2	25,95	2,07	Geo A-27	12892,4	1252,65	9,72	3,1	2	8,5	10
Geo A-28	908,7	141,89	15,61	Geo A-28	8897,9	784,76	8,82	2,2	16	5,9	9
Geo A-29	2206,5	148,08	6,71	Geo A-29	17879,1	1867,19	10,44	5,4	7	11,8	10
Geo A-30	1549,4	254,41	16,42	Geo A-30	9662,8	1790,82	18,53	3,8	16	6,4	19
Geo A-31	601,5	201,06	33,43	Geo A-31	8376,5	568,42	6,79	1,5	33	5,5	7
Geo A-32	n/a	n/a	n/a	Geo A-32	12388,7	1781,49	14,38	n/a	n/a	8,2	14

Resistencia a flexión simple - Campaña experimental A (GEO-A)



Anexo 6.9.2 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-B



Anexo 6.9.3 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-C1

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C1																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y fB
GEO C1 01	07/05/18	2746,50	2326,90	2251,39	6,0	23430,30	26575,70	29463,70	26489,90	22991,00	23504,10	27897,00	24797,37	38,00	40,00	1520,00	17,43	16,31	16,9
GEO C1 02	07/05/18	2326,90	2361,22	2036,89	5,5	21673,10	18997,90	19193,50	19954,83	18896,60	19785,50	17678,20	18786,77	38,00	40,00	1520,00	13,13	12,36	12,7
GEO C1 03	07/05/18	1637,07	1637,07	1762,33	4,1	15526,40	13855,00	13865,30	14415,57	12243,70	12830,50	14577,40	13217,20	38,00	40,00	1520,00	9,48	8,70	9,1
GEO C1 04	07/05/18	1084,51	1108,54	1178,89	2,8	11190,00	11178,00	11485,20	11284,40	10816,00	10634,10	10802,20	10750,77	38,00	40,00	1520,00	7,42	7,07	7,2

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C1 01	2441,6	266,74	10,92
GEO C1 02	2241,7	178,17	7,95
GEO C1 03	1678,8	72,32	4,31
GEO C1 04	1124,0	49,05	4,36

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C1 01	25643,6	2722,21	10,62
GEO C1 02	19370,8	1321,58	6,82
GEO C1 03	13816,4	1179,19	8,53
GEO C1 04	11017,6	318,81	2,89

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo C1				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO C1 01	6,0	11	16,9	11
GEO C1 02	5,5	8	12,7	7
GEO C1 03	4,1	4	9,1	9
GEO C1 04	2,8	4	7,2	3

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-C2

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C2																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y fB
GEO C2 01	07/05/18	1278,55	2441,87	2165,59	4,8	19704,80	22949,80	21498,10	21384,23	24816,20	22759,30	23869,60	23815,23	38,00	40,00	1520,00	14,07	15,67	14,9
GEO C2 02	07/05/18	1463,75	n/a	1067,35	2,1	16471,90	14257,83	14390,40	15040,04	16142,40	17777,80	13789,80	15903,33	38,00	40,00	1520,00	9,89	10,46	10,2
GEO C2 03	07/05/18	974,69	923,21	1101,67	3,7	10060,90	10465,90	10774,80	10433,87	10628,90	10098,70	9789,79	10172,46	38,00	40,00	1520,00	6,86	6,69	6,8
GEO C2 04	07/05/18	784,21	844,27	n/a	2,0	9122,26	7095,67	8518,23	8245,39	9048,48	8120,12	7250,11	8139,57	38,00	40,00	1520,00	5,42	5,35	5,4

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C2 01	1962,0	607,79	30,98
GEO C2 02	1265,6	280,30	22,15
GEO C2 03	999,9	91,85	9,19
GEO C2 04	814,2	42,47	5,22

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C2 01	22599,7	1803,90	7,98
GEO C2 02	15471,7	1564,60	10,11
GEO C2 03	10303,2	379,23	3,68
GEO C2 04	8192,5	871,74	10,64

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo C2				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO C2 01	4,8	31	14,9	8
GEO C2 02	2,1	22	10,2	10
GEO C2 03	3,7	9	6,8	4
GEO C2 04	2,0	5	5,4	11

Anexo 6.9.3 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-C3

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C3																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y fB
GEO C3 01	07/05/18	743,02	689,83	n/a	1,8	5280,14	5305,88	5607,89	5397,97	5729,73	5460,32	5534,11	5574,72	38,00	40,00	1520,00	3,55	3,67	3,6
GEO C3 02	07/05/18	1822,39	1628,49	1225,23	3,8	16928,40	15787,20	14199,90	15638,50	16188,80	16772,20	17441,40	16800,80	38,00	40,00	1520,00	10,29	11,05	10,7
GEO C3 03	07/05/18	2196,48	1888,14	2131,27	5,1	30069,50	31164,30	17693,70	26309,17	30924,10	31900,50	29887,60	30904,07	38,00	40,00	1520,00	17,31	20,33	18,8
GEO C3 04	07/05/18	1335,05	1062,21	1223,51	3,0	34479,60	33412,30	34936,10	34276,00	34402,40	37882,90	37486,10	36590,47	38,00	40,00	1520,00	22,55	24,07	23,3

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C3 01	716,4	37,61	5,25
GEO C3 02	1558,7	304,64	19,54
GEO C3 03	2072,0	162,50	7,84
GEO C3 04	1206,9	137,17	11,37

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C3 01	5486,3	174,39	3,18
GEO C3 02	16219,7	1146,09	7,07
GEO C3 03	28606,6	5396,94	18,87
GEO C3 04	35433,2	1817,61	5,13

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo C3				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO C3 01	1,8	5	3,6	3
GEO C3 02	3,8	20	10,7	7
GEO C3 03	5,1	8	18,8	19
GEO C3 04	3,0	11	23,3	5

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-C4

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C4																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y fB
GEO C4 01	07/05/18	609,18	545,68	955,81	1,7	6625,48	7390,82	6764,45	6926,92	7315,32	6290,86	6443,59	6683,26	38,00	40,00	1520,00	4,56	4,40	4,5
GEO C4 02	07/05/18	830,89	1295,58	1350,49	2,9	13125,70	13565,00	16178,50	14289,73	13537,50	14618,60	14332,00	14162,70	38,00	40,00	1520,00	9,40	9,32	9,4
GEO C4 03	07/05/18	2069,50	2042,04	2132,99	5,1	23682,50	22726,70	25309,30	23906,17	22296,00	23862,70	25338,50	23832,40	38,00	40,00	1520,00	15,73	15,68	15,7
GEO C4 04	07/05/18	2426,43	2273,70	2047,19	5,5	29772,60	25148,26	24374,10	26431,65	26489,90	23260,40	21060,50	23603,60	38,00	40,00	1520,00	17,39	15,53	16,5

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C4 01	703,6	220,75	31,38
GEO C4 02	1159,0	285,46	24,63
GEO C4 03	2081,5	46,65	2,24
GEO C4 04	2249,1	190,81	8,48

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C4 01	6805,1	454,41	6,68
GEO C4 02	14226,2	1104,47	7,76
GEO C4 03	23869,3	1268,69	5,32
GEO C4 04	25017,6	2964,97	11,85

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo C4				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO C4 01	1,7	31	4,5	7
GEO C4 02	2,9	25	9,4	8
GEO C4 03	5,1	2	15,7	5
GEO C4 04	5,5	8	16,5	12

Anexo 6.9.3 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-C5

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C5																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y f B
GEO C5 01	07/05/18	1475,76	n/a	1748,61	4,0	22035,20	21237,20	22371,50	21881,30	22433,30	22438,40	23672,20	22847,97	38,00	40,00	1520,00	14,40	15,03	14,7
GEO C5 02	07/05/18	1990,56	1369,37	2167,31	4,5	25031,30	28550,80	26429,90	26670,67	24681,30	26567,10	27766,60	26338,33	38,00	40,00	1520,00	17,55	17,33	17,4
GEO C5 03	07/05/18	2850,28	2421,28	2321,75	6,2	27909,10	29673,10	25947,70	27843,30	26258,30	27169,50	27728,90	27052,23	38,00	40,00	1520,00	18,32	17,80	18,1
GEO C5 04	07/05/18	2659,80	2259,97	2661,52	6,2	32890,60	23351,40	29690,30	28644,10	35112,80	27553,60	27368,50	30011,63	38,00	40,00	1520,00	18,84	19,74	19,3

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C5 01	1612,2	192,93	11,97
GEO C5 02	1842,4	419,09	22,75
GEO C5 03	2531,1	280,86	11,10
GEO C5 04	2527,1	231,34	9,15

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C5 01	22364,6	787,35	3,52
GEO C5 02	26504,5	1502,27	5,67
GEO C5 03	27447,8	1340,63	4,88
GEO C5 04	29327,9	4218,89	14,39

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo C5				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO C5 01	4,0	12	14,7	4
GEO C5 02	4,5	23	17,4	6
GEO C5 03	6,2	11	18,1	5
GEO C5 04	6,2	9	19,3	14

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-C6

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo C6																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y f B
GEO C6 01	07/05/18	1796,65	1520,38	2278,85	4,6	17010,70	14690,70	15147,10	15616,17	16648,60	15140,30	17475,80	16421,57	38,00	40,00	1520,00	10,27	10,80	10,5
GEO C6 02	07/05/18	1774,35	1848,13	1861,86	4,5	15596,70	20068,60	17798,40	17821,23	17839,60	17467,20	18656,40	17987,73	38,00	40,00	1520,00	11,72	11,83	11,8
GEO C6 03	07/05/18	1774,35	2151,87	2644,36	5,4	21158,30	22764,50	22467,60	22130,13	23989,70	24959,20	18876,00	22608,30	38,00	40,00	1520,00	14,56	14,87	14,7
GEO C6 04	07/05/18	2256,54	2256,54	2508,79	5,8	24890,60	21616,50	25891,00	24132,70	22970,40	24494,20	22872,60	23445,73	38,00	40,00	1520,00	15,88	15,42	15,7

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C6 01	1865,3	383,87	20,58
GEO C6 02	1828,1	47,06	2,57
GEO C6 03	2190,2	436,27	19,92
GEO C6 04	2340,6	145,64	6,22

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO C6 01	16018,9	1166,09	7,28
GEO C6 02	17904,5	1468,42	8,20
GEO C6 03	22369,2	2152,62	9,62
GEO C6 04	23789,2	1572,19	6,61

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo C6				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO C6 01	4,6	21	10,5	7
GEO C6 02	4,5	3	11,8	8
GEO C6 03	5,4	20	14,7	10
GEO C6 04	5,8	6	15,7	7

Anexo 6.9.4 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-D1

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo D1																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y fB
GEO D1 01	09/05/18	2574,00	2577,43	2102,10	6,0	32156,20	26290,90	21887,60	26778,23	28284,90	23993,10	21356,60	24544,87	38,00	40,00	1520,00	17,62	16,15	16,9
GEO D1 02	09/05/18	2103,82	2493,35	2839,98	6,1	31145,40	33752,00	32669,20	32522,20	32648,60	33734,90	32954,10	33112,53	38,00	40,00	1520,00	21,40	21,78	21,6
GEO D1 03	09/05/18	3466,32	3205,49	3279,28	8,2	35660,20	28518,20	36463,30	33547,23	33086,20	33314,50	33897,90	33432,87	38,00	40,00	1520,00	22,07	22,00	22,0
GEO D1 04	09/05/18	1252,68	2148,43	2776,49	5,1	37858,40	36904,30	32461,60	35741,43	35042,50	27861,00	36799,70	33234,40	38,00	40,00	1520,00	23,51	21,86	22,7

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO D1 01	2417,8	273,45	11,31
GEO D1 02	2479,1	368,29	14,86
GEO D1 03	3317,0	134,45	4,05
GEO D1 04	2059,2	765,81	37,19

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO D1 01	25661,6	4123,53	16,07
GEO D1 02	32817,4	957,08	2,92
GEO D1 03	33490,1	2779,54	8,30
GEO D1 04	34487,9	3764,92	10,92

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo D1				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO D1 01	6,0	11	16,9	16
GEO D1 02	6,1	15	21,6	3
GEO D1 03	8,2	4	22,0	8
GEO D1 04	5,1	37	22,7	11

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-D2

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo D2																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio fA y fB
GEO D2 01	09/05/18	1439,73	1084,51	1283,57	3,1	16276,30	16060,10	16386,10	16240,83	15833,50	14905,20	17419,10	16052,60	38,00	40,00	1520,00	10,68	10,56	10,6
GEO D2 02	09/05/18	1453,45	1716,00	1676,53	4,0	16595,50	18109,00	17302,40	17335,63	18459,00	17127,40	17952,80	17846,40	38,00	40,00	1520,00	11,41	11,74	11,6
GEO D2 03	09/05/18	1202,92	1209,78	1455,17	3,2	16027,50	15047,60	16010,30	15695,13	15615,60	15902,20	16646,90	16054,90	38,00	40,00	1520,00	10,33	10,56	10,4
GEO D2 04	09/05/18	1386,53	1487,77	1336,77	3,5	16914,60	14105,50	15454,30	15491,47	17573,60	13082,80	16242,00	15632,80	38,00	40,00	1520,00	10,19	10,28	10,2

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO D2 01	1269,3	178,04	14,03
GEO D2 02	1615,3	141,57	8,76
GEO D2 03	1289,3	143,70	11,15
GEO D2 04	1403,7	76,95	5,48

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO D2 01	16146,7	817,32	5,06
GEO D2 02	17591,0	698,84	3,97
GEO D2 03	15875,0	527,26	3,32
GEO D2 04	15562,1	1709,85	10,99

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo D2				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO D2 01	3,1	14	10,6	5
GEO D2 02	4,0	9	11,6	4
GEO D2 03	3,2	11	10,4	3
GEO D2 04	3,5	5	10,2	11

Anexo 6.9.5 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-E1, GEO-E2 y GEO-E3

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E1																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
GEO E1 01	10/05/18	509,65	274,56	492,49	1,0	3510,94	2815,96	2982,41	3103,10	3565,85	2580,87	3323,90	3156,87	38,00	40,00	1520,00	2,04	2,08	2,1
GEO E1 02	10/05/18	221,36	312,31	260,83	0,7	3766,62	4224,80	4420,42	4137,28	4187,04	4137,28	4264,26	4196,19	38,00	40,00	1520,00	2,72	2,76	2,7

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E1 01	425,6	131,06	30,80
GEO E1 02	264,8	45,61	17,22

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E1 01	3130,0	398,65	12,74
GEO E1 02	4166,7	218,45	5,24

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo E1				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO E1 01	1,0	31	2,1	13
GEO E1 02	0,7	17	2,7	5

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E2																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
GEO E2 01	10/05/18	247,10	212,78	0,00	0,6	2958,39	3085,37	3193,48	3079,08	2752,47	3069,93	2824,54	2882,31	38,00	40,00	1520,00	2,03	1,90	2,0
GEO E2 02	10/05/18	253,97	221,36	229,94	0,9	2687,26	2805,66	2625,48	2706,13	2740,45	2694,12	2263,41	2565,99	38,00	40,00	1520,00	1,78	1,69	1,7

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E2 01	153,3	133,86	87,32
GEO E2 02	235,1	16,90	7,19

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E2 01	2980,7	168,03	5,64
GEO E2 02	2636,1	192,16	7,29

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo E2				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO E2 01	0,6	87	2,0	6
GEO E2 02	0,9	7	1,7	7

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E3																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
GEO E3 01	10/05/18	444,44	408,41	501,07	1,7	2537,97	3468,04	2723,29	2909,77	2855,43	2915,49	2723,29	2831,40	38,00	40,00	1520,00	1,91	1,86	1,9
GEO E3 02	10/05/18	338,05	338,05	216,22	0,7	3178,04	3047,62	2977,26	3067,64	3020,16	3145,43	2845,13	3003,57	38,00	40,00	1520,00	2,02	1,98	2,0

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E3 01	451,3	46,71	10,35
GEO E3 02	297,4	70,34	23,65

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E3 01	2870,6	320,38	11,16
GEO E3 02	3035,6	120,35	3,96

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo E3				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO E3 01	1,7	10	1,9	11
GEO E3 02	0,7	24	2,0	4

Anexo 6.9.5 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-E4, GEO-E5 y GEO-E6

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E4																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
GEO E4 01	10/05/18	461,60	392,96	429,00	1,6	2997,85	3601,89	2975,55	3191,76	3540,11	3680,32	3214,07	3478,17	38,00	40,00	1520,00	2,10	2,29	2,2
GEO E4 02	10/05/18	305,45	277,99	284,86	1,1	2148,43	1786,36	2230,80	2055,20	2335,48	2134,71	2426,43	2298,87	38,00	40,00	1520,00	1,35	1,51	1,4

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E4 01	427,9	34,33	8,02
GEO E4 02	289,4	14,29	4,94

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E4 01	3335,0	313,06	9,39
GEO E4 02	2177,0	221,55	10,18

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo E4				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO E4 01	1,6	8	2,2	9
GEO E4 02	1,1	5	1,4	10

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E5																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
GEO E5 01	15/05/18	1650,79	1681,68	1492,92	4,0	7334,19	15032,20	13619,90	11995,43	15275,80	16525,10	15172,90	15657,93	38,00	40,00	1520,00	7,89	10,30	9,1
GEO E5 02	15/05/18	597,17	612,61	461,60	1,4	15605,30	6996,14	6610,04	9737,16	6833,12	6719,86	7212,36	6921,78	38,00	40,00	1520,00	6,41	4,55	5,5

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E5 01	1608,5	101,25	6,29
GEO E5 02	557,1	83,09	14,91

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E5 01	13826,7	3311,86	23,95
GEO E5 02	8329,5	3570,71	42,87

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo E5				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO E5 01	4,0	6	9,1	24
GEO E5 02	1,4	15	5,5	43

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos - ENSAYO Geo E6																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm2)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
GEO E6 01	15/05/18	1312,74	1853,28	1520,38	3,9	15111,10	14023,20	14663,20	14599,17	13362,50	13438,00	17594,20	14798,23	38,00	40,00	1520,00	9,60	9,74	9,7
GEO E6 02	15/05/18	988,42	971,26	1087,95	2,5	8657,23	9801,80	6932,65	8463,89	8724,15	9748,61	10193,10	9555,29	38,00	40,00	1520,00	5,57	6,29	5,9

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E6 01	1562,1	272,68	17,46
GEO E6 02	1015,9	63,01	6,20

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO E6 01	14698,7	1573,93	10,71
GEO E6 02	9009,6	1191,11	13,22

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo E6				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO E6 01	3,9	17	9,7	11
GEO E6 02	2,5	6	5,9	13

Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Ensayos complementarios

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental GEO-FP

Resistencia Mecánica - Campaña - ENSAYO Geo FP																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
GEO-FP1	14/02/18	2067,78	2076,36	2386,96	5,4	22797,10	25216,60	26913,80	24975,83	13527,20	23670,50	30747,30	22648,33	38,00	40,00	1520,00	16,43	14,90	15,7
GEO-FP4	14/02/18	2508,79	2175,89	1842,99	5,4	25367,70	26040,30	23260,40	24889,47	21753,80	23898,80	23397,70	23016,77	38,00	40,00	1520,00	16,37	15,14	15,8
GEO-FP6	14/02/18	2007,72	1978,55	2019,73	4,9	20554,30	18193,10	19097,40	19281,60	18788,50	17954,50	13558,10	16767,03	38,00	40,00	1520,00	12,69	11,03	11,9
GEO-FP8	14/02/18	1566,71	n/a	1738,31	4,1	15567,60	14009,40	14493,40	14690,13	14527,70	12741,30	13666,20	13645,07	38,00	40,00	1520,00	9,66	8,98	9,3

Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO-FP1	2177,0	181,85	8,35
GEO-FP4	2175,9	332,90	15,30
GEO-FP6	2002,0	21,18	1,06
GEO-FP8	1652,5	121,34	7,34

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
GEO-FP1	23812,1	5770,95	24,24
GEO-FP4	23953,1	1548,27	6,46
GEO-FP6	18024,3	2371,36	13,16
GEO-FP8	14167,6	949,38	6,70

Resistencia Mecánica - ENSAYO Geo F				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
GEO-FP1	5,4	8	15,7	24
GEO-FP4	5,4	15	15,8	6
GEO-FP6	4,9	1	11,9	13
GEO-FP8	4,1	7	9,3	7

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P01

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P01																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (fcf)				Rotura Compresión f A				Rotura Compresión f B				Dimensiones (Ac)			fA / Ac	fB / Ac	fc
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	fcf	AM1	AM2	AM3	f A	BM1	BM2	BM3	f B	d1	d2	Ac	f A	f B	Promedio f A y f B
P01-01	20/06/17	245,17	225,55	176,52	0,5	1529,83	1500,41	1569,06	1533,10	1363,12	1274,86	1951,51	1529,83	38,00	40,00	1520,00	1,01	1,01	1,0
P01-02	20/06/17	186,33	156,91	147,10	0,4	1618,09	1235,63	1343,50	1399,07	1451,38	1166,99	1470,99	1363,12	38,00	40,00	1520,00	0,92	0,90	0,9
P01-03	20/06/17	107,87	98,07	78,45	0,2	784,53	676,66	804,14	755,11	647,24	794,33	647,24	696,27	38,00	40,00	1520,00	0,50	0,46	0,5
P01-04	20/06/17	117,68	127,49	127,49	0,3	1127,76	970,85	1078,73	1059,11	921,82	1088,53	1216,02	1075,46	38,00	40,00	1520,00	0,70	0,71	0,7

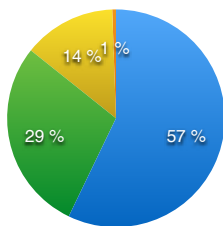
Flexión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P01-01	215,7	35,36	16,39
P01-02	163,4	20,41	12,49
P01-03	94,8	14,98	15,80
P01-04	124,2	5,66	4,56

Compresión			
Código	Rotura Flexión (fcf)		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P01-01	1531,5	233,67	15,26
P01-02	1381,1	165,89	12,01
P01-03	725,7	76,21	10,50
P01-04	1067,3	106,60	9,99

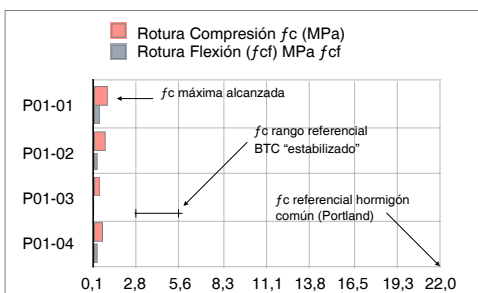
Resistencia Mecánica - ENSAYO P01				
Código	Rotura Flexión (fcf)		Rotura Compresión fc	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	fcf	%	fc	%
P01-01	0,5	16	1,0	15
P01-02	0,4	12	0,9	12
P01-03	0,2	16	0,5	11
P01-04	0,3	5	0,7	10

Característica de Muestra	
P01-01	
Material	(Gramos)
Arcilla	1000,0
Arena	500,0
Agua	240,4
NaOH	9,6
Na ₂ SiO ₃	0,0

● Arcilla ● Arena ● Agua ● NaOH

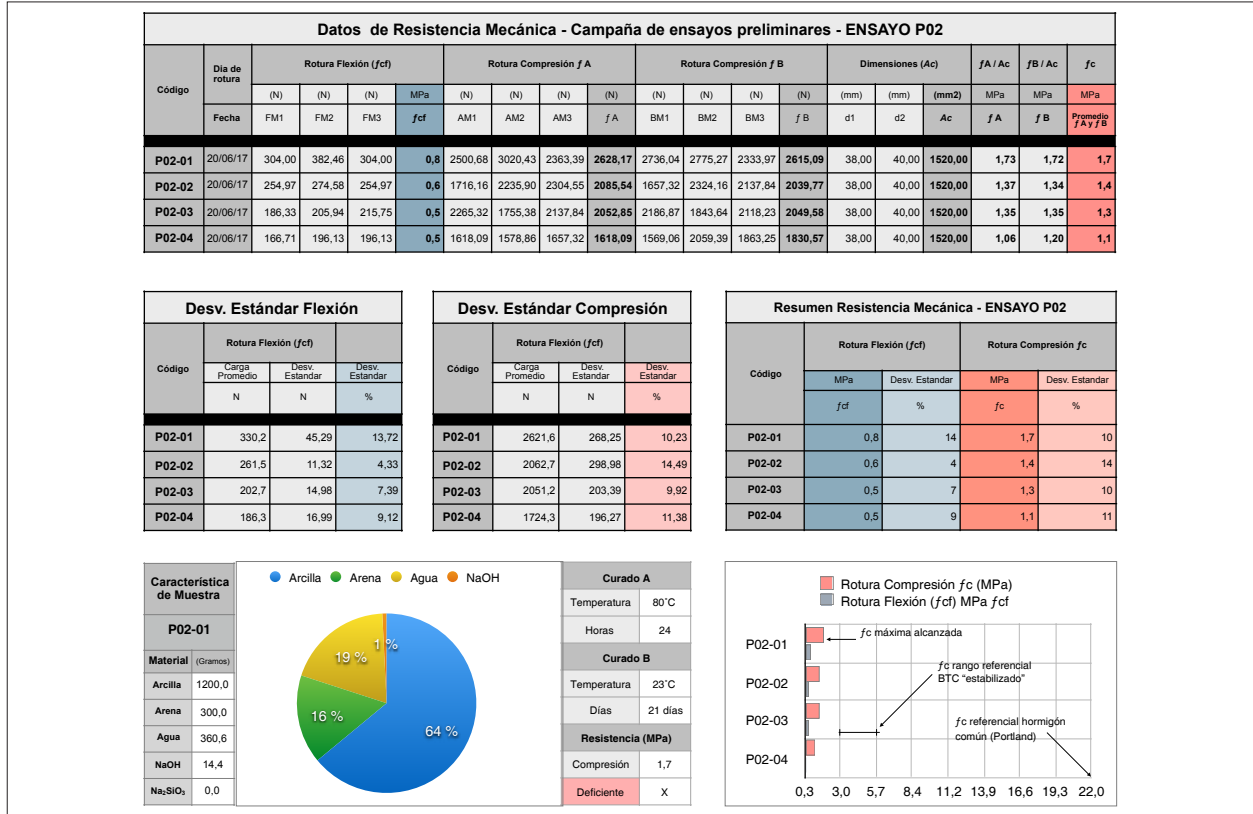


Curado A	
Temperatura	80°C
Horas	24
Curado B	
Temperatura	23°C
Días	21 días
Resistencia (MPa)	
Compresión	1
Deficiente	X

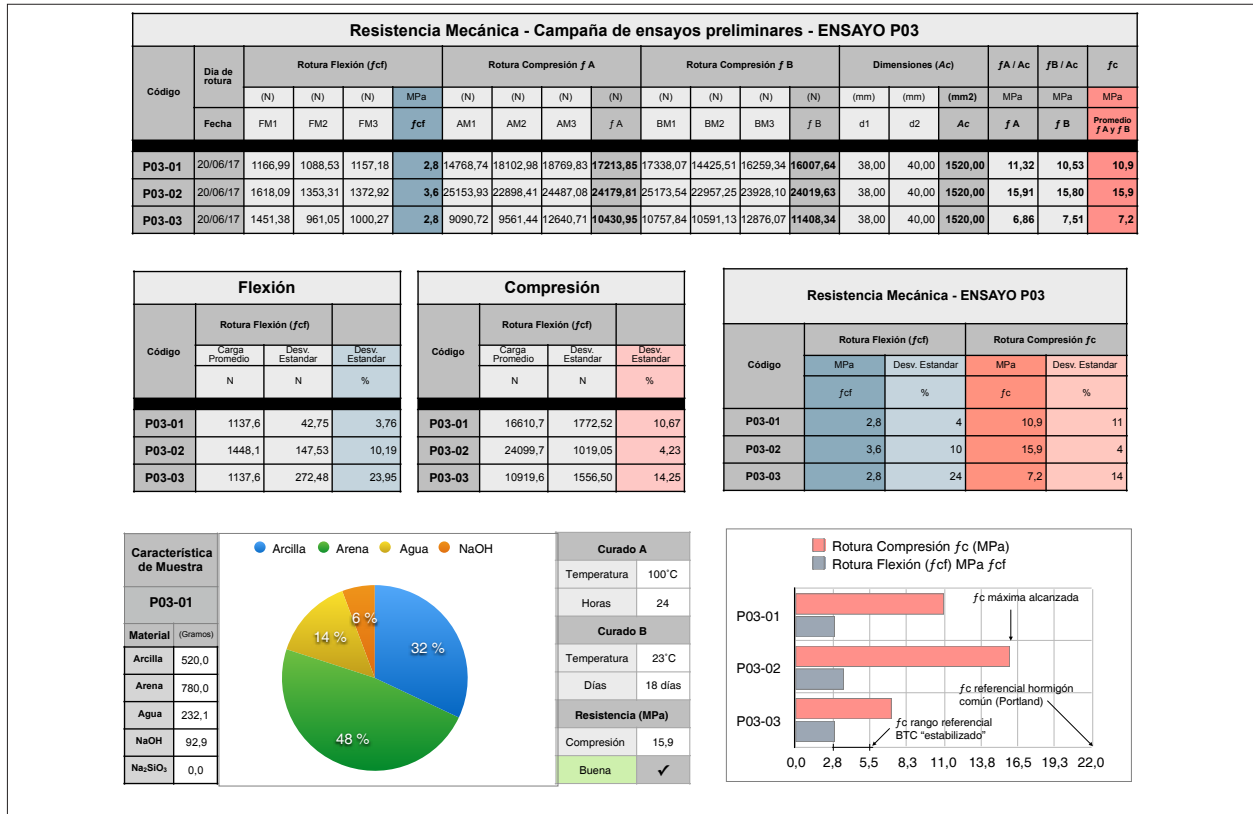


Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P02

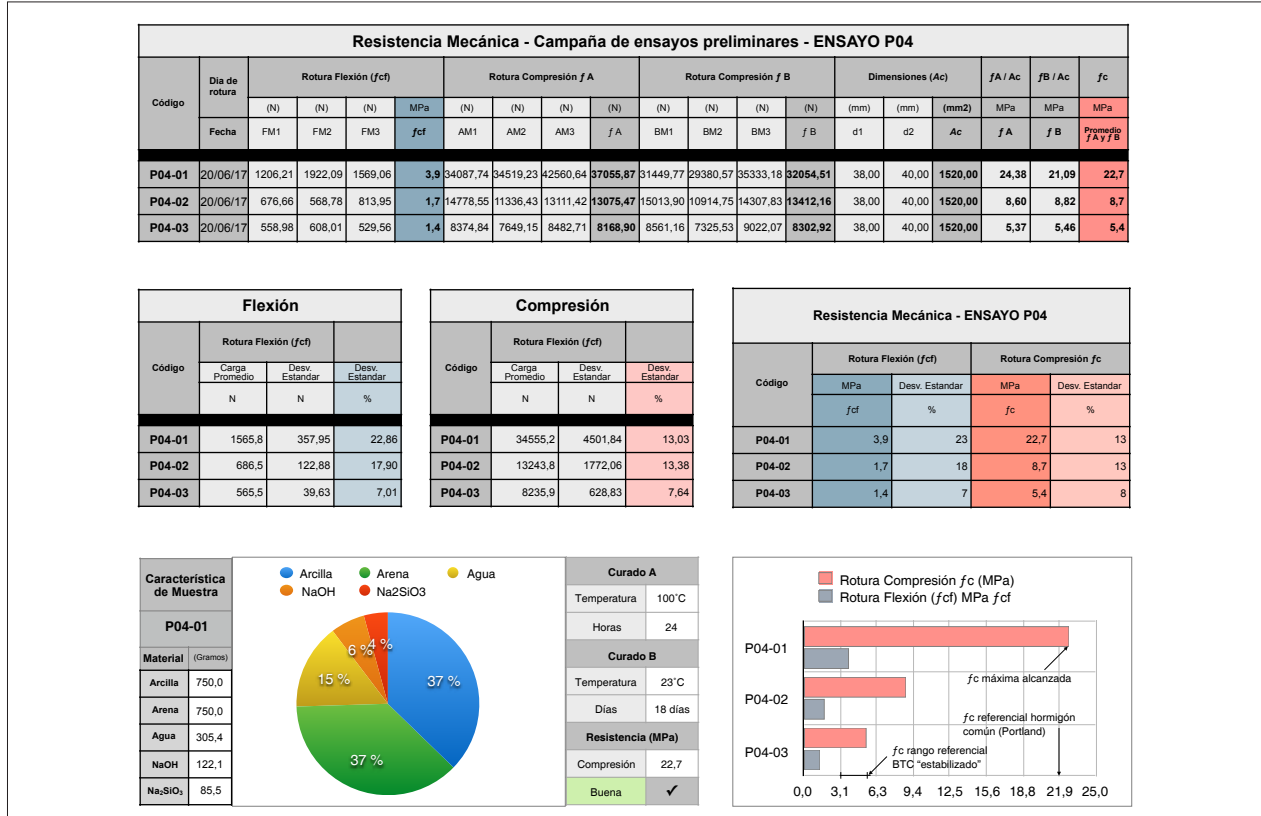


Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P03

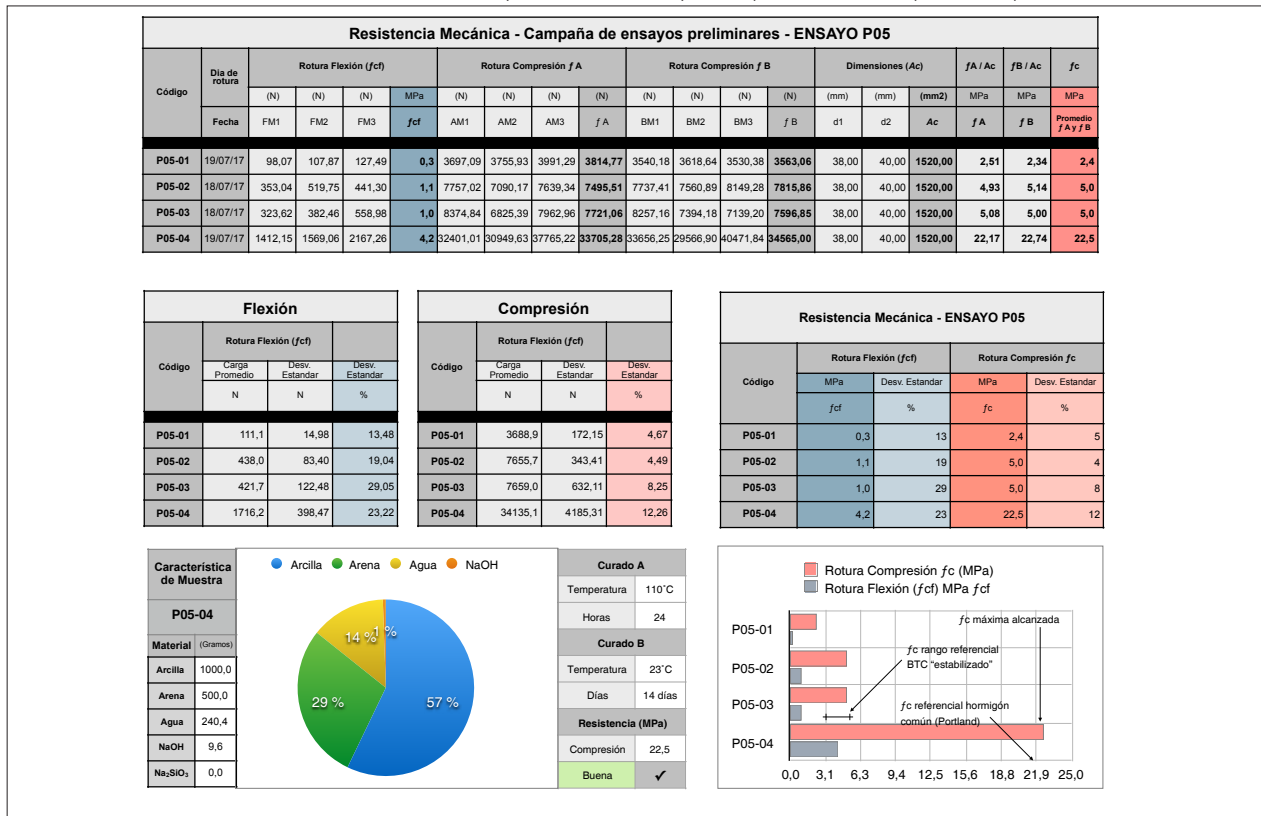


Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P04



Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P05



Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P06

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P06																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (f _{cf})				Rotura Compresión f _A				Rotura Compresión f _B				Dimensiones (Ac)			f _A / Ac	f _B / Ac	f _c
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	f _{cf}	AM1	AM2	AM3	f _A	BM1	BM2	BM3	f _B	d1	d2	Ac	f _A	f _B	Promedio f _A y f _B
P06-01	19/07/17	784,53	853,17	931,63	2,1	7060,75	7109,79	7060,75	7077,10	6344,87	6913,65	6266,42	6508,31	38,50	40,00	1540,00	4,60	4,23	4,4
P06-02	17/07/17	558,98	362,84	588,40	1,2	8796,52	8404,26	7247,08	8149,28	9904,67	8237,54	6766,55	8302,92	39,00	40,00	1560,00	5,22	5,32	5,3
P06-03	17/07/17	1853,45	1765,19	2745,85	5,2	35411,63	27095,64	36049,06	32852,11	31037,89	27693,84	36205,97	31645,90	39,00	40,00	1560,00	21,06	20,29	20,7
P06-04	18/07/17	3363,66	3491,15	4089,35	9,0	44306,22	44316,03	49258,55	45960,27	36539,39	48385,76	48248,47	44391,21	39,00	40,00	1560,00	29,46	28,46	29,0

Flexión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P06-01	856,4	73,60	8,59
P06-02	503,4	122,62	24,36
P06-03	2121,5	542,50	25,57
P06-04	3648,1	387,45	10,62

Compresión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P06-01	6792,7	383,77	5,65
P06-02	8226,1	1119,25	13,61
P06-03	32249,0	4216,01	13,07
P06-04	45175,7	4743,35	10,50

Resistencia Mecánica - ENSAYO P06				
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		Rotura Compresión f _c	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	f _{cf}	%	f _c	%
P06-01	2,1	9	4,4	6
P06-02	1,2	24	5,3	14
P06-03	5,2	26	20,7	13
P06-04	9,0	11	29,0	10

Característica de Muestra		Curado A			
P06-04		Temperatura	110 °C		
		Horas	24		
		Temperatura	23 °C		
		Días	14 días		
		Resistencia (MPa)	29,0		
		Compresión	Buena ✓		

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P07

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P07																			
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (f _{cf})				Rotura Compresión f _A				Rotura Compresión f _B				Dimensiones (Ac)			f _A / Ac	f _B / Ac	f _c
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa
	Fecha	FM1	FM2	FM3	f _{cf}	AM1	AM2	AM3	f _A	BM1	BM2	BM3	f _B	d1	d2	Ac	f _A	f _B	Promedio f _A y f _B
P07-01	27/07/17	3226,37	1980,93	3363,66	7,0	40618,94	42472,38	40452,23	41181,18	42050,70	36372,68	37206,24	38543,21	39,00	40,00	1560,00	26,40	24,71	25,6
P07-02	27/07/17	3324,44	3157,73	3648,06	8,3	29900,32	35990,22	33195,34	33028,63	33803,35	41511,34	38245,74	37853,48	39,00	40,00	1560,00	21,17	24,27	22,7
P07-03	27/07/17	2235,90	3520,57	1833,83	6,2	34803,62	30979,05	34764,40	33515,69	33126,69	31273,25	39226,40	34542,11	38,00	40,00	1520,00	22,05	22,73	22,4
P07-04	27/07/17	3952,06	4197,22	3569,60	9,6	33067,86	41413,27	40932,75	38471,29	36490,36	37392,57	38235,93	37372,95	38,00	40,00	1520,00	25,31	24,59	24,9

Flexión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P07-01	2857,0	761,79	26,66
P07-02	3376,7	249,31	7,38
P07-03	2530,1	861,01	34,82
P07-04	3906,3	316,30	8,10

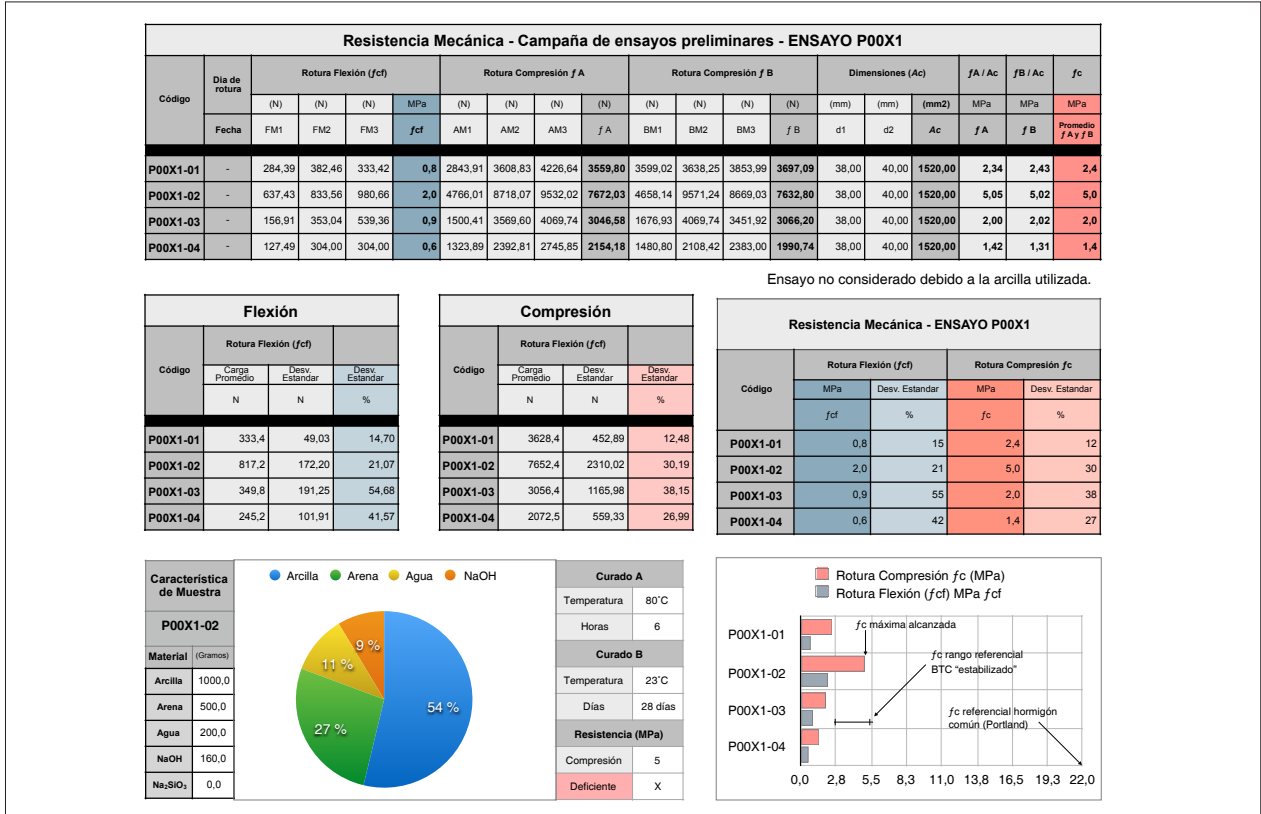
Compresión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P07-01	6792,7	383,77	5,65
P07-02	8226,1	1119,25	13,61
P07-03	32249,0	4216,01	13,07
P07-04	45175,7	4743,35	10,50

Resistencia Mecánica - ENSAYO P07				
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		Rotura Compresión f _c	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	f _{cf}	%	f _c	%
P07-01	7,0	27	25,6	6
P07-02	8,3	7	22,7	14
P07-03	6,2	35	22,4	13
P07-04	9,6	8	24,9	10

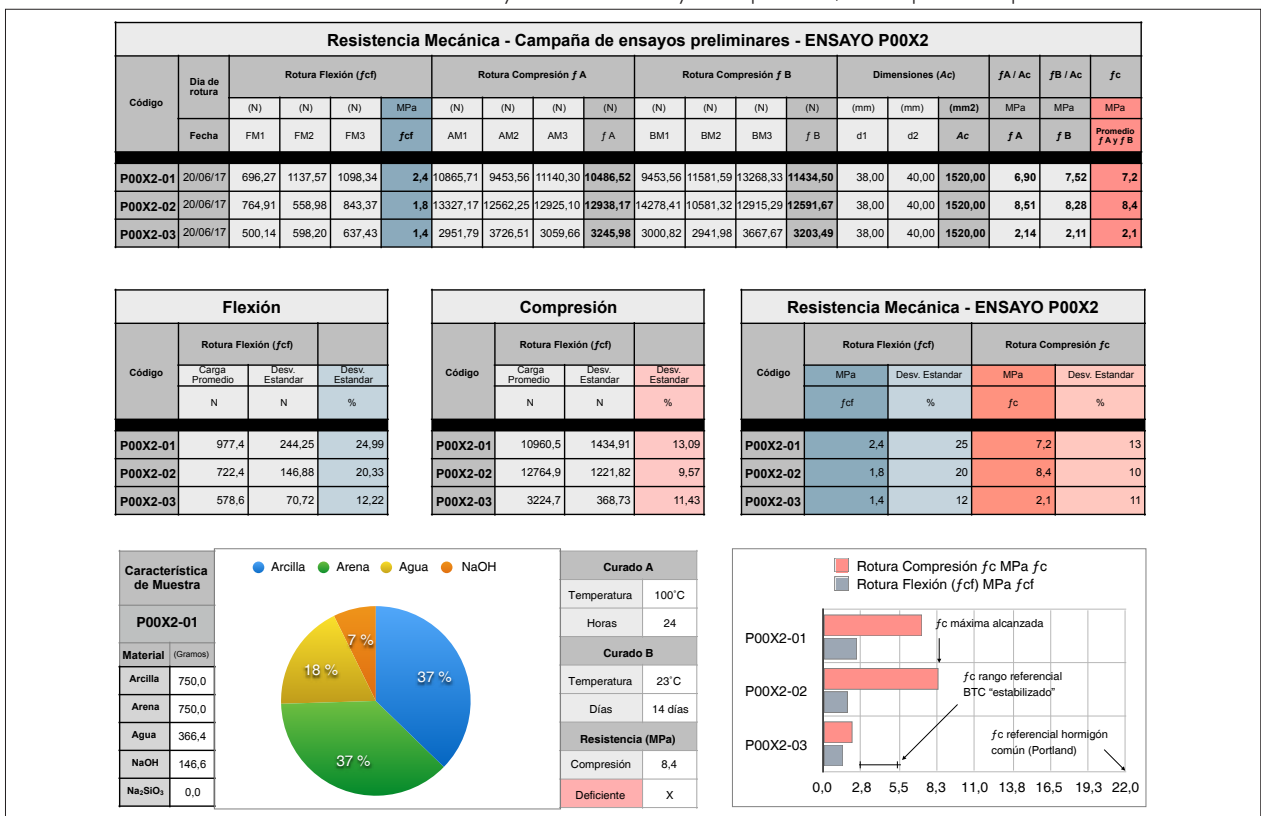
Característica de Muestra		Curado A			
P07-01		Temperatura	100 °C		
		Horas	4		
		Temperatura	23 °C		
		Días	14 días		
		Resistencia (MPa)	25,6		
		Compresión	Buena ✓		

Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X1

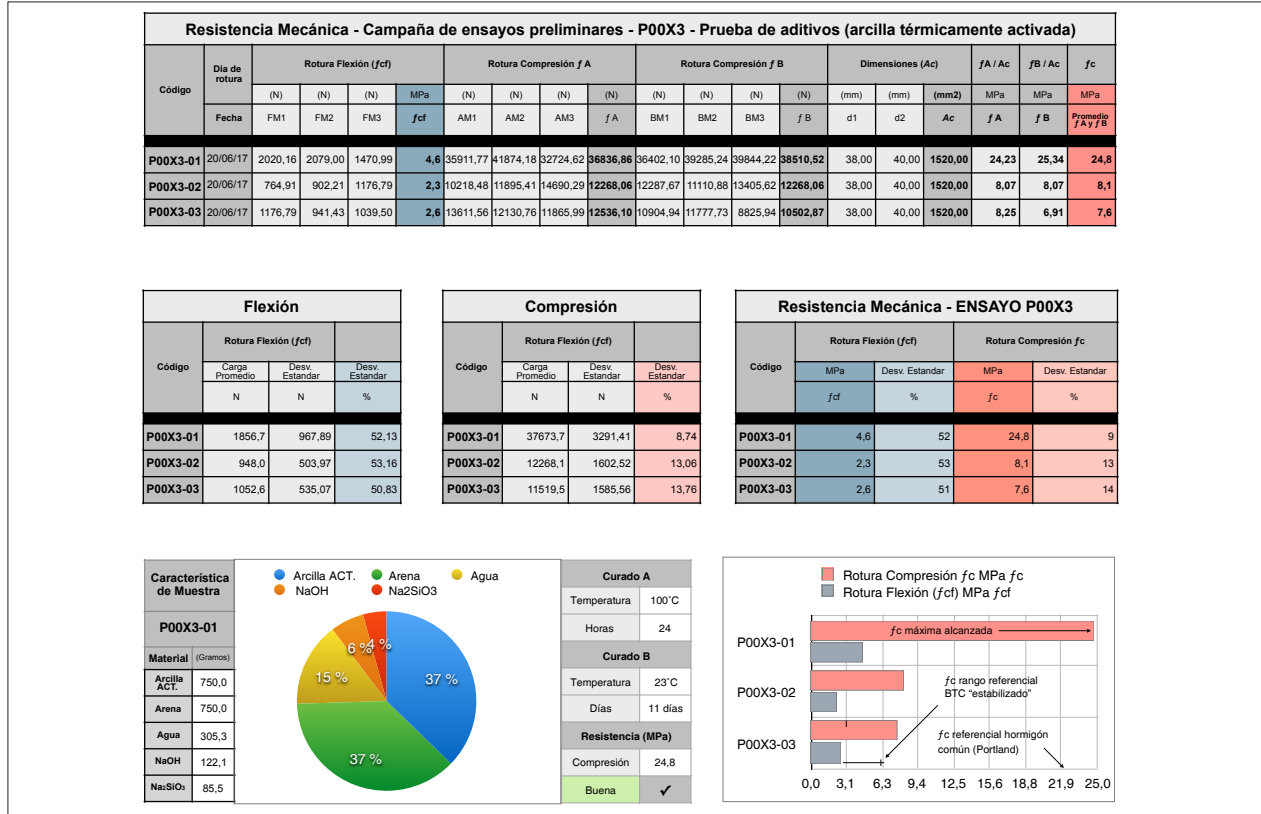


Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X2

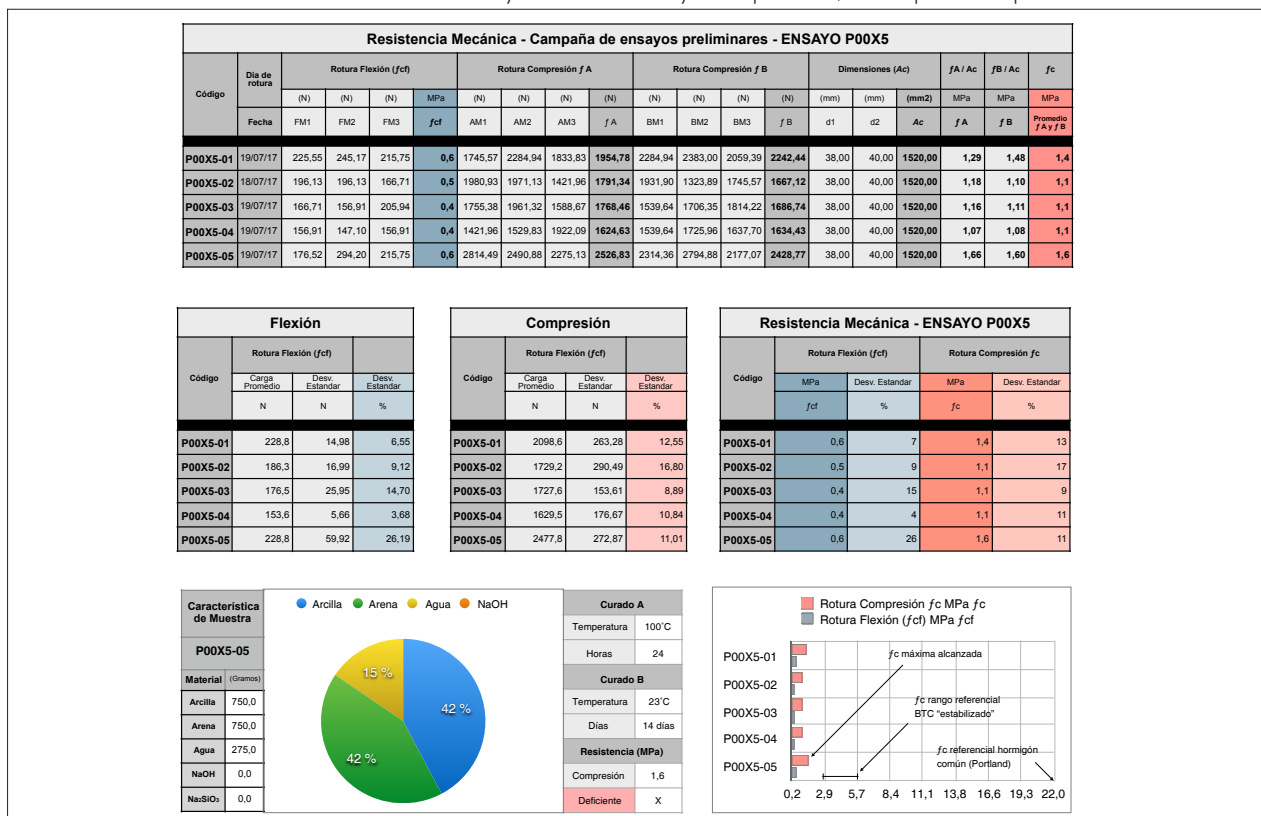


Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X3

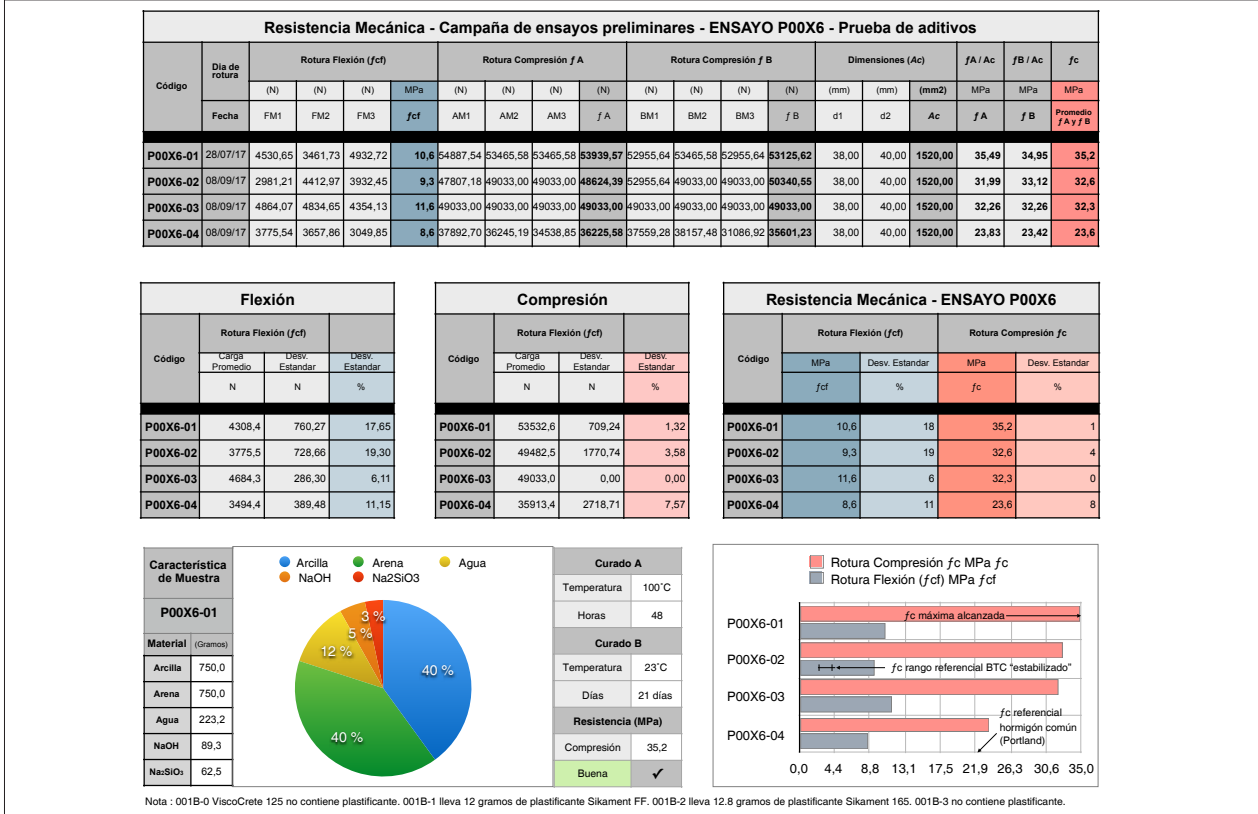


Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X5

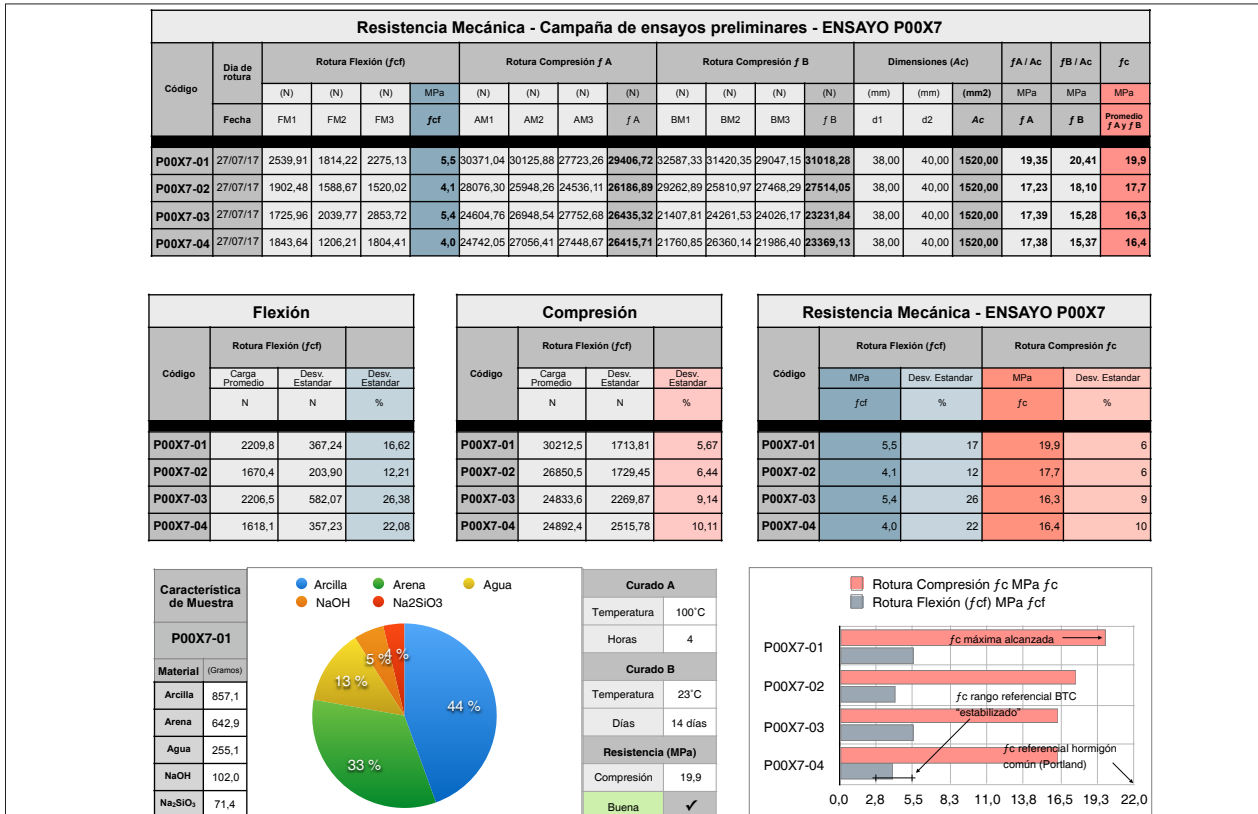


Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión: de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X6



Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X7



Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X8

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X8																				
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (f _{cf})				Rotura Compresión f _A				Rotura Compresión f _B				Dimensiones (Ac)			f _A / Ac	f _B / Ac	f _c	
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa	MPa
		Fecha	FM1	FM2	FM3	f _{cf}	AM1	AM2	AM3	f _A	BM1	BM2	BM3	f _B	d1	d2	Ac	f _A	f _B	Promedio f _A /f _B
P00X8-01	29/07/17	2226,10	2157,45	1765,19	5,1	26752,40	30910,40	34774,20	30812,34	25614,84	24849,92	32567,72	27677,49	38,00	40,00	1520,00	20,27	18,21	19,2	
P00X8-02	29/07/17	2834,11	2392,81	2569,33	6,4	31989,13	28341,07	28988,31	29772,84	34999,76	28390,11	31371,31	31587,06	38,00	40,00	1520,00	19,59	20,78	20,2	
P00X8-03	29/07/17	2363,39	2520,30	2500,68	6,1	31184,99	31469,38	33626,83	32093,73	31557,64	34519,23	35392,02	33822,96	38,00	40,00	1520,00	21,11	22,25	21,7	
P00X8-04	29/07/17	2039,77	1931,90	2235,90	5,1	32616,75	26703,37	31106,54	30142,22	30675,04	29655,16	25114,70	28481,64	38,00	40,00	1520,00	19,83	18,74	19,3	

Flexión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P00X8-01	2049,6	248,67	12,13
P00X8-02	2598,7	222,11	8,55
P00X8-03	2461,5	85,49	3,47
P00X8-04	2069,2	154,12	7,45

Compresión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P00X8-01	29244,9	4076,61	13,94
P00X8-02	30679,9	2624,04	8,55
P00X8-03	32958,3	1796,10	5,45
P00X8-04	29311,9	2847,44	9,71

Resistencia Mecánica - ENSAYO P00X8				
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		Rotura Compresión f _c	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	f _{cf}	%	f _c	%
P00X8-01	5,1	12	19,2	14
P00X8-02	6,4	9	20,2	9
P00X8-03	6,1	3	21,7	5
P00X8-04	5,1	7	19,3	10

Característica de Muestra		Arcilla	Arena	Agua	NaOH	Na ₂ SiO ₃
P00X8-03		36%	45%	11%	4%	3%

Curado A	
Temperatura	100 °C
Horas	4

Curado B	
Temperatura	23 °C
Días	14 días

Resistencia (MPa)	
Compresión	21,7
	Buena ✓

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X9

Resistencia Mecánica - Campaña de ensayos preliminares - ENSAYO P00X9																				
Código	Dia de rotura	Rotura Flexión (f _{cf})				Rotura Compresión f _A				Rotura Compresión f _B				Dimensiones (Ac)			f _A / Ac	f _B / Ac	f _c	
		(N)	(N)	(N)	MPa	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa	MPa
		Fecha	FM1	FM2	FM3	f _{cf}	AM1	AM2	AM3	f _A	BM1	BM2	BM3	f _B	d1	d2	Ac	f _A	f _B	Promedio f _A /f _B
P00X9-01	29/07/17	588,40	490,33	490,33	1,3	10434,22	9345,69	11081,46	10287,12	10277,32	10493,06	12326,90	11032,43	38,00	40,00	1520,00	6,77	7,26	7,0	
P00X9-02	29/07/17	333,42	343,23	323,62	0,8	6864,62	7786,44	7276,50	7309,19	8678,84	9747,76	7276,50	8567,70	38,00	40,00	1520,00	4,81	5,64	5,2	
P00X9-03	29/07/17	333,42	323,62	372,65	0,8	10277,32	7335,34	7825,67	8479,44	8119,86	8963,23	7345,14	8142,75	38,00	40,00	1520,00	5,68	5,36	5,5	
P00X9-04	29/07/17	529,56	421,68	362,84	1,1	8737,68	10640,16	11140,30	10172,71	12140,57	8933,81	8296,38	9790,26	38,00	40,00	1520,00	6,69	6,44	6,6	

Flexión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P00X9-01	523,0	56,62	10,83
P00X9-02	333,4	9,81	2,94
P00X9-03	343,2	25,95	7,56
P00X9-04	438,0	84,55	19,30

Compresión			
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		
	Carga Promedio	Desv. Estandar	Desv. Estandar
	N	N	%
P00X9-01	10659,8	990,85	9,30
P00X9-02	7938,4	1083,92	13,65
P00X9-03	8311,1	1135,67	13,66
P00X9-04	9981,5	1544,19	15,47

Resistencia Mecánica - ENSAYO P00X9				
Código	Rotura Flexión (f _{cf})		Rotura Compresión f _c	
	MPa	Desv. Estandar	MPa	Desv. Estandar
	f _{cf}	%	f _c	%
P00X9-01	1,3	11	7,0	9
P00X9-02	0,8	3	5,2	14
P00X9-03	0,8	8	5,5	14
P00X9-04	1,1	19	6,6	15

Característica de Muestra		Arcilla	Arena	Agua	NaOH	Na ₂ SiO ₃
P00X9-01		44%	33%	13%	5%	5%

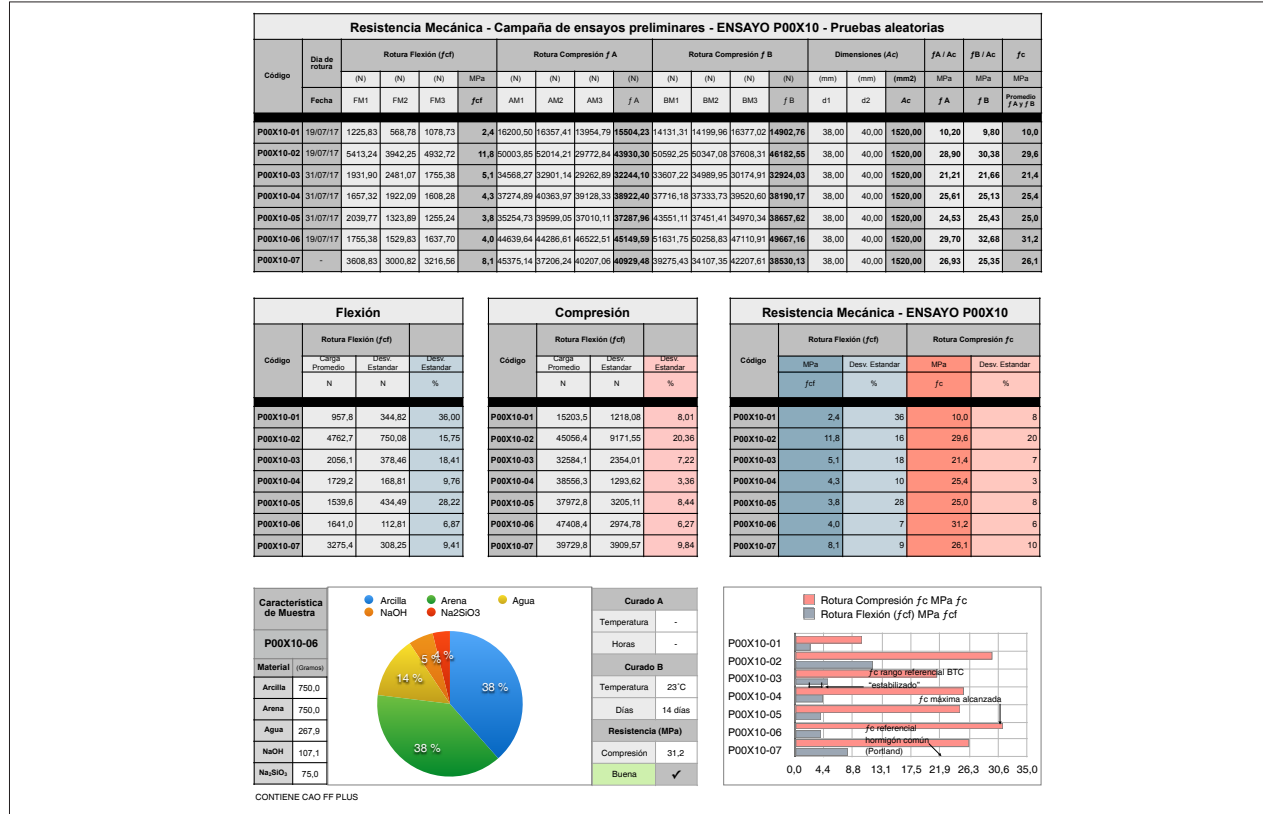
Curado A	
Temperatura	100 °C
Horas	4

Curado B	
Temperatura	23 °C
Días	14 días

Resistencia (MPa)	
Compresión	7
	Deficiente X

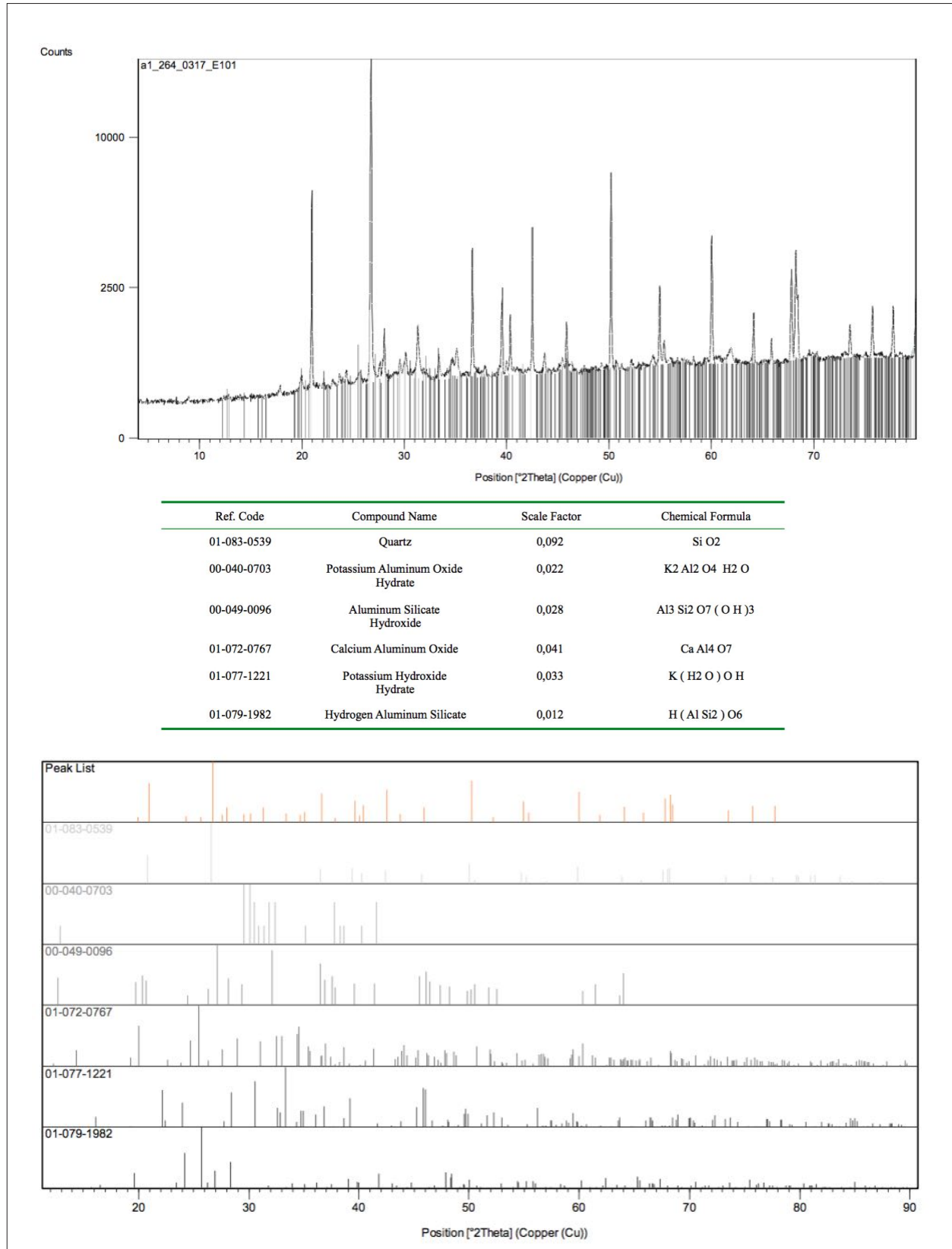
Anexo 6.9.6 Resistencia a la compresión y flexión de geo-polímeros a base de arcilla

Datos recolectados de los diferentes ensayos de flexión y compresión, Campaña experimental P00X10



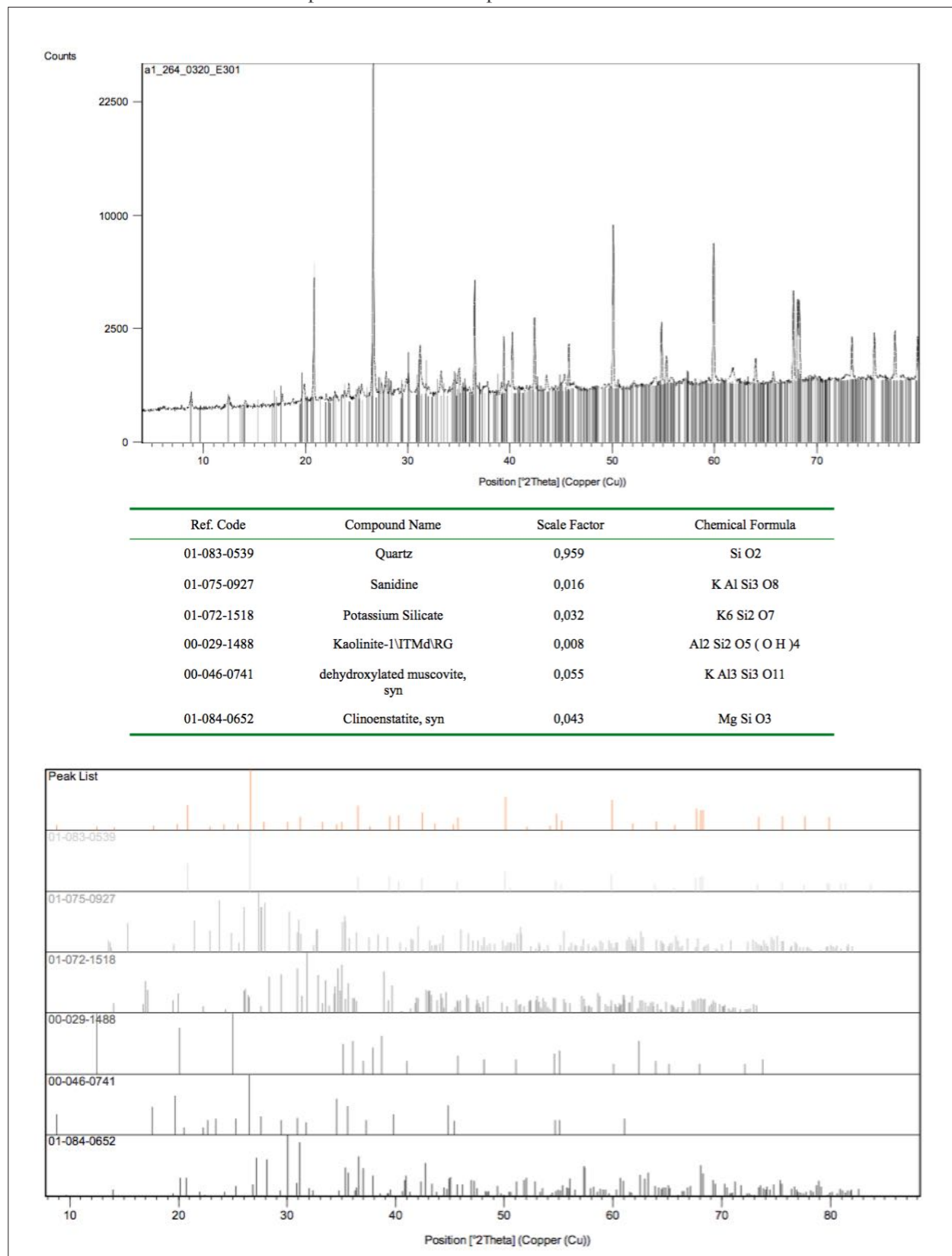
Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-E101 fabricada a partir de la arcilla Tipo B



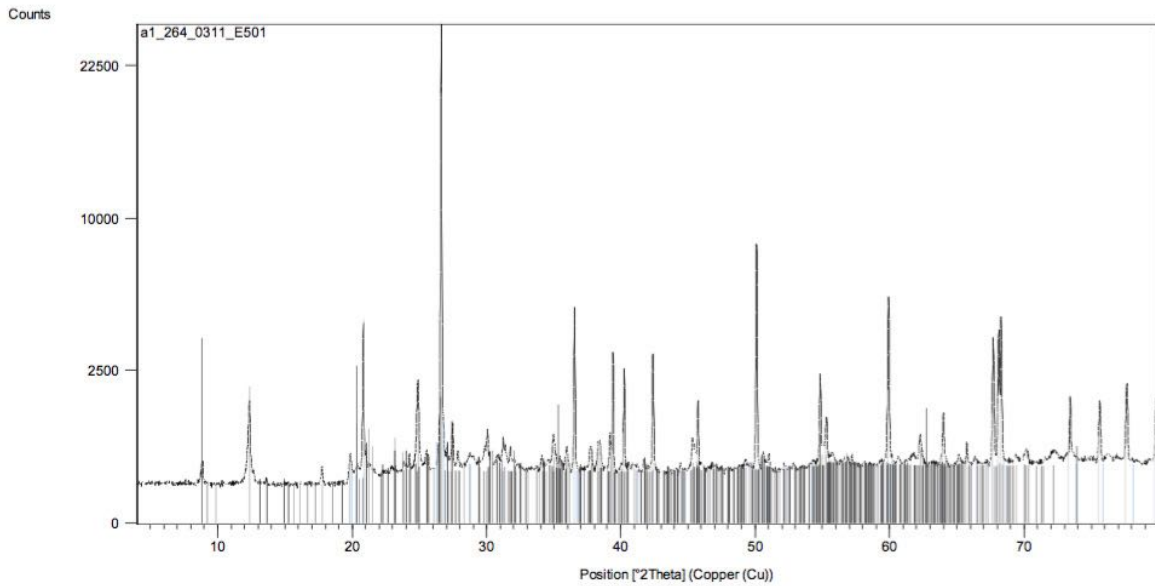
Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-E301 fabricada a partir de la arcilla Tipo C

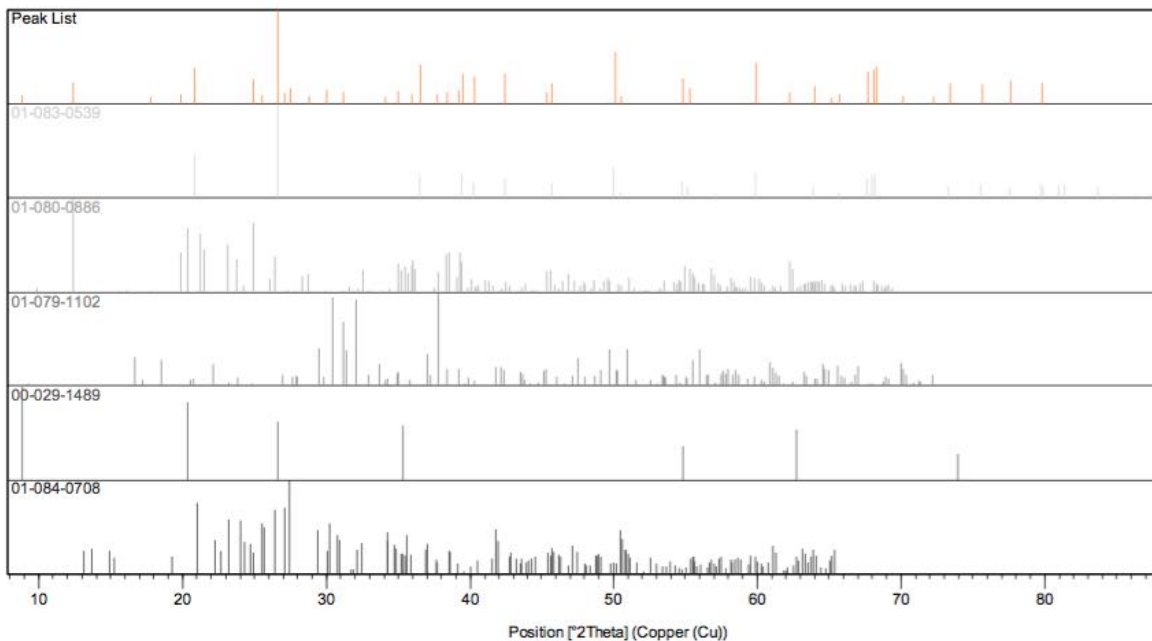


Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-E501 fabricada a partir de la arcilla Tipo D

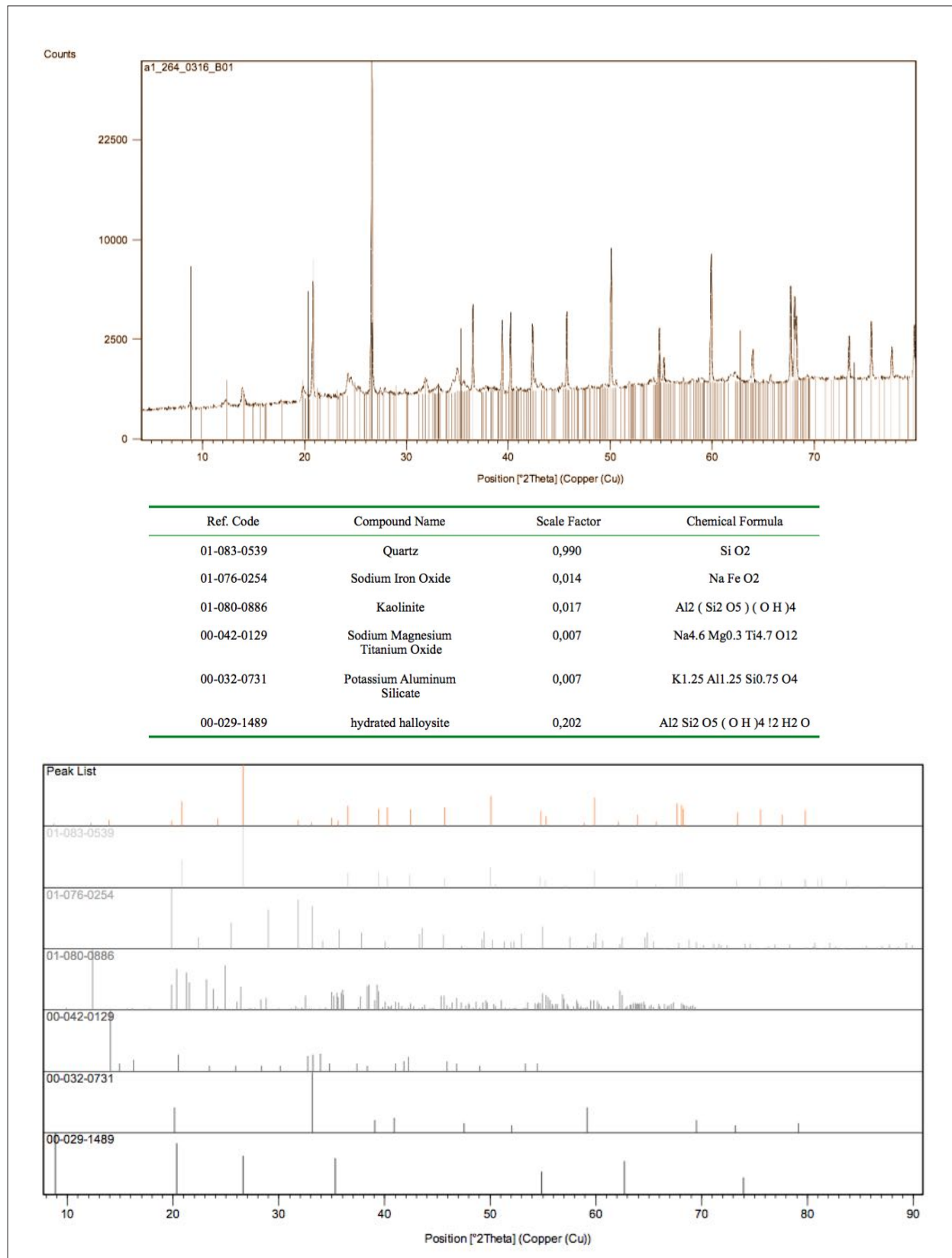


Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-083-0539	Quartz	0,718	Si O ₂
01-080-0886	Kaolinite	0,068	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
01-079-1102	Potassium Silicate	0,012	K ₄ (Si O ₄)
00-029-1489	hydrated halloysite	0,130	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄ !2 H ₂ O
01-084-0708	Microcline	0,031	K Al Si ₃ O ₈



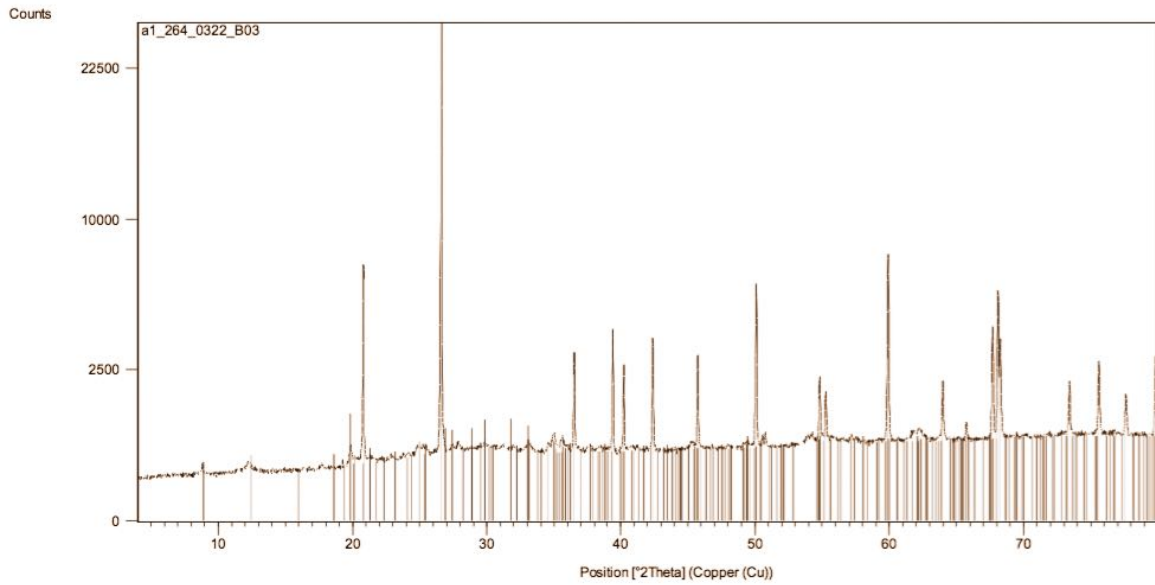
Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-B01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

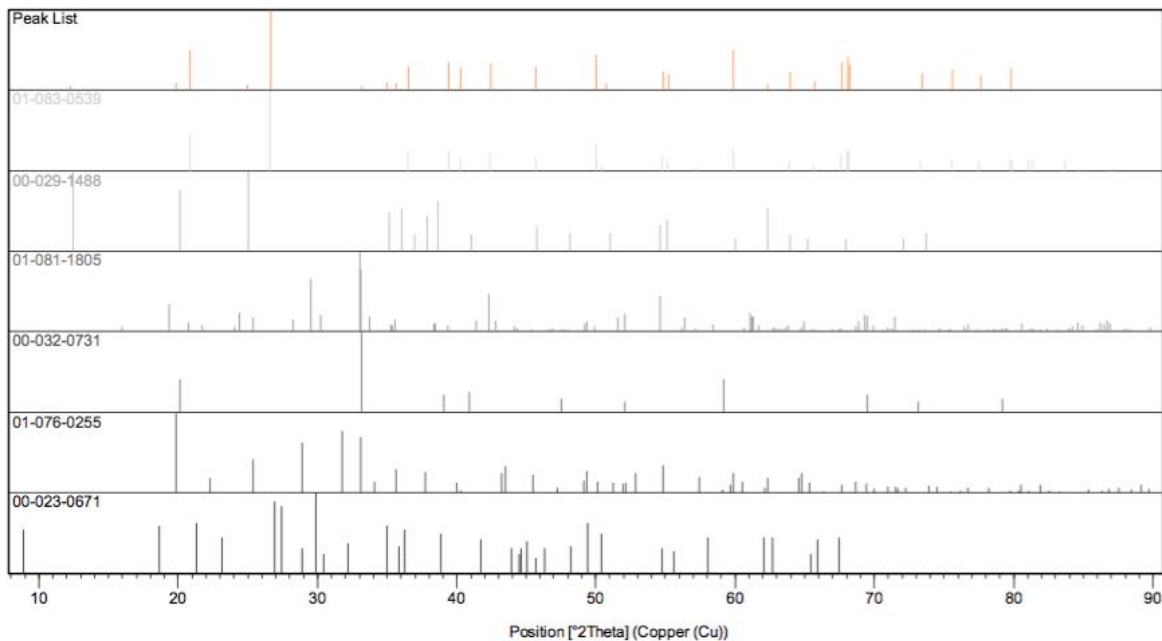


Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-B03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

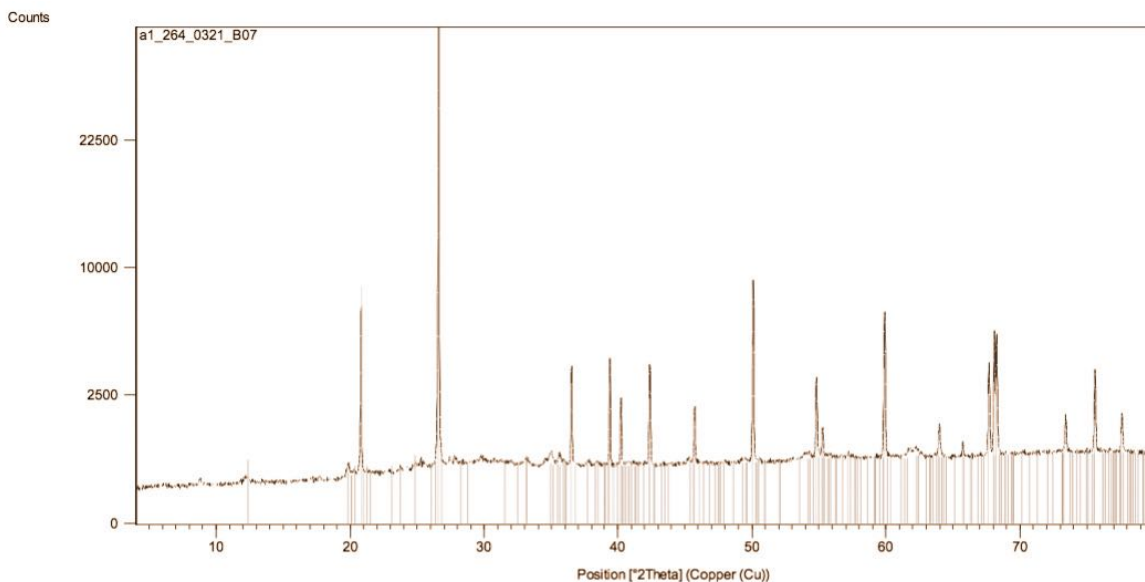


Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-083-0539	Quartz	1,002	Si O ₂
00-029-1488	Kaolinite-1\ITMd\RG	0,008	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
01-081-1805	Potassium Iron Oxide	0,007	K ₃ (Fe O ₂)
00-032-0731	Potassium Aluminum Silicate	0,004	K _{1.25} Al _{1.25} Si _{0.75} O ₄
01-076-0255	Sodium Iron Oxide	0,033	Na Fe O ₂
00-023-0671	Sodium Calcium Silicate	0,018	Na ₂ Ca ₃ Si ₆ O ₁₆

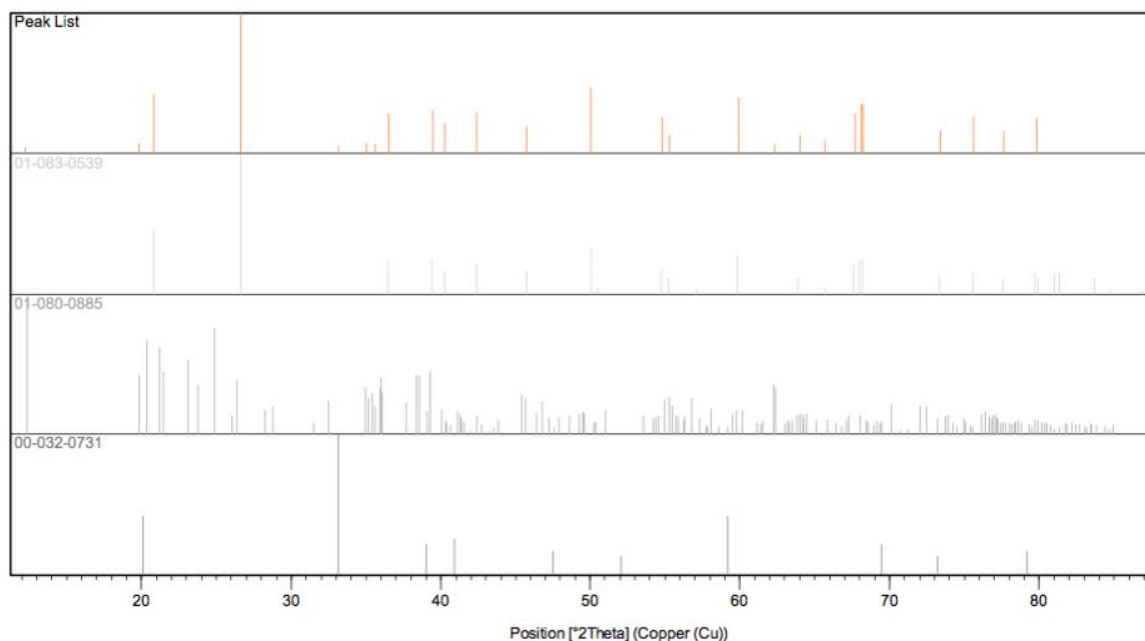


Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra- GEO-B07 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

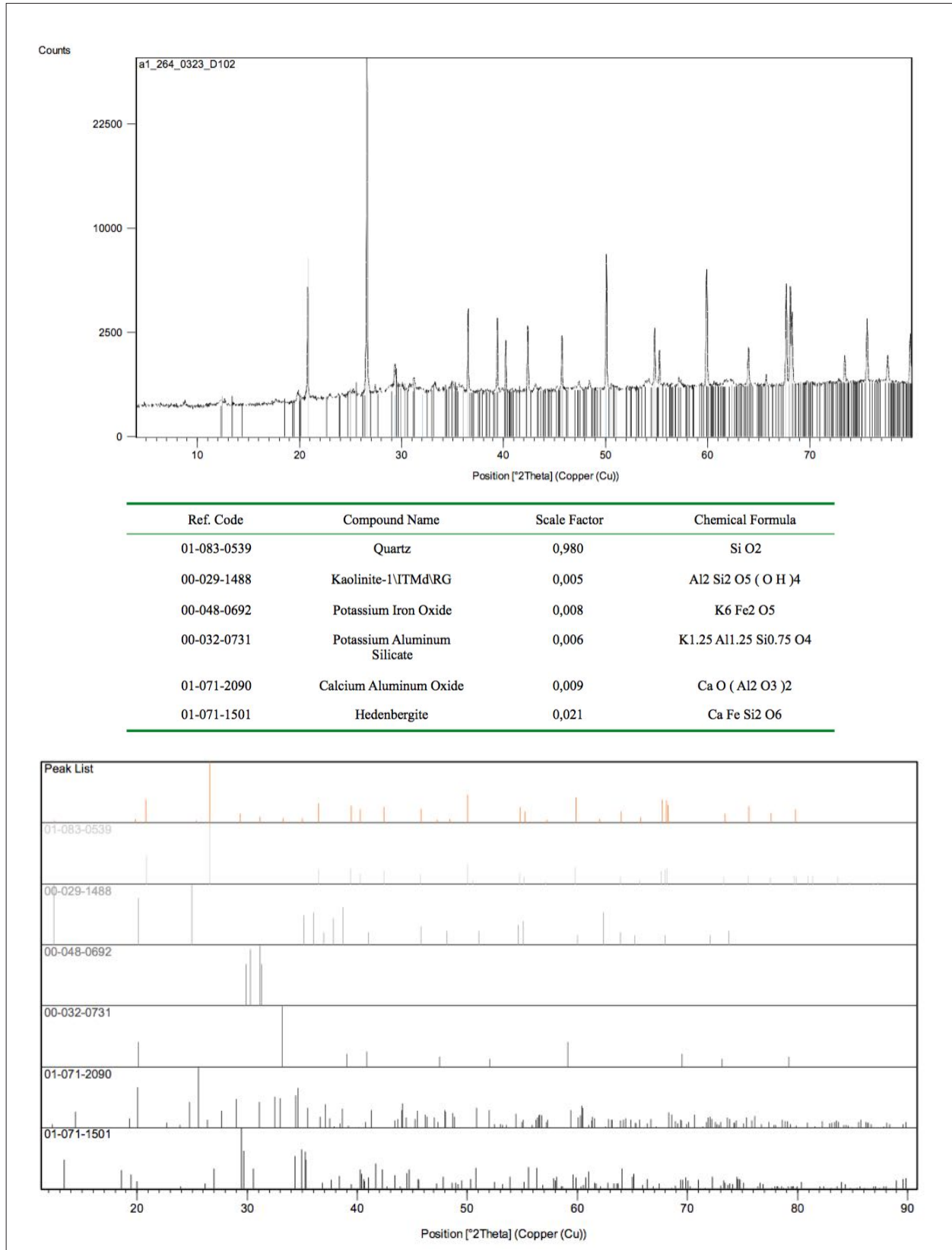


Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-083-0539	Quartz	0,984	Si O ₂
01-080-0885	Kaolinite	0,010	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
00-032-0731	Potassium Aluminum Silicate	0,004	K _{1.25} Al _{1.25} Si _{0.75} O ₄



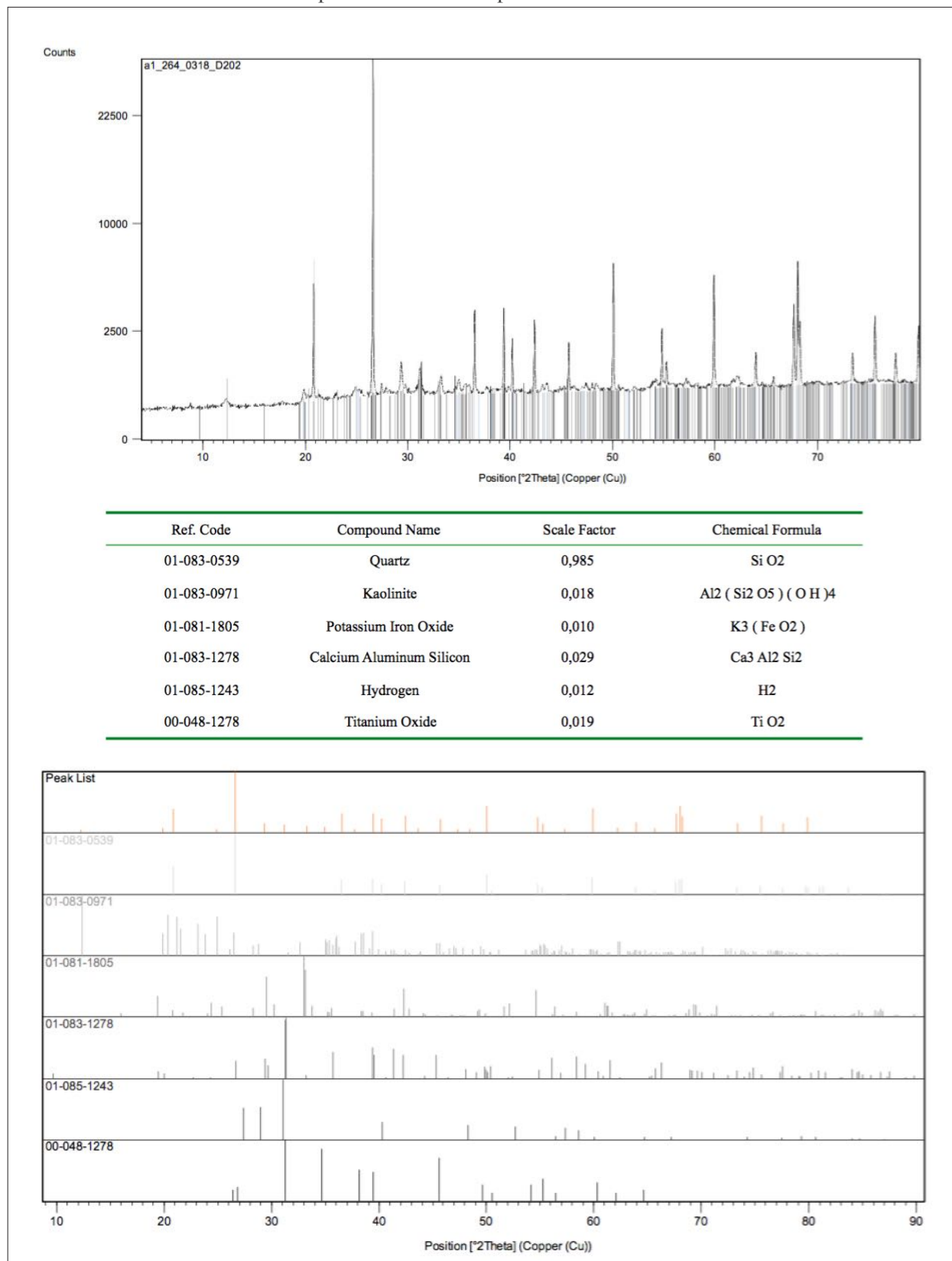
Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-D102 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



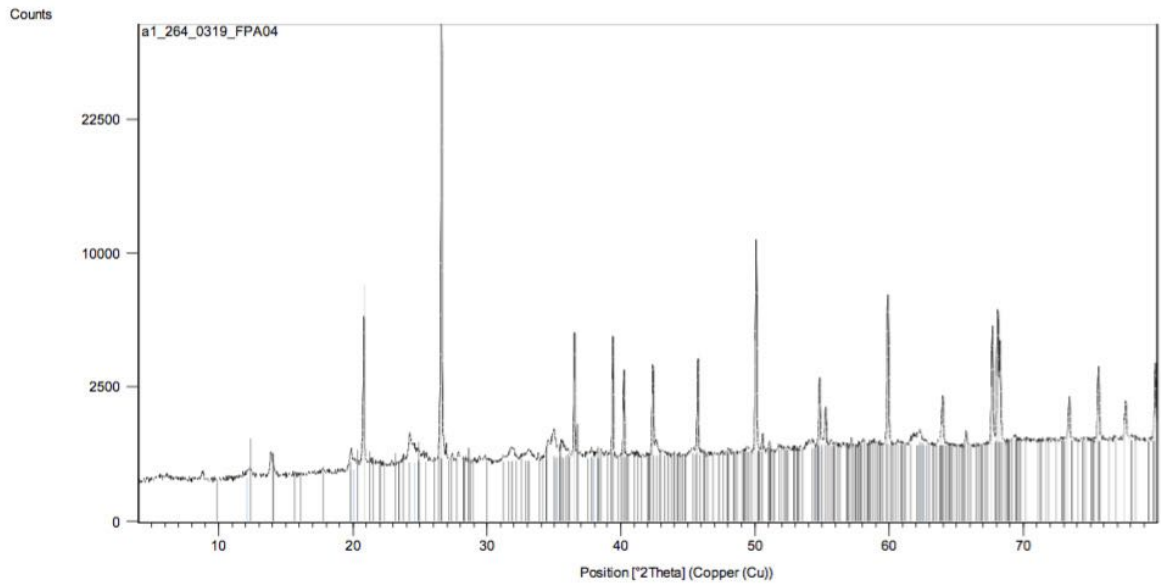
Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-D202 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

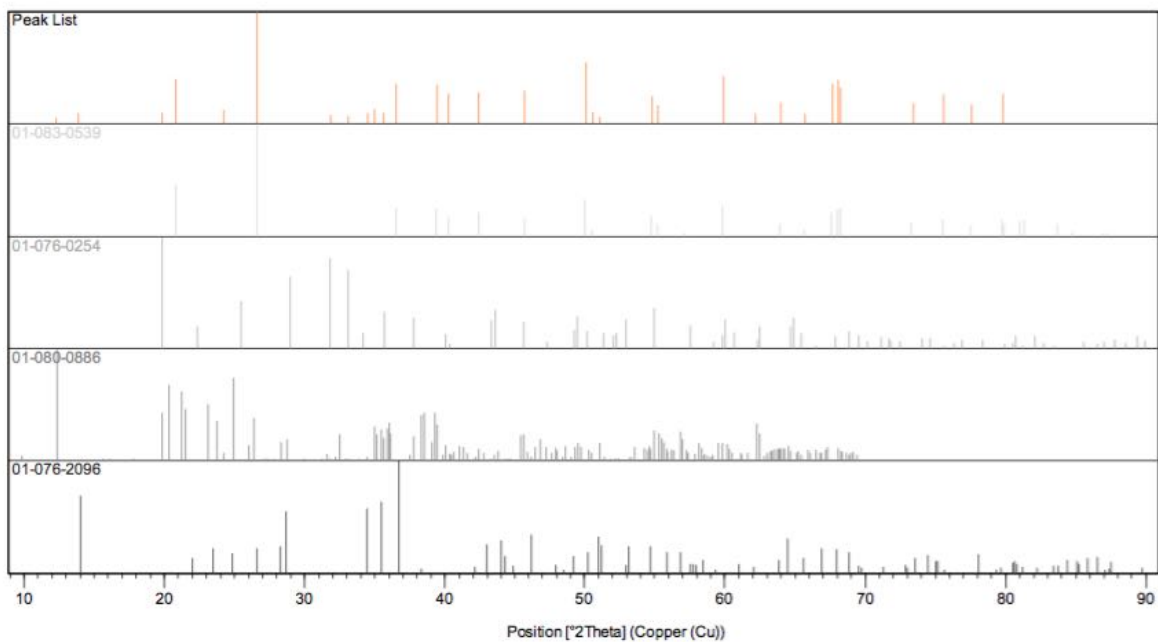


Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-FPA04 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

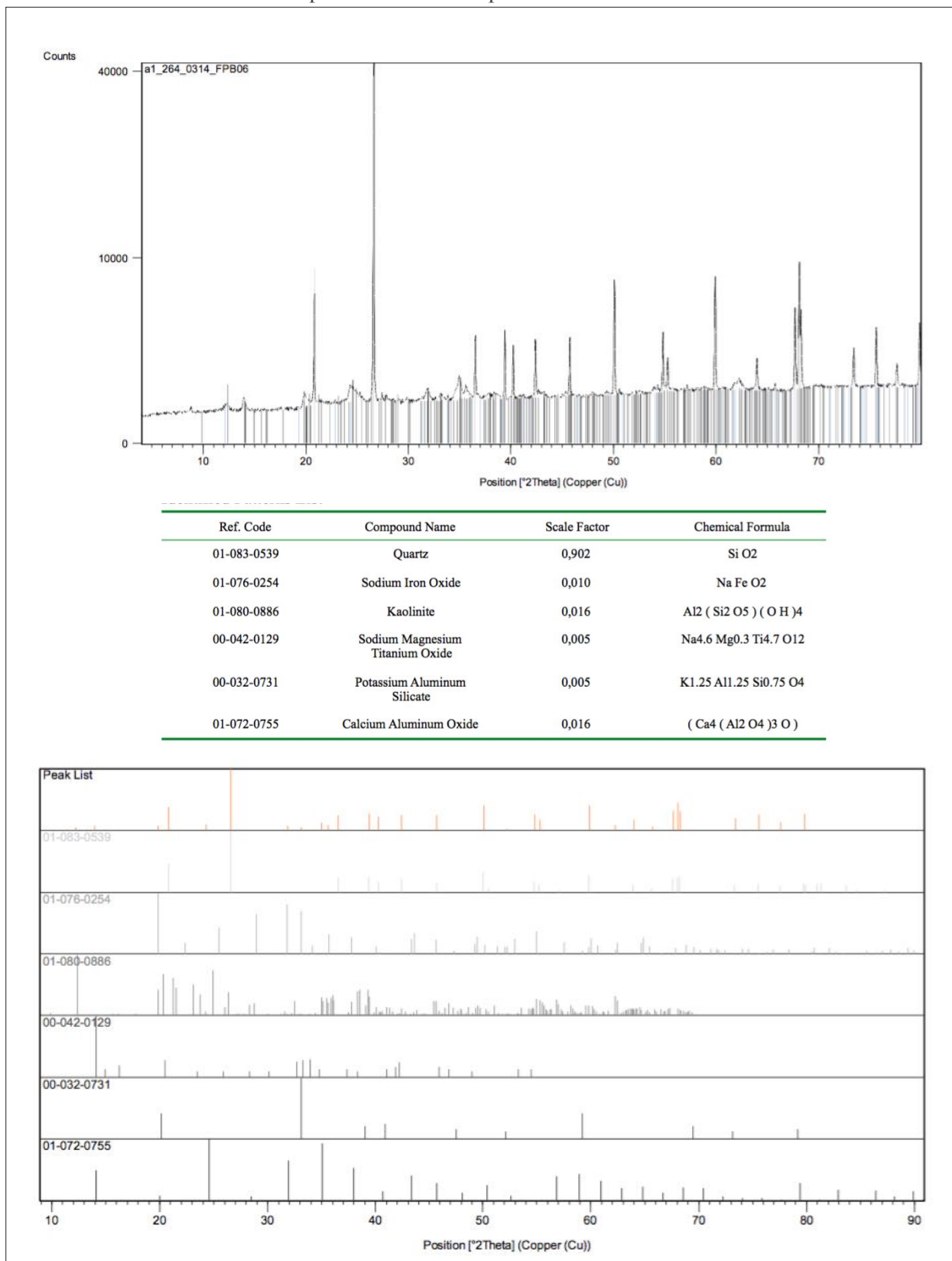


Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-083-0539	Quartz	0,994	Si O ₂
01-076-0254	Sodium Iron Oxide	0,012	Na Fe O ₂
01-080-0886	Kaolinite	0,020	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
01-076-2096	Potassium Hydroxide Hydrate	0,023	K O H (H ₂ O) ₂



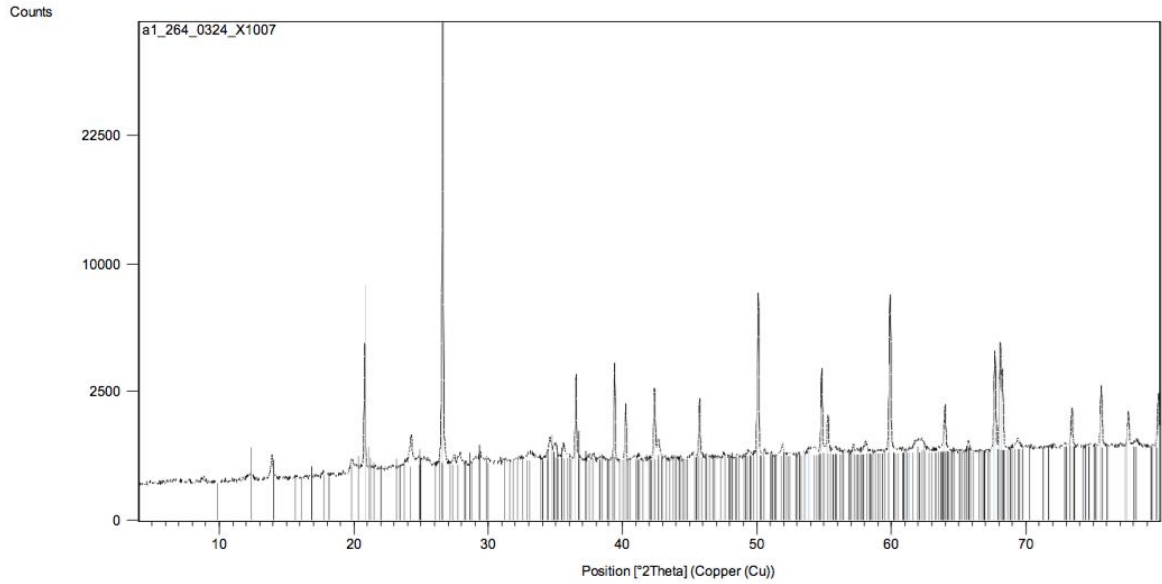
Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-FP06 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

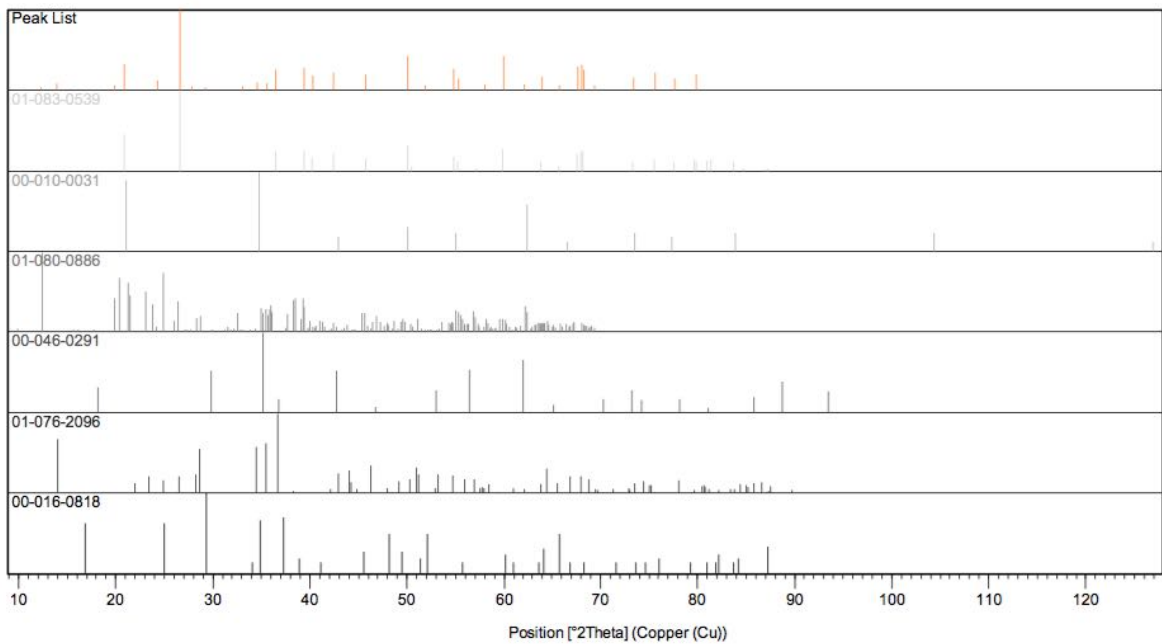


Anexo 6.12.1 Análisis DRX de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - P00X10-07 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

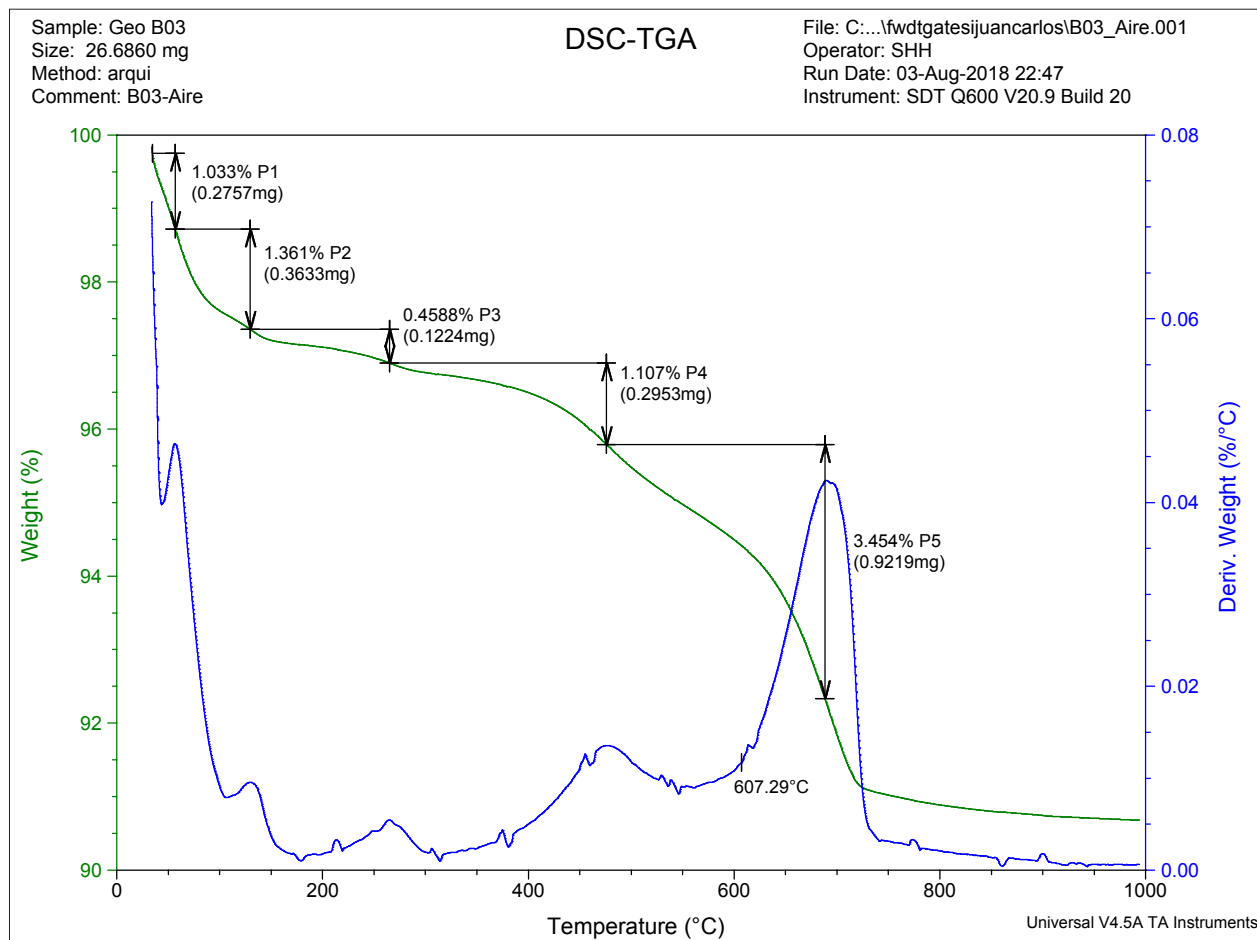


Ref. Code	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-083-0539	Quartz	0,963	Si O ₂
00-010-0031	Sodium Aluminum Silicate	0,015	Na ₄ Al ₂ Si ₂ O ₉
01-080-0886	Kaolinite	0,015	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (O H) ₄
00-046-0291	Calcium Iron Oxide	0,008	Ca _{0.15} Fe _{2.85} O ₄
01-076-2096	Potassium Hydroxide Hydrate	0,017	K O H (H ₂ O) ₂
00-016-0818	Sodium Silicate	0,010	Na ₂ Si O ₃



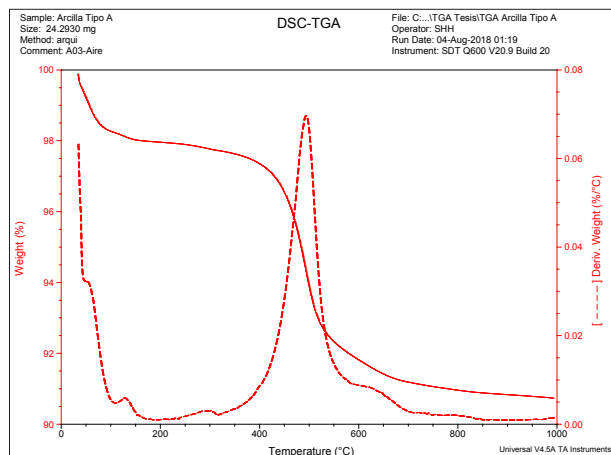
Anexo 6.12.2 Análisis termogravimétrico ATG de geo-polímeros a base de arcilla

ATG de muestra GEO-B03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

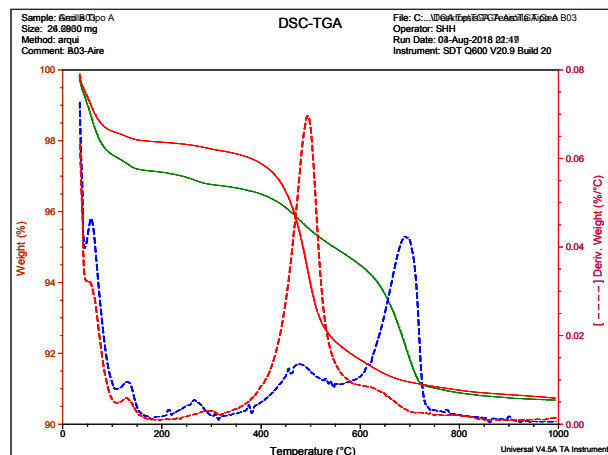


Comparación entre ATG de arcilla Tipo A y muestra polimerizada

ATG de muestra Arcilla Tipo A

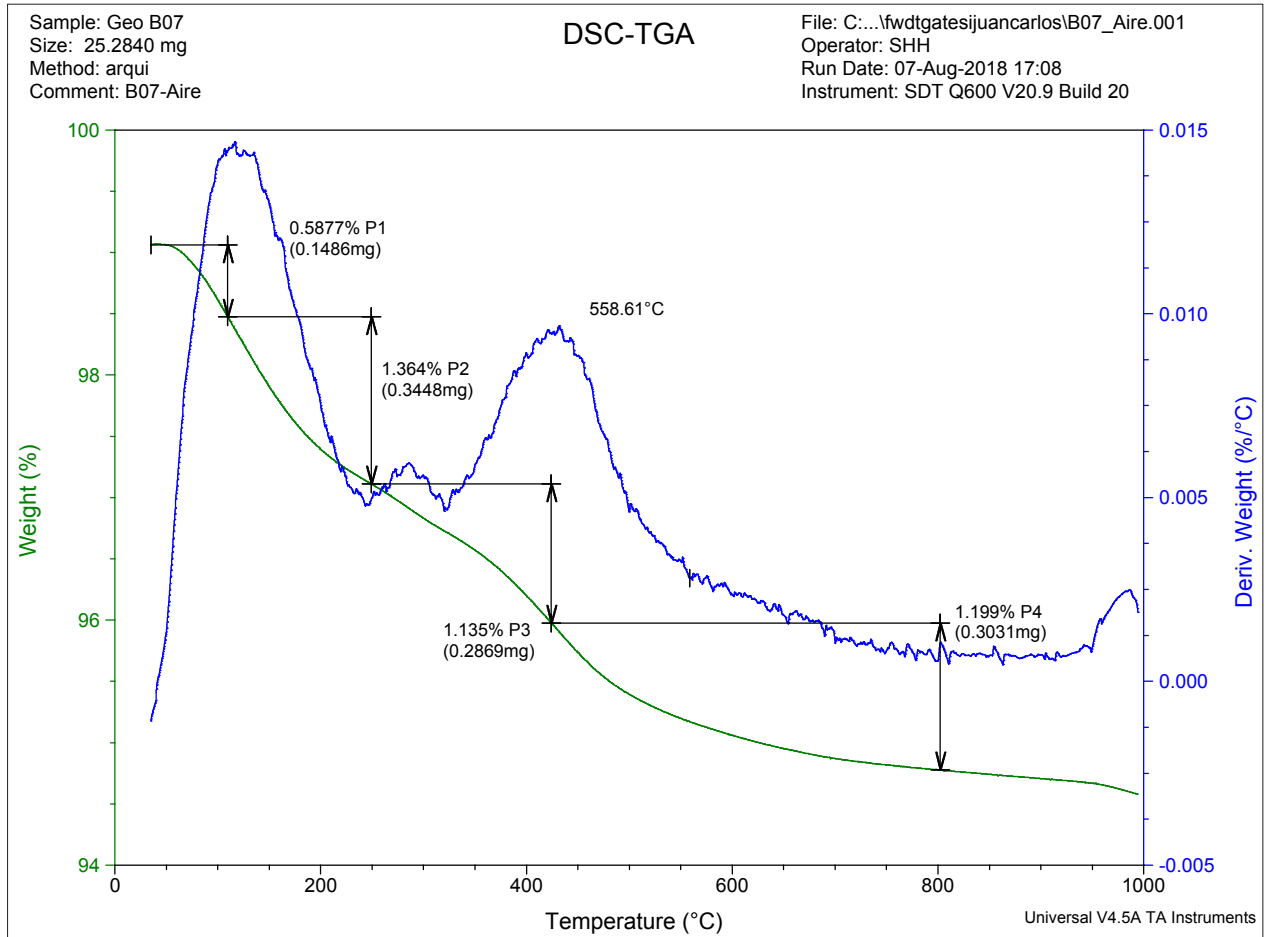


ATG de muestra Arcilla Tipo A y GEO-B03



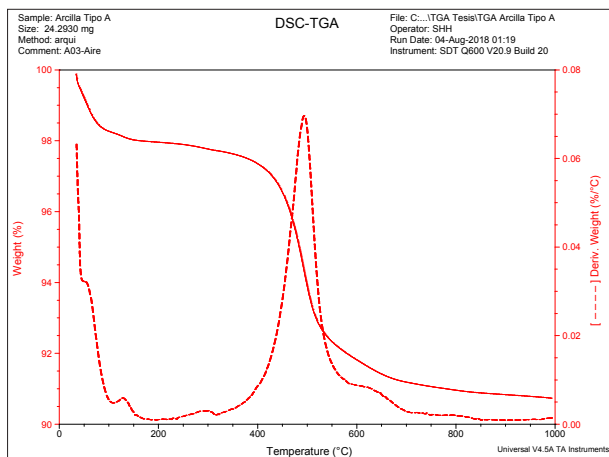
Anexo 6.12.2 Análisis termogravimétrico ATG de geo-polímeros a base de arcilla

ATG de muestra GEO-B07 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

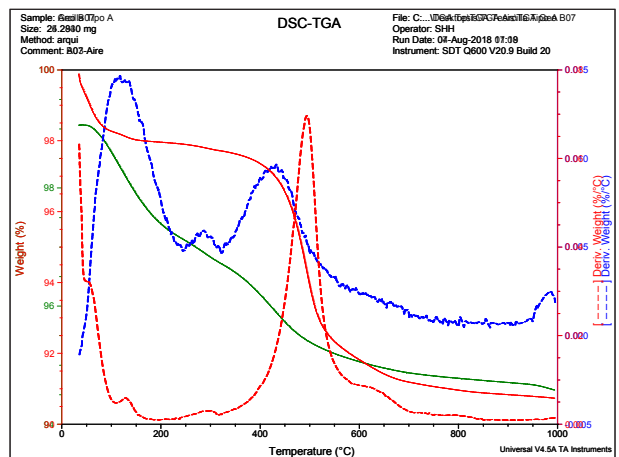


Comparación entre ATG de arcilla Tipo A y muestra polimerizada

ATG de muestra Arcilla Tipo A

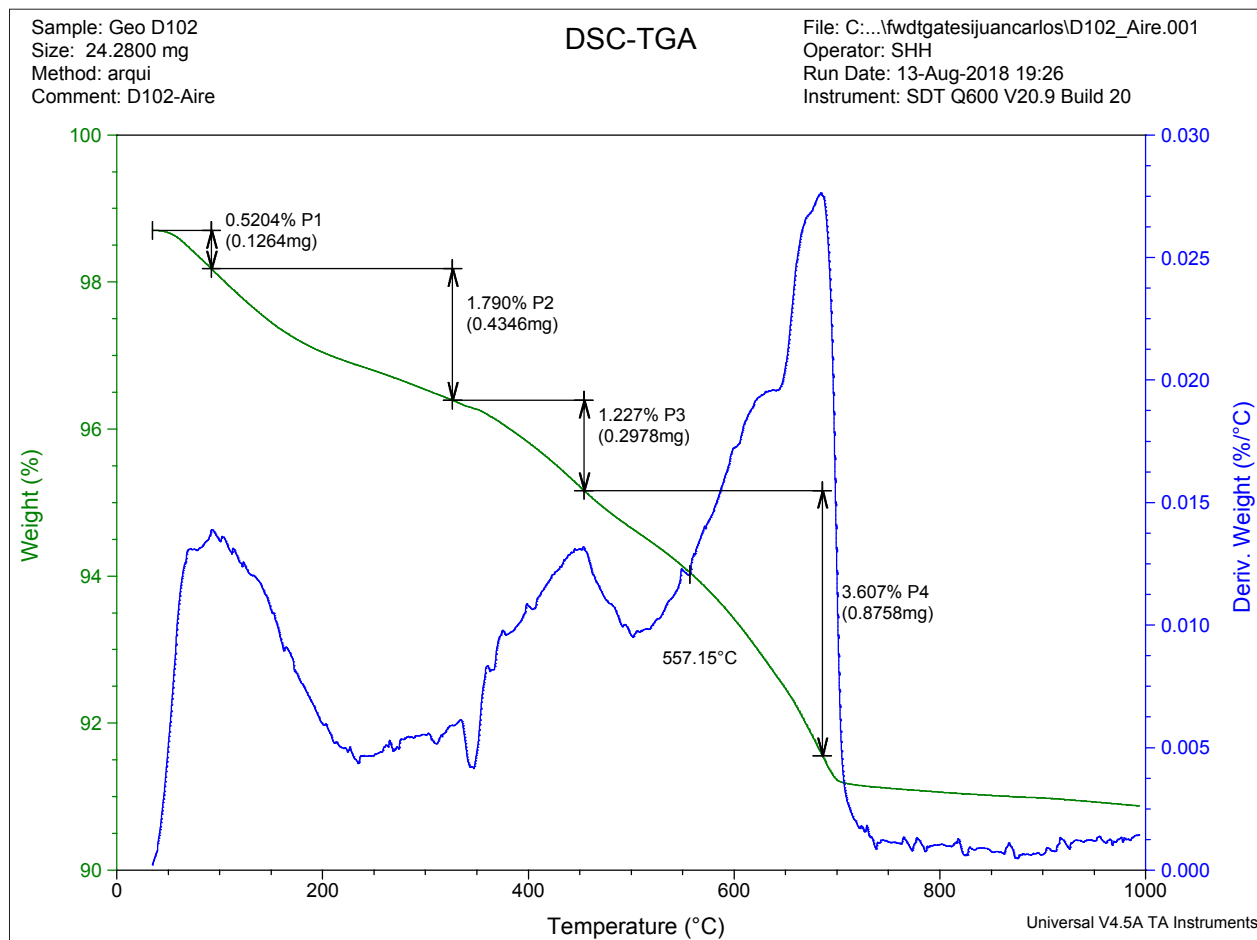


ATG de muestra Arcilla Tipo A y GEO-B07



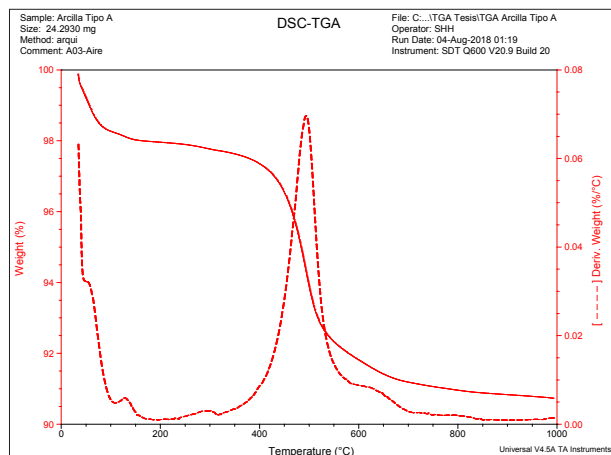
Anexo 6.12.2 Análisis termogravimétrico ATG de geo-polímeros a base de arcilla

ATG de muestra GEO-D102 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

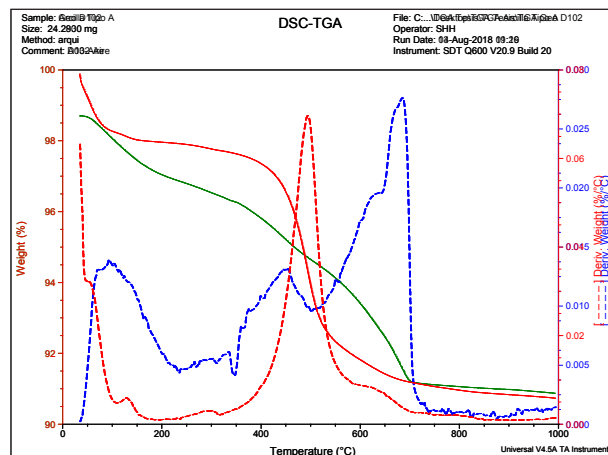


Comparación entre ATG de arcilla Tipo A y muestra polimerizada

ATG de muestra Arcilla Tipo A

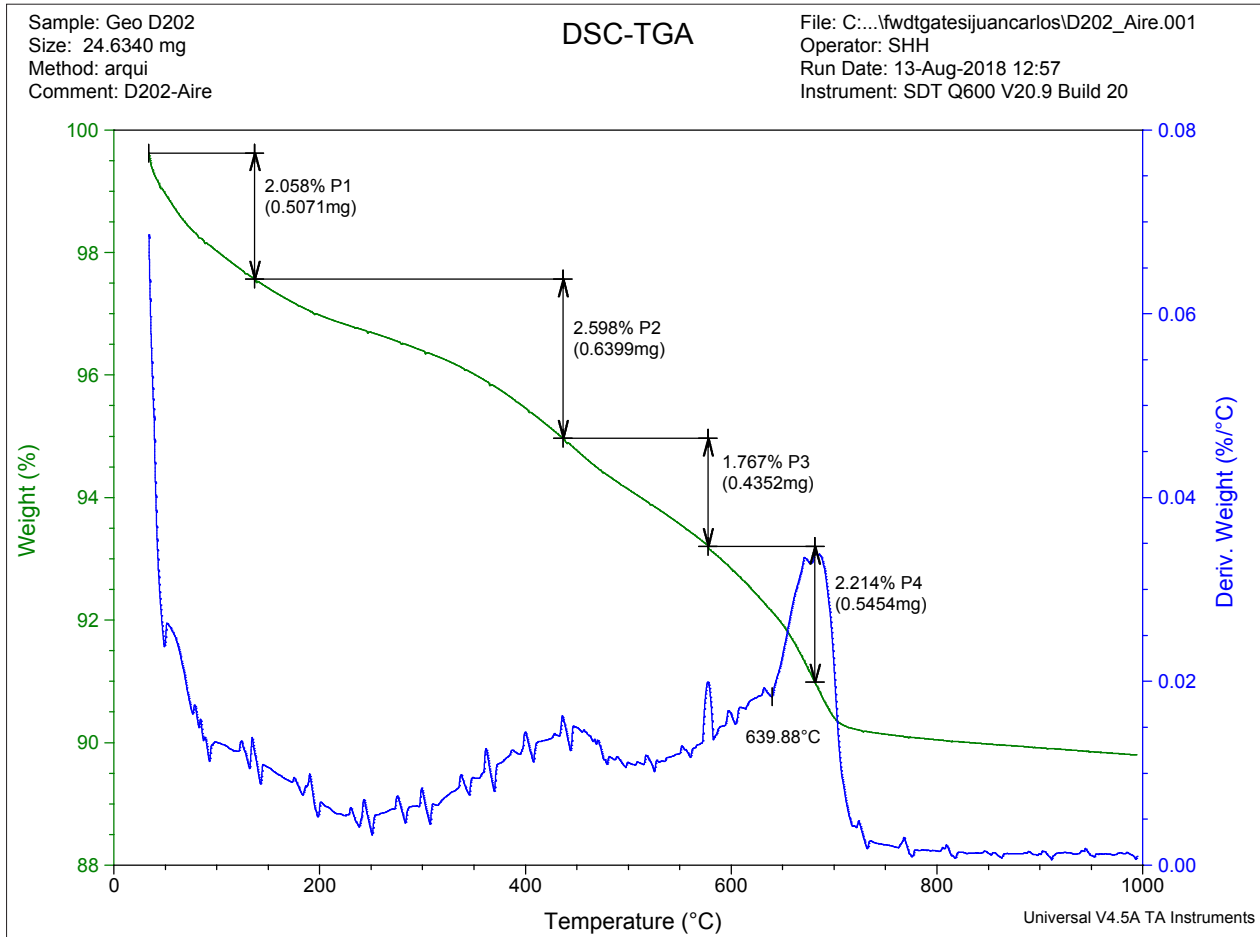


ATG de muestra Arcilla Tipo A y GEO-D102



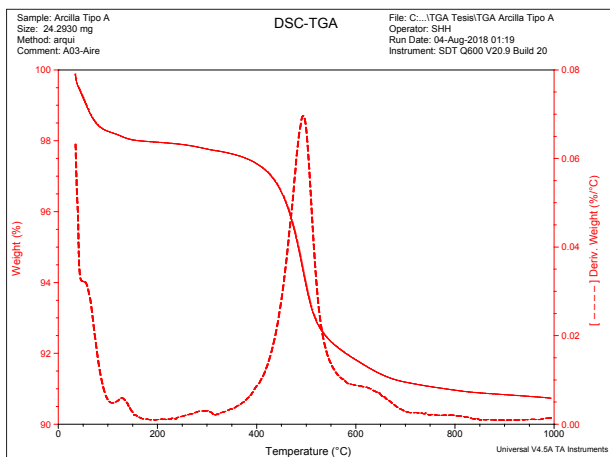
Anexo 6.12.2 Análisis termogravimétrico ATG de geo-polímeros a base de arcilla

ATG de muestra GEO-D0202 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

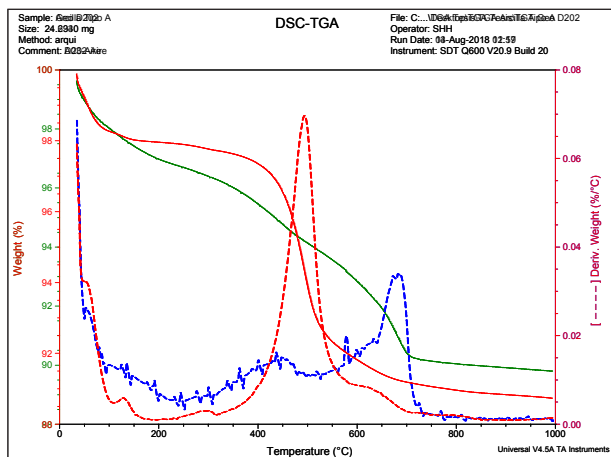


Comparación entre ATG de arcilla Tipo A y muestra polimerizada

ATG de muestra Arcilla Tipo A

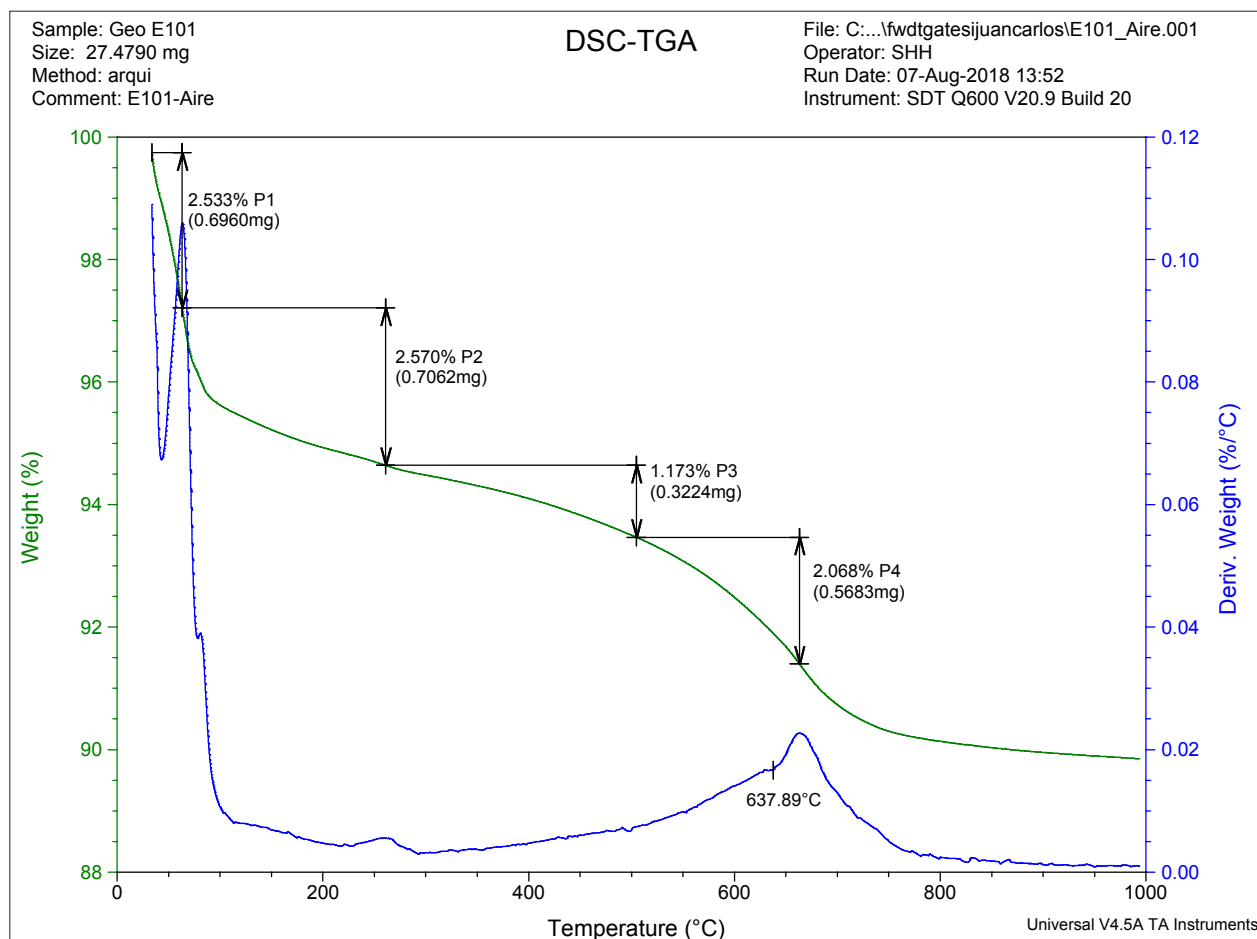


ATG de muestra Arcilla Tipo A y GEO-D0202



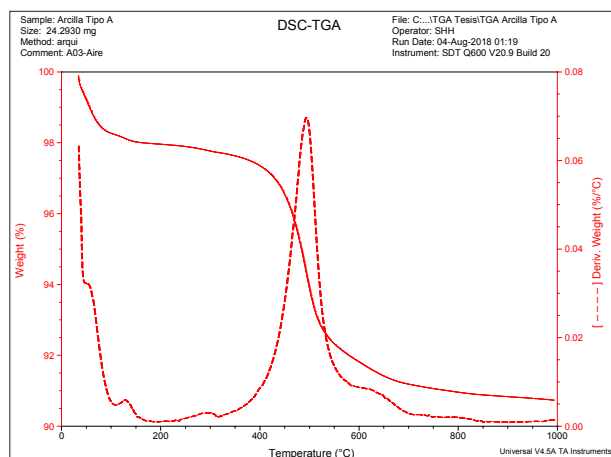
Anexo 6.12.2 Análisis termogravimétrico ATG de geo-polímeros a base de arcilla

ATG de muestra GEO-E101 fabricada a partir de la arcilla Tipo B

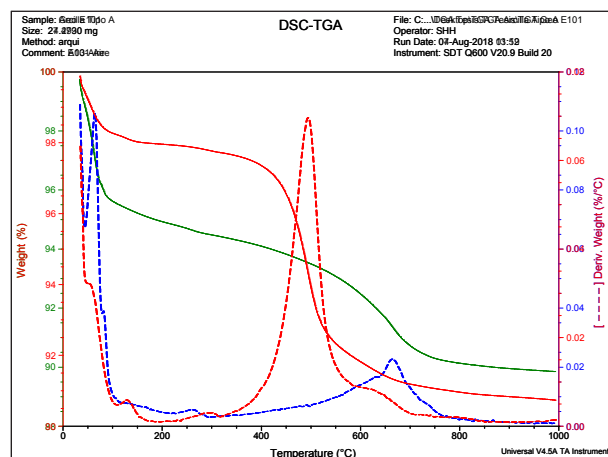


Comparación entre ATG de arcilla Tipo A y muestra polimerizada

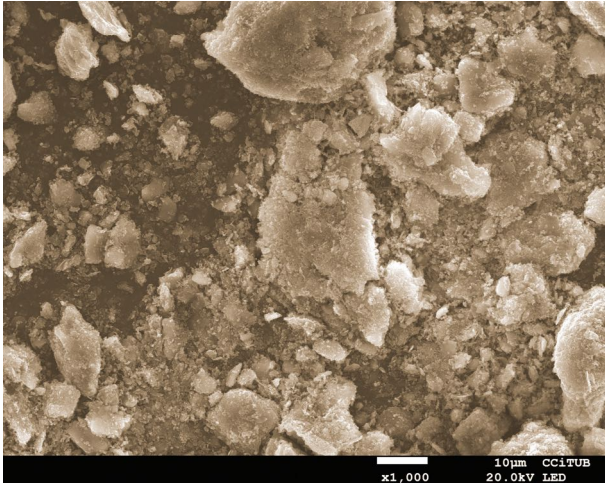
ATG de muestra Arcilla Tipo B



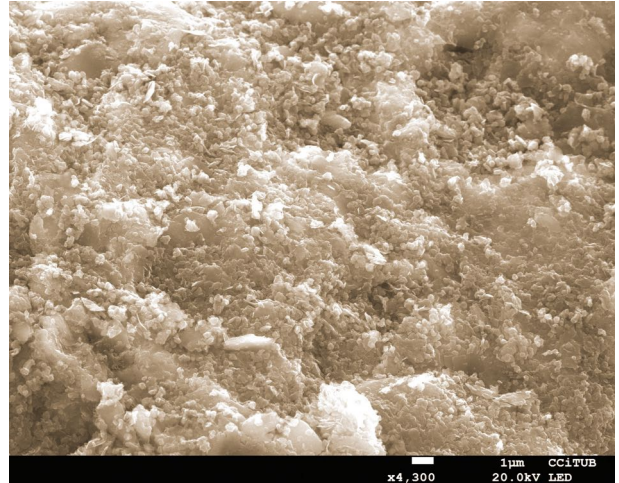
ATG de muestra Arcilla Tipo B y GEO-E101



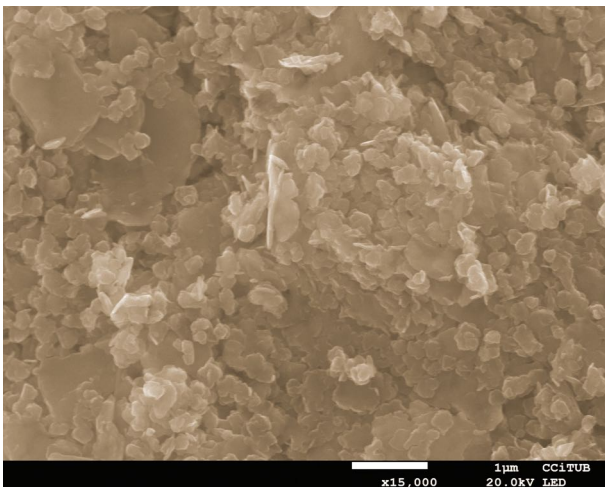
Muestra - GEO-B01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



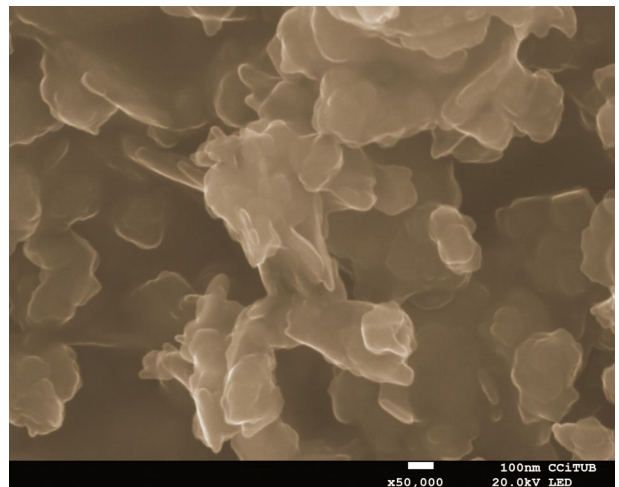
x 1.000



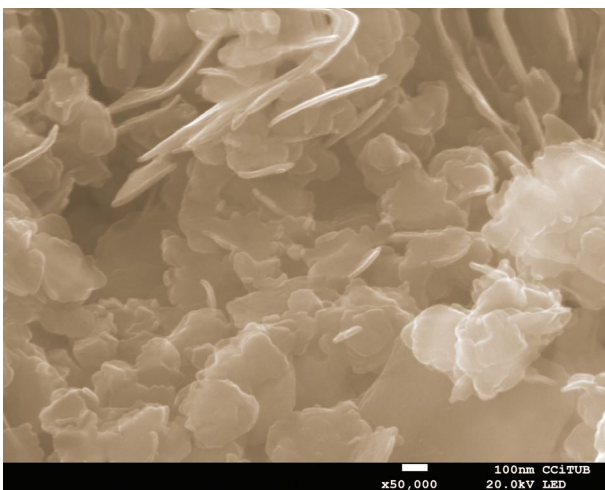
x 4.300



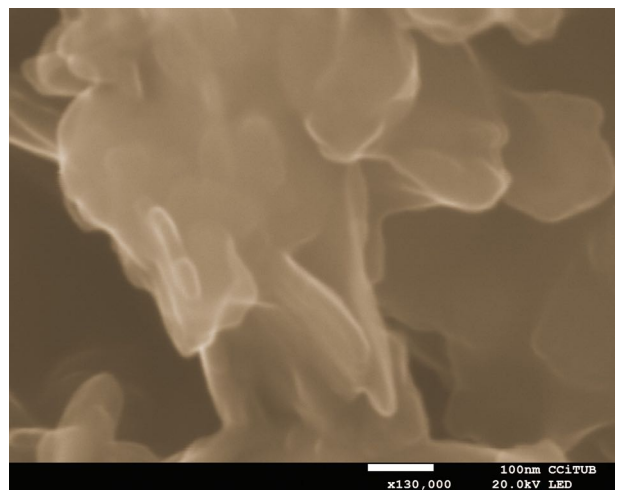
x 15.000



x 50.000



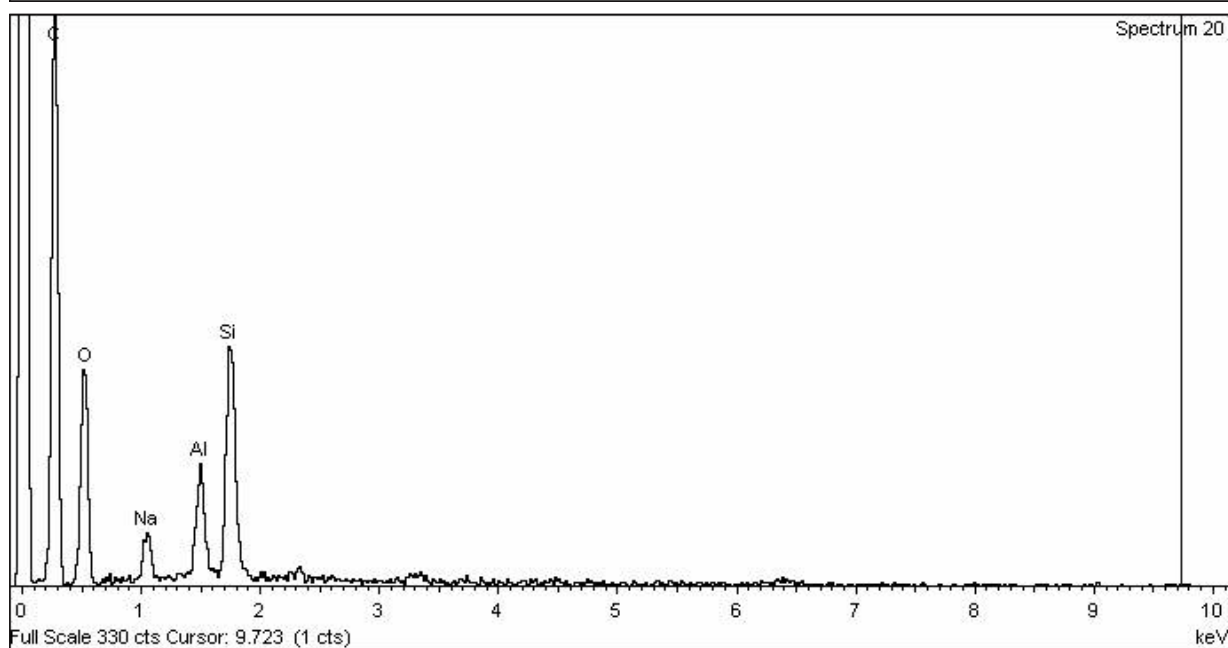
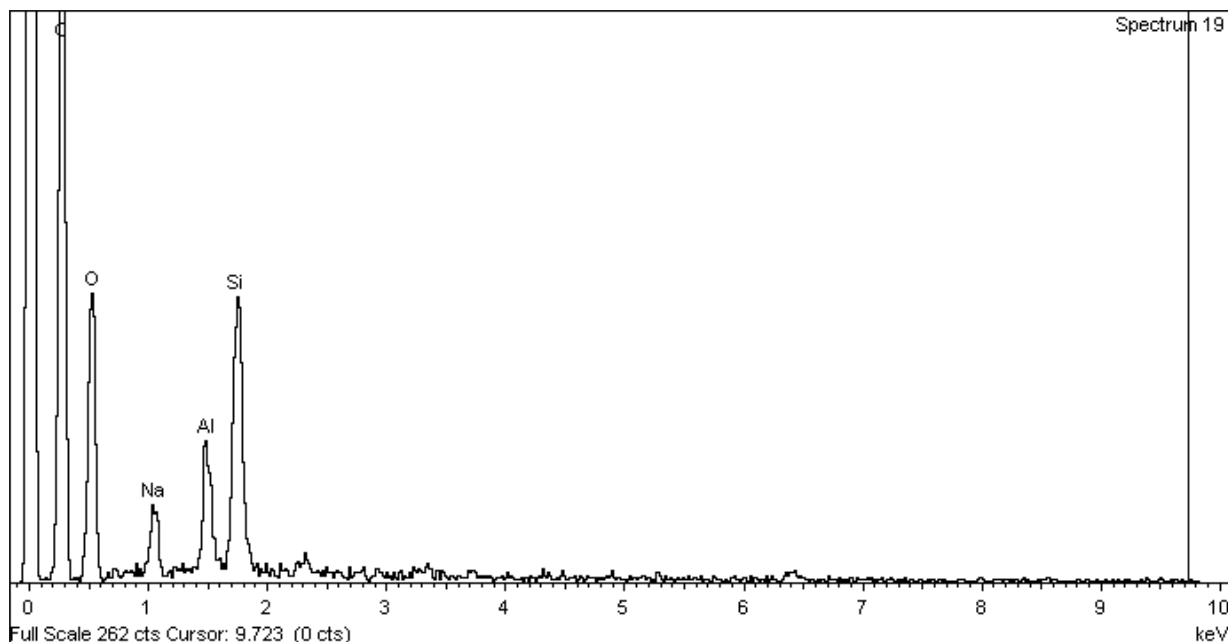
x 50.000



x 130.000

Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-B01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

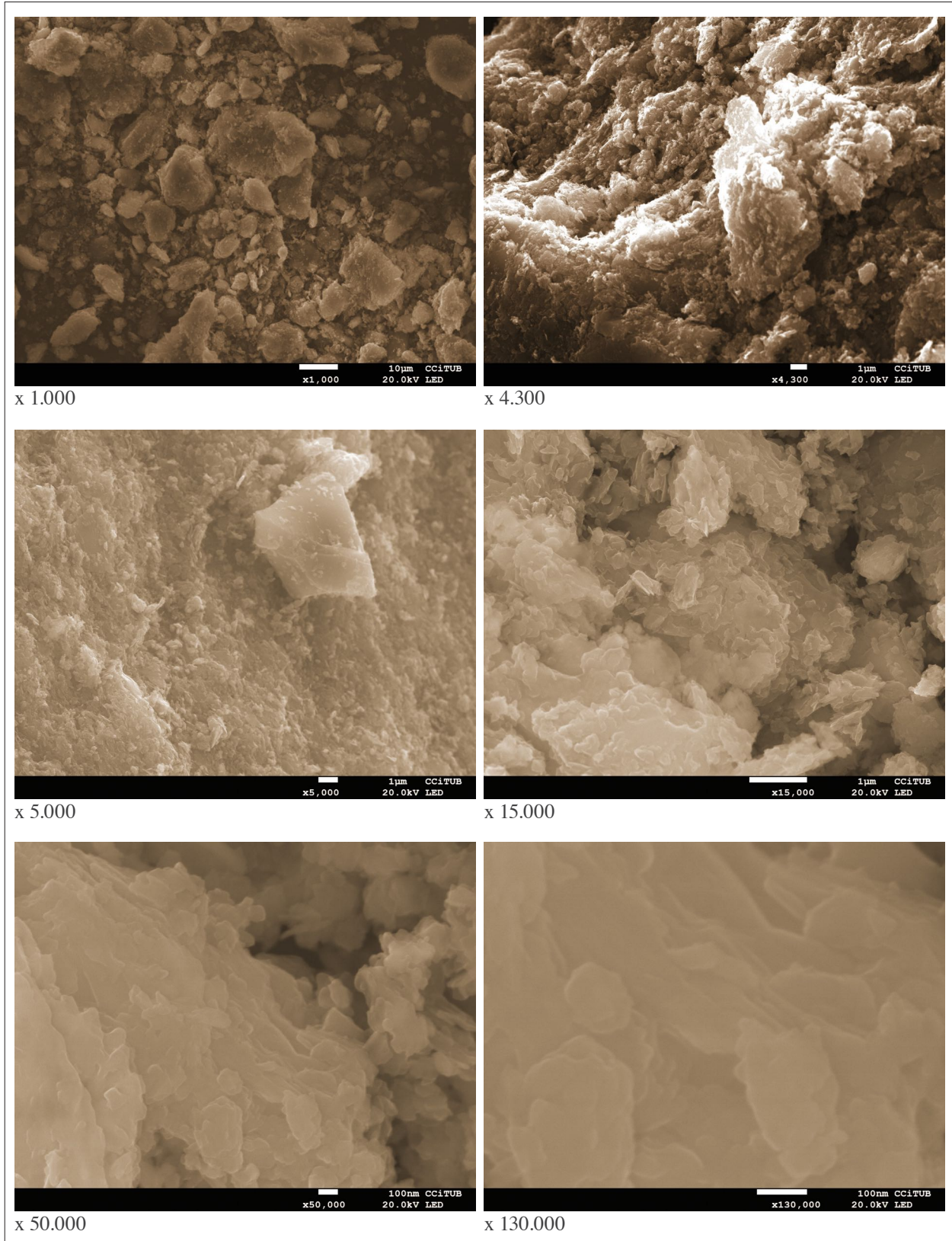


Análisis SEM - Cuantitativo - Geo B01

Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)

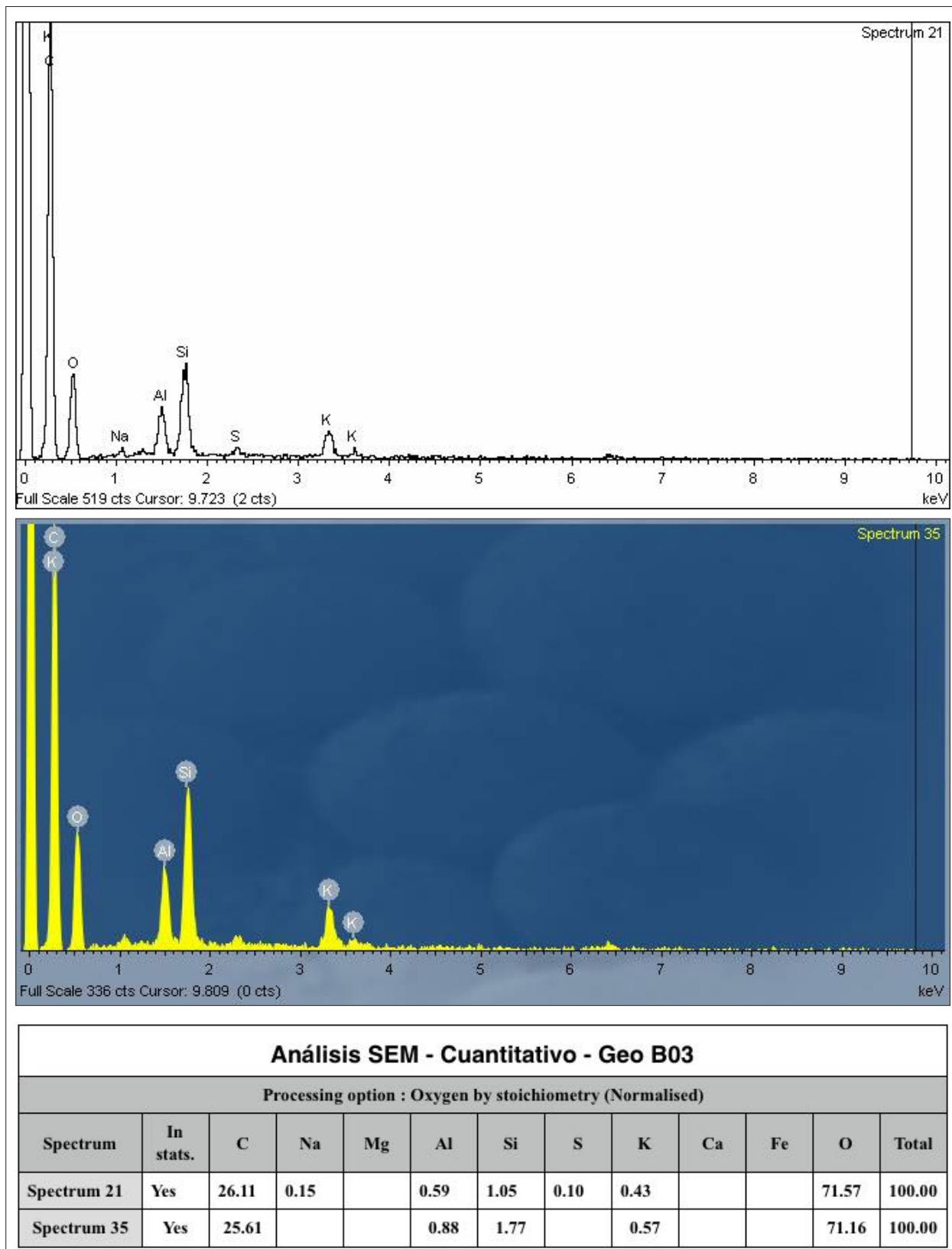
Spectrum	In stats.	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O	Total
Spectrum 19	Yes	25.24	1.03		0.89	2.08					70.76	100.00
Spectrum 20	Yes	25.16	0.91		0.97	2.22					70.74	100.00

Muestra - GEO-B03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

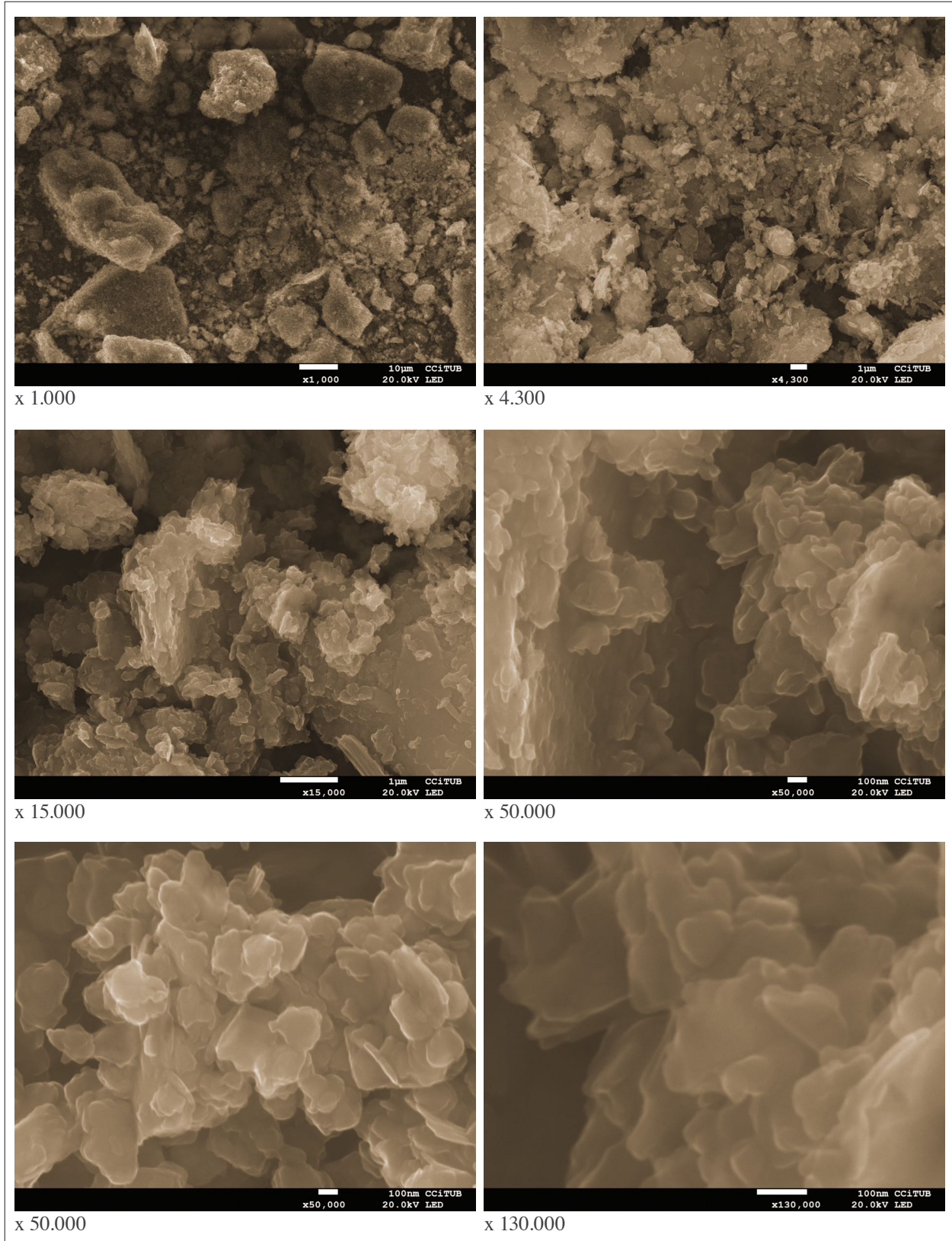


Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-B03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

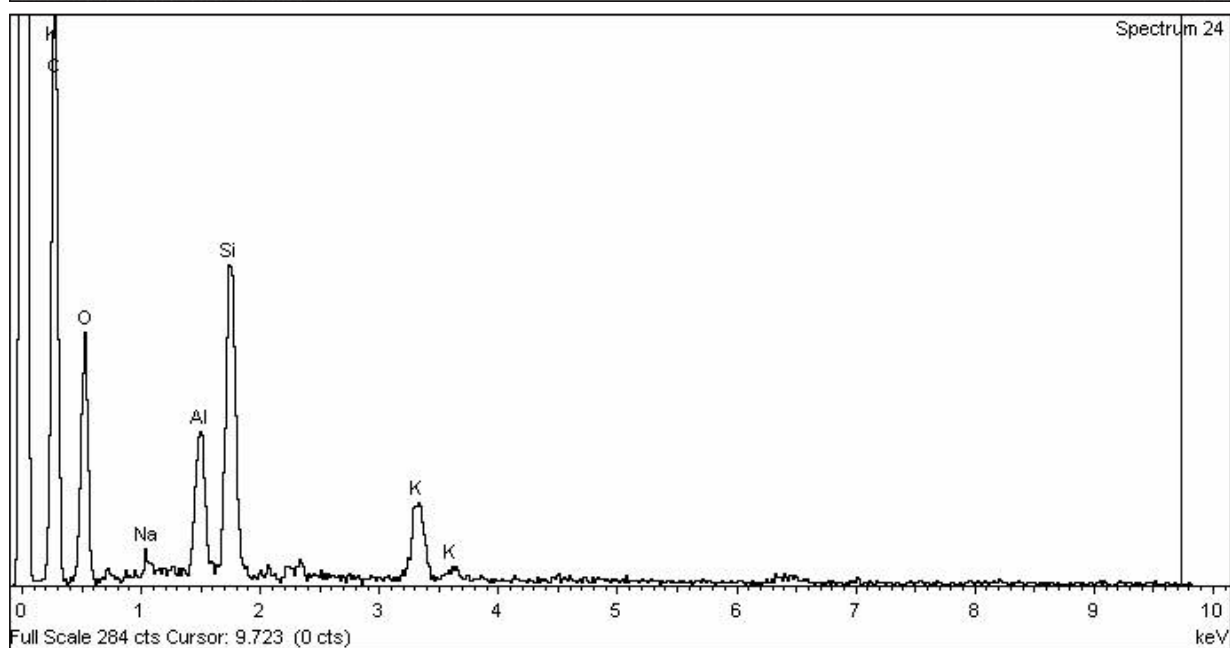
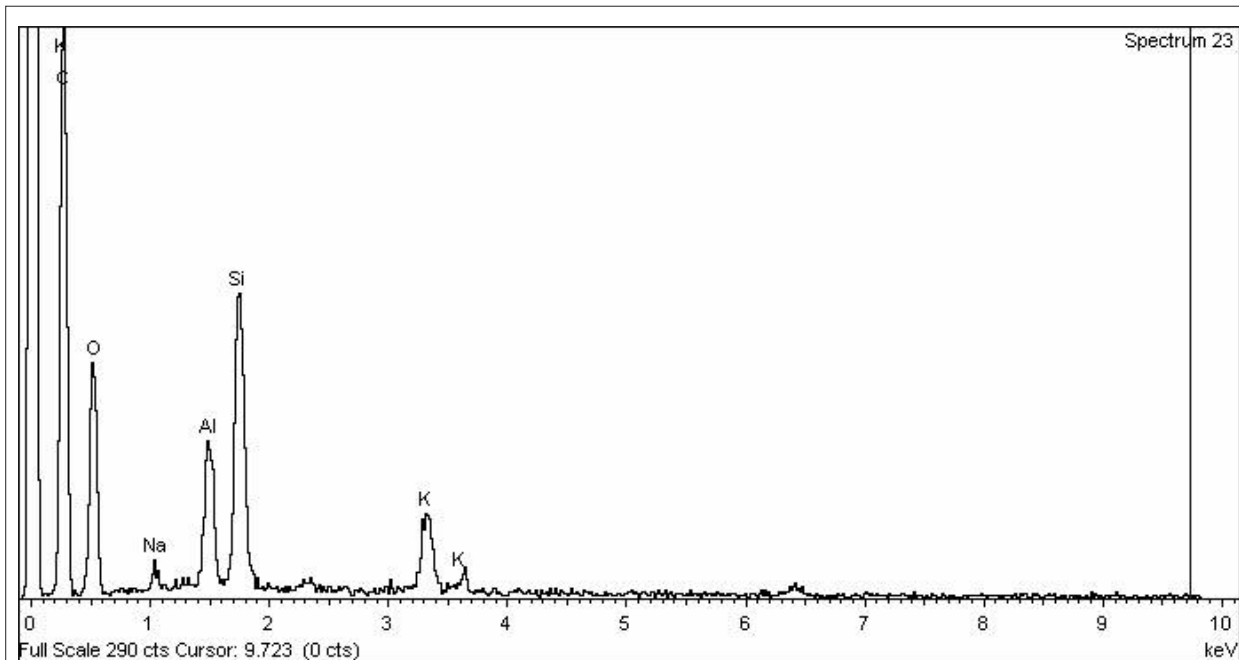


Muestra - GEO-B07 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



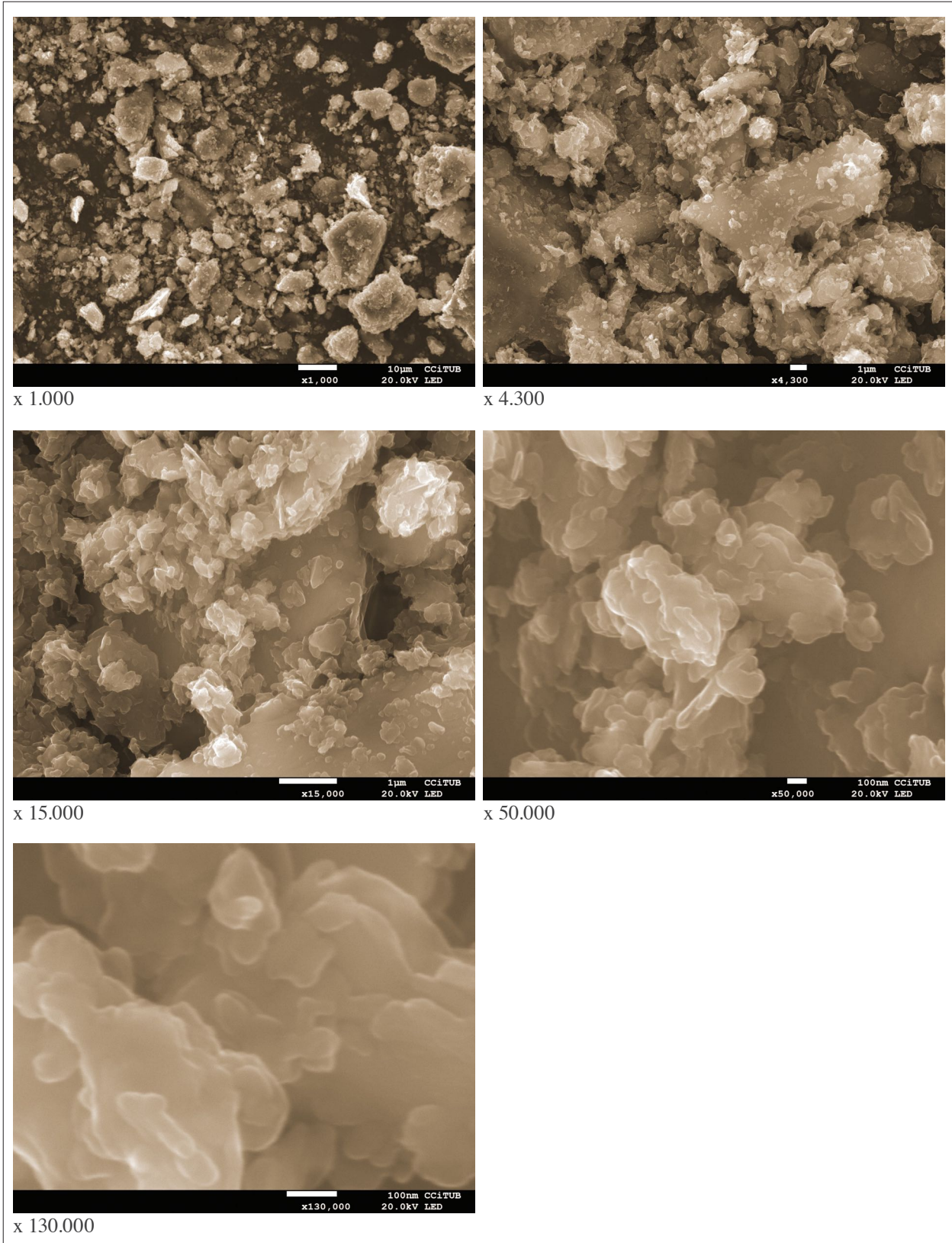
Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-B07 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



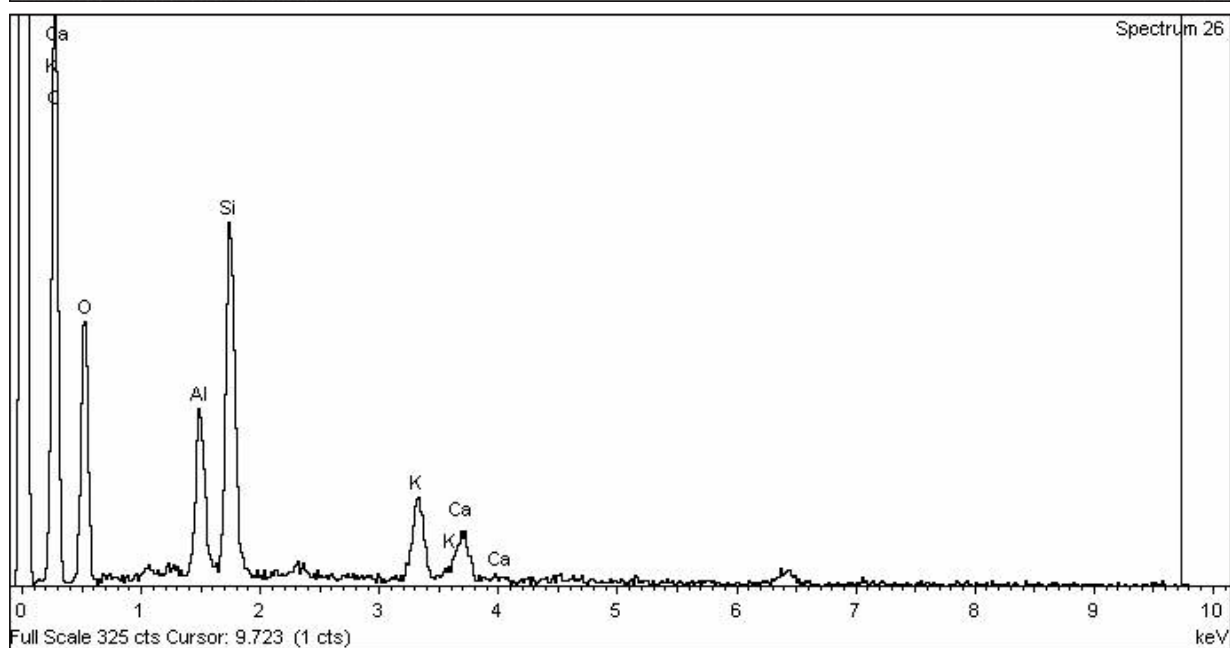
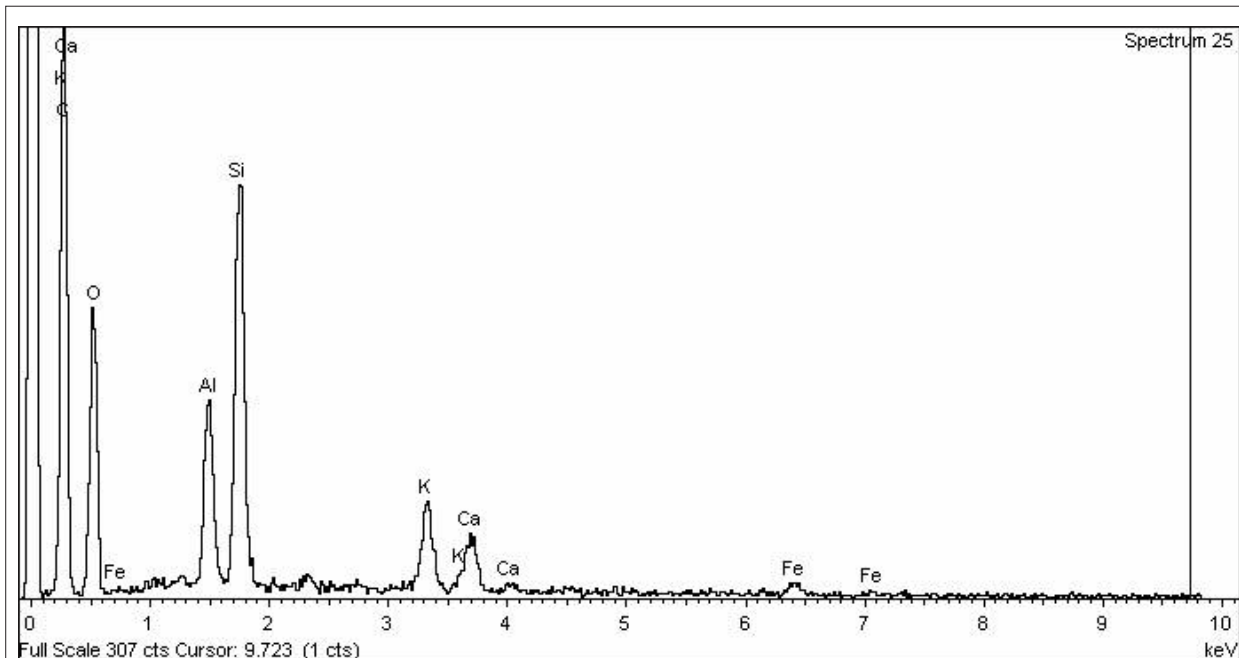
Análisis SEM - Cuantitativo - Geo B07												
Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)												
Spectrum	In stats.	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O	Total
Spectrum 23	Yes	24.76	0.32		1.25	2.52		0.90			70.25	100.00
Spectrum 24	Yes	24.83	0.31		1.13	2.52		0.88			70.32	100.00

Muestra - GEO-D101 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



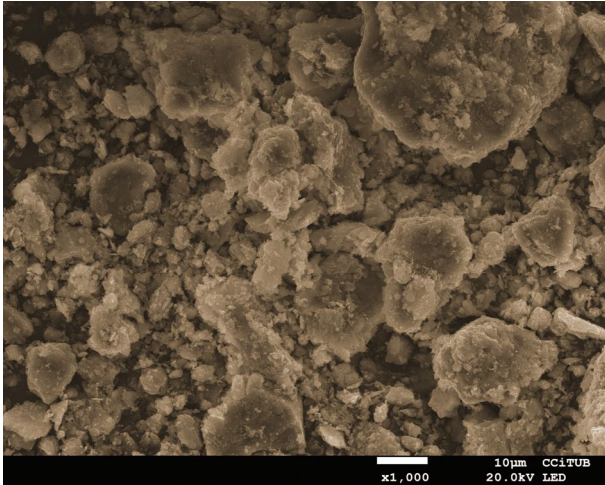
Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-D102 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

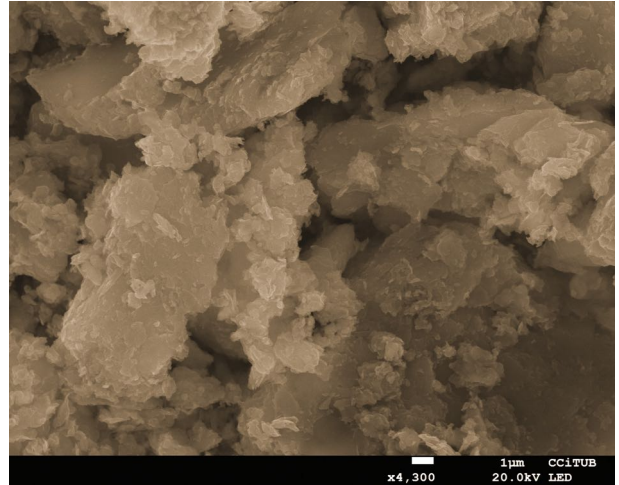


Análisis SEM - Cuantitativo - Geo D1-02												
Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)												
Spectrum	In stats.	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O	Total
Spectrum 25	Yes	24.27			1.36	2.91		0.86	0.54	0.40	69.67	100.00
Spectrum 26	Yes	24.68			1.19	2.62		0.82	0.51		70.17	100.00

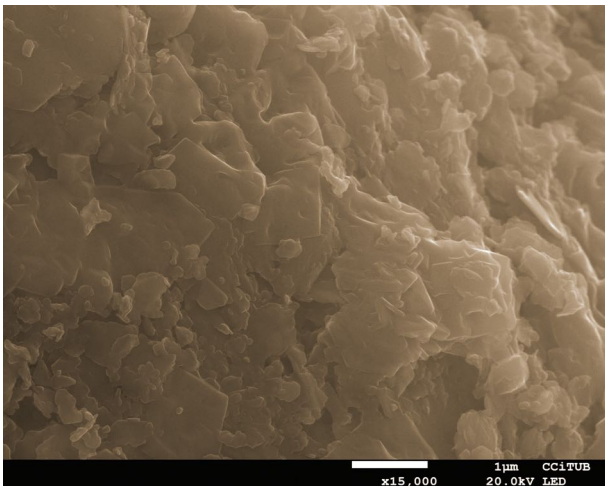
Muestra - GEO-D202 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



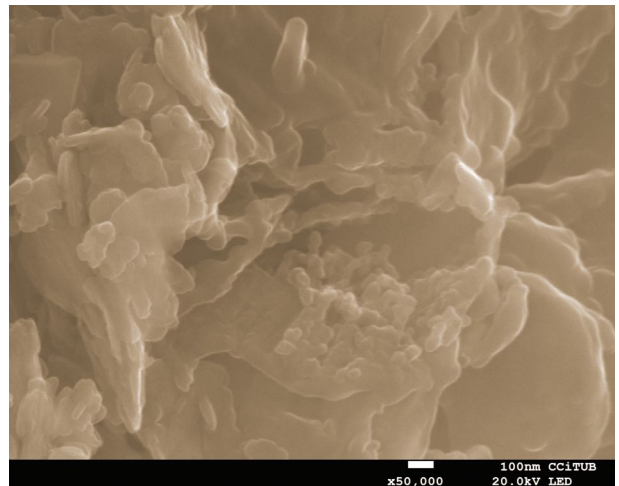
x 1.000



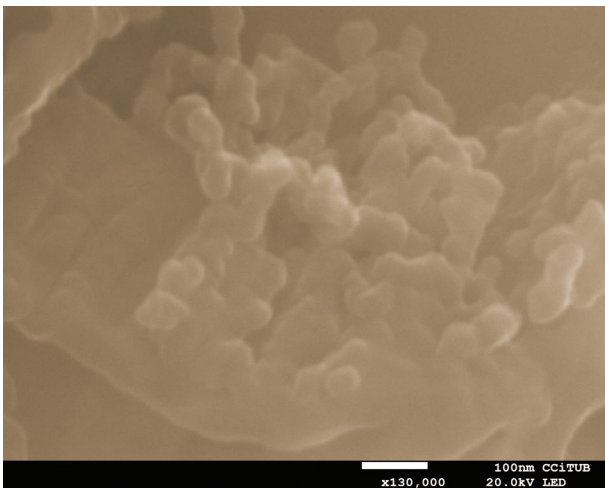
x 4.300



x 15.000



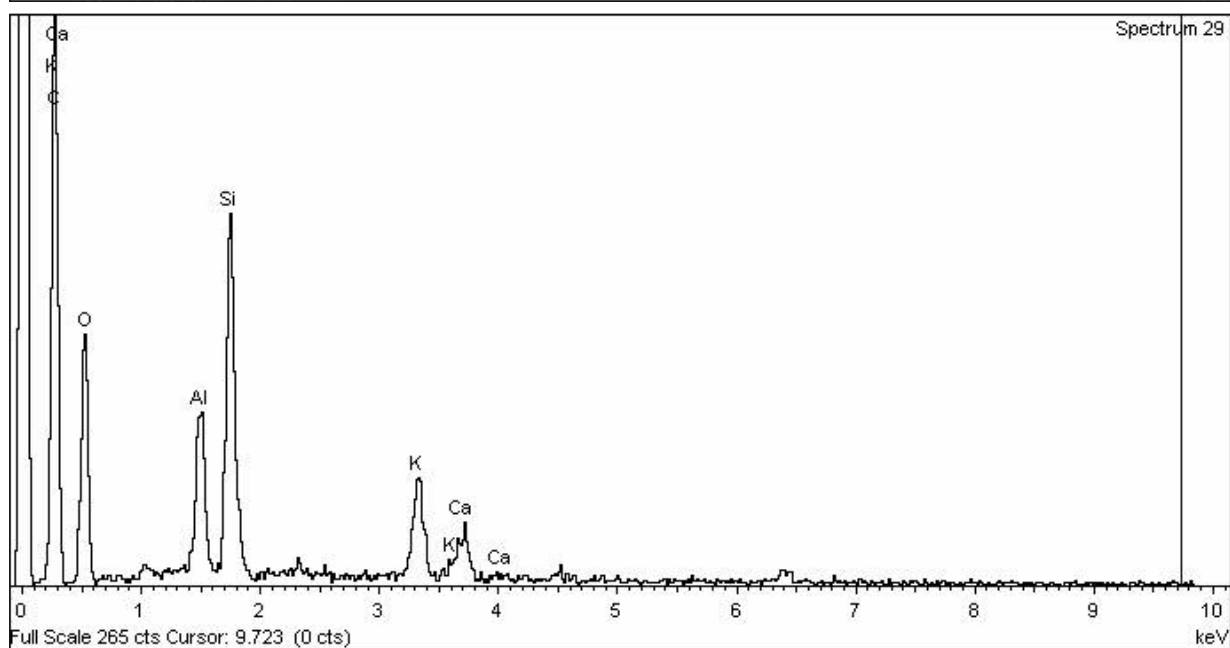
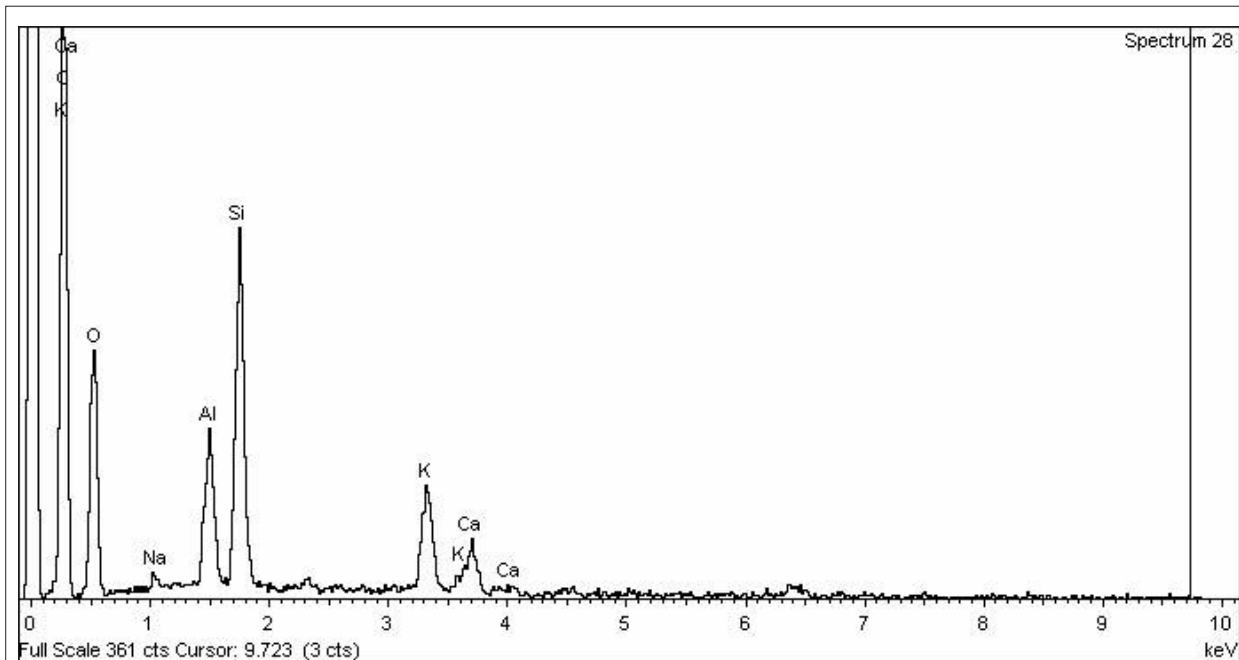
x 50.000



x 130.000

Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-D202 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

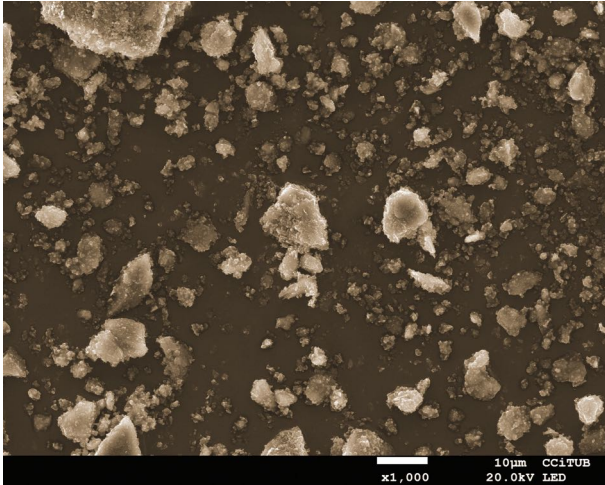


Análisis SEM - Cuantitativo - Geo D2-02

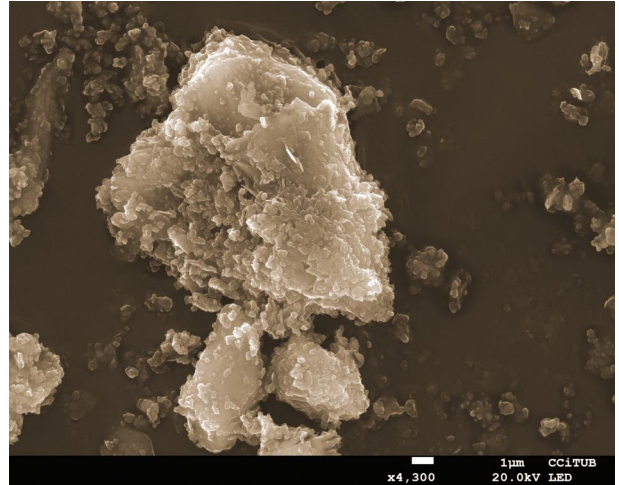
Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)

Spectrum	In stats.	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O	Total
Spectrum 28	Yes	24.76	0.21		1.05	2.41		0.98	0.47		70.11	100.00
Spectrum 29	Yes	24.63			1.32	2.52		0.99	0.49		70.05	100.00

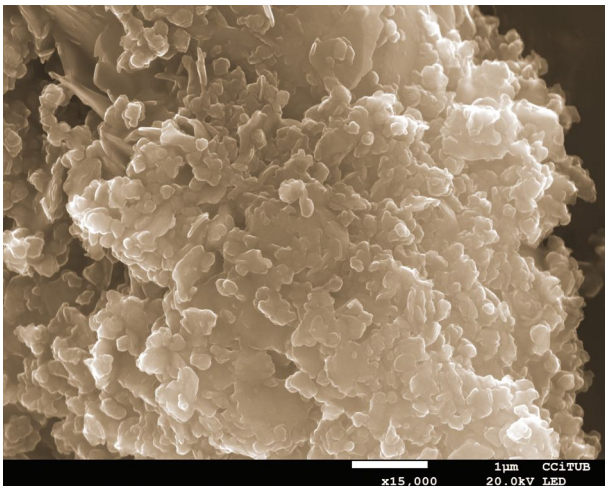
Muestra - GEO-FP04 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



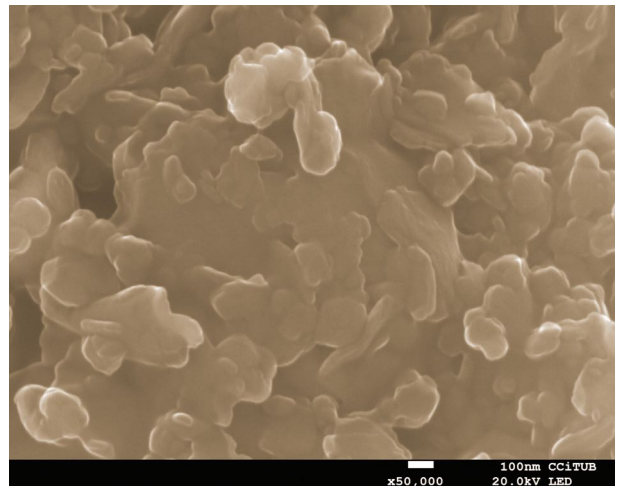
x 1.000



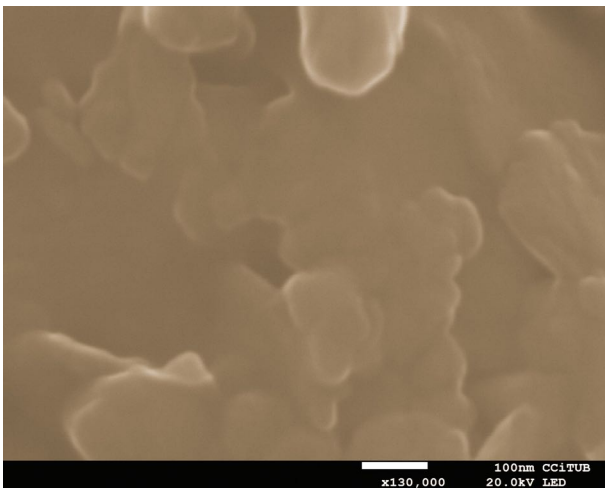
x 4.300



x 15.000



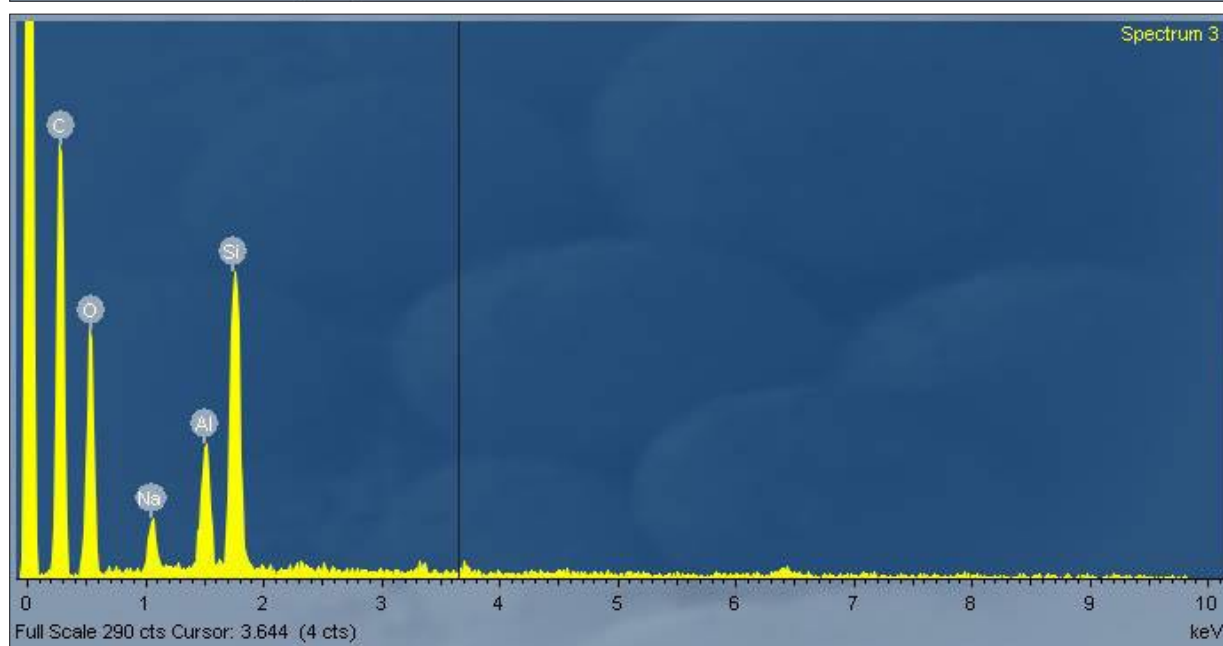
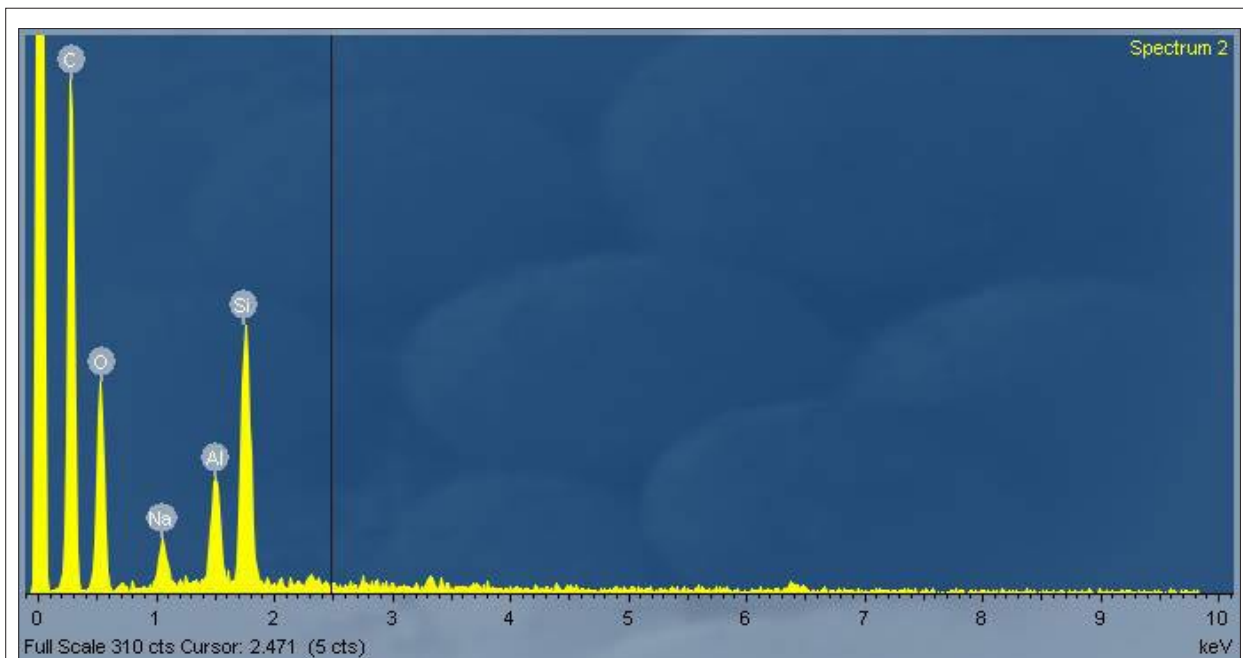
x 50.000



x 130.000

Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-FP04 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

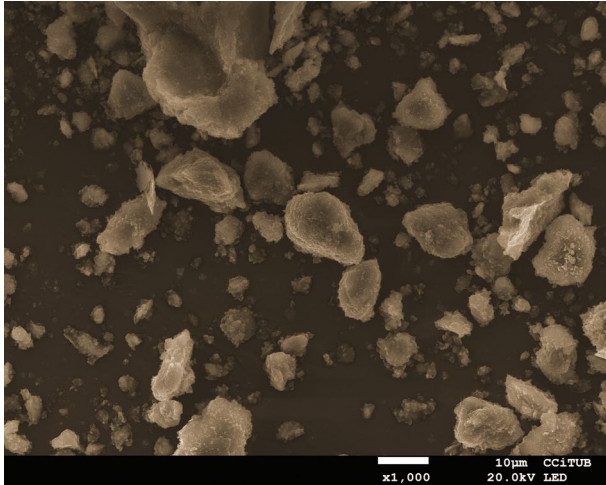


Análisis SEM - Cuantitativo - Geo FPA-04

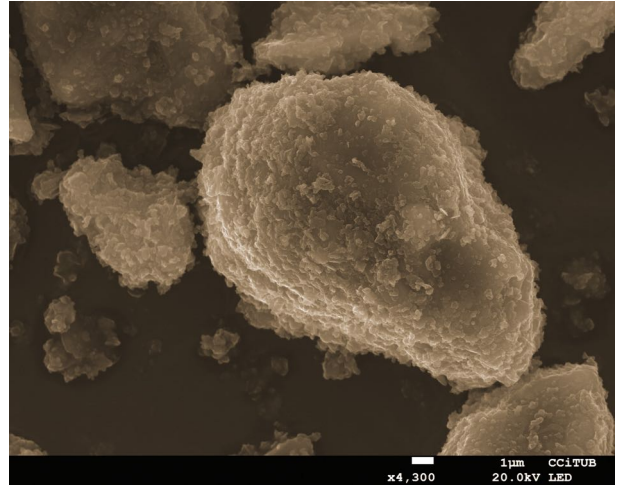
Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)

Spectrum	In stats.	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O	Total
Spectrum 2	Yes	24.81	0.93		1.09	2.69					70.47	100.00
Spectrum 3	Yes	24.26	1.10		1.31	3.34					69.99	100.00

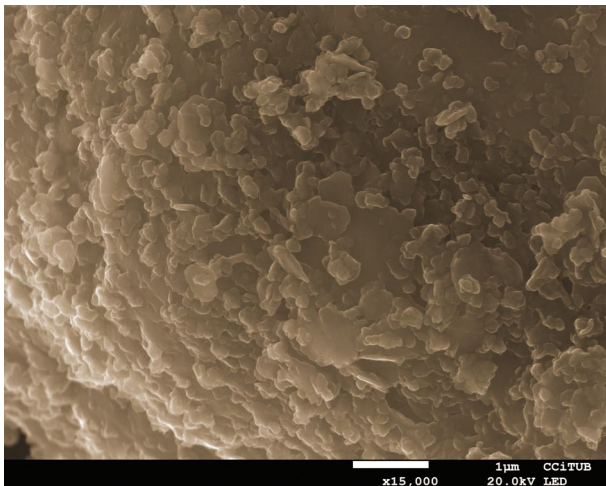
Muestra - GEO-FP06 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



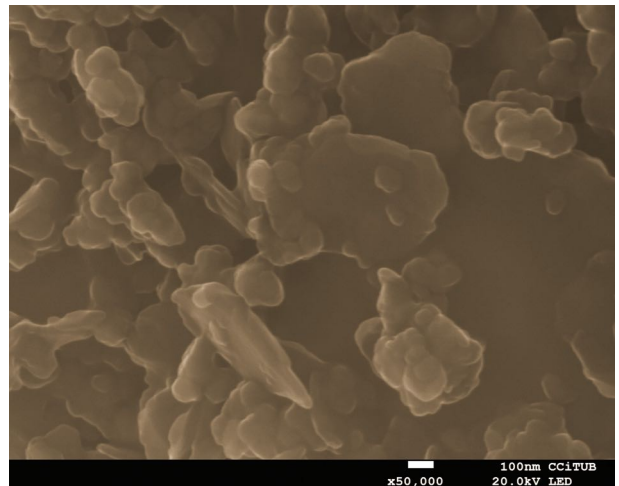
x 1.000



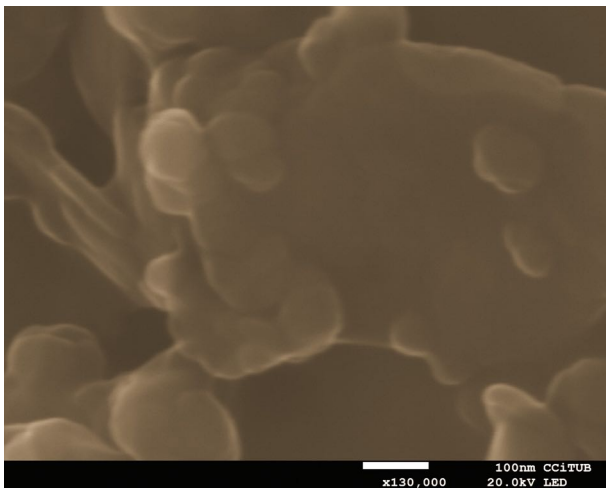
x 4.300



x 15.000



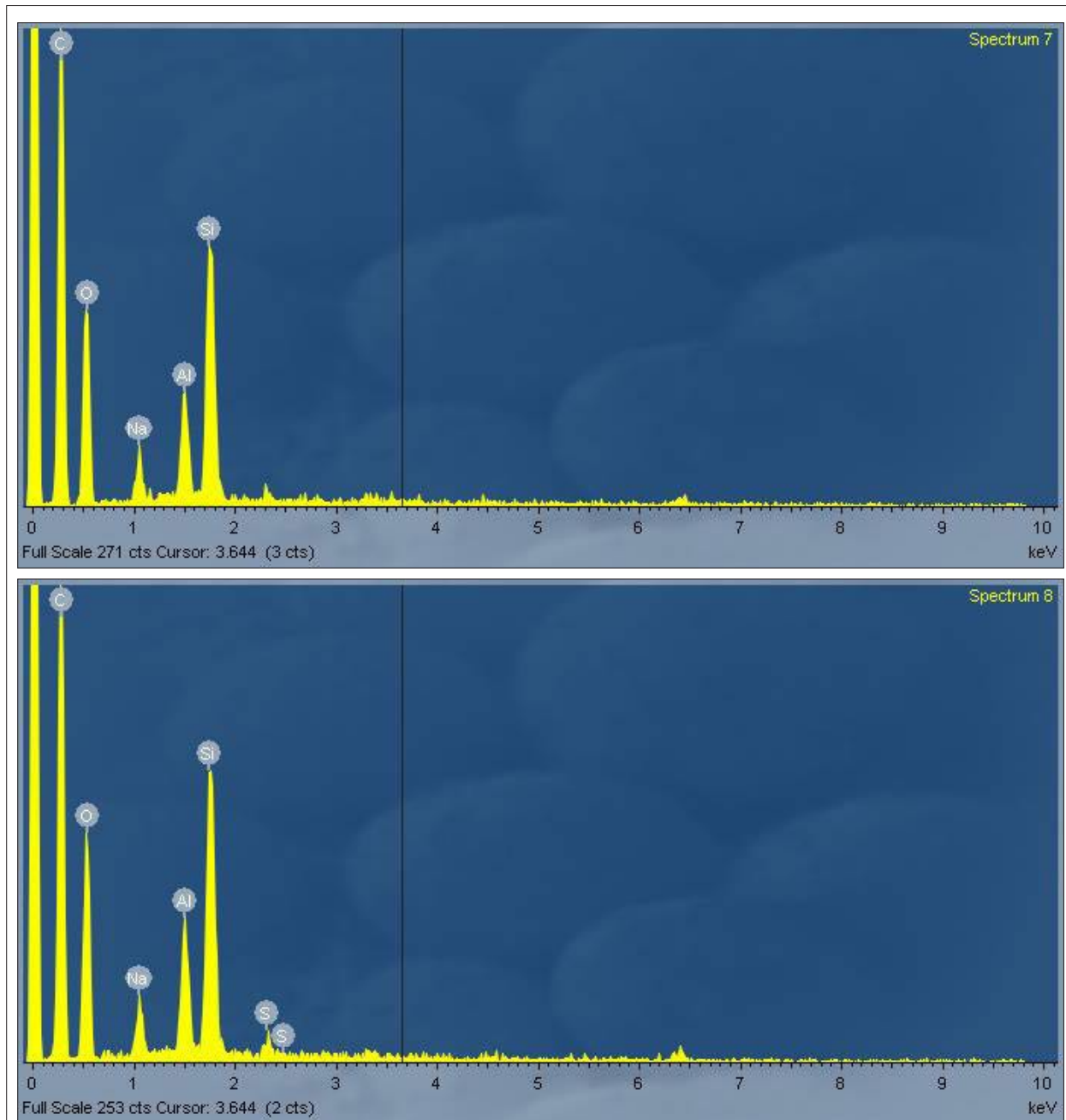
x 50.000



x 130.000

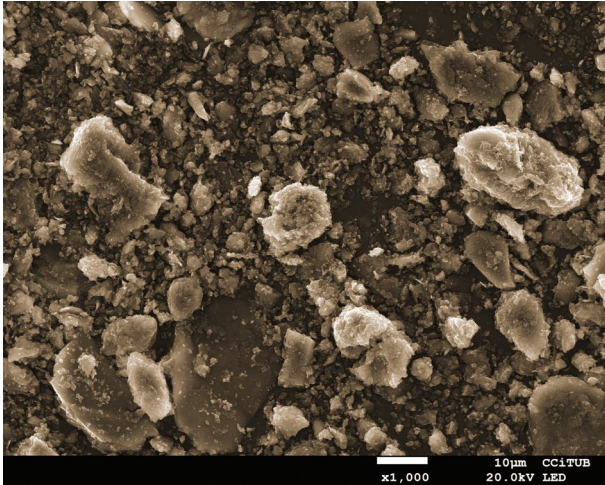
Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-FP06 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

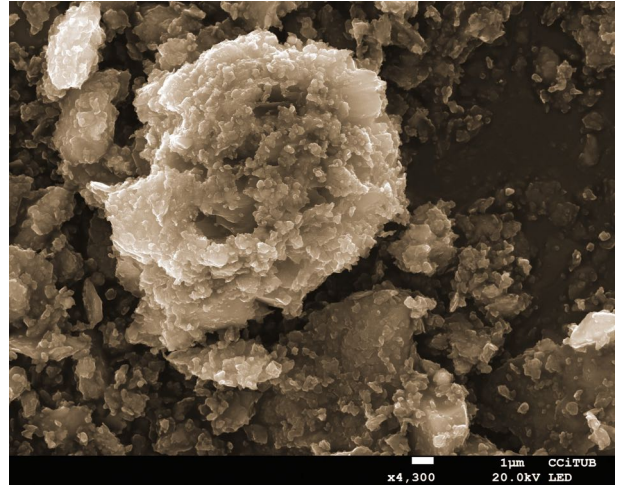


Análisis SEM - Cuantitativo - Geo FPA-06												
Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)												
Spectrum	In stats.	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O	Total
Spectrum 7	Yes	24.81	0.93		1.11	2.70					70.46	100.00
Spectrum 8	Yes	24.46	1.06		1.30	2.83	0.17				70.18	100.00

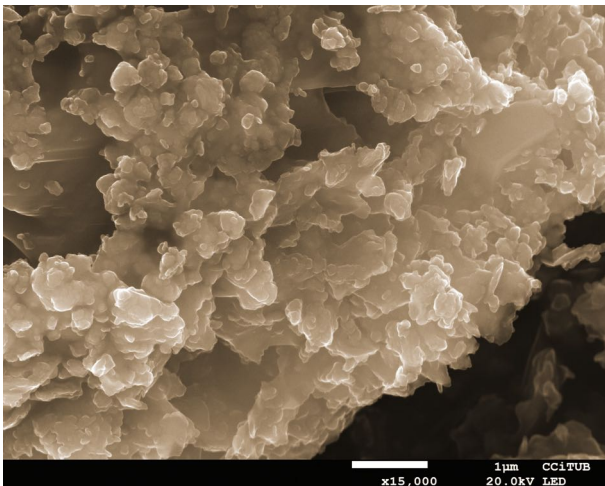
Muestra - P00X10-07 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



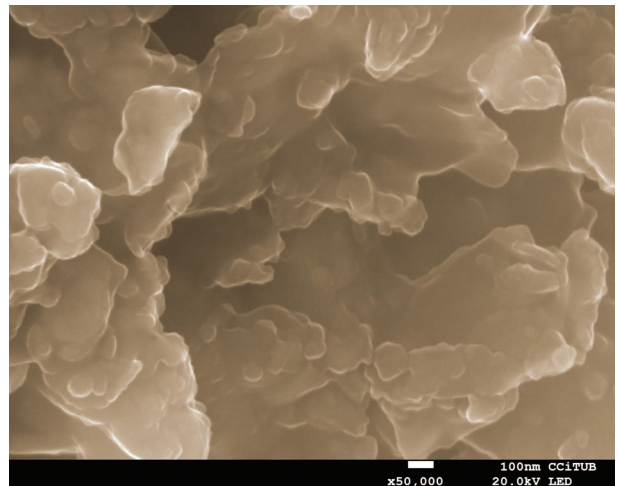
x 1.000



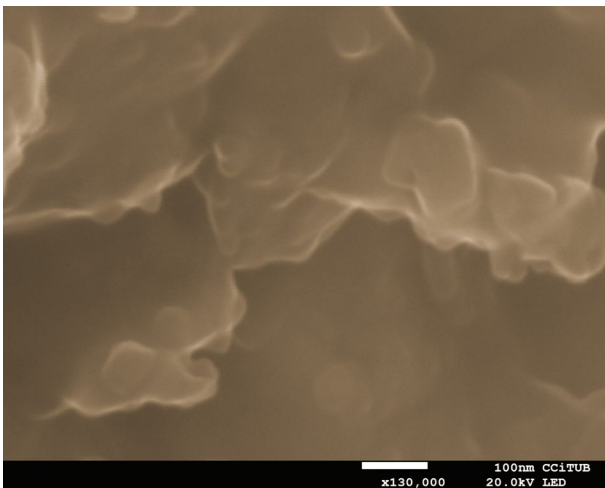
x 4.300



x 15.000



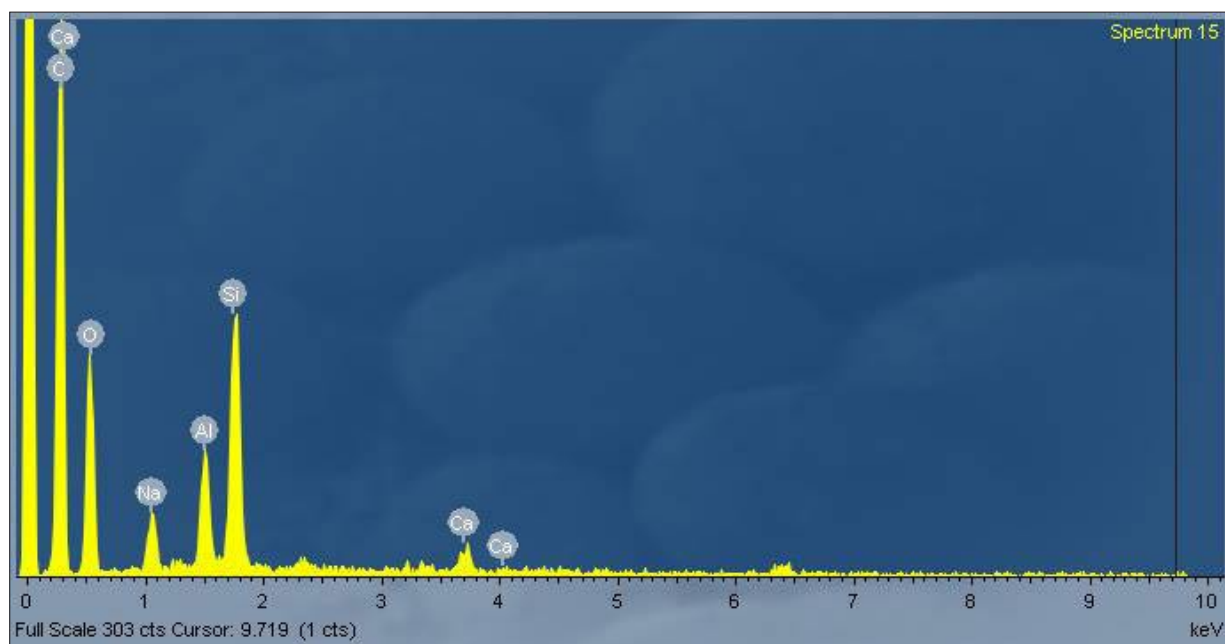
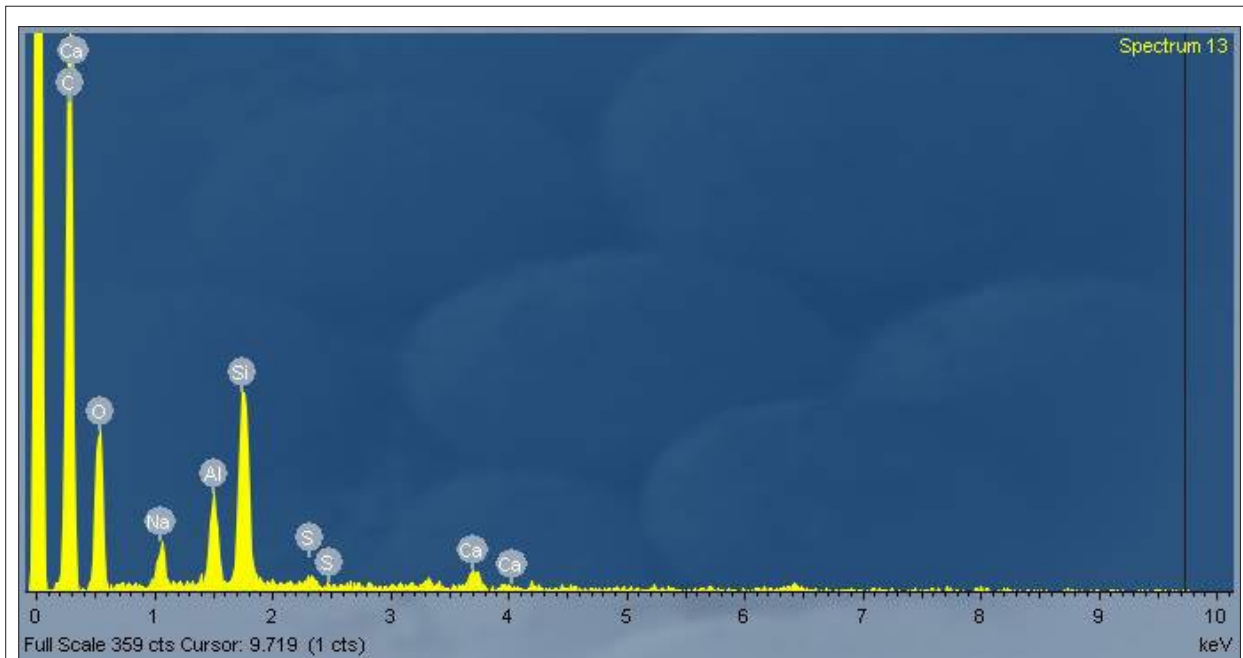
x 50.000



x 130.000

Anexo 6.12.3 Análisis SEM de geo-polímeros a base de arcilla

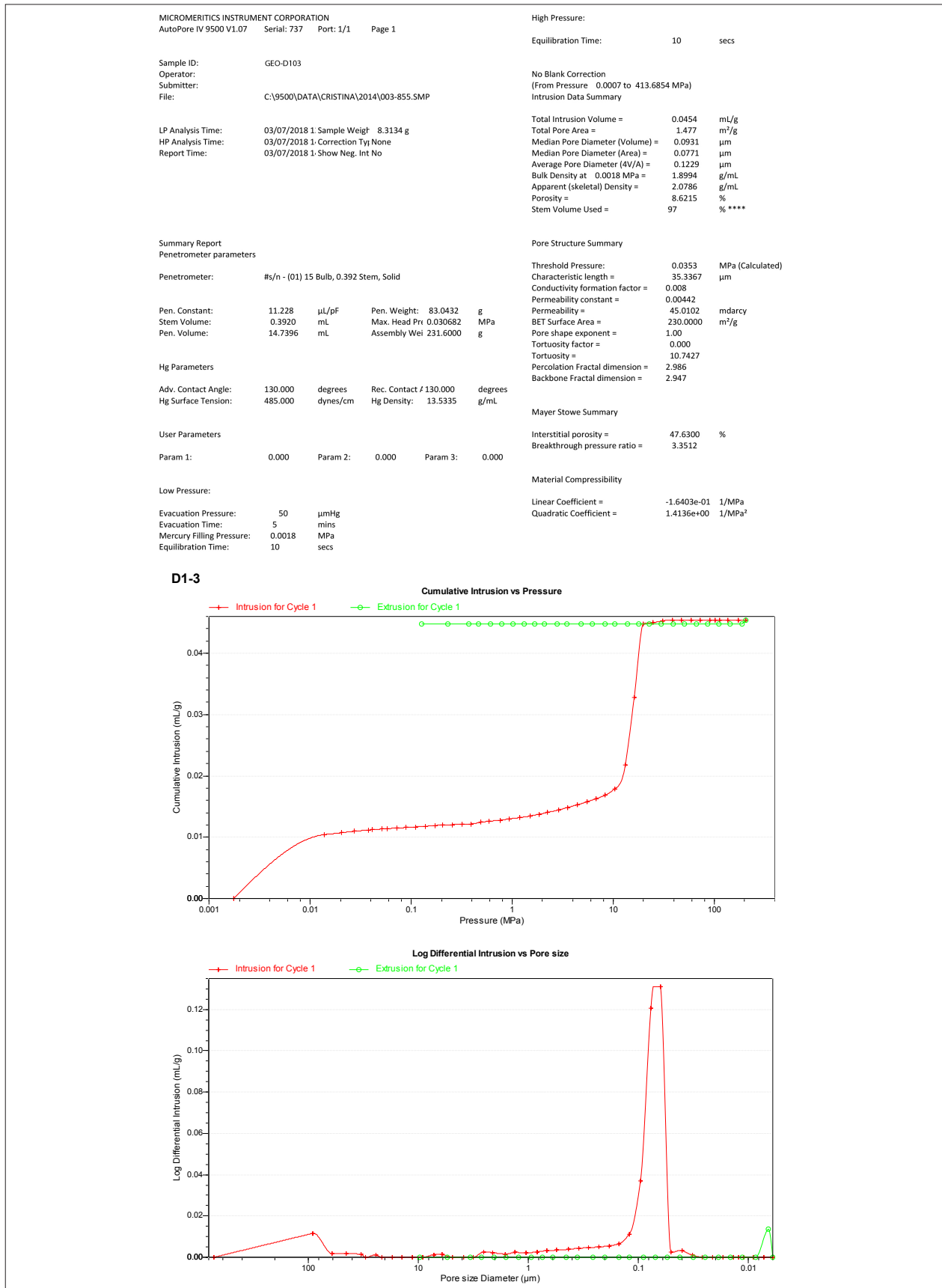
Muestra - P00X10-07 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



Análisis SEM - Cuantitativo - Geo P00X10-07												
Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)												
Spectrum	In stats.	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O	Total
Spectrum 13	Yes	25.24	0.76		0.84	1.98	0.12		0.26		70.80	100.00
Spectrum 15	Yes	24.75	1.14		1.07	2.50			0.30		70.24	100.00

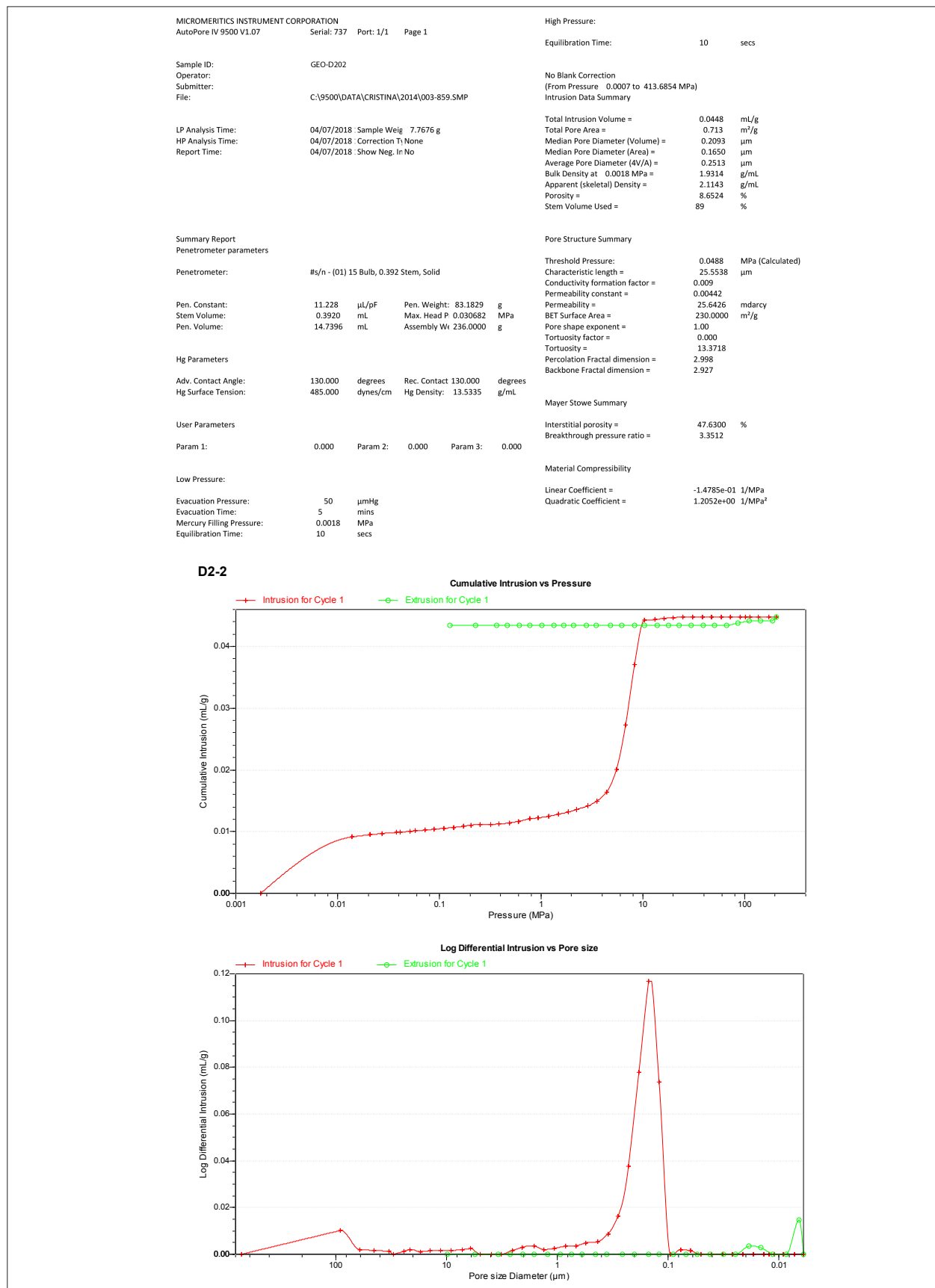
Anexo 6.12.4 Análisis de porosimetría por inyección de mercurio de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra- GEO-D103 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



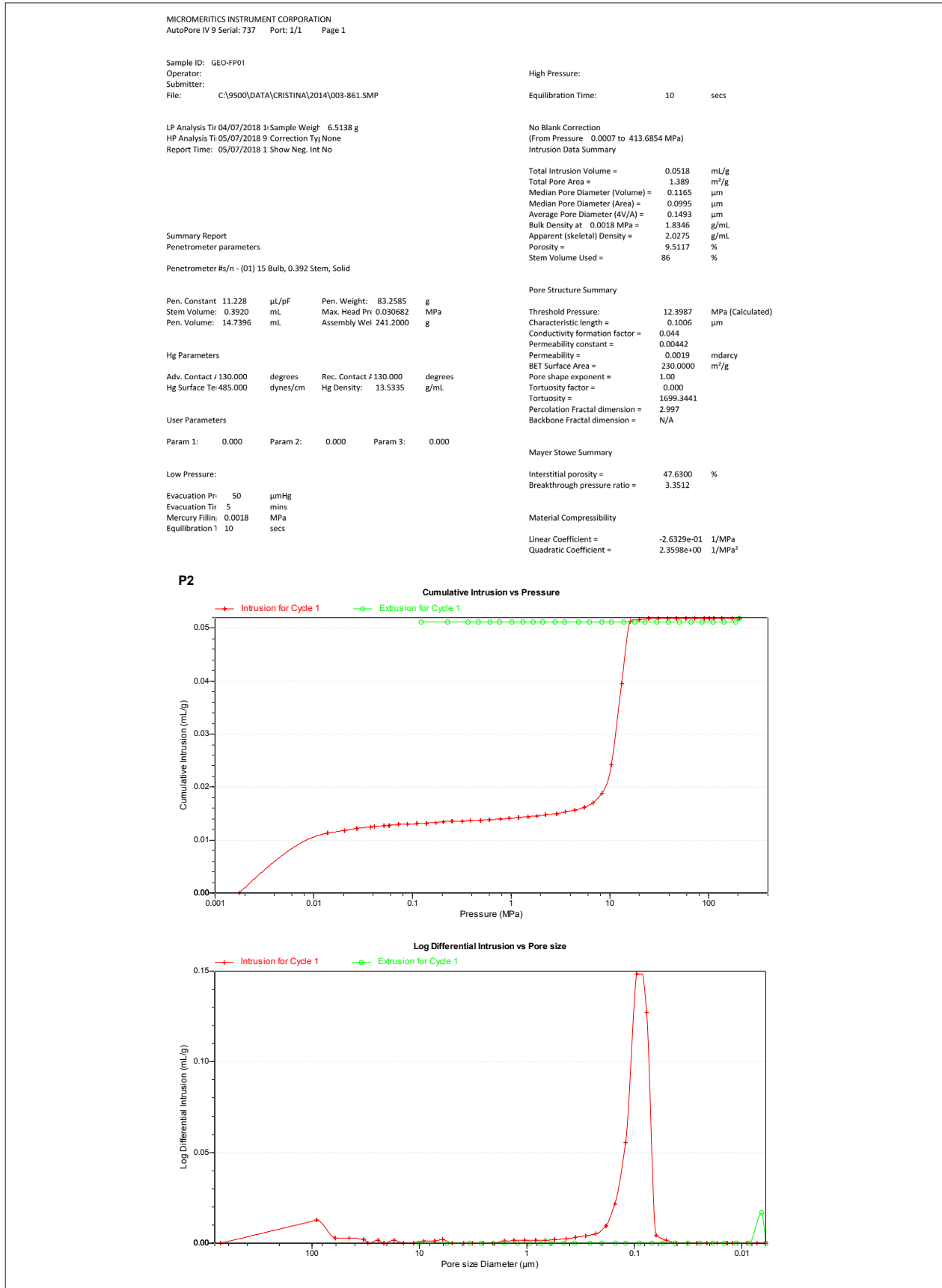
Anexo 6.12.4 Análisis de porosimetría por inyección de mercurio de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-D202 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



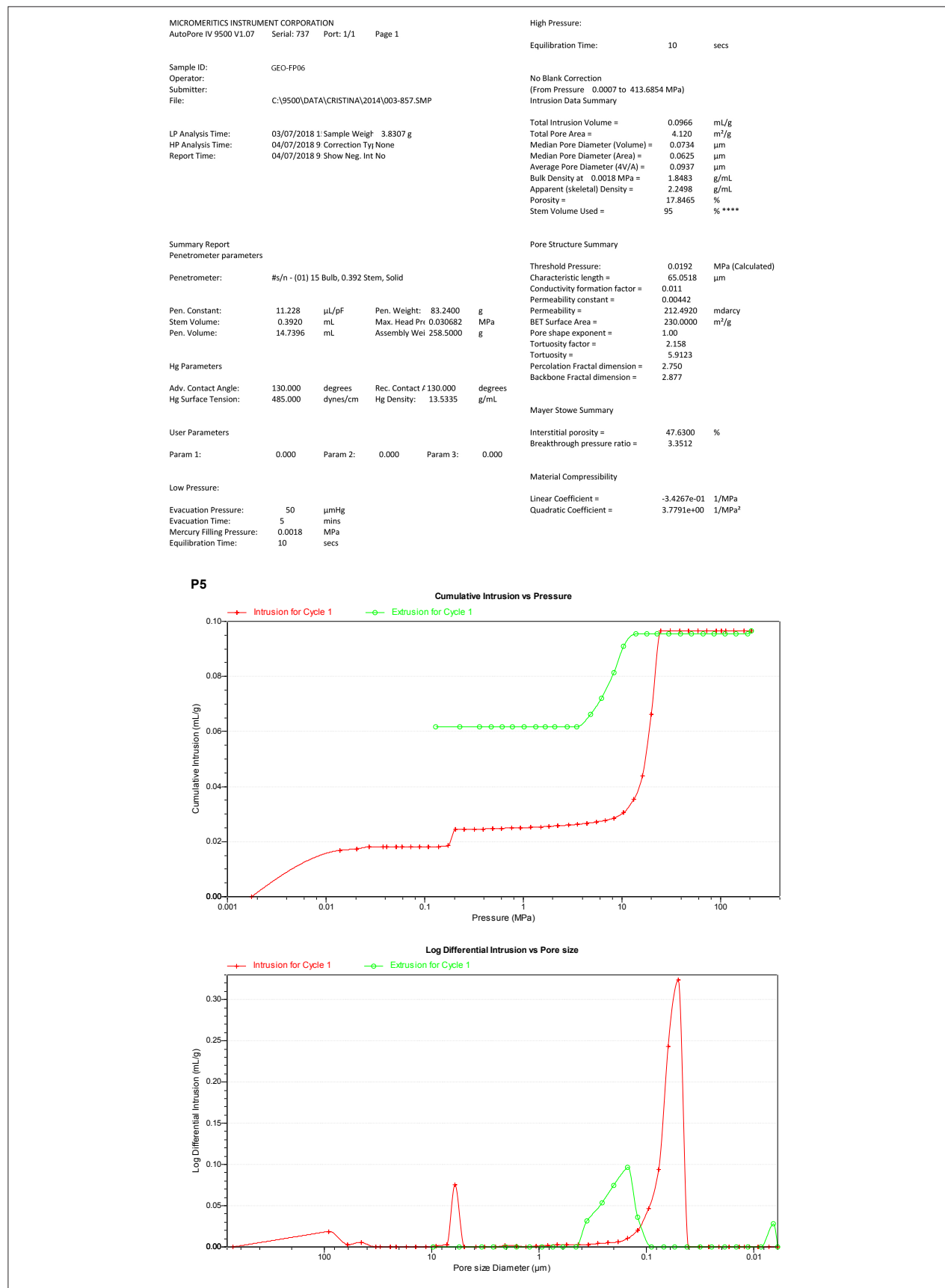
Anexo 6.12.4 Análisis de porosimetría por inyección de mercurio de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-FP01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



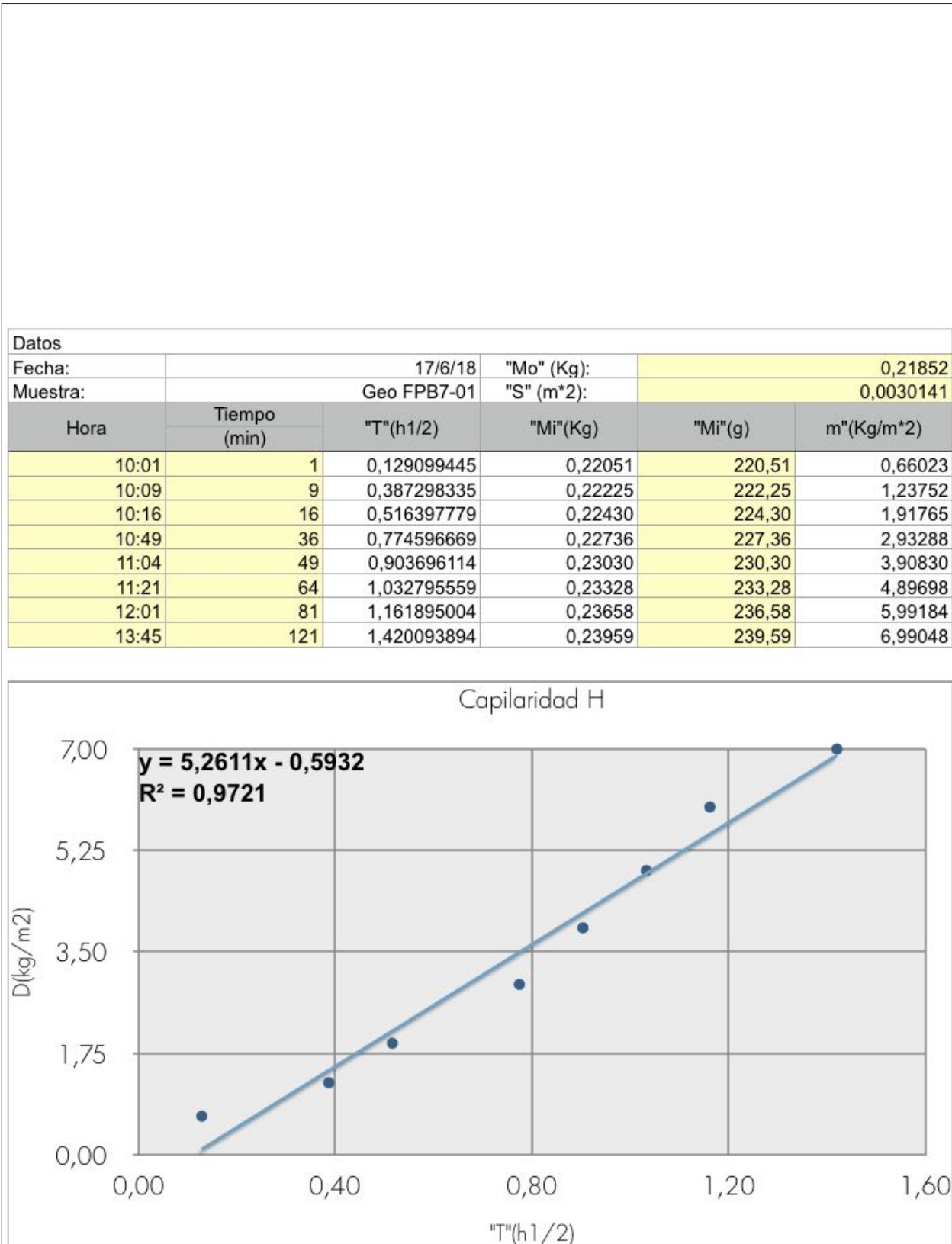
Anexo 6.12.4 Análisis de porosimetría por inyección de mercurio de geo-polímeros a base de arcilla

Muestra - GEO-FP06 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



Anexo 6.12.6 Determinación de la absorción de agua por capilaridad de geo-polímeros a base de arcilla

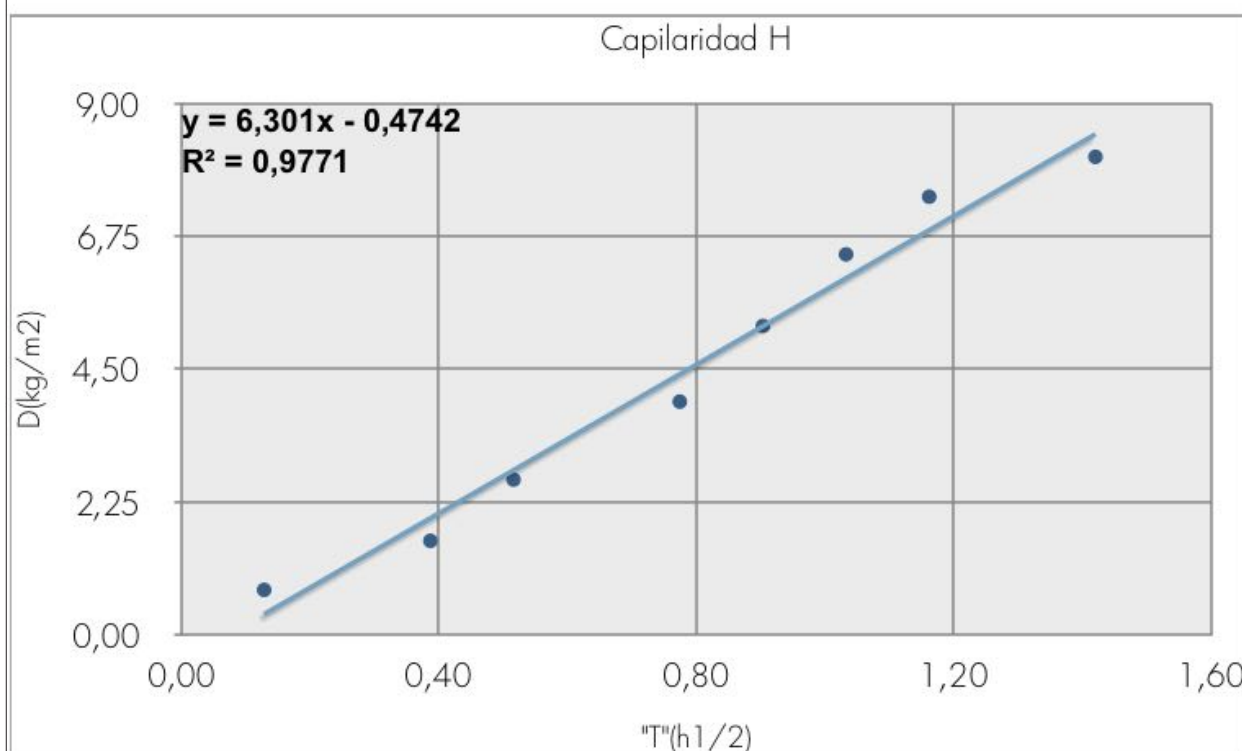
GEO-FP07-01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



Anexo 6.12.6 Determinación de la absorción de agua por capilaridad de geo-polímeros a base de arcilla

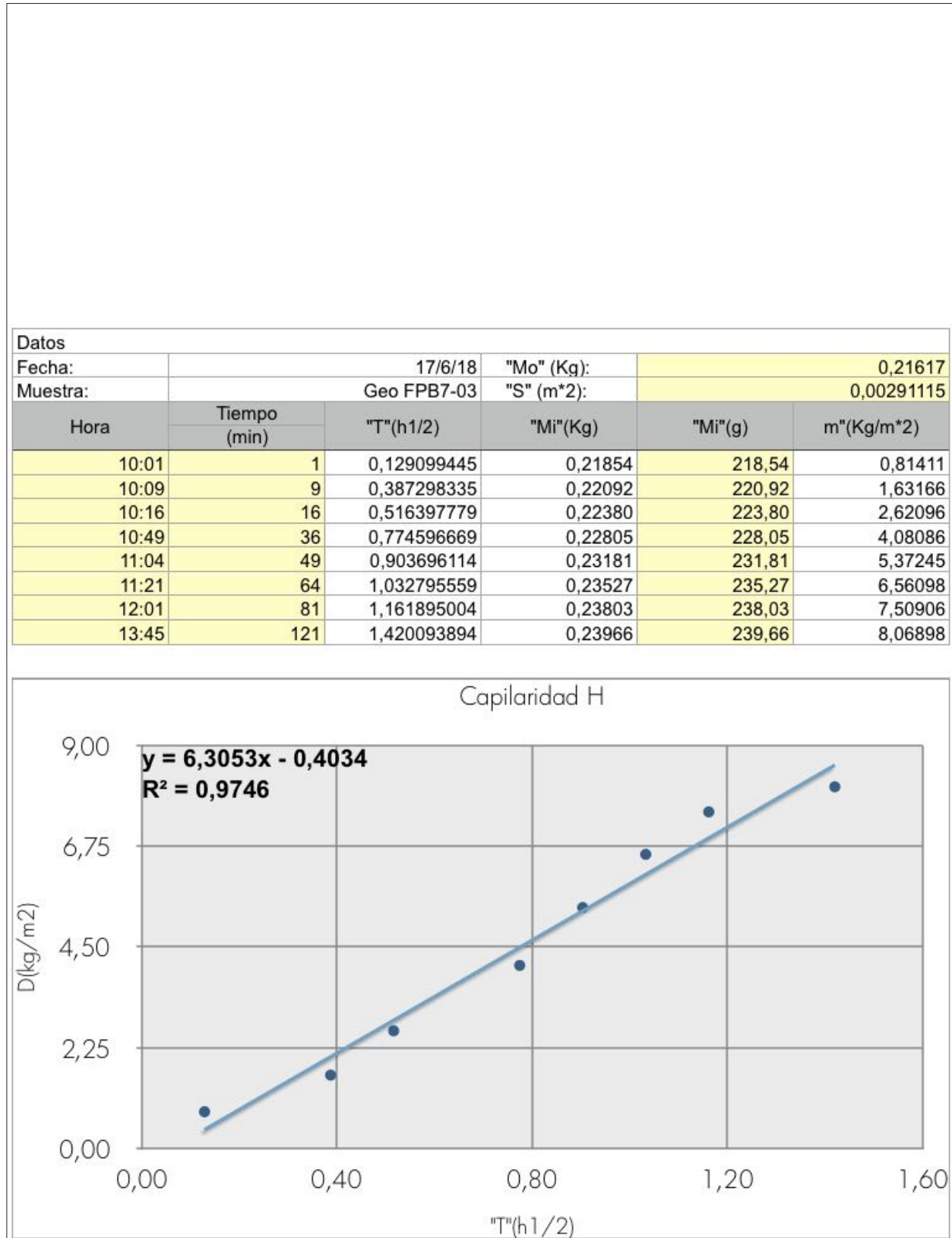
GEO-FP07-02 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos						
Fecha:	17/6/18		"Mo" (Kg):	0,21665		
Muestra:	Geo FPB7-02		"S" (m*2):	0,0030184		
Hora	Tiempo (min)	"T"(h1/2)	"Mi"(Kg)	"Mi"(g)	m"(Kg/m*2)	
10:01	1	0,129099445	0,21892	218,92	0,75205	
10:09	9	0,387298335	0,22143	221,43	1,58362	
10:16	16	0,516397779	0,22456	224,56	2,62059	
10:49	36	0,774596669	0,22855	228,55	3,94249	
11:04	49	0,903696114	0,23242	232,42	5,22462	
11:21	64	1,032795559	0,23608	236,08	6,43719	
12:01	81	1,161895004	0,23903	239,03	7,41452	
13:45	121	1,420093894	0,24107	241,07	8,09038	



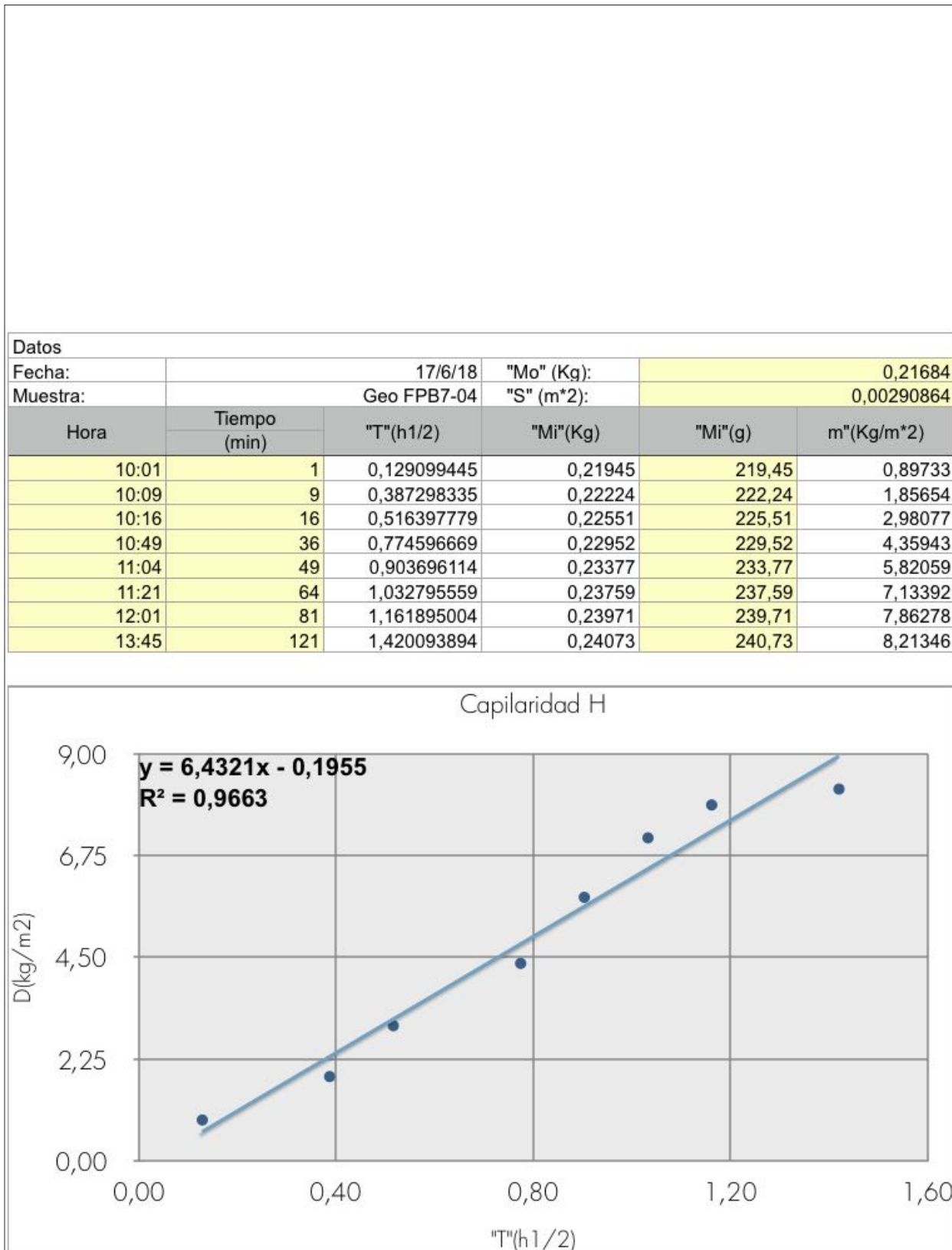
Anexo 6.12.6 Determinación de la absorción de agua por capilaridad de geo-polímeros a base de arcilla

GEO-FP07-03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



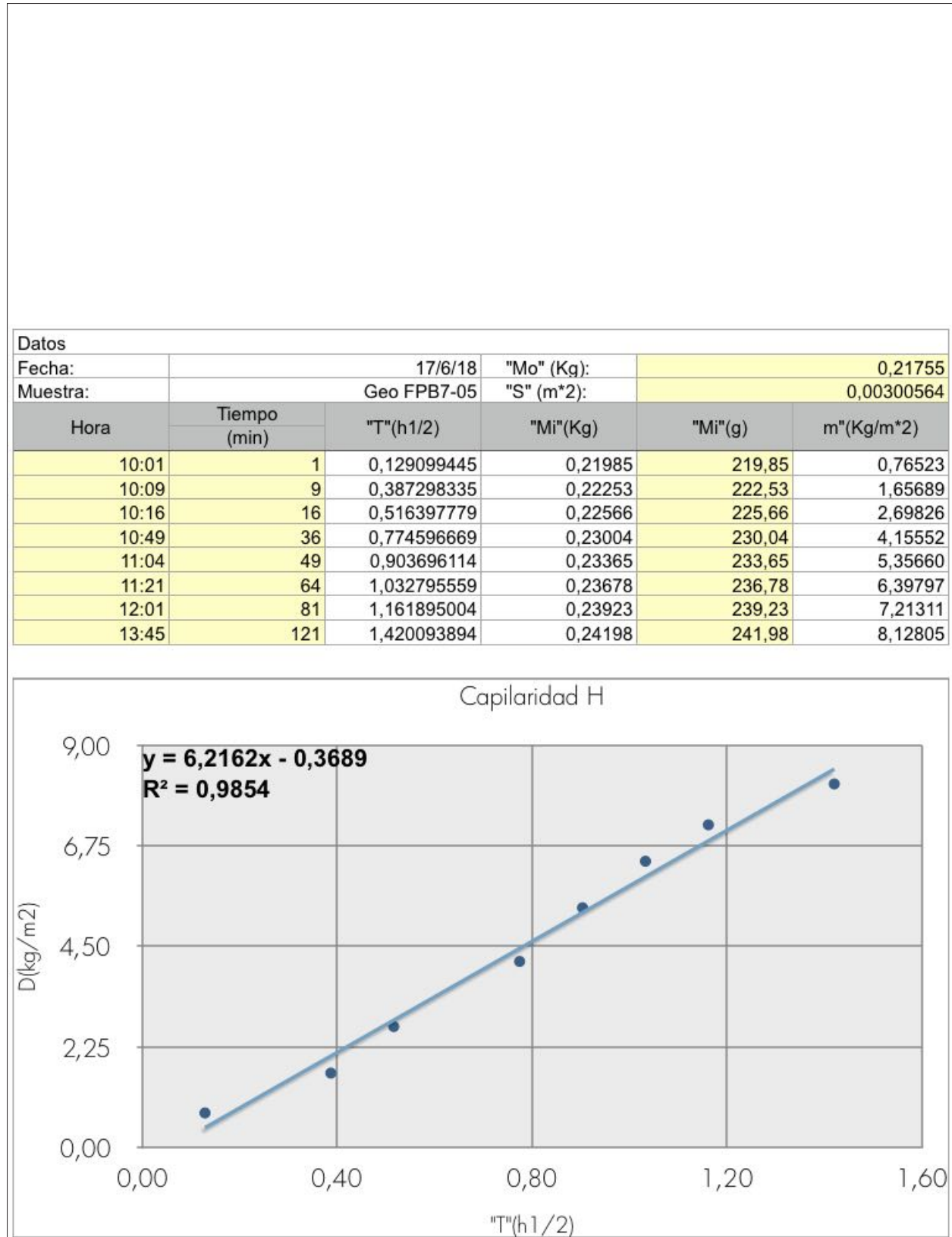
Anexo 6.12.6 Determinación de la absorción de agua por capilaridad de geo-polímeros a base de arcilla

GEO-FP07-04 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



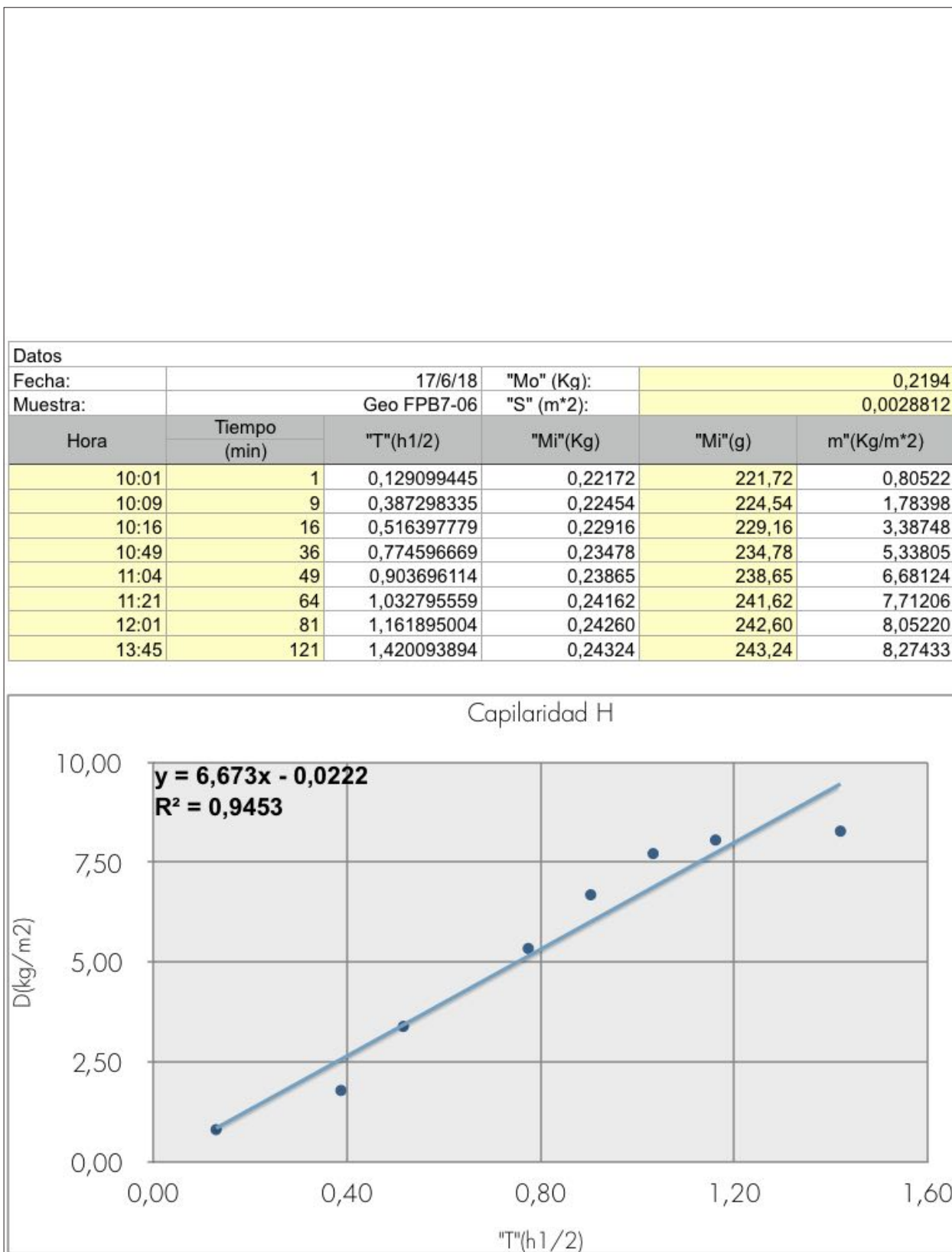
Anexo 6.12.6 Determinación de la absorción de agua por capilaridad de geo-polímeros a base de arcilla

GEO-FP07-05 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



Anexo 6.12.6 Determinación de la absorción de agua por capilaridad de geo-polímeros a base de arcilla

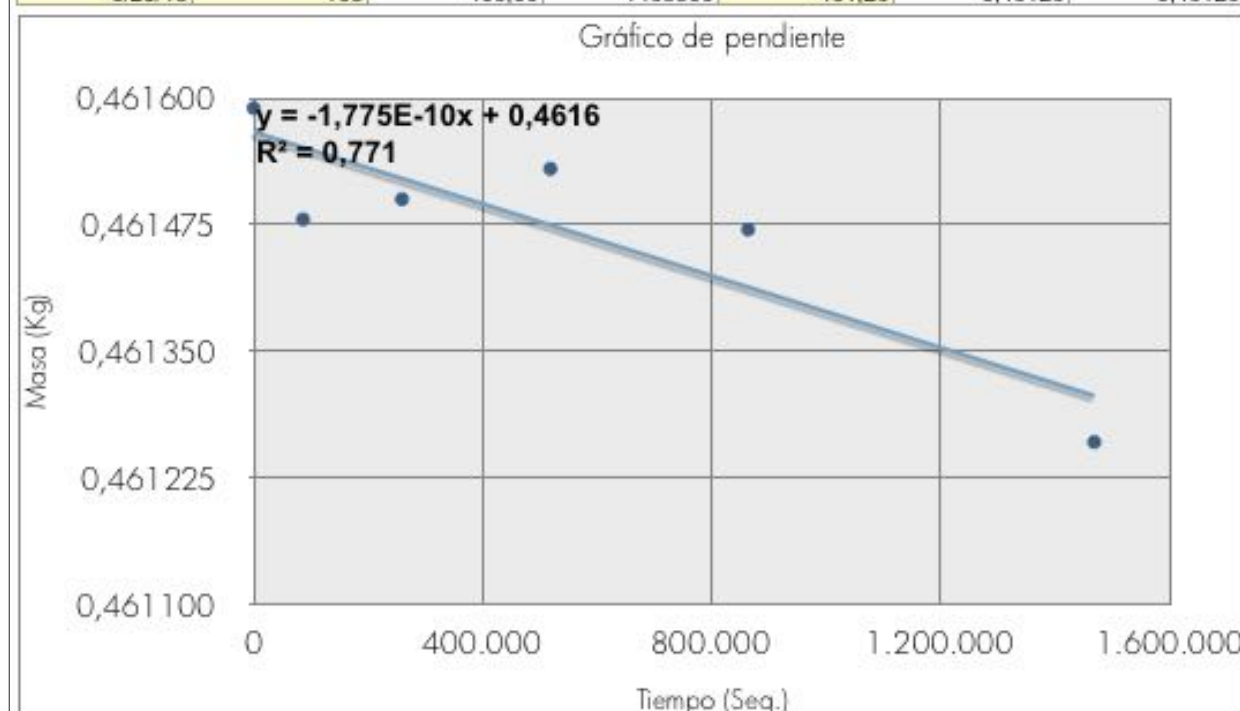
GEO-FP07-06 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP02-01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP02-1						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0.00	0	461,59	0,46159	0,46159
6/19/18	24	24.00	86400	461,48	0,46148	0,46148
6/20/18	48	72.00	259200	461,50	0,46150	0,46150
6/21/18	72	144.00	518400	461,53	0,46153	0,46153
6/22/18	96	240.00	864000	461,47	0,46147	0,46147
6/25/18	168	408.00	1468800	461,26	0,46126	0,46126



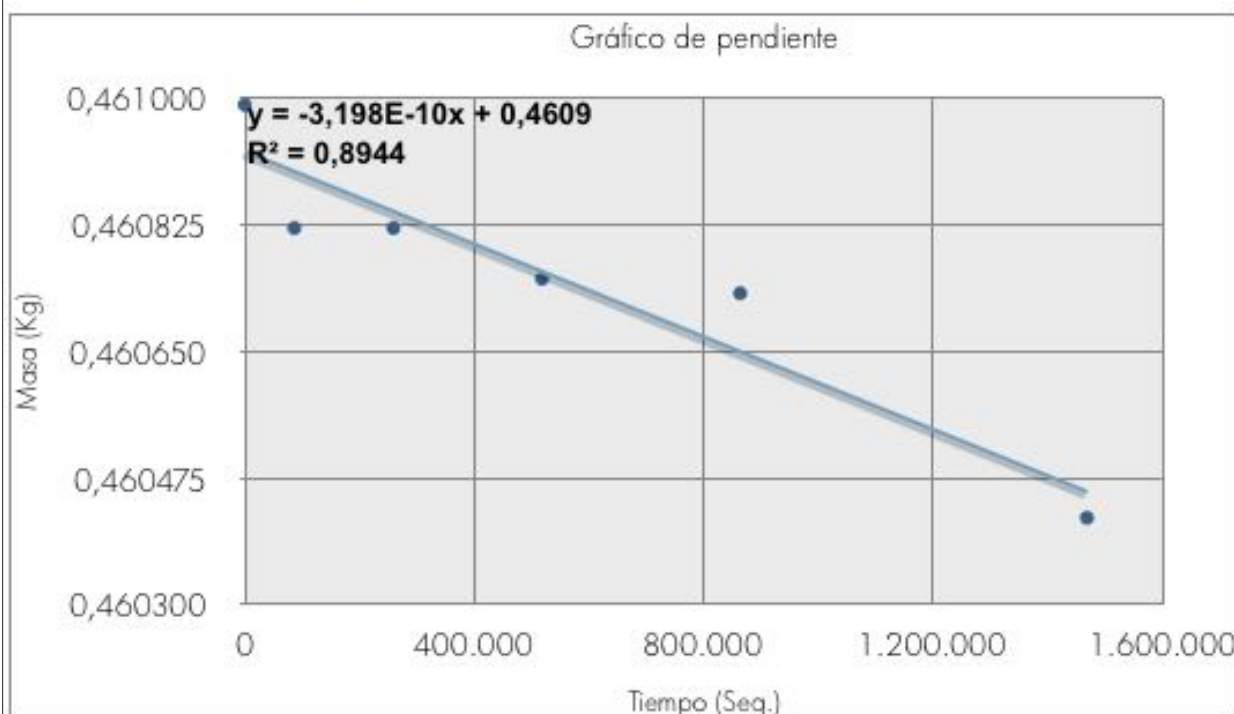
Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δa	Permeabilidad al vapor agua al aire Kgmv/(m ² ·s·Pa) [δa] :
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solucion:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
$\Delta\pi$:	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	g=G/A	W=g/ $\Delta P v$	Z = 1/W	$\delta = W \cdot d$	$\mu = \delta a / \delta$
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
-1,7750E-10	-1,1094E-07	1,2722E-10	7,8602E+09	2,4554E-12	79,50

Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP02-02 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP02-2						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0,00	0	460,99	0,46099	0,46099
6/19/18	24	24,00	86400	460,82	0,46082	0,46082
6/20/18	48	72,00	259200	460,82	0,46082	0,46082
6/21/18	72	144,00	518400	460,75	0,46075	0,46075
6/22/18	96	240,00	864000	460,73	0,46073	0,46073
6/25/18	168	408,00	1468800	460,42	0,46042	0,46042

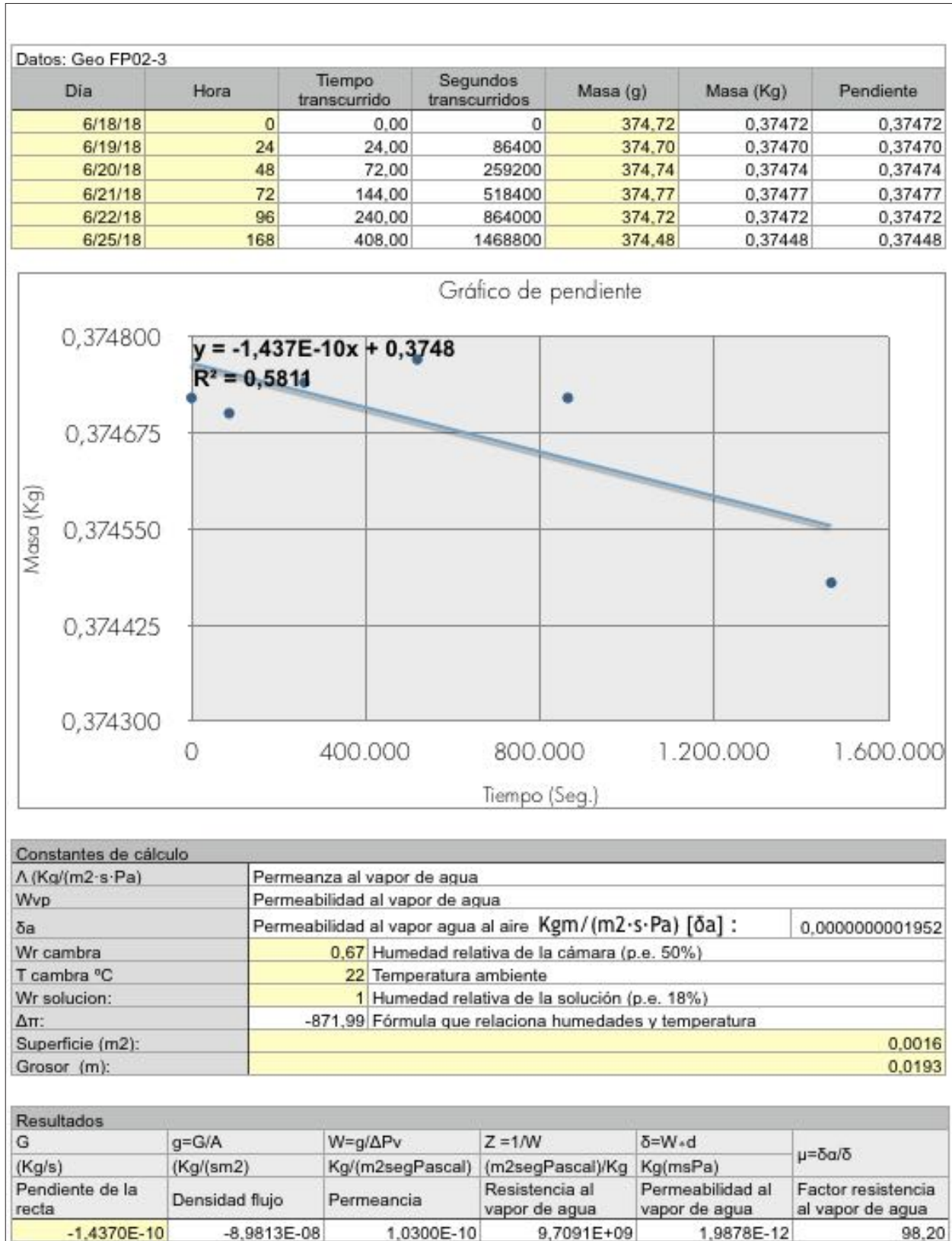


Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δ_a	Permeabilidad al vapor agua al aire Kg/(m ² ·s·Pa) [δ_a] : 0,0000000001952
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solución:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
$\Delta\pi$:	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	g=G/A	W=g/ ΔP_v	Z = 1/W	$\delta = W \cdot d$	$\mu = \delta_a / \delta$
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeanza	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
-3,1980E-10	-1,9988E-07	2,2922E-10	4,3627E+09	4,4239E-12	44,12

Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

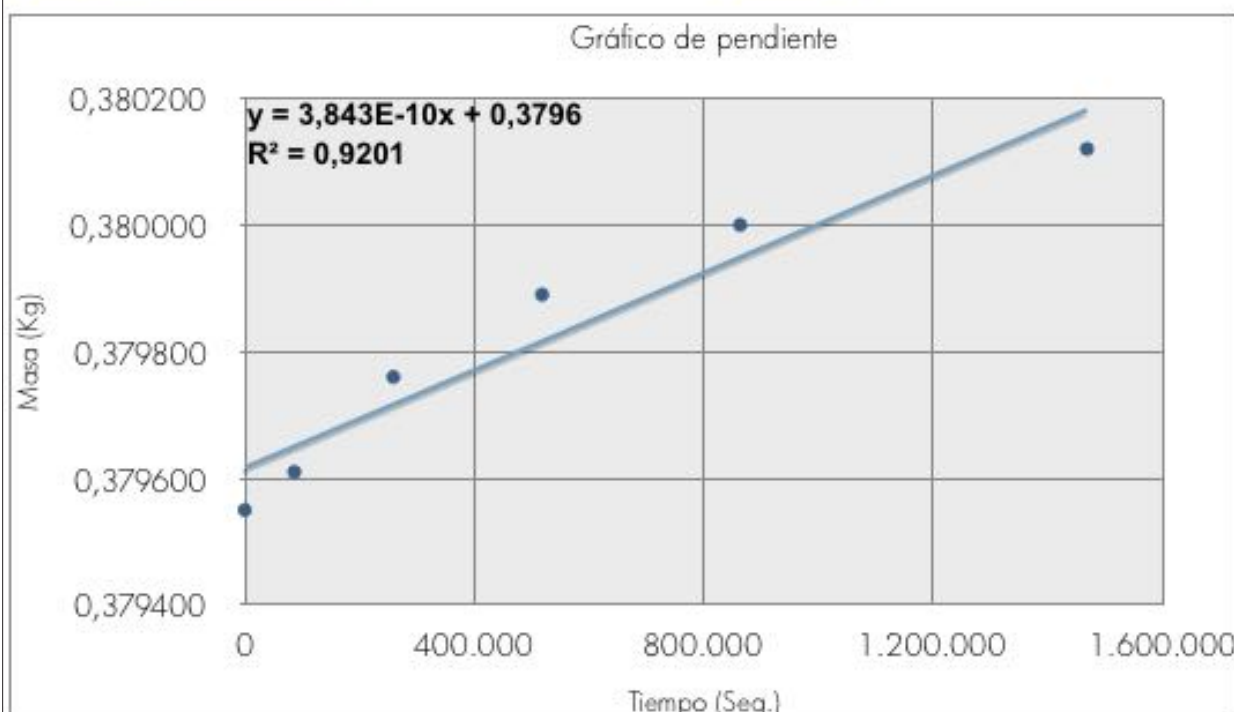
Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP02-03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP02-04 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP02-4						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0,00	0	379,55	0,37955	0,37955
6/19/18	24	24,00	86400	379,61	0,37961	0,37961
6/20/18	48	72,00	259200	379,76	0,37976	0,37976
6/21/18	72	144,00	518400	379,89	0,37989	0,37989
6/22/18	96	240,00	864000	380	0,38000	0,38000
6/25/18	168	408,00	1468800	380,12	0,38012	0,38012



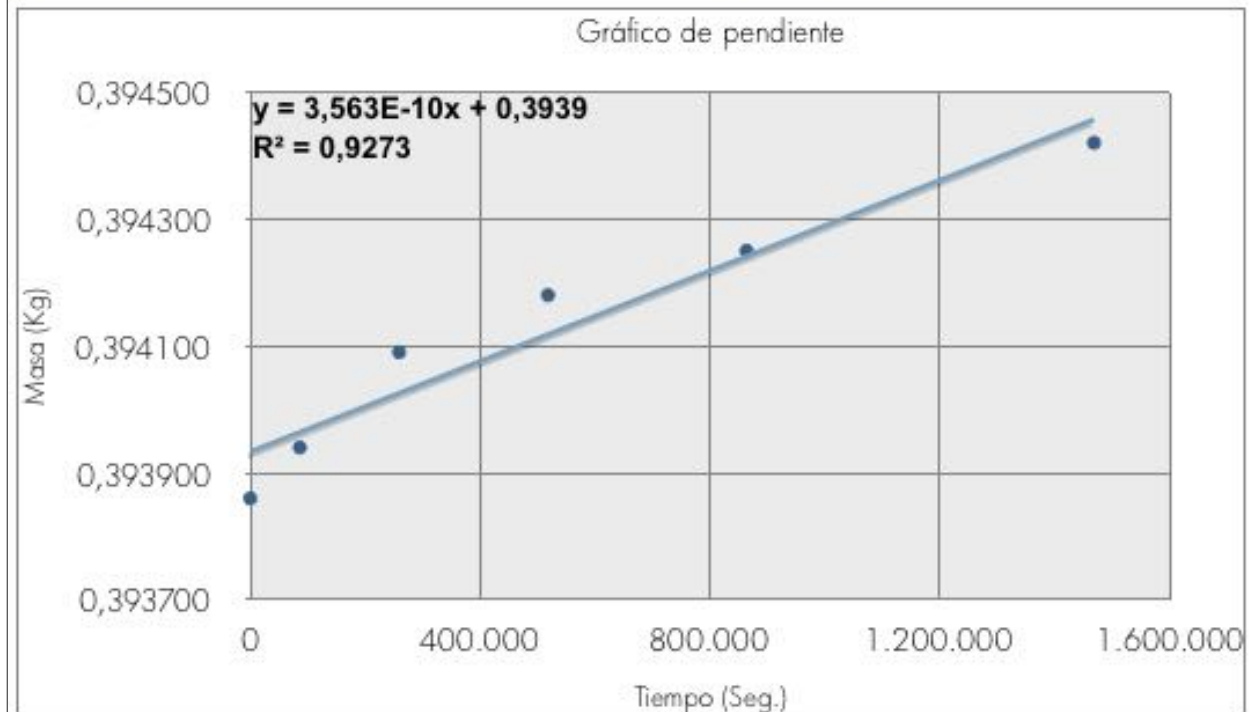
Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δ_a	Permeabilidad al vapor agua al aire Kg/(m ² ·s·Pa) [δ_a] : 0,0000000001952
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solución:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
$\Delta\pi$:	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	g=G/A	W=g/ ΔP_v	Z = 1/W	$\delta = W \cdot d$	$\mu = \delta_a / \delta$
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
3,8430E-10	2,4019E-07	-2,7545E-10	-3,6305E+09	-5,3161E-12	-36,72

Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP02-05 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP02-5						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0,00	0	393,86	0,39386	0,39386
6/19/18	24	24,00	86400	393,94	0,39394	0,39394
6/20/18	48	72,00	259200	394,09	0,39409	0,39409
6/21/18	72	144,00	518400	394,18	0,39418	0,39418
6/22/18	96	240,00	864000	394,25	0,39425	0,39425
6/25/18	168	408,00	1468800	394,42	0,39442	0,39442



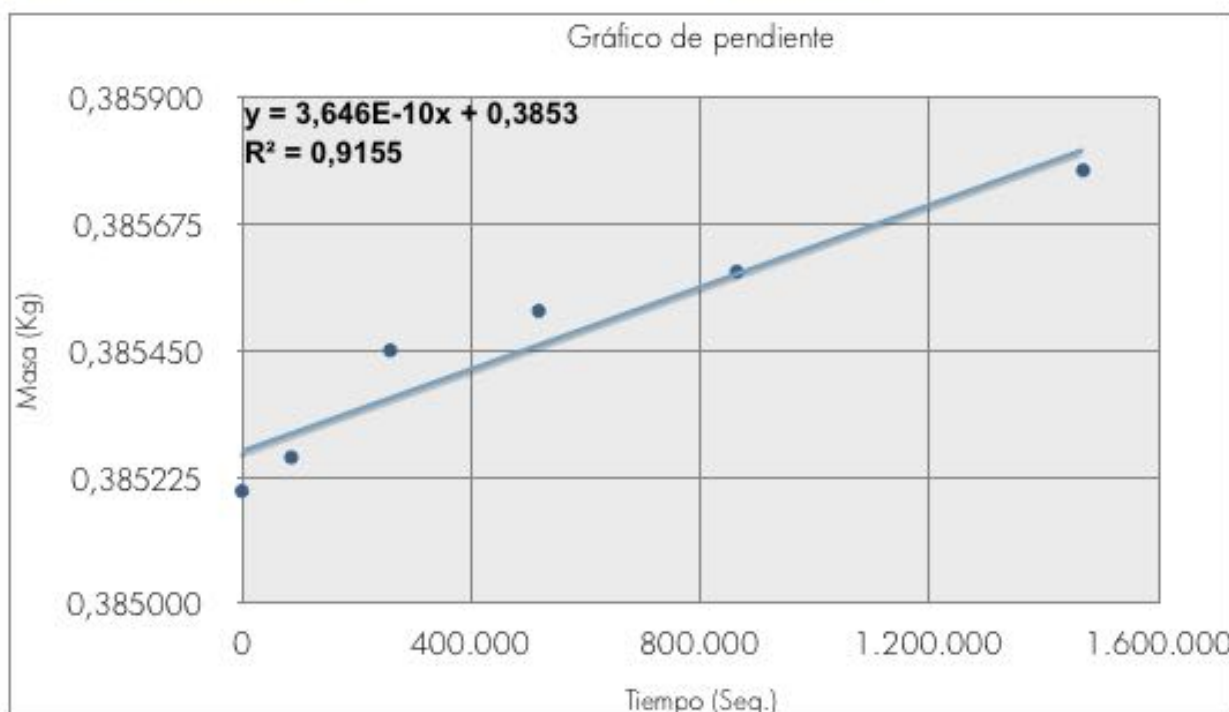
Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δa	Permeabilidad al vapor agua al aire Kg/(m ² ·s·Pa) [δa] : 0,0000000001952
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solución:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
$\Delta\pi$:	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	$g=G/A$	$W=g/\Delta P_v$	$Z=1/W$	$\delta=W \cdot d$	$\mu=\delta a/\delta$
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
3,5630E-10	2,2269E-07	-2,5538E-10	-3,9158E+09	-4,9288E-12	-39,60

Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP02-06 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP02-6						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0,00	0	385,20	0,38520	0,38520
6/19/18	24	24,00	86400	385,26	0,38526	0,38526
6/20/18	48	72,00	259200	385,45	0,38545	0,38545
6/21/18	72	144,00	518400	385,52	0,38552	0,38552
6/22/18	96	240,00	864000	385,59	0,38559	0,38559
6/25/18	168	408,00	1468800	385,77	0,38577	0,38577



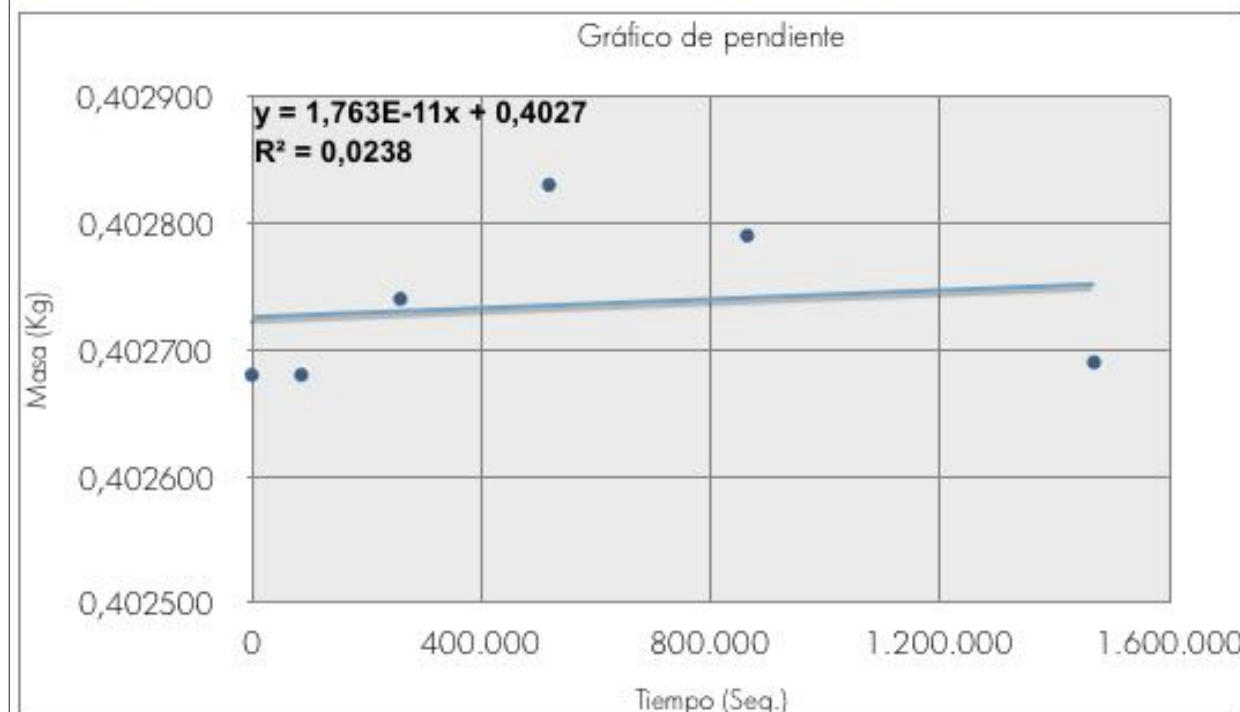
Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δa	Permeabilidad al vapor agua al aire Kg/(m ² ·s·Pa) [δa] : 0,0000000001952
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solución:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
$\Delta\pi$:	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	g=G/A	W=g/ ΔP_v	Z = 1/W	$\delta = W \cdot d$	$\mu = \delta a / \delta$
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
3,6460E-10	2,2788E-07	-2,6133E-10	-3,8266E+09	-5,0436E-12	-38,70

Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP05-01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP05-1						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0,00	0	402,68	0,40268	0,40268
6/19/18	24	24,00	86400	402,68	0,40268	0,40268
6/20/18	48	72,00	259200	402,74	0,40274	0,40274
6/21/18	72	144,00	518400	402,83	0,40283	0,40283
6/22/18	96	240,00	864000	402,79	0,40279	0,40279
6/25/18	168	408,00	1468800	402,69	0,40269	0,40269



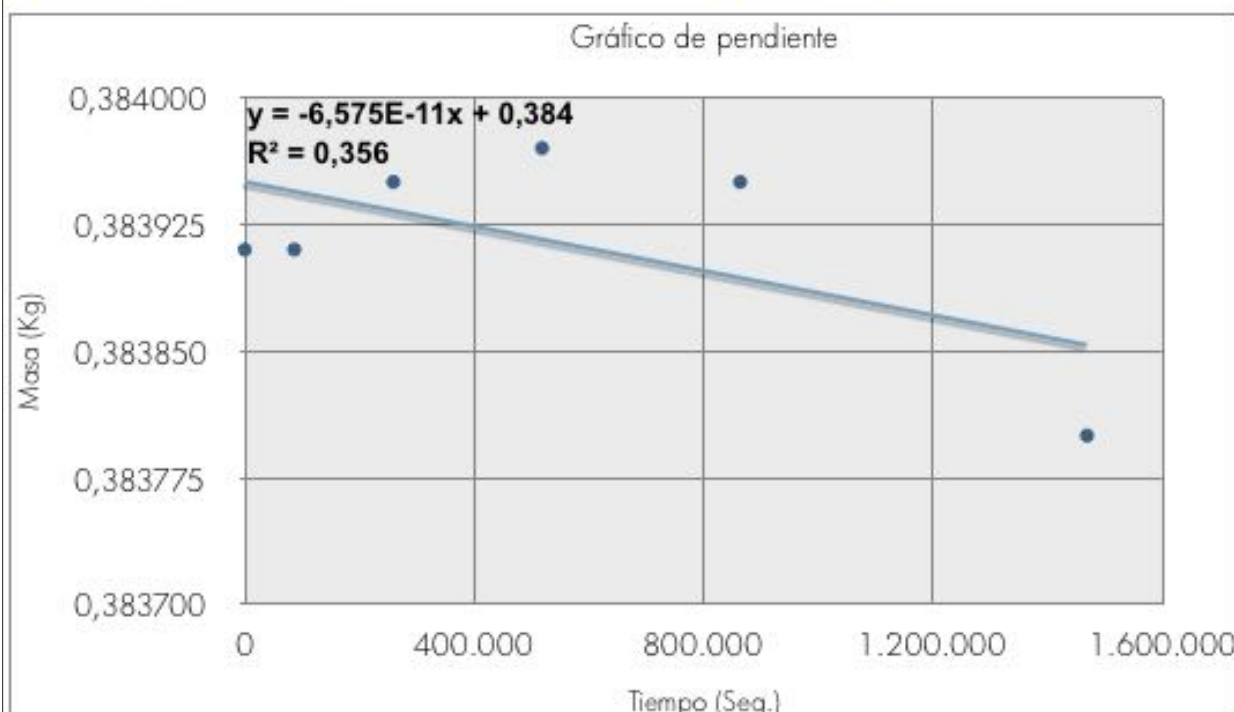
Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δa	Permeabilidad al vapor agua al aire Kg/(m ² ·s·Pa) [δa] :
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solución:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
ΔT :	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	g=G/A	W=g/ ΔP_v	Z = 1/W	$\delta = W \cdot d$	$\mu = \delta a / \delta$
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
-1,7630E-10	-1,1019E-07	1,2636E-10	7,9137E+09	2,4388E-12	80,04

Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP05-02 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP05-2						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0,00	0	383,91	0,38391	0,38391
6/19/18	24	24,00	86400	383,91	0,38391	0,38391
6/20/18	48	72,00	259200	383,95	0,38395	0,38395
6/21/18	72	144,00	518400	383,97	0,38397	0,38397
6/22/18	96	240,00	864000	383,95	0,38395	0,38395
6/25/18	168	408,00	1468800	383,80	0,38380	0,38380

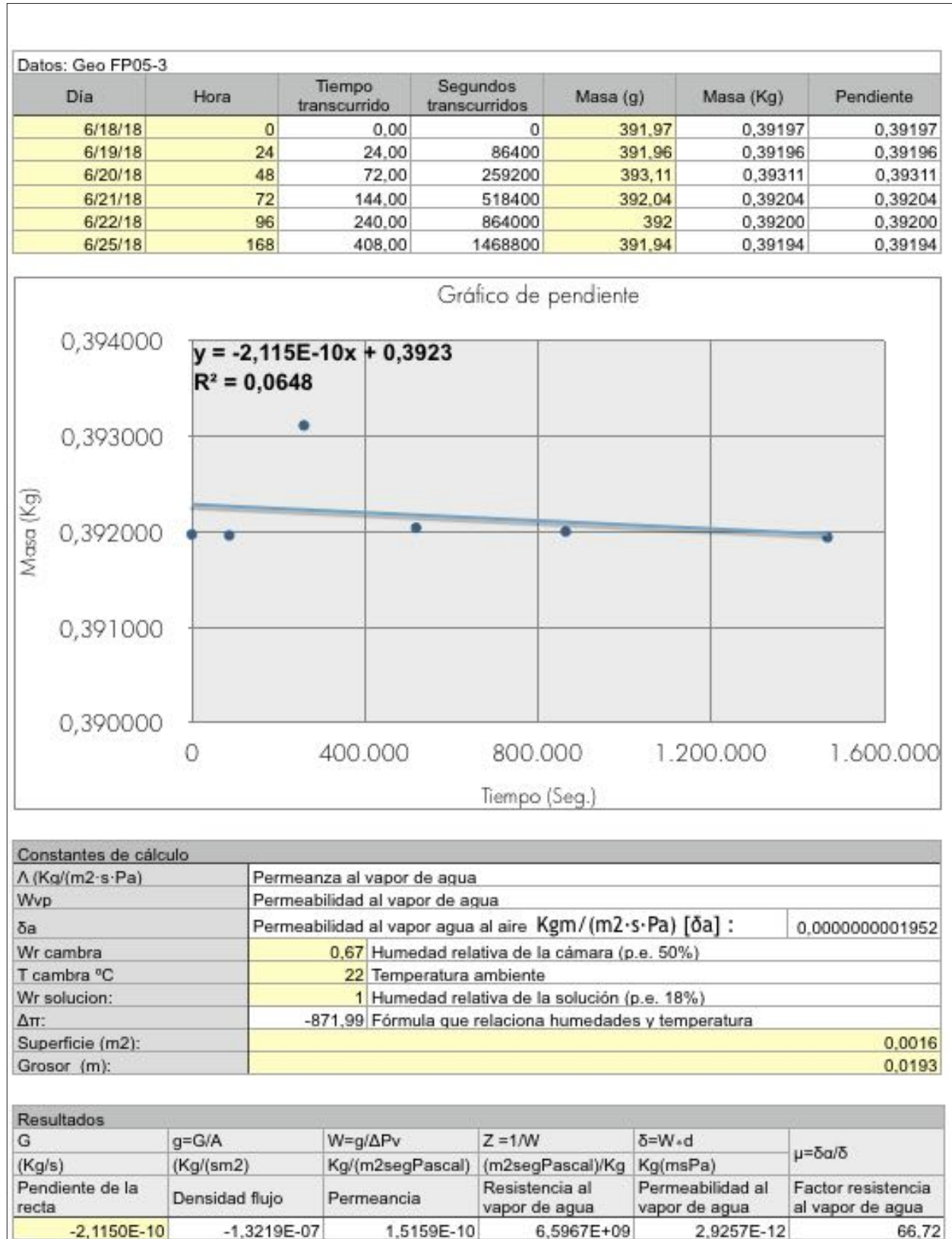


Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δ_a	Permeabilidad al vapor agua al aire Kg/(m ² ·s·Pa) [δ_a] : 0,0000000001952
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solución:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
$\Delta\pi$:	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	g=G/A	W=g/ΔPv	Z = 1/W	δ=W·d	μ=δa/δ
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
-6,5750E-10	-4,1094E-07	4,7126E-10	2,1220E+09	9,0953E-12	21,46

Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

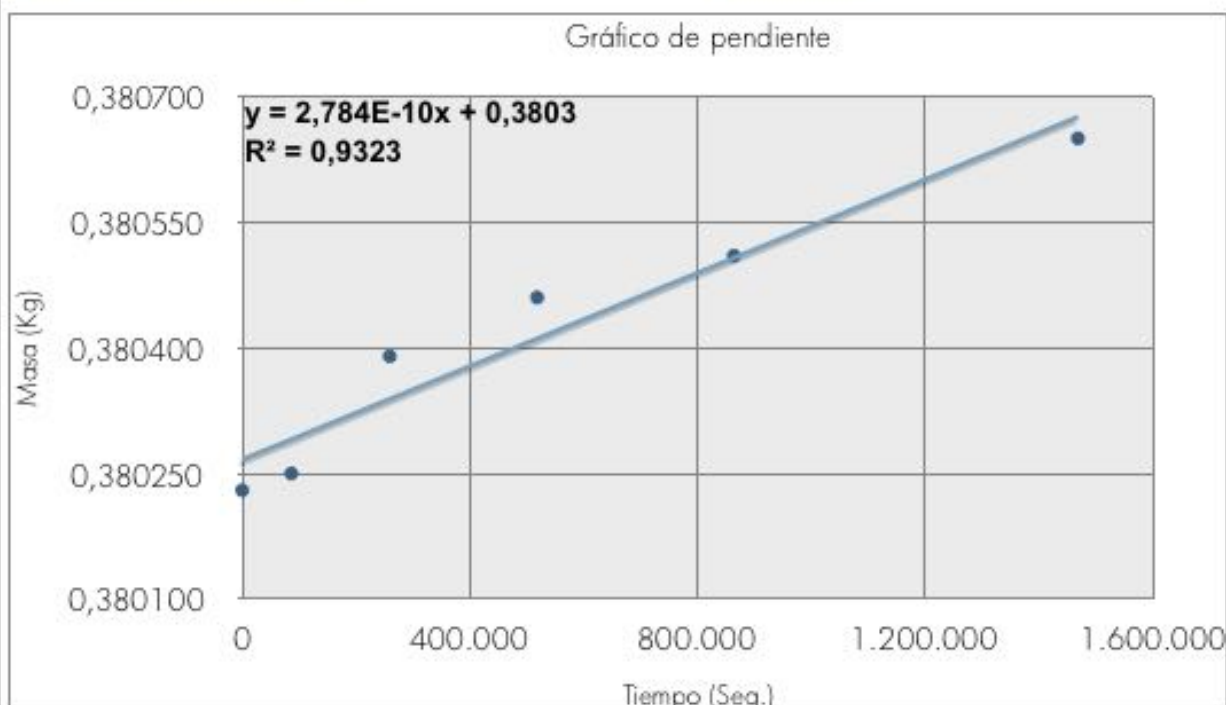
Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP05-03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - Geo GEO-FP05-04 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Datos: Geo FP05-4						
Día	Hora	Tiempo transcurrido	Segundos transcurridos	Masa (g)	Masa (Kg)	Pendiente
6/18/18	0	0.00	0	380,23	0,38023	0,38023
6/19/18	24	24.00	86400	380,25	0,38025	0,38025
6/20/18	48	72.00	259200	380,39	0,38039	0,38039
6/21/18	72	144.00	518400	380,46	0,38046	0,38046
6/22/18	96	240.00	864000	380,51	0,38051	0,38051
6/25/18	168	408.00	1468800	380,65	0,38065	0,38065

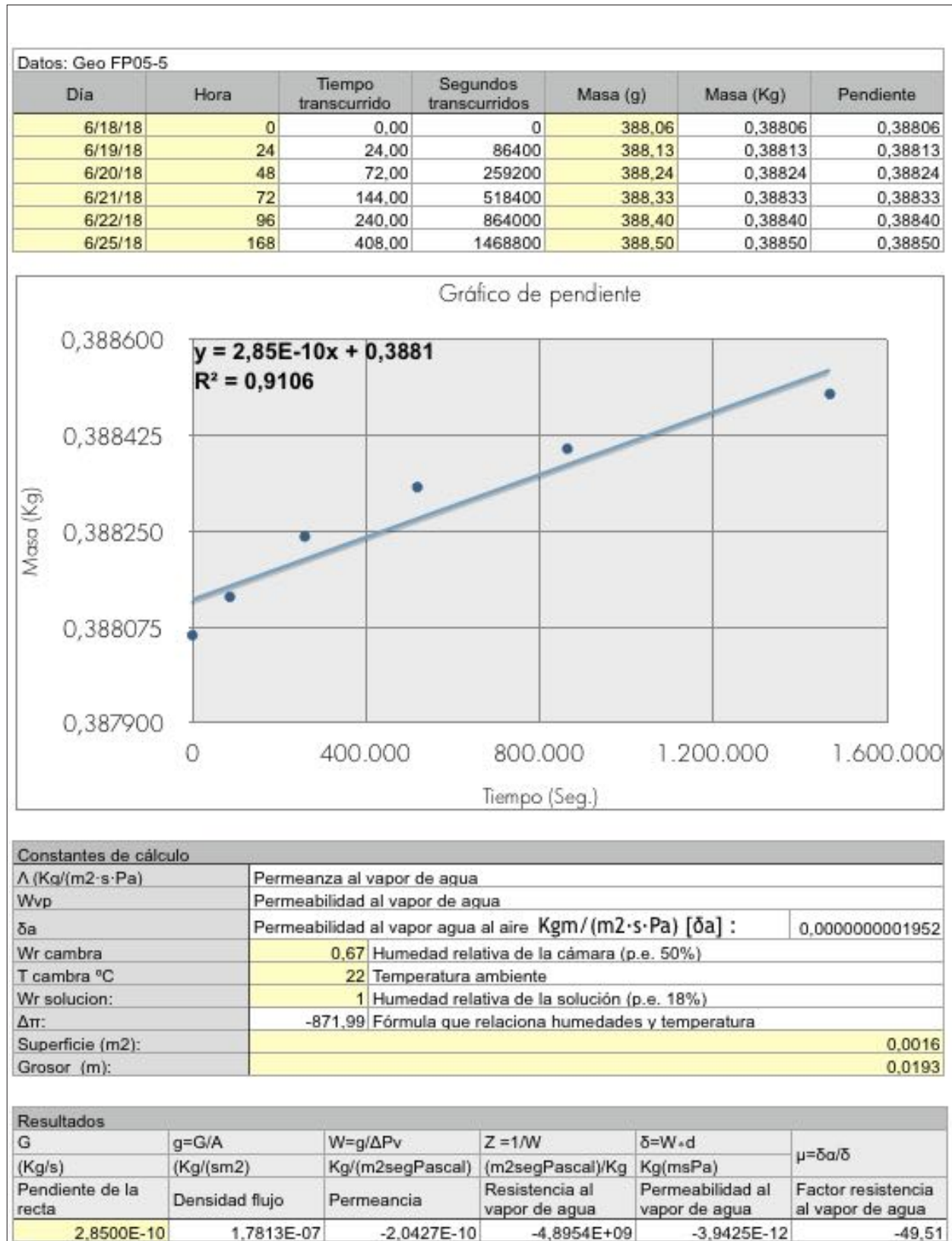


Constantes de cálculo	
Λ (Kg/(m ² ·s·Pa))	Permeanza al vapor de agua
Wvp	Permeabilidad al vapor de agua
δa	Permeabilidad al vapor agua al aire Kg/(m ² ·s·Pa) [δa] : 0,0000000001952
Wr cambra	0,67 Humedad relativa de la cámara (p.e. 50%)
T cambra °C	22 Temperatura ambiente
Wr solución:	1 Humedad relativa de la solución (p.e. 18%)
$\Delta\pi$:	-871,99 Fórmula que relaciona humedades y temperatura
Superficie (m ²):	0,0016
Grosor (m):	0,0193

Resultados					
G	g=G/A	W=g/ ΔP_v	Z = 1/W	$\delta = W \cdot d$	$\mu = \delta a / \delta$
(Kg/s)	(Kg/(sm ²))	Kg/(m ² segPascal)	(m ² segPascal)/Kg	Kg(msPa)	
Pendiente de la recta	Densidad flujo	Permeancia	Resistencia al vapor de agua	Permeabilidad al vapor de agua	Factor resistencia al vapor de agua
2.7840E-10	1,7400E-07	-1,9954E-10	-5,0115E+09	-3,8512E-12	-50,69

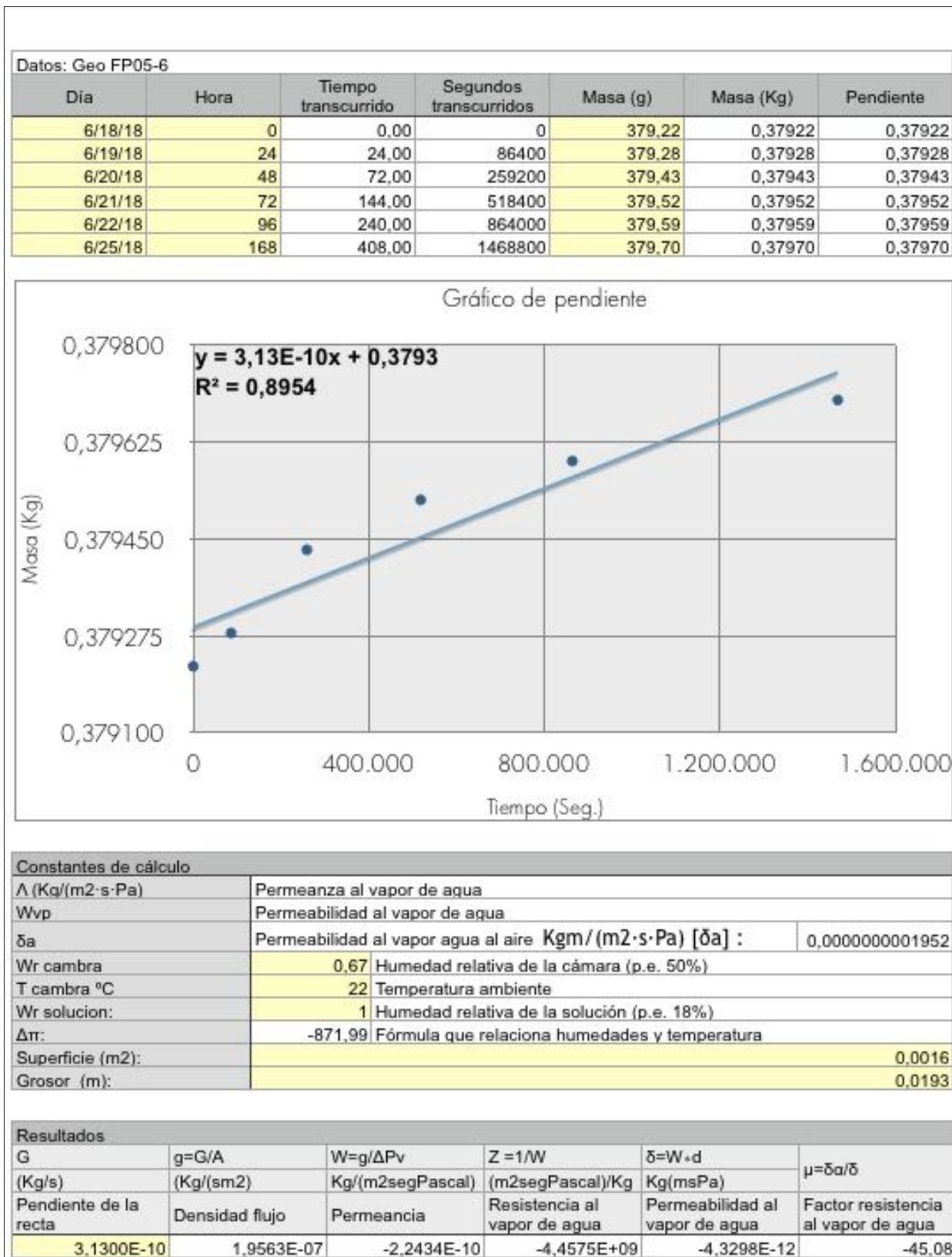
Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP05-05 fabricada a partir de la arcilla Tipo A



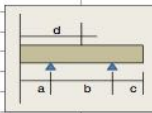
Anexo 6.12.7 Permeabilidad al vapor de agua de geo-polímeros a base de arcilla

Permeabilidad al vapor de agua - GEO-FP05-06 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

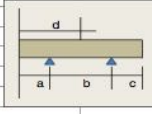


Anexo 6.12.8 Determinación del módulo de elasticidad dinámico MOE de geo-polímeros a base de arcilla

(MOE) - GEO-FP02-01 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

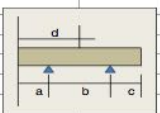
Determinación del módulo de elasticidad dinámico (MOE)													
(1) ref.	Leslie, J. R. and Chessman, W.J. (1949). "An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures" J. Am. Concr. Inst., 21 (1), 17-35												
(2) ref.	UNE-EN-ISO 12680-1												
(3) ref.	Vipulanandan C., Garas V.(2008); "Electrical resistivity, Pulse Velocity, and compressive properties of carbon fiber-reinforced cement mortar"; Journal of materials in civil engineering.												
Nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretllet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal	
Geo FP2-1	mm	g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.		
	a	35,5	472,86	39,44	39,75	158,91	3774	3847	3673	1193,95	14101	2528	
	b	87,5		39,71	39,85	158,93	3822	3863	3680		considera	considera	
	c	35,5		39,81	39,77	158,21	3743	3846	3778		Poisson	Poisson	
	d	79,3		39,86	39,72	158,3	3753	3833	3828			(3) ref.	
							3622	3771	3839				2692
							3791	3880	3788				no consid.
							69,10692196	37,48066166	71,87396376				Poisson
							3751	3840	3764				(1) ref.
Poisson hipot.(µ)													
0,16			472,86	39,71	39,77	158,59	3751	3840	3764				
			0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1				
			err. Mes. rel.	2,11E-05	2,52E-04	2,51E-04	6,31E-05	2,67E-04	2,60E-04	2,66E-04	2,23E-02		
			err. accid.					79,45818204	43,09474584	82,63968836			
			err. Accid. relatiu					2,12E-02	1,12E-02	2,20E-02			
			ERROR								660,29	396,42	3,01
VOLUMEN	DENSIDAD	AREA SECCIÓN	altura/ longitud Cara 1	anchura/ longitud Cara 2	a	b	J cara 1	J cara 2	d	T1 cara 1	T1 cara 2		
cm³	kg/m³	cm²					adimens.	adimens.		adimens.	adimens.		
250,44	1888,15												
											STD		
			1579,17	0,25	0,25	9,07	6,73	0,0251	0,0252	0,8680	1,398	1,399	
5,66E-04	5,87E-04	5,03E-04	3,15E-04	3,14E-04	-	-	4,74E-05	4,76E-05	-	2,71E-03	2,71E-03		

(MOE) - GEO-FP02-02 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

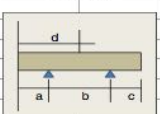
Determinación del módulo de elasticidad dinámico (MOE)													
(1) ref.	Leslie, J. R. and Chessman, W.J. (1949). "An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures" J. Am. Concr. Inst., 21 (1), 17-35												
(2) ref.	UNE-EN-ISO 12680-1												
(3) ref.	Vipulanandan C., Garas V.(2008); "Electrical resistivity, Pulse Velocity, and compressive properties of carbon fiber-reinforced cement mortar"; Journal of materials in civil engineering.												
Nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretllet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal	
Geo FP2-2	mm	g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.		
	a	35,4	470,44	40,01	39,8	158,39	3661	3883	3616	1160,61	13606	2393	
	b	87,4		39,01	39,83	158,36	3698	3750	3750		considera	considera	
	c	35,4		39,52	39,69	158,11	3688	3847	3734		Poisson	Poisson	
	d	79,1		39,49	39,75	158,14	3690	3830	3701			(3) ref.	
							3663	3811	3550				2549
							3684	3790	3651				no consid.
							15,17454006	46,18549556	76,26270386				Poisson
							3681	3819	3667				(1) ref.
Poisson hipot.(µ)													
0,16			470,44	39,51	39,77	158,25	3681	3819	3667				
			0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1				
			err. Mes. rel.	2,13E-05	2,53E-04	2,51E-04	6,32E-05	2,72E-04	2,62E-04	2,73E-04	2,42E-02		
			err. accid.					17,44747601	53,10344331	87,68580096			
			err. Accid. relatiu					4,74E-03	1,39E-02	2,39E-02			
			ERROR								189,94	468,01	2,89
VOLUMEN	DENSIDAD	AREA SECCIÓN	altura/ longitud Cara 1	anchura/ longitud Cara 2	a	b	J cara 1	J cara 2	d	T1 cara 1	T1 cara 2		
cm³	kg/m³	cm²					adimens.	adimens.		adimens.	adimens.		
248,63	1892,14												
											STD		
			1571,11	0,25	0,25	9,07	6,73	0,0248	0,0254	0,8680	1,396	1,401	
5,68E-04	5,89E-04	5,05E-04	3,16E-04	3,15E-04	-	-	4,71E-05	4,79E-05	-	2,71E-03	2,71E-03		

Anexo 6.12.8 Determinación del módulo de elasticidad dinámico MOE de geo-polímeros a base de arcilla

(MOE) - GEO-FP02-03 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Determinación del módulo de elasticidad dinámico (MOE)													
(1) ref.	Leslie, J. R. and Chessman, W.J. (1949). " An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete estructuras" J. Am. Concr. Inst., 21 (1), 17-35												
(2) ref.	UNE-EN-ISO 12680-1												
(3) ref.	Vipulanandan C., Garas V.(2008); "Electrical resistivity, Pulse Velocity, and compressive properties of carbon fiber-reinforced cement mortar"; Journal of materials in civil engineering.												
Nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal	
Geo FP2-2	mm	g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.		
	a	35,5	472,48	39,9	39,93	158,33	3800	3868	3683	1161,38	13391	14294	2368
	b	87,4		39,81	40,18	158,14	3652	3866	3666		considera	considera	
	c	35,5		39,91	40,19	158,58	3659	3858	3662		Poisson	Poisson	
	d	79,2		39,57	40,12	158,26	3703	3791	3676				(3) ref.
							3658	3821	3661				2522
							3667	3798	3658				no consid.
							56,96811973	34,84058934	9,770704512				Poisson
							3690	3834	3668				(1) ref.
Poisson hipot.(μ)	mil·lanes	472,48	39,80	40,11	158,33	3690	3834	3668					
0,16	sensibilitat	0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1					
	err. Mes. ref.	2,12E-05	2,51E-04	2,49E-04	6,32E-05	2,71E-04	2,61E-04	2,73E-04	3,40E-03				
	err. accid.					65,50115525	40,05922721	11,23422076					
	err. Accid. relatiu					1,78E-02	1,04E-02	3,06E-03					
	ERROR									535,22	362,16	2,85	
VOLUMEN	DENSIDAD	AREA SECCIÓ	altura/ longitud Cara 1	anchura/ longitud Cara 2	a	b	J cara 1	J cara 2	d	T1 cara 1	T1 cara 2		
cm³	kg/m³	cm²					adimens.	adimens.		adimens.	adimens.		
252,70	1869,70												
												STD	
		1596,08	0,25	0,25	9,07	6,73	0,0254	0,0261	0,8680	1,401	1,407		
5,64E-04	5,85E-04	5,01E-04	3,14E-04	3,13E-04	-	-	4,79E-05	4,89E-05	-	2,71E-03	2,71E-03		

(MOE) - GEO-FP02-04 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Determinación del módulo de elasticidad dinámico (MOE)													
(1) ref.	Leslie, J. R. and Chessman, W.J. (1949). " An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete estructuras" J. Am. Concr. Inst., 21 (1), 17-35												
(2) ref.	UNE-EN-ISO 12680-1												
(3) ref.	Vipulanandan C., Garas V.(2008); "Electrical resistivity, Pulse Velocity, and compressive properties of carbon fiber-reinforced cement mortar"; Journal of materials in civil engineering.												
Nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal	
Geo FP2-2	mm	g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.		
	a	35,5	477,66	40,62	39,89	158,8	3725	3831	3702	1178,45	13448	14351	2437
	b	87,6		40,52	40	158,81	3716	3850	3715		considera	considera	
	c	35,5		40,04	39,9	158,59	3719	3855	3690		Poisson	Poisson	
	d	79,4		40,08	39,99	158,6	3714	3717	3744				(3) ref.
							3722	3802	3713				2596
							3713	3837	3713				no consid.
							4,708148964	51,64752333	17,97127337				Poisson
							3718	3815	3713				(1) ref.
Poisson hipot.(μ)	mil·lanes	477,66	40,32	39,95	158,70	3718	3815	3713					
0,16	sensibilitat	0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1					
	err. Mes. ref.	2,09E-05	2,48E-04	2,50E-04	6,30E-05	2,69E-04	2,62E-04	2,69E-04	5,90E-03				
	err. accid.					5,413364484	59,38360722	20,66312124					
	err. Accid. relatiu					1,46E-03	1,56E-02	5,57E-03					
	ERROR									98,88	510,39	2,91	
VOLUMEN	DENSIDAD	AREA SECCIÓ	altura/ longitud Cara 1	anchura/ longitud Cara 2	a	b	J cara 1	J cara 2	d	T1 cara 1	T1 cara 2		
cm³	kg/m³	cm²					adimens.	adimens.		adimens.	adimens.		
255,57	1869,02												
												STD	
		1610,38	0,25	0,25	9,07	6,73	0,0263	0,0255	0,8680	1,409	1,402		
5,61E-04	5,82E-04	4,98E-04	3,11E-04	3,13E-04	-	-	4,92E-05	4,80E-05	-	2,70E-03	2,70E-03		

Anexo 6.12.8 Determinación del módulo de elasticidad dinámico MOE de geo-polímeros a base de arcilla

(MOE) - GEO-FP02-05 fabricada a partir de la arcilla Tipo A

Determinación del módulo de elasticidad dinámico (MOE)													
(1) ref.	Leslie, J. R. and Chessman, W.J. (1949). "An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures" J. Am. Concr. Inst., 21 (1), 17-35												
(2) ref.	UNE-EN-ISO 12680-1												
(3) ref.	Vipulanandan C., Garas V.(2008); "Electrical resistivity, Pulse Velocity, and compressive properties of carbon fiber-reinforced cement mortar"; Journal of materials in civil engineering.												
Nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal	
Geo FP2-2	mm	g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.		
	a	35,5	477,64	40,36	39,75	158,58	3561	3700	3679	1122,55	12087	13106	2250
	b	87,5		40,37	39,91	158,56	3481	3492	3421		considera		considera
	c	35,5		40,42	39,75	158,5	3494	3475	3475		Poisson		Poisson
	d	79,3		40,2	37,72	158,54	3496	3486	3480				(3) ref.
							3480	3691	3484				
						3502	3619	3702					no consid.
						30,0177725	105,639796	118,900658					Poisson
Poisson hipot.(μ)	mitjanes	477,64	40,34	39,28	158,55	3502	3577	3540					(1) ref.
0,16	sensibilitat	0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1					
	err. Mes. rel.	2,09E-05	2,48E-04	2,55E-04	6,31E-05	2,86E-04	2,80E-04	2,82E-04	3,90E-02				
	err. accid.					34,5140192	121,4631756	136,7103312					
	err. Accid. relatiu					9,85E-03	3,40E-02	3,86E-02					
	ERROR										292,38	948,95	2,76
VOLUMEN	DENSIDAD	AREA SECCIÓ	altura/ longitud Cara 1	anchura/ longitud Cara 2	a	b	J cara 1	J cara 2	d	T1 cara 1	T1 cara 2		
cm ³	kg/m ³	cm ²					adimens.	adimens.		adimens.	adimens.		
251,22	1901,25												
													STD
		1584,56	0,25	0,25	9,07	6,73	0,0265	0,0242	0,8680	1,410			1,390
5,66E-04	5,86E-04	5,02E-04	3,11E-04	3,18E-04	-	-	4,94E-05	4,61E-05	-	2,70E-03	2,71E-03		

(MOE) - Geo FPA2-06

Determinación del módulo de elasticidad dinámico (MOE)													
(1) ref.	Leslie, J. R. and Chessman, W.J. (1949). "An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures" J. Am. Concr. Inst., 21 (1), 17-35												
(2) ref.	UNE-EN-ISO 12680-1												
(3) ref.	Vipulanandan C., Garas V.(2008); "Electrical resistivity, Pulse Velocity, and compressive properties of carbon fiber-reinforced cement mortar"; Journal of materials in civil engineering.												
Nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal	
Geo FP2-2	mm	g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.		
	a	35,5	479,89	40,51	39,99	158,74	3700	3800	3689	1183,81	13632	14148	2472
	b	87,6		40,3	39,9	158,72	3673	3789	3759		considera		considera
	c	35,5		40,45	39,92	158,5	3738	3802	3798		Poisson		Poisson
	d	79,3		40,03	39,96	158,62	3778	3680	3683				(3) ref.
							3783	3795	3781				
						3751	3821	3676					no consid.
						43,4944440	50,7204758	54,5270575					Poisson
Poisson hipot.(μ)	mitjanes	479,89	40,32	39,94	158,65	3737	3781	3731					(1) ref.
0,16	sensibilitat	0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1					
	err. Mes. rel.	2,08E-05	2,48E-04	2,50E-04	6,30E-05	2,68E-04	2,64E-04	2,68E-04	1,71E-02				
	err. accid.					50,0093095	58,3177008	62,6944557					
	err. Accid. relatiu					1,34E-02	1,54E-02	1,68E-02					
	ERROR										425,35	499,27	2,94
VOLUMEN	DENSIDAD	AREA SECCIÓ	altura/ longitud Cara 1	anchura/ longitud Cara 2	a	b	J cara 1	J cara 2	d	T1 cara 1	T1 cara 2		
cm ³	kg/m ³	cm ²					adimens.	adimens.		adimens.	adimens.		
255,51	1878,16												
													STD
		1610,58	0,25	0,25	9,07	6,73	0,0264	0,0256	0,8680	1,409			1,402
5,61E-04	5,82E-04	4,98E-04	3,11E-04	3,13E-04	-	-	4,93E-05	4,81E-05	-	2,70E-03	2,70E-03		