

VALORACION DE MINERALES ARCILLOSOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ (COLOMBIA) PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

Nubia Edith
Céspedes Prieto

MEMORIA PARA OPTAR AL
GRADO DE DOCTORA EN
QUÍMICA

Directores:

DR. JUAN B. CARDA
CASTELLÓ,

DR. XERMAN DE LA
FUENTE LEIS



Castellón, JUNIO DE 2014





**VALORACIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS DEL
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ (COLOMBIA) PARA LA
PRODUCCIÓN
DE MATERIALES CERÁMICOS**

Nubia Edith Céspedes Prieto

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA EN QUÍMICA.

Director:

PROF. DR. JUAN B. CARDA CASTELLÓ

CODIRECTOR

PROF. DR. XERMAN DE LA FUENTE LEIS

Castellón de la Plana, Mayo de 2014

Valoración de minerales arcillosos del departamento de Boyacá (Colombia) para la producción de materiales cerámicos



Juan Bautista Carda Castelló profesor catedrático de química inorgánica del departamento de química inorgánica y orgánica de la Universitat Jaume I de Castellón.

Xermán de la Fuente Leis profesor de investigación del Instituto de Ciencias de los Materiales de Aragón, Centro mixto CSIC–Universidad de Zaragoza.

Certificamos que:

Dña. Nubia Edith Céspedes Prieto, titulada en: Licenciatura en química y biología, Ingeniería Ambiental y Máster en ciencias química ha desarrollado bajo mi dirección el trabajo titulado “Valoración de minerales arcillosos del departamento de Boyacá (Colombia) para la producción de materiales cerámicos” para aspirar al grado de Doctora en Química por la Universitat Jaume I de Castelló y para que conste, a los efectos oportunos lo firmo en Castellon al 17 de mayo de 2014.

Fdo. Juan Bautista Carda Castelló

Fdo .Xermán de la Fuente Leis

“Para el investigador no existe alegría comparable a la de un descubrimiento, por pequeño que sea.”

SIR ALEXANDER FLEMING

“No son los vestíbulos de mármol los que proporcionan la grandeza intelectual, sino el alma y el cerebro del investigador.”

SIR ALEXANDER FLEMING

“El aspecto más triste de la vida actual es que la ciencia gana en conocimiento más rápidamente que la sociedad en sabiduría”.

ISAAC ASIMOV

A mi familia:

Mi madre: María del Carmen, quien me trajo a la vida y ha sido mi apoyo incondicional en toda mi vida, convirtiéndose en un ejemplo de entrega.

Mi esposo: Jesús S., quien me ha fortalecido con su apoyo incondicional permitiéndome crecer en mi formación y vivir esta experiencia a plenitud.

Mis hijas: Lina Estefanía y Kimberly Roxanne, porque con gran amor y apoyo comprendieron y apoyaron siempre ésta separación, dando todo lo mejor de sí en la distancia. No saben lo importante e invaluable que es esto. GRACIAS.

Agradecimientos:

La autora de éste trabajo desea expresar su agradecimiento a todas y cada una de las personas que han contribuido a mi formación y especialmente a la realización de ésta tesis doctoral.

En primer lugar, a mis directores el Profesor Dr. Juan Bautista Carda Castelló y el Profesor Dr. Xermán de la Fuente Leis, por su apoyo, formación y formidable labor de dirección.

A la Universitat Jaume I y a la Universidad Nacional de Colombia, que aportaron a mi formación doctoral.

A la Doctora Ester Barrachina Albert, por su apoyo incondicional y orientación en todo este proceso de formación y experiencia de aprendizaje.

Al ingeniero Enrique Cerisuelo, por compartir sus conocimientos, experiencia y darme la asesoría técnica en todo éste proceso, y a su invaluable aporte para la realización de ésta investigación.

Al grupo de Tierra Atomizada que en cabeza del Ingeniero José Planas y el equipo de laboratorio han contribuido de manera incondicional al desarrollo de la parte técnica y experimental.

Al grupo de la cátedra de innovación cerámica de Villa-real, quienes me acogieron y apoyaron durante toda mi estancia en España y durante el proceso de investigación desarrollado.

A los compañeros del grupo de investigación del estado sólido y la escuela de cerámica de L'Alcora que a través del profesor Jordi Jop han contribuido con la parte de caracterización.

A las empresas Camacho Recycling, S.L., a la Central Térmica de Andorra (Endesa Generación, S.L.) y a Molaris, S.L., por su apoyo en la consecución de materiales y conocimiento en el desarrollo de nuevos procesos y tecnologías aplicadas al sector cerámico como herramientas que aportan al desarrollo sostenible y protección del ambiente.

Y muy especialmente a mi familia, por su comprensión apoyo incondicional a todo éste proceso, que espero nos permita consolidarnos más como familia y continuar aprendiendo de éstas vivencias tan exigentes y que de alguna manera nos fortalecen.

A mis amigos que desde la distancia estuvieron allí para escuchar y darme palabras de ánimo fortaleciendo este difícil proceso. Y claro a mis nuevos amigos de Villa-real que me abrieron sus puertas de corazón e hicieron de ésta experiencia una vivencia cultural y sobre todo de valoración a la verdadera amistad.

GRACIAS Y MIL GRACIAS A TODOS.

Resumen

La región de Boyacá (Colombia) reporta una gran variedad de productos mineros entre los cuales se encuentran arcillas, arenas silíceas, calizas, roca fosfórica, caolín, feldespatos, entre otros y que para el caso de ésta investigación cobran real importancia las arcillas cuyas formaciones afloran en los municipios de Sogamoso, Ráquira y Cómbita con este estudio se identifica un fuerte potencial de uso cerámico.

Los estudios de estos minerales arcillosos se han desarrollado a través de una caracterización instrumental de: análisis mineralógicos por difracción de rayos X, caracterización química a partir de fluorescencia de rayos X y una evaluación de propiedades físico-cerámicas como la contracción lineal, la porosidad y la resistencia mecánica, considerándose información prioritaria para el desarrollo de las aplicaciones en el campo de la ciencia y la tecnología de materiales cerámicos [1],[2].

Las aplicaciones cerámicas en pavimentos y revestimientos son uno de las estrategias utilizadas para procesar y darle valor añadido a las arcillas; así lo demuestra, España e Italia que tienen un amplio

recorrido, experiencia y beneficio económico al tener parte de su PIB sostenido en el sector cerámico [3], [4].

El estudio muestra resultados de interés respecto a la aplicación de los minerales arcillosos originados en Boyacá (Colombia), para la producción de pavimentos y revestimientos cerámicos, y como punto de interés y desarrollo se encuentra el uso de residuos de vidrio reciclado como elemento fundente en la formulación de pastas para producción de gres porcelánico de alta resistencia y baja porosidad en condiciones de tratamiento favorables a reducir la temperatura de cocción entre 200 y 400°C. Elementos importantes para constituir un producto ambientalmente sostenible y por lo tanto susceptible de obtener un sello verde colombiano entre otros niveles de competitividad que se adquieren con la valorización de estos minerales arcillosos [5], [6],[7].

Para el estudio de formulaciones han trabajado en la incorporación de residuos industriales como las cenizas y escorias del alto horno, evidenciando la posibilidad de incorporarlas nuevamente al proceso de producción como materia prima alternativa en las formulaciones de porosa roja, gres y gres porcelánico [8], [9].

Índice general

1	INTRODUCCIÓN	17
1.1	Situación actual de la economía en Colombia.	17
1.2	La economía Colombiana y el sector minero	21
1.3	Caracterización geológica de la región de Boyacá.	22
1.4	Estado actual de la industria cerámica en Colombia	24
1.5	Las arcillas como potencial industrial	25
1.6	Proceso de fabricación cerámica.....	39
1.6.1	Características técnicas de cerámicas para pasta roja.....	52
1.6.2	Características tecnológicas producción cerámica	57
1.7	Incorporación de materiales reciclados a la pasta cerámica.....	59
1.8	La cerámica y la protección ambiental.....	62
1.9	Aplicaciones de la tecnología láser en el sector cerámico.....	65
1.10	Compendio de estudios cerámicos para el sector industrial.....	66
2	OBJETIVOS.....	71
2.1	GENERAL.....	71
2.2	ESPECÍFICOS.....	71
3	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.	74
3.1	ACOPIO DE MUESTRAS:	75
3.2	CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA:	76
3.3	ANÁLISIS TÉRMICO:	79
3.4	CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA:	80
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:	93
4.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS	93
4.2	MATERIAS PRIMAS LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN.	97
4.3	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.....	99
4.4	ANÁLISIS MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X	102
4.5	ANÁLISIS TÉRMICO ATD/TG.	102

recorrido, experiencia y beneficio económico al tener parte de su PIB sostenido en el sector cerámico [3], [4].

El estudio muestra resultados de interés respecto a la aplicación de los minerales arcillosos originados en Boyacá (Colombia), para la producción de pavimentos y revestimientos cerámicos, y como punto de interés y desarrollo se encuentra el uso de residuos de vidrio reciclado como elemento fundente en la formulación de pastas para producción de gres porcelánico de alta resistencia y baja porosidad en condiciones de tratamiento favorables a reducir la temperatura de cocción entre 200 y 400°C. Elementos importantes para constituir un producto ambientalmente sostenible y por lo tanto susceptible de obtener un sello verde colombiano entre otros niveles de competitividad que se adquieren con la valorización de estos minerales arcillosos [5], [6],[7].

Para el estudio de formulaciones han trabajado en la incorporación de residuos industriales como las cenizas y escorias del alto horno, evidenciando la posibilidad de incorporarlas nuevamente al proceso de producción como materia prima alternativa en las formulaciones de porosa roja, gres y gres porcelánico [8], [9].

Índice de figuras

Figura 1. Localización geográfica de Boyacá en Colombia	23
Figura 2. Estructura de la Caolínita	27
Figura 3. Estructura (a) Montmorillonita (b) Illitita	28
Figura 4. Aplicaciones de las arcillas	30
Figura 5. Aplicaciones detalladas de las arcillas.....	31
Figura 6. Diagrama composición feldespatos	34
Figura 7. Proceso Fabricación cerámica.....	39
Figura 8. Proceso de atomización	41
Figura 9. Esquema de preparación pasta cerámica-atomizada.....	41
Figura 10. Proceso para formulaciones.	61
Figura 11. Proceso experimental para la caracterización de arcillas.	73
Figura 12. Diagrama de flujo tratamiento proceso preparación muestras	80
Figura 13. Preparación de las muestras	81
Figura 14. Descripción proceso de caracterización técnica (calcimetría, plasticidad, residuos)	82
Figura 15. Descripción proceso caracterización técnica (Densidad, pérdidas, análisis químico)	83
Figura 16. Descripción proceso de caracterización técnica (Curvas gresificación, dilatometría)	84
Figura 17 . Descripción proceso de caracterización técnica (expansión, resistencia mecánica)	85
Figura 18. Afloramiento de arcillas de Cómbita.....	92
Figura 19. Yacimientos de arcillas de Cómbita.	93
Figura 20. Depósitos arcillosos en Sogamoso.	93
Figura 21. Proceso de producción actual.	94
Figura 22. Arcillas originales.....	97
Figura 23. DRX. Arcillas de Sogamoso.....	99
Figura 24. DRX. Arcillas de Cómbita	100
Figura 25. DRX. Arcillas de Ráquira	101
Figura 26. Diagrama ternario SiO ₂ /Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ arcillas Boyacá (Colombia)	101
Figura 27. CÓMBITA 4	102
Figura 28. CÓMBITA 3	103
Figura 29. CÓMBITA 5	103
Figura 30. ATD, ATG, ARCILLA SOGAMOSOV3.....	104
Figura 31. ATD, ATG, ARCILLA SOGAMOSOV2.....	105

Figura 32. ATD, ATG, ARCILLA RÁQUIRA 2	106
Figura 33. ATD, ATG, ARCILLA RÁQUIRA 3	106
Figura 34. ATD, ATG, ARCILLA RÁQUIRA 4	107
Figura 35. Cómbita 4.....	108
Figura 36. Curva de gresificación Cómbita 4.....	109
Figura 37. Cómbita 3	109
Figura 38. Curva de gresificación CÓMBITA 3	110
Figura 39. CÓMBITA 5.....	110
Figura 40. Curva de gresificación CÓMBITA 5.....	111
Figura 41. SOGAMOSO 3.....	112
Figura 42. Curva de gresificación SOGAMOSO 3.....	113
Figura 43. Curva de gresificación SOGAMOSO 2.....	114
Figura 44. Ráquira 2.....	116
Figura 45. Curva de gresificación RÁQUIRA 2.....	116
Figura 46. RÁQUIRA 3	117
Figura 47. Curva de gresificación RÁQUIRA 3.....	118
Figura 48. Ráquira4.....	118
Figura 49. Curva de gresificación Ráquira4.....	118
Figura 50 . Conos de fusión de feldespatos de origen Colombiano	126
Figura 51. ATD/TG. Feldespato Ibagué – Tolima (Colombia).....	127
Figura 52. ATD/TG Feldespatos Sogamoso – Boyacá (Colombia).	128
Figura 53. Probeta de caolín a 1220°C.....	129
Figura 54. ATD/TG Caolín Sogamoso (Boyacá), Colombia.....	130
Figura 55. F1 POROSA ROJA.....	135
Figura 56. F2 POROSA ROJA.....	136
Figura 57. F3 POROSA ROJA.....	137
Figura 58. F21 POROSA ROJA	138
Figura 59 . Curva de gresificación de porosa con ceniza.....	139
Figura 60. Curva de gresificación de porosa con escoria.....	140
Figura 61. Formación de corazón negro F21 con ceniza y escoria.	141
Figura 62. F1 POROSA BLANCA	145
Figura 63. F2 POROSA BLANCA	146
Figura 64. F21POROSA BLANCA.....	147
Figura 65. F3 POROSA BLANCA.....	147
Figura 66.F21 MAS CAOLÍN POROSA BLANCA.....	148
Figura 67. F22 MAS CAOLÍN POROSA BLANCA.....	149
Figura 68. Gres F1	154
Figura 69.Gres, F2	155
Figura 70.Gres, F3	156
Figura 71.Gres F11	157

Figura 72. Gres F12.....	158
Figura 73. Gres, F13.....	159
Figura 74. Curva de gresificación gres y feldespato.	164
Figura 75. Curva de gresificación de gres con feldespato español.....	164
Figura 76. Curva de gresificación gres con feldespato de FITSA, Ibagué (Colombia).	165
Figura 77. Curva de gresificación de gres con feldespato de Sogamoso	166
Figura 78. Curva de gresificación F1 para porcelánico con vidrio	167
Figura 79. Curva de gresificación de porcelánico con vidrio	168
Figura 80 . Vista panorámica central termoelectrica de Andorra en Teruel – España.	170
Figura 81. Gres con escoria	172
Figura 82. Gres con escoria.....	173
Figura 83. Gres con ceniza y vidrio	173
Figura 84. Curva de gresificación para porcelánico con vidrio y feldespato	175
Figura 85. Curva de gresificación para porcelánico con vidrio y feldespato	176
Figura 86. Curva de gresificación para porcelánico con vidrio, feldespato y caolín.....	177
Figura 87. Horno Laser. Universidad Zaragoza.....	179
Figura 88. Cocción con sistema láser	180
Figura 89. Probetas saliendo de cocción con aplicación de tecnología láser... ..	180
Figura 90. Micrografías cocción láser de porosa	180
Figura 91. Micrografías de gres con horno láser.....	181
Figura 92. Micrografía de porcelánico con horno láser.....	181
Figura 93. Micrografía electrónica y análisis elemental (superficie) por microsonda EDAX.....	182
Figura 94. Micrografía electrónica y análisis elemental (bloque) por microsonda EDAX.	182

Índice de tablas

Tabla 1. Crecimiento económico mundial 2012.....	18
Tabla 2. Composición general de una pasta cerámica.....	32
Tabla 3. Composición química feldespatos y feldespatoides comerciales (%) en peso).....	34
Tabla 4. Composición química de algunos feldespatos utilizados por el sector cerámico.....	35
Tabla 5. Propiedades de los materiales cerámicos.	36
Tabla 6. Propiedades por humedad.....	44
Tabla 7. Transformación térmica en una composición cerámica.....	47
Tabla 8. Propiedades cerámicas	50
Tabla 9. Propiedades cerámicas para pasta blanca	50
Tabla 10. Comportamiento cerámico a 1180°C. Pasta blanca	51
Tabla 11. Características de algunas arcillas españolas para cocción roja.....	52
Tabla 12. Propiedades arcillas españolas para cocción roja	53
Tabla 13. Características tecnológicas de cerámicas	57
Tabla 14. Residuos industriales[42].	60
Tabla 15. Países y sellos ambientales cerámicos.	63
Tabla 16. Compendio revisión bibliográfica del tema	66
Tabla 17. Tamaño de partícula	88
Tabla 18. Ubicación arcillas.....	96
Tabla 19. Arcillas del Departamento de Boyacá (Colombia) seleccionadas por sus propiedades cerámicas.	97
Tabla 20. Composición química característica de arcillas del Departamento de Boyacá (Colombia). PPC = Pérdidas por calcinación (%).	98
Tabla 21. Propiedades de plasticidad y RMC arcillas de Cómbita.....	111
Tabla 22. Plasticidad y resistencia mecánica en seco Sogamoso.....	114
Tabla 23. Plasticidad y resistencia mecánica en seco Ráquira	119
Tabla 24. Colorimetría de las arcillas	121
Tabla 25. Índice de plasticidad comparado.....	123
Tabla 26. Comparativo de la composición química de feldespatos.....	124
Tabla 27. Composición química de feldespatos comerciales	125
Tabla 28. Formulaciones para porosa roja.	134
Tabla 29. Comparativo características para porosa roja	141
Tabla 30. Comparativo análisis químico porosa roja.....	142
Tabla 31. Formulaciones porosa blanca	144

Tabla 32. Formulaciones para porosa blanca.....	144
Tabla 33. Resultados comparativos porosa blanca.....	150
Tabla 34. Comparativo, análisis químico porosa blanca.....	151
Tabla 35. Comportamiento comparativo durante la cocción.	151
Tabla 36. Formulaciones gres.....	153
Tabla 37. Características para gres.....	160
Tabla 38. Formulaciones para gres porcelánico.....	162
Tabla 39. Propiedades cerámicas para gres porcelánico	169
Tabla 40. Formulaciones de gres con residuos.	170
Tabla 41. Formulación porcelánico por combinación con feldespato y vidrio ...	174
Tabla 42. Comparativo de porcelánico combinación vidrio y feldespato.....	178
Tabla 43. Condiciones cocción horno láser.	179

1. INTRODUCCIÓN

VALORACIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ (COLOMBIA) PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Situación actual de la economía en Colombia.

Colombia es un país que presenta una economía emergente y un potencial económico en sus regiones, como lo demuestra el informe de la Andi 2012-2013, reflejado en un PIB per cápita de US\$ 8,127 [10], considerado el cuarto más grande de América Latina, después de Argentina, México y Brasil. En la Tabla1 se presenta crecimiento económico 2012, lo anterior conlleva a identificar que Colombia toma un lugar privilegiado para el impulso de investigaciones conducentes al desarrollo tecnológico y la innovación, donde surge un alto interés de inversión como parte de la política de gobierno. Al enfocar éste crecimiento en la perspectiva del sector de construcción, en Colombia se observa una tendencia favorable de crecimiento en la última década del 7,9(%), representada en un 6,2(%) en edificaciones y un 5,0(%) en obras civiles [11]. Este último es significativo en cuanto a la necesidad que tiene el país de un desarrollo en infraestructuras. Por este motivo, el objetivo de esta investigación se centra en el estudio de

yacimientos geológicos de Colombia, ricos en materias primas como arcillas, calizas, rocas fosfóricas y arenas silíceas, entre otros minerales, susceptibles de ser utilizadas para la fabricación de productos cerámicos de carácter estructural dirigidos a la construcción. El estudio está orientado a favorecer el desarrollo económico de regiones como el Departamento de Boyacá, centro de interés de esta investigación, siendo parte de la política de mejoramiento de la productividad y la competitividad del sector minero, donde se espera incrementar la participación de los inversionistas que logren atraer recursos técnicos con capital nacional e internacional que den mayor valor agregado a la cadena de producción minera. Por todo lo anterior, se destaca la importancia del desarrollo de esta investigación, que ha permitido caracterizar materiales arcillosos del Departamento de Boyacá, en particular de los municipios de Sogamoso, Ráquira y Cómbita, para analizar el potencial de estos materiales desde una perspectiva técnico-científica.

Tabla 1. Crecimiento económico mundial 2012

CRECIMIENTO ECONÓMICO (%)			
PAÍS	2012-I	2012-II	2012-III
América del Norte			
Estados Unidos	2,4	2,1	2,5
Canadá	1,8	2,5	1,5
Europa			
Unión Europea	0,1	-0,3	-0,4
Alemania	1,2	1	0,9
Asia			
China	8,1	7,8	7,7
Japón	2,7	3,3	0,1
India	5,5	5,3	n.d.
Corea del Sur	2,9	2,3	1,6
América Latina			
Argentina	5,2	0,0	n.d.
Brasil	0,8	0,5	0,9
Chile	4,5	5,7	6,9
Colombia	4,7	4,9	2,1
Ecuador	4,8	5,2	n.d.
México	4,5	4,4	3,3
Perú	6,8	6,1	6,5
Venezuela	5,8	5,8	5,2

Fuente: Eurostat, bancos centrales de cada país, BEA.

Si se describen los procesos mineros como una base económica cuya finalidad es darle valor agregado a los recursos del subsuelo, desde que inicia con su proceso de extracción y su transformación en un producto de calidad y con un valor agregado que se lleve a la comercialización, se reconoce entonces como este sector forma parte importante en el

desarrollo, y aporte a la economía de un país como ha venido ocurriendo en Colombia donde es cada vez más significativo, el aporte ascendente de este sector a nivel local e internacional. Todo lo anterior lleva a que el Estado colombiano se replantee su función administradora del recurso y convertirse en un facilitador y fiscalizador en el desarrollo de los proyectos mineros e incentivar en forma eficaz y conducente la inversión privada como está establecido en la Ley minera del 2001; donde además de las anteriores funciones le exige hacerlo con criterios de desarrollo sostenible e impacto positivo para las comunidades afectadas y por ende conducir al progreso de la economía nacional [12],[13]. Apuntándole al desarrollo de estrategias para que las empresas del sector logren intervenir en los mercados internacionales, ampliando su demanda interna y la incorporación de nuevas tecnologías a los procesos de producción que conlleven a responder a los retos de la perspectiva minera donde se busca:

- ✓ Ampliar la producción minera en el mercado internacional.
- ✓ Competitividad del país para atraer nuevas inversiones al sector.
- ✓ Actualizar las estadísticas e informes de producción minera y de reserva del país [14],[15],[16].
- ✓ Atender los impactos negativos generados por la minería a nivel ambiental y social debido a los tipos de explotación artesanal por

la falta de procesos tecnificados, la carencia de planes de gestión ambiental y uso responsable y sostenible del recurso.

Reflejados en problemáticas tales como: La minería ilegal, la ineficiencia de las entidades ambientales y del deber del Estado en proteger los recursos naturales, muchas de las actuales multinacionales instaladas en Colombia no cuentan con mercadeo ambiental ó explotación ambiental responsable [12],[16].

1.2 La economía Colombiana y el sector minero

Respecto al reglón de explotación minera de materiales de construcción como son; arenas, recibos, agregados pétreos para la preparación de concretos, piedras para enchapes y arcillas corresponde a uno de los principales reglones de la actividad minera nacional superado sólo por la producción del carbón así reportado en el informe del DANE; convirtiéndose además en uno de los más relevantes del sector minero por su impacto no solo económico sino social por cuanto su incidencia recae directamente en el costo de las edificaciones y de la infraestructura. Los reportes del DANE no ofrecen una consolidación de datos frente al volumen y valor de producción de los mismos tanto así que actualmente no cuentan en los aportes para el denominado Sistema General de Regalías (SGR), pero si para el desarrollo de la región. De este componente se pude resaltar, la expansión y

renovación del área construida acompañado por el permanente mejoramiento y necesidad de modernización de la infraestructura vial, el mayor registro se reporta en la demanda de materiales para la edificación de vivienda, que adquiere dimensiones regionales y nacionales. Y como elemento fundamental está, la necesidad de ser competitivos en el mercado internacional con miras a traer mayor inversión para este sector en Colombia, apuntándole a generar esta desde el marco legal del Código de Minas en Colombia que rige desde el 2001 y así lograr la captación de inversión extranjera y mejorar las condiciones para el mercado de los minerales.

1.3 Caracterización geológica de la región de Boyacá.

Dentro de las características geológicas que tiene el Departamento de Boyacá es que, está dividido, en cuatro cuencas sedimentarias que de occidente a oriente se designan así: 1. Valle medio del Magdalena, 2. Cordillera oriental, 3. Sierra nevada de El Cocuy y, 4. Piedemonte llanero. Dentro de ellas y atendiendo las importantes similitudes litológicas, estratigráficas y la tectónica regional, se han establecido 8 subregiones o bloques naturales, los cuales denotan cada uno, una historia geológica muy similar.

La estratigrafía del Departamento de Boyacá, incluye el estudio y la descripción de: 6 grupos lito estratigráficos, 69 formaciones

constituidas por rocas sedimentarias, 4 unidades conformadas por rocas metamórficas de bajo a medio grado de metamorfismo; 1 macizo ígneo y 3 pequeños intrusivos, todo lo cual representa un registro litológico que abarca un lapso de tiempo comprendido desde el Devónico hasta el Holoceno reciente. Estas condiciones geológicas que han beneficiado al territorio boyacense con una gran variedad de manifestaciones mineralógicas de excelentes calidades y abundantes volúmenes [17].

El potencial minero de Boyacá (Colombia) se centra en la esmeralda, el hierro, la caliza, los materiales de construcción (yeso, mármol, arcillas, arena, caliza, asfáltica, fosforita, puzolana), la roca fosfórica, el carbón, el cobre y la diatomita. La presencia de estos minerales ha permitido una intervención de inversionistas en la región al establecer grandes industrias mineras y otras pequeñas que unido a las actividades agropecuarias propias de ésta región, han facilitado el seguimiento de organizaciones con objeto agrominero. Todo lo anterior se ve fortalecido por el apoyo de las instituciones gubernamentales, el contar con una vía férrea que conecta con Bogotá, una termoeléctrica y por supuesto una posición estratégica en el país, son ventajas que ofrece ésta región como oportunidad de desarrollo no sólo regional sino también nacional.

La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de la región de Boyacá y de los municipios de Sogamosos, Cóbbita y Ráquira; en los cuales se centra la presente investigación.

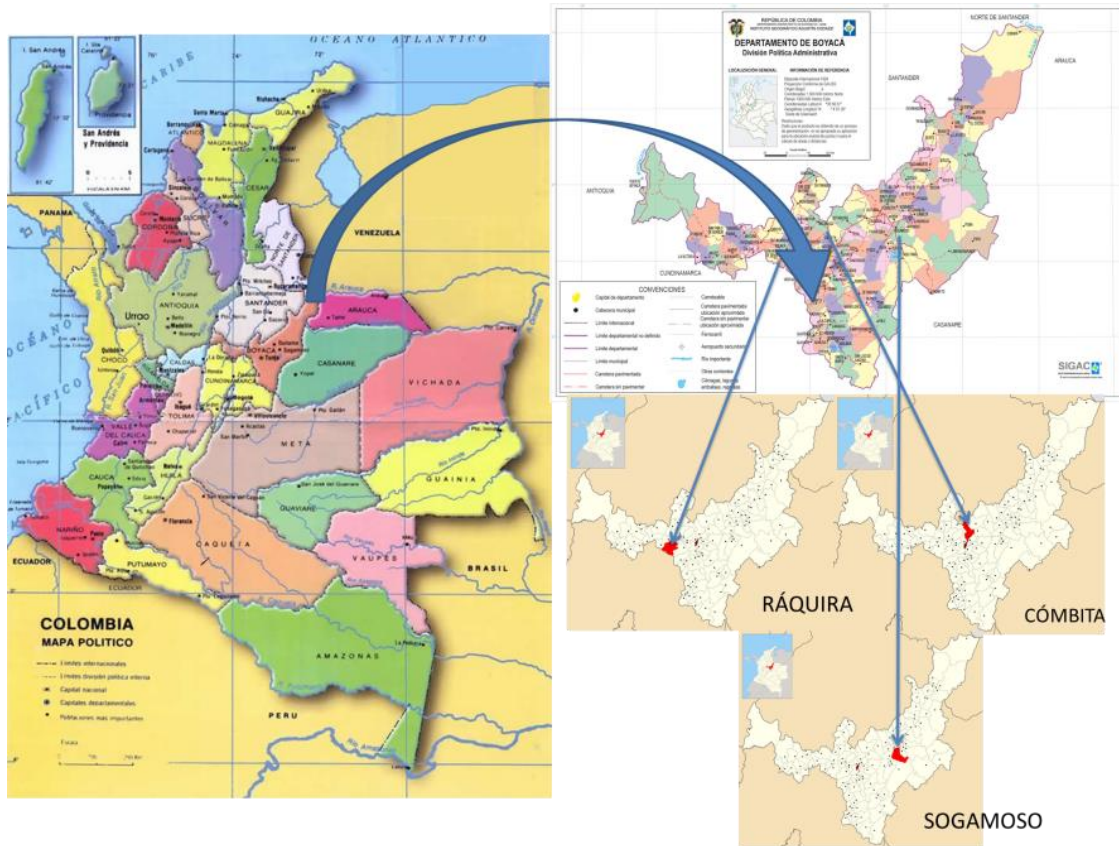


Figura 1. Localización geográfica de Boyacá en Colombia

1.4 Estado actual de la industria cerámica en Colombia

La cerámica en la industria se resalta en la medida en que está directamente vinculada al sector de la construcción ya que otorga productos de revestimiento para pisos y paredes y de porcelana sanitaria. Para el caso de Colombia se centra en cuatro empresas

ColCerámica S.A. (Grupo Corona), Cerámica Italia (10(%) del mercado de pisos en el país), Alfagrés S.A. (nacional) y Eurocerámica (nacional). El desarrollo promisorio de la cerámica en Colombia se potencializa con el conocimiento del mismo y la propuesta de productos soportados en la calidad y la sostenibilidad ambiental, lo cual lleva a un mercado innovador y competitivo enmarcado por la investigación para el desarrollo de nuevos productos que satisfagan las necesidades del mercado en cuanto a diseño, compatibilidad ambiental, textura, formatos y resistencia entre otros [18], [19], [20].

1.5 Las arcillas como potencial industrial

El tema central de este trabajo está enfocado en las arcillas como un recurso originario del suelo formado por grano fino constituido por agregados debido a su origen de rocas sedimentarias; están constituidas, principalmente por sustancias cristalinas denominadas minerales de la arcilla, en los cuales predominan los silicatos alumínicos hidratados, que no se encuentran puros ya que por lo general existen mezclas con minerales no arcillosos tales como feldespatos, cuarzo, carbonatos y minerales pesados [21]; su contenido en compuestos cromóforos se refleja de manera particular en la coloración que estas toman, que van desde el color blanco para aquellas extremadamente puras, amarillos o anaranjado para contenidos bajos de hierro y otros

materiales, hasta el rojo intenso, debido a su alto contenido de hierro [22], [23].

Al hacer una descripción más detallada de los componentes arcillosos se destacan los siguientes:

- Minerales de la arcilla dando variedad a la morfología y estructura de las partículas arcillosas.
- Sílice libre, que se presenta como cuarzo cristalino.
- Carbonatos en diversos grados de dispersión.
- Feldespatos, principalmente alcalinos y alcalinotérreos.
- Micas no hidratadas, tales como la moscovita y la biotita.
- Compuestos de hierro y tanio.
- Sales solubles.
- Materia orgánica y residuos carbonosos.

Dentro de los minerales de la arcilla se destacan; la caolínita, la illíta, la montmorillonita, la clorita y los interestratificados.

La caolínita, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, presenta una estructura dioctaédrica como lo muestra la Figura 2, que consta de una capa tetraédrica en cuyos vértices se encuentra el oxígeno, enlazada a una capa octaédrica en cuyos vértices están los átomos del grupo hidróxido y el oxígeno y en el centro el átomo de aluminio. Se caracteriza por ser una arcilla muy pura de color blanco utilizada en:

- ✓ El acabado de papel arte y tapiz reduciendo la porosidad y dándole suavidad y brillo a las superficies
- ✓ Como refractario al adicionarlo a varias composiciones.
- ✓ La fabricación de sanitarios, comedores, porcelana eléctrica, vajillas, objetos de baño.
- ✓ En la formulación de placas de vidrio, la elaboración de pigmentos y tintas.
- ✓ En combinación con el plástico mejora la rigidez y dureza del mismo.
- ✓ Ha mostrado potencial de uso en la agricultura ecológica por sus propiedades de absorción de ondas cortas de la radiación solar.
- ✓ La elaboración de medicamentos por ser químicamente inerte y libre de bacterias, en cosmetología por su poder de adherencia a la piel, absorción de humedad y textura suave entre otras.
- ✓ Una amplia aplicación en la construcción y la industria por sus propiedades de resistencia, adherencia, termoplásticas, e inercia al ataque químico, mejora la porosidad y la adhesión entre materiales como el cemento, la grava y la arena [24], [25].

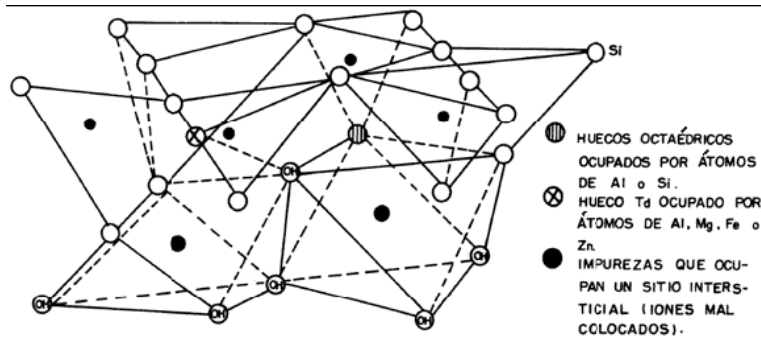


Figura 2. Estructura de la Caolínita

Las montmorillonitas son un conjunto de minerales arcillosos, cuya estructura y composición química presentes en la Figura 3 están relacionadas con la pirofilita. Los minerales de esta familia están compuestos por hojas constituidas por tres capas (ct-co-ct) de silicatos de los tipos dioctaédricos y trioctaédricos. Se destaca la propiedad para absorber agua entre las hojas, produciendo una marcada dilatación de su estructura. Los miembros dioctaédricos son: montmorillonita, beidelita y nontronita, y los trioctaédricos; hectorita y saponita. Su presencia en los terrenos de construcción se debe asumir con precaución por tener un carácter expansivo.

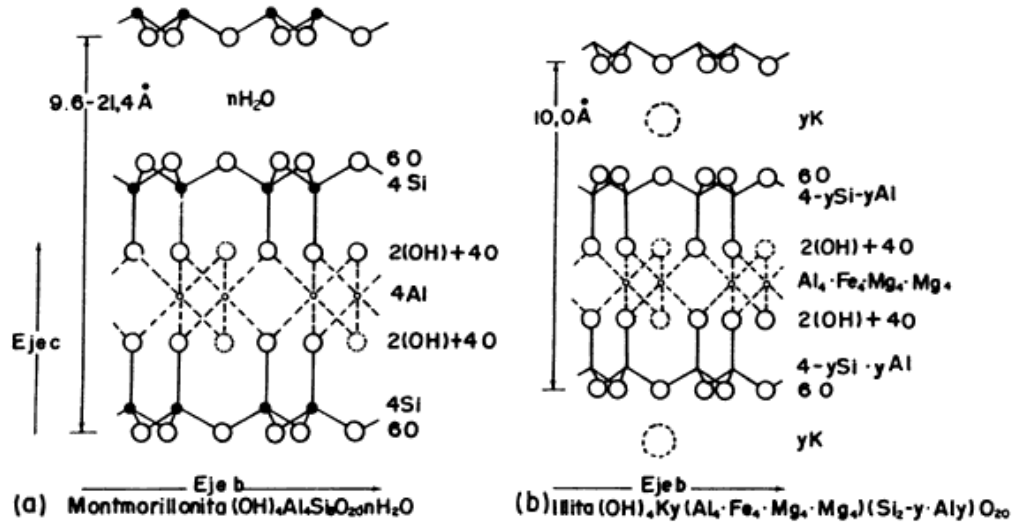


Figura 3. Estructura (a) Montmorillonita (b) Illita

La illita es un término general aplicado a los minerales micáceos de la arcilla. Las illitas se diferencian de las micas por presentar menos silicio sustituido por aluminio, contener más agua y tener una parte del potasio sustituido por calcio y magnesio. Todos son dioctaédricos aunque, probablemente, exista alguna serie trioctaédrica.

Las cloritas son estructuras cristalinas constituidas por una serie de hojas formadas por cuatro capas (co-ct-co-ct). Por lo que respecta a su composición química son, esencialmente, silicatos de aluminio y magnesio hidratados, con cierta proporción de hierro (II ó III), dándole un color verdoso a los cristales. Los minerales arcillosos interestratificados están formados por la alternancia más o menos

regular de hojas de composición diferente; por ejemplo illíta-montmorillonita, illíta-clorita, entre otros [26]

La mezcla de minerales arcillosos con agua le confiere un carácter plástico, una propiedad imprescindible para sus múltiples aplicaciones; al igual que su transformación térmica desde los 800°C hasta los 1500°C, de forma que se favorecen reacciones físico-químicas [27], haciendo de ella un material rígido de carácter cerámico. Estas propiedades pueden ser manejadas a través de formulaciones donde se combinan varios minerales, arcillas y se someten a condiciones específicas, dando lugar a una variedad de productos secundarios con una alta diversidad de usos en distintos sectores industriales representados en las Figura 4 y Figura 5 [28]. Las arcillas se configuran como nuevos materiales debido al trabajo de investigación, desarrollo e innovación dado en los años noventa y dos mil, llevándola a posicionarse como un material versátil que proporciona usos en diversos campos como son la; medicina, aeroespacial, automovilística, eléctrica, nuclear, defensa, ingeniería, cosmética, energías, medio ambiente, diseño, arte y decoración entre otros [29],[30]. Dentro de los últimos avances logrados está el de obtener cerámica transparente [31], utilizado en la industria para la producción de plasma entre otros. Por otra parte también se está convirtiendo en una alternativa muy

interesante para la incorporación de materiales residuales tanto del sector como los que se generan en la región como es el caso del vidrio, la cenizas, residuos orgánicos como la cascarilla de arroz, y el papel entre otros, no sólo por alternativas sostenibles sino porque aportan mejoras a las propiedades de la pasta cerámica [32],[33],[34],[35].



Figura 4. Aplicaciones de las arcillas

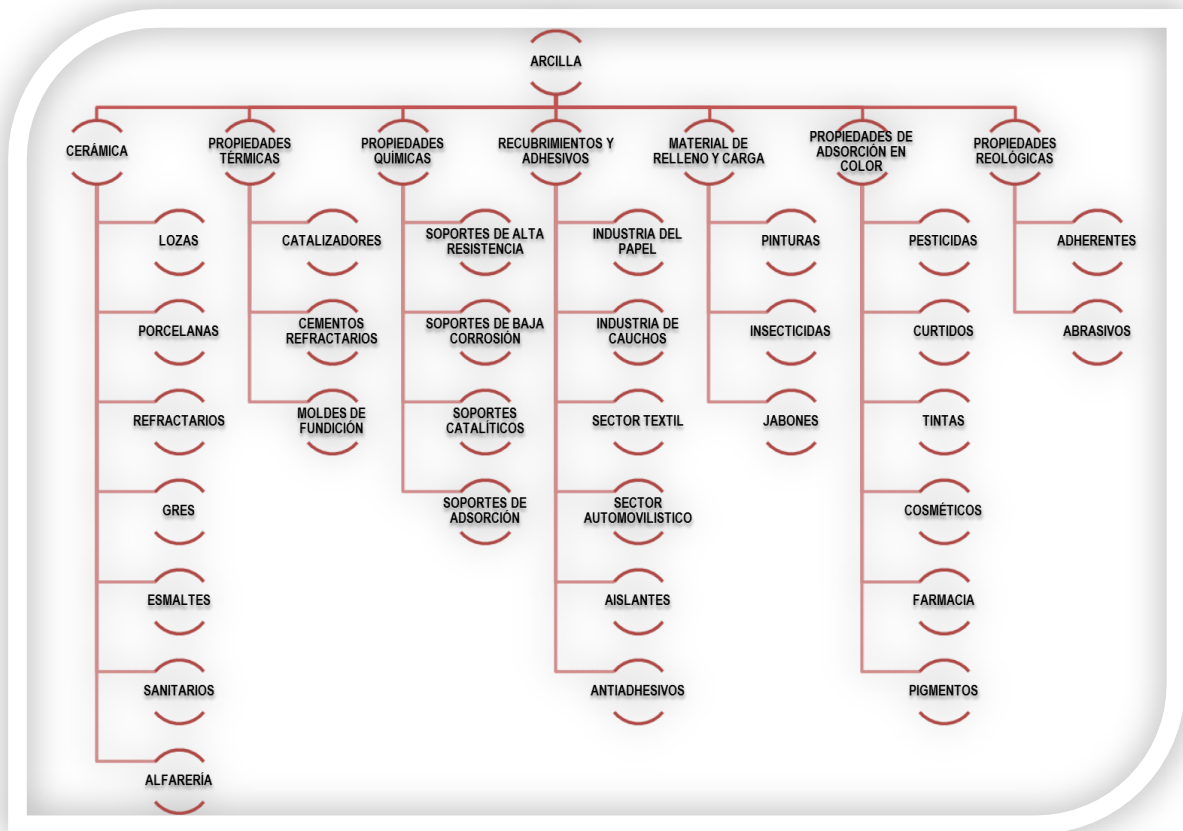


Figura 5. Aplicaciones detalladas de las arcillas

Independientemente del sistema utilizado en producción, la fabricación de una cerámica parte de una mezcla de materias primas naturales, esencialmente de naturaleza arcillosa que, de acuerdo a su composición mineralogía y estudio reológico, le da propiedades específicas para la elaboración de materiales cerámicos, que al ser conocidos permiten mejorar las condiciones de producción [36].

Debido a la variabilidad en las condiciones de formación y deposición a lo largo de los periodos de tiempo, se generan composiciones con texturas complejas y variables en la denominada pasta, la cual se elabora teniendo en cuenta la función de las características de la pieza cerámica que se requiere, dándole así un valor muy importante a la mezcla de materias primas empleadas y del procedimiento de fabricación [25], [37]. Cuando se desarrollan formulaciones para las pastas estas deben cumplir generalmente las siguientes condiciones: La relación de materiales plásticos (minerales arcillosos) a materiales desengrasantes (cuarzo, feldespato y chamota) [38],[39]; debe ser tal que confiera a la pasta cerámica la plasticidad necesaria para realizar un adecuado moldeado y a la pieza conformada la suficiente resistencia mecánica en verde y en seco para dar lugar a la producción de pavimentos y revestimientos o también llamadas baldosas cerámicas que a pesar de su compleja composición le otorgan propiedades tales como las relacionadas en la Tabla 5.

A continuación se plantea la composición hipotética con base en materias primas típicas, de una pasta cerámica.

Tabla 2. Composición general de una pasta cerámica

MINERAL	(%)
FILOSILICATO (caolínita, illíta)	50
CALCITA	20
CUARZO	15
FELDESPATO	15

Los feldespatos son aluminosilicatos de Na, Ca, K y Ba que se traducen en los minerales albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), ortoclasa (KAlSi_3O_8) y celciana ($\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). No es frecuente encontrarlos en forma de cristales mixtos. Los feldespatos más comunes pueden ser considerados como disoluciones sólidas de ortoclasa, (Or), albita, (Ab) y anortita (An) y su composición se expresa en función del sistema KAlSi_3O_8 (ortoclasa) - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albita)- $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (anortita)[40].

La extracción y proceso de separación de los cristales de feldespatos sin impurezas es muy complejo, haciendo que su obtención y comercialización final sea costosa además, que la especiación de los feldespatos exclusivamente sódicos o potásicos o cálcicos no es posible por lo que estas sustancias se comercializan en porcentaje en peso que se describe en la Tabla 3 a continuación:

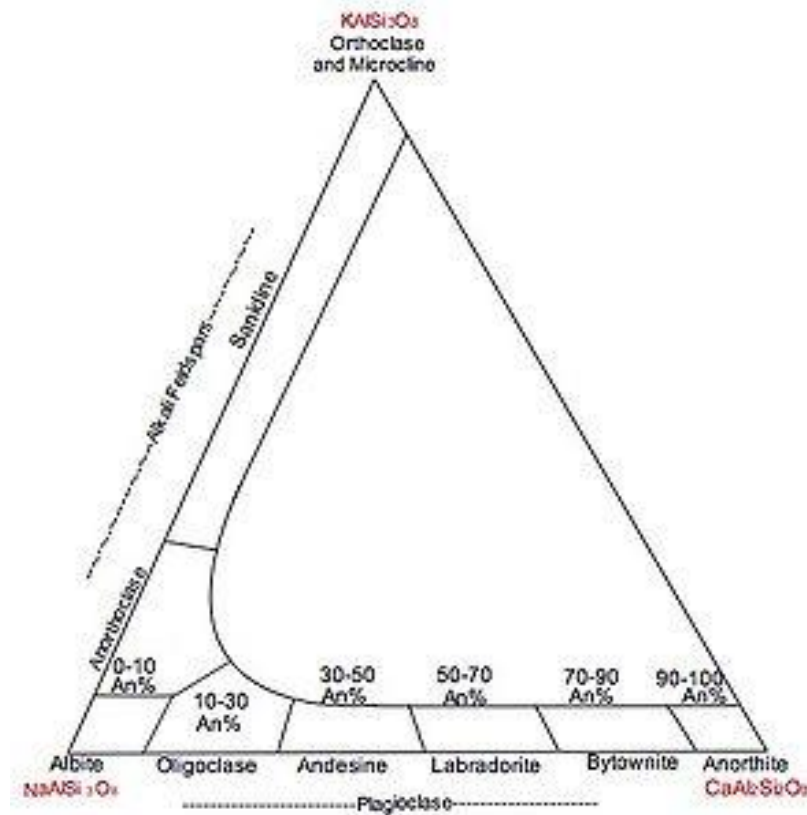


Figura 6. Diagrama composición feldespatos

Tabla 3. Composición química feldespatos y feldespatoides comerciales (% en peso).

FELDESPATO	REFERENCIA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
POTÁSICO	A	64,8	18,4	-				16,9
	B	65,5	18,8	0,2	0,43		3,2	11,8
SÓDICO	C	68,7	19,5	-			11,82	
	D	66,3	19,8	0,16	2,43		7,8	3,69
NEFELINA	E	41,3	34,9	-			15,91	8,06
	F	43	34	0,14	0,36	0,04	15,42	6,15

A. Ortoclase ($KAlSi_3O_8$) C. Albite ($NaAlSi_3O_8$) E. ($Na_3KAl_4Si_4O_{16}$) B, D y F feldespatos y feldespatoides comerciales.

Los feldespatos desempeñan el papel de fundentes en las pastas empleadas para la fabricación de pavimentos cerámicos Tabla 4, porque

facilitan la fusión y la reactividad de la mezcla con ello se disminuyen las temperaturas de cocción y esto se logra de manera más efectiva con los sódicos que con los potásicos, obteniéndose mayores pendientes en las curvas de contracción lineal- absorción de agua a temperatura bajas y absorciones de agua e hinchamiento de las piezas a temperaturas inferiores. Los feldespatos también contribuyen a mejorar la compacidad y permeabilidad de las piezas conformadas generando la disminución de la contracción de cocción y de la porosidad de las piezas cocidas a temperaturas a las que no se ha producido todavía de forma apreciable.

Tabla 4. Composición química de algunos feldespatos utilizados por el sector cerámico

PROCEDENCIA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Li ₂ O	PPPC
TURQUIA	70	19	0,12	0,5	0,1	9,5	0,3	0,3		0,3
	70	19	0,06	0,5	0,1	10	0,3	0,12		0,3
FRANCIA	74,6	15,3	0,2	0,7	1	6,5	1,7	0,1		0,8
ITALIA	66	18	0,5	1,2	3	8	0,3	0,5		1,8
SEGOVIA	68,7	16,6	0,1	0,5	0,1	2,6	10,5			0,5
SALAMANCA	71,5	15,2	0,1	1,1	0,6	5,9	2,4	0,1	0,3	1,8

Para fabricar gres porcelánico, se emplean indistintamente feldespatos sódicos, potásicos y sódico-potásicos, pero con un contenido en impurezas bajo. Uno de los inconvenientes ocasionados por los feldespatos en el gres porcelánico es la presencia de burbujas en los materiales fundidos debido al aumento de la porosidad interna de la

pieza pero este fenómeno es apreciado en los pavimentos gresificados ya que reducen la contracción final.

Tabla 5. Propiedades de los materiales cerámicos.

PROPIEDADES PRODUCTO TERMINADO		DURANTE LA ELABORACIÓN			DEL PRODUCTO ACABADO		
RESISTENCIA MECÁNICA	CALIBRE Y PLANARIDAD	RESISTENCIA MECÁNICA EN CRUDO	FACILIDAD DE SECADO	COCCIÓN CON CICLOS RÁPIDOS	AUSENCIA DE CORAZÓN NEGRO	COMPATIBILIDAD CON LA SUPERFICIE ESMALTADA	DILATACIÓN POR HUMEDAD LIMITADA
REPRODUCIBILIDAD DE LA COMPOSICIÓN Y DE LAS PROPIEDADES EN LARGAS SERIES DE PIEZAS		UNIFORMIDAD DE TAMAÑO Y FORMA DE LAS PIEZAS,	PIEZAS HOMOGÉNEAS TANTO EN LA COMPOSICIÓN COMO EN LA TEXTURA DENTRO DE LA MISMA PIEZA.		AUSENCIA DE DEFECTOS VISIBLES U OCULTOS.		

Los revestimientos cerámicos se usan para el: interior de viviendas, exteriores (fachadas, equipamiento urbano, fuentes de energía) y los pavimentos, para interior y exterior de viviendas, institucionales y comerciales [22]. Por éste motivo es necesarios que los pavimentos y revestimientos actuales se enmarquen en normas de estandarización, cuyo objetivo es el de garantizar un producto que satisfaga necesidades existentes como es la de alcanzar niveles elevados de porosidad en un intervalo amplio de bajas temperaturas, y para los gresificados un intervalo de estabilidad muy amplio, con una baja porosidad, una alta resistencia mecánica, al igual que su resistencia a la abrasión; conjuntamente se hace necesario que sus propiedades superficiales

faciliten la decoración de las mismas con el uso de nuevas tecnologías como es la inyección, el plasma y el láser, últimas tendencias que dan un amplio campo de mercado y competitividad al mundo de las baldosas cerámicas [41]. Las Normas Internacionales (ISO) especifican propiedades como la resistencia mecánica estableciendo, para los productos acabados valores mínimos del módulo de ruptura desde 15N/mm^2 (revestimiento clase BIII) hasta 35N/mm^2 (gres porcelánico-clase BI), mientras que los valores de carga mínima de rotura van respectivamente desde 60 hasta 130 kp.

Los estudios del comportamiento de las propiedades cerámicas en conjunto se obtienen a través de herramientas como las curvas de gresificación donde se reflejan los valores de contracción lineal y absorción de agua en función de la temperatura de cocción. Éste permite identificar potencialidades y debilidades del producto.

Las demandas en el sector cerámico han exigido que ésta se transforme cada día más para ofrecer mayores y mejores condiciones tanto del producto como del proceso de producción, y así aumentar sus niveles de eficiencia y eficacia en la calidad del producto, en ofertar innovaciones que respondan a las demandas del mercado local, nacional e internacional cada vez más variado y exigente.

Los productos cerámicos pueden clasificarse en función de su aspecto, uso al que van destinados, características del proceso de fabricación y propiedades del producto acabado. En general, la cerámica plana se pueden clasificar en dos grandes grupos teniendo en cuenta el color en cocido del soporte los de color rojo o de pasta roja con un contenido menor al 3(%) de hierro y los de color blanco o de pasta blanca con un contenido inferior al 0,5(%); teniendo en cuenta que el limitante es el contenido en óxidos colorantes, principalmente de hierro, que pueden presentar las materia primas que integren la pasta. En esto también intervienen otros óxidos como es el TiO_2 que proporciona una coloración amarillenta, del tipo y cantidad de fase vítrea formada en la pieza cocida, que puede hacer que una mayor o menor proporción de hierro pase a formar parte de ésta, y de la facilidad de formación de fases cristalinas, que en ocasiones pueden ocluir el óxido de hierro en su estructura decolorando las piezas.

1.6 Proceso de fabricación cerámica

La Figura 7 ilustra el proceso general de fabricación cerámica, para la obtención de pavimentos y revestimientos en el sector industrial y que se describe a continuación.



Figura 7. Proceso Fabricación cerámica

1. Preparación de la pasta: Después de una selección de las materias primas, sin muchos tratamientos previos se someten a una homogenización previa con el fin de asegurar la continuidad de sus características; una vez realizado este procedimiento se llevan a molturación que se clasifica según se

utilice o no el agua denominándose vía húmeda (molinos de bolas continuos o discontinuos que dan lugar a partículas de 300 μ m) o vía seca (molinos de martillos o pendulares que dan lugar a partículas de 200 μ m), respectivamente; el objeto de este procedimiento es disminuir el tamaño de partícula de las materias primas y mitigar la incidencia de las impurezas presentes en las mismas. Junto a este procedimiento se hace el de tamizado que permite la separación de partículas de mayor tamaño, el criterio para seleccionar una vía u otra radica esencialmente en aspectos como; la dureza del material, el contenido de impurezas, la capacidad de defloculación de la pasta, que está estrechamente relacionada con la plasticidad excesiva o la presencia de sales solubles floculantes como los sulfatos.

La Figura 8. Representa el esquema general que se da en un proceso de atomización que es la técnica industrial por la cual la barbotina obtenida por molturación vía húmeda de las materias primas se seca, en un proceso continuo y automático, obteniendo como resultado final, aglomerados esféricos huecos de partículas, llamados gránulos de atomizados [42], con un contenido de humedad controlado entre el 5 y el 6% en peso. De igual manera, su forma y tamaño garantizan una fluidez ideal para asegurar los procesos de prensado. Facilitando las

operaciones para la obtención de piezas de gran formato. Al igual que permite la optimización de los recursos al obtener procesos continuos y sistematizados.

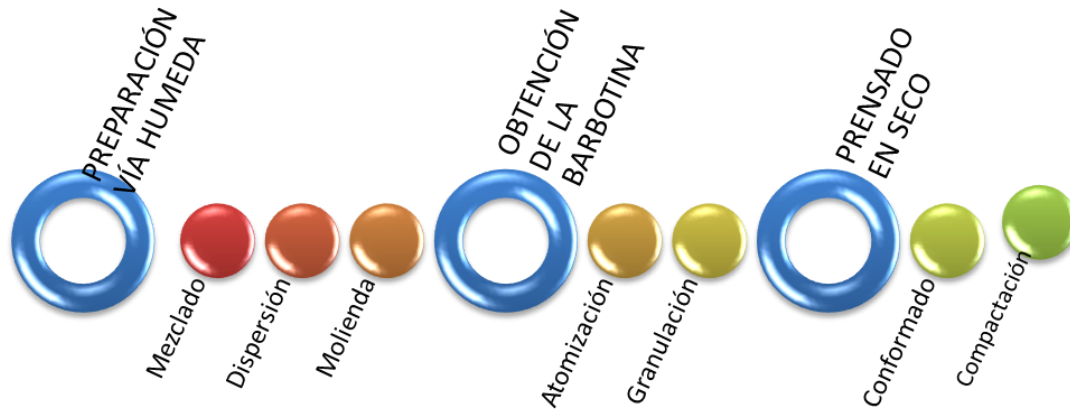


Figura 8. Proceso de atomización

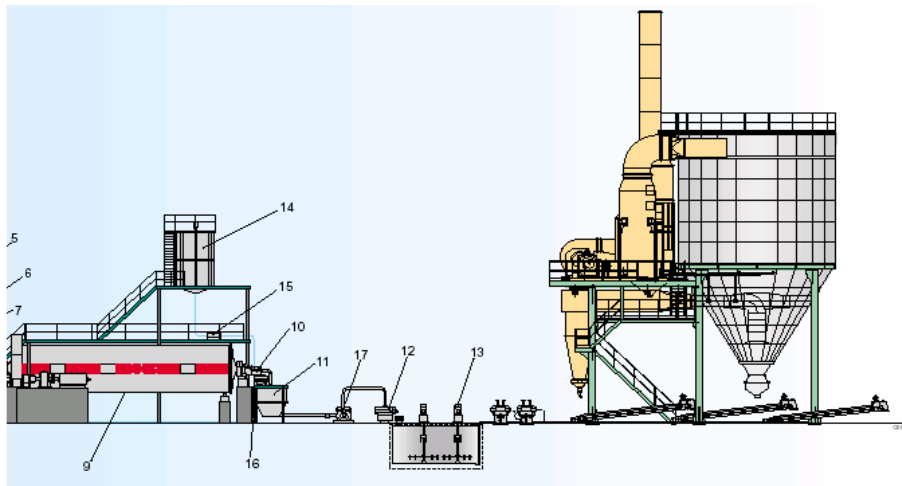


Figura 9. Esquema de preparación pasta cerámica-atomizada

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1.- Silos materias primas | 8.- Alimentación molino |
| 2.- Cinta materias primas dosificadas | 9.- Molino |
| 3.- Silos materias primas dosificadas | 10.- Colector de descarga barbotina |
| 4.- Cinta extractora-pesadora | 11.- Tanque recogido y agitación barbotina |
| 5.- Depósito defloculante sólido | 12.- Batería de tamices |
| 6.- Córlea extractora | 13.- Agitadores y tanque de depósito barbotina |
| 7.- Dosificador defloculante sólido | 14.- Depósito agua |
| 15.- Contador agua | 16.- Bomba agua - 17.- Bomba barbotina |

Las condiciones óptimas a tener en cuenta para la formulación de una pasta cerámica se ajusta a las siguientes consideraciones:

- ◆ Suficientemente plástica
- ◆ Fácil defloculación
- ◆ Que la barbotina a atomizar tenga un contenido de sólidos alto, por encima del 65(%), para que el rendimiento del atomizador sea óptimo y el consumo de gas mínimo.
- ◆ Condiciones óptimas de humedad y granulometría del polvo atomizado para garantizar el adecuado llenado del molde de prensa, de manera que la densidad aparente de las piezas sea homogénea.
- ◆ Una resistencia mecánica suficiente para que no se rompa al atravesar las etapas de secado, engobado y esmaltado.
- ◆ El intervalo de temperatura de cocción tiene que ser suficientemente amplio para mantener las dimensiones de la pieza cocida dentro de los márgenes independientes de las variaciones del horno.
- ◆ El producto cocido ha de proporcionar las características técnicas y estéticas deseadas en el producto acabado, a pesar de la variabilidad propia del proceso [42].

La pasta también puede ser procesada por molturación en seco. En este caso, se realiza con molinos de martillos o pendulares, que tienen un

sistema de calefacción y un clasificador neumático que permite la obtención de un granulado cerámico a condiciones de tamaño y humedad deseada, listo para ser utilizado en la producción de piezas por prensado, debido a la facilidad que ofrece de reducir la presencia de partículas finas, controlar la densidad aparente y aumentar la fluidez. De éste proceso se destaca el ahorro energético e hídrico, una reducción significativa de la emisión de gases de efecto invernadero, disminución de costos en materias primas como aditamentos para la barbotina y una reincorporación al proceso de los residuos de producción [43].

2. Conformado de las piezas: Se realiza mediante procesos de prensado, y extrusión. Mediante la operación de prensado se logran moldear baldosas cerámicas de gran estabilidad dimensional que se obtiene como resultado de aplicar de una fuerza axial que provoca una compresión mecánica de la pasta con una humedad entre el 5-7%. La extrusión se basa en hacer pasar la pasta con un 20% de humedad, en estado plástico, a través de una matriz de forma constante. Los equipos de extrusión requieren de un sistema propulsor, una matriz y la cortadora. Con regularidad los efectos de una preparación y molde defectuosos no se manifiestan hasta el final del proceso, cuando la pieza sale del horno e incluso una vez puesta y con algo de tiempo se manifiestan algunos

defectos. Algunos factores relacionados con estos defectos recaen en la necesidad de una muy buena homogenización de las materias primas, una adecuada caracterización de la plasticidad y el grado de humedad que se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades por humedad

MOLDEO	PROCESO	(%) AGUA	APLICACIÓN
EN SECO	PRENSADO	4-8	PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS CERÁMICOS
EN PLÁSTICO	EXTRUSIÓN	25-35	LADRILLOS TEJAS BOVEDILLAS, ETC.
EN HÚMEDO	COLADO	>35	PIEZAS ESPECIALES

Las propiedades asociadas directamente al proceso de conformado corresponden a:

- ✓ La plasticidad: Está directamente relacionada con la estructura físico-química de la masa arcillosa y se determina por la distribución del tamaño de la partícula, la capacidad de intercambio iónico, la naturaleza de los iones del agua de amasado, el contenido en materia orgánica activa. Propiedades determinantes para definir el comportamiento que corresponde al intermedio entre un líquido viscoso y un sólido elástico, que bajo la acción de la presión permanece inalterado hasta alcanzar un determinado valor conocido como punto de fluencia y cuando cae la presión el material deja de fluir sin recobrar su forma original.

- ✓ La compacidad: Incide directamente en el comportamiento de las pastas cerámicas en las etapas de secado y sobre las propiedades del producto en cocido, su incremento da mayor resistencia mecánica, disminuyendo las roturas durante el secado, la velocidad de secado, descomposición y oxidación, de compuestos durante el prehornado disminuyen con el aumento de la compacidad así mismo sucede con la contracción lineal y la capacidad de absorción de agua [44].
- ✓ Secado de piezas conformadas: La pieza cerámica una vez conformada se somete a una etapa de secado, con el fin de disminuir el contenido de humedad para que quede entre el 0,2-0,5 %, con el fin de favorecer los procesos siguientes de cocción y esmaltado; esto se logra por un mecanismo de convección del calor proveniente de los gases dirigidos a la superficie de la pieza desde las paredes del secador; el aire que se utiliza debe ser seco y caliente ya que con él no sólo se elimina el agua del sólido, además da la energía calórica que se requiere para evaporarse. Durante esta fase el agua no solamente evapora la que se encuentra en la superficie sino también la del interior de los capilares hasta llegar al punto crítico que es el momento en el cual el agua que fluye, es la que está ligada o unida eléctricamente a la superficie de las partículas de la arcilla y esta es constante para

cada arcilla, dependiendo de su naturaleza y granulometría. Otro parámetro de interés es la humedad de equilibrio que también es diferente para cada arcilla en condiciones ambientales determinadas y se refiere a la humedad residual contenida en la arcilla y la del aire que se relaciona con el fenómeno de revenido o capacidad de rehidratación una vez finalizado el secado [45],[1],[46]. Al descender la temperatura aumenta la energía de enlace arcilla-agua y con ello la humedad de equilibrio que facilita la reabsorción del agua ambiental siendo poco uniforme en la pieza y variando el volumen, lo que genera tensiones en la pieza cerámica y conduce en casos extremos roturas; reflejando la incidencia de las propiedades del secado como la contracción y la resistencia mecánica en seco.

- ✓ Este procedimiento debe realizarse con precaución debido a que si se hace muy rápido provoca fisuras y grietas.
- ✓ Resistencia Mecánica en seco: Corresponde a la propiedad que se adquiere cuando una masa de arcilla se seca, y las partículas de arcilla tienden a mantenerse unidas y por lo tanto genera una configuración rígida. Lo que permite las piezas secas resistan las tensiones de manipulación.

3. La cocción: De ésta etapa depende gran parte de las características del producto final como son: la resistencia

mecánica, la estabilidad dimensional, la resistencia a los agentes químicos, facilidad de limpieza y resistencia al fuego, sin olvidar que las etapas precedentes se han llevado a cabo correctamente, que lleva a optimizar este momento y evitar los defectos que durante el mismos o con posteridad pudieran aparecer; las reacciones más importante que tienen lugar corresponden a: La descomposición, que es la recombinación y formación de nuevos minerales y el vidriado, la adsorción y desprendimiento de calor, desprendimiento de gases, dilataciones y contracciones, cambios de color y por último las que se dan durante el proceso de enfriamiento como son la recristalización de nuevas fases minerales. La transformación química que ocurre en general durante el proceso de cocción cerámica se sintetiza en la Tabla 7 donde se describen las transformaciones que sufre el cuerpo cerámico al ser sometido a ciclos de temperatura alrededor de los 30°C a 1250°C.

Tabla 7. Transformación térmica en una composición cerámica.

TEMPERATURA °C	REACCIÓN
30-120	Pérdida de agua higroscópica
120-300	Pérdida de agua ligada e interlaminar
250-650	Pérdida de agua de cristalización - deshidroxilación
400-600	Posible oxidación de la materia orgánica y piritas
573	Modificación de la estructura del cuarzo
400-900	Descomposición de los carbonatos
700	Se inicia la formación de silicatos y

	ferritas
980	Formación de espinelas e inicio de la contracción disminuye la porosidad
1000	Formación de mullita primaria (amorfa)
1050 -1100	Formación de vidrio a partir de feldespatos y crecimiento de mullita
1200	Continúa la contracción, cierre de poros, disolución parcial del cuarzo
1250	Cristalización de mullita secundaria, mínima porosidad y vitrificación.

El ciclo térmico (temperatura-tiempo) y la atmósfera del horno que debe adaptarse a cada composición y tecnología de la fabricación. Esto puede hacerse en forma rápida o lenta; ésta última se relaciona con la facilidad de hacer la cocción simultáneamente con el soporte. Así se denominan los procesos de monococción y bicocción en donde se hace necesario atender propiedades inherentes al proceso tales como: la desgasificación que experimenta el soporte en el transcurso de la cocción y la capa de esmalte fundida, por lo que se requieren pastas con baja proporción de compuestos que sufran descomposición sobre todo si se dan a altas temperaturas y si el tamaño de partícula es grueso, por lo que se recomienda que la presencia de carbonatos sea más baja que en la de bicocción. Para la presencia de sulfatos o carbón la situación es más compleja porque éstos se descomponen a alta temperatura. La presencia de materia orgánica superior al 0,2% no es recomendable en las piezas sometidas a monococción debido a que su oxidación se limita por la poca accesibilidad del oxígeno en el momento en que el esmalte impermeabiliza la pieza. Las temperaturas de trabajo oscilan entre los

900°C y 1800°C, donde la mayoría de los minerales presentes se transforman en polimorfos de alta temperatura y otros funden parcial o totalmente produciéndose reacciones entre los distintos fundidos o reacciones con los más resistentes, formándose fases estables a las nuevas condiciones termodinámicas.

Coeficiente de dilatación térmica es un fenómeno generalizado en los materiales cerámicos, que se manifiesta por un incremento de volumen y se relaciona directamente con la estructura reticular de los minerales cerámicos.

4. Otros factores que inciden sobre la fabricación cerámica:
Composición mineralógica y química de la materia prima,
Distribución del tamaño de partícula, velocidad del calentamiento y temperatura máxima a alcanzar, atmósfera del horno.

El color es una propiedad que permite la clasificación del material cerámico, debido a que para algunos productos se requiere de un color determinado, las piezas blancas facilitan el desarrollo de efectos especiales en el esmaltado. La influencia en el color está dado por las materias primas, el contenido de minerales de hierro, la presencia de iones cromóforos, las condiciones de cocción y la atmósfera del horno

(oxidante o reductora) con el tipo de fases generadas (vítreas o cristalinas) y la presencia de compuestos solubles.

En la Tabla 8 se presentan las propiedades técnicas exigidas para porcelánico y porosa exigidas en los estándares europeos y en las Tabla 9 y Tabla 10 de la pasta blanca, con lo cual es posible obtener productos estandarizados en el sector industrial cerámico.

Requisitos técnicos de una pasta cerámica

Tabla 8. Propiedades cerámicas

REQUISITO	PORCELÁNICO TÉCNICO	PORCELÁNICO ESMALTADO	POROSA
GRANULOMETRÍA 63 μmm	<1(%)	<2(%)	<2,5(%)
DEFLOCULACIÓN	CS ¹ >65(%) (%)DEFLOCULACIÓ N <0,6(%)	CS ¹ >65(%) (%)DEFLOCULACIÓ N <0,6(%)	CS ¹ >65(%) (%)DEFLOCULACIÓ N <0,6(%)
COMPACIDAD EN SECO	Dap ³ >1,92 g.cm ⁻³	Dap ³ >1,92 g.cm ⁻³	Dap ³ >1,92 g.cm ⁻³
EXPANSION POST-PRENSADO	<0,7(%)	<0,7(%)	<0,6(%) (baja)
CONTRACCIÓN DE SECADO	<0,3(%)	<0,3(%)	<0,2(%) (baja)
RESISTENCIA MECÁNICA SECO	>30K g.cm ⁻³ (alta)	>30K g.cm ⁻³ (alta)	>25K g.cm ⁻³ (media)
(%) Fe₂O₃	<0,5(%)	<1,0(%)	<1,2(%)
CONTRACCIÓN POR COCCIÓN	>7(%)	>7(%)	>1,5(%) (baja)
EXPANSION POR HUMEDAD	-	-	<0,06(%) (baja)
FORMACIÓN DE FASE VITREA	Alta a T de trabajo 1180-1230°C	Alta a T de trabajo 1180-1230°C	Baja a T de trabajo 1050-1140°C

1. CS1= Contenido de Sólidos

2. (%) de floculación respecto del sólido seco

3. Densidad aparente en seco de las piezas cerámicas

Propiedades ópticas (color) de pastas blancas cocidas a 1185°C.

Tabla 9. Propiedades cerámicas para pasta blanca

PARÁMETROS CERÁMICOS	ESPAÑOLA BAJA ALÚMINA	ESPAÑOLA ALTA ALÚMINA	IMPORTADA BAJA ALÚMINA	IMPORTADA ALTA ALÚMINA
(%)Al₂O₃	19-22	24-28	20-23	26-29
(%)Fe₂O₃	1,5-3,0	2,0-8,0	<1,0	1,0-1,5
Mineral de Fe	Siderita	Siderita/hermatita	-	-
(%) Contenido MO¹	20	80	0	5
Plasticidad	20	22	24	26

Tabla 10. Comportamiento cerámico a 1180°C. Pasta blanca

PARÁMETROS CERÁMICOS	ESPAÑOLA BAJA ALÚMINA	ESPAÑOLA ALTA ALÚMINA	IMPORTADA BAJA ALÚMINA	IMPORTADA ALTA ALÚMINA
(%)CL²	6,5	7,2	6,25	9,28
(%)ABSORCIÓN DE AGUA³	5,1	1,5	3,85	0,06
L^{*4}	66,7	65	79	74
a^{*4}	6,3	5,5	2,5	2,6
b^{*4}	15,3	15,9	15,0	12,4

1. Materia Orgánica
2. Contracción Lineal
3. Absorción Agua

4. Coordenadas cromáticas: L* = 100, blanco - L* = 0, negro - a* < 0, verde - a* > 0, rojo b*<0 azul b*>0 amarillo

1.6.1 Características técnicas de cerámicas para pasta roja.

Las propiedades que se destacan en las arcillas españolas utilizadas para pasta roja son: un contenido en hierro Fe₂O₃ >3(%), de carácter illítico, bajo contenido en carbonatos alcalinotérreos, buena plasticidad, ausencia de impurezas en sales solubles, pirita, carbón y fundentes. Se destacan las tipo Moró que tienen un carácter fuertemente illítica.

Tabla 11. Características de algunas arcillas españolas para cocción roja.

TIPO DE ARCILLA ESPAÑOLA	CARACTERÍSTICAS
MORÓ	Fuertemente illítica y ocasionalmente clorítico Fundente Fuertemente agregado por hematites y sílice criptocristalina Desengrasante Carbonatos <5(%) Importancia estratégica para pavimentos
VILLAR	Carácter ilitico caolínico, contenido elevado de cuarzo. Material de poca compacidad y muy plásticas. Carbonatos <5(%)
GALVE	Semejantes a las de Villar pero con más caolínita y menos materia orgánica, más refractarias y menos plásticas.
MORELLA	Carácter fuertemente illítico y presencia de feldespatos. Fundente Material de poca compacidad Destaca por su fundencia, plasticidad y bajo contenido de carbonatos <5(%) y materia orgánica.
MASVELL	Carácter fuertemente illítico con presencia de feldespatos y montmorillonita fundente y plástica. Contenido elevado de cuarzo y buena compacidad. Presencia de sulfatos solubles
CHULILLA	Carácter fuertemente illítico con presencia de feldespatos y clorita Fundente Carbonatos entre 5-15(%).

Tabla 12. Propiedades arcillas españolas para cocción roja

	MORO	VILLAR	GALVE	MORELLA	CHULLILLA	MAS VELL	SICHAR	ARAYA
A. QUÍMICO	SiO ₂	60,2-63	57,5-62	59,4-61	60,3	54,7-57	31,1	31,1-33
	Al ₂ O ₃	19,2-17	21,9-18	23,0-19	19,8	20,1-16	13,4	14,3-13
	Fe ₂ O ₃	7,9-6,7	7,66-6,3	5,98-6,4	6,79	6,41-5,6	4,84-3,7	4,24-4,5
	CaO	1,79-1,3	0,62-1,5	1,24-1,4	0,76	24,1-4,5	13,2-15,2	22,8-21,8
	MgO	0,84-1,5	1,44-1,3	0,24-0,1	13,8	28,5-3,6	2,50-2,1	1,36
	Na ₂ O	0,35-0,2	0,44-0,1	3,41-3,7	0,84	0,14-0,1	0,26-0,2	0,2
	K ₂ O	4,95-3,0	3,55-4,0	0,62-0,8	4,1	4,65-4,0	4,48-3,1	3,67
	TiO ₂	0,85-0,9	1,09-0,8	5,6-6,1	0,85	0,94-0,6	0,56-0,5	0,26
	PPC	4,6-5,8	6,3-5,7	22-26	4,95	7,8-9,5	15,0-16,0	21,7
	Caolinita	18-19	19	21	14	oct-14	10-7	10
	Illita	26-24	22	35	31	24-19	18-24	20
	Cuarzo	42-42	39-37	3-2	33	34-29	28-32	15
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA	Carbonatos	4-3	3	8	1	11-10	31-28	38
	Feldespatos	2-3	8	7	10	8-16	8-6	7
	Comp Fe-Ti	4-3	7	3	7	6	4	-
	Clorita	4-3	-	1	3	5	-	-
	Otros	4-3	2	11	1	1	1	-
	>60μ	26	24-33	32	4,8	13	9	2
GRANULOMETRÍA	>10μ	52	39-20	21	19	27	17	9
	<0,5μ	17			30	22	28	42

5. Acabados superficiales:

Esmalte: Cubierta vitrificada por cocción y fuertemente adherida a la cara vista del cuerpo o soporte de las baldosas esmaltadas; dándole una apariencia haciéndola distinta al menos por una cara de la baldosa.

Engobe: Es un revoque de arcilla o pasta claras con las que se cubre la cara vista de la baldosa para tapar su color más oscuro, utilizándose como base para el esmalte, pero también como recubrimiento único que le otorga una apariencia mate y menor impermeabilidad que las que tienen esmalte.

Pulido: Tratamiento cuya finalidad es alisar y dar brillo reflectante a la cara vista de tipo gres porcelánico.

Tipos de baldosas cerámicas:

Dentro de los distintos tipos de baldosas cerámicas que se obtienen según sus propiedades finales son: Revestimiento poroso, pavimento gresificado, gres porcelánico y gres rústico extruido.

Revestimiento poroso: El procedimiento de conformado de pieza es exclusivamente el prensado, debido a la alta estabilidad dimensional requerida en este tipo de productos. Cuando se emplea la molienda vía seca, la cocción del soporte y del esmalte se realiza de forma independiente en un proceso de bicocción,

debido al retraso en las desgasificaciones de las materias primas e impurezas de mayor tamaño presentes. Si se utiliza una cocción lenta del soporte, con piezas apiladas, el esmalte se somete a una segunda cocción que puede ser lenta o rápida.

Pavimento gresificado; En estos productos la molienda se realiza mayoritariamente por vía húmeda, debido a la facilidad que proporciona al prensado mientras que la extrusión no es favorable debido a la elevada contracción de secado, y se utiliza una cocción simultánea de esmalte y soporte.

Gres porcelánico: Se obtiene por molienda vía húmeda, debido al tamaño de partícula tan fino y al riguroso tamizado requeridos para alcanzar las características deseadas; las piezas se conforman por prensado debido a la estabilidad dimensional que el procedimiento otorga, el producto puede decorarse en la propia prensa mediante aplicaciones en seco o como el resto de las baldosas cerámicas, luego del secado en la línea de esmaltado.

Gres rústico: Se obtiene por molienda vía seca y se le adiciona chamota de partículas gruesas proporcionando el aspecto rústico requerido. La extrusión favorece la formación de una superficie más áspera y rústica después de la cocción, al ser menor la estabilidad dimensional requerida y a la gran productividad que es

posible alcanzar. La pieza puede esmaltarse o no aunque en ambos casos se obtiene por monococción.

El resultado de todo el proceso concluye en un producto cerámico que debe cumplir con estándares de calidad normalizado en los últimos años elaborada por la ISO entre agosto de 1985 y julio de 1992. Donde se incluyen nuevas pruebas como es el ensayo tecnológico que evalúa: Coeficiente de fricción o rozamiento, resistencia al impacto (tenacidad), carga de rotura, tono de color, cesión de Pb y Cd en productos esmaltados y variaciones en: Dilatación por humedad y resistencia a las manchas, tanto para materiales esmaltados como no esmaltados, agentes para a resistencia al ataque químico de alta y baja concentración y la eliminación del ensayo de dureza Mohs. Todas ellas especificadas en las normas ISO13006 para productos, ISO 10545 para ensayos.

1.6.2. Características tecnológicas producción cerámica:

Los productos cerámicos se enmarcan en estándares de producción determinados por las normas ISO, razón por la cual es importante que los productos cerámicos respondan a características tecnológicas de producción estandarizadas como se presentan a continuación.

Tabla 13. Características tecnológicas de cerámicas

CARACTERÍSTICAS EN CRUDO	REVESTIMIENTO O POROSO	PAVIMENTO GRESIFICADO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO
Carbonatos (%)	10-15	<3	<0,1
Presión de prensado (kgcm⁻²)	200-250	220-280	300-400
Humedad de prensado (%)	5-7	5-6	5-6
Expansión post-prensado (%)	<0,6	<0,6	<1,0
Contracción de secado (%)	<0,2	<0,2	<0,3
Resistencia mecánica (kgcm⁻²)	20-30	20-30	25-35

CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN	REVESTIMIENTO POROSO	PAVIMENTO GRESIFICADO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO
Temperatura de cocción (°C)	1080 - 1150	1100-1180	1180-1230
Contracción lineal de la cocción (%)	<1,5 BAJA	5-7 ALTA	7-9 MUY ALTA
Absorción de agua ((%)	12-18	2-5	<0,1
Resistencia Mecánica (Kgcm⁻²)	150-250 MEDIA-BAJA	250-350 MEDIA-ALTA	350-450 ALTA
Expansión por humedad (%)	<0,1	DDESPRECIABLE	CASI NULA
Influencia T de cocción	MEDIA	ALTA	BAJA

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES	REVESTIMIENTO POROSO	PAVIMENTO GRESIFICADO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO
Resistencia a manchas	ALTA	ALTA	MEDIA-BAJA
Resistencia al cuarteo	MEDIA-BAJA	ALTA	ALTA
Resistencia al deslizamiento	BAJA	VARIABLE	ALTA-MEDIA
Resistencia al químico	MEDIA	MEDIA-ALTA	ALTA
Resistencia a la helada	BAJA	MEDIA-ALTA	ALTA

1.7 Incorporación de materiales reciclados a la pasta cerámica.

Las exigencias ambientales mundiales conducen a las empresas al desarrollo de buenas prácticas ambientales con las cuales se busca minimizar, compensar o mitigar los impactos negativos generados por el sector cerámico, para esto se ha propuesto a los empresarios y trabajadores estrategias como: No contaminar los suelos

- ✓ Hacer inversión para prevenir la contaminación
- ✓ Dar a conocer las políticas ambientales
- ✓ Exige de sus proveedores materias primas con bajo ningún impacto ambiental
- ✓ Cualifica el recurso humano en cuanto a formación en gestión ambiental
- ✓ Busca en los problemas ambientales una oportunidad de mejora y competitividad; a través de la creación de nuevas líneas de

trabajo o de gestión, modernización tecnológica e introducción de elementos de I+D, entre otros.

- ✓ Acciones puntuales recomendadas son:
- ✓ Reducir los consumos de agua y energía
- ✓ Disminuir el volumen de residuos a través de políticas de reciclaje
- ✓ Minimizar la contaminación atmosférica, acústica y por vertidos.
- ✓ Generar mecanismos de formación y sensibilización ambiental para sus empleados, proveedores y clientes.

Aplicación de materias primas residuales en la industria cerámica: La adición de estas materias primas tiene en principio la finalidad de modificar alguna de las propiedades de las pastas cerámicas. Debido a la influencia que estas ejercen en la mezcla como: inertes o desengrasantes, fundentes, plásticas y refractarias o también como naturales o sintéticas. Dando una nueva visión a lo que hoy en día puede llamarse "mineralogía ambiental" entendido como el aprovechamiento de un "recurso" que podría significar un impacto considerable, por lo que al incorporarlo como materia prima en la industria cerámica supone un doble beneficio; por una parte elimina un residuo industrial con las ventajas que ella implica y por otra mejora las propiedades del producto cerámico o reduce sus costos de producción haciéndolos más competitivos [42][47],[48].

Tabla 14. Residuos industriales[42].

RESIDUOS	GENERADOS COMO
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS	Gangas de explotación mineras Esquistos y pizarras entre capas de carbón LEM granítico Residuos de serrería y telares: calizas, granitos, etc. Residuos "finos" de gravera
INDUSTRIALES	Escorias y cenizas volantes de centrales térmicas Pasta de papel Coque de petróleo Orujo de aceituna Escorias de alto horno Escorias de metalurgia del Cu, Pb, Ni, Fe. Chamota de la propia industria cerámica
OTROS	Por obras públicas y desescombro

El vidrio reciclado en la pastas cerámicas: ha sido utilizado como materia prima en la formulación cerámica por mostrar mejoras en propiedades como: resistencia mecánica, en cocido, actuar como agente fundente y disminuir la porosidad, no se recomienda el uso de grandes cantidades debido a que este modifica la estructura cristalina de las fases cocidas provocando la deformación de las mismas [46][1][45].

1.8 La cerámica y la protección ambiental

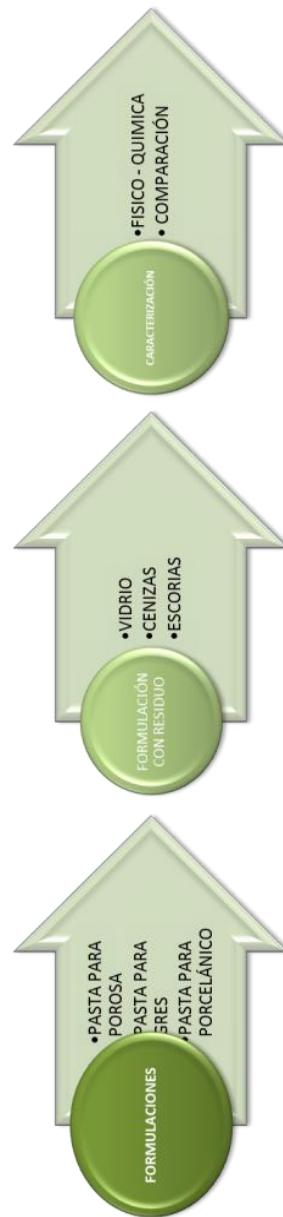


Figura 10. Proceso para formulaciones.



Los términos municipales y desde el sector industrial, especialmente en la actualidad, deben asumir compromisos de cara al desarrollo sostenible en los cuales se destaca, la producción de residuos

vertidos tanto a las fuentes de agua como al aire afectando la flora y la fauna, por lo que se requieren de estrategias para facilitar el acopio y uso alternativo de éstos residuos. Y dentro de las estrategias generadas por el sector cerámico está el incorporar elementos como el vidrio, [8] las cenizas de las centrales termoeléctricas [49],[50] o la escoria del beneficio de minerales como el hierro, en las formulaciones de pastas cerámicas[51]. En la Figura 10. Proceso para formulaciones. Figura 10., se describe el proceso con el cual se obtienen en esta investigación formulaciones donde se incorporan residuos industriales a las materias primas originarias de Colombia.

La industria cerámica ha demostrado ser el sector con mayor compromiso ambiental al desarrollar proyectos de investigación y desarrollo alrededor de la reducción de la huella medioambiental, el uso de tecnologías para uso racional del agua y la energía, la cogeneración, los controles de emisión y la reincorporación al proceso de residuos [5], [50][49].

En la Tabla 16, se presentan y describen algunos sellos ambientales que obtiene el sector cerámico en varios países como certificación de que sus productos se obtienen de procesos de producción que contribuyen al desarrollo sostenible y por lo tanto al cuidado del ambiente.

Tabla 15. Países y sellos ambientales cerámicos.

PROGRAMA	SELLO	CATEGORIA DEL PRODUCTO
EU Ecolabel		Revestimientos rígidos
Distintiu de Garantía de Qualitat Ambiental		Producto de árido reciclado Primeras materia primas y productos de vidrio reciclado
Ecomark (Japón)		Baldosas y ladrillos Materiales de construcción con contenido en material reciclado
China ecolabelling		Sanitarios cerámicos Ladrillos y bloques para arquitectura Vajillas
Korea ecolabelling Program		Sanitarios Pavimentos
Ecologo (Canadá)		Sanitarios
Sello ambiental colombiano		Hace uso sostenible de los recursos naturales que emplea (materia prima e insumos) emplea procesos de producción que involucran menos cantidades de energía o que hacen uso de fuentes de energía renovables, o ambas, <ul style="list-style-type: none"> • Considera aspectos de reciclabilidad, reutilización o biodegradabilidad, • Emplea tecnologías limpias o que generan un menor impacto relativo sobre el ambiente.

1.9 Aplicaciones de la tecnología láser en el sector cerámico.

La incorporación de tecnologías nuevas y eficientes como el es el caso del láser a los proceso industriales en el sector cerámico adquiere cada vez más interés en casos como: Impresión de patrones gráficos, [52]. El interés por optimizar las condiciones de sinterización en el sector cerámico en condiciones de temperatura cada vez más óptimas y de calidad ha llevado a crear un gran interés por el desarrollo de investigaciones donde se incorpora el sistema laser en el campo de la cocción cerámica [53]. El uso de nuevas tecnologías como es el caso del uso del láser en la industria de cerámica estructural como estrategia para disminuir las temperaturas de cocción y por lo tanto las emisiones de CO₂; así lo presentan el proyecto Laserfiring (Adaptación del cambio climático de la industria cerámica estructural por disminución de las temperaturas de cocción por tratamientos láser). Este tipo de experiencia se ha trasladado al sector de la producción baldosas creando una posibilidad de desarrollo en procesos de monococción y análisis de la incidencia en la cocción superficial de la cerámica como potencial de uso industrial [54], [55].

El potencial uso del láser en la etapa de cocción del proceso industrial de baldosas radica en el reducir las temperaturas de cocción entre 100 y 500°.

El uso de la tecnología láser en la sinterización de alúmina exige de un control rigurosos de los parámetros durante el proceso con el fin de asegurar la sinterización del producto final. Por lo que la supervisión del proceso en tiempo real de los perfiles de temperatura, perfiles de espectrómetro de tiempo real y pirómetro se utilizan para monitorear la estabilidad térmica durante la sinterización láser. Obteniendo resultados a través de la captura de imágenes lumínicas que registran la fusión a alta temperatura y el área circundante al mismo tiempo logrando identificar defectos en el proceso de sinterización vía láser.[56],[57].

Impactos de innovación y desarrollo se logran con el uso del láser como lo demuestran los estudios relacionados con la producción de cerámica transparente, partiendo de composiciones cerámicas que al ser modificadas le dan mayores y mejores propiedades a través de la aplicación de tecnología láser. [31], [58].

Avances notables en estado sólido de acción láser utilizando materiales cerámicos

1.10 Compendio de estudios cerámicos para el sector industrial

En la tabla 15 se hace un compendio de información relacionada con los estudios alrededor de la caracterización de materias primas para

producción cerámica ha sido desarrollada en diversos continentes demostrando un gran potencial y necesidad de desarrollo.

Tabla 16. Compendio revisión bibliográfica del tema

INVESTIGACIÓN	REFERENCIA
<p>La investigación alrededor de la evaluación de arcillas para materiales cerámicos se ha hecho tanto en Europa como en América, desde hace más de 20 años, validando las técnicas de caracterización y demostrando que estos estudios son importantes como herramienta para valorar el uso de minerales arcillosos y darles un valor agregado al ser utilizados como materia prima para la elaboración de revestimiento y pavimentos cerámico entre otros.</p> <p>El estudio de estos minerales permite establecer características y propiedades potenciales, que amplían la visión de producción industrial tanto de las regiones como de los países que encuentran una nueva forma de uso para estos recursos, algunos de ellos se fundamentan en experiencias anteriores de la misma zona o se equiparan con países como España e Italia que han logrado niveles muy altos en el ámbito de la cerámica industrial, como en el desarrollo de nuevas tecnologías de aplicación para éste sector y sobre todo en la innovación del uso de minerales arcillosos.</p> <p>Las investigaciones retoman las técnicas e instrumentos de caracterización haciéndolos cada vez más elementos de referencia y de comparación lo que conlleva a validar los diseños experimentales para la caracterización y la elaboración de pastas cerámicas.</p>	<p>[1], [59], [8], [60],[61],[62],[63]</p>
<p>Los materiales arcillosos han estado desde el origen de la humanidad y con uso en múltiples campos y eso con el tiempo se potencializa, permitiendo una continua actividad de</p>	<p>[64], [65], [66], [55], [29],</p>

investigación, desarrollo e innovación para este campo en la ciencia de los materiales; no solo para el conocimiento de las materias primas arcillosas sino para el reconocimiento de su amplio campo de aplicación. Exigiendo que cada día rompa más esquemas y campos de incorporación de éstos a la industria y la economía, exigiendo cada vez más el interés y necesidad de incorporar a los procesos la más alta tecnología obtenida de la investigación cerámica y la ciencia de los materiales a fin de obtener productos y procesos altamente competitivos, entre otros.

El mundo de los minerales arcillosos, es cada día más importante y reconocido por la comunidad científica como elemento de transformación de varios campos de acción debido a la diversidad de aplicación y sobre todo de transformación que puede asumir el mismo para satisfacer necesidades en diversos campos de acción, entre los que podemos nombrar; industrial, salud e infraestructura. Por todo lo anterior es demostrable que el futuro de los materiales cerámicos es cada vez más prometedor y sobre todo si se fundamenta en la investigación e innovación de los mismos.

Los mercados mundiales ven un potencial en el uso de pavimentos y recubrimientos cerámicos tipo porcelánico lo que ha llevado al desarrollo de investigaciones centradas en la producción y mejoramiento de materias primas, procesos y modificación de las propiedades cerámicas para conseguir porcelánico cada vez más competitivo. [67], [68], [38],

Las exigencias de los porcelánico no son fáciles de conseguir por lo que partir del conocimiento de las propiedades mismas del materias primas constituye una necesidad que le ofrece conocimiento y por lo tanto versatilidad para hacer combinaciones de las mismas cada vez más certeras para garantizar las propiedades requeridas, la industria cerámica y en especial la línea de porcelánico es cada vez más exigente en

certificar y normativizar las características de los productos que para el caso del porcelánico es cada vez más estricta.

Por lo tanto las investigaciones en este nivel se hacen significativas e interesantes para poder desarrollar productos con estas características en el sector como resultado de procesos investigación.

Las tendencias en cuidado y protección ambiental exigen del desarrollo de procesos sostenibles y con un bajo impacto ambiental por lo que recientes estudios muestran las tendencias de la industria cerámica alrededor del cuidado ambiental y el cumplimiento de las normas internacionales, las investigaciones de última generación están enmarcadas en el estudio del proceso industrial, la optimización del uso de los recursos, la disminución del consumo energético y del agua, al igual que la incorporación de residuos industriales en las materias primas para la producción cerámica.

Con resultados que muestran una alta versatilidad tanto para el proceso como para los materiales, al igual que para la combinación de los mismos logrando obtener productos con procesos que garantizan un bajo impacto ambiental y además productos que contribuyen al cuidado del ambiente y a los procesos de depuración, todo esto muestra que la necesidad de continuar ésta línea de trabajo investigativo es un potencial muy importante para el estudio y desarrollo de los materiales cerámicos.

[9],[45],[70],[71],[69],[8],[72],[51],[73]

2. OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Valorar el potencial de uso industrial de las arcillas del Departamento de Boyacá (Colombia) como materia prima en la producción de revestimientos y pavimentos cerámicos competitivos.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Determinar características fisicoquímicas de minerales arcillosos utilizando técnicas del estado sólido para evaluar su comportamiento como materias primas para la producción de baldosas cerámicas.
2. Establecer formulaciones de pastas cerámicas que en función de las propiedades fisicoquímicas determinadas vincule los minerales arcillosos a la producción de porosa blanca, porosa roja, gres rojo y gres porcelánico con potenciales usos en revestimientos y pavimentos cerámicos.

3. Establecer puntos de comparación entre las características técnicas de pastas para producción española y las de origen Colombiano caracterizadas en la presente investigación.

4. Establecer el potencial de uso de minerales arcillosos de origen colombiano frente a la incorporación materiales reciclables (vidrio, cenizas) para favorecer los procesos de producción de baldosas y revestimientos cerámicos.

5. Valorar el potencial de uso industrial de las arcillas de Boyacá (Colombia) como materia prima en la producción de revestimientos y pavimentos cerámicos competitivos.

6. Proponer estrategias de producción sostenible para el medio ambiente de productos a partir de las arcillas Colombianas identificadas.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.

La Figura 11, se observa el esquema general del proceso de caracterización que se ha realizado durante la investigación para caracterizar y luego evaluar el potencial de aplicación de las arcillas colombianas. Partiendo de procesos de caracterización inherentes al sector cerámico y continuando con la identificación de formulaciones que evalúan el potencial para productos de revestimiento y pavimentos cerámicos.

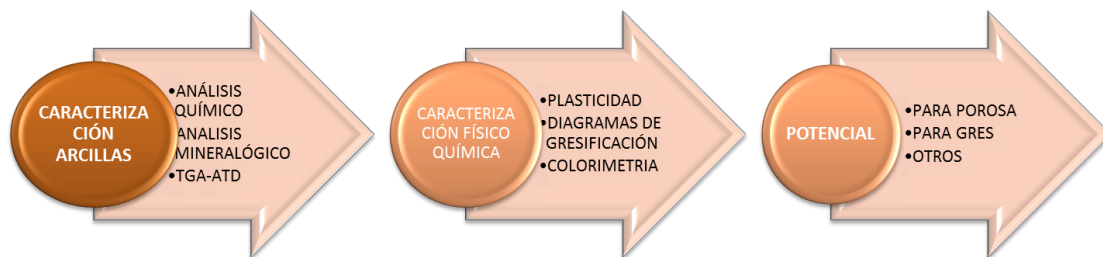


Figura 11. Proceso experimental para la caracterización de arcillas.

3.1 ACOPIO DE MUESTRAS:

El acopio de muestras se ha desarrollado a partir de una revisión relacionada con la formación geológica de la región de Boyacá, centrado en la cuenca del río Chicamocha en la cual se reporta un predominio del afloramiento de rocas sedimentarias y plegadas del periodo cretácico con algunos afloramientos de rocas ígneas volcánicas y rocas jurásicas, al norte, en el anticlinal de la formación Arcabuco. En esta formación se destacan cinco segmentos, que van desde areniscas estrato cruzadas de granonmedio y conglomeráticas hasta lodolitas arenosas pseudo artesas. La sedimentación de las areniscas actuales de la formación de Arcabuco empezó con un dominio continental en el Jurásico medio superior y finalizó en el cierre de este dominio con una influencia marina en el cretáceo inferior [74].

También se destaca la presencia de lutitas y otras rocas como las calizas que se distribuyen en pequeños afloramientos a lo largo de la región de la cuenca. En general estas formaciones están constituidas por lutitas y areniscas, al igual que por rocas compactas de caliza que son, predominantes en las poblaciones de Sáchica, Sutamarchán, Monquirá, Paipa, Duitama y Sogamoso; mientras que, las rocas procedentes del periodo terciario superior, constituidas por arcillas amarillas, grises, verdosas, mineral de hierro y yeso, están ubicadas en Sogamoso y Paz

del Río. Teniendo en cuenta estas formaciones, para efectos de la presente investigación, los minerales arcillosos se han recogido de las regiones de Sogamoso, Ráquira y Cómbita Figura 1, que por demás tienen tradición alfarera desde épocas precolombinas.

En las regiones seleccionadas se tomaron muestras correspondientes a 3 localidades del sector de Sogamoso, 4 de Ráquira y 5 de Cómbita sometidas a análisis en los Laboratorios del Servicio Central de Instrumentación Científica de la Universitat Jaume I de Castelló (España), en estrecha colaboración con la empresa Tierra Atomizada, S. A. y la Escuela Superior Cerámica éstas dos últimas de L'Alcora (España). A cada una de las arcillas se le han realizado los siguientes análisis instrumentales: caracterización mineralógica mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX) con un difractómetro Bruker AXS, modelo D4 Endeavor; caracterización química mediante fluorescencia de rayos X (FRX), con un espectrómetro secuencial S4 Pioneer, Bruker; también se ha realizado el análisis térmico simultáneo (ATD/TG), en un equipo termoanalizador modelo STA 503, Marc-BAHR.

3.2 **CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA:**

Análisis mineralógico:

Se utiliza la difracción de rayos X con el método de polvos. Basada en el fenómeno de difracción que tiene lugar al hacer incidir un haz de rayos X generado en un tubo Coolidge, sobre una muestra cristalina [75]. La importancia de los rayos X está en que las longitudes de onda de estas radiaciones tienen el mismo orden de magnitud que las dimensiones interatómicas en los cristales, de modo que puede aportar información relevante de la ordenación periódica de los átomos, existente en el sólido cristalino. Las aplicaciones son muy variadas, las más importantes para la aplicación cerámica son:

Identificación de fases cristalinas. Parte de la interpretación de las diferentes reflexiones halladas y de las intensidades de éstas. El difractograma de una fase cristalina concreta constituye una "huella dactilar" identificativa y característica de ésta[75].

Cuantificación de fases cristalinas. La intensidad de las reflexiones de una determinada fase cristalina depende de la concentración de ésta. Aunque muchos factores inciden sobre el valor de intensidad.

Asignación de los índices de Miller y obtención de los parámetros reticulares. Las posiciones angulares en las que se registran las reflexiones están relacionadas con la estructura y la simetría de la

red cristalina. La información cristalográfica está implícita en las reflexiones.

Estudios de disoluciones sólidas. Todas aquellas transformaciones que conlleven modificación en la estructura cristalina puede estudiarse mediante las reflexiones. En un sentido estricto estos estudios son un caso concreto de la obtención de parámetros cristalográficos.

Tamaño de cristalitas entidades mínimas de difracción. La anchura de las reflexiones puede aportar información acerca de éstos.

Estudios de transformaciones cristalinas. Como por ejemplo, por efecto de la temperatura o atmósfera.

Análisis microestructural y microanalítico: Se aplica para productos acabados, intermedio o materia prima, permite un conocimiento de su estructura a niveles microscópicos (dimensiones nanométricas) y de su composición. La herramienta instrumental para llevar a cabo un estudio de este tipo es, sin duda el microscopio electrónico de barrido con microanálisis.

Microscopía electrónica de barrido y microanálisis. La gran resolución y profundidad de campo obtenida mediante este tipo de microscopía y elevado número de aumentos han hecho de ésta técnica una herramienta importantísima en el campo de la metalurgia y de los

materiales cerámicos. Estudio de la topografía de muestras, es decir, de su morfología, fractografía, estudio de aleaciones. Formación de distintas fases en estudios composicionales por electrones retrodispersados y microanálisis de rayos X. Estudio de materiales cerámicos, microestructuras a niveles nanométricos, identificación composicional y microanálisis, estudio de defectos y síntesis de nuevos materiales. Los estudios de cuantificación y análisis de imagen se logran a través de softwares específicos.

3.3 ANÁLISIS TÉRMICO:

El análisis térmico diferencial (ATD) es una técnica en la que se mide la diferencia de temperaturas entre una muestra determinada y un patrón de referencia al aplicarles un programa de calentamiento, a una velocidad de calentamiento determinada ($^{\circ}\text{K min}^{-1}$) y a una atmósfera controlada. Al calentar la muestra objeto de estudio, esta sufre una serie de procesos físicos y químicos, si durante estos procesos se emite o absorbe energía en forma de calor por tratarse de procesos exotérmicos o endotérmicos, se produce una variación de la temperatura de la muestra respecto a la temperatura del patrón, que es una sustancia inerte a las temperaturas de trabajo, generalmente se utiliza alúmina con este fin. Los procesos exotérmicos más habituales son: formación de cristales, oxidación de aire u oxígeno y la polimerización, mientras que los endotérmicos corresponden a:

Deshidratación, reducción en atmósfera inerte, descomposición y los procesos físicos de fusión, vaporización, sublimación, absorción y desorción. Generalmente la curva de ATD de un compuesto es la huella dactilar de este, aunque la anchura de los picos depende de muchos factores experimentales, como el tamaño de la partícula de la muestra y la velocidad de calentamiento. El análisis termogravimétrico (TG), estudia la variación de la masa que sufre un compuesto al aplicarle un ciclo de calentamiento a una atmósfera determinada. En el experimento se registra la masa o el porcentaje de masa del compuesto en función de la temperatura aplicada al horno en el que se encuentra la muestra, se complementa con la primera derivada de la curva para representar como máximos aquellas posiciones correspondientes a los puntos de inflexión de cada escalón de caída de masa [75]. Las principales aplicaciones de ésta técnica en el sector cerámico están en la caracterización de materias primas: arcillas, carbonatos, feldespatos, caolínes y cuarzos. Y al estudio del comportamiento térmico de fritas y esmaltes. Imitando el ciclo industrial es posible obtener información de que fases van a formarse durante el proceso. Los estudios cinéticos son aplicados fundamentalmente a pigmentos cerámicos.

3.4 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA:

Con el fin de determinar las propiedades tecnológicas de las arcillas y de igual manera el de las formulaciones, se hace necesario someterlas a

procesos de caracterización técnica dentro de protocolos como el que se esquematiza en Figura 12, con lo cual se garantiza que las muestras son sometidas a procesos unificados, y así será posible replicar los tratamientos en función de los procesos industriales.

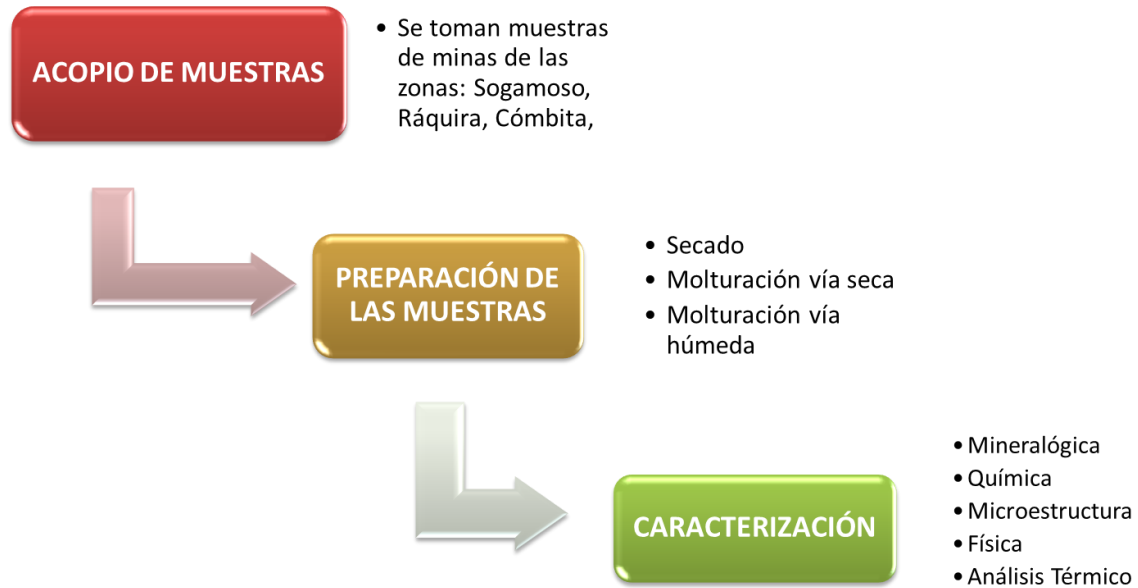


Figura 12. Diagrama de flujo tratamiento proceso preparación muestras

Las arcillas y formulaciones deben ser sometidas a una preparación descrita en el diagrama expuesto en la Figura 13 donde se obtiene la barbotina que se somete a secado por atomizado convirtiéndola en aglomerados de partículas esféricas con la humedad específica para obtener un prensado óptimo para el proceso.

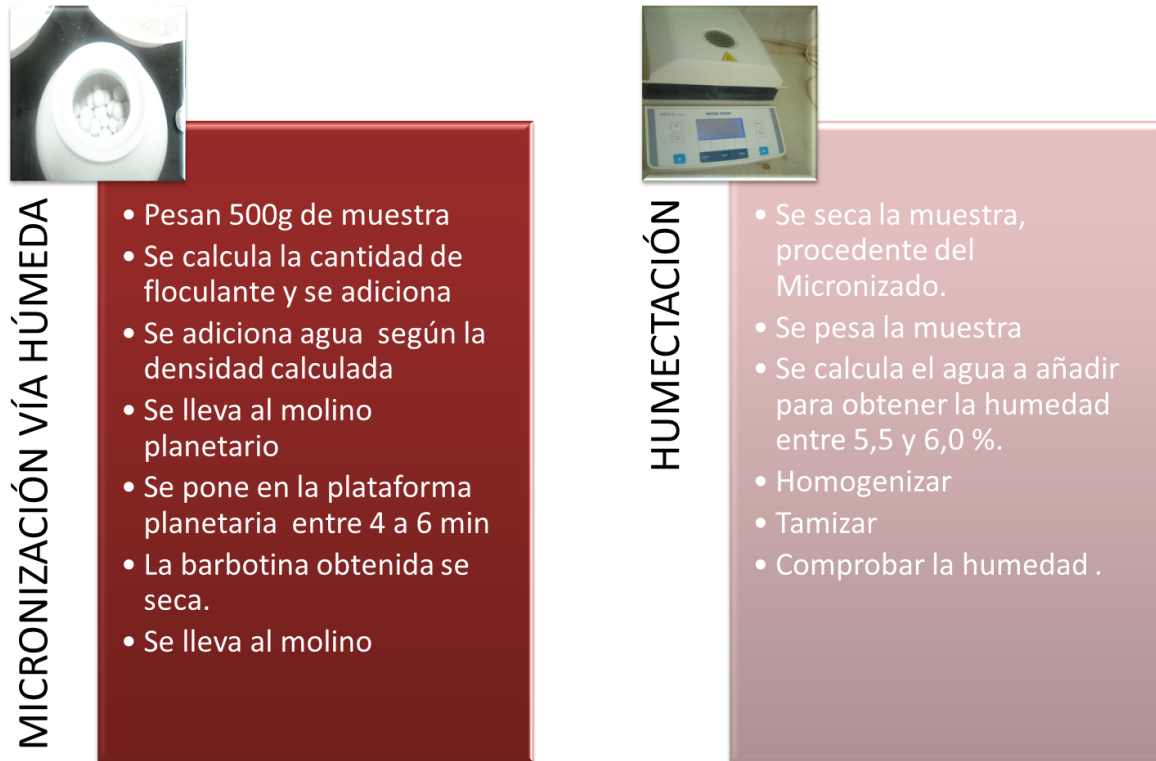


Figura 13. Preparación de las muestras

La caracterización técnica se lleva a cabo a través de técnicas estandarizadas y protocolos que se describen en la Figura 15. a la Figura 17 para determinar, elementos técnicos que definen las propiedades tanto de la materia prima como de la pasta para la elaboración de soportes cerámicos, que una vez determinados se convierten en criterios para aprobar o no su uso en la elaboración de pavimentos o revestimientos.



Figura 14. Descripción proceso de caracterización técnica (calcimetría, plasticidad, residuos)

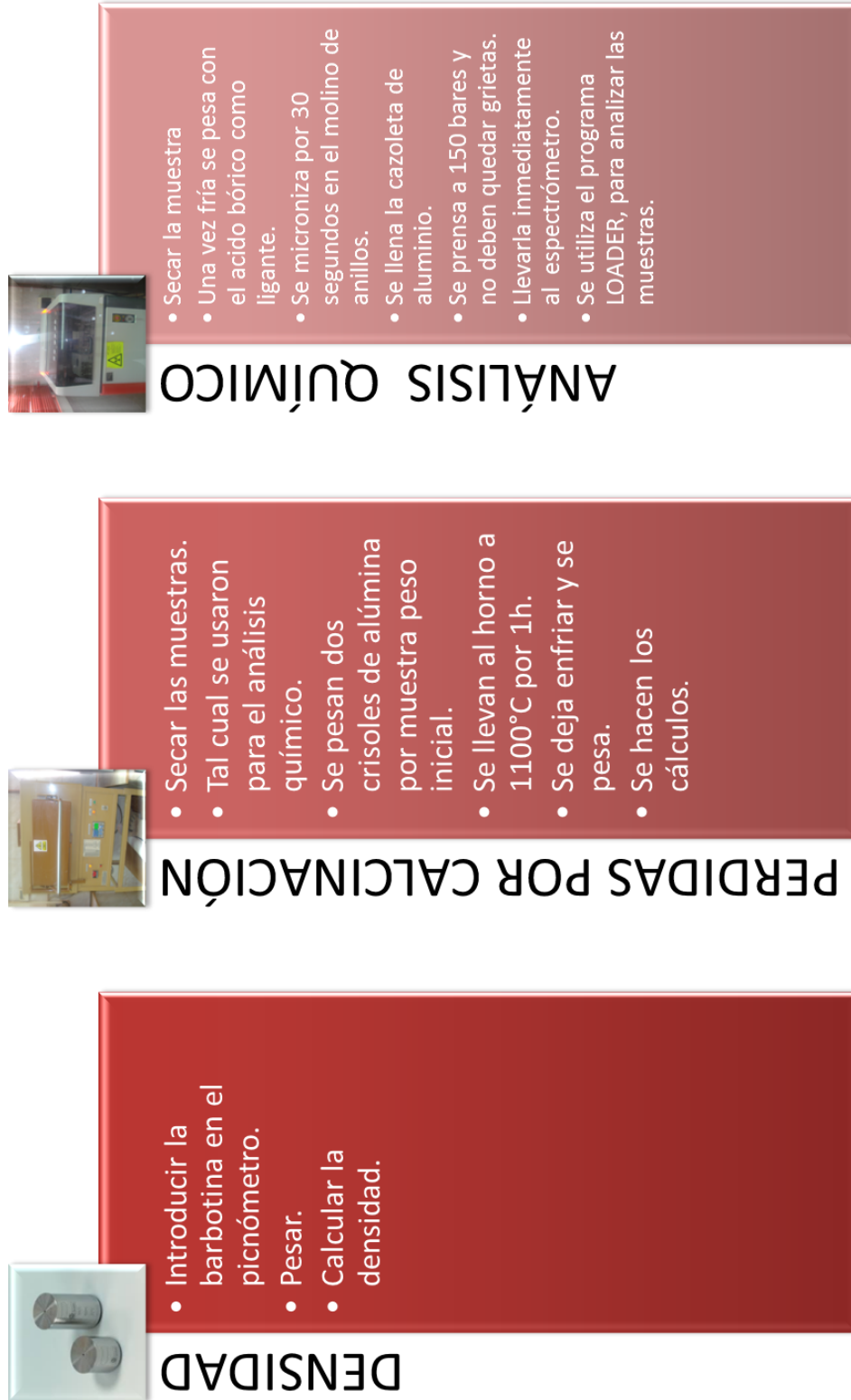


Figura 15. Descripción proceso caracterización técnica (Densidad, pérdidas, análisis químico)

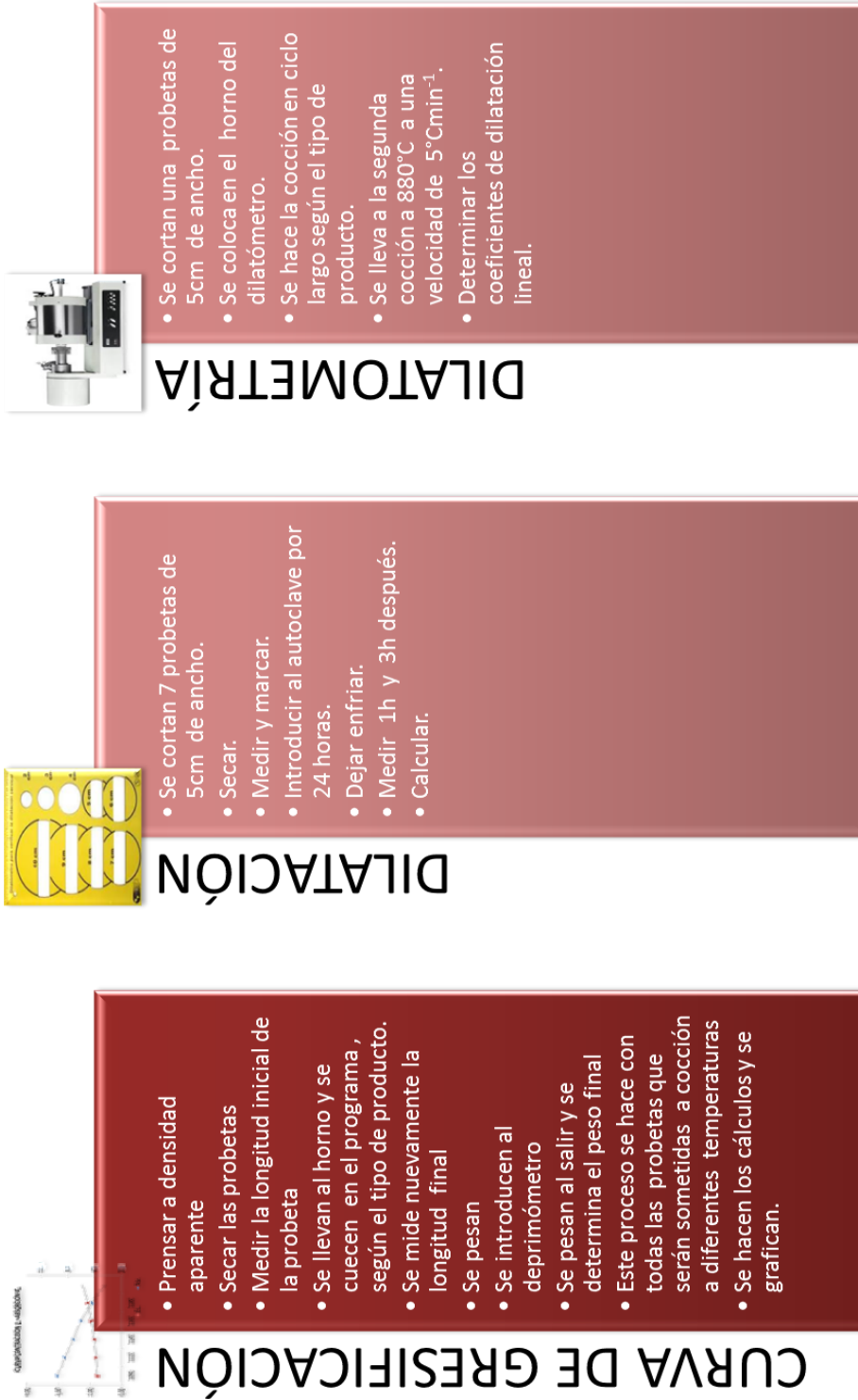
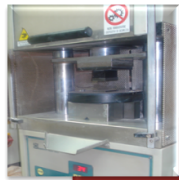


Figura 16. Descripción proceso de caracterización técnica (Curvas gresificación, dilatometría)



EXPANSIÓN POS-PRENSADO

- Se calcula el volumen de la probeta a una humedad específica
- Se pesan y se calcula . La densidad aparente
- Según el tipo de pasta se establece entre el $2,14\text{g.cm}^3$ y el $2,17\text{g.cm}^3$.



RESISTENCIA MECÁNICA

- Se obtienen probetas rectangulares y se secan.
- Densidad aparente conocida
- Medir el ancho
- Medir el grosor.
- Alimentar el equipo con los datos de: Largo, ancho y grueso.
- Poner a funcionar el fluxómetro.
- Se toman los datos del equipo de longitud máxima y flexometría.

Figura 17 . Descripción proceso de caracterización técnica (expansión, resistencia mecánica)

Análisis Químico:

Su función es determinar y controlar la composición química tanto de las materias primas como la de los productos acabados y semiacabados siendo un elemento importante para valorar, su calidad, comportamiento y competitividad; la técnica más empleada es la espectrofotometría de absorción atómica (ABSORCIÓN DE AGUA.). Consiste en suministrar una determinada cantidad de energía a un átomo; este la absorbe y pasa de su

estado energético fundamental (E_0) a uno excitado (E_1); cuando el átomo recupera su estado energético fundamental emite una cantidad de energía radiante igual a la absorbida y de valor igual a la diferencia de energía entre los dos niveles implicados por lo tanto característica del átomo emisor, así, la longitud de onda de la emisión de un elemento, representa una huella característica de este pero además de la especie atómica, la intensidad de la emisión es función de la concentración del elemento a estudiar pudiendo así cuantificarse.

Otra es la espectrometría de fluorescencia de rayos X; el espectro que se obtiene consta de dos componentes, el espectro característico y el espectro continuo. El primero procedente de las emisiones de rayos X generado por el material que forma el ánodo de ahí que sea característico y el espectro continuo se origina por efecto de la interacción electrostática del electrón con el núcleo atómico, debido a que el núcleo del electrón experimenta una deflexión no cuantizada, perdiendo parte de la energía como energía radiante, dando lugar al espectro continuo.

Análisis dilatométrico:

Estudia la dilatación-contracción que un material sufre al someterlo a un ciclo térmico. Que para el caso de la

dilatación corresponde a la variación de dimensiones ocasionada por la vibración térmica molecular del material; mediante ésta técnica se puede determinar el coeficiente de dilatación lineal que consiste en el alargamiento que experimenta por unidad de longitud del material al elevarse la temperatura un grado o cúbico representa aumento de volumen que experimenta un cubo de arista unitaria al aumentar la temperatura en un grado. Se aplica para el estudio generalmente de esmaltes, fritas y materias primas, fundamentalmente con el fin de conocer su comportamiento dilatométrico en cuanto a la adaptación esmalte-soporte, evitando posteriores problemas de compatibilidad en el producto acabado.

Microscopía de calefacción:

Estudia la variedad dimensional y de viscosidad de una muestra al aplicarle un ciclo térmico. Para tal efecto se prepara una probeta compacta en forma de cilindro de unos milímetros de radio y de altura. Este cilindro se deposita sobre un porta muestra de alúmina y se introduce en el interior del horno del microscopio de calefacción, y allí a través de una cámara de video se registran todos los cambios que sufre la probeta sometida a un programa de

temperatura preestablecido con lo cual se establecen las temperaturas de contracción, reblandecimiento, fusión, fusión avanzada ó semiesfera.

Técnica de medida de tamaño de partícula:

Las partículas sólidas constituyentes de las materias primas cerámicas poseen una gran variedad de formas y tamaños y se pueden presentar en distintos estados de agregación. Los tamaños varían entre micras y centímetros, descritos en la Tabla 17 éstas influyen en propiedades cerámicas como la porosidad, tamaño de poro, resistencia mecánica o textura; así como también regulan el comportamiento de la pasta durante el proceso de fabricación.

Tabla 17. Tamaño de partícula

SÍMBOLO	NOMBRE	DEFINICIÓN
D_v	Diámetro volumétrico	Diámetro de una esfera del mismo volumen que la partícula.
D_s	Diámetro superficial	Diámetro de una esfera de la misma área superficial que la partícula.
D_t	Diámetro de tamiz	Tamaño equivalente de la menor abertura cuadrada o redonda a través de la cual pasaría una partícula.
D_{st}	Diámetro de Stokes	Diámetro de una esfera que presentaría la misma velocidad de sedimentación que la partícula.
D_s	Diámetro área proyectada	Diámetro de un círculo que tuviera la misma área que la proyección de la partícula.

Es necesario destacar que en los sistemas reales las partículas raramente son esféricas y que en algunos casos pueden llegar a presentar gran irregularidad. Una muestra en polvo está formada por numerosas partículas individuales que tienen una distribución continua de tamaños de forma. Estas distribuciones pueden ser acumuladas o de frecuencia: en las primeras se expresa el porcentaje total de partículas de tamaño superior o inferior a un diámetro equivalente determinado y en la de frecuencia, se presenta el porcentaje de partículas presentes en un cierto intervalo de tamaños. Las características de las partículas que se determinan y relacionan con su tamaño son la velocidad de sedimentación, las propiedades dieléctricas, la dispersión de un haz de luz monocromático (efecto Tyndall), la permeabilidad al aire de un lecho de partículas, la superficie específica y las medidas directas de las dimensiones de las mismas. La distribución del tamaño de partícula influye sobre el comportamiento de las pastas cerámicas en las etapas de moldeo, secado y cocción e incluso sobre las propiedades del producto final, resaltando que no es la única condición ya que el tipo de material arcilloso que la compone incide directamente. Se ha logrado estandarizar el tamaño de poro entre 0,1 y 0,005mm con el fin de garantizar las propiedades de superficie específica, difusividad, velocidad de coagulación y solubilidad; por debajo de éstos valores ocurrirá un incremento en la velocidad de las mismas.

Ensayos de dureza:

Se considera como la medida de la resistencia del material a la deformación plástica localizada, para lo que se han desarrollado técnicas de medida cuantitativa de la dureza, la mayoría de ellas basadas en un pequeño indentador que es forzado sobre una superficie del material a ensayar en condiciones controladas de carga y velocidad de aplicación de ésta carga. En estos ensayos se mide la profundidad o el tamaño de la huella resultante, que se relaciona con el número de dureza; cuanto más blando es el material, mayor y más profunda es la huella y menor el número de dureza.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS

Las Figura 18 a Figura 20 muestran las minas de las cuales se acopiaron las muestras de minerales arcillosos. De acuerdo con los estudios previos hechos por estas zonas y reportados en sus planes de ordenamiento territorial, las regiones se caracterizan por un predominio de afloramientos de rocas sedimentarias y plegadas del periodo cretácico integradas por lutitas y areniscas, al igual que rocas compactas como las calizas, otras rocas procedentes del periodo terciario superior, están constituidas por arcillas amarillas, grises, verdosas, mineral de hierro y yeso.



Figura 18. Afloramiento de arcillas de Cómbita.



Figura 19. Yacimientos de arcillas de Cómbita.



Figura 20. Depósitos arcillosos en Sogamoso.

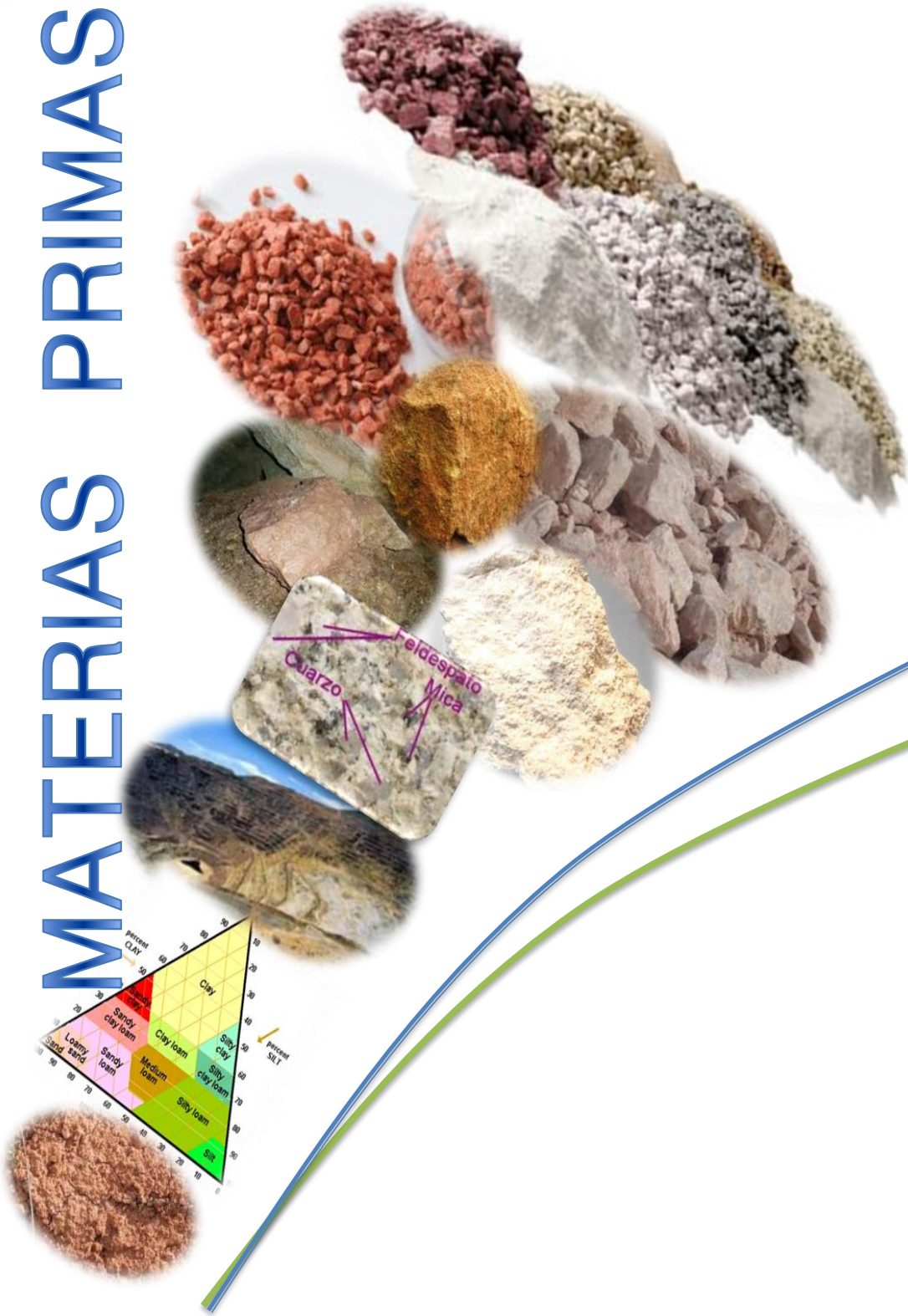
En la Figura 21 se ilustra, el manejo actual artesanal, de las arcillas en algunos yacimientos de Boyacá y que refleja la realidad de los alfareros

y chircaleros, donde el uso de nuevas tecnologías se reduce a cero y predomina un proceso tradicional que genera impactos sociales y ambientales poco favorecedores mostrando la necesidad de hacer este tipo de estudios, con el fin de potenciar el valor agregado en el beneficio de los minerales arcillosos. Y de igual manera buscar nuevas tecnologías, viables en la región para disminuir los impactos negativos ambientales y sociales. A través del buen uso energético y adoptar buenas prácticas en la utilización de las fuentes hídricas.



Figura 21. Proceso de producción actual.

MATERIAS PRIMAS



4.2 MATERIAS PRIMAS LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN.

En la Tabla 18 se nombran las arcillas y se describe su ubicación geográfica en la región de Boyacá.

Tabla 18. Ubicación arcillas

No.	DENOMINACIÓN	No	DENOMINACIÓN	UBICACIÓN
1	SOGAMOSO 1 N:11-20-334 E:11-39-365 A: 1859 MSNM	7	CÓMBITA 4	N:11-160-961 E:810-85-835 A: 1961 MSNM
2	SOGAMOSO 2 N:11-25-434 E:11-29-285 A: 2659 MSNM	8	CÓMBITA 5	N:11-160-807 E:10-87-047 A: 2579 MSNM
3	SOGAMOSO 3 N:11-15-234 E:11-18-325 A: 2239 MSNM	9	RÁQUIRA 1	N:11-01-001 E:10-46-947 A: 2525 MSNM
4	CÓMBITA 1 N:011-16-961 E:0810-85-835 A:1961MSNM	10	RÁQUIRA 2	N:11-01-320 E:10-45-488 A: 2670 MSNM
5	CÓMBITA2 N:011-16-807 E:810-85-835 A:2579 MSNM	11	RÁQUIRA 3	N:11-01-650 E:10-45-265 A: 2684 MSNM
6	CÓMBITA 3 N:011-14-732 E:0810-80-634 A:2579 MSNM	12	RÁQUIRA 4	N:11-01-534 E:10-39-365 A: 2449 MSNM

Teniendo en cuenta los resultados mineralógicos y la composición química, de las arcillas se determina descartar cuatro muestras, por presentar características muy similares, por lo tanto estas no se incluyen en los procesos siguientes de caracterización.

Las arcillas seleccionadas para el estudio se presentan y nombran en la Tabla 19, resaltando su característica general como elemento determinante para el estudio siguiente de formulación.

Tabla 19. Arcillas del Departamento de Boyacá (Colombia) seleccionadas por sus propiedades cerámicas.

N°	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS GENERALES	N°	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS GENERALES
1	SOGAMOSO 2	CAOLÍNÍTICA	5	CÓMBITA 5	CAOLÍNÍTICA
2	SOGAMOSO 3	REFRACTARIA	6	RÁQUIRA 2	CAOLÍNÍTICA
3	CÓMBITA 3	DESENGRASANTE	7	RÁQUIRA 3	DESENGRASANTE
4	CÓMBITA 4	CAOLÍNÍTICA	8	RÁQUIRA 4	CAOLÍNÍTICA

En la Figura 22 se ilustra la textura (en seco) de las arcillas sin tratamiento previo de molienda y ni tamizado.



Figura 22. Arcillas originales

4.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

En la Tabla 20 se presentan los resultados del análisis químico realizado por fluorescencia de rayos X y se muestra la composición característica de las arcillas utilizadas en esta investigación. Todos los análisis se realizaron sobre muestras molidas, tamizadas, homogenizadas y secadas a 102 °C durante 12 horas.

Tabla 20. Composición química característica de arcillas del Departamento de Boyacá (Colombia). PPC = Pérdidas por calcinación (%).

No	DENOMINACIÓN	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	PPC
1	SOGAMOSO 1	0,64	19,79	56,63	0,31	0,99	1,78	0,21	1,03	0,02	7,62	10,98
2	SOGAMOSO 2	0,42	18,76	65,95	0,12	0,02	0,79	0,16	0,65	0,00	2,45	10,66
3	SOGAMOSO 3	0,17	11,87	80,07	0,04	0,06	0,31	0,10	0,54	0,00	0,87	5,96
4	CÓMBITA 1	0,22	21,81	56,90	0,11	0,13	0,97	0,19	1,09	0,01	4,56	14,02
5	CÓMBITA2	0,21	26,99	59,02	0,09	0,03	1,23	0,04	1,27	0,00	0,83	10,29
6	CÓMBITA 3	0,44	22,09	60,90	0,07	0,07	1,02	0,17	0,95	0,01	4,65	9,63
7	CÓMBITA 4	0,17	15,41	73,84	0,11	0,03	0,60	0,05	1,24	0,00	2,60	5,95
8	CÓMBITA 5	0,32	18,23	69,68	0,11	0,02	0,80	0,11	0,88	0,00	2,86	7,00
9	RÁQUIRA 1	0,16	20,73	63,47	0,13	0,03	0,79	0,10	1,19	0,00	4,56	8,85
10	RÁQUIRA 2	1,16	20,72	55,99	0,12	0,07	1,49	0,81	1,00	0,03	7,53	11,08
11	RÁQUIRA 3	0,37	17,21	67,75	0,14	0,04	1,08	0,13	0,81	0,03	5,67	6,76
12	RÁQUIRA 4	0,34	24,16	57,80	0,16	0,03	0,61	0,15	1,18	0,01	3,99	11,57

En las Figura 23, Figura 24 y Figura 25 se muestran los difractogramas obtenidos y evaluados por el programa "DRX Project X'Pert High Score Plus". La caracterización mineralógica cualitativa permite establecer que todas las arcillas procedentes del Departamento de Boyacá (Colombia), presentan picos de difracción correspondientes al cuarzo y fracciones arcillosas correspondiente a la caolínita, lo que les confiere un importante grado de plasticidad. Así mismo, las arcillas del sector de Ráquira contienen, además, pirofilitas y montmorillonitas, las cuales

potencian su plasticidad y su capacidad de intercambio iónico. Por otro lado, estas últimas arcillas presentan también feldespatos, que favorecen el grado de vitrificación, lo que se puede traducir en disminución de la absorción de agua por parte de las piezas cocidas.

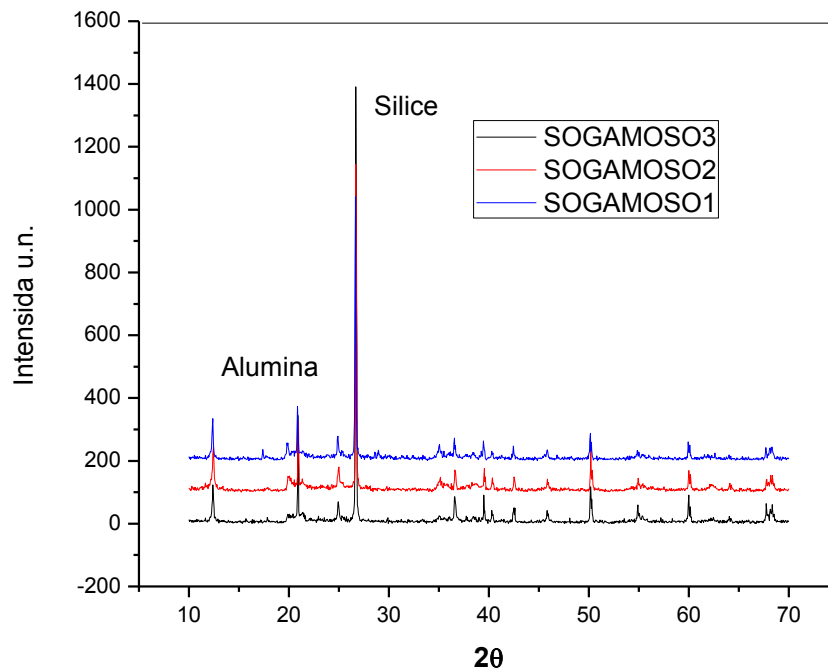


Figura 23. DRX. Arcillas de Sogamoso

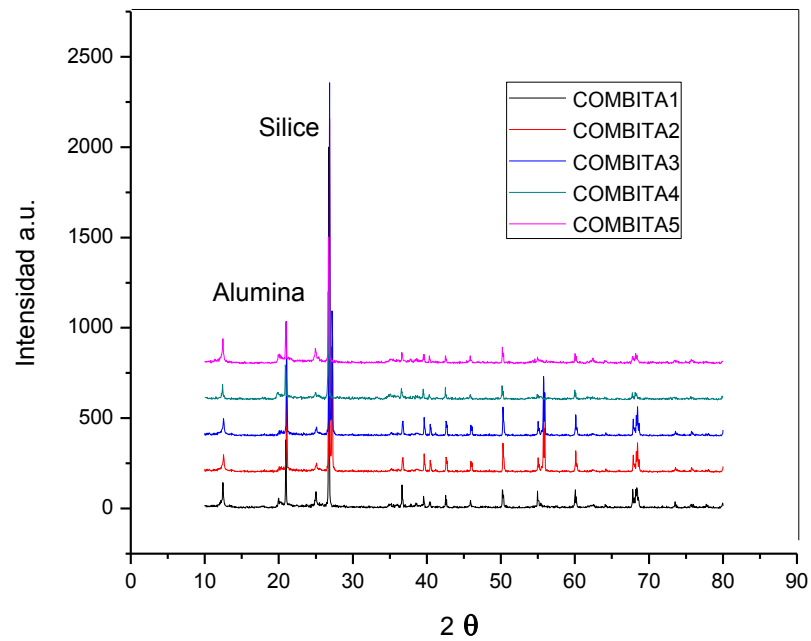


Figura 24. DRX. Arcillas de Cóbbita

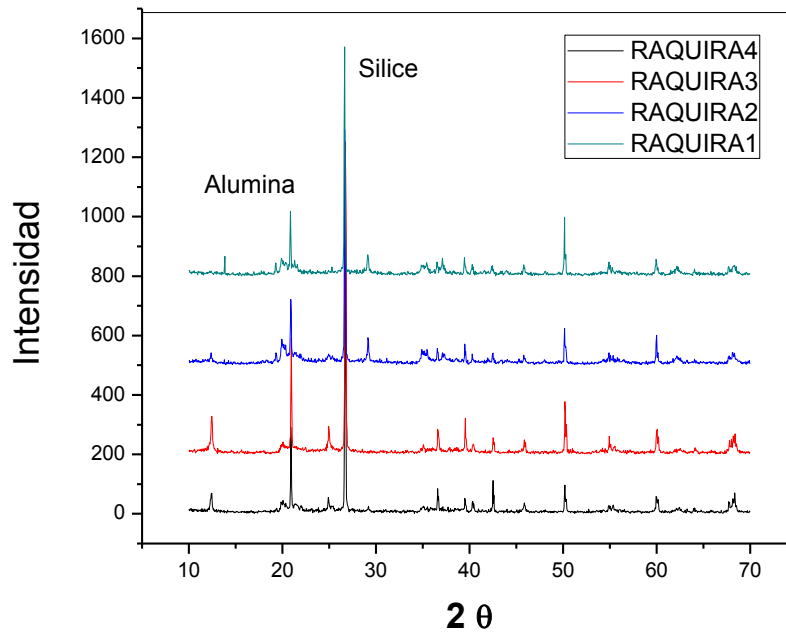


Figura 25. DRX. Arcillas de Ráquira

4.4 ANÁLISIS MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

En la Figura 26, Se representa un diagrama, del sistema $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$, en el que se sitúan las arcillas de Sogamoso, Cómbita y Ráquira.

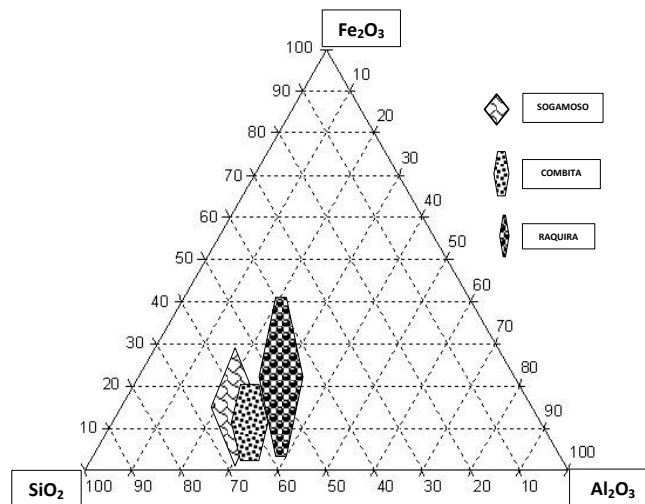


Figura 26. Diagrama ternario $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arcillas Boyacá (Colombia)

4.5 ANÁLISIS TÉRMICO ATD/TG.

En las Figura 27, Figura 28 y Figura 29. Se muestra el comportamiento térmico de las arcillas originarias de Cómbita, coincidiendo para las tres la presencia de un pico endotérmico en el rango de los 580°C y los

600°C, que coincide con una fuerte pérdida de peso alrededor de los 550°C, estabilizándose a los 950°C, comportamiento propio de las caolínitas. El comportamiento que se refleja en la Cómbita 3 obedece a la incidencia del cuarzo, que refleja una inercia térmica del sistema, que genera una máxima intensidad entre los 560 y 580°C.

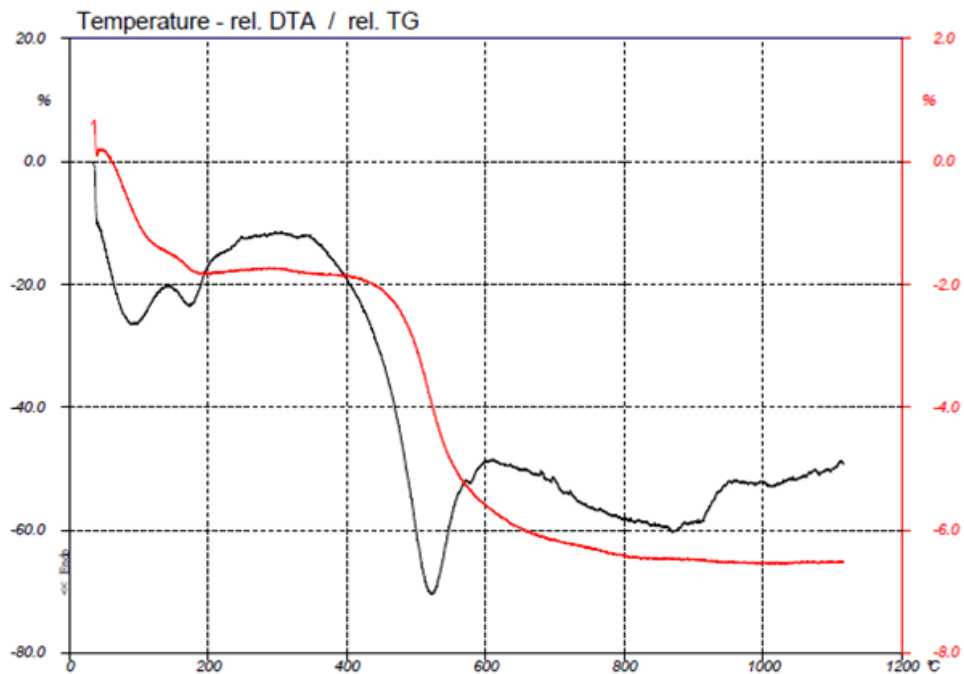


Figura 27. CÓMBITA 4

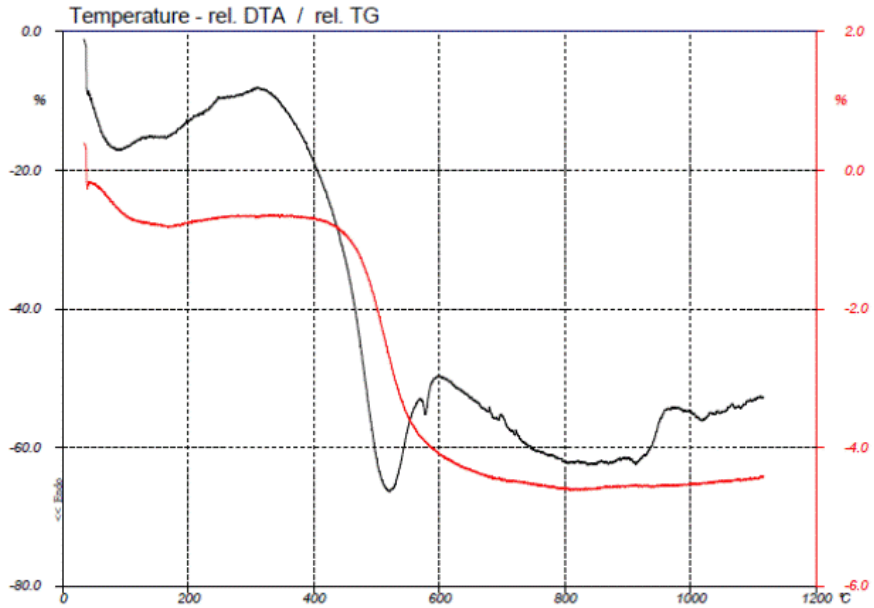


Figura 28. CÓMBITA 3

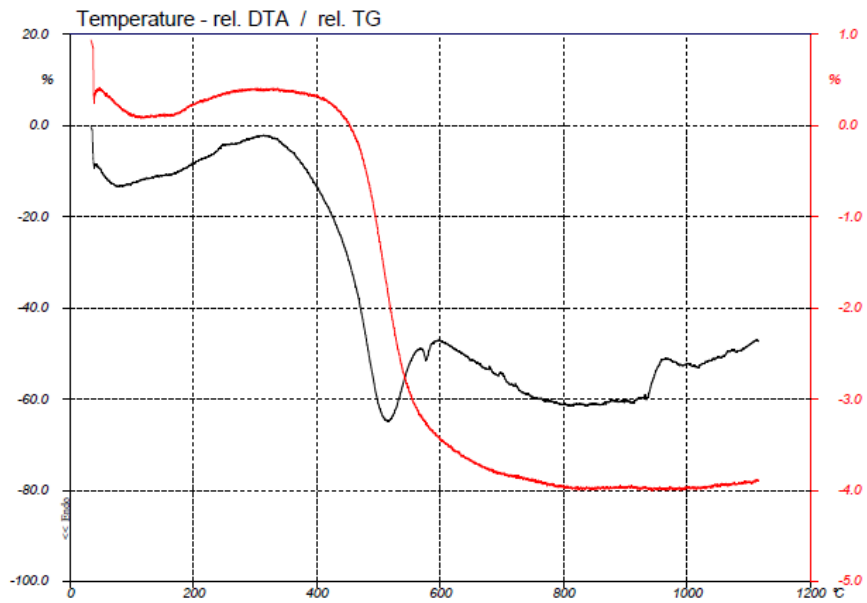


Figura 29. CÓMBITA 5

En las Figura 30 y Figura 31, se presentan los resultados de los análisis termogravimétricos de las arcillas originarias de Sogamoso. Se observa un pico endotérmico entre 580°C y 600°C coincidente con una importante pérdida de peso y que corresponde a la descomposición del agua de constitución de la caolínita. A 950°C, aparece el pico exotérmico que representa a la cristalización de la mullita, lo que confirma la presencia de filosilicatos.

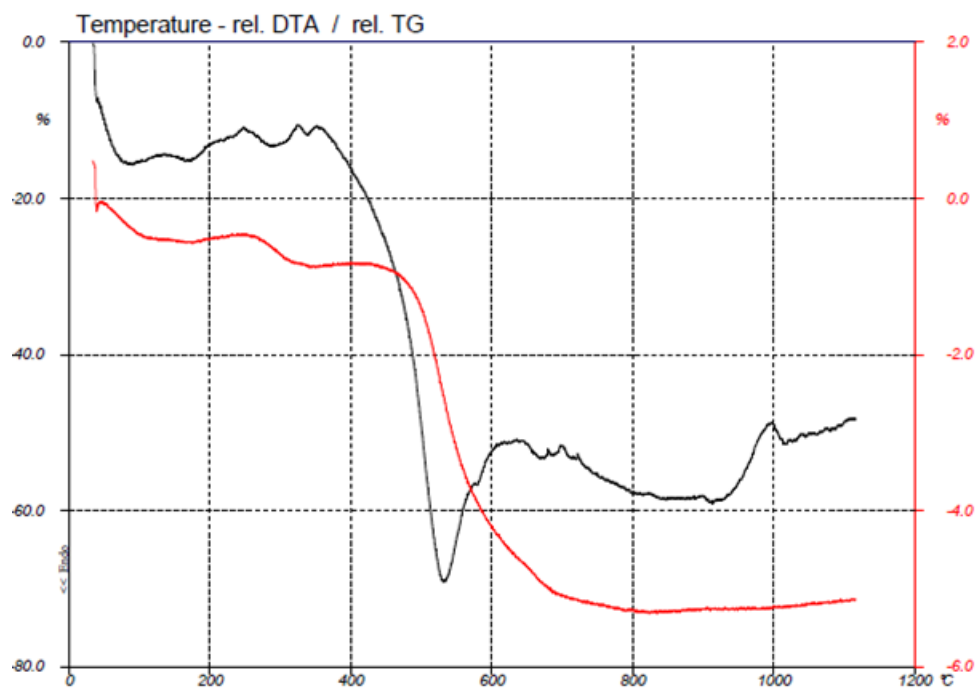


Figura 30. ATD, ATG, ARCILLA SOGAMOSOV3

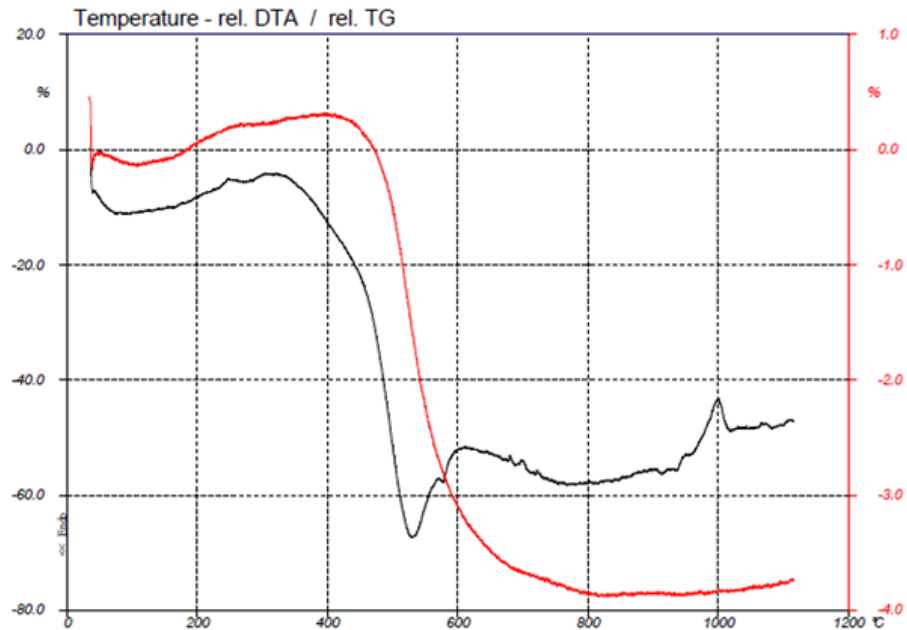


Figura 31. ATD, ATG, ARCILLA SOGAMOSOV2

En las Figura 32, Figura 33 y Figura 34. Se ilustra el comportamiento térmico de las arcillas originarias de Ráquira, la arcilla Ráquira 2, presenta un pico endotérmico en el rango de los 580°C y los 600°C, mientras que para la Ráquira 3 y 4 éstas señales se vuelven menos intensas, hecho que coincide con una fuerte pérdida de peso alrededor de los 550°C, ocasionada por la deshidroxilación de la caolínita, estabilizándose a los 950°C, comportamiento propio de las caolínitas. El comportamiento que se observa en el mineral de Cómbita 3 obedece a la incidencia del cuarzo que refleja una inercia térmica del sistema que genera una máxima intensidad entre los 570°C y 600°C.

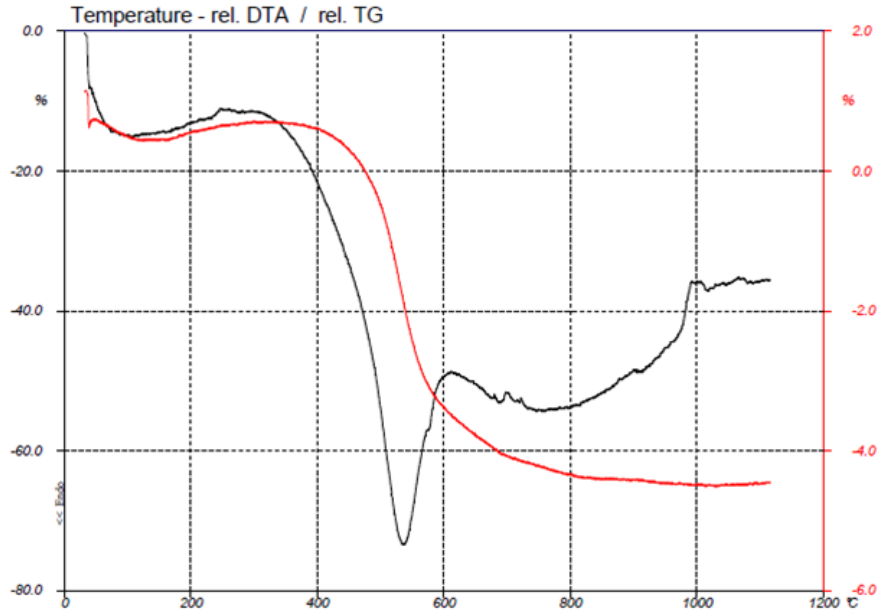


Figura 32. ATD, ATG, ARCILLA RÁQUIRA 2

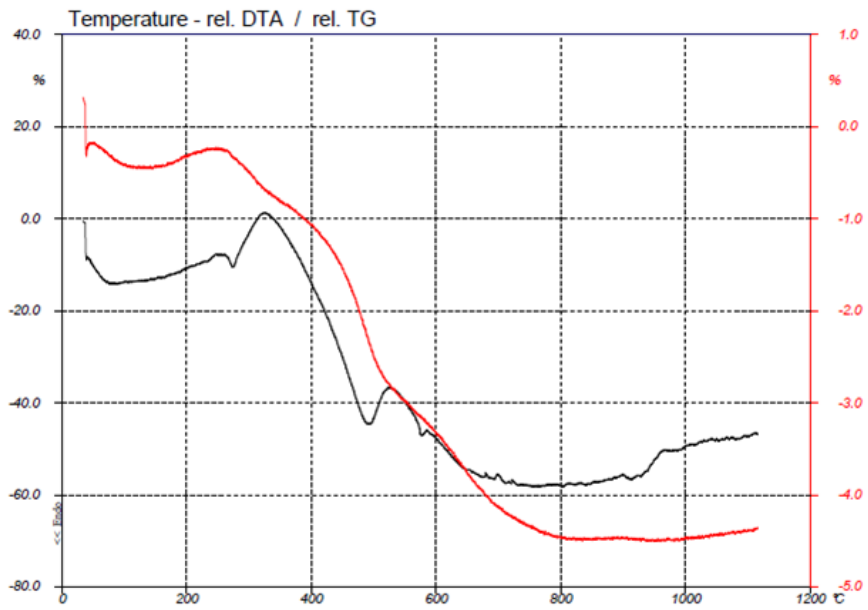


Figura 33. ATD, ATG, ARCILLA RÁQUIRA 3

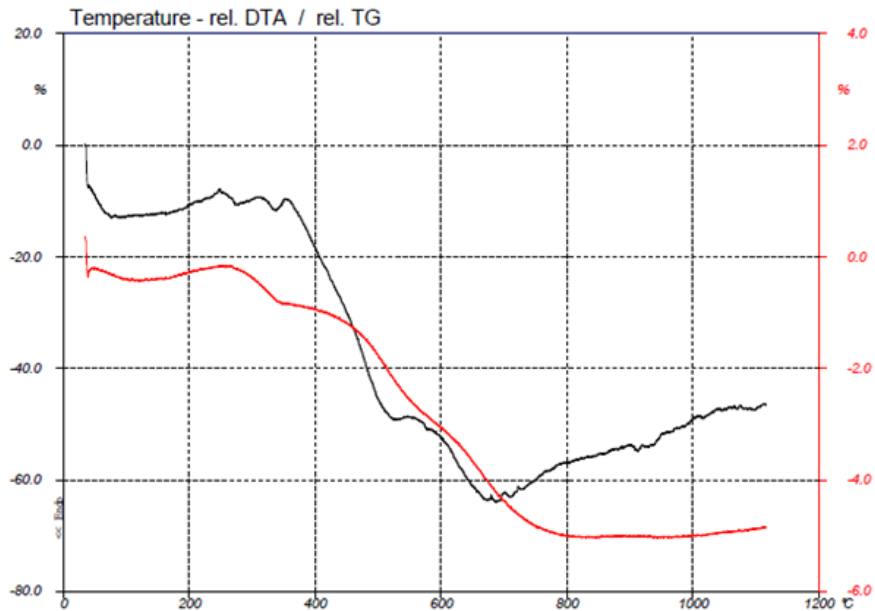


Figura 34. ATD, ATG, ARCILLA RÁQUIRA 4

Para todos los casos se presenta un pico endotérmico alrededor de los 180°C, que corresponde a la pérdida de agua higroscópica; un segundo pico, puede estar relacionado con la eliminación del hidróxido de hierro y una transformación exotérmica en el rango de temperatura de 350-500° C, está relacionado con la descomposición de la materia orgánica.

4.6 CARACTERIZACIÓN CERÁMICA

Las propiedades físicas cerámicas de las arcillas seleccionadas determinadas han sido: plasticidad, expansión post-prensado, absorción de agua, contracción en seco y en cocido, distribución de tamaño de partícula y los correspondientes diagramas de gresificación.

En las Figura 35 a Figura 40, se observa el comportamiento cerámico de las arcillas originarias de Cómbita (Boyacá). Desde la curva de gresificación, se muestra una tendencia para las muestras Cómbita 3 y 5, de aumento con la temperatura tanto de la contracción lineal como de absorción de agua mientras que la tendencia de la Cómbita 4 se puede establecer que no solo aumenta su contracción lineal con la temperatura sino que el comportamiento de la absorción del agua es inversamente proporcional ofreciendo un comportamiento fundente.

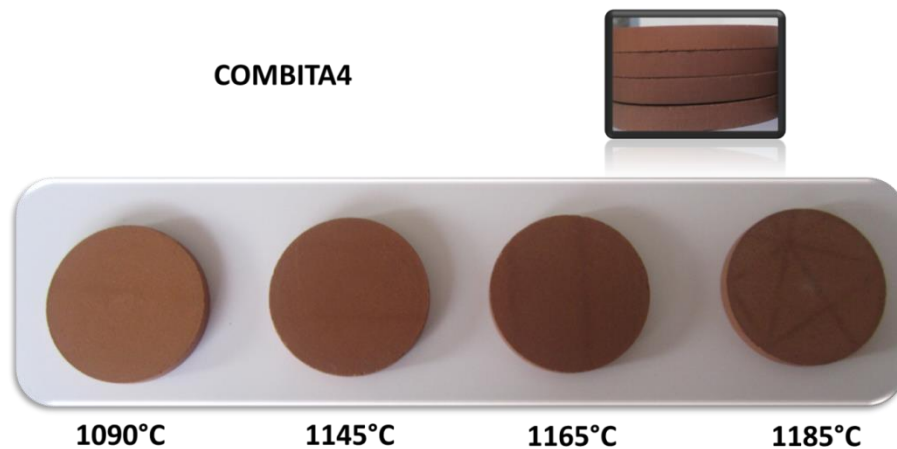


Figura 35. Cómbita 4

COMBITA4

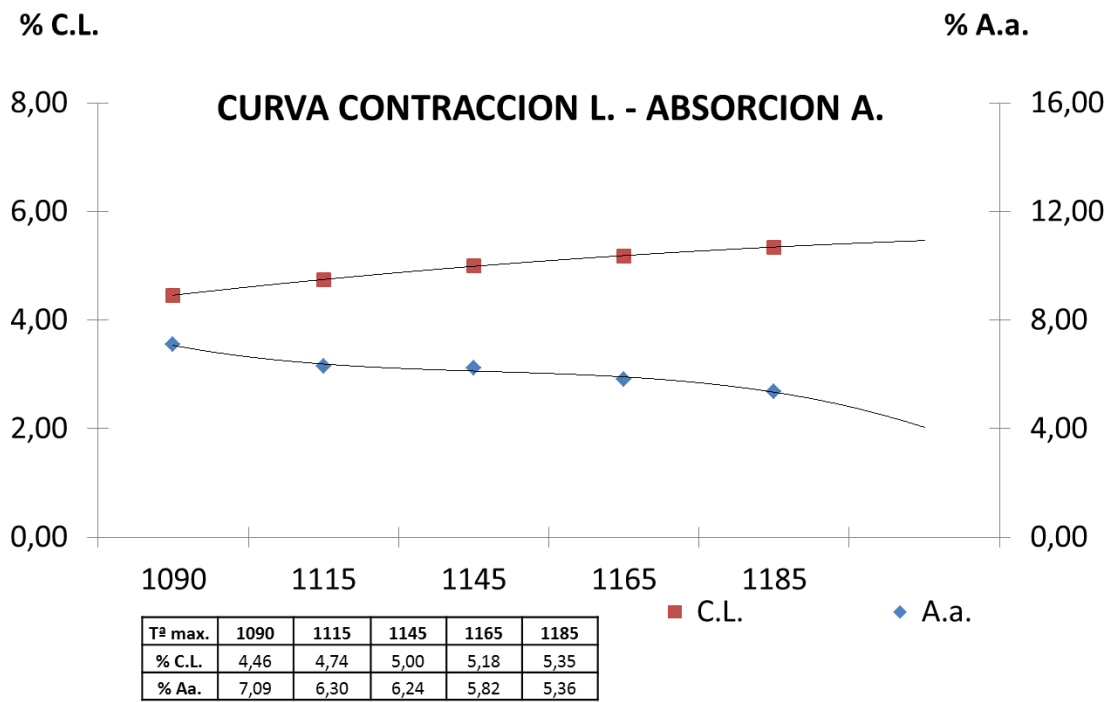


Figura 36. Curva de gresificación Cómbita 4

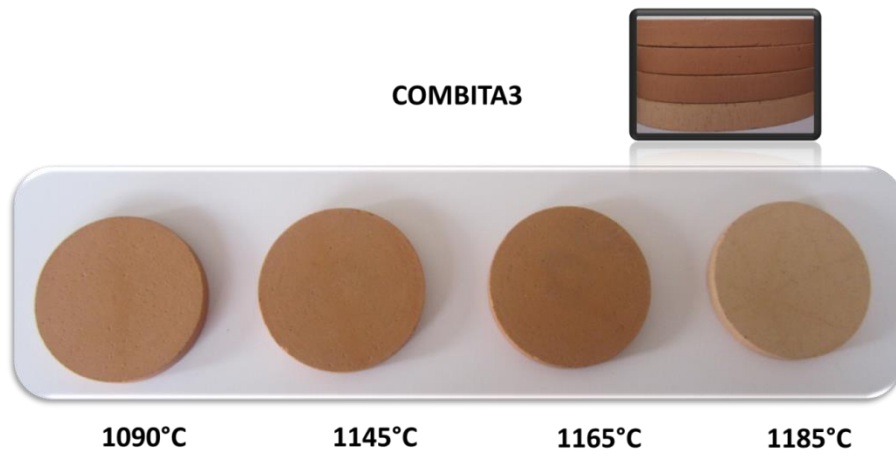


Figura 37. Cómbita 3

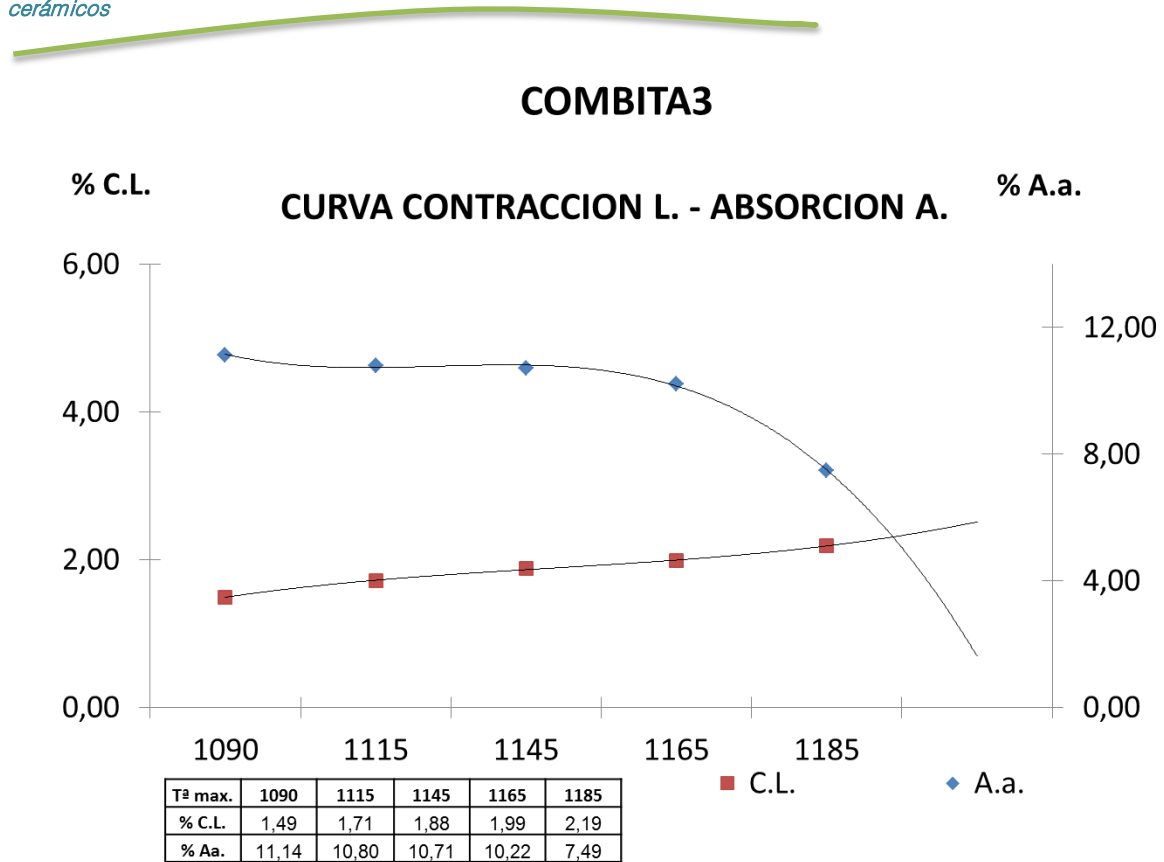


Figura 31

Figura 38. Curva de gresificación CÓMBITA 3

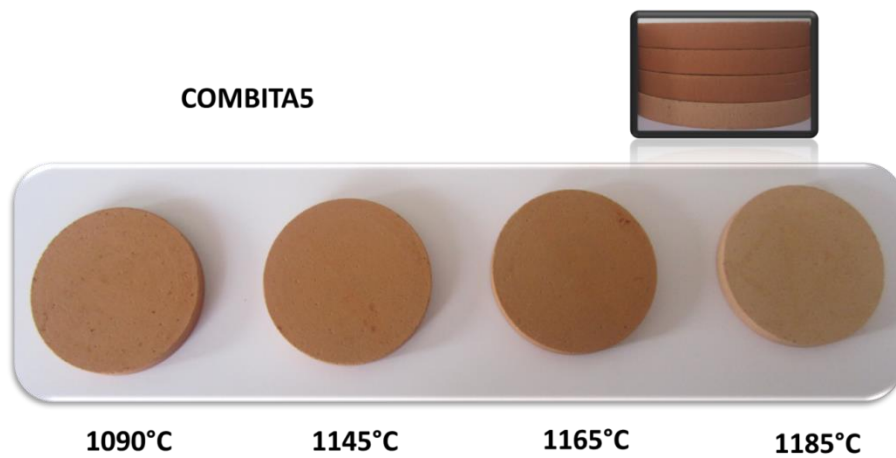


Figura 39. CÓMBITA 5

COMBITA5

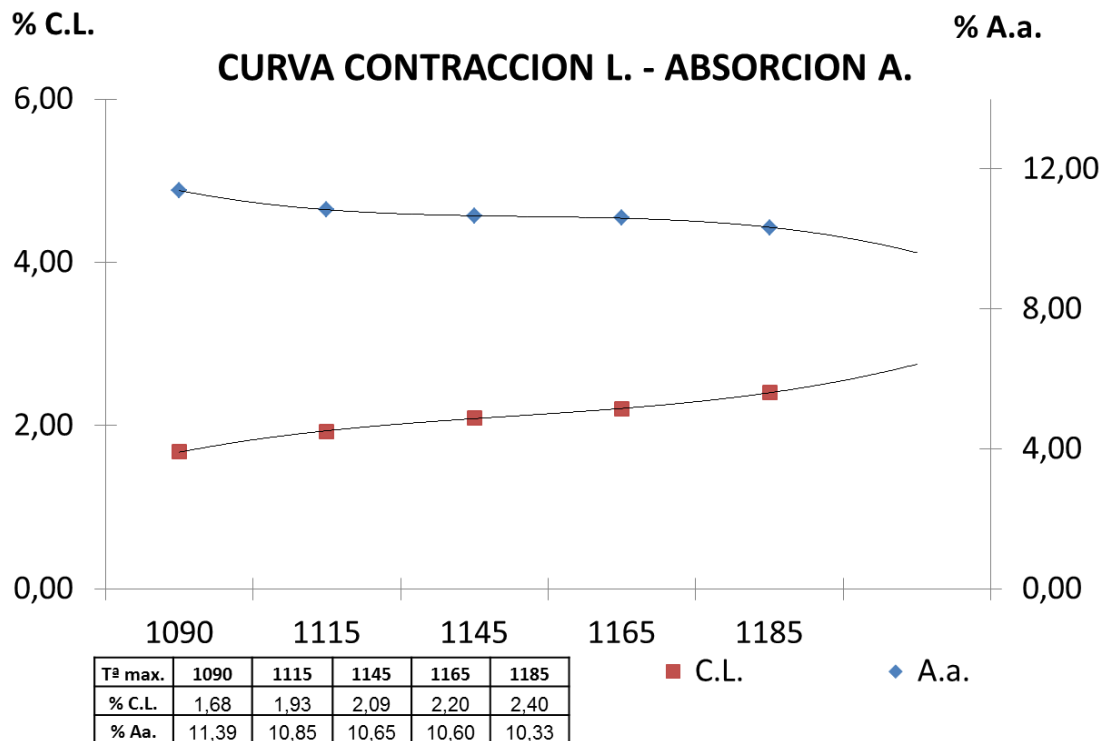


Figura 40. Curva de gresificación CÓMBITA 5.

En la Tabla 21. Propiedades de plasticidad y RMC arcillas de Cómbita Tabla 21 se describen las propiedades de plasticidad y resistencia mecánica en seco donde se resalta la CÓMBITA 5. Por sus altos niveles con lo cual se espera una mayor versatilidad para productos de alta resistencia de gran formato y con un alto potencial para productos innovadores como las baldosas delgadas.

Tabla 21. Propiedades de plasticidad y RMC arcillas de Cómbita

MUESTRA	PLASTICIDAD (%)IP	RESISTENCIA MECÁNICA EN SECO Nmm ⁻²
CÓMBITA 3	21,81	58,8
CÓMBITA 4	25,99	10,4
CÓMBITA 5	21,93	66,6

En Figura 35 a la Figura 45, presentan las características de las arcillas originarias de Sogamoso, que son contrarias entre sí; para el caso de la Sogamoso 3 la tendencia en la contracción lineal es a aumentar mientras que la absorción de agua disminuye dándole propiedades fundentes a la pasta y para el caso de la Sogamoso 2 se invierte el comportamiento la contracción lineal disminuye y la absorción de agua aumenta propio de las arcillas refractarias. Para las dos se observa un amplio rango de trabajo entre 1090 y 1170°C, que favorecen la sinterización del material cerámico.

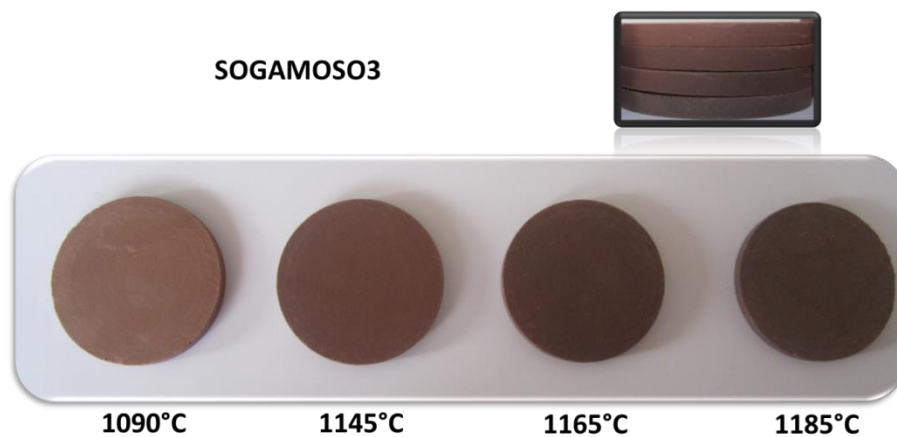


Figura 41. SOGAMOSO 3

SOGAMOSO3

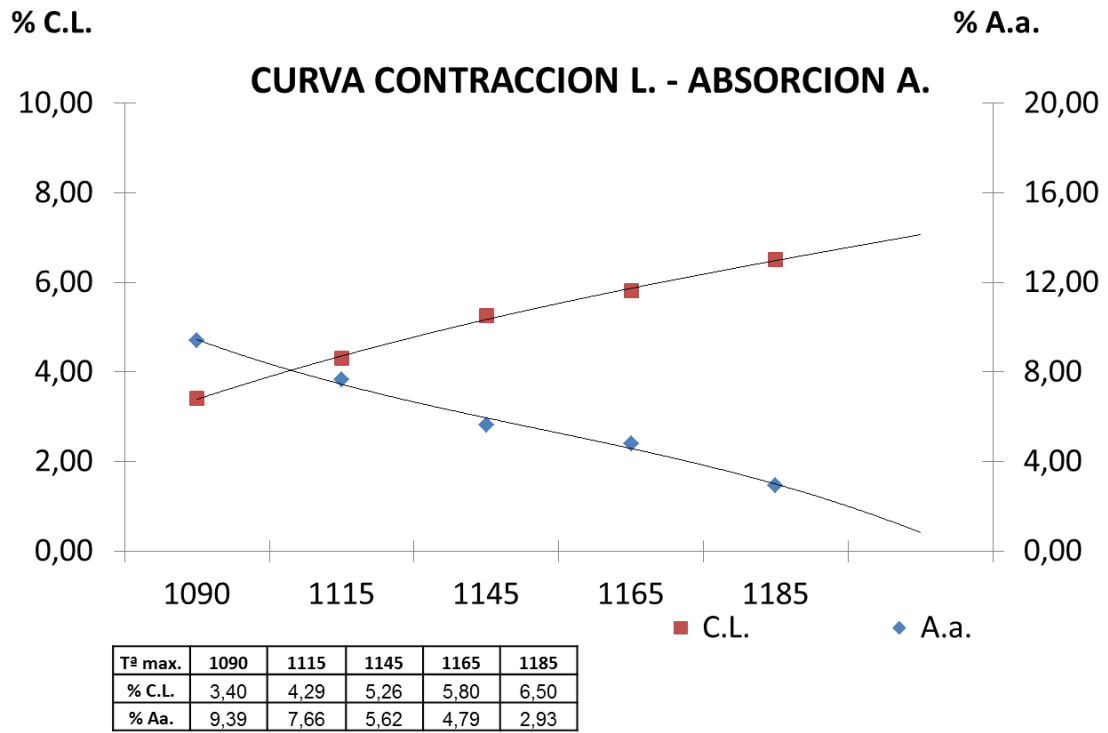
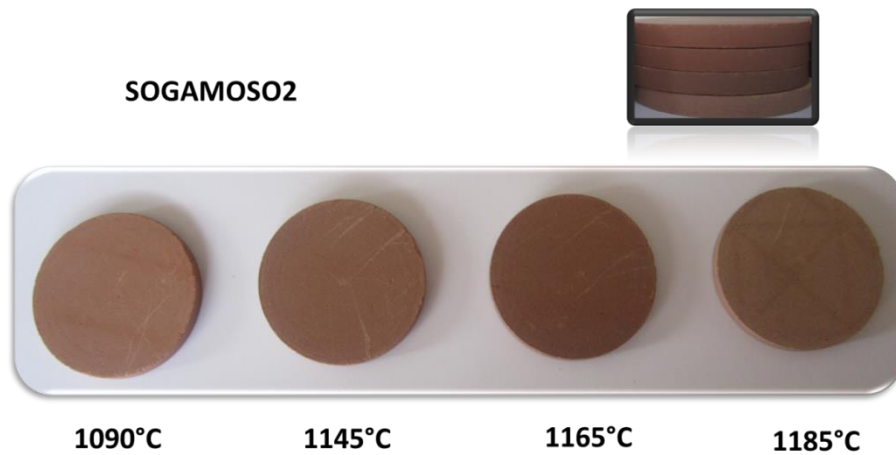


Figura 42. Curva de gresificación SOGAMOSO 3.



SOGAMOSO2

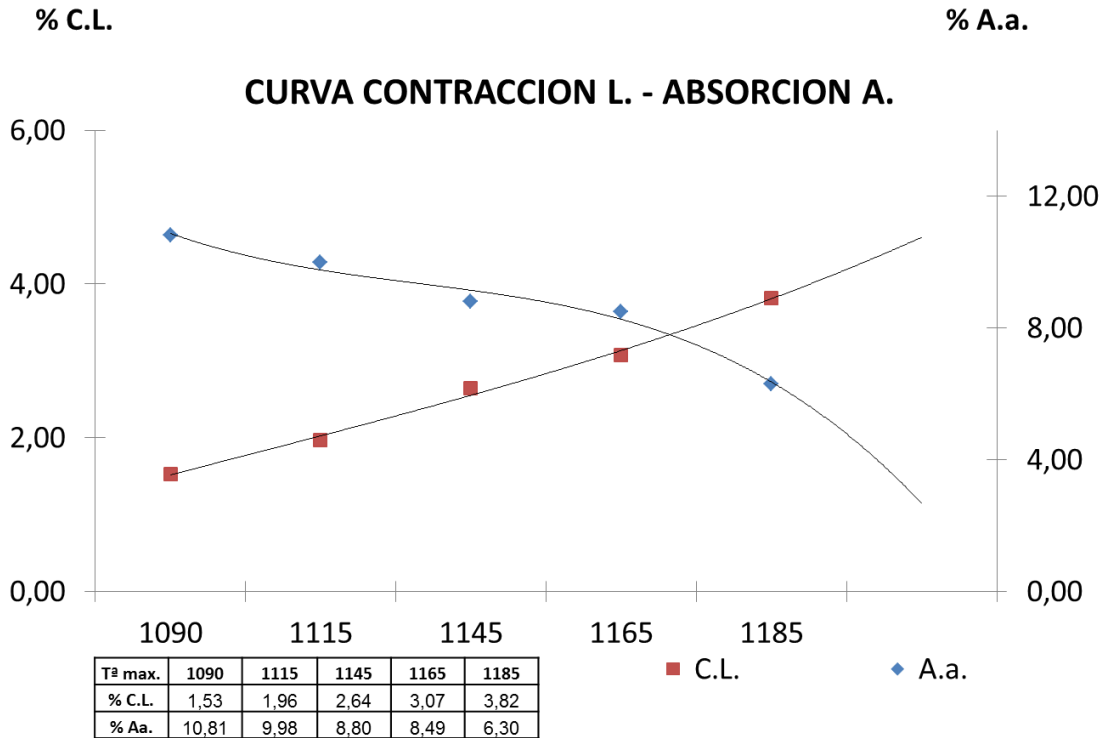


Figura 43. Curva de gresificación SOGAMOSO 2

En la Tabla 21. Propiedades de plasticidad y RMC arcillas de CómbitaTabla 21 se describen las propiedades de plasticidad y resistencia mecánica en seco para las arcillas de Sogamoso y entre las tres regiones éstas se caracterizan por presentar un comportamiento con tendencia a la baja, pero que al combinar con las demás pueden resultar propiedades de interés con los cual se de una mejor manejo a las piezas cerámicas.

Tabla 22. Plasticidad y resistencia mecánica en seco Sogamoso

MUESTRA	PLASTICIDAD (%)IP	RESISTENCIA MECÁNICA EN SECO Nmm ⁻²
SOGAMOSO 3	18,82	31,1
SOGAMOSO 2	17,51	28,7

En las Figura 45, se determinan las propiedades de contracción lineal y absorción de agua a diferentes temperaturas representadas por estas curvas de gresificación y en la Figura 48 se observa la coloración dada por la arcilla Ráquira 2 a 1165°C; la curva de gresificación representada alcanza el valor mínimo de absorción de agua a 1185°C (4,39%) con una contracción lineal cercana al 2,2 %. La pendiente en la curva de absorción lineal disminuye entre 1165 y 1185°C, al igual que la de contracción lineal por lo que a estas temperaturas disminuya la posibilidad de sinterización adecuada para productos cerámicos, por lo que se recomienda su uso entre 1090 y 1150°C. Es un material que posee una buena plasticidad 23,2 % IP y una resistencia mecánica en seco de 4,0 N mm⁻². Para el caso de la Raquira 2 se destacó su comportamiento refractario y coloración blanca a temperaturas entre 1090 y 1115°C.

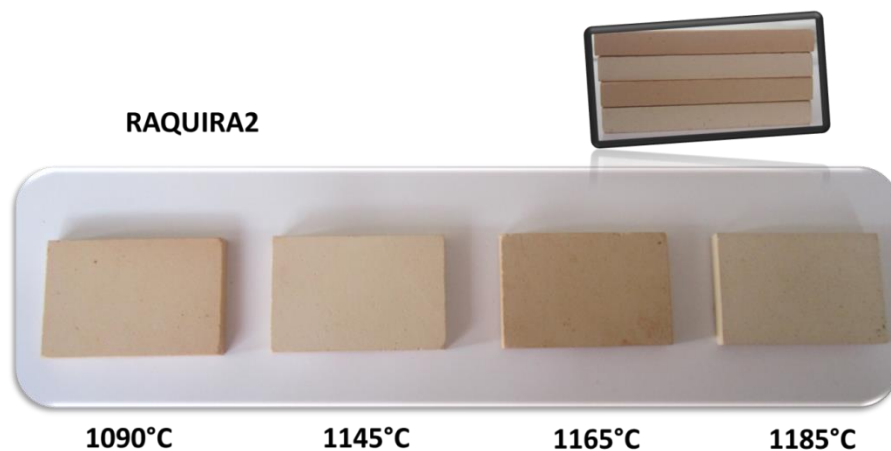


Figura 44. Ráquira 2

RAQUIRA2

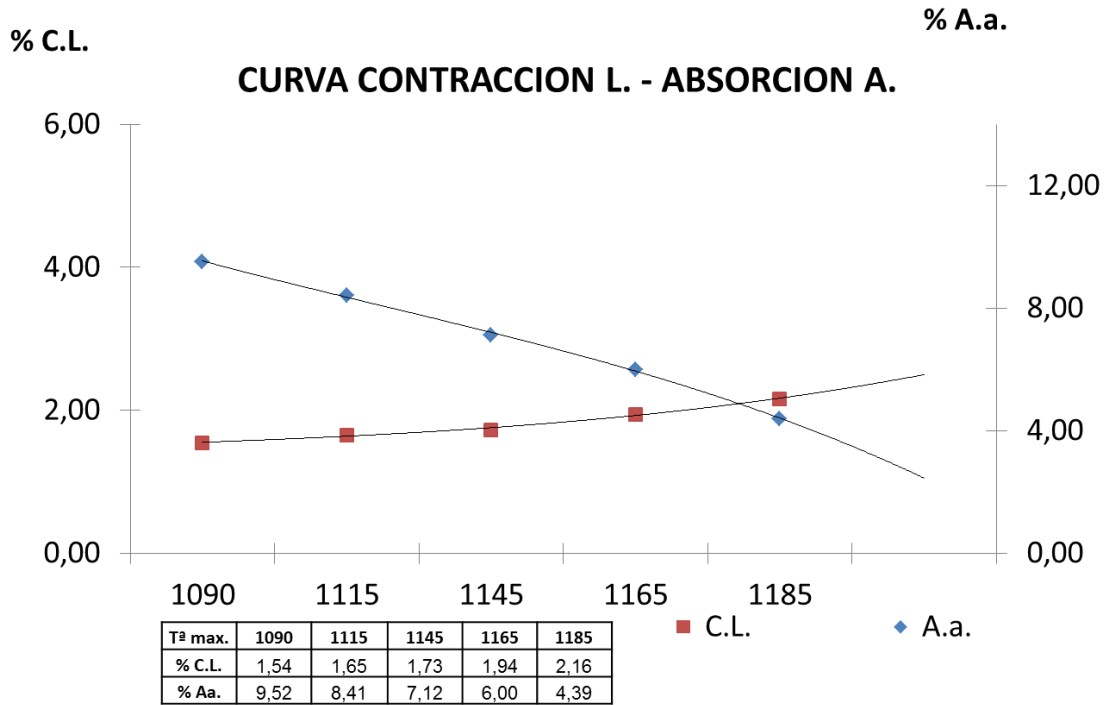


Figura 45. Curva de gresificación RÁQUIRA 2

En las Figura 47 y Figura 49, se determinan las propiedades de contracción lineal y absorción de agua a diferentes temperaturas de las arcillas Raquira 3 y 4 representadas por estas curvas de gresificación y en las Figura 46 y Figura 48 se observa la coloración dada por éstas mismas arcillas donde el comportamiento para la Raquira 3 es muy estable y ofrece una buena estabilidad para incorporarla en productos sinterizados a temperaturas entre 1090 y 1185°C, como un buen

desengrasante a 1165°C; las dos favorecen composiciones para productos rojos.

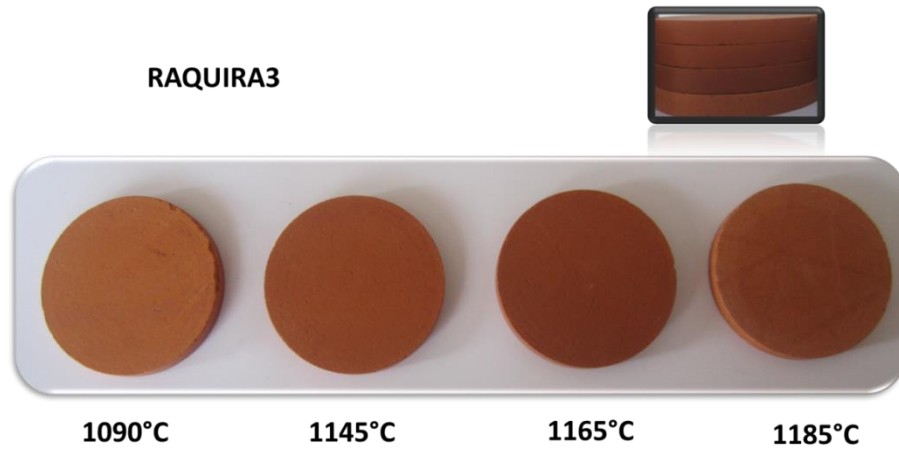


Figura 46. RÁQUIRA 3

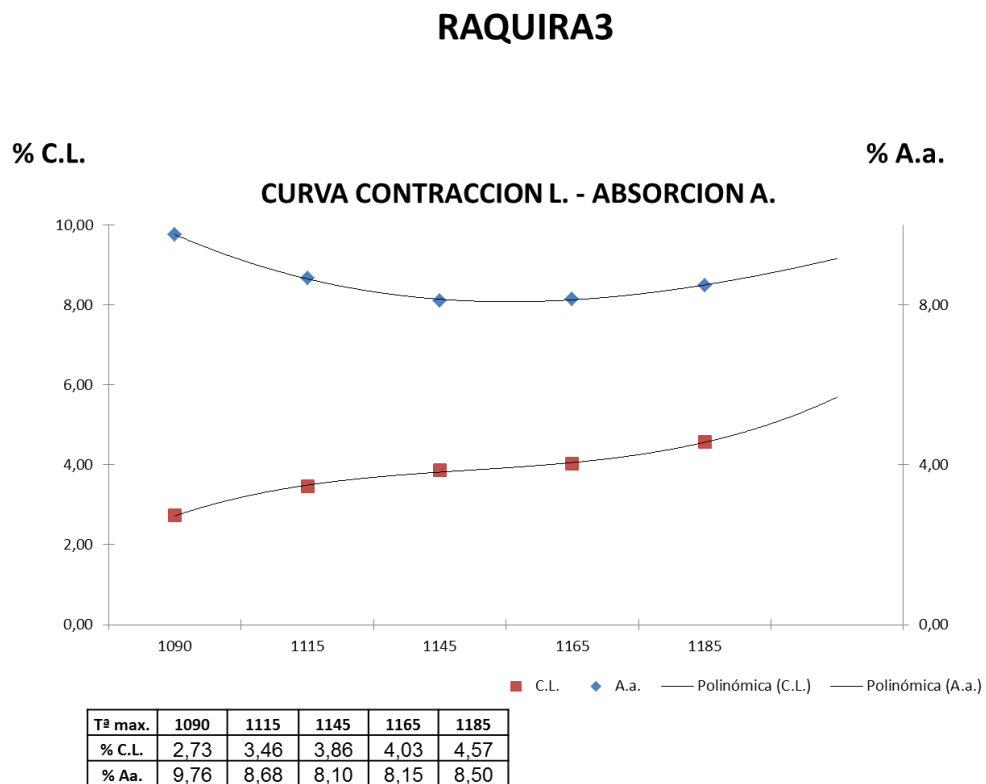


Figura 47. Curva de gresificación RÁQUIRA 3.

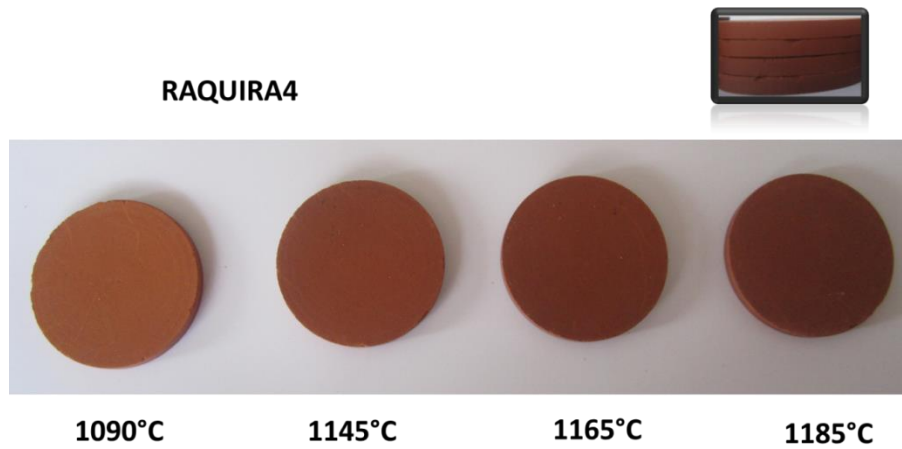


Figura 48. Ráquira4.

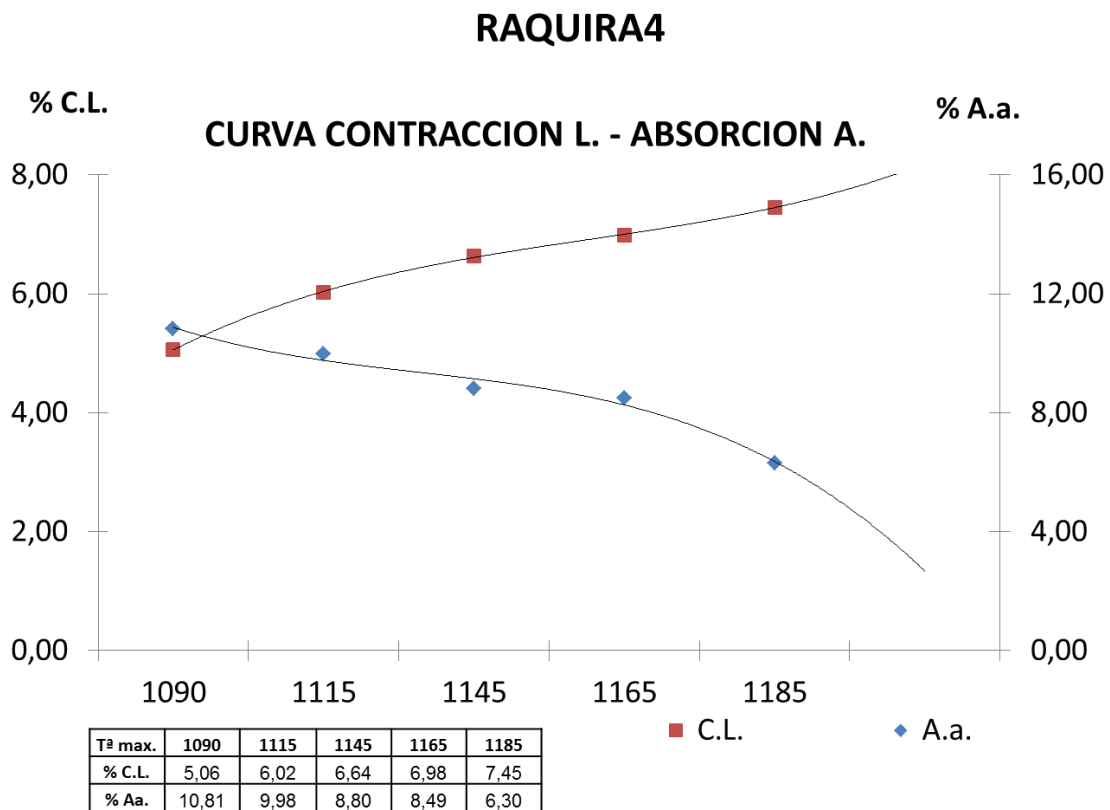


Figura 49. Curva de gresificación Ráquira4.

En la Tabla 21. Propiedades de plasticidad y RMC arcillas de CómbitaTabla 21 se describen las propiedades de plasticidad y resistencia mecánica en seco para las arcillas de Ráquira y es evidente su comportamiento por encima de la media de las arcillas de origen Europeo y las dos Colombianas, lo que es importante a tener en cuenta en el momento de las formulaciones porque su presencia claramente favorece estas propiedades en las formulaciones.

Tabla 23. Plasticidad y resistencia mecánica en seco Ráquira

MUESTRA	PLASTICIDAD (%)IP	RESISTENCIA MECÁNICA EN SECO Nmm^{-2}
RÁQUIRA 2	22,22	50,4
RÁQUIRA 3	23,60	64,6
RÁQUIRA4	30,40	32,8

La

Tabla 24. Las características colorimétricas que se presentan en ésta tabla reflejan una gran variedad y potencial para obtener productos dentro de las categorías de blanco y rojo, siendo evidentemente el rojo la tendencia, lo que se debe tener en cuenta para el momento de la formulación que si bien no es un elemento altamente definitorio por propiedad si por aspecto y categorización tradicional.

Tabla 24. Colorimetría de las arcillas

SOGAMOSO											
1115°C			1130°C			1145°C			1165°C		
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
45,23	21,13	24,10	43,56	20,21	22,66	43,56	19,26	21,61	46,33	18,48	20,70
SOGAMOSO 2											
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
56,11	11,35	16,03	54,02	10,84	15,03	53,25	9,81	14,30	55,47	8,88	14,91
SOGAMOSO 3											
RÁQUIRA											
1115°C			1130°C			1145°C			1165°C		
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
79,86	4,82	14,03	77,37	3,91	10,84	78,70	3,66	11,17	80,81	4,36	14,78
RÁQUIRA 2											
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
54,11	21,91	31,76	53,66	20,65	30,48	54,13	19,36	29,28	56,29	17,60	27,87
RÁQUIRA3											
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
44,97	27,27	31,24	44,08	25,36	29,79	44,68	25,06	28,90	44,99	24,67	28,59

RÁQUIRA4											
CÓMBITA											
1115°C			1130°C			1145°C			1165°C		
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
58,42	17,17	25,90	58,35	16,64	25,39	57,55	15,93	24,20	61,04	13,08	22,11
CÓMBITA 3											
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
41,98	15,42	15,44	41,59	14,46	15,08	39,74	12,43	12,57	38,25	10,74	10,35
CÓMBITA 4											
L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
58,77	20,30	32,55	57,50	18,58	30,04	58,09	17,64	29,75	65,08	13,68	26,29
CÓMBITA 5											

Es de resaltar que ninguna de estas arcillas ha presentado corazón negro en el ensayo de materia orgánica.

En la Tabla 25, se establece un comparativo del índice de plasticidad de las arcillas Colombianas y Europeas para cocción roja y blanca estableciendo (%) que se encuentran en el rango de las usadas por la industria cerámica con una tendencia a la favorabilidad especialmente en la roja.

Tabla 25. Índice de plasticidad comparado

PASTA BLANCA				
PROCEDENCIA	INDICE DE PLASTICIDAD (%)			
REINO UNIDO	38	28	26	31
ESPAÑA	20	22	26	25
COLOMBIA	24	22	22	22
PASTA ROJA				
VILLAR1	24			
VILLAR2	17			
MORÓ	9			
GALVE	19			
CHULILLA	16			
MAS VELL	20			
SICHAR	22			
COLOMBIA	26	22	18	24

Las arcillas caracterizadas muestran comportamientos refractarios, desengrasantes y fundente y propiedades óptimas de plasticidad necesaria, para realizar un adecuado moldeado; todas las arcillas reportan niveles de resistencia mecánica en seco altos con lo cual se puede garantizar facilidades de manipulación y ausencia de corazón negro lo cual favorece la utilización en combinaciones y proporciones que den origen a formulaciones para productos de revestimiento cerámico como: porosa roja, porosa blanca, gres y porcelánico.

El gres y el porcelánico requieren de otros minerales arcillosos como el caolín y el feldespato para poder obtener un producto que cumpla con los estándares de la norma.

Los intervalos de temperatura de cocción mostrados en las curvas de gresificación en todas las arcillas seleccionadas son lo suficientemente amplios como para mantener las dimensiones de la pieza cocida dentro de los márgenes independientes de las variaciones del horno.

Las probetas obtenidas con las materias primas de origen colombiano se obtienen por prensado de la arcilla en el molde; con una compresión mecánica entre 30 – 50 bares de presión y una humedad entre 5-7(%).

4.7 FELDESPATOS

En la Tabla 26 se dan a conocer la composición química de los feldespatos de origen colombiano comparados con los utilizados en el sector cerámico europeo con el fin de obtener un nivel de referencia que se presenta en el siguiente análisis.

Tabla 26. Comparativo de la composición química de feldespatos

PROCEDENCIA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	LiO ₂	PPPC
TURQUIA	70	19	0,12	0,5	0,1	9,5	0,3	0,3		0,3
	70	19	0,06	0,5	0,1	10	0,3	0,12		0,3
FRANCIA	74,6	15,3	0,2	0,7	1	6,5	1,7	0,1		0,8
ITALIA	66	18	0,5	1,2	3	8	0,3	0,5		1,8
SEGOVIA	68,7	16,6	0,1	0,5	0,1	2,6	10,5			0,5
SALAMANCA	71,5	15,2	0,1	1,1	0,6	5,9	2,4	0,1	0,3	1,8
IBAGUÉ-COL	72,9	15,0	0,2		0,03	3,3	5,1			2,5
SOGAMOSO-COL	29,0	18,1	0,6		0,2	1,6	5,8	0,5		0,9
TIERRA ATOMIZADA	70,6	17,7	0,6		0,1	9,7				1,0

Se destaca la relación sílice/alúmina para cada uno el de Ibagué - Tolima (Colombia) 72,9/15 y el de Sogamoso- Boyacá (Colombia) 29,0/18,1, los niveles de hierro (0,2) mayores para el segundo y ausencia de calcio y litio. Las propiedades más próximas al que utiliza la empresa española Tierra Atomizada es el de Ibagué (FITSA).

En la Tabla 27 se continúa con el comparativo de los feldespatos revisando su carácter ortoclásico, albítico o leucítico debido a que, los fundentes empleados mayoritariamente son los feldespatos alcalinos (ortosa y albita). Por tener propiedades que mejoran la compacidad de las arcillas y disminuyen la pérdida de calcinación a temperaturas mayores a los 1100°C, debido a que los altos niveles de álcalis aumenta su poder fundente con lo cual se disminuye la porosidad por formación de la fase vítrea y aumentan la contracción lineal.

Tabla 27. Composición química de feldespatos comerciales

FELDESPATO	REFERENCIA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
POTÁSICO	A	64,8	18,4	-				16,9
	B	65,5	18,8	0,2	0,43		3,2	11,8
SÓDICO	C	68,7	19,5	-			11,82	
	D	66,3	19,8	0,16	2,43		7,8	3,69
NEFELINA	E	41,3	34,9	-			15,91	8,06
	F	43	34	0,14	0,36	0,04	15,42	6,15
IBAGUÉ		72,9	15,0	0,2		0,03	3,3	5,1
SOGAMOSO		29,0	18,1	0,6		0,2	1,6	5,8
TIERRA ATOMIZADA		70,6	17,7	0,6		0,1	9,7	

A. Ortoclasa ($KAlSi_3O_8$) **C.** Albita ($NaAlSi_3O_8$) **E.** ($Na_3KAl_4Si_4O_{16}$) **B, D y F** feldespatos y

feldespatoides comerciales.

La Figura 50 muestra la fundencia de los feldespatos que se determina por el método del cono de fusión, que consiste en formar una probeta de forma cónica y cocida a alta temperatura, que para la experiencia fue de 1220°C. En los conos se observan las modificaciones iniciales y finales en cuanto a altura, tamaño de la base, rugosidad, color y fusión.

FELDESPATO IBAGUE



FELDESPATO SOGAMOSO



Figura 50 . Conos de fusión de feldespatos de origen Colombiano

La Figura 51, representa el comportamiento térmico del feldespato de Ibagué – Tolima (Colombia) donde se observa un pico endotérmico alrededor de los 580°C correspondiente a la transformación alotrópica del cuarzo. Y la Figura 52 el correspondiente al de Sogamoso – Boyacá

(Colombia) que también refleja ésta transformación con una menor pérdida de peso entre los 400 y 800°C y un efecto exotérmico entre los 980 y 1000°C correspondiente a la formación de mullita.

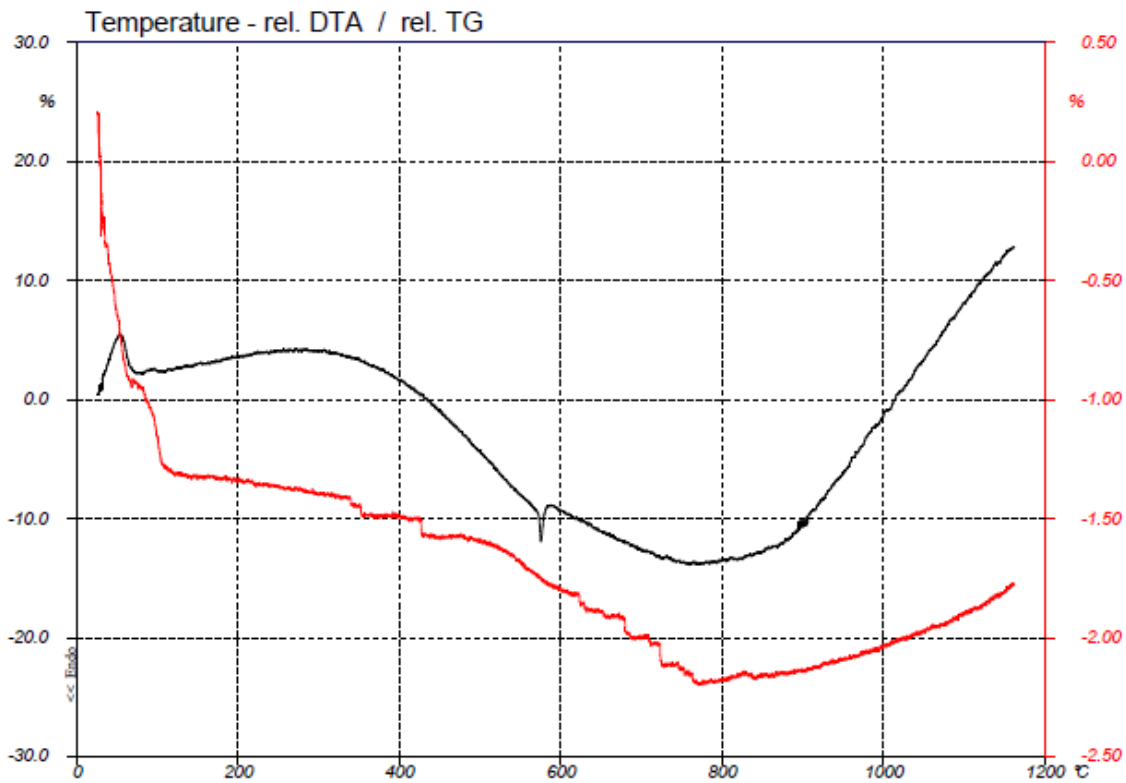


Figura 51. ATD/TG. Feldespato Ibagué – Tolima (Colombia).

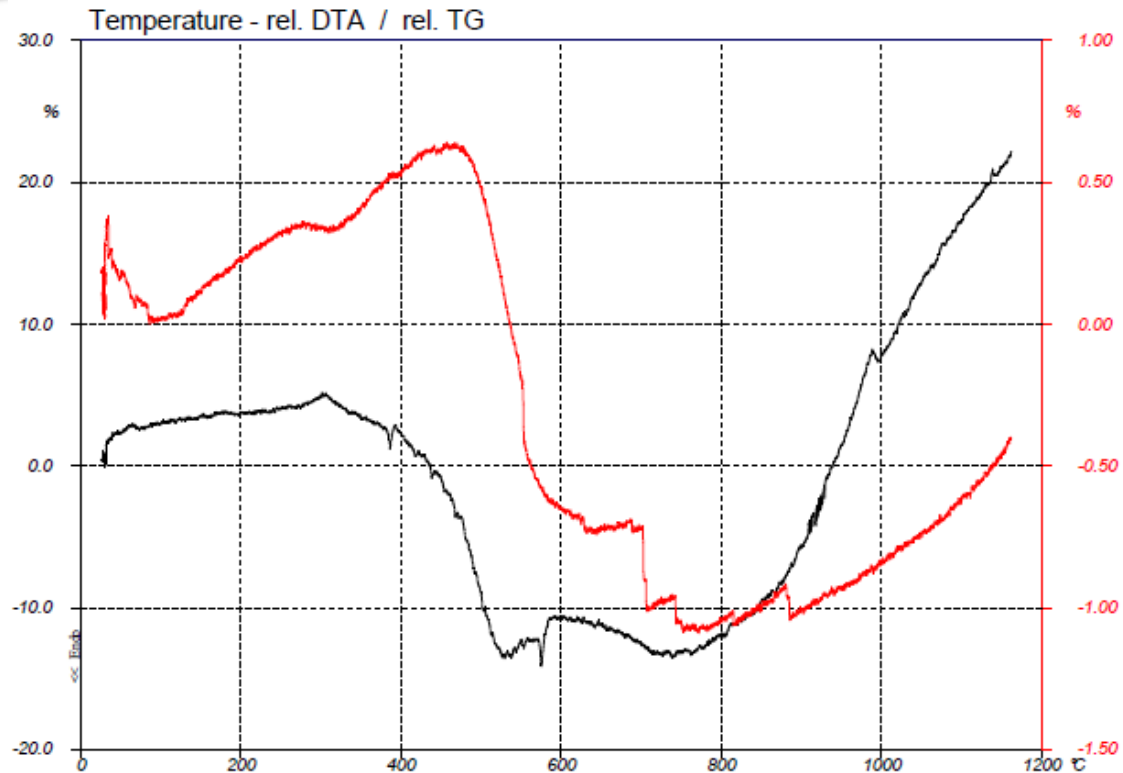


Figura 52. ATD/TG Feldespatos Sogamoso – Boyacá (Colombia).

Los conos de fusión quemados a 1220°C muestran que los feldespatos evaluados presentan una baja fundencia y que la apariencia de los conos es similar entre ellos; la principal diferencia se refleja en el color de cocción influenciado por el porcentaje de Fe_2O_3 donde el feldespato de Ibagué reporta 0,0 % y el de Sogamoso 0,6 %, los conos no presentan puntos oscuros, ni rugosidad superficial. Y el feldespato de Ibagué refleja una mejor fundencia que el de Sogamoso.

Debido a que este material se utiliza como desengrasante y por lo tanto no tiene buena plasticidad y por ende mala compactación y tampoco

aporta resistencia mecánica no se les hace caracterización físico cerámica.

Se resaltan las propiedades del feldespato procedente de la ciudad de Ibagué región del Tolima en Colombia, por tener características cercanas a la ortoclasa y a los utilizados por la comunidad europea procedentes de Francia y Segovia, con lo cual se espera obtener una incidencia positiva en la formulación del porcelánico. Y reflejar un mejor comportamiento en las pruebas de los conos de fusión.

4.8 CAOLÍN

CAOLIN BOYACA



Figura 53. Probeta de caolín a 1220°C

La Figura 54 describe el comportamiento térmico del caolín con un efecto endotérmico alrededor de los 550°C que corresponde a la

deshidroxilación de la caolinita y su desintegración de la red cristalina debido a la pérdida de agua y un efecto exotérmico entre los 980 y 1000°C como resultado de la formación de mullita.

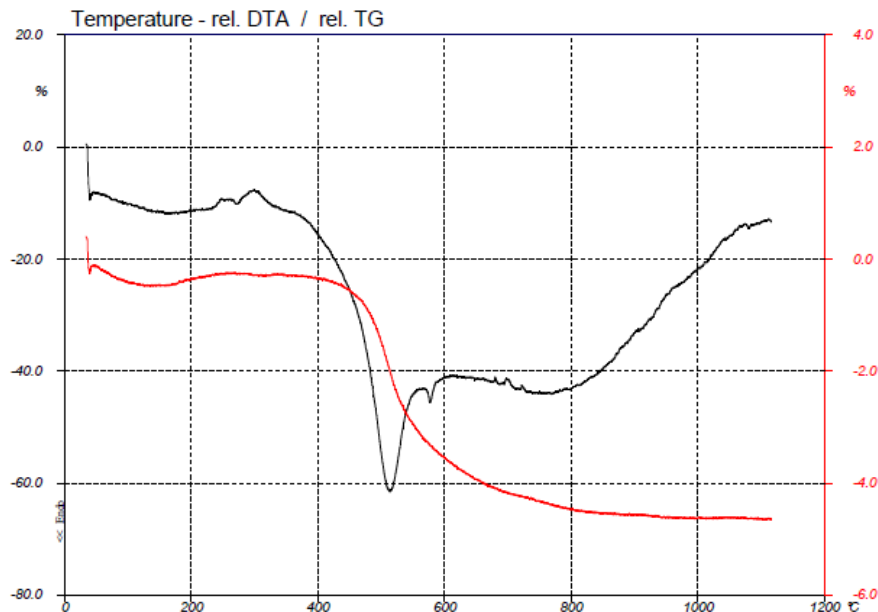


Figura 54. ATD/TG Caolín Sogamoso (Boyacá), Colombia.

Los minerales arcillosos de origen Colombiano como el caolín y los feldespatos se caracterizaron con el fin de definir sus propiedades e incorporarlo a las pastas cerámicas, con el objeto de mejorar sus propiedades. Para el caso de la porosa blanca se le adiciona, caolín de tal manera que aumente sus niveles de blancura. En el caso de los feldespatos, se adicionaron a la formulación del gres para mejorar sus condiciones de fundencia.

Los bajos niveles de carbonato se consideran una ventaja en la medida que su incorporación en las fórmulas de porosa será posible y la ausencia del mismo en las formulaciones para gres y porcelánico se convierten en una oportunidad.

4.9 FORMULACIONES:

Una vez caracterizadas las materias primas se proyectaron las formulaciones para porosa roja, porosa blanca, gres y porcelánico obteniendo los siguientes resultados.

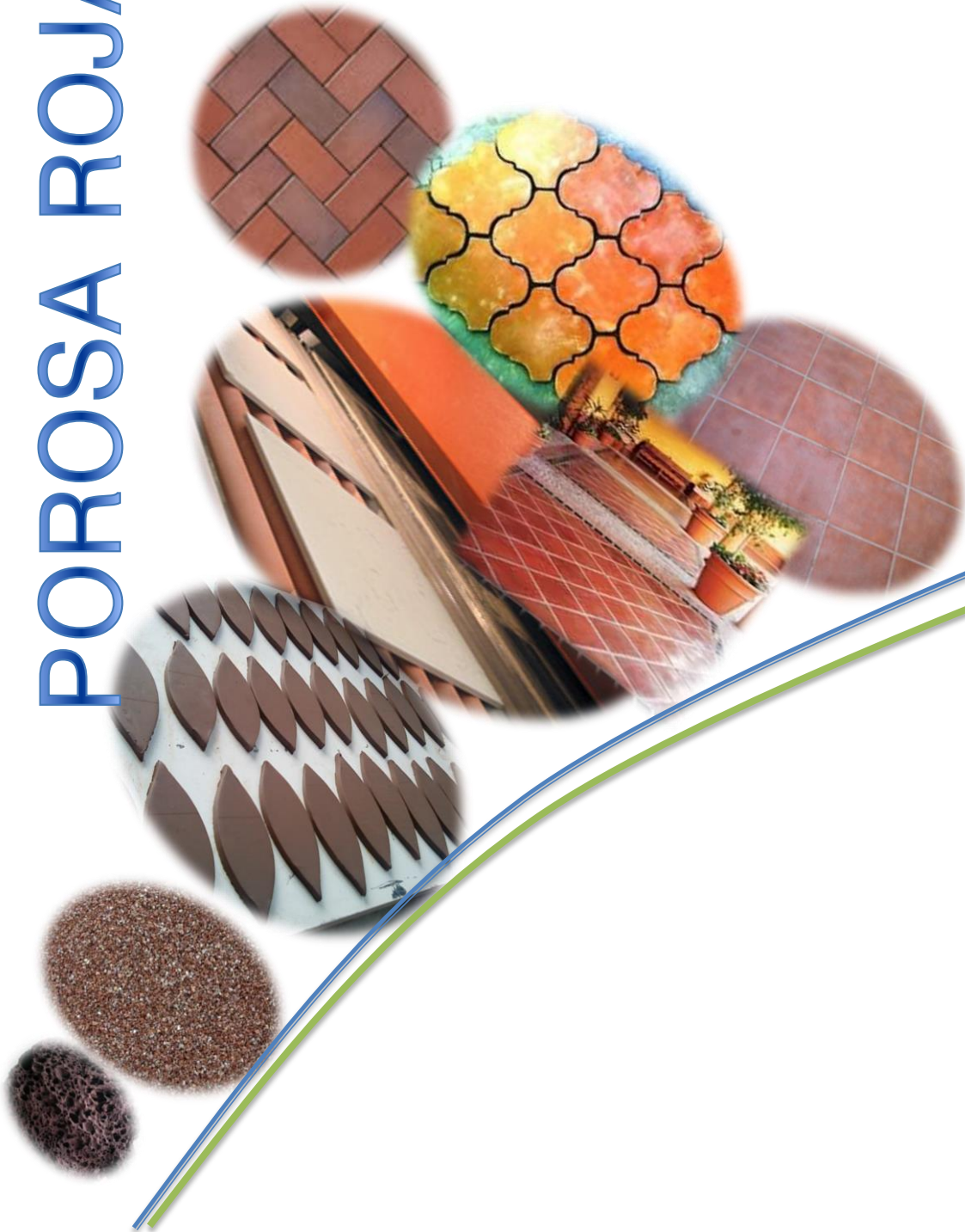
Dentro del proceso de caracterización se unificaron las condiciones de molienda con densidades superiores a $1,6 \text{ gcm}^{-3}$ y residuos sobre $63 \mu\text{m}$. En el proceso de prensado se humectó la composición alrededor del 5,8-6,2% y se desarrollaron las condiciones necesarias para mantener una densidad aparente entre $2,12-2,14 \text{ gcm}^{-2}$ para las porosas, mientras que para el gres y el porcelánico se estandarizaron entre $2,17-2,18 \text{ gcm}^{-3}$

Para la cocción de las piezas se determinó un ciclo de 60 minutos y la variación de temperatura se dio entre 1090°C a 1165°C . Para el gres y el porcelánico, entre 1115°C a 1185°C .

En las formulaciones de porosa se incorporaron carbonatos en proporciones entre el 10-15 %, con base en los estudios de arcillas de origen español que demuestran que la presencia del carbonato,

próximo al 10% en peso, da lugar a mayores valores de contracción y absorción de agua debido a la menor contracción de las piezas y a la mayor pérdida de calcinación.

POROSA ROJA



En la Tabla 28 se da a conocer la relación porcentual de las arcillas colombianas utilizadas para la formulación de porosa roja, en donde se resalta que la F21, corresponde a la réplica de la F2 utilizando un segundo lote obtenido un año después de acopiado el primer lote, de arcillas. Lo cual soporta las variaciones obtenidas en la formulación F21 a pesar de mantener las mismas proporciones y argumentan la posibilidad de réplica en la medida en que las propiedades generales de esta formulación responden a las características técnicas exigidas.

4.9.1 POROSA ROJA:

Tabla 28. Formulaciones para porosa roja.

ARCILLA	F1	F2(%)	F3(%)	F21(%)	F21+ceniza	F21+escoria
CÓMBITA 4	20	15	40	20	20	20
SOGAMOSO 3	35	30	11	30	30	30
RÁQUIRA 3	5	12	15	12	7	7
SOGAMOSO 2	20	15	15	10	10	10
RÁQUIRA4	10	15	10	15	15	15
CENIZAS	0	0	0	0	5	0
ESCORIA	0	0	0	0	0	5
CARBONATOS	10	13	9	13	13	13

Las Figura 55 a Figura 58 representan el comportamiento técnico en las curvas de gresificación obtenidas con las materias primas de las arcillas de Boyacá (Colombia). Obteniéndose el mejor comportamiento F2 y la réplica de la F21. Esta última resultado de un nuevo lote de muestra.

La máxima absorción de agua y mínima contracción lineal se obtienen entre los 1090 -1115 °C, con una alta estabilidad y amplio campo de actuación en las condiciones de cocción, facilitando la obtención de un sinterizado de calidad.

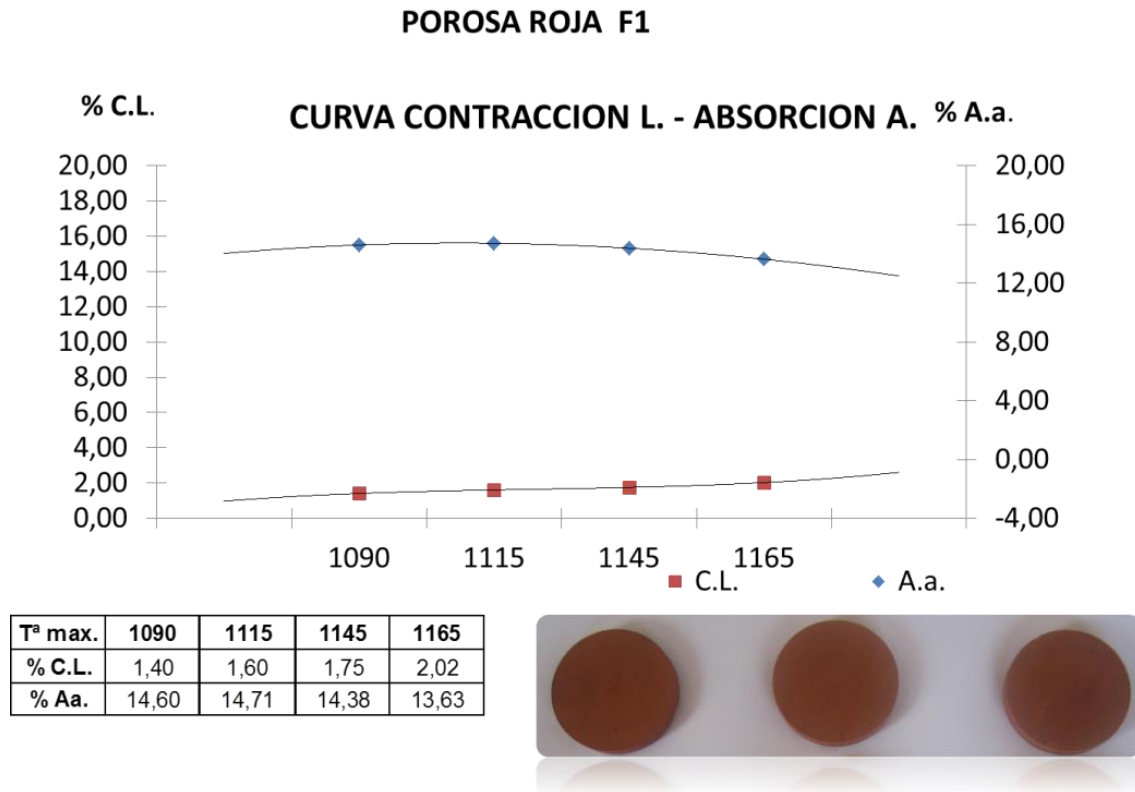


Figura 55. F1 POROSA ROJA

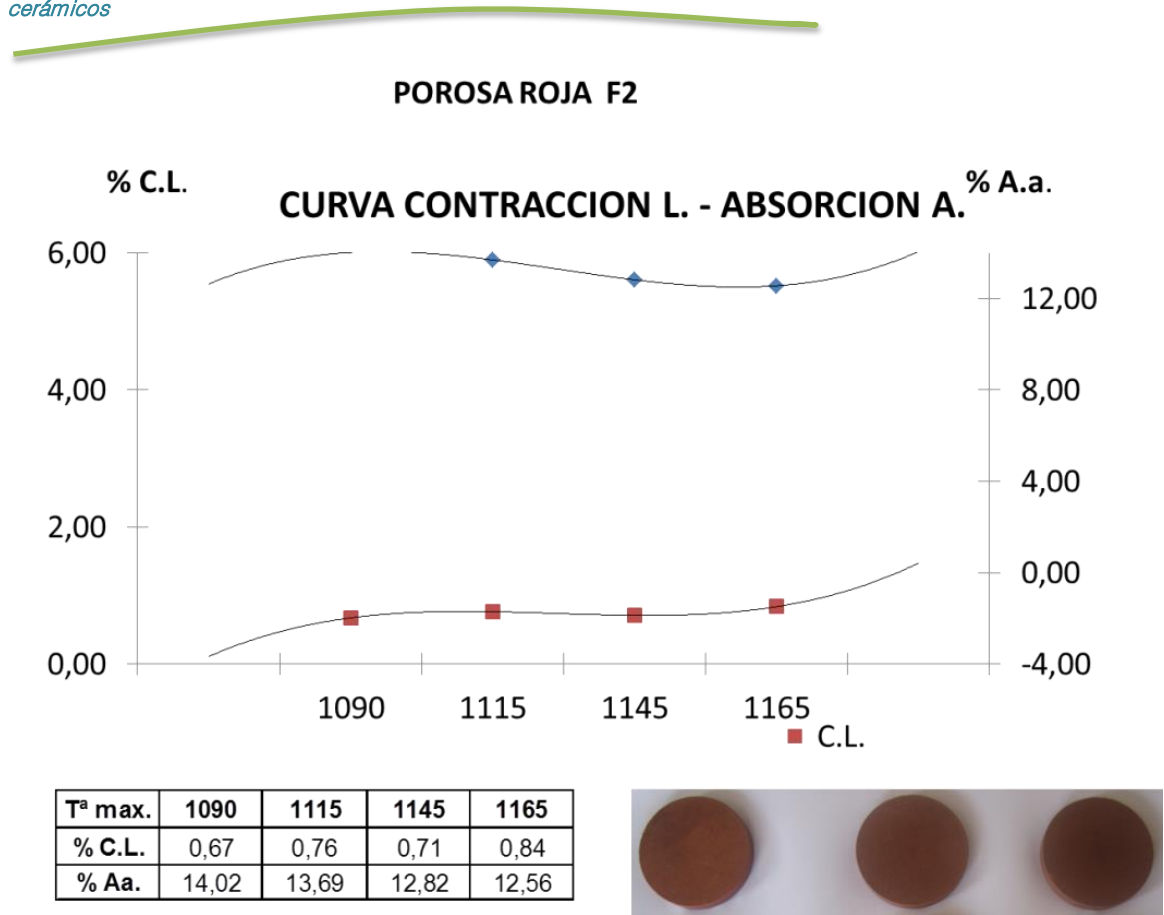
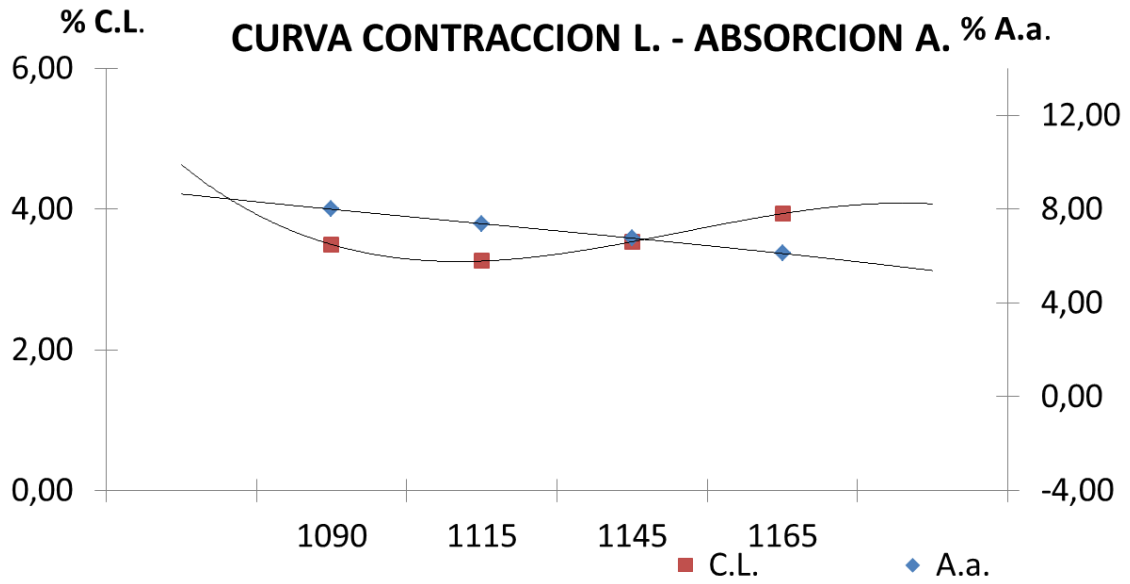


Figura 56. F2 POROSA ROJA

POROSA ROJA F3



Tª max.	1115	1145	1165	1185
% C.L.	3,50	3,26	3,53	3,93
% A.a.	7,99	7,37	6,76	6,10

Figura 57. F3 POROSA ROJA

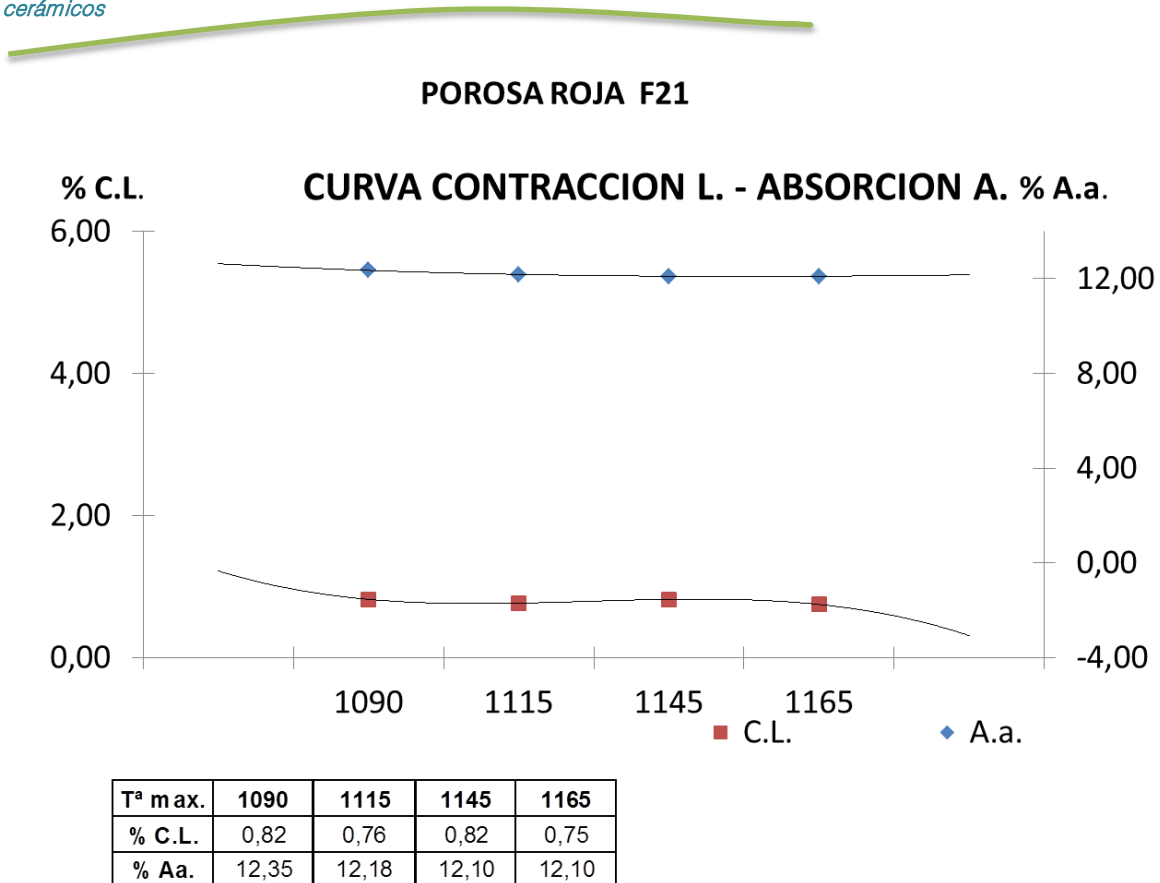


Figura 58. F21 POROSA ROJA

4.9.2 Porosa roja con residuos industriales

Las Figura 59 y Figura 60 reflejan el comportamiento de la porosa roja, al incorporar a la formulación residuos de una central termoeléctrica como es el caso de las cenizas y la escoria del alto horno; para estas dos composiciones no se muestra grandes diferencias en la absorción de agua y aunque la contracción lineal refleja unos cambios, estos son mínimos. Pero al compararlos con la contracción lineal de la F21 se observa un aumento en la contracción lineal de alrededor del 0,3 - 0,4 %. Y para la absorción de agua entre el 0,8-1 % en las temperaturas de 1090-1115°C. Lo que lleva a indicar que la presencia de cenizas o

escorias procedentes del alto horno favorece las condiciones de contracción y absorción para la porosa roja.

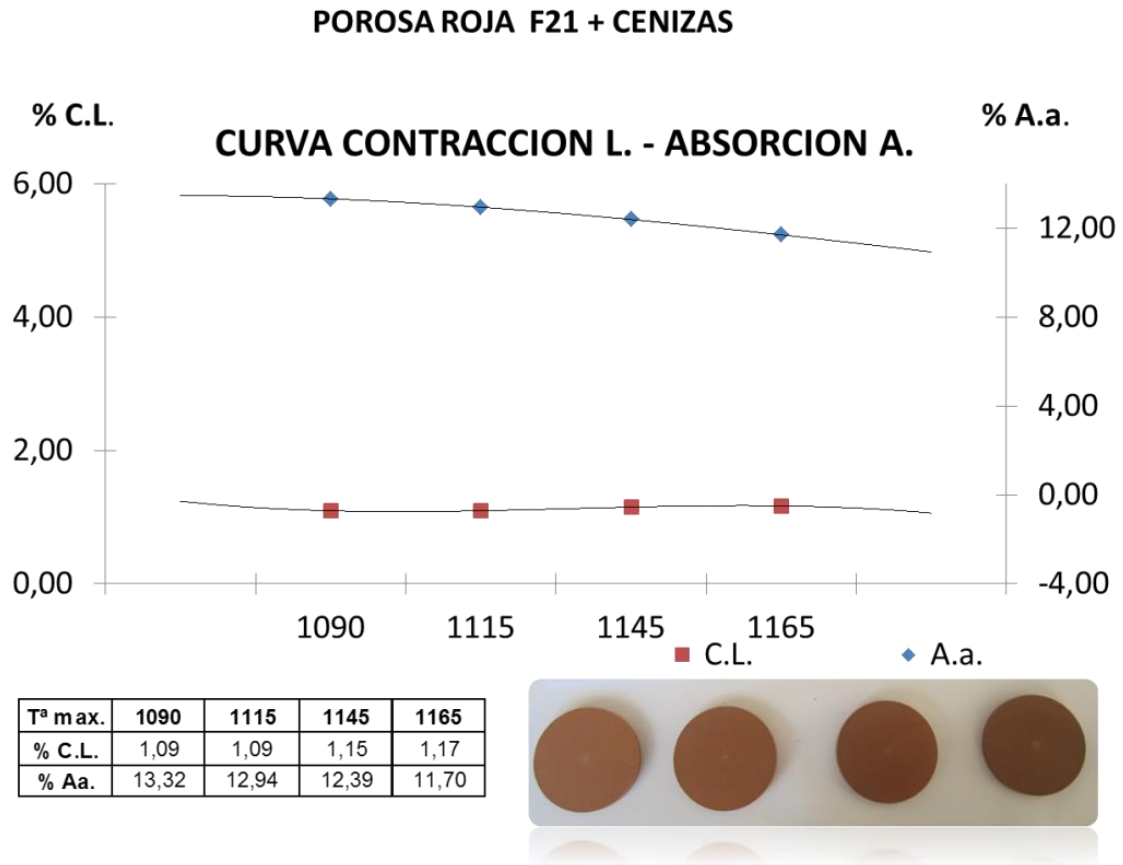


Figura 59 . Curva de gresificación de porosa con ceniza

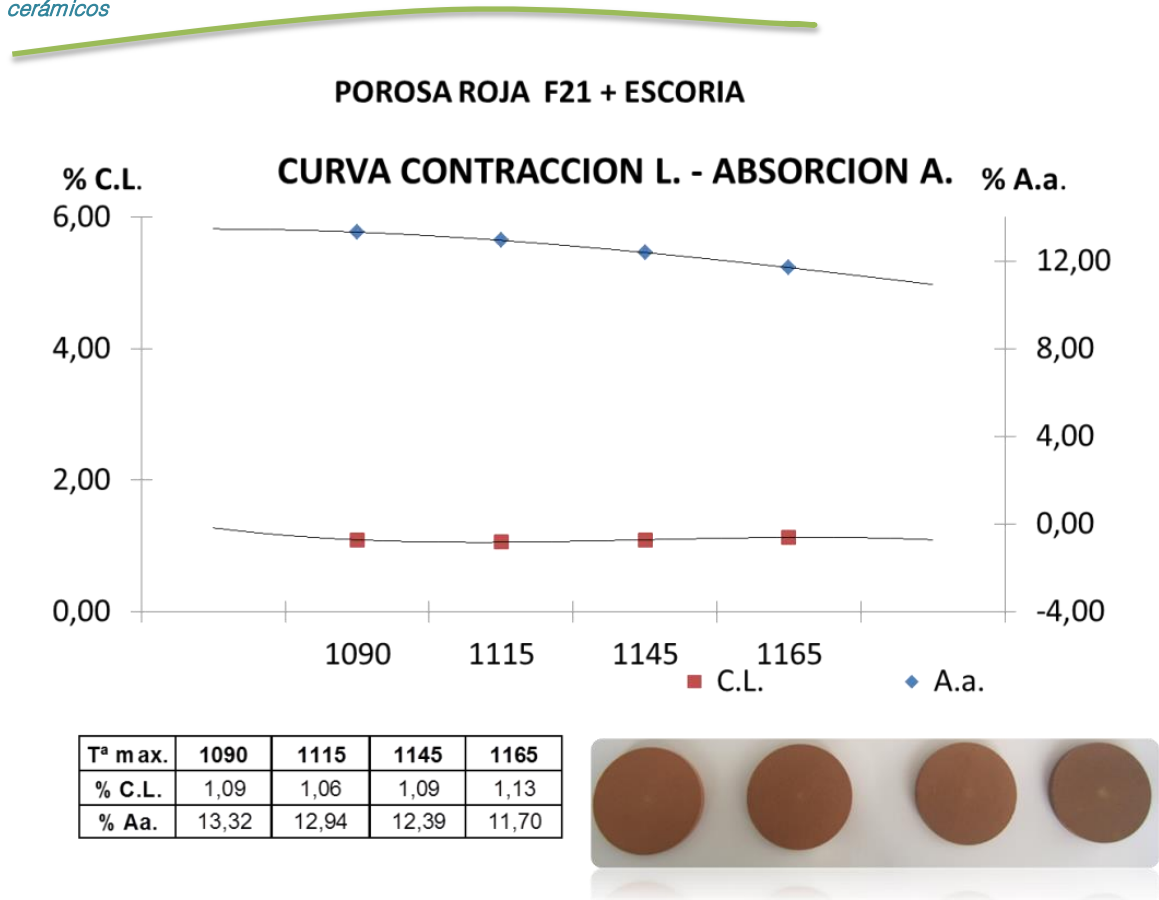


Figura 60. Curva de gresificación de porosa con escoria

En la Figura 61 se observa la formación de corazón negro en las composiciones a las cuales se les incorporó cenizas y escorias, es de resaltar que las materias primas y la formulación F2 y F21 reportaron materia orgánica de 0%. Lo que ocasiona en la pieza cerámica problemas como hinchamiento de las piezas, deformación piropiástica, deterioro de las características técnicas y estéticas de los esmaltes cerámicos y la alteración del tono del soporte o el esmalte.



Figura 61. Formación de corazón negro F21 con ceniza y escoria.

En la Tabla 29 Tabla 30 se presentan las características arrojadas por la caracterización de las composiciones obtenidas con materiales arcillosos colombianos y se observa como éstas responden correctamente a las exigidas por la comunidad europea.

Tabla 29. Comparativo características para porosa roja

CARACTERÍSTICAS EN CRUDO	REVESTIMIENTO O POROSO	COLOMBIANAS POROSA ROJA			
		F2	F21	F21+ CENIZA	F21+ ESCORIA
Carbonatos (%)	10-15	7,6	9	11,7	12,5
Presión de prensado (kgcm-2)	200-250	209	200	214	220
Humedad de prensado (%)	5-7	6	5,6	6,1	6,2
Expansión post-prensado (%)	<0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Contracción de secado (%)	<0,2	0,2	0,1	0,15	0,15
Resistencia mecánica (kgcm-2)	20-30	39	56	58	53

CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN	REVESTIMIENTO POROSO	COLOMBIANAS POROSA ROJA			
		F2	F21	F21+ CENIZA	F21+ ESCORIA
Temperatura de cocción (°C)	1080 - 1150	1090-1115			
Contracción lineal de la cocción (%)	<1,5 BAJA	0,75- 0,84	0,76- 0,89	1,09	1,09
Absorción de agua (%)	12-18	14,2	12,2	13	13
Resistencia Mecánica (kgcm-2)	150-250 MEDIA-BAJA	545 ALTA	550 ALTA	584 ALTA	534 ALTA
Expansión por humedad (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Influencia T de cocción	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA

Tabla 30. Comparativo análisis químico porosa roja

A. QUÍMICO	MORO	VILLAR	GALVE	MORELLA	CHULILLA	MAS VELL	SICHAR	ARAYA	COLOMBIA	
									POROF21	POROF2
	SiO ₂	60,2-63	57,5-62	59,4-61	60,3	54,7-57	43,7-47	31,1	31,1-33	51,6
Al ₂ O ₃	19,2-17	21,9-18	23,0-19	19,8	20,1-16	15,0-12	13,4	14,3-13	19,9	18,2
Fe ₂ O ₃	7,9-6,7	7,66-6,3	5,98-6,4	6,79	6,41-5,6	4,84-3,7	4,39	4,24-4,5	3,9	4,3
CaO	1,79-1,3	0,62-1,5	1,24-1,4	0,76	24,1-4,5	13,2-15,2	23,6	22,8-21,8	5,8	5,8
MgO	0,84-1,5	1,44-1,3	0,24-0,1	13,8	28,5-3,6	2,50-2,1	1,36	1,72-1,8	0,14	0,16
Na ₂ O	0,35-0,2	0,44-0,1	3,41-3,7	0,84	0,14-0,1	0,26-0,2	0,2	0,16-0,5	0,14	0,16
K ₂ O	4,95-3,0	3,55-4,0	0,62-0,8	4,1	4,65-4,0	4,48-3,1	3,67	3,83-2,9	1,025	0,8
TiO ₂	0,85-0,9	1,09-0,8	5,6-6,1	0,85	0,94-0,6	0,56-0,5	0,26	0,62-0,5	0,8	0,9
PPC	4,6-5,8	6,3-5,7	22-26	4,95	7,8-9,5	15,0-16,0	21,7	21,8-21,4	12,1	12,95

POROSA BLANCA



En la Tabla 31 se da a conocer la relación porcentual utilizada de las arcillas colombianas para la formulación de porosa blanca, en donde se resalta que la F21, corresponde a la réplica de la F2 utilizando un segundo lote obtenido un año después de acopiado el primer lote de arcillas. Lo cual soporta las variaciones obtenidas en la formulación F21 a pesar de mantener las mismas proporciones, y argumentan la posibilidad de buena reproducibilidad en la medida en que las propiedades generales de esta formulación responden a las características técnicas exigidas.

4.10 POROSA BLANCA:

Tabla 31. Formulaciones porosa blanca

ARCILLA	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F21 (%)
3RÁQUIRA 2	30	25	40	25
4CÓMBITA 3	30	20	20	20
5SOGAMOSO 3	10	19		19
6RÁQUIRA 3	10	25	25	25
CARBONATOS	10	11	15	11

Tabla 32. Formulaciones para porosa blanca

Las Figura 62 a Figura 67 se representan el comportamiento técnico en las curvas de gresificación obtenidas para porosa blanca con las materias primas de las arcillas de Boyacá (Colombia). Alcanzando el

mejor comportamiento con las formulaciones dos y la réplica de la F21, ésta última resultado de un nuevo lote de muestra.

El intervalo de cocción no presenta mayores cambios, dándole una amplia estabilidad con lo cual es posible garantizar la producción de piezas cerámicas sin deformaciones.

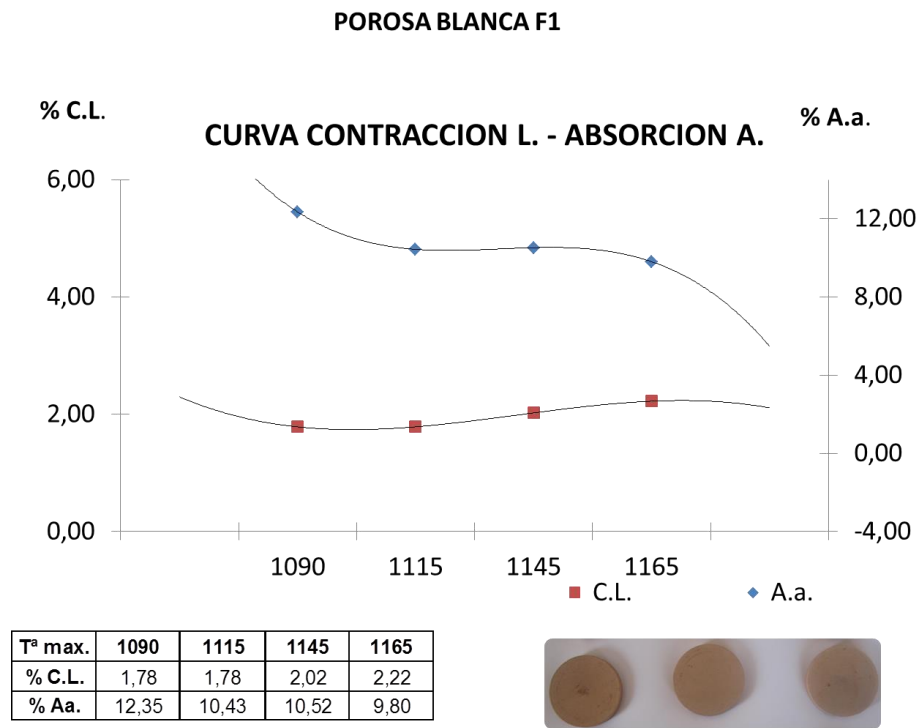


Figura 62. F1 POROSA BLANCA

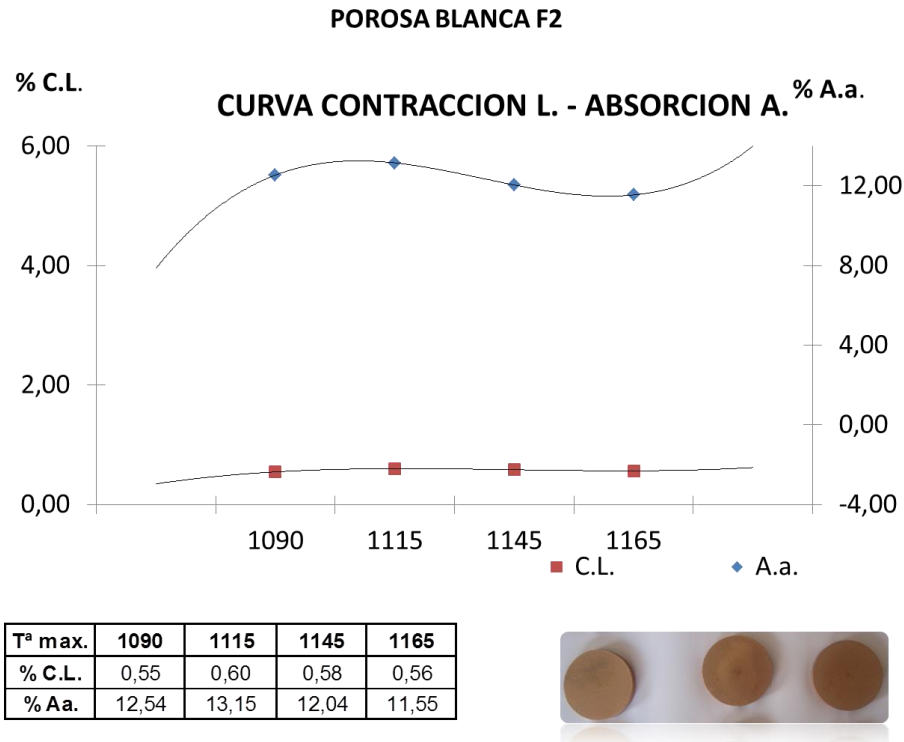


Figura 63. F2 POROSA BLANCA

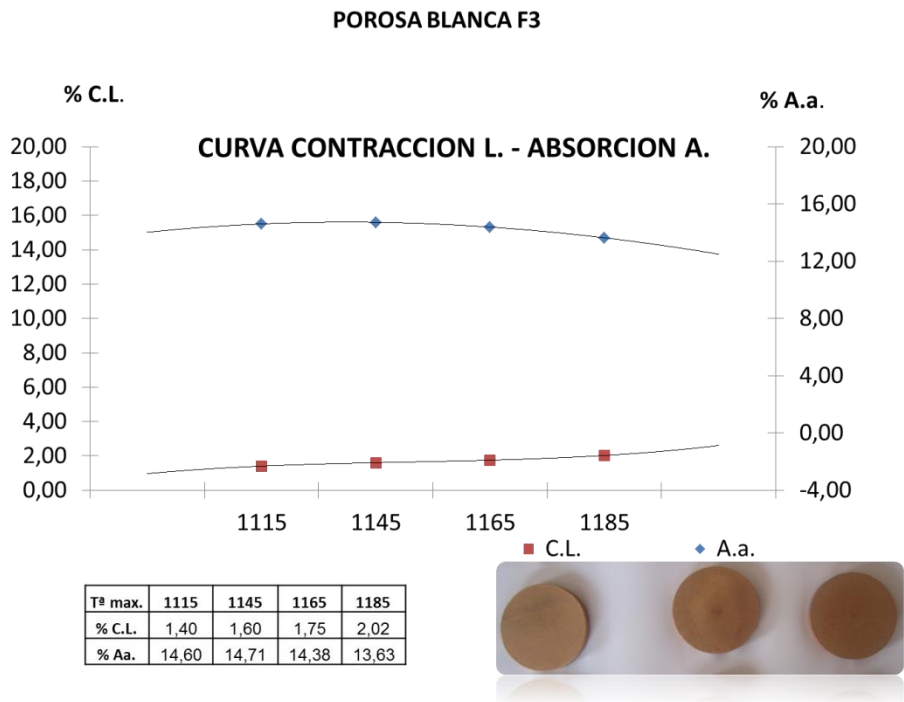


Figura 64. F21POROSA BLANCA.

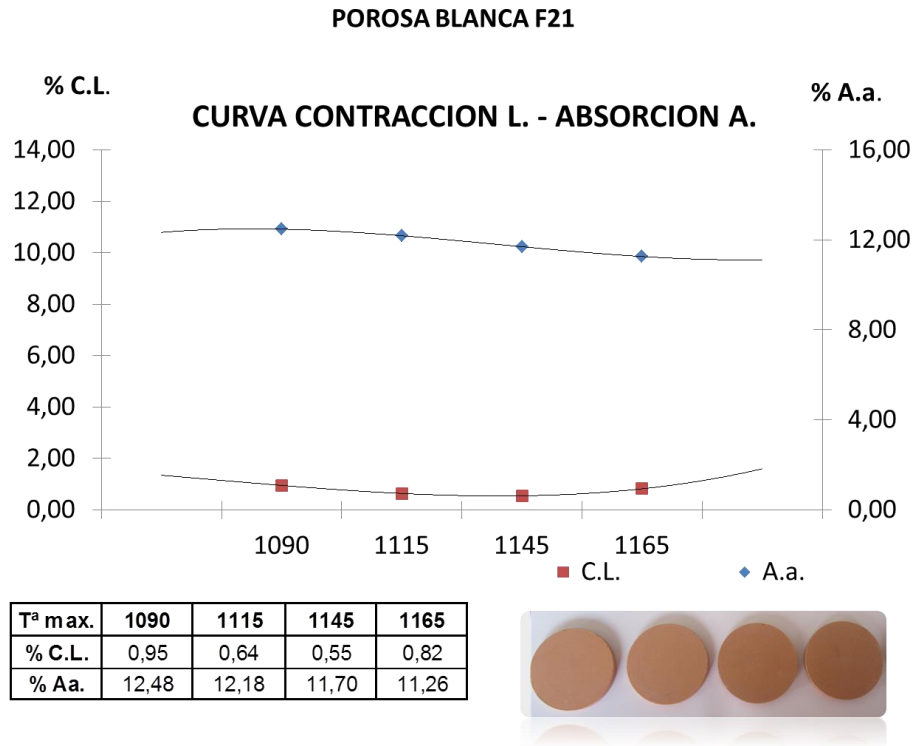


Figura 65. F3 POROSA BLANCA.

4.11 Porosa blanca con adición de caolín

La Figura 66 y Figura 67 representan el comportamiento de la porosa blanca al incorporar caolín a la formulación. Este caolín procede de la zona de Sogamoso (Boyacá) y se tomó sin procesamiento de la misma para la formulación F21 y en el segundo caso, el pulverizado de caolín que es el producto comercial. Mejorando las coordenadas cromáticas al

elegir la tendencia al blanco y disminuir las tonalidades amarillas de la formulación F21, obtenida solo con las arcillas como se reporta en la Tabla 33. No se observan modificaciones en las propiedades técnicas.

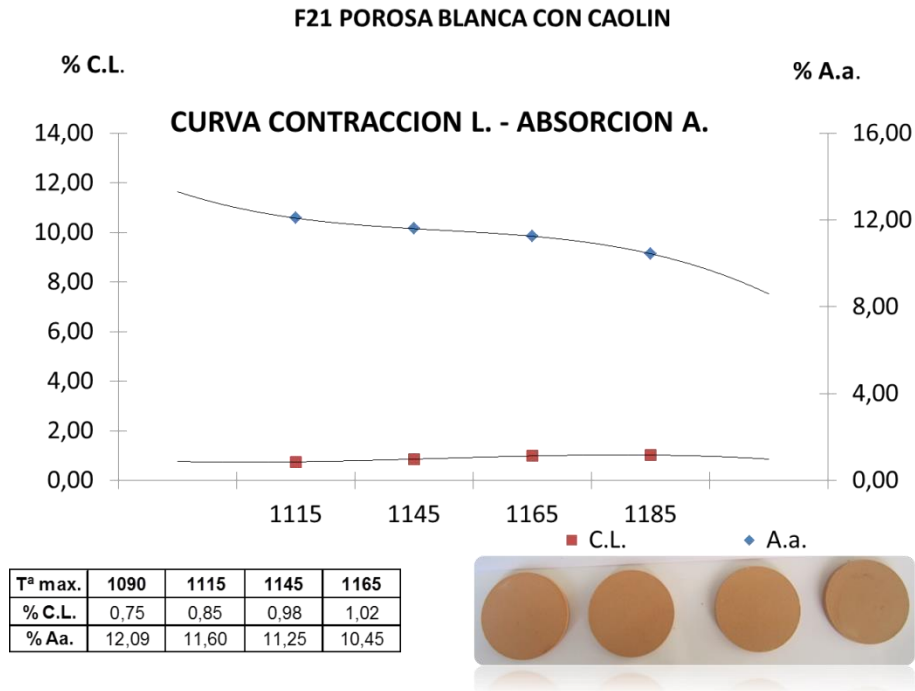


Figura 66.F21 MAS CAOLÍN POROSA BLANCA

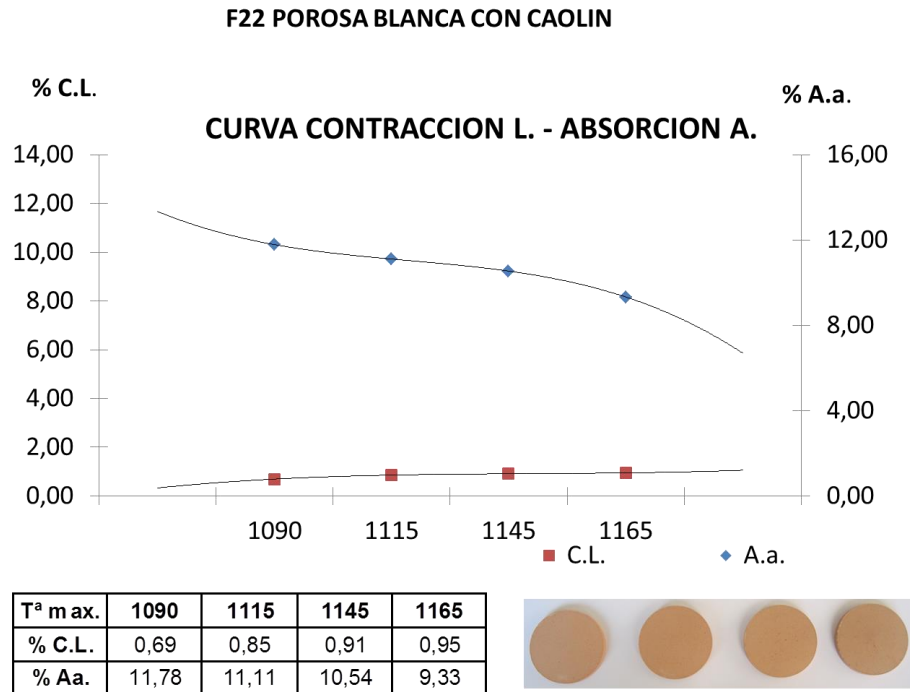


Figura 67. F22 MAS CAOLÍN POROSA BLANCA

Tabla 32, Tabla 33 Y Tabla 34 se presentan las características propias de la porosa blanca obtenida con materias primas europeas y se comparan con las obtenidas en los ensayos de caracterización cerámica sólidos preparados con materiales arcillosos colombianos observándose que la contracción lineal y la absorción de agua son superados para el caso de las arcillas colombianas y se asemejan a los de la arcilla española de alta alúmina presentados en la Tabla 33.

La Tabla 34 muestra la composición química para porosa blanca del Reino unido, Ucrania, España y Colombia encontrando la mayor correlación con la española.

Tabla 33. Resultados comparativos porosa blanca.

PARÁMETROS CERÁMICOS	ESPAÑOL A BAJA ALÚMINA	ESPAÑOLA ALTA ALÚMINA	IMPORTADA BAJA ALÚMINA	IMPORTADA ALTA ALÚMINA	COLOMBIA	
					F2	F21
(%)Al₂O₃	19-22	24-28	20-23	26-29	17,8	20,3
(%)Fe₂O₃	1,5-3,0	2,0-8,0	<1,0	1,0-1,5	2,0	2,4
Mineral de Fe	Siderita	Siderita/hermatita	-	-	-	-
(%) Contenido MO¹	20	80	0	5	0	0
Plasticidad	20	22	24	26	21,1 7	21,9 1

PARAMETRO CERÁMICO	ESPAÑOLA BAJA ALÚMINA	ESPAÑOL A ALTA ALÚMINA	IMPORTADA BAJA ALÚMINA	IMPORTAD A ALTA ALÚMINA	COLOMBIA		
					F2	F21	F22+ CAOLÍN
(%)CL²	6,5	7,2	6,25	9,28	0,60	0,64	0,85
(%) A.a.	5,1	1,5	3,85	0,06	13,5	11,6	11
L^{*4}	66,7	65	79	74			69,2
a^{*4}	6,3	5,5	2,5	2,6			12,7
b^{*4}	15,3	15,9	15,0	12,4			22,4

1. Materia orgánica
2. Contracción lineal
3. Absorción de Agua

4. Coordenadas cromáticas: L* = 100, blanco - L* = 0, negro - a* < 0, verde - a* > 0, rojo b*<0 azul b*>0 amarillo

Tabla 34. Comparativo, análisis químico porosa blanca

A. QUÍMICO		REINO UNIDO	UCRANIA	ESPAÑA	COLOMBIA	
					POBAF21	POBAF2
	SiO ₂	60-68	58	59-69,7	51,7	54,6
	Al ₂ O ₃	21-26	27	18,7-24,4	20,28	17,8
	Fe ₂ O ₃	0,8-1,3	0,9	1,8-3,2	2,35	2,05
	CaO	0,1-1,3	N.D	0,2-0,5	6,2	6,2
	MgO	0,3-0,4	ND	0,1-0,6	0,27	0,21
	Na ₂ O	0,4	3,1	0,1-0,3	0,19	0,2
	K ₂ O	2,3-2,4	3,1	0,9-2,0	1,18	0,7
	TiO ₂	0,3-1,5	1,5	0,8-1,2	0,9	0,9
PPC	5,5-7,8	7,4	6,3-8,1	10,2	12,1	

Tabla 35. Comportamiento comparativo durante la cocción.

PARAMETRO CERÁMICO	REINO UNIDO					UCRANIA		ESPAÑA			COLOMBIA		
	1	2	3	4	5			1	2	3	F2	F2 1	F22+ CAOLÍN
(%)CL ¹ 1100°C	9,4	7,6	6,0	7,2	3,1	6,3		1,9	4,6	4,6	0,55	0,69	0,69
(%)CL ¹ 1150°C	12,1	9,9	8,8	10,7	6,2	9,0		4,6	7,8	8,1	0,60	0,85	0,85
(%) A.a. 1100°C	5,8	5,7	7,1	7,9	10,0	6,3		11,4	8,5	10,6	12,6	12,8	11,8
(%) A.a. 1150°C	0,3	1,1	1,1	0,2	4,0	0,5		6,2	1,5	2,9	13,2	11,1	11,1

1. Contracción lineal
2. Absorción de agua

En la Tabla 36 se da a conocer la relación porcentual utilizada de las arcillas colombianas para la formulación de gres, en donde se resalta que la F13, corresponde a la lograda con un segundo lote obtenido un año después de acopiado el primer lote de arcillas. Y se observa una diferencia porcentual con la F1, F13 debido a que la réplica no presento el mismo comportamiento, por lo que fue necesaria la reformulación, una vez revisadas las características de las arcillas del segundo lote para modificar la formula y cumplir con las características técnicas exigidas para el gres.

4.12 GRES:

Tabla 36. Formulaciones gres

ARCILLA	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F12 (%)	F13 (%)
1CÓMBITA 4	30	25	40	30	35
2SOGAMOSO 3	30	25	30	30	35
5CÓMBITA 5	25	20	30	25	15
6RÁQUIRA 3	15	30	0	15	15

Las Figura 68 a Figura 73 representan el comportamiento técnico a través de las curvas de gresificación obtenidas para gres con las materias primas de las arcillas de Boyacá (Colombia). Alcanzando el mejor comportamiento con la F1 y la réplica de la F13, ésta última resultado de un nuevo lote de muestra.

La tendencia entre 1145 y 1185°C es la de aumentar las propiedades fundentes obteniendo el mayor porcentaje de contracción lineal a

1185°C de 6,46 y el menor de absorción de agua 3,85 a esta misma temperatura, con un amplio rango de estabilización, con lo cual se puede minimizar el impacto negativo de las variaciones de temperatura en el horno para la F13, con lo cual es posible garantizar la producción de piezas cerámicas sin deformaciones.

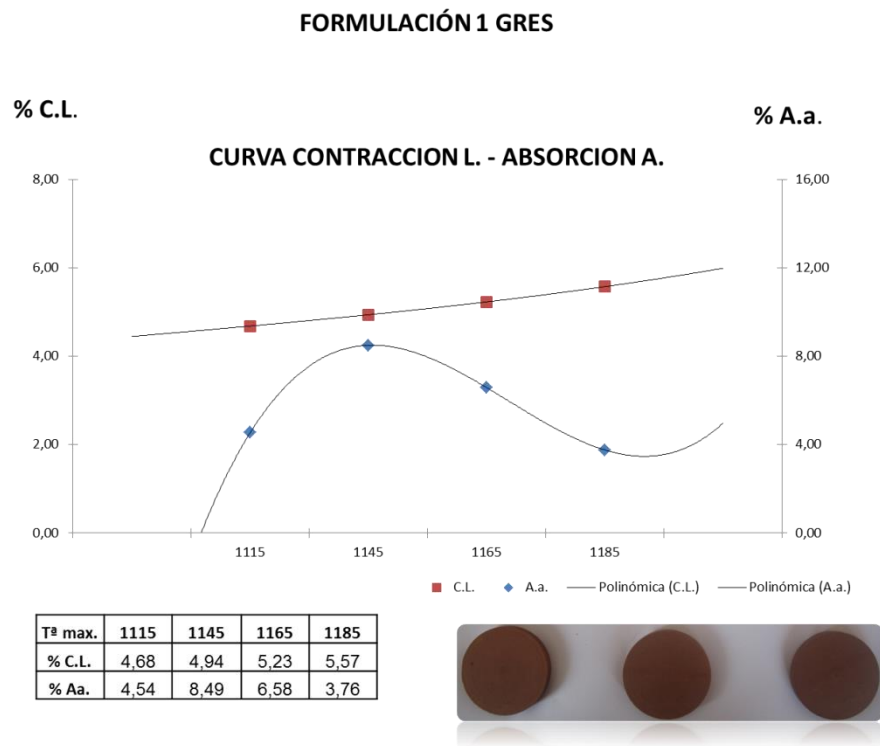
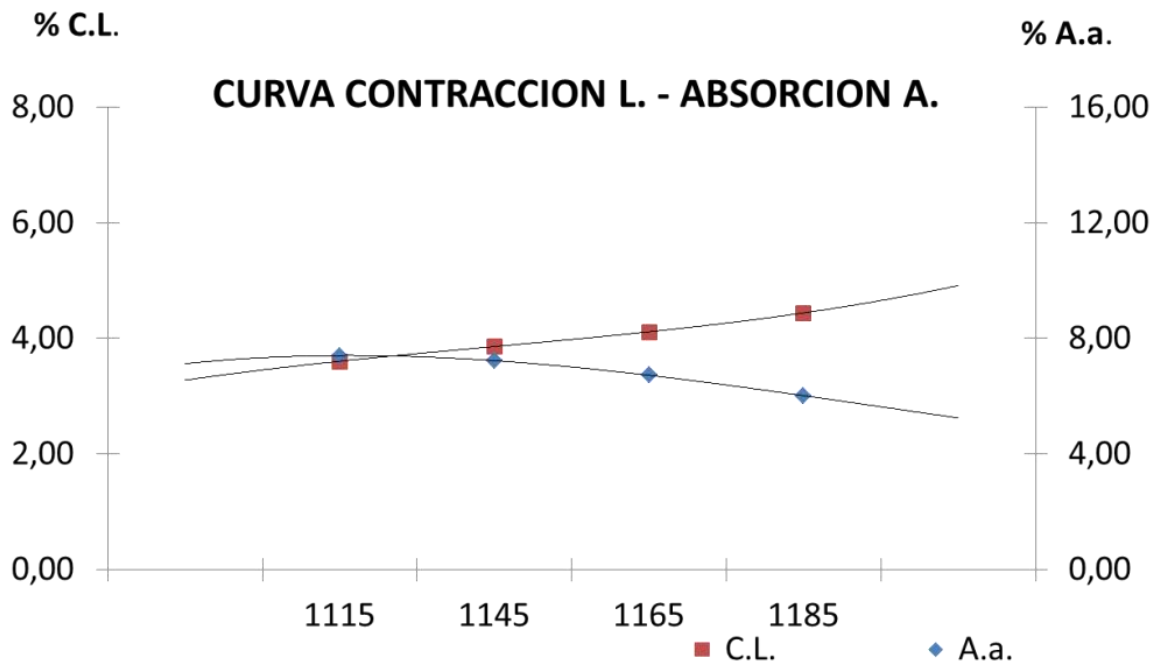


Figura 68. Gres F1

FORMULACIÓN 2 GRES



Tª max.	1115	1145	1165	1185
% C.L.	3,60	3,86	4,11	4,44
% A.a.	7,41	7,23	6,72	6,02



Figura 69.Gres, F2

FORMULACIÓN 3 GRES

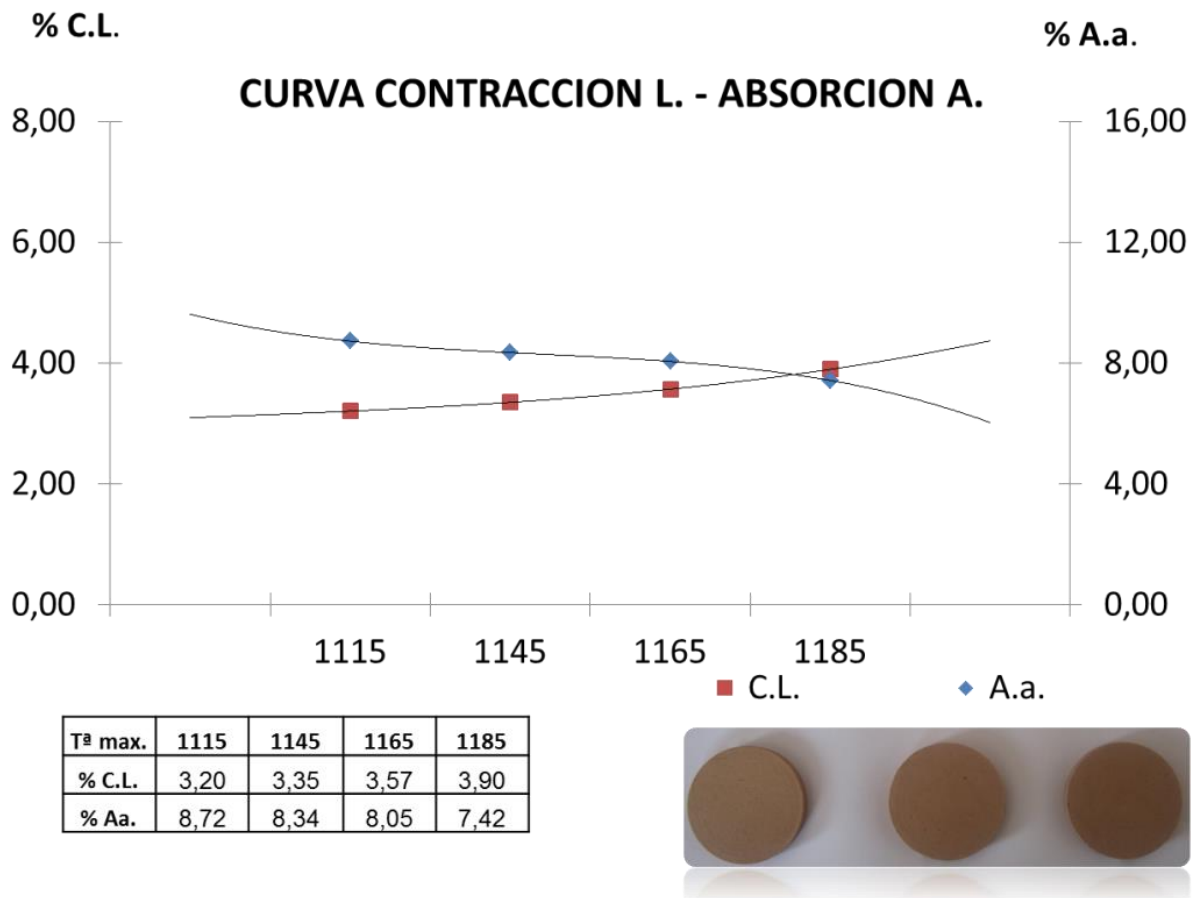


Figura 70.Gres, F3

FORMULACIÓN GF11

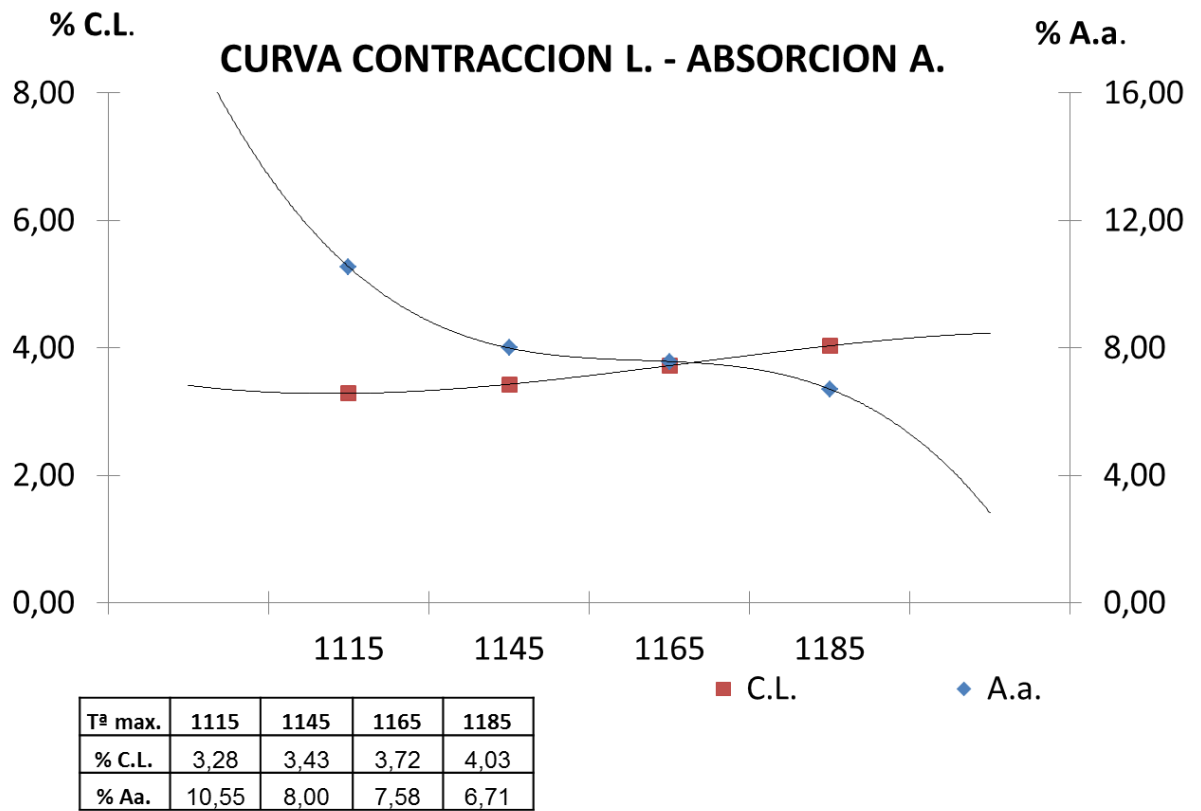


Figura 71.Gres F11

FORMULACIÓN GF12

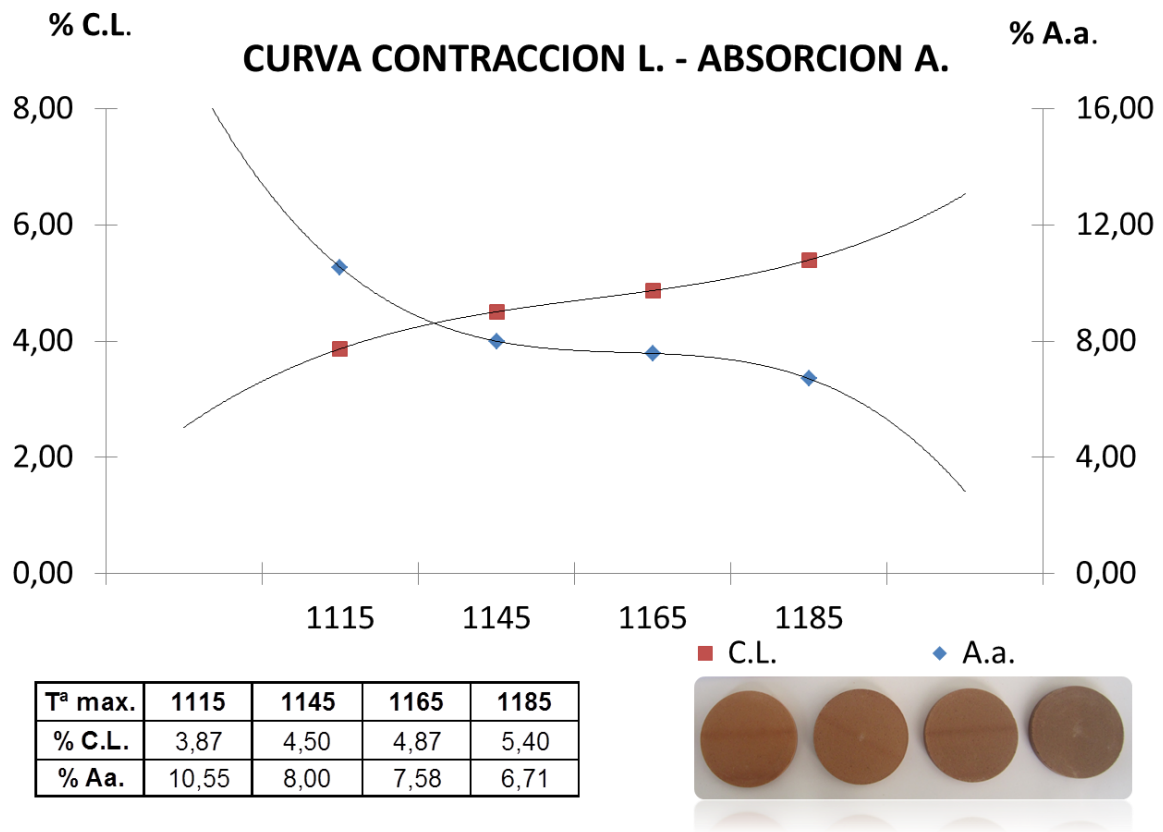


Figura 72. Gres F12

FORMULACIÓN PARA GRES GF13

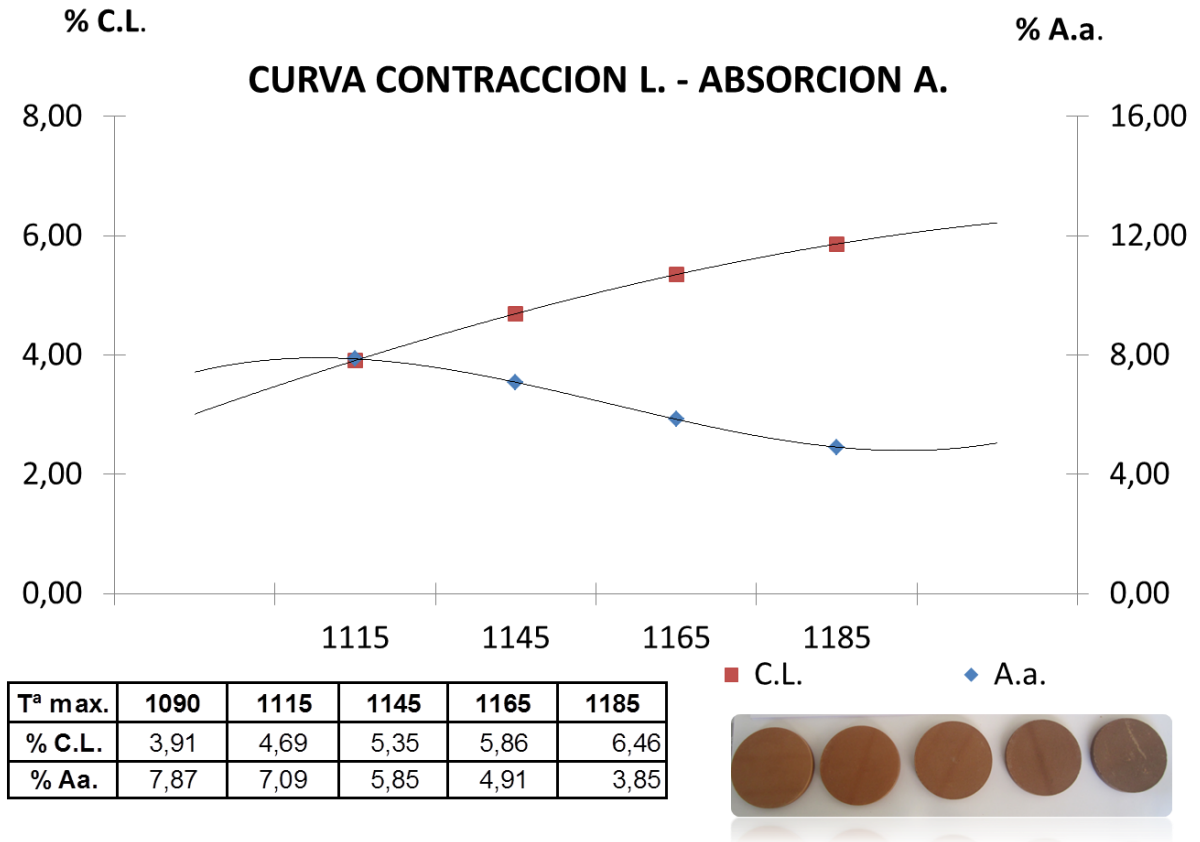


Figura 73. Gres, F13

En la Tabla 37 se presentan las características técnicas en crudo y en cocido obtenidas en la caracterización de las composiciones F1 y F13 obtenidas con materiales arcillosos colombianos y se observa como éstas responden correctamente a las exigidas por la comunidad europea, resaltando como la resistencia mecánica tanto en crudo como en cocido, es superada por las colombianas, factor importante para el manejo de la pieza.

Tabla 37. Características para gres

CARACTERÍSTICAS EN CRUDO	PAVIMENTO GRESIFICADO	COLOMBIA	
		F1	F13
Carbonatos (%)	<3	0	0
Presión de prensado (kgcm-2)	220-280	207	218
Humedad de prensado (%)	5-6	6	6
Expansión post-prensado (%)	<0,6	0,5	0,5
Contracción de secado (%)	<0,2	0,2	0,2
Resistencia mecánica (kgcm-2)	20-30	47	64

CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN	PAVIMENTO GRESIFICADO	COLOMBIA	
		F1	F13
Temperatura de cocción (°C)	1100-1180	1165	1165-1180
Contracción lineal de la cocción (%)	5-7 ALTA	5,6	6,2-7,4
Absorción de agua (%)	2-5	3,76	3,9-4,9
Resistencia Mecánica (kgcm-2)	250-350 MEDIA-ALTA		640 ALTA
Expansión por humedad (%)	DESPRECIABLE		DESPRECIABLE
Influencia T de cocción	ALTA		

GRES PORCELÁNICO



En la Tabla 38 se da a conocer la relación porcentual utilizada de las arcillas colombianas y la adición de fundentes como los feldespatos y el vidrio reciclado para la formulación de gres porcelánico, en donde se resaltando que las F13 a F17, corresponden a las logradas con un segundo lote obtenido un año después de acopiado el primer lote de arcillas respecto a las formulaciones F11 y F12.

4.13 GRES PORCELÁNICO:

Tabla 38. Formulaciones para gres porcelánico

ARCILLA	F11	F12	F14 (%)	F15 (%)	F16 (%)	F17 (%)
1CÓMBITA 4	21	27	30	25	40	30
2SOGAMOSO 3	21	27	40	25	30	30
5CÓMBITA 5	17,5	22,5	0	20	30	25
6RÁQUIRA 3	10,5	13,5	3	30	0	15
FELDESPATO ESPAÑOL	30		27			
FELDESPATO IBAGUÉ- FITSA				27		
FELDESPATO SOGAMOSO					27	
VIDRIO		10				10

Las Figura 74 a Figura 79 , representan el comportamiento técnico en las curvas de gresificación obtenidas para gres con materiales fundentes como feldespatos y vidrio reciclado con las materias primas de las arcillas de Boyacá (Colombia). Los resultados muestran que los feldespatos mejoran significativamente la gresificación pero no dan suficiente prestación para obtener un gres porcelánico rojo, excepto

para las formulaciones F12 y F17 donde se introduce un 10(%) de vidrio reciclado, alcanzando el mejor comportamiento con la F17.

La tendencia entre 1145 y 1185°C es la de aumentar las propiedades fundentes obteniendo el mayor (%) Contracción lineal a 1185°C de 7,79 y el menor (%) Absorción de agua de 0,42 a esta misma temperatura y con un amplio rango de estabilización térmica, situación que minimiza el impacto negativo de las variaciones de temperatura en el horno para la F17, permitiendo garantizar la producción de piezas cerámicas sin deformaciones.

FORMULACIÓN GF1 + 30% DE FELDESPATO

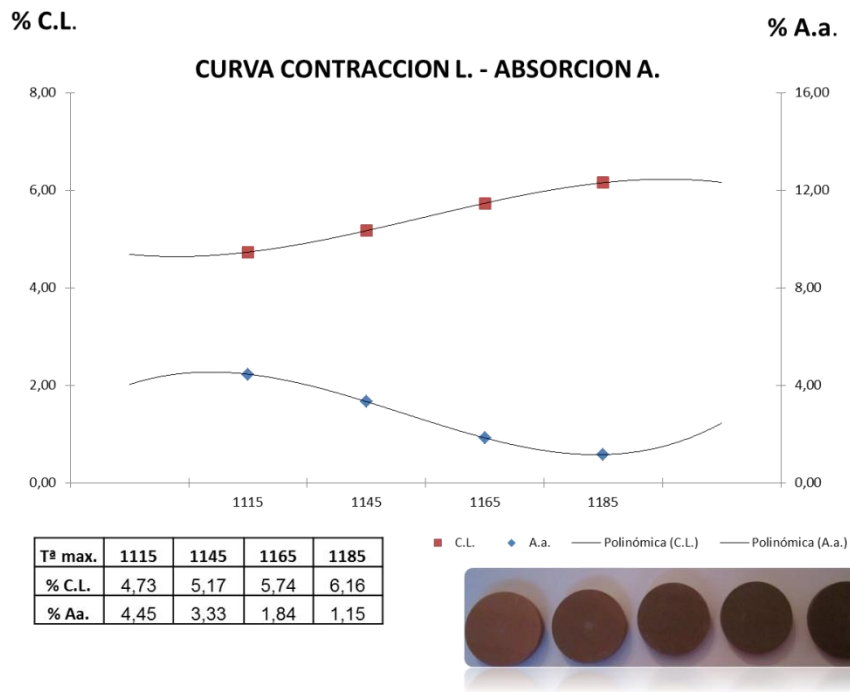


Figura 74. Curva de gresificación gres y feldespatos.

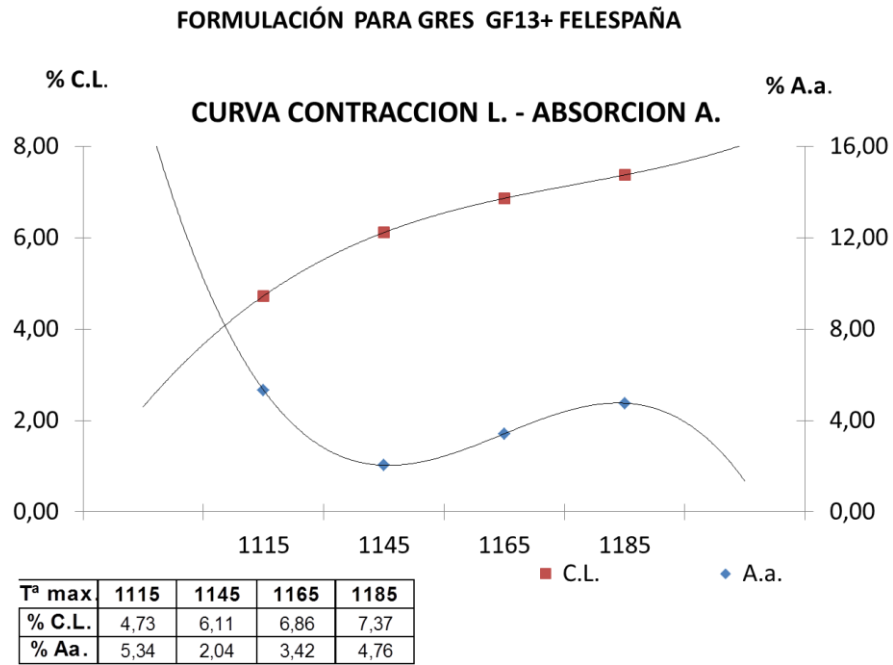


Figura 75. Curva de gresificación de gres con feldespatos español

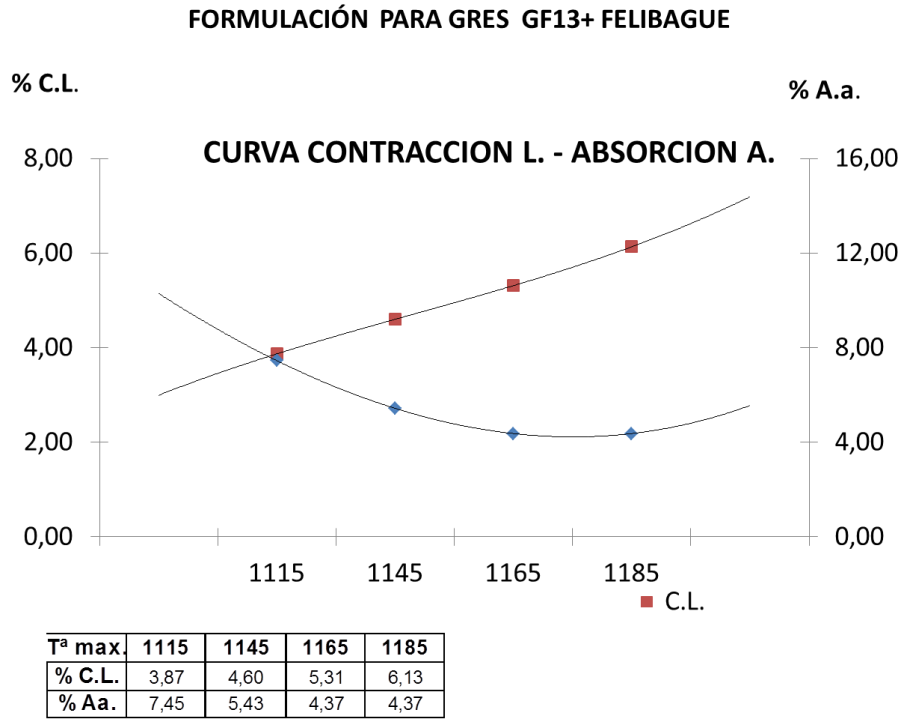


Figura 76. Curva de gresificación gres con feldespato de FITSA, Ibagué (Colombia).

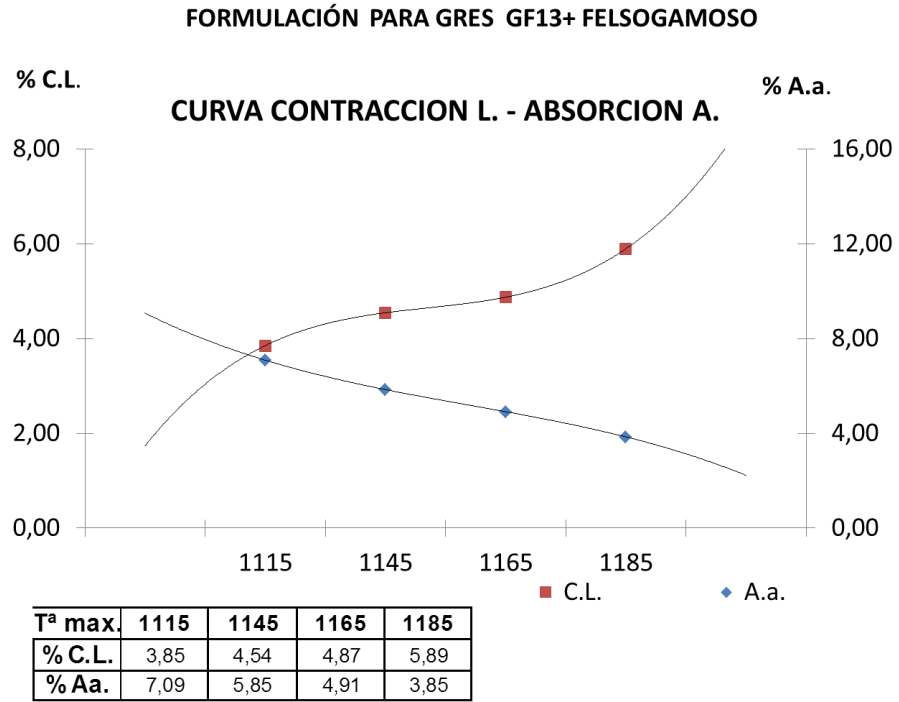


Figura 77. Curva de gresificación de gres con feldespato de Sogamoso

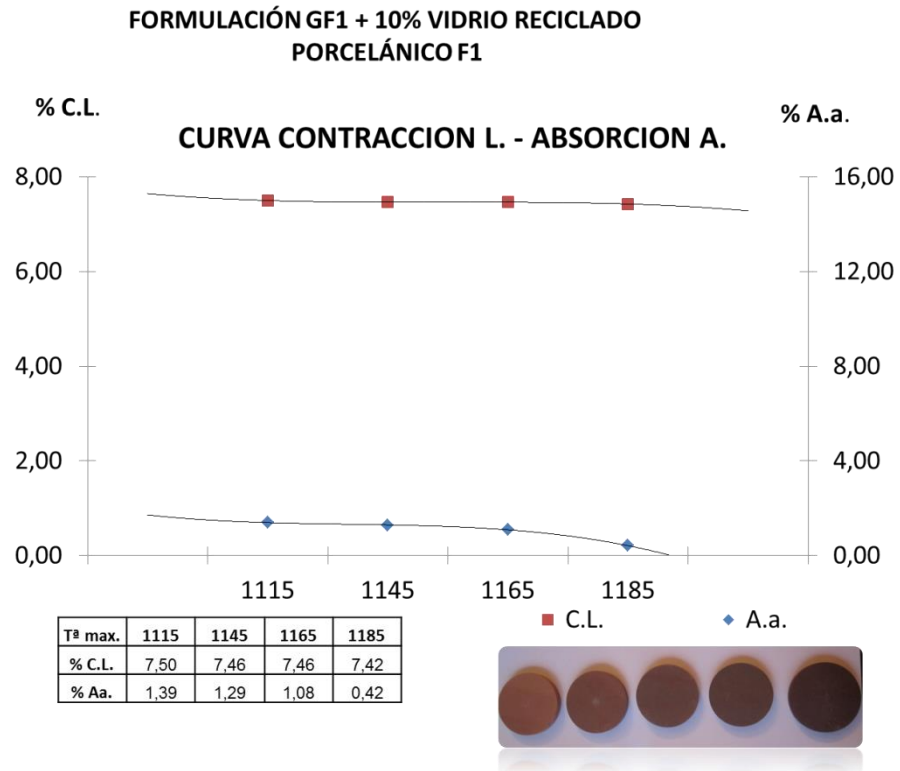


Figura 78. Curva de gresificación F1 para porcelánico con vidrio

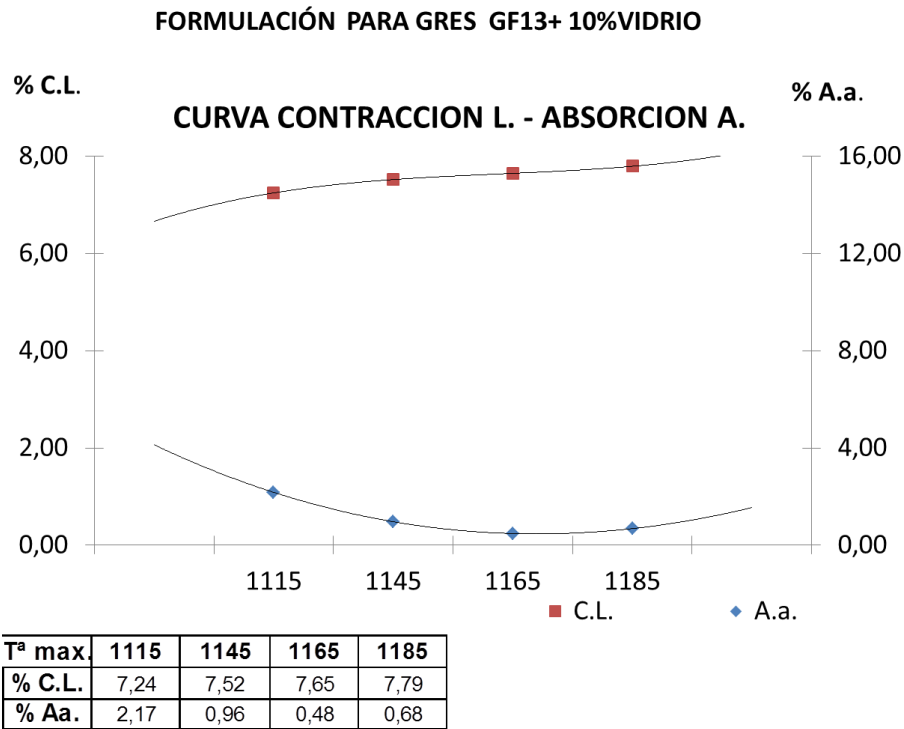


Figura 79. Curva de gresificación de porcelánico con vidrio

En la Tabla 39 se presentan las características técnicas en crudo y en cocido obtenidas en la caracterización de las composiciones F14 a F17 obtenidas con materiales arcillosos colombianos, feldespatos español, feldespatos colombianos y vidrio reciclado, los resultados reflejan una amplia mejoría a las propiedades del gres obtenidas con la adición de los feldespatos exaltando la F17 que refleja a condiciones de temperatura entre 1145 y 1165 (%)contracción lineal >a 0,1 y (%)Absorción de agua. mayor al 7,5 con lo cual se responde a las propiedades exigidas por la comunidad europea, resaltándose la resistencia mecánica, tanto en crudo como en cocido, que es superada por las colombianas, factor importante para el manejo de la pieza,

Tabla 39. Propiedades cerámicas para gres porcelánico

CARACTERÍSTICAS EN CRUDO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO COLOMBIANO				
		GF1+30(%) FELDESPATO	GF11+27(%) FELDESPATO			GF11+10(%) VIDRIO RECICLADO
			ESPAÑOL	IBAGUÉ	SOGAMOSO	
Carbonatos (%)	<0,1	0	0,04	0,03	0,03	0,06
Presión de prensado (kgcm-2)	300-400	213	210	240	240	204
Humedad de prensado (%)	5-6	5,9	6	6	6	6
Expansión post-prensado (%)	<1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
Contracción de secado (%)	<0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Resistencia mecánica (kgcm-2)	25-35	45	58	59	53	59

CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO COLOMBIANO					
		GF1+30(%) FELDESPATO	GF11+27(%) FELDESPATO			GF11+10(%) VIDRIO RECICLADO	
			ESPAÑOL	IBAGUÉ	SOGAMOSO		
Temperatura de cocción (°C)	1180-1230	1145-1165	1165	1165	1165	1145	1165
Contracción lineal de la cocción (%)	7-9 MUY ALTA	6,16	7,15	5,75	5,68	7,52	7,65
Absorción de agua (%)	<0,1	1,15	4,76	3,16	4,91	0,96	0,48
Resistencia Mecánica (kgcm-2)	350-450 ALTA	598	602	442	420	665	710
Expansión por humedad (%)	CASI NULA						
Influencia T de cocción	BAJA						

En la Tabla 40 se da a conocer la relación porcentual utilizada de las arcillas colombianas para la formulación de gres con residuos de ceniza y escoria de los hornos de centrales termoeléctricas.

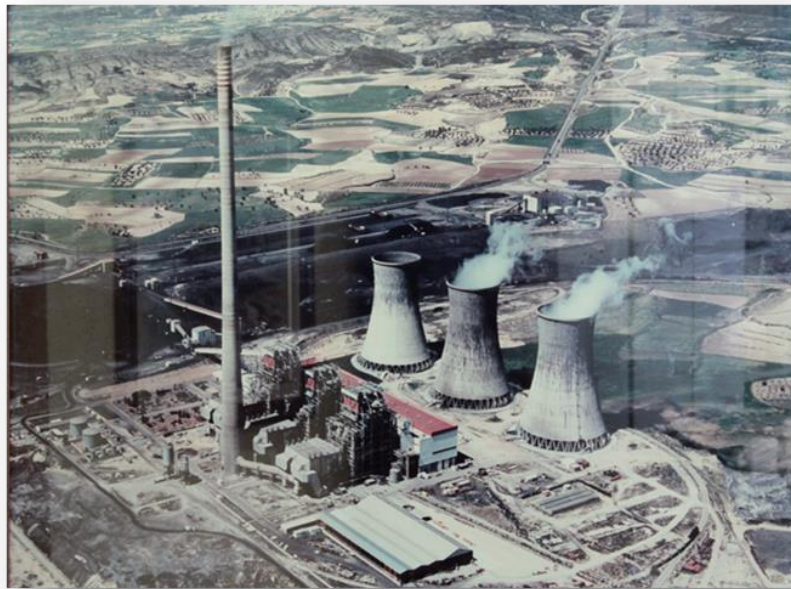


Figura 80 . Vista panorámica central termoelectrica de Andorra en Teruel – España.

Tabla 40. Formulaciones de gres con residuos.

ARCILLA	F6	F7	F8	F9
1CÓMBITA 4	27	27	27	27
2SOGAMOSO 3	27	27	27	27
5CÓMBITA 5	22,5	22,5	22,5	22,5
6RÁQUIRA 3	13,5	1,5	13,5	13,5
CENIZA	10			
ESCORIA		10		
CENIZA - VIDRIO			5-5	
ESCORIA-VIDRIO				5-5

Las Figura 81 a Figura 83 representan el comportamiento técnico en las curvas de gresificación obtenidas para gres con materiales de residuos del sector industrial de cenizas, escorias y vidrio reciclado con las materias primas de las arcillas de Boyacá (Colombia). Los resultados muestran que estos residuos mejoran significativamente la gresificación pero no alcanzan para obtener un gres porcelánico rojo excepto para las formulaciones F12 y F17 donde se introduce un 10(%) de vidrio reciclado alcanzando el mejor comportamiento con la F17.

La tendencia entre 1145 y 1185°C es la de aumentar las propiedades fundentes tanto en las formulaciones que tienen ceniza como escoria observándose un mejor comportamiento en la ceniza que en la escoria por lo que la combinación ceniza vidrio supera los resultados obteniéndose el mayor (%) contracción lineal a 1165°C de 7,12 y el menor (%) Absorción de agua de 0,96 lograda con la composición formada por las arcillas (90%), la ceniza (5%) y el vidrio (5%) a esta misma temperatura y con un amplio rango de estabilización térmica, posibilitando disminuir el impacto negativo de las variaciones de temperatura en el horno para la F17, permitiendo garantizar la producción de piezas cerámicas sin deformaciones.

Esta experiencia permite establecer las propiedades fundentes del vidrio como un elemento significativo para la obtención del porcelánico ya que en todas las composiciones en las cuales se incluyó sin superar el 10(%) mejoró significativamente las condiciones de contracción y porosidad en el gres hasta el punto de llevarlo a un gres porcelánico rojo.

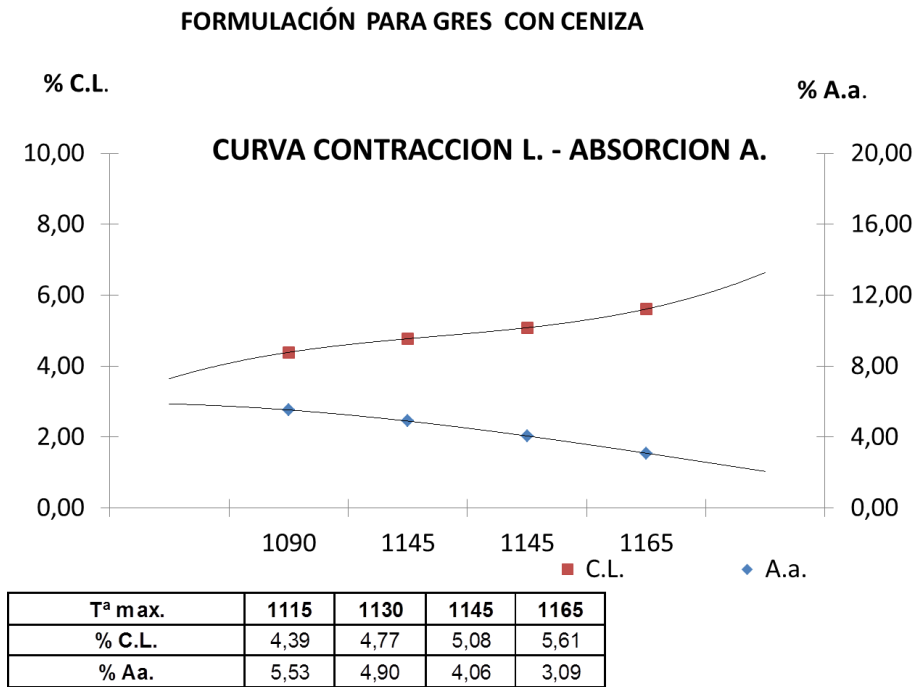


Figura 81. Gres con escoria

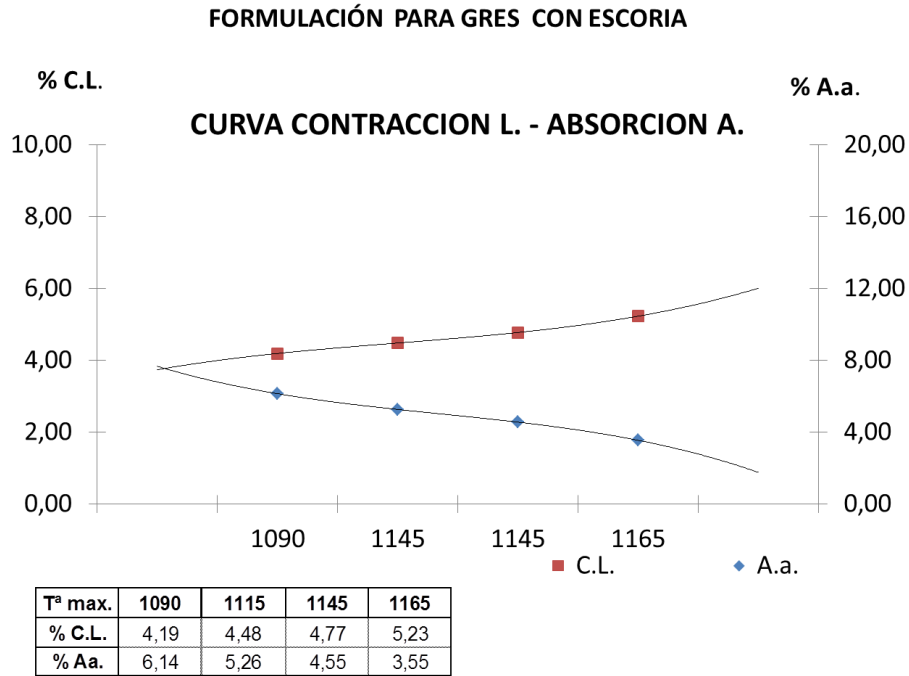


Figura 82. Gres con escoria

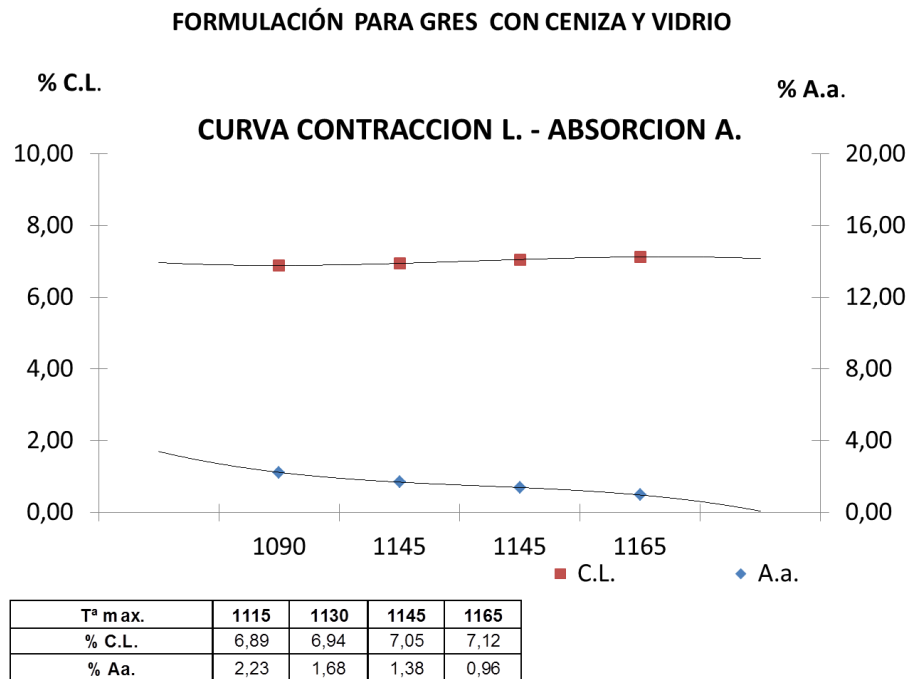


Figura 83. Gres con ceniza y vidrio

La formación de corazón negro en estas composiciones al igual que lo ocurrido con la porosa roja se repite, con mayor intensidad, por lo que es necesario estudiar a mayor profundidad la manera de aprovechar el poder fundente de éstos materiales eliminando la incidencia de la materia orgánica que éstas aportan a la composición. Una desventaja notable para este caso ya que la materias primas originales reportan 0% de materia orgánica.

En la Tabla 41 se presenta la formulación para porcelánico con una combinación entre vidrio y feldespato, estudiados independiente el de FITSA- Ibagué Tolima y el de Sogamoso Boyacá (Colombia), y con el interés de blanquear el porcelánico se incorpora caolín a la formulación en los porcentajes aquí descritos.

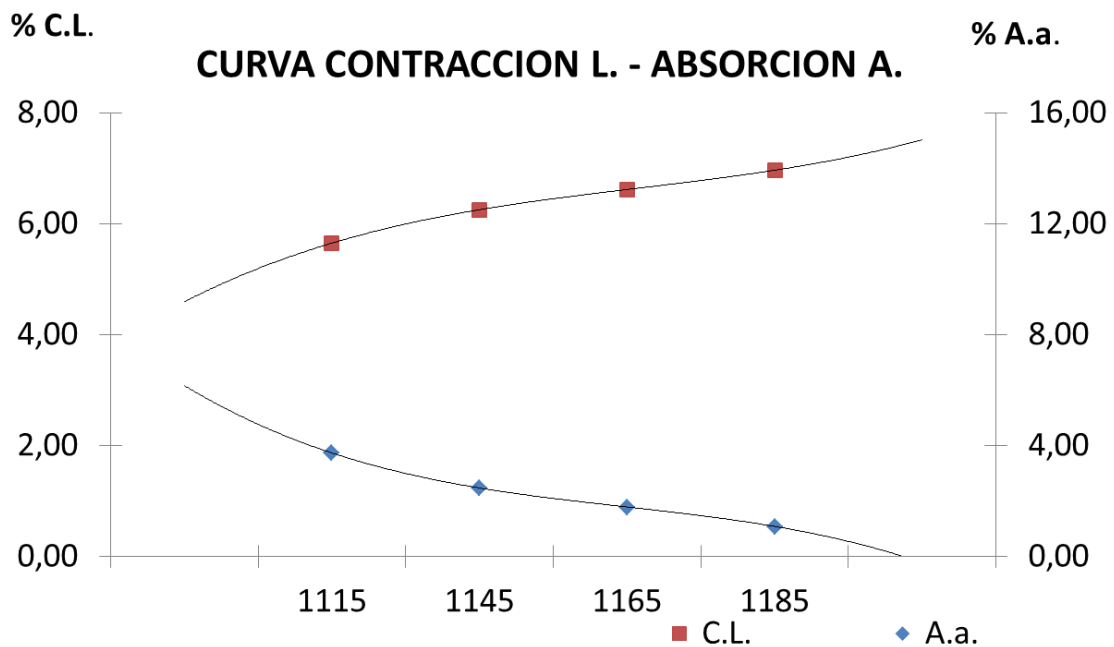
Tabla 41. Formulación porcelánico por combinación con feldespato y vidrio

ARCILLA	F110	F11	F12
1CÓMBITA 4	37	37	30
2SOGAMOSO 3	47	47	47
5CÓMBITA 5	0	0	0
6RÁQUIRA 3	6	6	6
VIDRIO	5	5	5
F. IBAGUÉ	5		
F. SOGAMOSO		5	
CAOLÍN			7

Las Figura 84 a Figura 86 representan el comportamiento técnico en las curvas de gresificación obtenidas de combinación de vidrio y feldespato

con las materias primas de las arcillas de Boyacá (Colombia). Los resultados muestran que la presencia de el feldespato de Sogamoso y el caolín de ésta misma zona le dan el carácter porcelánico al gres con una contracción lineal de 6,8% y una absorción de agua de 0,15% a 1145°C, con lo que se reduce la temperatura de vitrificación de manera significativa y despertando un alto grado de interés y estudio para esta composición y su potencial en la oportunidad que esta formulación ofrece al sector industrial. Especialmente si se trabaja por vía seca.

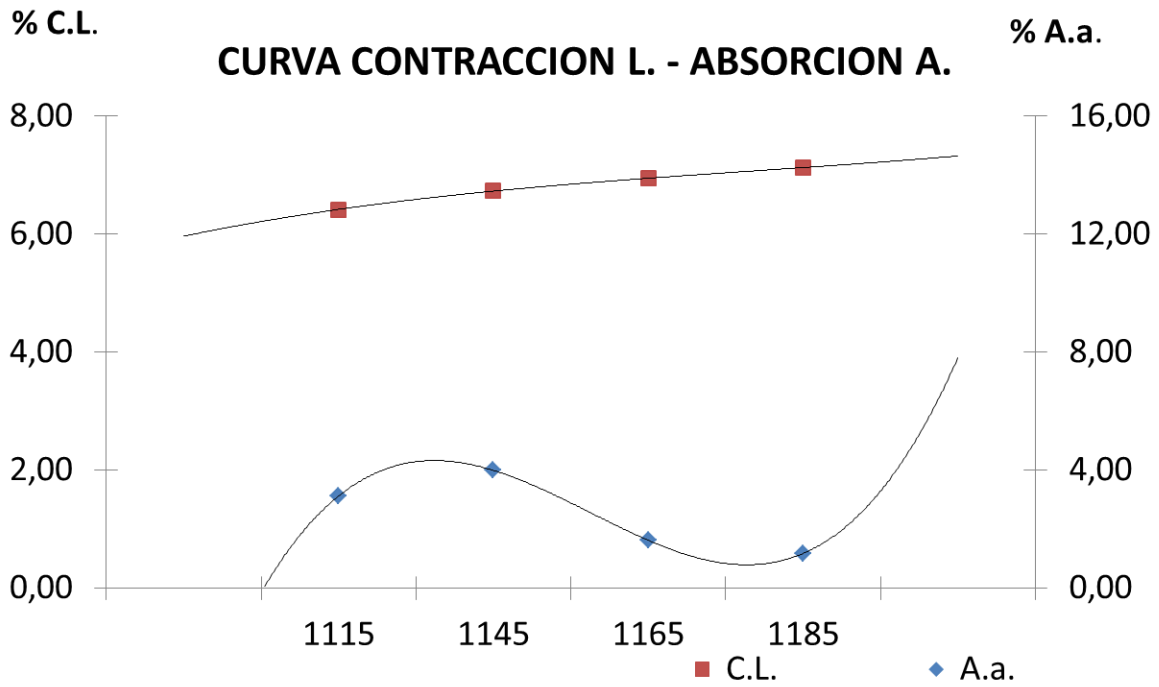
GRES GF13+ 5%VIDRIO +5%FEDESPATO IBAGUE



T ^a max.	1115	1145	1165	1185
% C.L.	5,65	6,25	6,61	6,96
% A.a.	3,73	2,47	1,78	1,08

Figura 84. Curva de gresificación para porcelánico con vidrio y feldespato

GRES GF13+ 5%VIDRIO +5%FELDESPATO SOGAMOSO



Tª max.	1115	1145	1165	1185
% C.L.	6,42	6,73	6,94	7,13
% A.a.	3,11	3,98	1,61	1,17

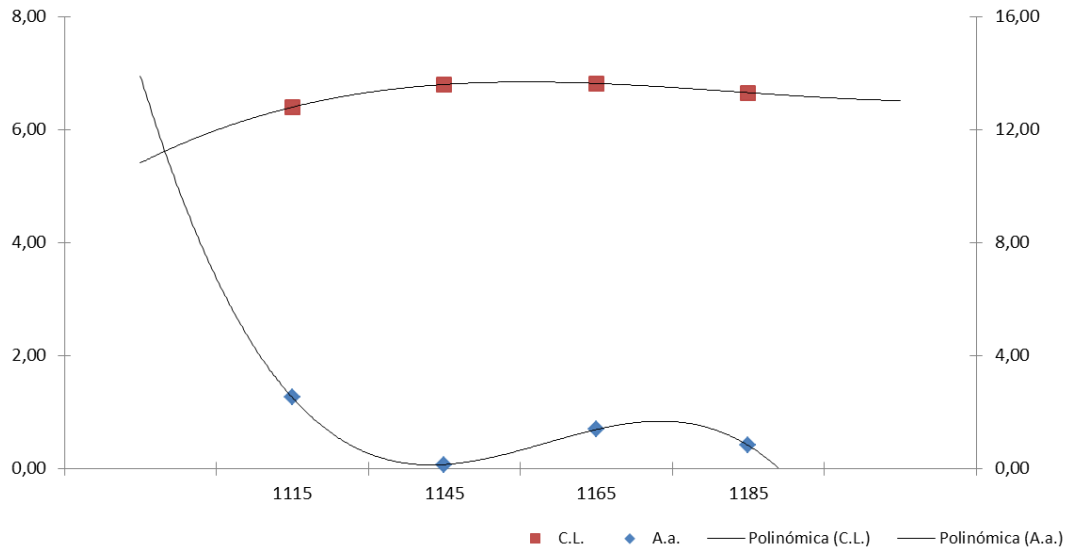
Figura 85. Curva de gresificación para porcelánico con vidrio y feldespato

GRES GF13+ 5%VIDRIO +5%F.SOGAMOSO + CAOLIN

% C.L.

% A.a.

CURVA CONTRACCION L. - ABSORCION A.



Tª max	1115	1145	1165	1185
% C.L.	6,40	6,80	6,81	6,65
% A.a.	2,52	0,15	1,39	0,83

Figura 86. Curva de gresificación para porcelánico con vidrio, feldespato y caolín.

Los resultados comparativos presentes en la Tabla 42 reflejan la incidencia del vidrio en la composición del porcelánico y la favorabilidad del feldespato proveniente del yacimiento de Sogamoso y que combinados con el caolín, favorecen las propiedades para el porcelánico, pero no hay una incidencia sobre la coloración manteniéndose el rojo intenso.

Tabla 42. Comparativo de porcelánico combinación vidrio y feldespatos

CARACTERÍSTICAS EN CRUDO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO COLOMBIANO		
		GF13+5(%) VIDRIO RECICLADO +5(%) FELDESPATO		GF13+5(%) VIDRIO RECICLADO +5(%) FELDESPATO + 7(%) CAOLÍN
		IBAGUÉ	SOGAMOSO	
Carbonatos (%)	<0,1	0,05	0,05	0,06
Presión de prensado (kgcm⁻²)	300-400	400	400	350
Humedad de prensado (%)	5-6	5,8	5,7	5,7
Expansión post-prensado (%)	<1,0	0,8	0,8	0,8
Contracción de secado (%)	<0,3	0,3	0,3	0,3
Resistencia mecánica (kgcm⁻²)	25-35	59	53	59

CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO	PAVIMENTO GRES PORCELÁNICO COLOMBIANO		
		GF13+5(%) VIDRIO RECICLADO +5(%) FELDESPATO		GF13+5(%) VIDRIO RECICLADO +5(%) FELDESPATO + 7(%) CAOLÍN
		IBAGUÉ	SOGAMOSO	
Temperatura de cocción (°C)	1180-1230	1165-1185	1165-1185	1145-1165
Contracción lineal de la cocción (%)	7-9 MUY ALTA	6,61-6,96	6,94-7,13	6,80-6,81
Absorción de agua (%)	<0,1	1,78-1,08	1,61-1,17	0,15-1,39
Resistencia Mecánica (kgcm⁻²)	350-450 ALTA			
Expansión por humedad (%)	CASI NULA	0,3	0,3	0,3
Influencia T de cocción	BAJA			

4.14 Ensayos de cocción con horno láser.

Las probetas de porosa, gres y porcelánico se sometieron a cocción a través de un horno modificado con tecnología láser en el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón de la Universidad de Zaragoza, en el marco del proyecto Laser Firing.

Con las siguientes condiciones:

Tabla 43. Condiciones cocción horno láser.

MUESTRA	T° HORNO CONVENCIONAL (°C)	T° HORNO LASER	POTENCIA DEL LÁSER (w)	Velocidad lineal (mm/h)	Longitud lineal 310	Velocidad del haz (mm/s)	Irradiación (W/cm ²)	Incubación (W/cm ²)
POROSA	1115	965	1500	4000	310	12500	15	6,27
		945	2000	4000	310	12500	20	8,37
GRES	1145	995	1500	4000	310	12500	15	6,27
		945	2000	4000	310	12500	20	8,37
PORCELÁNICO	1145	995	1500	4000	310	12500	15	6,27
		945	2000	4000	310	12500	20	8,37



Figura 87. Horno Laser. Universidad Zaragoza.

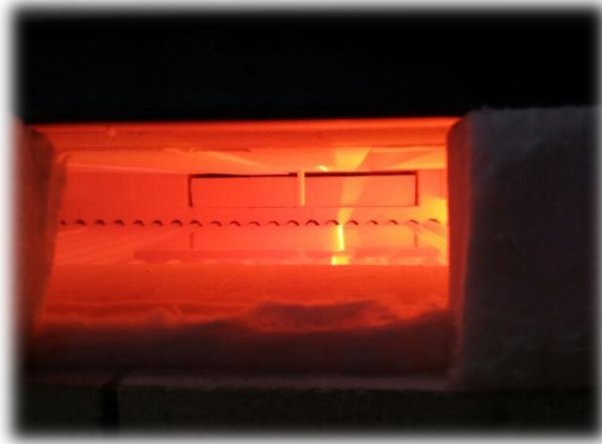


Figura 88. Cocción con sistema láser



Figura 89. Probetas saliendo de cocción con aplicación de tecnología láser.

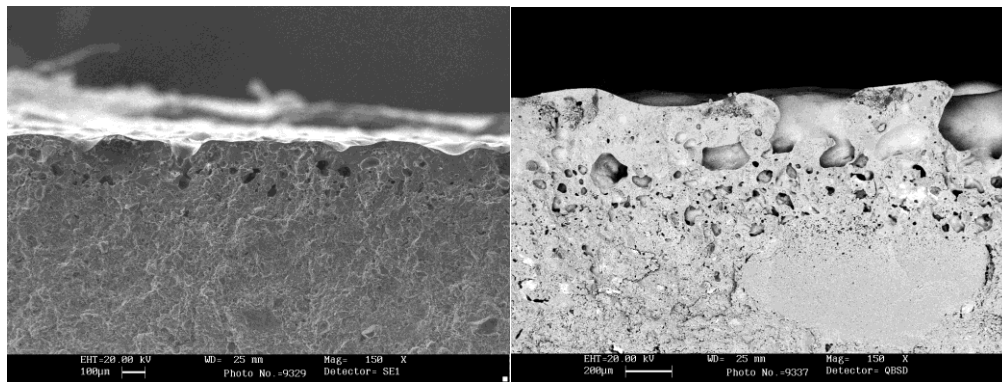


Figura 90. Micrografías cocción láser de porosa

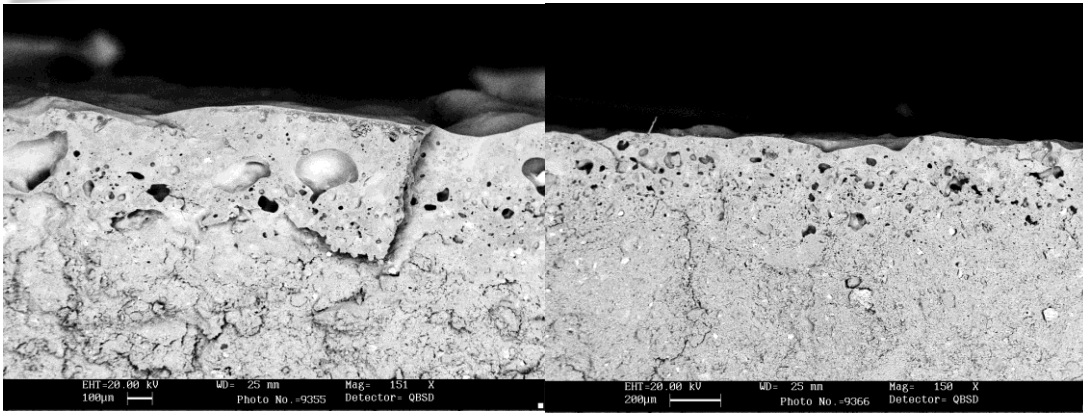


Figura 91. Micrografías de gres con horno láser

Las micrografías muestran cómo es posible incidir sobre la capa superficial obteniendo sinterización en la capa más externa y reduciendo la temperatura de cocción convencional en 170°C y 200°C para el gres y el porcelánico, con lo cual se da un inicio para la evaluación de ésta técnica en la obtención de pavimentos y revestimientos cerámicos en condiciones más favorables para el cuidado y protección ambiental.

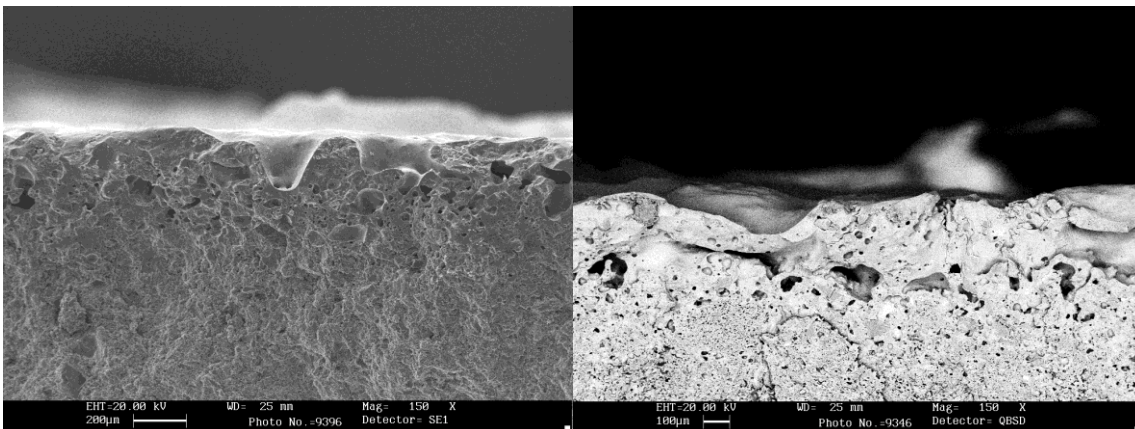


Figura 92. Micrografía de porcelánico con horno láser.

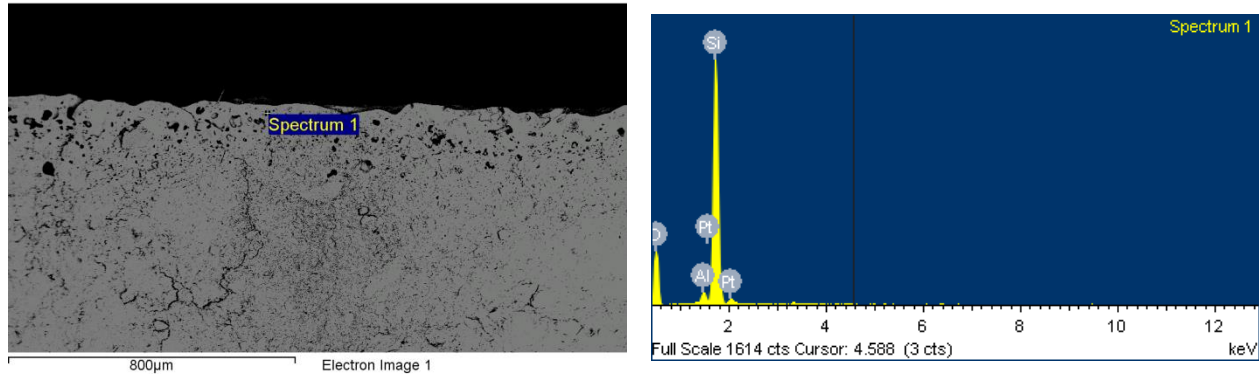


Figura 93. Micrografía electrónica y análisis elemental (superficie) por microsonda EDAX.

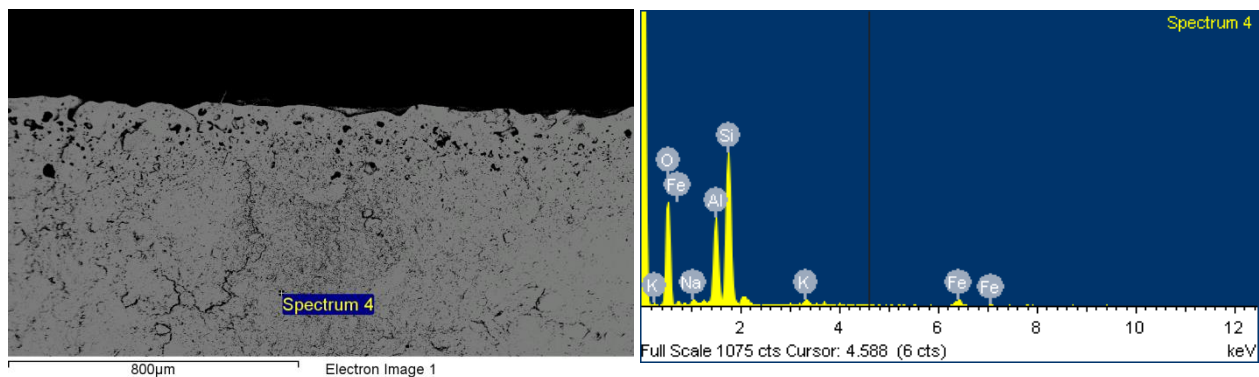


Figura 94. Micrografía electrónica y análisis elemental (bloque) por microsonda EDAX.

Los espectros de fluorescencia de rayos X sugieren que existe una tendencia a la formación de compuestos superficiales ricos en silicio con una proporción relativamente baja de aluminio (cerca del 3%). A diferencia de la región que no fue afectada con una tendencia inversamente proporcional. Teniendo en cuenta el diagrama de equilibrio de fases del sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, según Arawaki y Roy, las fases más probables, de acuerdo con la composición observada y la

temperatura, son sílica (seguramente en la forma de cristobalita) y mullita.[76] La confirmación de este hecho requiere de estudios más detenidos de la superficie del cuerpo cerámico.

Como proyección del uso de estas materias primas y de acuerdo a sus propiedades de alta viscosidad y resistencia mecánica se establece un alto potencial para trabajarlas a través de la técnica de vía seca para la obtención de granulados cerámicos: para porosa, gres y porcelánico; el cual consiste en que las materias primas y sus formulaciones se incorporan al sistema de producción granular que inicia con incorporar las materias primas por separado o si se prefiere la formulación a través de un molino pendular que ofrece la posibilidad de secar las materias primas húmedas durante la molienda y proporciona un material arcilloso de hasta 63 μm ; previo a la granulación las materias primas molidas conjunta o individualmente son mezcladas en seco y homogenizadas, momento en el cual pueden incorporarse aditivos o pigmentos según las necesidades del cliente, luego de esto se procede a humectar en un

rango del 11-13%. Y se pasa por el granulador, obteniéndose una pasta cerámica granular que puede ser prensada con una alta densidad aparente y una distribución óptima del tamaño granular facilitando el prensado óptimo de baldosas tradicionales o de nueva generación como son las delgadas y de gran formato, entre otras. La proporción entre el nivel de llenado y la baldosa prensada es de aproximadamente 1,8 en el caso de las peletizadas y 2,5 a 2,8(%) en el atomizado haciendo que el desmoldeo sea más fácil. Este proceso de granulación favorece:

- ✓ La determinación del tamaño granulado, mediante el ajuste de la velocidad del rotor, así como de la humedad y el tiempo de granulación.
- ✓ El ajuste de distribución granulométrica y del tamaño granular a las exigencias de los productos finales.
- ✓ La limpieza rápida y fácil de la mezcladora granuladora después de la elaboración de masas coloreadas.
- ✓ Una alta productividad de granos de tamaño correcto
- ✓ La fabricación reproducible de gránulos de diferentes tamaños y colores.
- ✓ La posibilidad de recubrir el granulado con pigmentos en la misma mezcladora.

Lo anterior es una oportunidad de desarrollo para la producción cerámica en Colombia debido a que a través de ésta técnica se facilitan

procesos de producción sostenibles para el medio ambiente ya que reduce alrededor de un 60% los consumo de luz y agua en el proceso de producción adicionalmente las formulaciones de porcelánico que aquí se presentan permiten la incorporación de hasta un 10% de vidrio reciclado con lo cual es más factible alcanzar un producto de sello verde colombiano atendiendo a la normatividad y protocolos exigidos, por lo anterior es posible reconocer en la técnica del granulado con materias primas colombianas una oportunidad de competitividad en el mercado nacional e internacional cerámico.

5. CONCLUSIONES

5 CONCLUSIONES

El análisis mineralógico de todas las arcillas estudiadas, indica la presencia de cuarzo y minerales arcillosos (illitica) y, para las originarias de Ráquira, se destaca además la presencia de montmorillonita, pirofilita y feldespato.

Del análisis fisicoquímico se destaca la variación en el contenido de alúmina para las diferentes arcillas que otorgan el carácter caolínico a las mismas.

Teniendo en cuenta los diagramas de gresificación, las arcillas estudiadas presentan un comportamiento adecuado para ser utilizadas como componentes en formulaciones de pastas cerámicas tradicionales: porosa roja, porosa blanca, gres y gres porcelánico rojo, destinadas a la fabricación de revestimientos y pavimentos cerámicos.

La adición de minerales arcillosos como los carbonatos, el feldespato, el caolín también presentes en la región facilitan la obtención de productos cerámicos, mejorando las condiciones de blanqueamiento con el caolín, y las propiedades del gres con los feldespatos y siendo más favorable el que se origina en Sogamoso.

El potencial de uso de estas arcillas para producir cerámica ecológica es significativo en la medida en que se obtiene un producto competitivo como es el gres porcelánico rojo incorporando a la fórmula vidrio

reciclado, consiguiendo a demás disminuir la temperatura de producción alrededor 200°C y aún 400°C. con lo cual el ahorro energético de producción es significativo.

El estudio de estas pastas para productos cerámicos se analizó dentro de un proceso de última tecnología como es el sistema granular o proceso de producción de pasta cerámica por vía seca. Encontrando un potencial de uso óptimo por la posibilidad de disminuir el uso de defloculantes, reducir el consumo de agua y energía alrededor de un 60%.

Se demostró el potencial de uso de residuos industriales como la ceniza y la escoria del alto horno de una termoeléctrica donde las condiciones del gres se pueden mejorar pero se requiere de un estudio para la eliminación de la materia orgánica, debido a que ésta se presenta de manera significativa deteriorando las propiedades técnicas y estéticas del material cerámico.

Se recomienda continuar el estudio de potencial cerámico de estas arcillas en nuevos campos como es la obtención de productos de gran formato, soporte para sistemas de energía fotovoltaica, producción de vitrocerámicos entre otros, con lo cual se da continuidad a la valoración de estos minerales.

6. REFERENCIAS

6 BIBLIOGRAFÍA:

- [1] M. S. S. B. A.C.S. Alcantara, "Characterization of ceramic tiles prepared from two clays from Sergipe - Brazil." .
- [2] R. P. J. E. Muñoz Meneses R. A., Muñoz Chaves J.A., Mancilla P, "Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapicosta pacífica caucana (Colombiana)," *Química*, vol. 31, pp. 537-544, 2007.
- [3] J. Konta, "Clay and man: clay raw materials in the service of man," *Appl. Clay Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 275-335, Nov. 1995.
- [4] P. R. S.K. Das, Sanjay Kumar, "Explotation of iron ore tailing for the development of ceramic tiles." *Waste Management* 20, India., pp. 725-729, 2000.
- [5] S. Allepuz, "Cerámica y Vidrio en la obtención de gres porcelánico . Eco-logik," pp. 1-2, 2011.
- [6] C. M. F. V. S.N. Monteiro, J. Alexandre, J.I. Margem, R.Sánchez, "Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic." *Construction and Buiding Materials*, R.J., Brazil, pp. 1281-1287, 2008.
- [7] S. R. A.P. Luz, "Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures." pp. 761-765, 2006.
- [8] J. A. L. F. Raupp-Pereira, D. Hotza , A.M. Segadaes, "Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products." *Ceramic International*, Brazil, pp. 173-179, 2006.
- [9] B. Z. A. Olgun, Y. Erdogan, Y. Ayhan, "Development of ceramic tiles from coal fly ash and tincal ore waste." *Ceramic International*, Turkey, pp. 153-158, 2004.
- [10] ANDI, "Colombia: Balance 2011 y perspectivas 2012." Informe Anual, Bogotá, Colombia, pp. 1-62, 2011.
- [11] "Información recopilada y calculada por el Departamento Técnico y de Información Económica del Banco de la República. 14 de abril de 2014," pp. 1-23, 2014.

- [12] C. de la república de Colombia, "Ley 1382 modifica código minas." Diario Oficial 47.618, Bogotá, Colombia, p. 1.21, 2010.
- [13] N. U.- CEPAL, "PERSPECTIVAS ECONÓMICAS PARA AMÉRICA LATINA 2013. Políticas de Pymes para el cambio estructural." OCDE/CEPAL, pp. 1–26, 2012.
- [14] D. D. E. L. Magdalena and H. C. Brito, "Geología y economía del depósito de arcillas de ladrillera de la costa Ltda. (Municipio de Ariguaní Departamento del Magdalena).," 2004.
- [15] M. R.-F. Mauricio Cárdenas, "La minería en Colombia-Informe de Fedesarrollo 2008." p. 107, 2008.
- [16] C. de la R. de Colombia, "Ley 685 de 2001," no. 5, p. 15, 2001.
- [17] C. M. R. R. Mejía, Pablo Abad, "DESARROLLO DE PROPIEDADES BACTERICIDAS EN ESMALTES PARA CERÁMICA SANITARIA." Revista académica colombiana de ciencias, Colombia, pp. 387–396, 2006.
- [18] C. C. Harvey and H. H. Murray, "Industrial clays in the 21 st century : A perspective of exploration , technology and utilization," vol. 11, pp. 285–310, 1997.
- [19] M. R. B. González-Corrochano, J. Alonso-Azcáratea, "Characterization of lightweight aggregates manufactured from washing aggregate sludge and fly ash." Resources, Conservation and Recycling, Toledo, España, pp. 571–581, 2009.
- [20] Z. Shu, J. Zhou, and Y. Wang, "A novel approach of preparing press-powders for cleaner production of ceramic tiles," *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 10–11, pp. 1045–1051, 2010.
- [21] A. Haq and Y. Iqbal, "Historical developments in the definition of clays and clay minerals," vol. 1, no. 2, pp. 73–75, 2007.
- [22] A. Barba, "From Chemical Engineering to Ceramic Technology: A Review of Research at the Instituto de Tecnología Cerámica A." Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Castellón, España, pp. 155–168, 2005.
- [23] A. M. Berto, "Ceramic tiles: Above and beyond traditional applications." Journal of European Ceramic Society, Castellón, España, pp. 1607–1613, 2007.

- [24] M. Felhi, a. Tlili, M. E. Gaied, and M. Montacer, "Mineralogical study of kaolinitic clays from Sidi El Bader in the far north of Tunisia," *Appl. Clay Sci.*, vol. 39, no. 3–4, pp. 208–217, May 2008.
- [25] S. Bertolino, "Provenance and ceramic technology of pot sherds from ancient Andean cultures at the Ambato valley, Argentina," *Appl. Clay Sci.*, vol. 24, no. 1–2, pp. 21–34, Nov. 2003.
- [26] A. Aras, "The change of phase composition in kaolinite- and illite-rich clay-based ceramic bodies," *Appl. Clay Sci.*, vol. 24, no. 3–4, pp. 257–269, Feb. 2004.
- [27] N. M. G. Carter C Barry,, "Ceramic Materials Science and Engineering," pp. 431–436, 2007.
- [28] H. Celik, "Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry," *Appl. Clay Sci.*, vol. 50, no. 2, pp. 245–254, Oct. 2010.
- [29] S. P. D. Yahong Liang, "Application trend in advanced ceramic technologies.pdf." *Technovation*, pp. 61–65, 2001.
- [30] P. L. Xiaosu Cheng, Shanjun Ke, Qianghong Wang, Hui Wang, Anze Shui, "Fabrication and characterization of anorthite-based ceramic using mineral raw materials." *China*, pp. 3227–3235, 2012.
- [31] L. B. K. S.F. Wang , J. Zhang, D.W. Luo,F.Gu, D.Y. Tang, Z.L. Dong, G.E.B. Tan, W.X. Que, T.S. Zhang, S. Li, "Transparent ceramics: Processing, materials and applications." *Progress in Solid State Chemistry, China*, pp. 20–54, 2013.
- [32] C. A. R. R. María Catalina Niño Villamizar, Vanessa Spinosi Araque, "Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks." *Construction and Building Materials, Bucaramanga, Colombia*, pp. 276–286, 2012.
- [33] G. Yilmaz, "Structural characterization of glass-ceramics made from fly ash containing SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-CaO and analysis by FT-IR-XRD-SEM methods." *Journal of Molecular Structure, Turkey*, pp. 37–42, 2012.
- [34] L. V. Radomir Sokolar and Brno, "The effect of fluidized fly ash on the properties of dry pressed ceramic tiles based on fly ash-clay

- body Radomir." Ceramic International, Czech Republic, pp. 2879–2885, 2011.
- [35] L. B. L.M. Schabbach, F. Andreola, I. Lancellotti, "Minimization of Pb content in a ceramic glaze by reformulation the composition with secondary raw materials." Modena, Italy, pp. 1367–1375, 2011.
- [36] a. Hein, P. M. Day, M. a. Cau Ontiveros, and V. Kilikoglou, "Red clays from Central and Eastern Crete: geochemical and mineralogical properties in view of provenance studies on ancient ceramics," *Appl. Clay Sci.*, vol. 24, no. 3–4, pp. 245–255, Feb. 2004.
- [37] a. Lazaro, C. García Portilo, J. De la Torre, and J. Bastida, "Características físicas y composicionales de pastas de gres porcelánico con arcillas de Teruel," *Boletín la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, vol. 51, no. 4, pp. 201–210, Sep. 2012.
- [38] J. F. F. L. Carbajal a, F. Rubio-Marcosa, M.A. Bengocheab, "Properties related phase evolution in porcelain ceramics.pdf." Journal of European Ceramic Society, pp. 4096–4069, 2007.
- [39] M. Hajjaji, S. Kacim, and M. Boulmane, "Mineralogy and firing characteristics of a clay from the valley of Ourika (Morocco)," *Appl. Clay Sci.*, vol. 21, no. 3–4, pp. 203–212, Jun. 2002.
- [40] P. Note, "I llinoi," 2007.
- [41] R. Lahoz, G. F. de la Fuente, J. M. Pedra, and J. B. Carda, "Laser Engraving of Ceramic Tiles," *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, vol. 8, no. 5, pp. 1208–1217, Sep. 2011.
- [42] J. B. C. E. Barrachina, E. Cerisuelo, "Tesis Valorizacion arcillas españolas- Ester Barrachina.pdf," 2011.
- [43] A. Manfredini, S. Srl, P. Por, V. I. A. A. Seco, and C. O. N. Tecnologia, "PROPUESTA POR MANFREDINI & SCHIANCHI SOBRE LAS CARACTERISTICAS DE LOS," pp. 1–10, 2002.
- [44] M. R. J.M. Pérez and Group, "Microstructure and technological properties of porcelain stoneware tiles moulded at different pressures and thicknesses." Ceramic International, Madrid, España, 2013.

- [45] S. R. A.P. Luz, "Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures." *Ceramic International*, Lorena S.P., Brazil., pp. 761–765, 2007.
- [46] M. K. & W. S. A. R. Boccaccini, "Glass-Ceramics From Filter Dusts From Waste Incinerators." *Ceramic International*, Aachen, Germany, pp. 231–235, 1995.
- [47] A. A. I. IGLESIAS, M. AINETO, R.SORIANO, "cenizas como fundentes.pdf," *Bol. la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, vol. 48, 3, pp. 165–170, 2009.
- [48] S. Martínez, "Reciclaje y tratamiento de residuos," *Acta Geológica Hisp.*, vol. 30, pp. 63–72, 1995.
- [49] T. W. Cheng, "Effect of additional materials on the properties of glass-ceramic produced from incinerator fly ashes.," *Chemosphere*, vol. 56, no. 2. pp. 127–31, Jul-2004.
- [50] M. Ahmaruzzaman, "A review on the utilization of fly ash M." *Progress in Energy and Combustion Science*, India, pp. 327–363, 2010.
- [51] C. R. C. M.R. Little, V. Adell, A.R. Boccaccini, "Production of novel ceramic materials from coal fly ash and metal finishingwaste." *Resources, Conservation and Recycling*, London, pp. 1329–1335, 2008.
- [52] J. W. R. strid Gómez, "Marcado con laser sobre cerámica vidriada por aporte superficial de un picmento de cobalto," *Esc. Ing. Antioquía, Medellin Colomb.*, no. ISSN 1794–1237, pp. 113–120, 2008.
- [53] J. Bakali, E. Fortanet, X. De Fuente, R. Lahoz, L. C. Estepa, G. Peris, I. Marinova, R. Pavlov, J. M. Pedra, and J. Carda, "No Title," vol. 268, pp. 317–320, 2004.
- [54] N. B. D. Anoop N. Samant, "Laser machining of structural ceramics—A review Anoop." *Journal of European Ceramic Society*, United States, pp. 969–993, 2009.
- [55] J. G. Jiang Li, Yubai Pan, Yanping, Wenbin iu, Benxue Jiang, "The history, development, and future prospects for laser ceramics a review." Shanghai, China, 2012.

- [56] B. Qian and Z. Shen, "Laser sintering of ceramics," *J. Asian Ceram. Soc.*, vol. 1, no. 4, pp. 315–321, Dec. 2013.
- [57] Z. S. Qian Bin, Lauri Taimisto, Antti Lehti, Heidi Piili, Olli Nyrhilä, Antti Salminen, "Monitoring of temperature profiles and surface morphologies during laser," *J. Asian Ceram. Soc.*, 2013.
- [58] J. Carreaud, R. Boulesteix, A. Maître, Y. Rabinovitch, A. Brenier, A. Labruyère, and V. Couderc, "From elaboration to laser properties of transparent polycrystalline Nd-doped Y3Al5O12 and Y3ScAl4O12 ceramics: A comparative study," *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 35, no. 4, pp. 704–711, Feb. 2013.
- [59] U. C. M. c E. Kamseu, C. Leonelli, D.N. Boccaccini, P. Veronesi, P. Miselli, Giancarlo Pellacani, "Characterisation of porcelain compositions using two china clays from Cameroon." *Ceramic International*, Cameroon, pp. 851–857, 2006.
- [60] K. Galos, "Composition and ceramic properties of ball clays for porcelain stoneware tiles manufacture in Poland." *Applied Clay Science*, Poland, pp. 74–85, 2011.
- [61] Krzysztof Galos, "Influence of mineralogical composition of applied ball clays on.pdf." Kraków, Poland, 2010.
- [62] C. M. R. Rendon, "Uso de materias primas colombianas para el desarrollo de baldosa cerámicas con alto grado de gresificación." *Medellin, Colombia*, pp. 5–114, 2009.
- [63] M. M. Bernardino Strazzer, Michele Dondi, "Composición and ceramic properties of Tertiary clays from southern Sardinia (Italy)." *Applied Clay Science*, Italy, pp. 247–266, 1997.
- [64] J. E. E. N. E. CRIADO HERRERO, "Tendencias generales en la industria española de cerámica y refractarios." *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, Castellón, España, pp. 125–134, 1994.
- [65] A. M. E. Sánchez, J. García-Ten, V. Sanz, "Review: Porcelain tile Almost 30 years of steady scientific-technological evolution." *Ceramic International*, Castellón, España, pp. 831–845, 2010.
- [66] U. of A. Jack E. Lemons, "Ceramics Past, present, and future.pdf." *Elsevier Science Inc.*, Alabama, pp. 121–128, 1996.

- [67] M. F. Al-Hillin, "Characterization of alumino-silicate glass/kaolinite composite." *Ceramic International*, Iraq, pp. 5855–5862, 2012.
- [68] J. B. C. C.M. Restrepo, O.J. Restrepo, E. Barrachina, E. Cerisuelo, "FABRICACION DE GRES PORCELÁNICO." *QUALICER*, Castellón, España, 2012.
- [69] G. T. E. Rambaldi, L. Esposito, A. Tucci, "Recycling of polishing porcelain stoneware residues in ceramic tiles." *Bologna, Italy*, pp. 3509–3515, 2007.
- [70] L. W. B. Sua, S. Dhara,, "Green ceramic machining: A top-down approach for the rapid fabrication of complex-shaped ceramics." *Journal of European Ceramic Society*, Oklahoma, pp. 2109–2115, 2008.
- [71] S. N. M. C.M.F. Vieira, G.S. P.M. Andrade, Maciel, F. Vernilli Jr, "Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic." *Materials Science and Engineering A.*, Lorena, Brazil, pp. 142–147, 2006.
- [72] A. E.-M. M. Erol,S.Kucukbayrak, "Characterization of coal fly ash for possible utilization in glass production." *Fuel*, Turkey, pp. 706–714, 2007.
- [73] I. I. Mónica Aineto, Anselmo Acosta, "The role of a coal gasification fly ash as clay additive in building ceramic." *Journal of European Ceramic Society*, Ciudad Real, Spain, pp. 3783–3787, 2006.
- [74] C. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, CAR, CORPOBOYACÁ, "Estudio sobre el estado actual del macizo del páramo de Rabadal," vol. 048, no. 07, pp. 34–37, 2008.
- [75] R. R.-M. M. A., *Chemistry of materials the energy and environmental applycations*. CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 2010, pp. 31–35; 140–146; 180–182.
- [76] A. L. Cavalieri, P. Pena, S. D. E. Aza, and E. L. S. Sío-aio, "Mullita : Naturaleza de la fusión y rango de solución sólida," vol. 29, pp. 171–176, 1990.

ANEXOS

CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 4
 4RCOMBSNISI

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 3,50 %
 CALCIMETRIA..... 0,00 %
 PLASTICIDAD..... 21,81 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 173,10 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 21,75 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

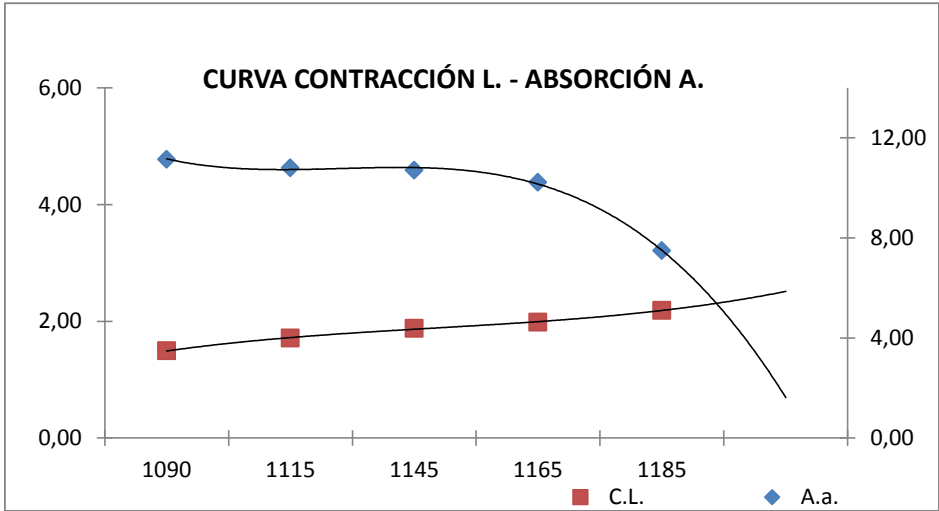
HUMEDAD (prens.)..... 5,80 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,10 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,17 gr/cm3 P.esp..... 367 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	1,49	1,71	1,88	1,99	2,19
% Aa.	11,14	10,80	10,71	10,22	7,49

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 2.2
 2BSOGPATAL

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 3,50 %
 CALCIMETRIA..... 0,06 %
 PLASTICIDAD..... 18,82 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 1,05 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 174,80 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

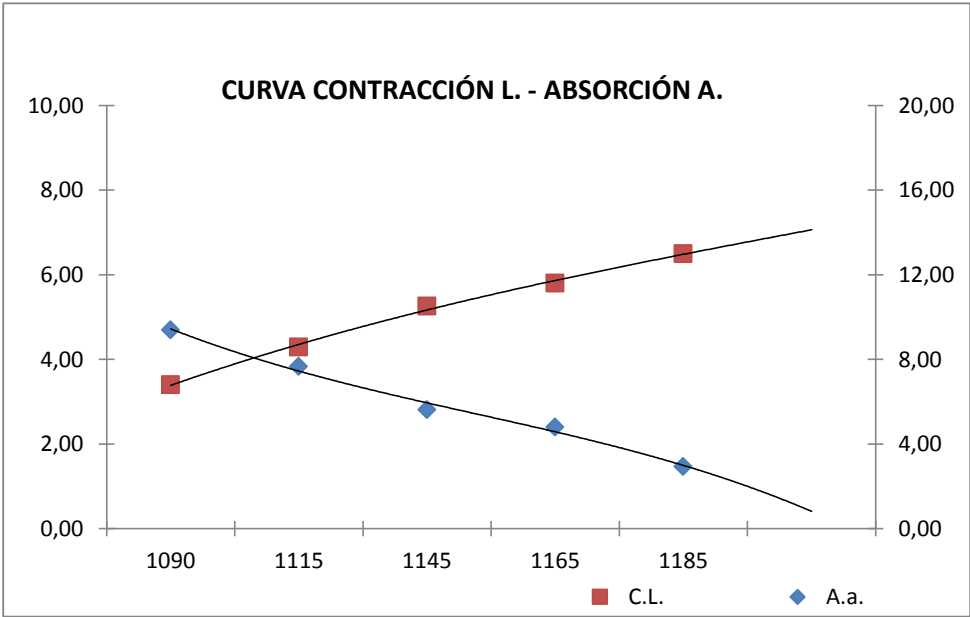
HUMEDAD (prens.)..... 5,60 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,00 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,17 gr/cm3 P.esp..... 191 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	3,40	4,29	5,26	5,80	6,50
% Aa.	9,39	7,66	5,62	4,79	2,93

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 7
 7ASOGPANTAL

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 2,00 %
 CALCIMETRIA..... 0,06 %
 PLASTICIDAD..... 17,51 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 173,70 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 14,63 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

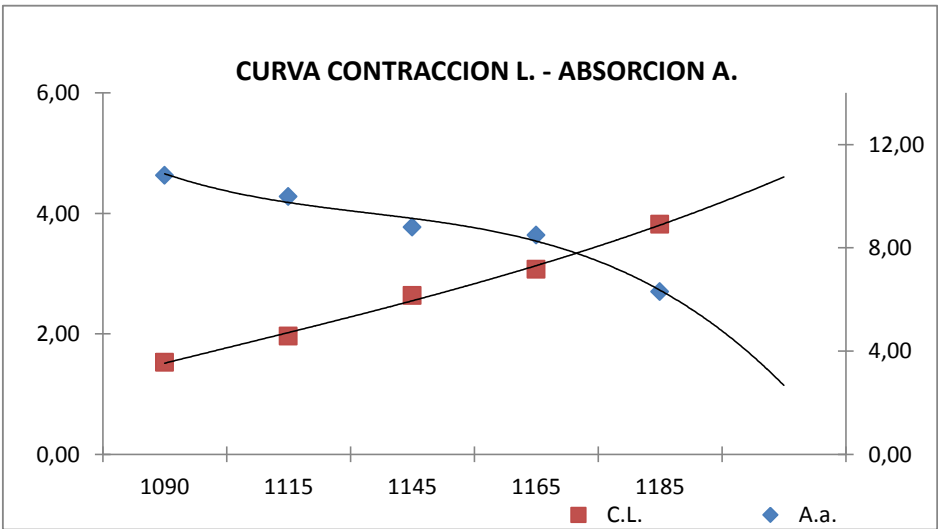
HUMEDAD (prens.)..... 5,62 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,10 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,14 gr/cm3 P.esp..... 367 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	1,53	1,96	2,64	3,07	3,82
% Aa.	10,81	9,98	8,80	8,49	6,30

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 5
 5RCOMBITABY

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 10,50 %
 CALCIMETRIA..... 0,08 %
 PLASTICIDAD..... 21,93 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 172,00 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 22,10 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

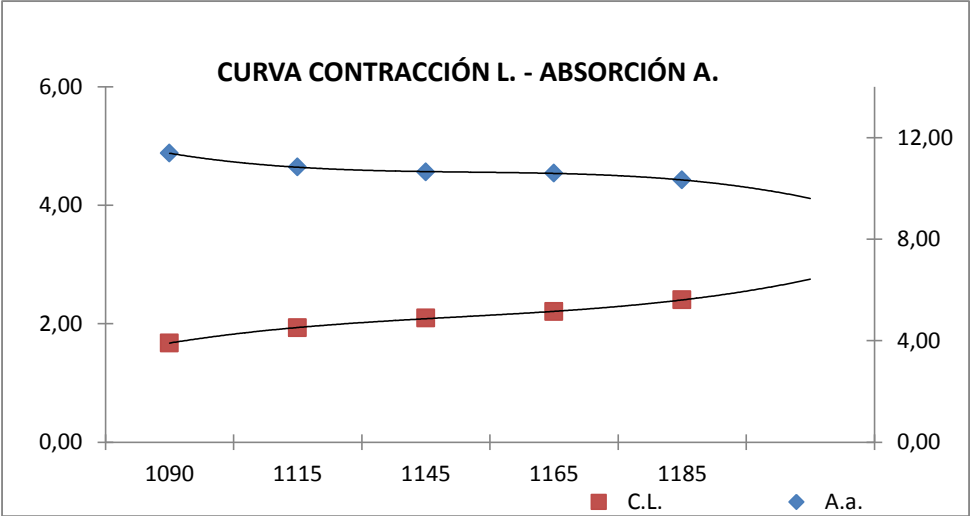
HUMEDAD (prens.)..... 5,50 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,10 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,14 gr/cm3 P.esp..... 367 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	1,68	1,93	2,09	2,20	2,40
% Aa.	11,39	10,85	10,65	10,60	10,33

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 3
 3BRAQUIOCC

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 2,00 %
 CALCIMETRIA..... 0,04 %
 PLASTICIDAD..... 22,22 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 175,00 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 20,97 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

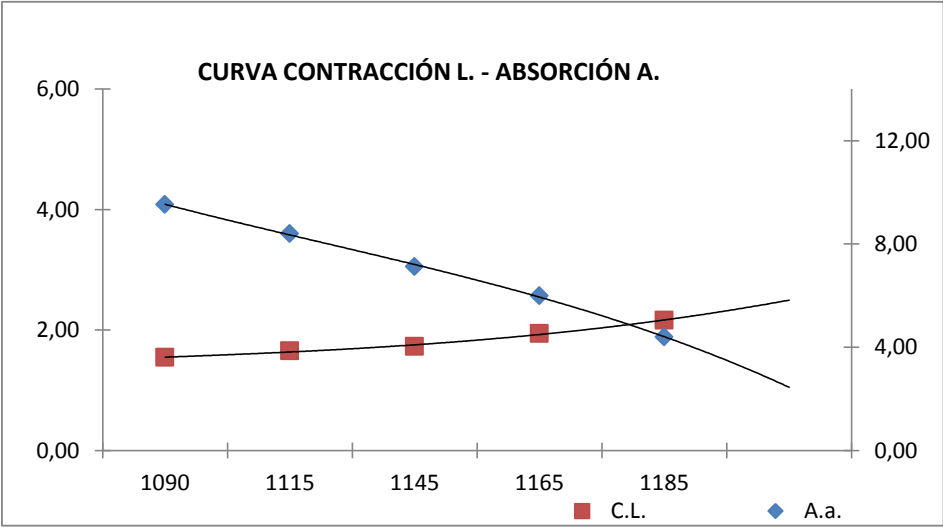
HUMEDAD (prens.)..... 5,60 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,09 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,16 gr/cm3 P.esp..... 352 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	1,54	1,65	1,73	1,94	2,16
% Aa.	9,52	8,41	7,12	6,00	4,39

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 8
 8ARAQUITORRES

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 1,30 %
 CALCIMETRIA..... 0,06 %
 PLASTICIDAD..... 30,40 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 176,20 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 1,17,04 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

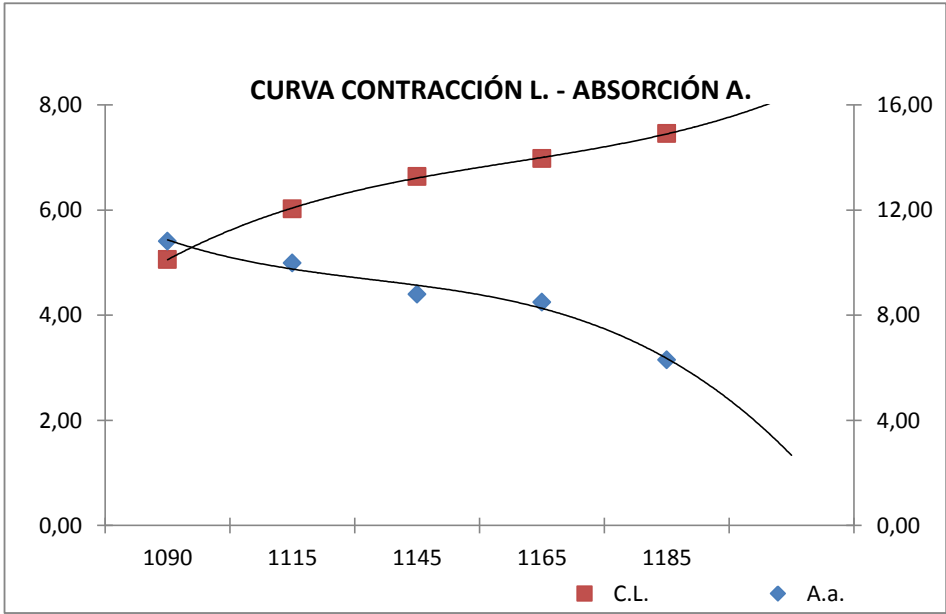
HUMEDAD (prens.)..... 5,62 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,10 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,14 gr/cm3 P.esp..... 367 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	5,06	6,02	6,64	6,98	7,45
% Aa.	10,81	9,98	8,80	8,49	6,30

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 7
 7ASOGPANTAL

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 2,00 %
 CALCIMETRIA..... 0,06 %
 PLASTICIDAD..... 17,51 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 173,70 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 14,63 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

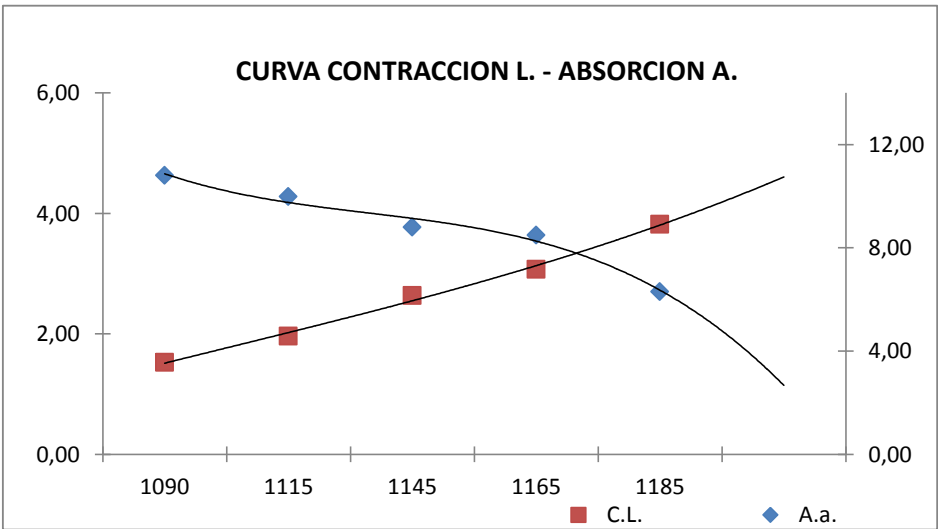
HUMEDAD (prens.)..... 5,62 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,10 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,14 gr/cm3 P.esp..... 367 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	1,53	1,96	2,64	3,07	3,82
% Aa.	10,81	9,98	8,80	8,49	6,30

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 18-mar-14
 MUESTRA..... 2.2
 2BSOGPATAL

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 3,50 %
 CALCIMETRIA..... 0,06 %
 PLASTICIDAD..... 18,82 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 1,05 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 174,80 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

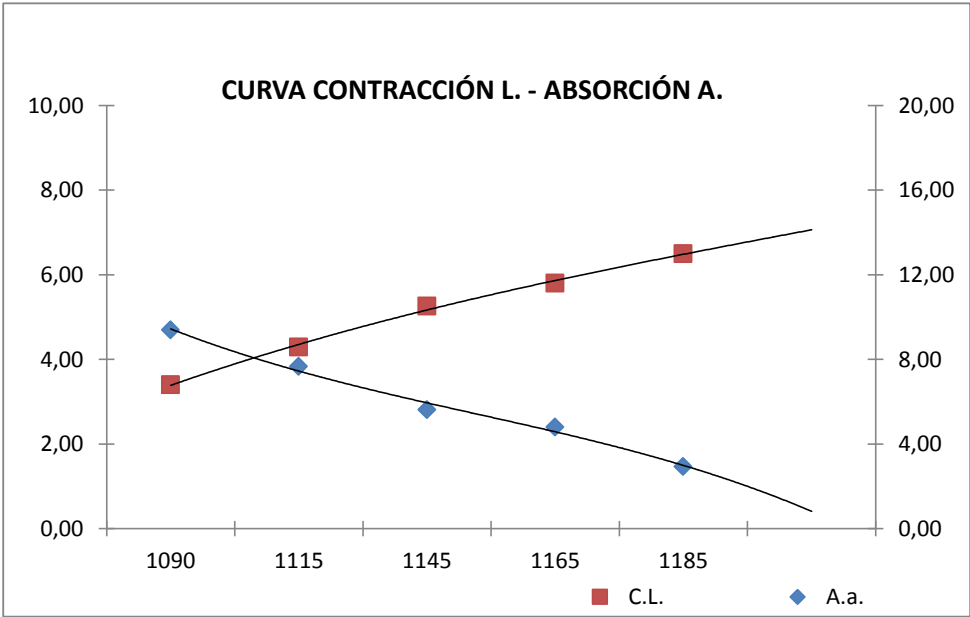
HUMEDAD (prens.)..... 5,60 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,00 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,17 gr/cm3 P.esp..... 191 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	3,40	4,29	5,26	5,80	6,50
% Aa.	9,39	7,66	5,62	4,79	2,93

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 00-ene-00
 MUESTRA..... 41730
 COMP. POROF21+ESCORIA

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 2,88 %
 CALCIMETRIA..... 0,36 %
 PLASTICIDAD..... 12,48 und.
 MATERIA ORGANICA..... 23,01 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 100,00 %
 % T.P.F... 0,70 %
 TIEMPO MOLTUR... 0,20 min.
 DENSIDAD..... 6,20 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 0,00 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

HUMEDAD (prens.)..... 6,20 %
 Dap.(250 P.esp)..... 9,00 gr/cm3

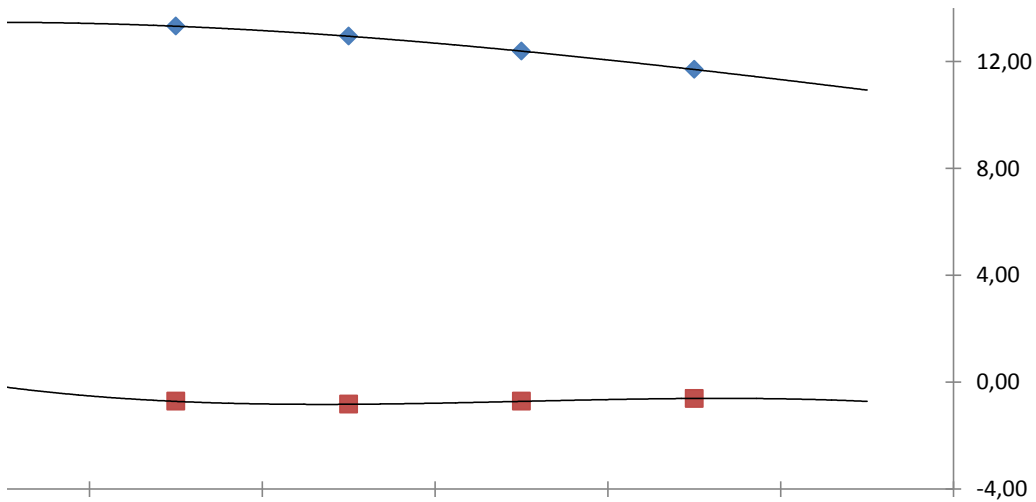
CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,18 gr/cm3 P.esp..... 0 Kg/cm2

T ^a max.	1090	1115	1145	1165
% C.L.	1,09	1,06	1,09	1,13
% Aa.	13,32	12,94	12,39	11,70

% C.L.(max.)..... - T^a (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. T^a (°C)..... -

CURVA CONTRACCION L. - ABSORCION A.



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA.....	00-ene-00
MUESTRA.....	41705
	COMP. POROF21

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 1,00 %
 CALCIMETRIA..... - %
 PLASTICIDAD..... 0,00 und.
 MATERIA ORGANICA..... 21,59 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,00 %
 % T.P.F... 0,70 %
 TIEMPO MOLTUR... 0,20 min.
 DENSIDAD..... 6,00 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... - sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

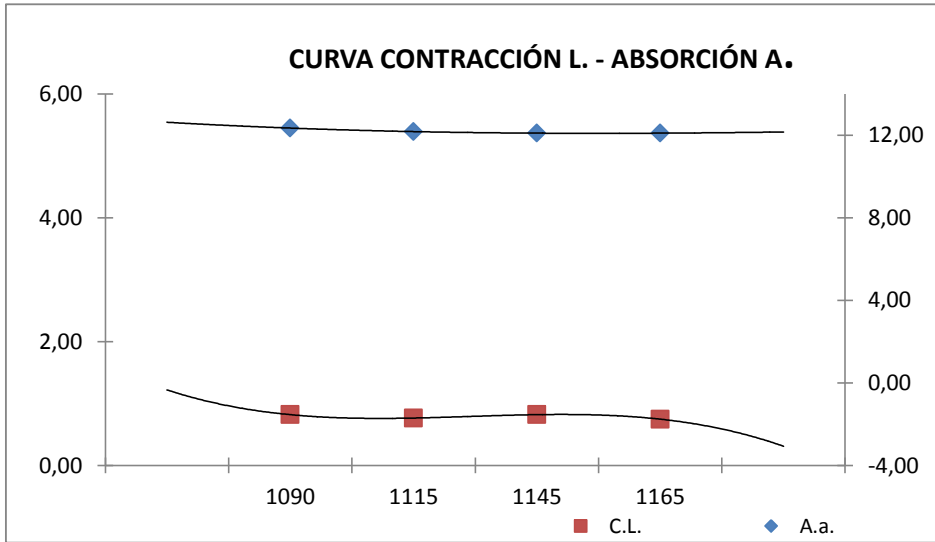
HUMEDAD (prens.)..... 58,07 %
 Dap.(250 P.esp)..... 5,60 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,00 gr/cm3 P.esp..... 0 Kg/cm2

T ^a max.	1090	1115	1145	1165
% C.L.	0,82	0,76	0,82	0,75
% Aa.	12,35	12,18	12,10	12,10

% C.L.(max.)..... 27,60 T^a (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. T^a (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 07-mar-14
 MUESTRA..... COMP. POBAF21
 0

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... - %
 CALCIMETRIA..... 0,00 %
 PLASTICIDAD..... 21,91 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 0,00 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 0,00 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

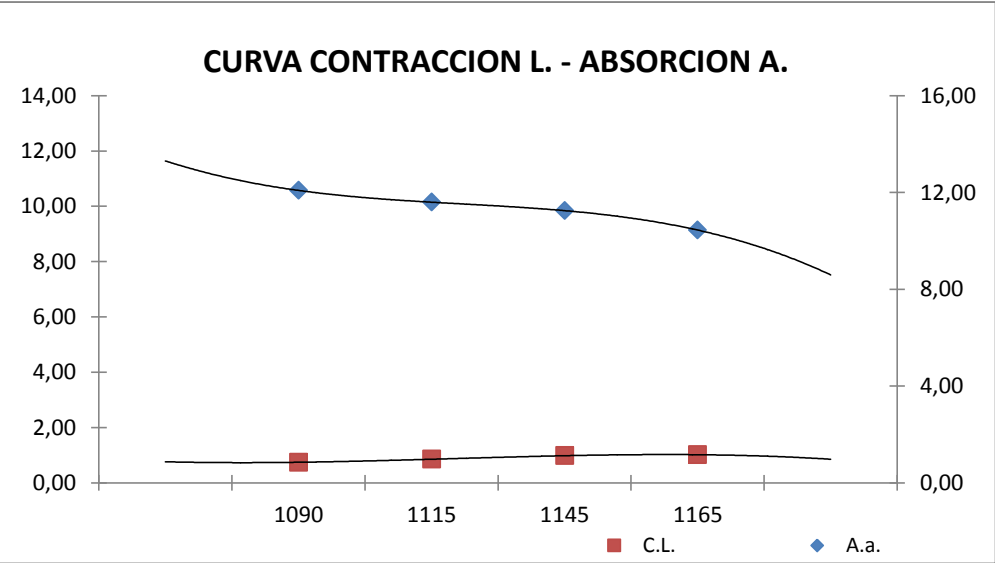
HUMEDAD (prens.)..... 5,60 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,11 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,13 gr/cm3 P.esp..... 330 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165
% C.L.	0,75	0,85	0,98	1,02
% Aa.	12,09	11,60	11,25	10,45

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 00-ene-00
 MUESTRA..... 41730
 COMP. POROF21+CNZA

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 0,20 %
 CALCIMETRIA..... 11,65 %
 PLASTICIDAD..... 23,14 und.
 MATERIA ORGANICA..... 100,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 100,00 %
 % T.P.F... 0,70 %
 TIEMPO MOLTUR... 0,20 min.
 DENSIDAD..... 6,00 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 0,00 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

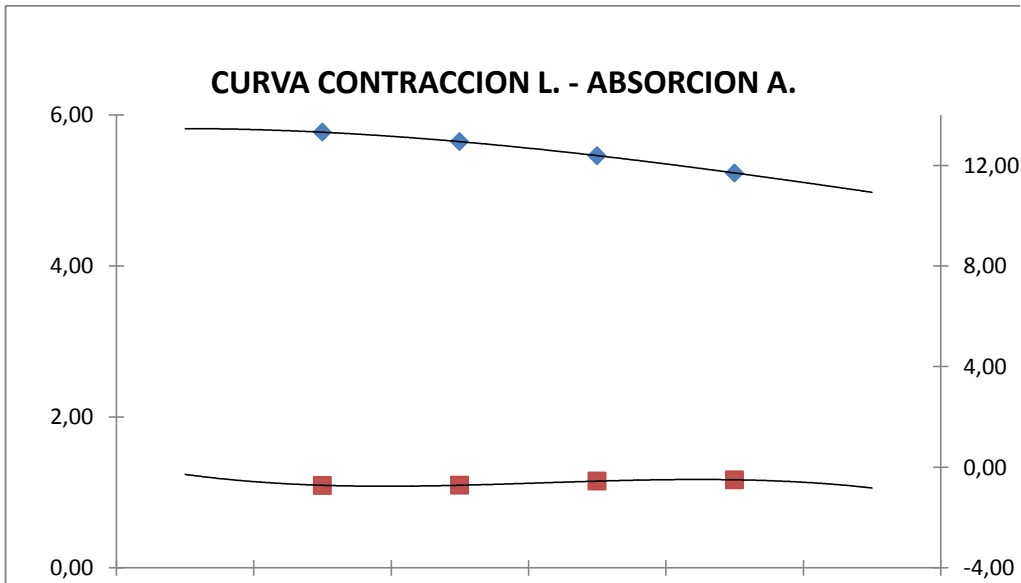
HUMEDAD (prens.)..... 6,10 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,14 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,14 gr/cm3 P.esp..... 0 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165
% C.L.	1,09	1,09	1,15	1,17
% Aa.	13,32	12,94	12,39	11,70

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 00-ene-00
 MUESTRA..... 41730
 COMP. POROF21+ESCORIA

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 2,88 %
 CALCIMETRIA..... 0,36 %
 PLASTICIDAD..... 12,48 und.
 MATERIA ORGANICA..... 23,01 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 100,00 %
 % T.P.F.. 0,70 %
 TIEMPO MOLTUR.. 0,20 min.
 DENSIDAD..... 6,20 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 0,00 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

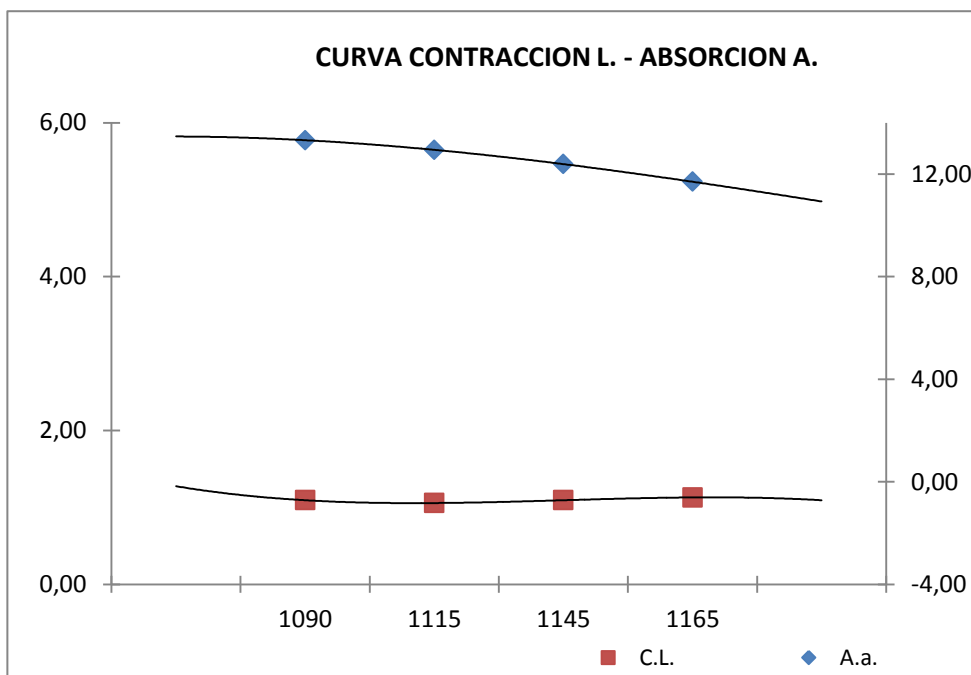
HUMEDAD (prens.)..... 6,20 %
 Dap.(250 P.esp)..... 9,00 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,18 gr/cm3 P.esp..... 0 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165
% C.L.	1,09	1,06	1,09	1,13
% Aa.	13,32	12,94	12,39	11,70

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 01-abr-14
 MUESTRA..... COMP. GF13
 1,24

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 0,08 %
 CALCIMETRIA..... 0,00 %
 PLASTICIDAD..... 23,12 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 172,90 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 1,29,18 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

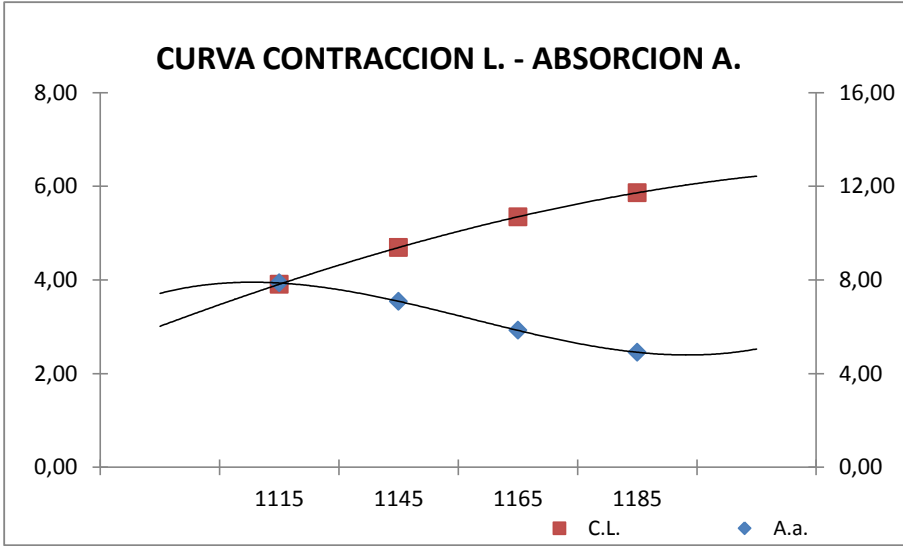
HUMEDAD (prens.)..... 6,30 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,18 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,24 gr/cm3 P.esp..... 220 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	1185
% C.L.	3,91	4,69	5,35	5,86	6,46
% Aa.	7,87	7,09	5,85	4,91	3,85

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 03-abr-14
 MUESTRA..... GF13+FELESPAÑOL
 3,84

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 1,12 %
 CALCIMETRIA..... 0,05 %
 PLASTICIDAD..... 20,03 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 170,50 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 53,60 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

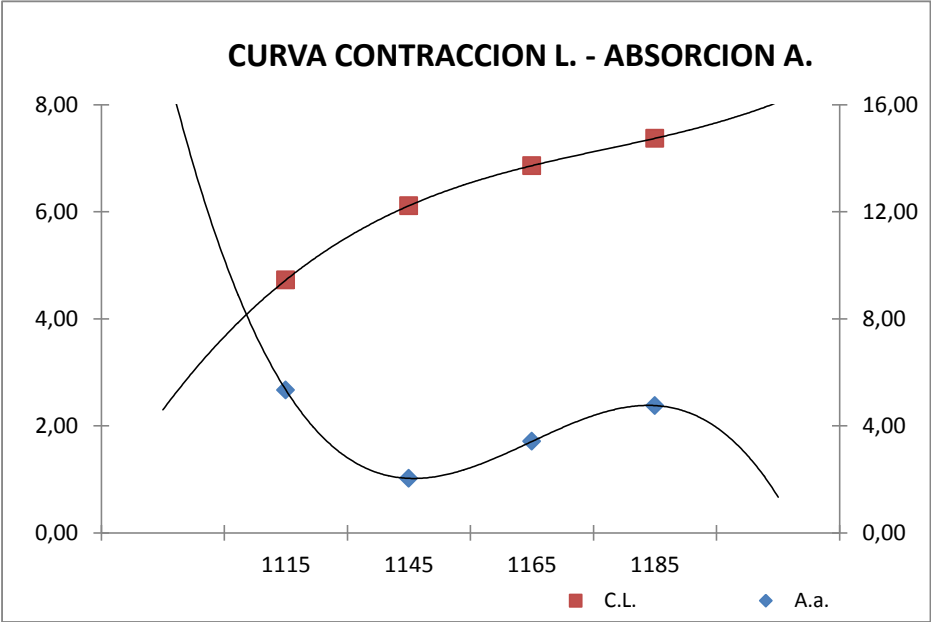
HUMEDAD (prens.)..... 6,18 %
 Dap.(250 P.esp.)..... 2,17 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,25 gr/cm3 P.esp..... 154 Kg/cm2

Tª max.	1115	1145	1165	1185	
% C.L.	4,73	6,11	6,86	7,37	
% Aa.	5,34	2,04	3,42	4,76	

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 03-abr-14
 MUESTRA..... GF13+FELSOGAMOSO
 3,68

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... 0,60 %
 CALCIMETRIA..... 0,29 %
 PLASTICIDAD..... 20,59 und.
 MATERIA ORGANICA..... 0,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 171,10 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 1,10,40 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

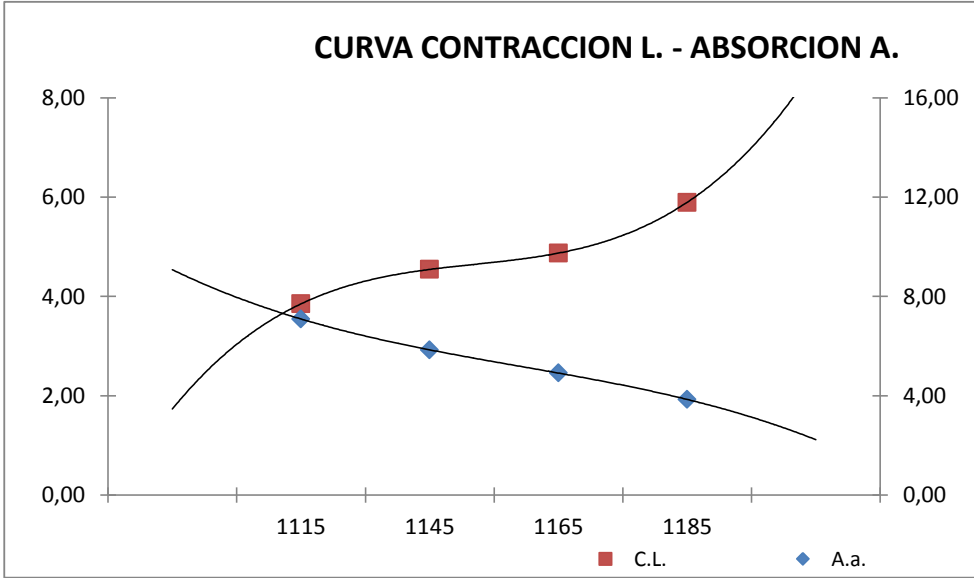
HUMEDAD (prens.)..... 6,23 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,17 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,24 gr/cm3 P.esp..... 176 Kg/cm2

T^a max.	1115	1145	1165	1185	
% C.L.	3,85	4,54	4,87	5,89	
% Aa.	7,09	5,85	4,91	3,85	

% C.L.(max.)..... - T^a (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. T^a (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 04-nov-13
 MUESTRA..... COMP. F9GRES+ceniza
 1,9

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... - %
 CALCIMETRIA..... 0,00 %
 PLASTICIDAD..... 21,26 und.
 MATERIA ORGANICA..... 100,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 169,80 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 1,53,9 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

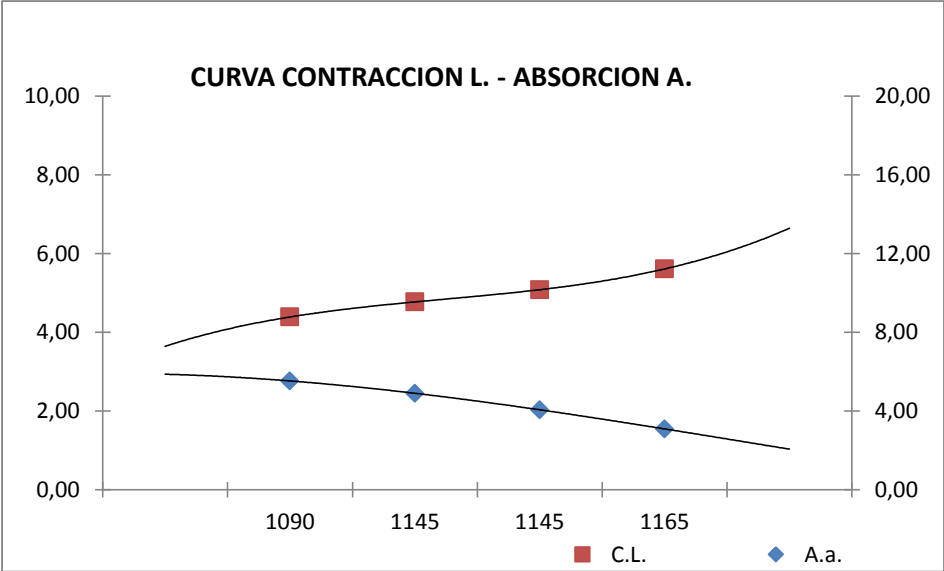
HUMEDAD (prens.)..... 6,40 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,14 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,17 gr/cm3 P.esp..... 330 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	
% C.L.	4,39	4,77	5,08	5,61	
% Aa.	5,53	4,90	4,06	3,09	

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 04-nov-13
 MUESTRA..... COMP. F10GRES+ceniza+vidrio
 1,3

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... - %
 CALCIMETRIA..... 0,00 %
 PLASTICIDAD..... 22,48 und.
 MATERIA ORGANICA..... 100,00 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F.. 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR.. 6,00 min.
 DENSIDAD..... 169,80 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 0,00 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

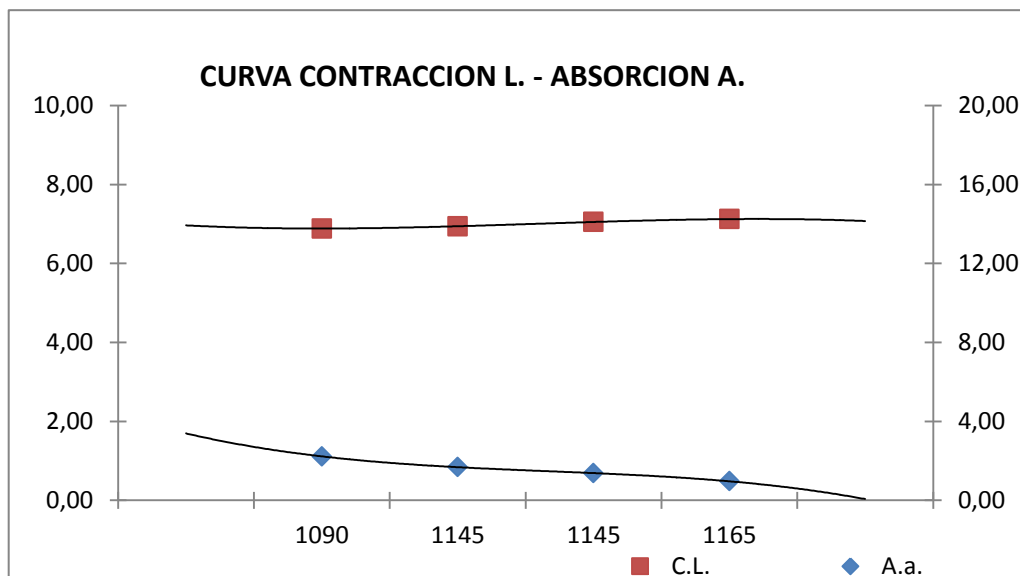
HUMEDAD (prens.)..... 6,40 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,10 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,11 gr/cm3 P.esp..... 330 Kg/cm2

Tª max.	1090	1115	1145	1165	
% C.L.	6,89	6,94	7,05	7,12	
% Aa.	2,23	1,68	1,38	0,96	

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -



CARACTERIZACION MATERIAS PRIMAS

P.O.1.5.-Seguimiento y medición del producto.

FECHA..... 26-ago-13
 MUESTRA..... F5GRES+10%VIDRIORE
 1

CARACTERISTICAS EN SECO:

RECHAZO VOLUM..... - %
 CALCIMETRIA..... 0,00 %
 PLASTICIDAD..... 21,77 und.
 MATERIA ORGANICA..... 6.2 %

CARACTERISTICAS MOLIENDA:

DEFLOC. % Met..... 0,70 %
 % T.P.F... 0,20 %
 TIEMPO MOLTUR... 6,00 min.
 DENSIDAD..... 171,20 gr/cm3
 VISCOSIDAD..... 1,20 sg

CARACTERISTICAS PRENSADO:

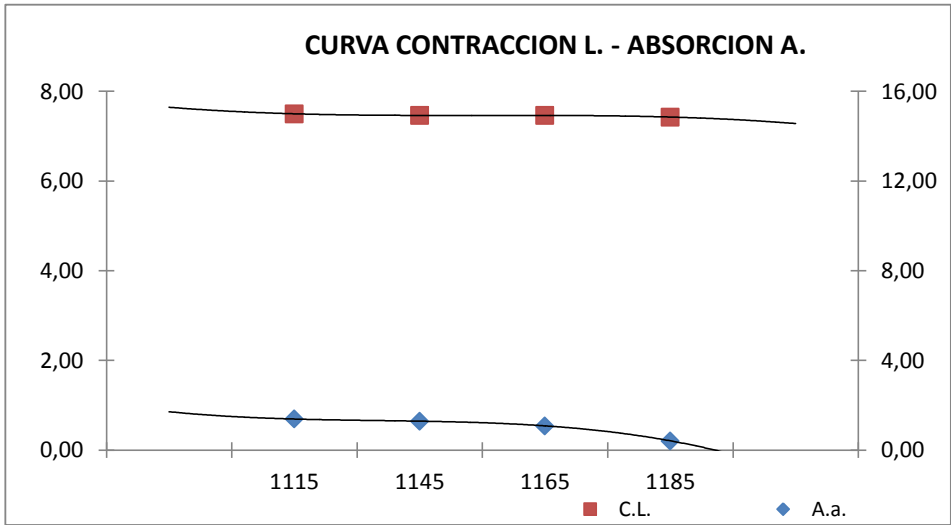
HUMEDAD (prens.)..... 6,20 %
 Dap.(250 P.esp)..... 2,04 gr/cm3

CARACTERISTICAS COCCION:

Dap..... 2,12 gr/cm3 P.esp..... 367 Kg/cm2

Tª max.	1115	1145	1165	1185
% C.L.	7,50	7,46	7,46	7,42
% Aa.	1,39	1,29	1,08	0,42

% C.L.(max.)..... - Tª (°C).... - % Aa..... -
 % Aa.< 3. Tª (°C)..... -





Castelló de la plana, Junio de 2014