

---

## ESTUDIO DE LA COLORACIÓN DE LADRILLO TRADICIONAL CON ADICIÓN DE ÓXIDOS Y EN MONOCOCCIÓN

---

*Luz Marina Yepes R.<sup>1</sup> y Oscar Jaime Restrepo B.<sup>2</sup>*

*1. Ingeniera de Minas y Metalurgia, Maestría en Ingeniería Área de Materiales y Procesos,*

*2. Profesor Asociado. Escuela de Ingeniería de Materiales*

*Grupo de Cerámicos y Vitreos e Instituto de Minerales - CIMEX,*

*Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín*

*lmyepes@unal.edu.co, ojrestre@unal.edu.co*

Recibido para evaluación: 01 de Diciembre de 2005 / Aceptación: 13 de Mayo de 2006 / Recibida versión final: 1 de Junio de 2006

### RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto estudiar el proceso de obtención de piezas con color diferente al rojo tradicional, fabricadas con arcillas y adicionando un pigmento con estructura de tipo espinela o hematita; en porcentaje en peso no mayor al 5% y cocidas en una sola etapa, para ello se estudiaron entre otros aspectos, el intercambio iónico, los defectos cristalinos, los átomos dopantes y aspectos generales de la teoría general del color. Dentro del estudio se tuvo en cuenta para trabajar los intercambiadores iónicos; ellos son materiales sólidos insolubles, que contienen aniones intercambiables con la base que es un alumino-silicato hidratado. Estos iones son intercambiados estequiométricamente durante el proceso de sinterización. En el presente trabajo se plantea el intercambio iónico en minerales, el más común es el alumino-silicato cristalino, pues su estructura es relativamente abierta con canales que interconectan las cavidades de los alumino-silicatos. Se tomaron arcillas vinagradas y mezcladas con desgrasantes las cuales se caracterizaron, y a las que se les adicionó un porcentaje en peso de pigmento previamente caracterizado. Las probetas fabricadas en prensa se secaron y se sinterizaron obteniéndose piezas con color diferente al rojo tradicional, la medición del color se efectuó en un espectrómetro Ocean Optics SPC 2000.

**PALABRAS CLAVES:** Colororimetria, Espinelas, Ladrillo.

### ABSTRACT

The objective of this work is to study the way to obtain traditional bricks with different colours using inorganic pigments with different structure (spinel and hematite) until 5% by weight, for this work it was necessary to study ionic exchange, crystalline defects, dopants atoms and general aspects of theory of colour. To do this work it was necessary to study different kinds of ionic interchangers; they are insoluble solid material contain interchangeable anions of alumino-silicates. These ions are exchanged stochiometrically during the burn process. The most common ionic exchange in minerals is the crystalline alumino-silicate, because its structure, is open with channels that interconnect their own cavities. To obtain results it was necessary to take metheorized clays and blended them with sand which were characterized, and to those that are added a percentage in weight of a specific and previously characterized pigment, samples were manufactured in press dried off and to burn being obtained pieces with traditional different colour to the red one, the measurements of colour were made in a spectrometer Ocean Optics SPC 2000.

**KEY WORDS:** Colorimetry, Spinel, Bricks.

## 1. INTRODUCCIÓN

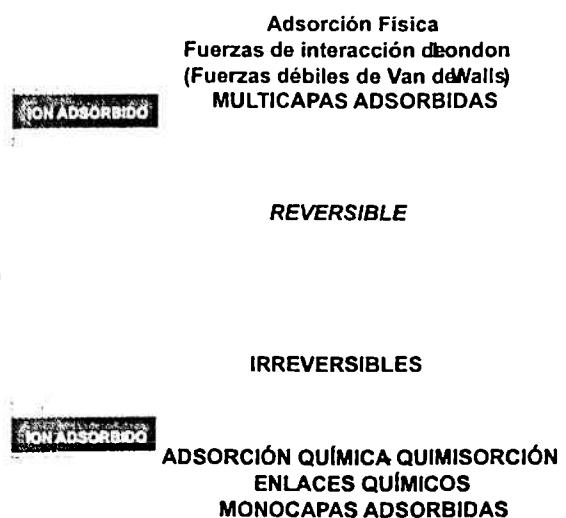
La industria de la construcción necesita contar con elementos decorativos que le faciliten sus diseños. En la actualidad las piezas decoradas tienen unos valores altos por lo que su uso es restringido; si se producen piezas con color diferente al rojo tradicional y en monococción, se tendrán materiales con un valor agregado mayor, pero con unos costos más accesibles.

En el país la industria de la construcción es la mejor medida del movimiento económico, pues ella mueve gran cantidad de mano de obra e igualmente jalona otras industrias como la cementera, siderúrgica, PVC, porcelana sanitaria, etc.

Para la elaboración de este trabajo se tuvieron en cuenta varias áreas del conocimiento dentro de las cuales se encuentran las arcillas que son la materia prima para la elaboración de ladrillos tradicionales; éste es un constituyente esencial de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que es, en su mayor parte, un producto final de la meteorización de los silicatos. Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de su tamaño de partícula (inferior a 2 mm), su morfología laminar (filosilicatos), las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.(Bennett y Hulbert,1986).

Como consecuencia de estos factores, las arcillas presentan por un lado, un valor elevado del área superficial y a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con diversas sustancias, en especial con compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua.

El intercambio iónico es un proceso controlado por la adsorción de iones en la superficie del mineral.



**Figura 1.**  
 Intercambio superficial en arcillas.

Además del intercambio iónico se deben tener presente otros fenómenos como los defectos cristalinos ya que realmente no existen cristales perfectos sino que contienen varios tipos de imperfecciones que afectan muchas de sus propiedades físicas y mecánicas y también influyen en algunas de las propiedades de los materiales (Grim,1968). A nivel de aplicación en ingeniería, tal como la de formar aleaciones en frío, la conductividad eléctrica y la corrosión.

En cuanto al color este es un aspecto que depende del tipo de fuente ó iluminante, del observador y del objeto. Dentro del objeto existen características físicas y químicas que modifican o determinan el color.

La absorción selectiva de la luz por un objeto depende estrechamente de la estructura electrónica de los átomos que lo componen cuando los átomos o iones que constituyen el cuerpo poseen sus electrones de valencia en orbitales cuya energía se diferencia de la de los orbitales más próximos en una cantidad comprendida dentro del intervalo del espectro visible, estos electrones pueden absorber parte de la energía recibida como luz y ocupar orbitales más externos, presentando por consiguiente dicho cuerpo un color que será el complementario de la radiación absorbida.

## 2. MATERIALES Y METODOS

Para el presente trabajo se escogieron diferentes tipos de arcillas; una vez analizadas se seleccionaron las mejores y se llevaron a la línea de producción de una fábrica ladrillera para realizar a continuación una selección de piezas de línea de producción industrial. Con ello se garantizaba que la materia prima era representativa. Estos elementos se secaron, se molieron y esta fue la base para el trabajo de coloración.

Se caracterizó la materia prima; a cada muestra se le practicaron los siguientes ensayos:

- Fluorescencia de rayos X
- Difracción de rayos X
- Microscopía electrónica de barrido (SEM y EDS)
- Análisis Térmico Diferencial

La materia prima es una mezcla de arcilla y material desgrasante. A esta mezcla se le adicionó un pigmento cerámico inorgánico (estructura tipo espinela a unos y estructura tipo hematina a otros; Eppler, 1980), luego se prensaron, se secaron y se llevaron a cocción (Bernardin y Gracher, 2002). Una vez cocidas las probetas se les volvió a realizar un proceso de caracterización, utilizando Fluorescencia de rayos X, Difracción de rayos X, Microscopía electrónica de barrido (SEM y EDS), Ensayos cerámicos (Análisis granulométrico, humedad óptima de moldeo, contracción al secado, contracción a la cocción, pérdidas por calcinación, contracción lineal total, porcentaje de absorción de agua, resistencia a la compresión, y eflorescencias), Colorimetría en coordenadas  $L^*$   $a^*$   $b^*$ , Análisis Térmicos.

El diseño de experimentos que se tomó como base para la elaboración del trabajo, fue el modelo de ANOVA de efectos fijos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el estudio.

### 3.1 Fluorescencia de Rayos X

Este ensayo se realizó en el laboratorio de Cementos Nare, el cual está certificado y homologado. Los resultados se presentan en la Tabla 1. Igualmente estos resultados corresponden a las arcillas escogidas para los ensayos.

### 3.2 Difracción de rayos X

Este ensayo se realizó en la Universidad de Antioquia, en el laboratorio de materiales. En las Figuras 2 y 3 se presentan dos de los difractogramas obtenidos para las arcillas antes de realizar la cocción.

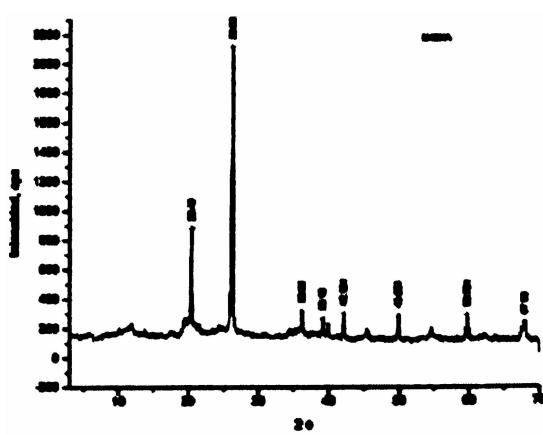
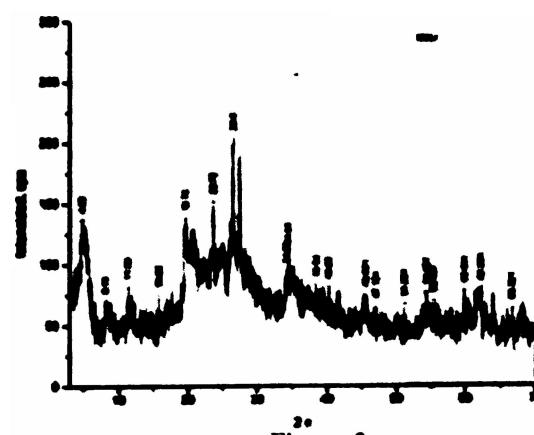
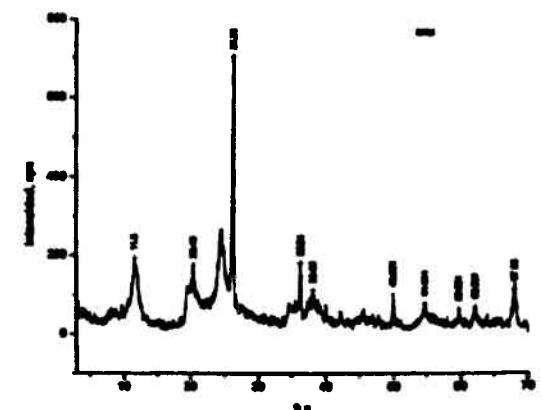
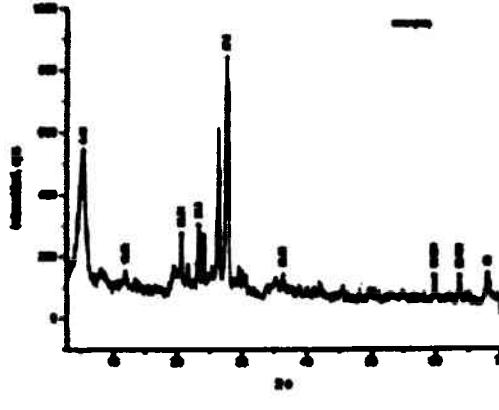
Tabla 1. Resultados de Fluorescencia de rayos X.

Compuesto en	%AC	CM	M	S
SiO <sub>2</sub>	54,57	56,43	42,66	40,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,99	22,10	27,42	32,79
Fe <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	5,312	6,637	9,967	0,660
CaO	0,49	0,00	0,73	0,02
MgO	1,734	0,576	1,126	0,403
SO <sub>3</sub>	0,026	0,026	0,026	0,017
Na <sup>2</sup> O	0,576	0,285	0,548	0,105
K <sub>2</sub> O	1,311	1,776	0,602	0,099
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0681	0,1003	0,0476	0,0413
MnO	0,058	0,041	0,123	0,016
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,071	0,047	0,088	0,103
TiO <sub>2</sub>	1,113	1,036	1,406	1,151
LOI	12,64	11,12	15,04	22,59
M.S*	2,00	1,96	1,14	1,22
M.A*	4,14	3,33	2,75	49,64

Color si quemar				
L*	66,03	63,34	65,12	87,79
a*	2,01	14,24	12,87	1,94
b	13,49	30,37	27,89	13,22

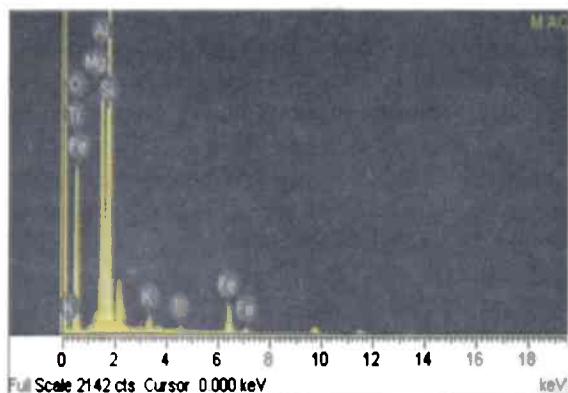
Nota:

1. Método utilizado Fluorescencia de rayos-X con (B<sub>4</sub>Li<sub>2</sub>O<sub>7</sub> fund) NTC184-ASTM C 114
2. \*Modulos potenciales BOGUE
3. Color X-rite QA-Master D60/10\*

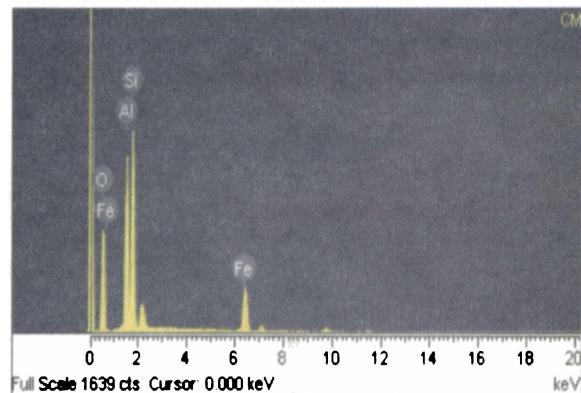
Figura 2.  
DRX Muestra AC.Figura 3.  
DRX Muestra CM.Figura 4.  
DRX Muestra M.Figura 5.  
DRX Muestra S.

### 3.4 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM - EDS)

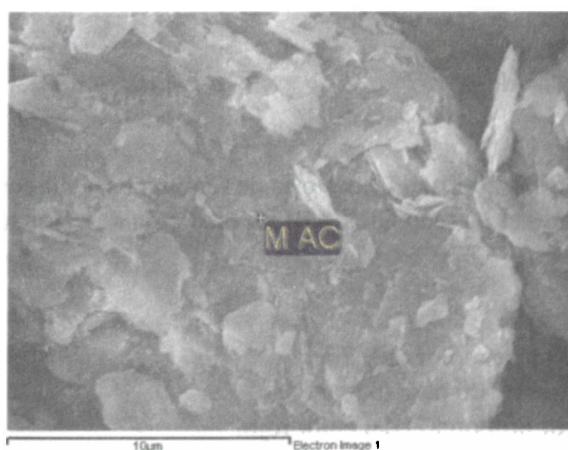
Estos análisis se realizaron sobre las arcillas escogidas y se hicieron en el laboratorio de microscopía electrónica de la Universidad Nacional de Colombia sede de Medellín. Para esta labor se utilizó un microscopio electrónico JEOL.



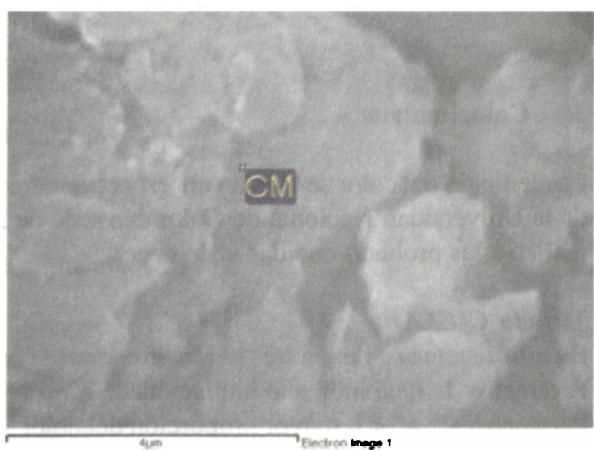
**Figura 6.**  
EDS Muestra AC.



**Figura 7.**  
EDS Muestra CM.



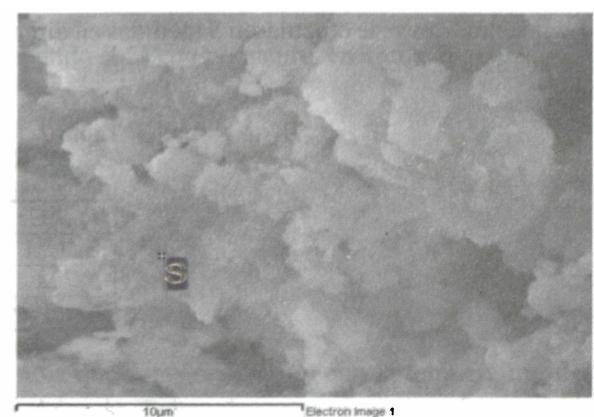
**Figura 8.**  
SEM Muestra AC.



**Figura 9.**  
SEM Muestra CM.



**Figura 10.**  
SEM Muestra M.



**Figura 11.**  
SEM Muestra S.

### 3.5. Análisis Térmicos

La Figura 12 presenta las curvas termogravimétricas de las cuatro muestras en forma simultánea.

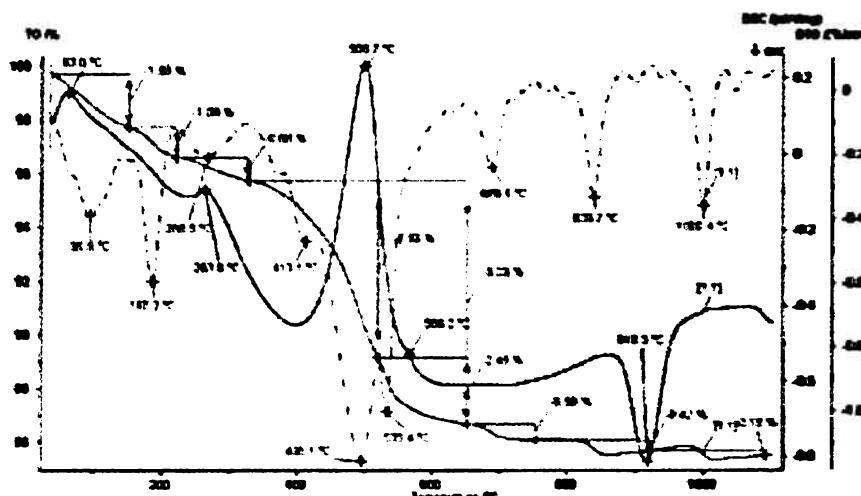


Figura 12.  
DSC/TG Muestras AC, CM, M, S.

### 3.6 Colorimetría

La medición del color se hizo en un espectrómetro, OCEAN OPTICS PC 2000 del laboratorio de Cerámicos y Vítreos de la Universidad Nacional de Colombia sede de Medellín. Siguiendo el método CIELAB. La medición de color se realizó a las probetas cocidas y sin cocer.

#### *Método CIELAB*

En este sistema se tienen tres parámetros para la representación gráfica del color que son:

Parámetro L: Que indica la luminosidad. Varía de 0 para el negro hasta 100 para el blanco.

Parámetro a\*:  $a^* < 0$  mayor proporción del color verde;  $a^* > 0$  mayor proporción del color rojo.

Parámetro b\*:  $b^* < 0$  mayor proporción del color azul;  $b^* > 0$  mayor proporción del color amarillo.

Donde  $a^*$  y  $b^*$  son llamadas las coordenadas cromáticas.

A cada muestra se le efectuaron 5 medidas en diferentes puntos. Para arcillas con el 0% de pigmento su valor se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas de color del 0%

Muestra	L	a*	b*
1) AC	70,045	10,775	22,77
2) CM	69,15	17,78	29,37
3) M	57,51	21,66	32,16
4) S	92,44	4,86	12,82

Al hacer el análisis de la coordenada L se puede observar que la muestra S es la más blanca y en su orden le siguen AC, CM y por último y la menos blanca es M. Como todos los valores de  $a^*$  son mayores que cero, se tiene que la coloración es roja en su orden de intensidad van así la más roja es M, seguida de CM, AC y por último la menos roja es

S. Siguiendo el mismo análisis tenemos que todas las  $b^*$  son mayores que cero por tanto son amarillas en orden de intensidad aparecen así; M, CM, AC y por último y la menos amarilla es S.

En adelante lo reportado es para una sola de las cuatro arcillas estudiadas. Se utilizaron tres tipos de pigmentos diferentes los cuales se reportan como A, N y M. En adelante donde aparezca Ref. quiere decir que todas las condiciones fueron iguales, excepto que a esa muestra no se le adicionó pigmento, pues es el referente o punto cero.

Material sinterizado por encima de 1000° C y adicionando un 2% de pigmento, en Tabla 3:

**Tabla 3. Material del 2% y > 1000° C**

Pigmento	L	a*	b*
Ref.	95,89	0,592	7,016
A	86,79	-3,14	-5,16
M	82,01	0,032	6,994
N	81,948	-1,164	4,476

Material sinterizado por encima de 1000° C y adicionando el 5% de pigmento, en Tabla 4:

**Tabla 4. Material del 5% y > 1000° C**

Pigmento	L	a*	b*
Ref.	95,89	0,592	7,016
A	81,99	-4,2	-11,83
M	77,72	0,254	7,666
N	74,258	-1,616	3,69

Material sinterizado por debajo de 1000° C y adicionando el 2% de pigmento, en Tabla 5:

**Tabla 5. Material del 2% y < 1000° C**

Pigmento	L	a*	b*
Ref.	87,822	5,498	16,4
A	84,642	0,06	6,302
M	74,88	8,252	13,404
N	77,682	-0,316	5,328

Material sinterizado por debajo de 1000 grados centígrados y adicionando el 5% de pigmento, en Tabla 6:

**Tabla 6. Material del 5% y < 1000° C**

Pigmento	L	a*	b*
Ref.	87,822	5,498	16,4
A	78,468	-2,43	-0,766
M	71,342	7,356	11,004
N	68,804	-1,066	2,954

Si se analizan los valores de las coordenadas de los referentes se nota que éstas cambiaron con la temperatura de sinterización así; el brillo aumenta con la temperatura, en ambas el valor de  $a^*$  es mayor, que cero por tanto ambas presentan color rojo pero para temperaturas de sinterización mayores baja la intensidad de este, algo similar sucede con el amarillo.

Para cada muestra se calcula la variación del color así:

$$\Delta a = a_{\text{de medida}} - a_{\text{de Ref.}}$$

$$\Delta b = b_{\text{de medida}} - b_{\text{de Ref.}}$$

$\Delta L \equiv L_{\text{de medida}} - L_{\text{de Ref.}}$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta l^2}$$

Para  $\Delta E < 1.5$  el ojo no ve la diferencia

El  $\Delta E$  para probetas sinterizadas a una temperatura mayor a 1000° C se muestra en la Tabla 7 y a una temperatura menor de 1000°C se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 7.** Valores de DE con  $T \geq 1000^\circ\text{C}$

AE	PIG: A	PIG: M	PIG: N
5 %	19,45	0,73	3,99
2 %	12,74	0,56	3,09

**Tabla 8.** Valores de DE con  $T < 1000^\circ\text{C}$

AE	PIG: A	PIG: M	PIG: N
5 %	18,9	5,71	14,96
2 %	11,45	4,07	12,51

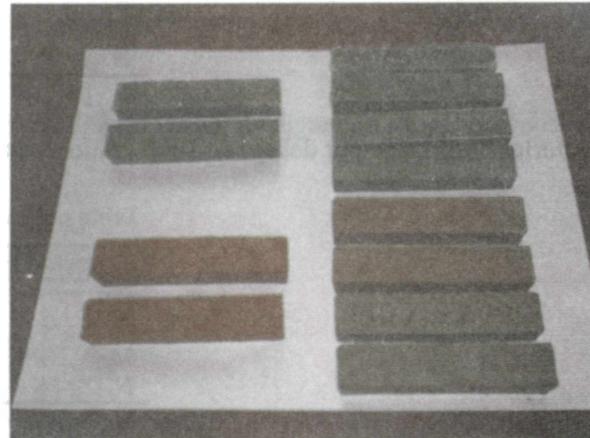
#### 4. CONCLUSIONES

De los cuadros anteriores se puede decir que el cambio con respecto al material de referencia o del 0% de pigmento tenemos buena variación del color, excepto para el pigmento M y sin importar la cantidad de pigmento adicionado a temperaturas de sinterización mayores de 1000° C.

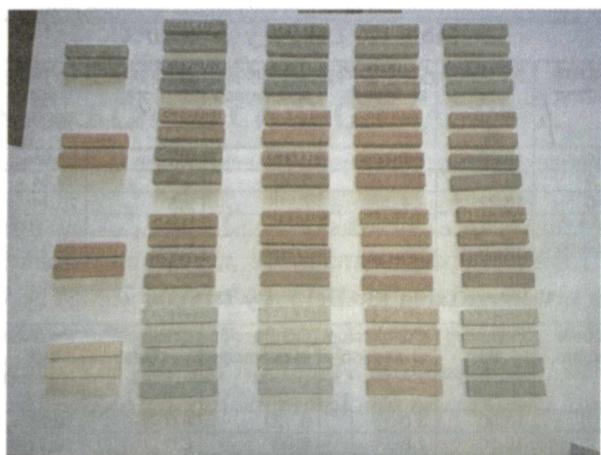
A continuación se presentan algunas fotos de las probetas coloreadas.



**Figura 13.**  
Variación del color crudo y cocido.



**Figura 14.**  
Variación del color de las probetas cocidas y con diferentes porcentajes de pigmento.



**Figura 15.**

Todas las probetas sinterizadas, con los diferentes porcentajes de adición de pigmento incluyendo el 0% y las cuatro arcillas diferentes objeto del estudio.

Los diferentes ensayos cerámicos se efectuaron en el laboratorio del CIMEX de la Universidad Nacional de Colombia Sede de Medellín. Se presentan los resultados de una sola arcilla con adición de pigmento del 0%, 2%, 5% y con sinterización por debajo y por encima de 1000° C. Los resultados se presentan de forma tabulada y así: en Tabla 9, arcilla con el 0% y cocción por debajo de 1000° C; en Tabla 10, arcilla con el 0% y cocción por encima de 1000° C; en Tabla 11, arcilla con el 2% y cocción por debajo de 1000° C; en Tabla 12, arcilla con el 2% y cocción por encima de 1000° C; en Tabla 13, arcilla con el 5% y cocción por debajo de 1000° C y en Tabla 14, arcilla con el 5% y cocción por encima de 1000° C.

**Tabla 9. Del 0% y T< 1000° C**

Probeta Número	Humedad de moldeo %	Contracción al secado %	Contracción al quemado %	Contracción Total %	Perdidas por calcinación %
1	20,37	3,5	3,42	6,8	4,9
2	20,61	3,0	3,35	6,25	5,2
3	20,3	3,25	3,385	6,525	5,05
Promedio	20,43	3,25	3,385	6,525	5,05

**Tabla 10. Del 0% y T> 1000° C**

Probeta Número	Humedad de moldeo %	Contracción al secado %	Contracción al quemado %	Contracción Total %	Perdidas por calcinación %
4	20,37	3,5	8,66	11,4	33,68
5	20,61	3,0	8,5	11,24	32,83
6	20,3	3,25	8,59	11,56	33,57
Promedio	20,43	3,25	8,58	11,47	33,36

**Tabla 11. Del 2% y T< 1000° C**

Probeta Número	Humedad de moldeo %	Contracción al secado %	Contracción al quemado %	Contracción Total %	Perdidas por calcinación %
1	18,29	2,5	5,44	7,8	19,22
2	18,53	2,6	5,23	7,7	18,52
3	18,22	2,4	5,55	7,72	19,14
Promedio	18,35	2,5	5,41	7,74	18,96

Tabla 12. Del 2% y T&gt; 1000º C

Probeta Número	Humedad de moldeo %	Contracción al secado %	Contracción al quemado %	Contracción Total %	Perdidas por calcinación %
4	18,29	2,5	7,01	9,3	20,04
5	18,53	2,6	6,99	9,4	19,94
6	18,22	2,4	7,10	9,3	20,24
Promedio	18,35	2,5	7,033	9,33	20,073

Tabla 13. Del 5% y T&lt; 1000º C

Probeta Número	Humedad de moldeo %	Contracción al secado %	Contracción al quemado %	Contracción Total %	Perdidas por calcinación %
1	18,00	3,0	6,122	8,0	19,27
2	18,50	2,9	6,00	8,0	19,27
3	17,93	3,1	5,99	7,8	19,07
Promedio	18,14	3,0	6,04	7,93	19,20

Tabla 14. Del 5% y T&gt; 1000º C

Probeta Número	Humedad de moldeo %	Contracción al secado %	Contracción al quemado %	Contracción Total %	Perdidas por calcinación %
4	18,00	3,0	7,216	10,00	19,41
5	18,50	2,9	7,123	9,8	19,21
6	17,93	3,1	7,315	10,19	19,61
Promedio	18,14	3,0	7,218	10,00	19,41

De las anteriores tablas se puede decir que la humedad de moldeo fue similar para todas las muestras, pero para cada par en particular fue la misma.

La Contracción al secado se comportó igual que la humedad de moldeo.

La contracción total es mayor a mayor temperatura de sinterización.

Para las pérdidas por calcinación se observa que para la muestra de referencia varía considerablemente con la temperatura de sinterización siendo mucho mayor a mayor temperatura, sin embargo al adicionar el pigmento baja las pérdidas por calcinación para todas las muestras pero sigue conservando la estructura de mayores pérdidas a mayores temperaturas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Attridge, J., 1999. Brick in every color of the rainbow. In Ceramic Industry. pp 41-43.
- Bennett, R. H. y Hulbert, M. H., 1986. Clay Microstructure. Publicado por D. Reidel Publishing Company. 161 P.
- Bernardin A. M.y Gracher H., 2002. Difusão em Materials CeraPmicos: Um Estudo preliminar. CeraPmica Industrial, 7 (4), pp 25 – 35
- Eppler R., 1980. CaO Free Black spinel ceramic pigment containing NiO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. United States Patent 4.205.996.
- Grim, R. E., 1968. Clay Mineralogy. McGraw Hill.
- Jones, W., 1988. Catalysis Today. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam.
- Matteazzi, P. y Alcalá, M., 1997. Mechanomaking of Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and FeCr/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites: powders fabrication. Mater. Sci. Eng. A230, pp 161–170.
- Newman, A. C. D. y BROWN, G., 1987. Chemistry of Clay Minerals. Mineralogical Society Monograph N1 6. Ed por Newman. A. C. D. Longman Scientific y Technical Mineralogical Society. London. 480 P.
- Ricceri R. et al, 2002. Journal of the European Ceramic Society N. 22. pp 629–637 637

