

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL LODO CERÁMICO.

a) ANÁLISIS QUÍMICO.

El análisis químico efectuado por absorción atómica reveló que tiene una concentración de 0.38% de PbO (Tabla 4.1), que de acuerdo a las normas CRETIB, es un material residual que debe eliminarse y evitar que cause un impacto ecológico negativo. Su presencia confirma que este residuo se formó desde los inicios de la actividad cerámica de la planta. Sus compuestos imparten fusibilidad y brillantez a los esmaltes.

	% PESO
SiO ₂	47.67
Al ₂ O ₃	29.85
Fe ₂ O ₃	0.53
MgO	0.03
CaO	14.96
K ₂ O	6.55
PbO	0.38
	99.95

Tabla 4.1 Análisis químico por absorción atómica del lodo cerámico.

b) ANÁLISIS DILATOMÉTRICO.

La curva dilatométrica muestra la presencia del cuarzo, por la inflexión que sufre la curva a 573°C y que representa la conversión del cuarzo α (trigonal) al cuarzo β (hexagonal). También indicó un coeficiente de expansión térmica a 500°C de 73.7×10^{-7} mm/mm°C, que nos presenta un típico material para esmaltado, Figura 4.1 P-41.

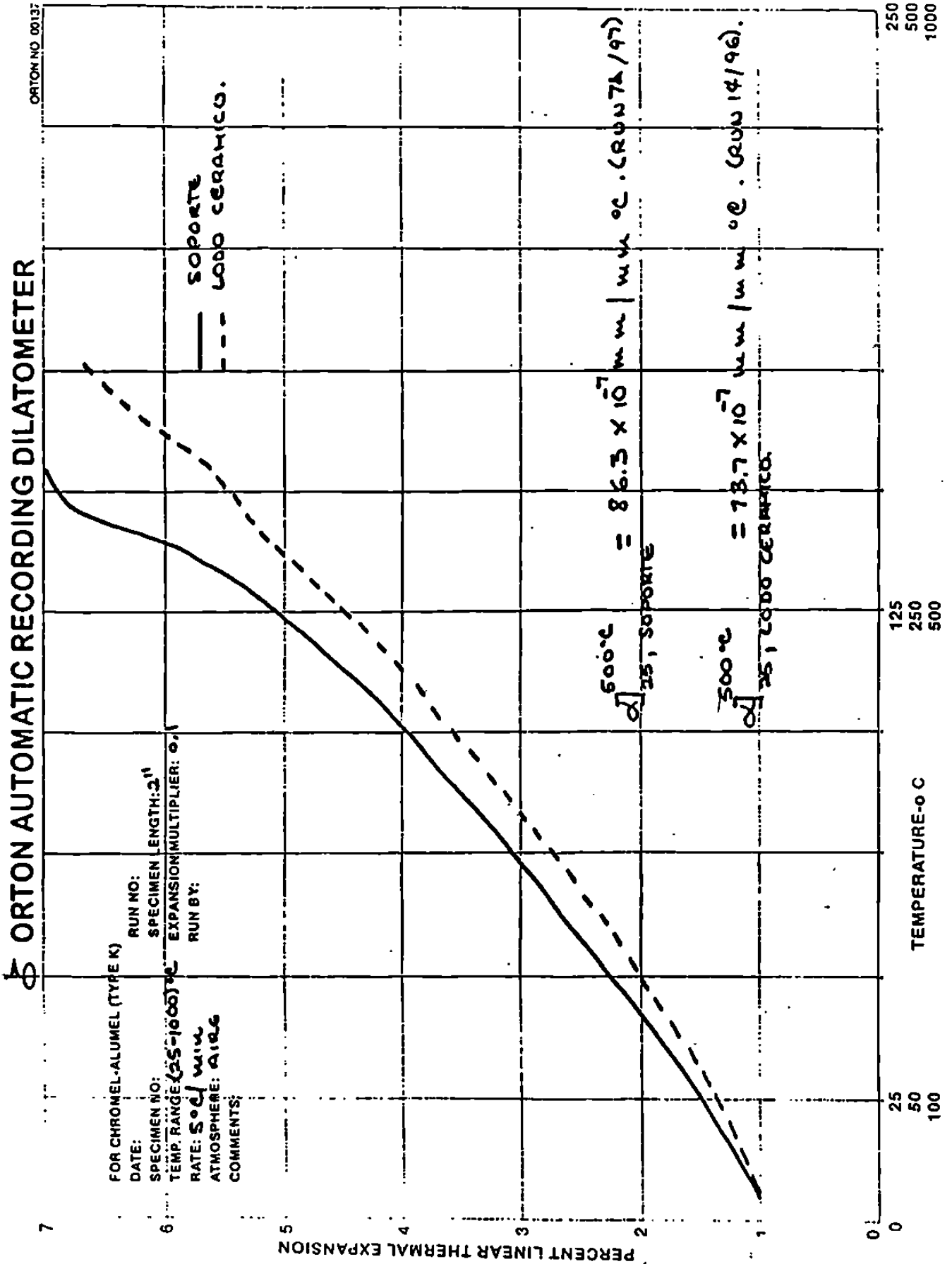


Figura 4.1 Analisis dilatométrico del lodo cerámico y del soporte.

Un soporte cerámico debe tener una expansión, entre 80 a 90×10^{-7} mm/mm°C.

Así cuando la estructura esmalte-soporte es sometida a esfuerzos por efecto térmico, el esmalte tendrá estabilidad dimensional porque su soporte se expande en mayor grado que el esmalte y consecuentemente al enfriarse se contrae en mayor grado que el esmalte y somete al esmalte a un esfuerzo por compresión.

El esmalte puede soportar un 10 % mayor esfuerzo en compresión que por esfuerzo de tensión.

Contrariamente si el esmalte tuviese mayor expansión que el soporte, durante el proceso de enfriamiento, el esmalte sufriría un esfuerzo por tensión que lo haría muy inestable, fácilmente se desprendería, (20).

El coeficiente de expansión del soporte utilizado en este estudio fue de 86.3×10^{-7} mm/mm°C, experimentalmente se ha encontrado que un decremento de 0.06% del coeficiente de expansión en el esmalte con respecto al del soporte utilizados en los productos de loza es satisfactorio.

c) ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.

El análisis del tamaño de partícula promedio realizado en el Sedigraph 5100 reportó un valor de 6.26 μm , con una buena distribución granulométrica, que es indicativa de un material con muy buen poder cubriente, como se requiere para los esmaltes, Tabla 4.2 P-44 y Figura 4.2 P-45.

El tamaño de partícula, es un factor muy importante en los procesos cerámicos, porque las reacciones en el estado sólido se incrementan con la finura de los materiales.

DIÁMETRO, μm	% ACUMULADO	% INTERVALO
150.0	99.9	0.1
100.0	99.8	0.1
80.0	99.9	-0.1
60.0	99.9	-0.1
50.0	99.6	0.2
40.0	98.7	0.9
30.0	95.2	3.5
25.0	91.6	3.6
20.0	86.2	5.4
15.0	77.8	8.4
10.0	64.7	13.0
8.0	57.5	7.3
6.0	48.7	8.8
5.0	48.1	5.6
4.0	37.0	6.1
3.0	30.6	6.5
2.0	24.4	6.2
1.5	20.4	4.0
1.0	15.1	5.3
0.8	12.7	2.4
0.6	10.2	2.5
0.5	8.5	1.6

Tabla 4.2 Distribución tubular y tamaño promedio de partícula en el lodo cerámico.

+ ACUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER
 * MASS POPULATION VS. DIAMETER

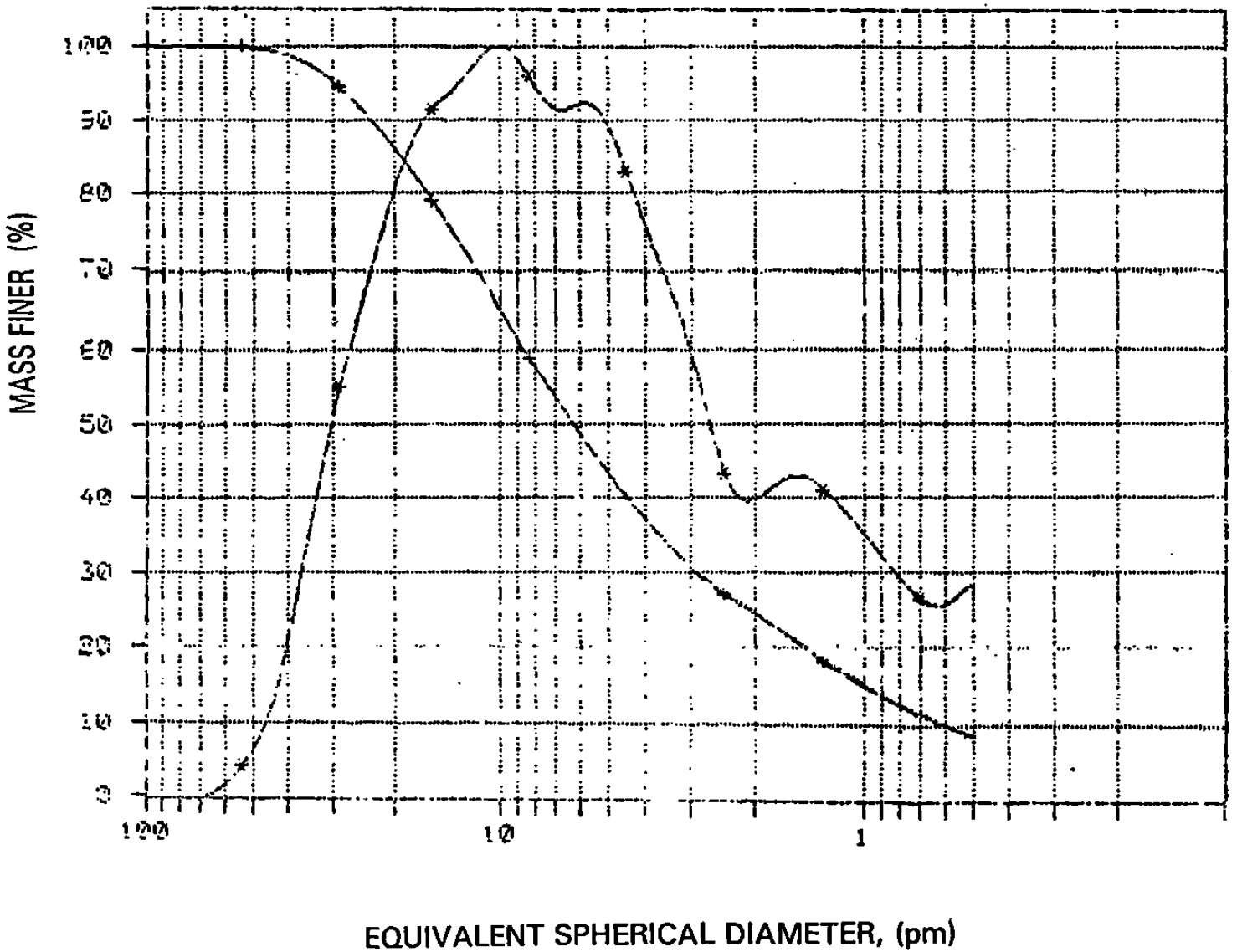


Figura 4.2 Distribución granulométrica del lodo cerámico.

d) ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO.

El análisis termogravimétrico indicó que a 100°C se detectó un leve decremento de 0.4 % en el contenido másico, debido a la presencia de agua higroscópica.

También señaló otra pérdida másica de 4.8 % a 725°C debido a la evolución gaseosa del lodo cerámico, fig. 4.3.

Su análisis químico reportó la presencia del calcio, que usualmente en este tipo de materiales procede de la calcita (CaCO_3), que es descompuesta térmicamente a 825°C, pero por la presencia de minerales contaminantes y la finura de los mismos, se incrementó la velocidad de reacción a una temperatura menor.

PART NO. 990526

RUN NO. _____ DATE 22 NOV 96
 OPERATOR RYG WAW H. DE VALLE
 SAMPLE LODO CERAMICO
 ATM. AIR 9
 FLOW RATE 0.10 LPM

T-AXIS
 PROG. RATE, °C/min 10
 RANGE, °C/cm 50
 HEAT 1 COOL ISO
 SHIFT, cm +10
 TIME, min/cm _____

IGA 50 µg/mV DIG 50 µg/(min mV)
 SUPPRESSION, mg 0
 RANGE, mV/cm 20
 WEIGHT, mg 46.67
 TIME CONST., sec _____
 dY _____

TMA 1 µm/mV DTM 0.1 µm/(min mV)
 MODE _____
 RANGE, mV/cm _____
 SAMPLE SIZE _____
 LOAD, g _____
 dY _____

DuPont Instruments

MEASURED VARIABLE

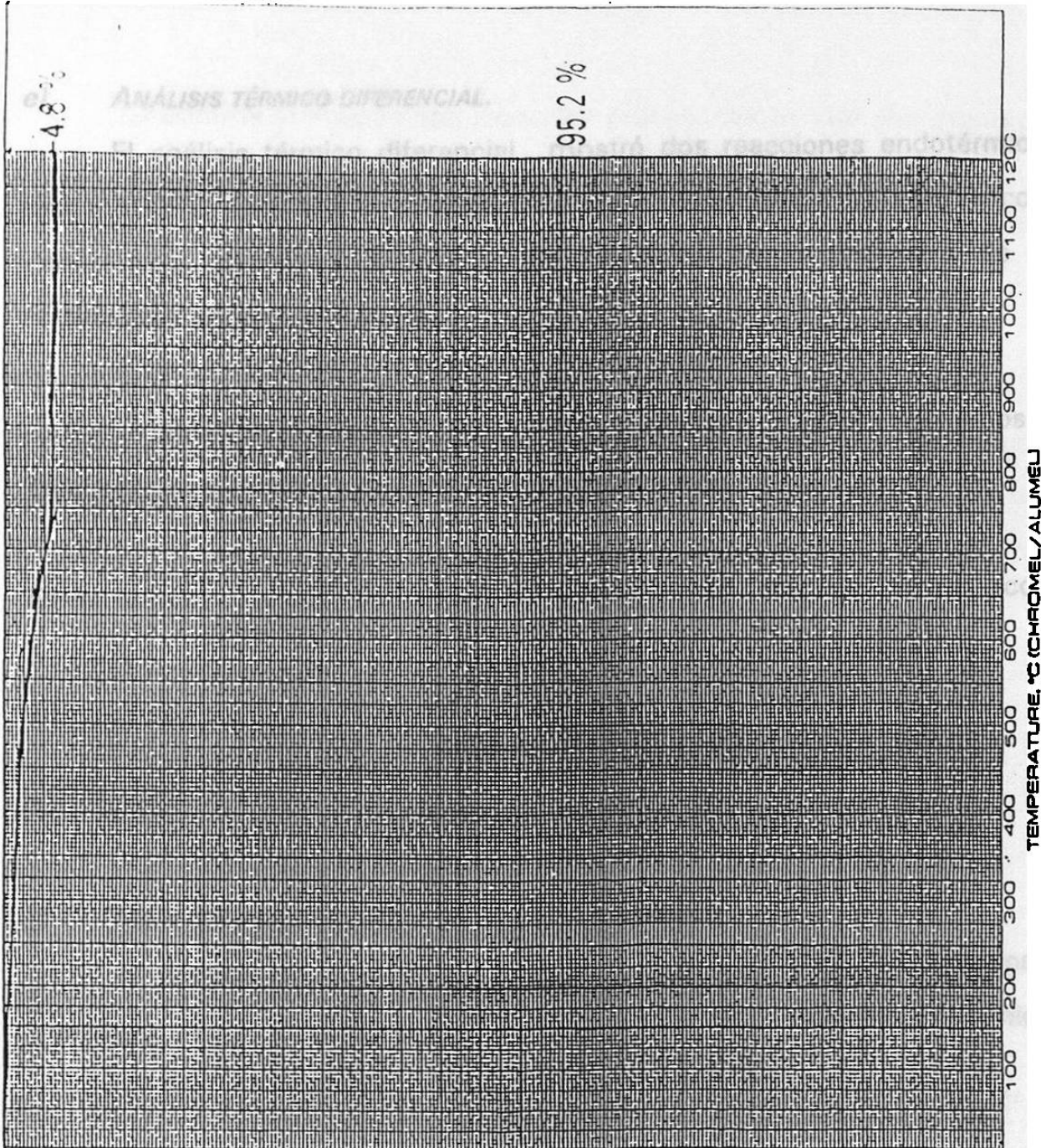


Figura 4.3 Analisis termogravimétrico del lodo cerámico.

e) ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL.

El análisis térmico diferencial mostró dos reacciones endotérmicas, una a 100°C, debido a la presencia de agua higroscópica. La otra reacción endotérmica ocurrió a 775°C y es indicativa de la presencia de los feldespatos anortita y/o albita.

La anortita, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, y la albita, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, sufren fenómenos de inversión en el intervalo de 700-900°C, Figura 4.4 P-50.

Estos feldespatos son muy usados en la industria cerámica, por su acción fundente.

Al fundir las partículas reaccionan químicamente con ellas.

f) ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN POLVO.

El análisis difractométrico evidenció la presencia de los feldespatos anortita y albita, además mostró la presencia de otros materiales cerámicos: el cuarzo y la wollastonita, Tabla 4.3, Figura 4.5 P-51.

MINERAL	SISTEMA CRISTALINO	FÓRMULA
Albita	Triclínico	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Anortita	Triclínico	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Cuarzo	Hexagonal	SiO_2
Wollastonita	Triclínico	CaSiO_3

Tabla 4.3 Fases presentes en el lodo cerámico.

La anortita y la albita son materias procesadas con un alto grado de pureza , se funden formando un vidrio donde el cuarzo se disuelve a una velocidad proporcional a las impurezas incluidas en la estructura del mismo. contaminadas con sílica (SiO_2) y calcita (CaCO_3).

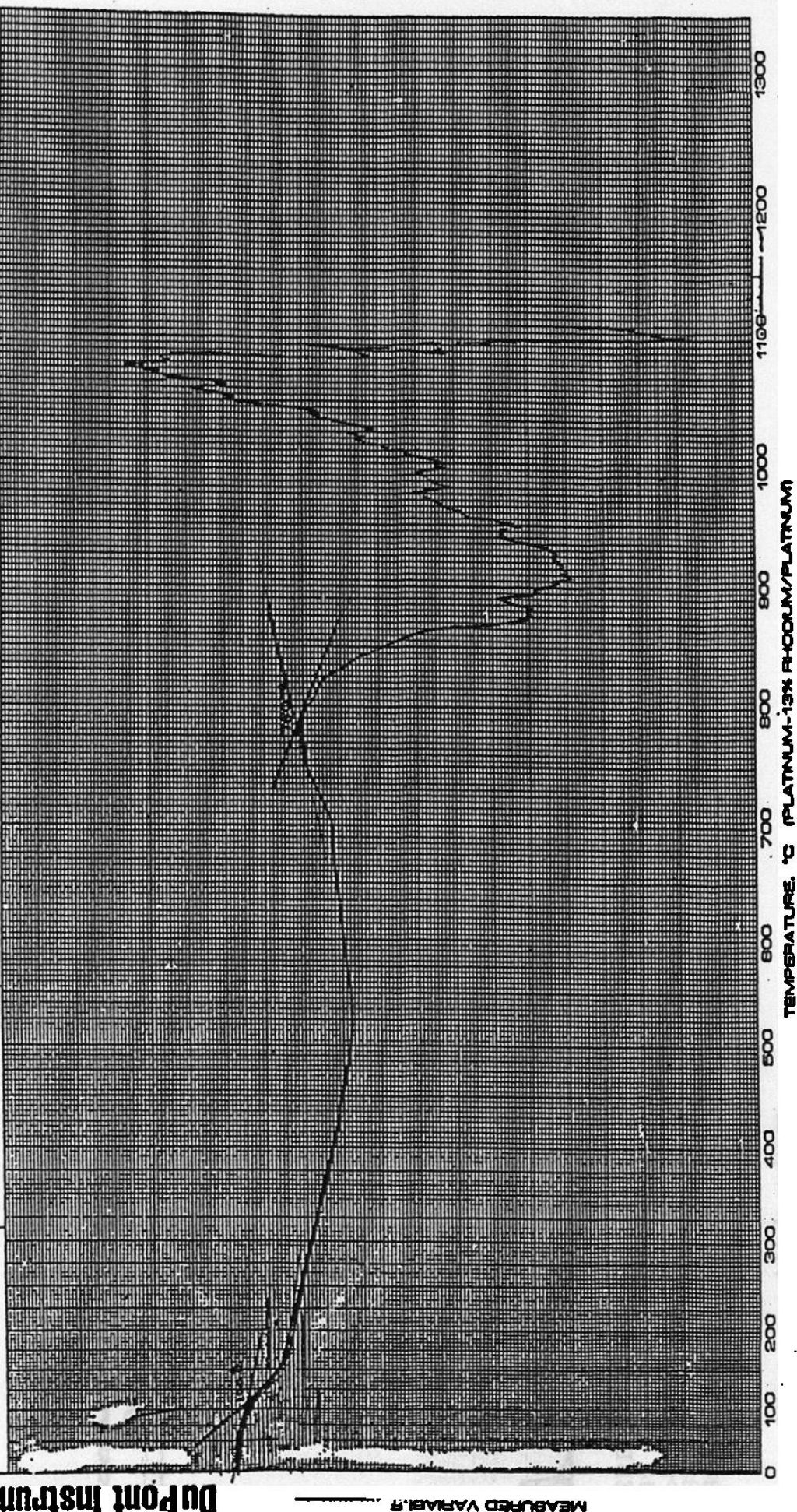
En el TGA (análisis termogravimétrico), se evidencia la evolución de un gas, CO_2 que procede de la calcita presente en el mineral wollastonita y que no es detectado por el XRD (Difracción por rayos X) por aparecer en una concentración menor a 5%.

g) PRUEBAS DE FUSIBILIDAD.

Las pruebas de fusibilidad llevadas a cabo en un horno de gradiente hasta 1300°C , demostraron que el lodo cerámico es un material refractario, porque funde arriba de 1000°C , Figura 4.6 P-52.

PART NO. 990070

RUN NO. <u>22000-96</u> DATE <u>2/20/96</u> OPERATOR <u>ADRIAN DEL VALLE</u> SAMPLE <u>LODO CERAMICO</u> ATM. <u>8</u> FLOW RATE <u>0.10 LPM</u>	T-AXIS PROG RATE, °C/min <u>20</u> RANGE, mV/cm <u>0.1</u> HEAT COOL <u>ISO</u> SHFT, cm <u>0</u> TIME, min/cm _____	DTA RANGE, mV/cm <u>20</u> WEIGHT, mg <u>30</u> REFERENCE <u>Al₂O₃</u>
---	--	--



DuPont Instruments

Figura 4.4 Analisis termodiferencial del lodo cerámico.

Z-Theta - Scale UANL-Facultad de Ciencias Químicas, left Goniometer 20-Nov-1998 18:36

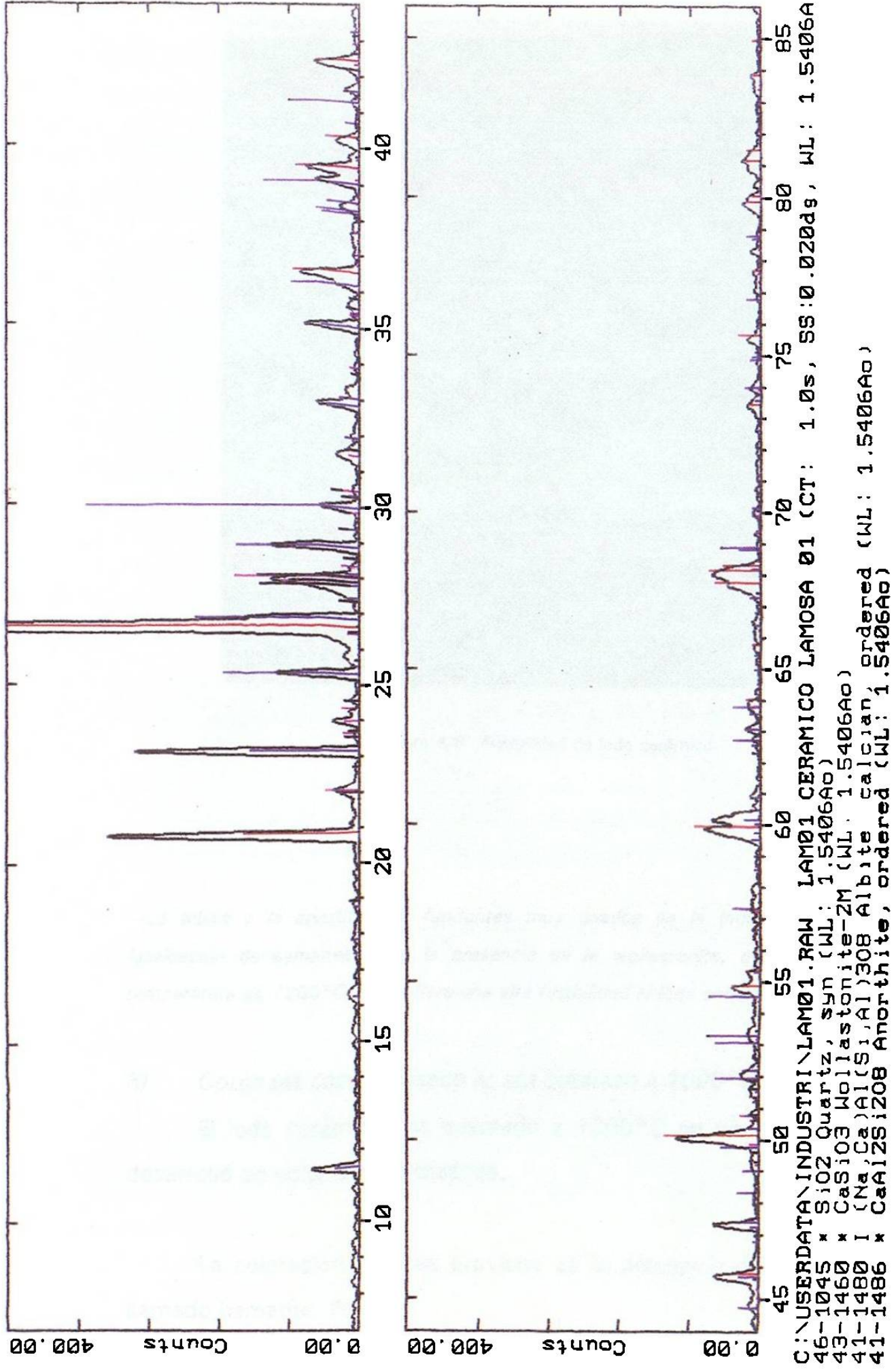


Figura 4.5 Difractograma del lodo cerámico

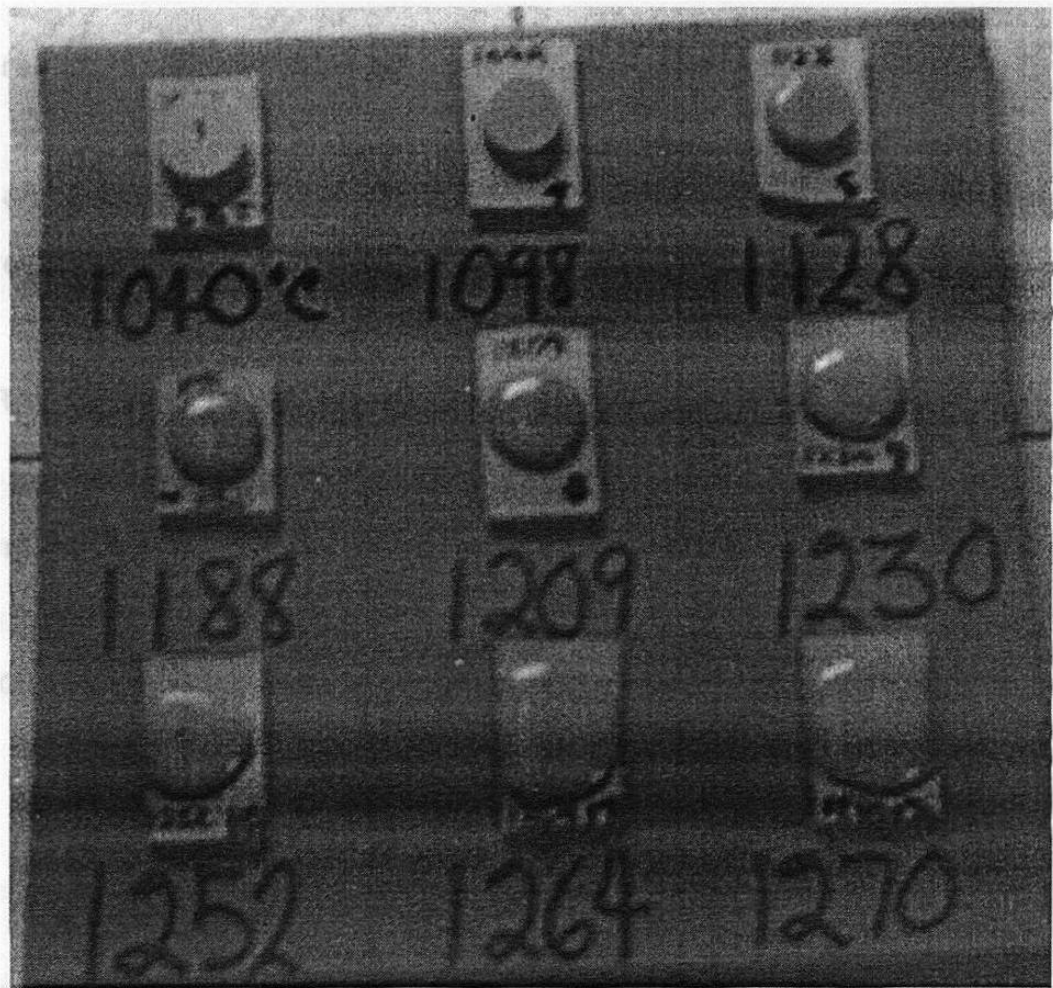


Figura 4.6 Fusibilidad de lodo cerámico.

—La albita y la anortita son fundentes muy usados en la industria cerámica para la fabricación de esmaltes, pero la presencia de la wollastonita, que es estable hasta la temperatura de 1200°C, le confiere una alta fusibilidad al lodo cerámico.

h) COLOR DEL LODO CERÁMICO AL SER QUEMADO A 1000°C.

El lodo cerámico fue quemado a 1000°C en un horno de rodillos y desarrolló un color blanco-rosáceo.

La coloración rosácea proviene de la presencia del mineral de hierro llamado hematita, Fe_2O_3 .

Este mineral es el responsable del característico color de los ladrillos. En presencia del oxígeno el Fe_2O_3 no confiere fusibilidad a las arcillas, sin embargo, en ambientes no oxidantes actúa como un poderoso fundente en su forma reducida FeO .

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL SOPORTE CERÁMICO.

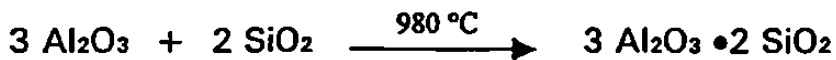
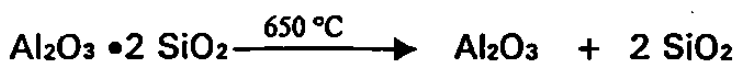
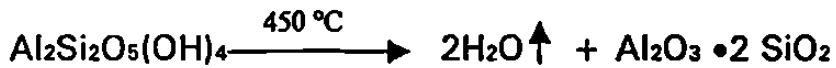
Como el soporte cerámico es un material utilizado en el proceso, solamente se determinaron sus fases, revelando el análisis difractométrico la presencia de calcita, la caolinita y el cuarzo, Figura 4.7 P-55, Tabla 4.4.

MINERAL	SISTEMA CRISTALINO	FORMULA
Calcita	Rombohédrico	CaCO_3
Caolinita	Triclínico	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Cuarzo	Hexagonal	SiO_2
Wollastonita	Triclínica	CaSiO_3

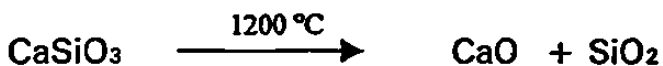
Tabla 4.4 Fases presentes en el soporte cerámico.

La caolinita junto con la wollastonita proveen al soporte su estabilidad dimensional.

La estructura de la caolinita se deshidroxila a 450°C a 650°C, se colapsa su cristal a 980°C, se recombina nuevamente la alúmina y el cuarzo formando la mullita.



Respecto a la wollastonita es un material estable hasta 1200 °C



4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA QUE CONTIENE 15% DE LODO CERÁMICO.

a) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

El análisis granulométrico del material en crudo mostró un tamaño promedio de partícula de 8.56 μm, Tabla 4.5 P-56, el incremento en el tamaño promedio de partícula proviene de la adición del soporte cerámico que contiene material granular. La distribución granulométrica fue adecuada, Figura 4.8 P-57, y permitió un menor empaquetamiento de sus partículas durante la compactación.

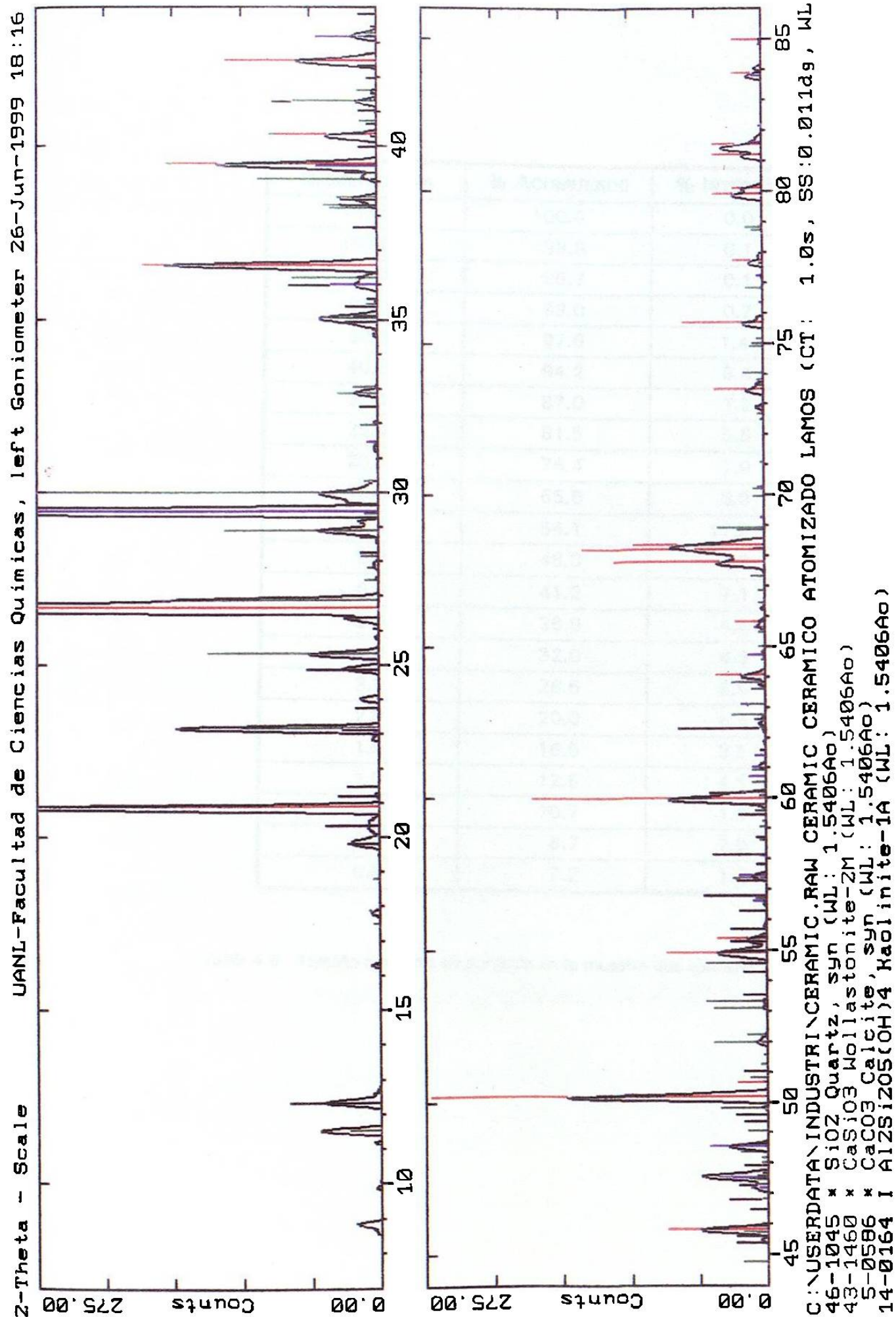


Figura 4.7 Difractograma del soporte cerámico atomizado crudo.

DIÁMETRO, μm	% ACUMULADO	% INTERVALO
150.0	100.0	0.0
100.0	99.8	0.1
80.0	99.7	0.1
60.0	99.0	0.7
50.0	97.6	1.4
40.0	94.2	3.4
30.0	87.0	7.2
25.0	81.5	5.5
20.0	74.4	7.0
15.0	65.6	8.9
10.0	54.1	11.5
8.0	48.3	5.8
6.0	41.2	7.1
5.0	36.9	4.3
4.0	32.0	4.9
3.0	26.5	5.5
2.0	20.0	6.5
1.5	16.5	3.5
1.0	12.5	4.1
0.8	10.7	1.8
0.6	8.7	2.0
0.5	7.2	1.5

Tabla 4.5 Tamaño promedio de partícula en la muestra que contiene 15% de lodo cerámico.

+ ACUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER

* MASS POPULATION VS. DIAMETER

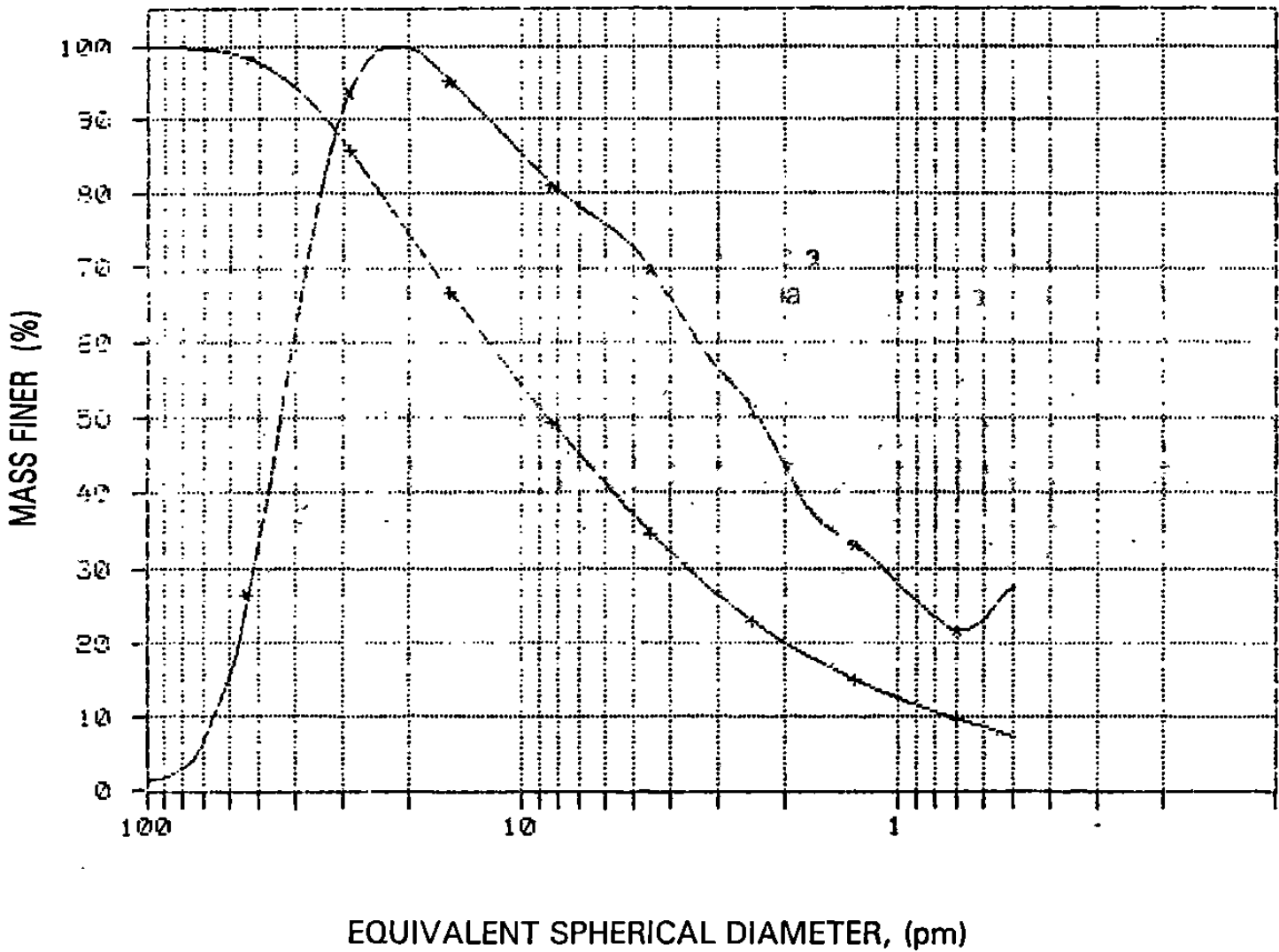


Figura 4.8 Distribución granulométrica de la muestra con 15 % de lodo cerámico.

b) ANÁLISIS DILATOMÉTRICO.

El análisis dilatométrico del material cocido a 1000°C mostró un coeficiente de dilatación térmico en el intervalo de (25 a 500)° C igual a 76×10^{-7} mm/mm°C , Figura 4.9, P-59. Teóricamente debería de corresponder a la sumatoria de los productos de los coeficientes de $c/$ componente por el respectivo porcentaje de cada uno, sin embargo, la porosidad proveniente de la evolución del CO₂ que fue producto de la descomposición de la calcita inhibe la dilatación del soporte porque los cristalitos se expanden dentro de los poros (21). Se observa la inflexión de la curva aproximadamente a 575°C, que corresponde a la inversión del cuarzo α al cuarzo β .

c) ANÁLISIS POR RAYOS -X EN POLVOS

El análisis difractométrico del material cocido a 1150° C mostró la presencia del cuarzo, la albita y la wollastonita, Tabla 4.6 y Figura 4.10, P-60.

<i>MINERAL</i>	<i>SISTEMA CRISTALINO</i>	<i>FORMULA</i>
Albita	Triclínico	NaAlSi ₃ O ₈
Cuarzo	Hexagonal	SiO ₂
Wollastonita	Triclínico	CaSiO ₃

Tabla 4.6 - Fases presentes en el producto cerámico cocido a 1150°C

ORTON AUTOMATIC RECORDING DILATOMETER

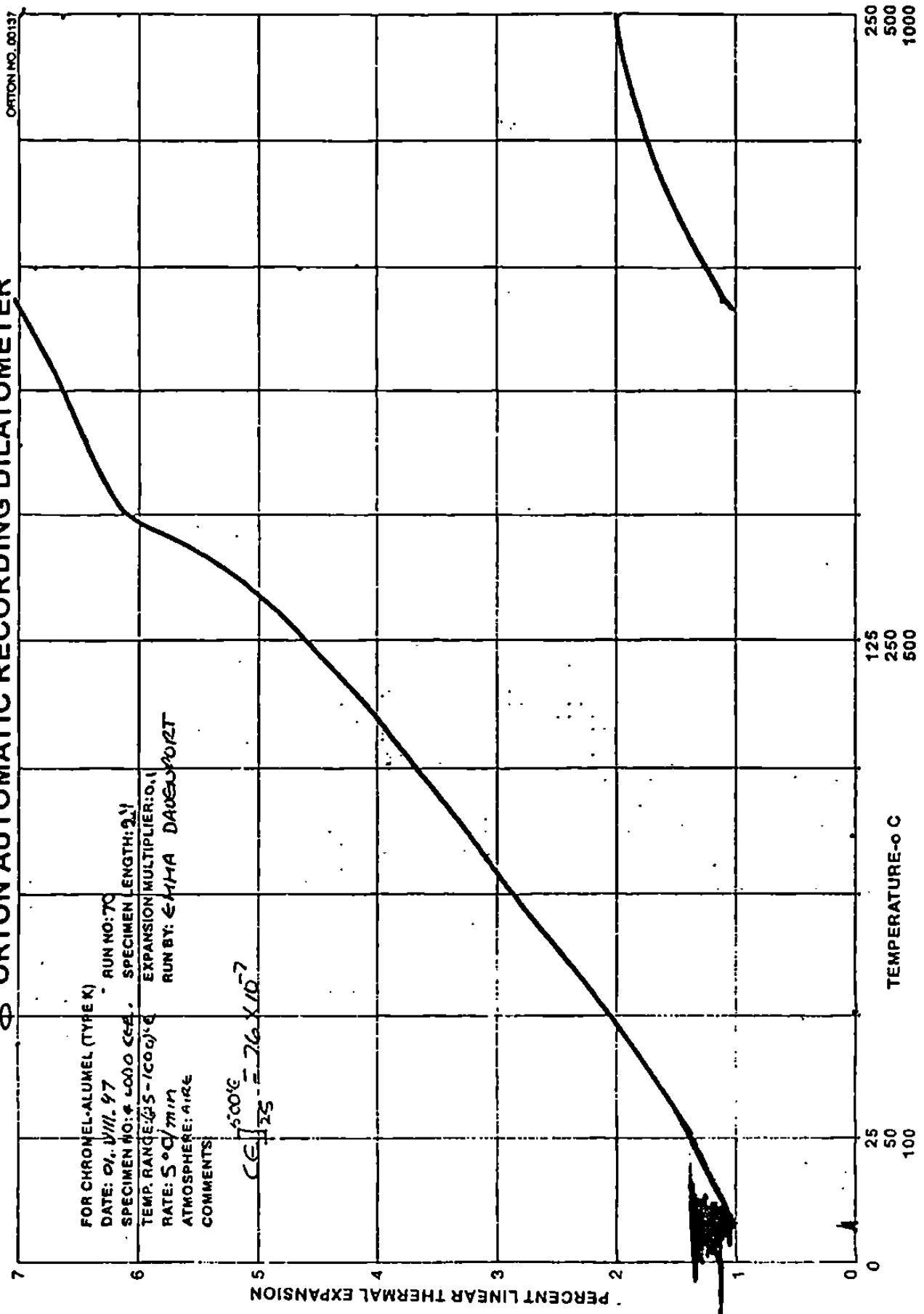


Figura 4.9 Coeficiente de expansión térmica de la muestra con 15 % de lodo cerámico.

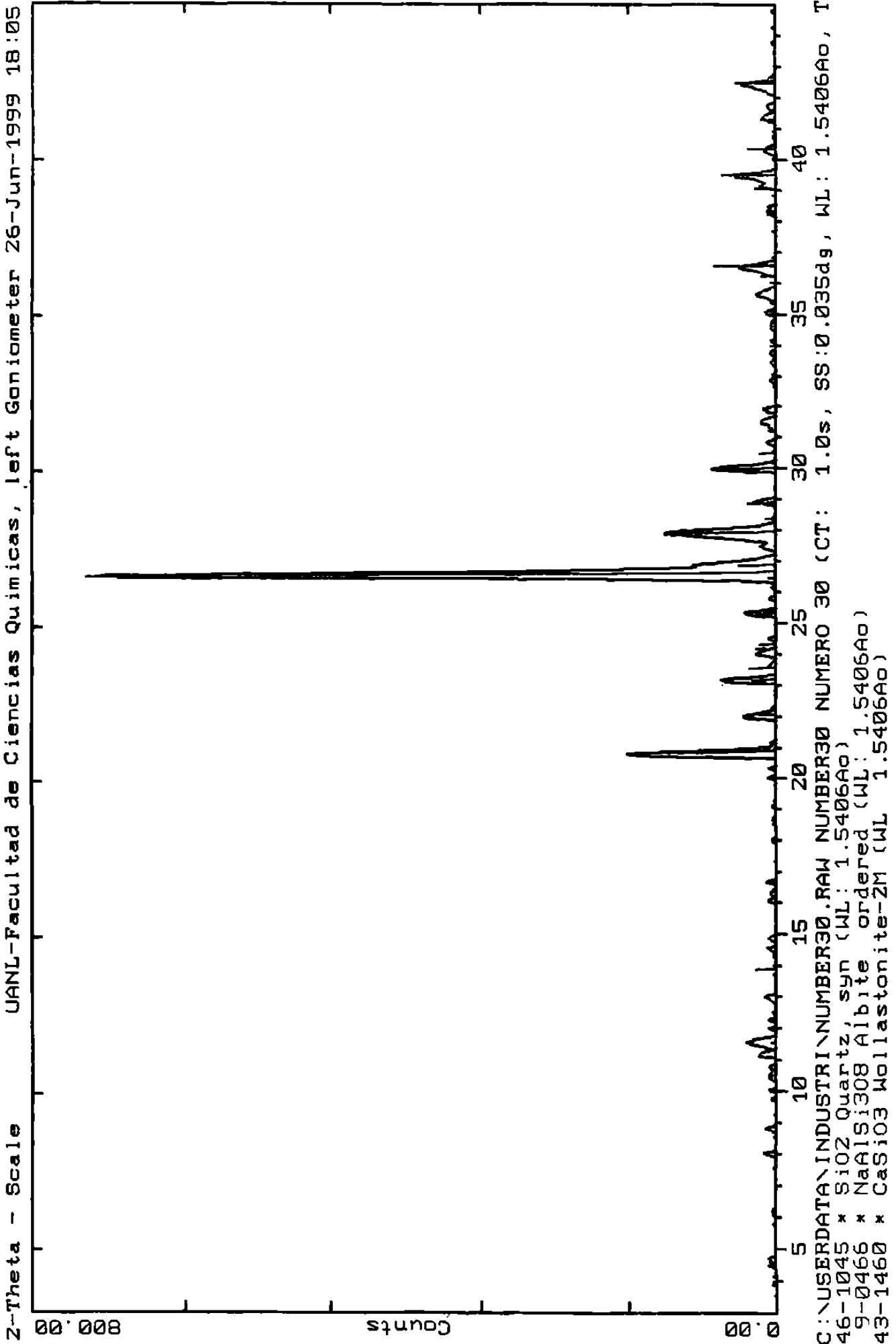


Figura 4.10 Difractograma de la formulación No. 4, cocida a 1150 °C

d) ANÁLISIS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO EN PROBETAS QUEMADAS A 1150°C.

La detección con esta técnica reveló en las imágenes que la probeta con 15% de lodo cerámico tiene mayor sinterización que la probeta que solamente contiene el soporte cerámico. Figura 4.11 P-62.

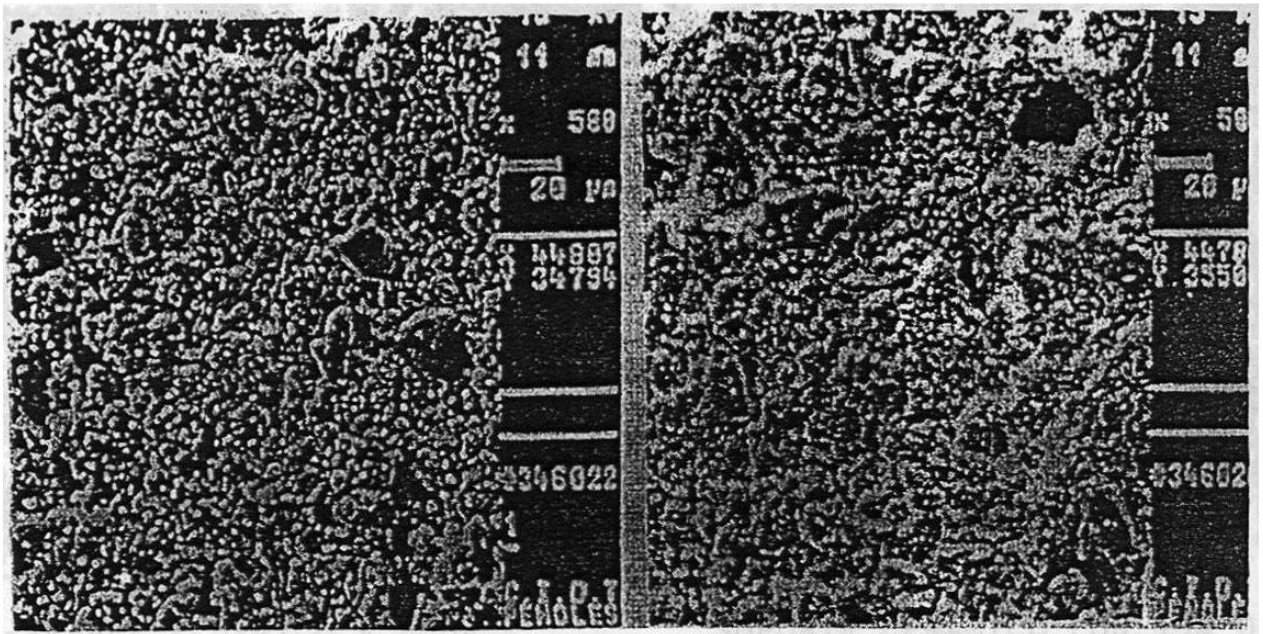
La albita presente en el lodo cerámico actúa de dos maneras, como fundente y cementante.

Funde el cuarzo a la temperatura de 700 °C y este líquido que penetra en los intersticios del material, finalmente promueve la unión de las partículas del mismo cuando finalmente se enfrían.

e) ANÁLISIS DEL PbO DE UNA PROBETA QUEMADA A 1150°C.

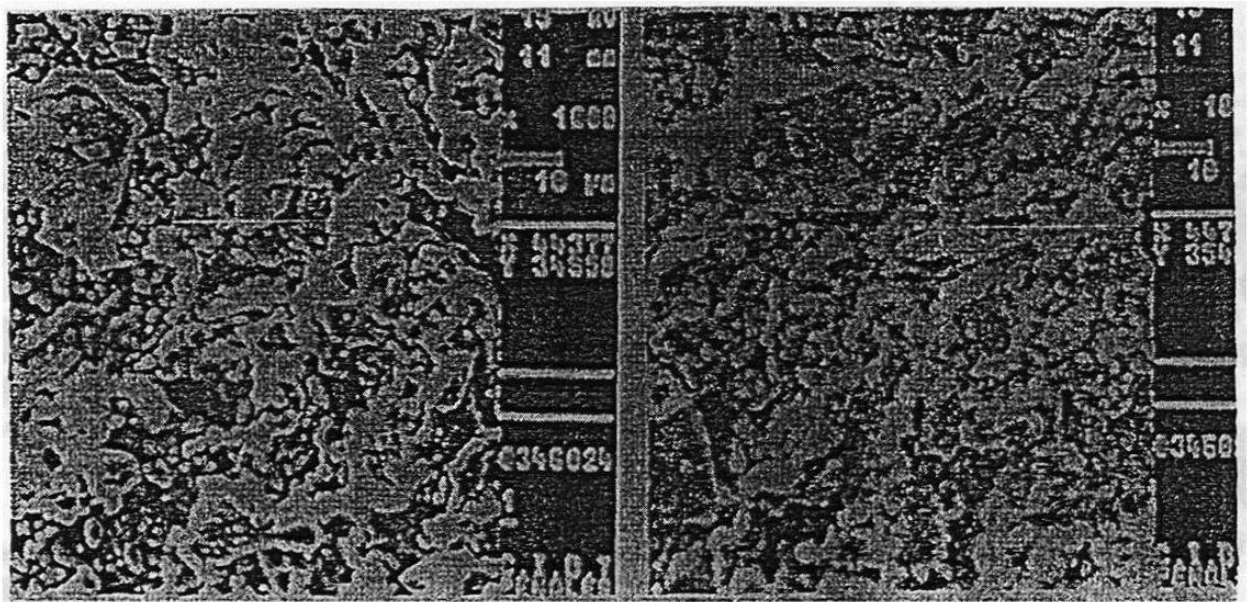
Dado que la muestra con 15% de lodo cerámico contenía 5.7 mg de PbO / kg de material, se determinó por absorción atómica el porcentaje de PbO extraído de la misma, siendo menor a 5 mg/kg de material.

—Este valor mínimo a 5 mg de PbO es indicativo de la estabilización del óxido en la estructura del soporte y que solamente se logró la extracción al cabo de una inmersión completa en ácido acético al cabo de 24 horas (que no son las condiciones ordinarias de uso para este tipo de material, Anexo No. 1).



SOPORTE CERAMICO A 500X.

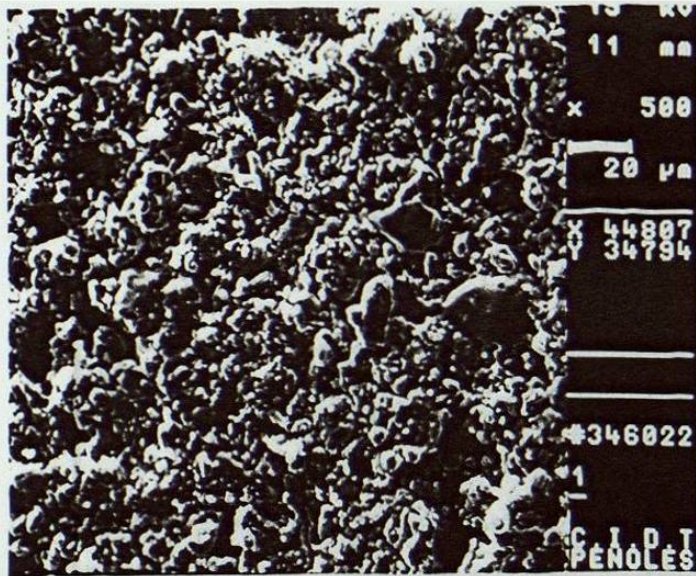
SOPORTE CERAMICO CON 15 %
DE LODO CERAMICO A 500X.



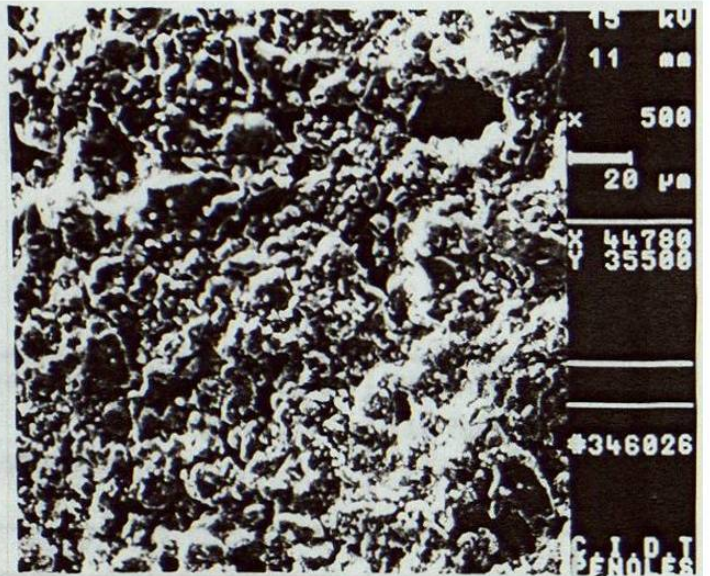
SOPORTE CERAMICO A 1000X.

SOPORTE CERAMICO CON 15 %
DE LODO CERAMICO A 1000X.

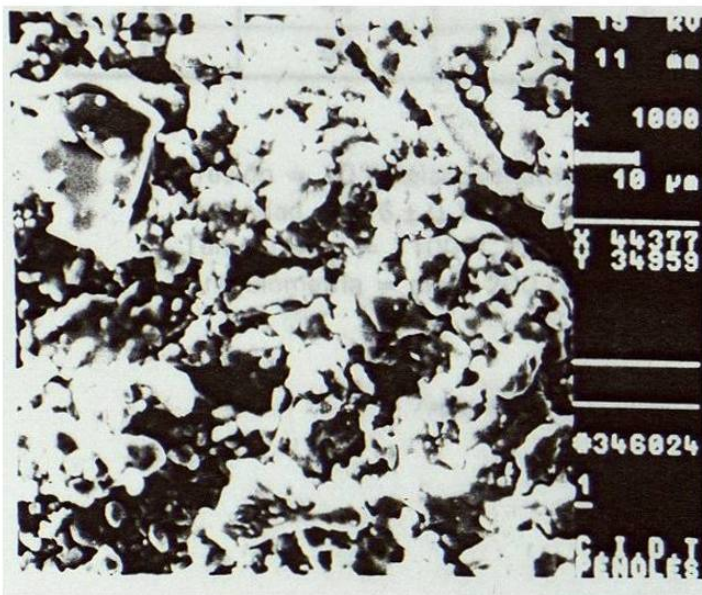
Figura 4.11 MICROSCOPIAS ELECTRONICAS POR BARRIDO, DE MATERIALES
COCIDOS A 1150 °C.



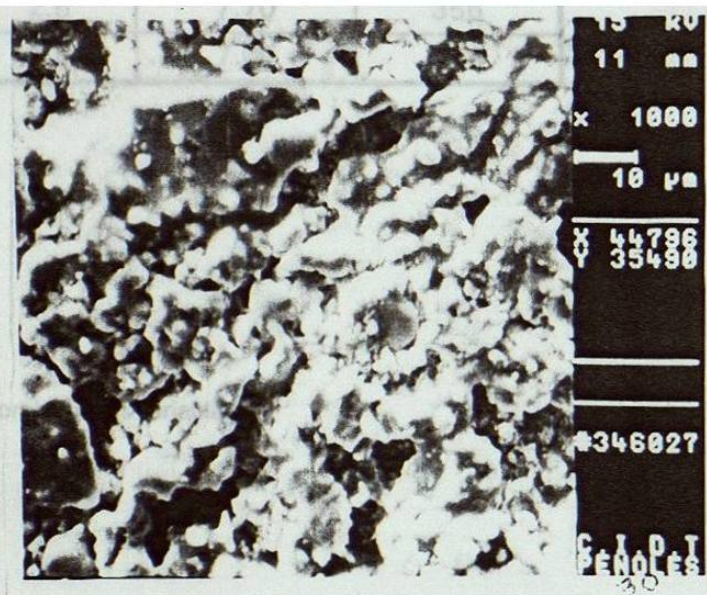
SOPORTE CERAMICO A 500x



SOPORTE CERAMICO CON 15% DE LODO CERAMICO A 500x.



SOPORTE CERAMICO A 1000x



SOPORTE CERAMICO CON 15% DE LODO CERAMICO A 1000x.

FIGURA 4. | MICROSCOPIAS ELECTRONICAS POR BARRIDO, DE MATERIALES COCIDOS A 1 150°C.

MUESTRA	LODO CERÁMICO, %	% EN FÓRMULA FA-27/1.	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN, %	CONTRACCIÓN TOTAL, %	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, KG/CM ²
1	0	100	17.2	0	175
2	5	95	16.5	0.17	227
3	10	90	17.5	0.35	216
4	15	85	16.8	0.17	218
5	20	80	17.2	0.70	240
6	25	75	16.2	1.00	203
7	30	70	15.0	1.76	262
8	35	65	15.3	1.76	271
9	40	60	7.3	5.10	312
10	45	55	2.5	7.70	356
11	50	50	1.8	7.00	456

Presión = 10 toneladas métricas.

Humedad = $5.6 \pm 0.1\%$.

Temperatura = 1100°C.

Granulometría = malla 200 (75 μ m).

Tabla 4.7 Cocción a composición variable.

Tomando como base la muestra con 15% de lodo cerámico, se elaboraron los diagramas de cocción con variabilidad en un parámetro de proceso. estos parámetros fueron la presión de formado; la humedad del material, la temperatura de cocción y la granulometría del material.

a) **DIAGRAMA DE COCCIÓN A PRESIÓN DE FORMADO VARIABLE.**

Este diagrama mostró que la contracción lineal total y la absorción de agua tienen una tendencia inversa al incremento de la presión. a presiones mayores a 10 toneladas métricas, la contracción lineal total se tornó positiva (expansión).

La resistencia a la flexión no muestra una tendencia definida, a una presión de 10 toneladas métricas, se obtuvo la mayor resistencia mecánica a la flexión. Figuras 4.13, 4.14 P-66, Tablas 4.8-9 P-67.

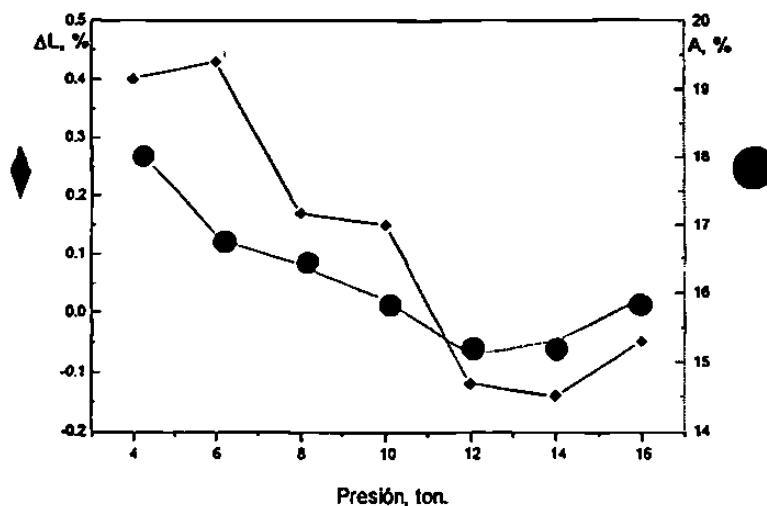


Figura 4.13 Diagrama de cocción a presión variable

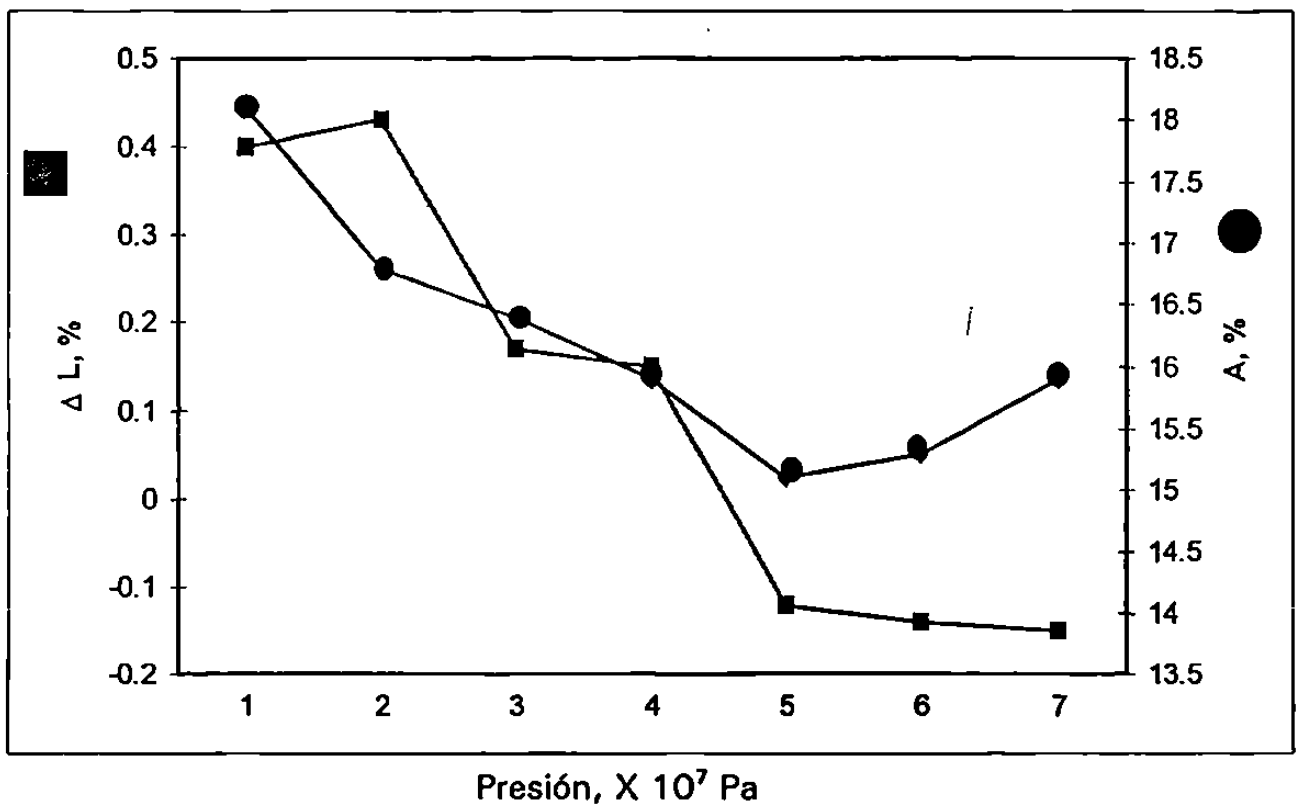


Figura 4.14 Diagrama de cocción a presión variable.

Debido a que los cristales de la caolinita y otros minerales arcillosos tienen forma de hojuelas (su área transversal es considerablemente mayor que su espesor) a mayor compactación es mayor el reacomodo de estos cristales, de tal manera que al ser sometidos al efecto térmico, se expanden laminando al material, por lo tanto a presiones elevadas ocurrió el efecto de laminación (22).

MUESTRA	PRESIÓN DE CONFORMADO		COEFICIENTE DE ABSORCIÓN, %	CONTRACCIÓN TOTAL, %	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, KG/CM ²
	TONS. MÉTRICAS	(KGf/CM ²)			
12	4	154.0	18.1	0.40	154
13	6	231.1	16.8	0.45	193
14	8	308.1	16.4	0.17	153
15	10	385.1	15.9	0.15	172
16	12	462.1	15.1	-0.12	166
17	14	539.1	15.3	-0.14	177
18	16	616.2	15.9	-0.15	133

Composición = 15% de lodo cerámico en la fórmula FA-27/1.

Humedad = 5.6 ± 0.1%.

Temperatura = 1100°C.

Granulometría = malla 200 (75 µm).

Tabla 4.8 Cocción a presión variable.

MUESTRA	PRESIÓN DE CONFORMADO, 10 ⁷ PA	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN, %	CONTRACCIÓN TOTAL, %	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, KGf/CM ²
12	1.510	18.1	0.40	154
13	2.266	16.8	0.43	193
14	3.021	16.4	0.17	153
15	3.777	15.9	0.15	172
16	4.531	15.1	-0.12	166
17	5.287	15.3	-0.14	177
18	6.043	15.9	-0.15	133

Composición = 15% de lodo cerámico en FA-27/1.

Humedad = 5.6 ± 0.1%.

Temperatura = 1100°C.

Granulometría = malla 200 (75 µm).

Tabla 4.9 Cocción a presión variable.

b) DIAGRAMA DE COCCIÓN A HUMEDAD DEL MATERIAL VARIABLE.

En el diagrama se determinó que la absorción de agua disminuye con el aumento de la humedad del material. igual tendencia ocurre con la contracción lineal total que llega a ser positiva (expansión).

La resistencia a la flexión se mantiene casi constante a partir de 5% de humedad, Figura 4.15, Tabla 4.10.

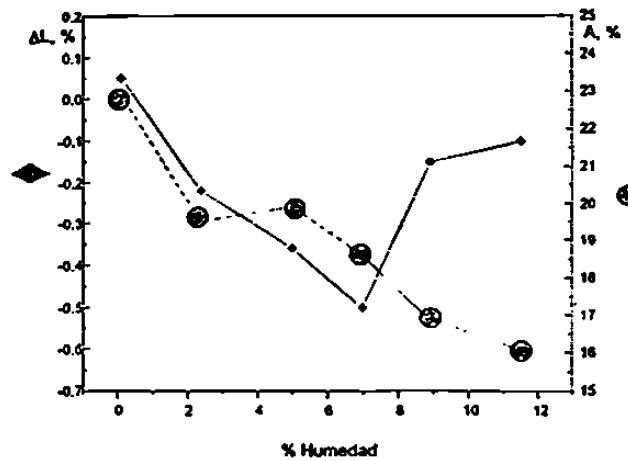


Figura 4.15 Diagrama de cocción a humedad variable.

MUESTRA	HUMEDAD, ± 0.1%	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN, %	CONTRACCIÓN TOTAL, %	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, KG/CM ²
19	0.1	22.9	0.05	70.3
20	2.4	19.5	-0.22	82.3
21	5.0	19.9	-0.36	144.8
22	7.0	18.6	-0.35	137.7
23	8.9	16.9	-0.15	143.8
24	11.5	16.1	-0.10	147.0

Composición = 15% de lodo cerámico en FA-27/1.
 Prensado = 10 toneladas métricas.
 Temperatura = 1100°C.
 Granulometría = malla 200 (75 μm).

Tabla 4.10 Cocción a humedad variable.

El agua tiene un efecto lubricante, que permite una mejor compactación, sin embargo esta compactación originó que los cristales de caolinita se reorientarán formando capas, cuya exfoliación durante el quemado, promueve la expansión del material.

La humedad óptima es de 5%, porque a mayores valores la resistencia casi no varía y el exceso de humedad supone un mayor gasto energético: la eliminación de la misma.

c) DIAGRAMA DE COCCIÓN A TEMPERATURA VARIABLE.

En el diagrama se evidenció que la absorción de agua y la contracción lineal total disminuyen con el aumento de la temperatura de cocción. La resistencia a la flexión aumenta proporcionalmente con el aumento de la temperatura de cocción, (Figura 4.16, Tabla 4.11, P-70), ésto se debe al incremento de la fase líquida arriba de 1000°C, que penetra en los intersticios existentes entre las partículas. El mismo, que al solidificar actúa como agente cementante, uniendo las partículas y confiriendo al material una baja absorción de agua, alta contracción lineal total y gran resistencia mecánica.

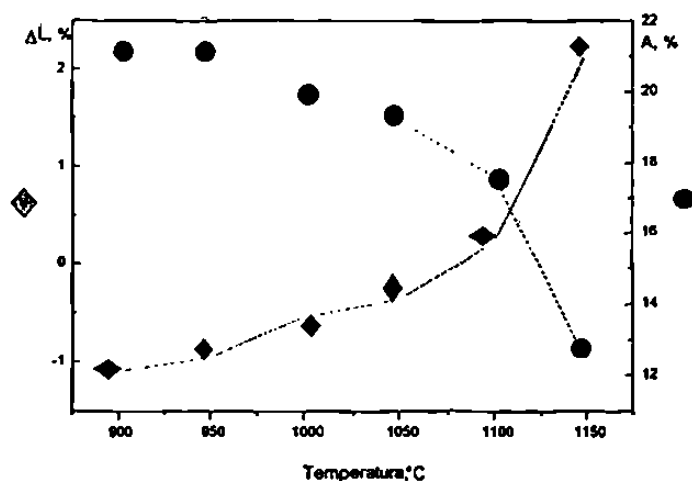


Figura 4.16 Diagrama de cocción a temperatura variable.

MUESTRA	TEMPERATURA DE COCCIÓN, °C	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN, %	CONTRACCIÓN TOTAL, %	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, KG/CM ² .
25	900	20.9	-1.10	25.2
26	950	21.0	-0.95	33.8
27	1000	19.9	-0.54	92.5
28	1050	19.2	-0.36	98.8
26	1100	17.6	0.21	211.2
30	1150	12.4	2.16	229.6

Composición = 15% de lodo cerámico en la fórmula FA-27/1.

Humedad = 5.5 ± 0.1%.

Presión = 10 toneladas métricas.

Granulometría = malla 200 (75 μm).

Tabla 4.11 Cocción a temperatura variable.

—A partir de 1000°C se obtuvo un material con buenas propiedades de absorción de agua, contracción lineal total y resistencia mecánica.

d) **DIAGRAMA DE COCCIÓN CON GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL VARIABLE.**

El diagrama mostró un leve incremento en la absorción de agua, la absorción lineal total al igual que la resistencia a la flexión no tuvieron cambio significativos. La muestra que contuvo mayor porcentaje de material grueso resultó agrietada, Figura 4.17, Tabla 4.12 P-72.

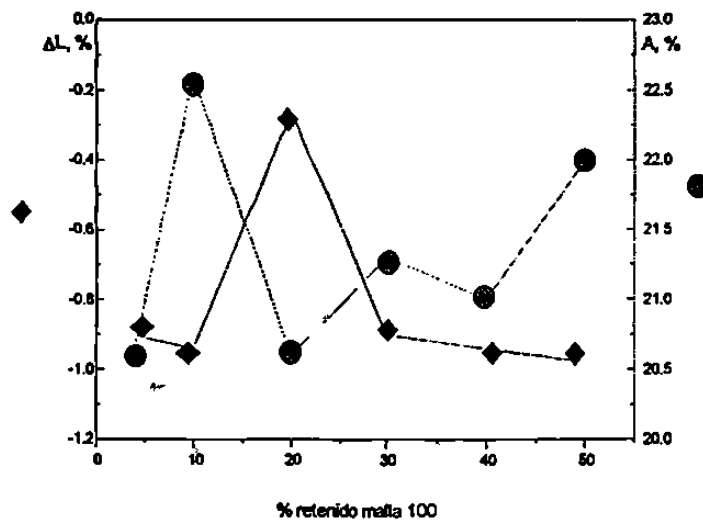


Figura 4.17 Diagrama de cocción a granulometría variable

MUESTRA	RETENIDO EN MALLA 100, %	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN, %	CONTRACCIÓN TOTAL, %	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, KG/CM ²
31	3.8	20.6	-0.90	201.9
32	10.0	22.6	-0.94	207.3
33	20.0	20.6	-0.26	205.9
34	30.0	21.3	-0.90	259.3
35	40.0	21.0	-0.94	188.6
36	50.0	22.0	-0.98	*

* Todas las piezas estaban agrietadas.

Composición = 15% de lodo cerámico en FA-27/1.

Humedad = $0.8 \pm 0.1\%$.

Temperatura = 1100°C.

Granulometría = malla 200 (75 μm).

Tabla 4.12 Cocción a granulometría variable.

—Esto es indicativo de que las partículas gruesas (mayores a 150 μm) tuvieron una baja compactación por la mínima humectación de las mismas, ya que se favoreció una baja lubricación interpartícula durante su prensado y aunado ésto a la irregular distribución del material grueso contra el material fino.

5. CONCLUSIONES

5.1.- El lodo cerámico que fue estabilizado en el soporte cerámico promovió la densificación del mismo según lo muestran los diagramas de cocción. De acuerdo al parámetro considerado como variable, se tiene lo siguiente :

- a) Diagrama de cocción con la presión como variable : la densificación del material aumenta proporcionalmente con el aumento de la presión, sin embargo, una presión excesiva favorece la laminación de la estructura.
- b) Diagrama de cocción con la humedad como variable : la humedad del material favorece la densificación porque permite una mejor compactación interpartícula.
- c) Diagrama de cocción con la temperatura como variable : el incremento de la temperatura incrementa la formación de la fase vítrea, que es la responsable del sellado de los poros.
- d) Diagrama de cocción con la granulometría como variable : la densificación no fue promovida con la adición de material granular levemente humectado que fomentó la formación del fenómeno de agrietado.

5.2.- Parámetros recomendables :

- a) Una concentración de lodo cerámico máxima de 3%..
- b) Una presión de formado aproximada a 10 toneladas métricas, ($385.1 \text{ kgf cm}^{-2}$).
- c) Una humedad aproximada a 5%.
- d) Con una granulometría del material cercana a 4% en retenido en malla 100 y 96% que pase la malla 100.

En base a los resultados obtenidos se concluye que la adición de lodo cerámico a un soporte, nos permite la eliminación del mismo y obtener dos tipos de beneficios, el económico porque la reutilización implica un ahorro de materia prima total y el beneficio ecológico al inertizar un residuo clasificado según la Norma CRETIB como tóxico y cuya acumulación representa un riesgo potencial de contaminación.

6. REFERENCIAS

1. W.E. Brownwell., Structural clay products., Springer-Verlag., 1-5 (1976).
2. Werner Keller., La Biblia tenía razón., Edición Omega Española., 127-128 (1981).
3. Donato Grosser., Tile decorative surfaces., 44, Junio (1996).
4. Werner Joseph., Bol. Soc. Española de Cerámica y Vidrio., Vol. 20, No. 2., 99-103 (1981).
5. A. Tenaglia., International Ceramic Journal., No. 59, 45, Julio (1993).
6. A. Colli., Cerámica Información., No. 74, 308., Julio (1980).
7. E. Montfort y J.E. Enrique., Ahorro energético y ventajas medioambientales de la reutilización de residuos. Instituto de Tecnología Cerámica. Castellón, España. (1993)-
8. F. Andreola, T. Manfredini, G.C. Pellecani, P. Pozzi y M. Romagnoli., International Ceramic Journal., August (1995).
9. The annual Meeting and Exposition : Progress in processing and environmental solution continues., American Ceramic Society Bulletin., 71, (6), 889-94., (1992).

10. F. Andreola, L. Bonafatti, T. Manfredini, G.C. Pellecani y P. Pozzi., *Tile and Brick International*, 8 (1)., 9-13 (1992)
11. F. Andreola, L. Bonafatti, T. Manfredini, G.C. Pellecani, P. Pozzi y M. Romagnoli., *Tile and Brick International*. In Press. (1995).
12. T. Manfredini, G.F. Marzola, S. Nuzziello, G.C. Pellecani, P. Pozzi and O. Tubertini, *Environmental Techniques.*, 12, 927-34 (1991).
13. F. Andreola, L. Bonafatti, T. Manfredini, G.C. Pellecani y P. Pozzi., *Tile and Brick International.*, 8 (5), 341-46 (1992)
14. M.M. Ristic., *Simposium CERAMITEC* (1982).
15. M.M. Hailesco and M. Emandi., *Ceramica Informazione.*, 221, Agosto (1984).
16. A. Blasco, F. Gines, J.C. Jarque y E. Montmort., *Técnica Cerámica*. No. 195., 470-483, (1992).
17. A. Tenaglia, C. Palmorani y G. Timelline., *Fanghi da Industria Ceramica.*, Centro Cerámico de la Universidad de Bologna, Italia., 123-136 (1983).
18. Método unificado para el estudio del agua, agua de vertido y lodos., Editorial Chemie Weinheim., Versión del 5 de Enero de 1977.

19. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental.,
Secretaría de Desarrollo Social., Diario Oficial de la Federación.,
Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos
Mexicanos., Viernes 22 de Octubre de 1993.
20. Rex W. Grimshaw., Ernest Been Limited., London, 793-794., (1971 =
21. A.B. Searle and R.W. Grimshaw., Ernest Been Limited., London., 716,
(1959).
22. A.B. Searle and R.W. Grimshaw., Ernest Been Limited., London., 502,
(1959).



FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

DEPTO. SERVICIOS PROFESIONALES

HUESTRA NUM. 971007 / 2296
PROPORCIONADA POR: Q.I. EMMA A. DEVENPORT
IDENTIFICADA COMO: PASTILLA # 30
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

R E S U L T A D O S :

		(mg/kg)
PLOMO LIXIVIABLE	MENOR A	5.0

REVISO: QI. GREGORIO ROSAS SOSA.

FIRMA: _____



SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L. 09 DE OCTUBRE DE 1987
DEPARTAMENTO DE
SERVICIOS PROFESIONALES



