

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



T E S I S

ESTUDIO COMPARATIVO DE ALFARERIA ACTUAL
(NO VIDRIADA) Y CERAMICA PREHISPANICA TARDIA
DEL ESTADO DE MEXICO POR MEDIO DEL ANALISIS
TERMICO DIFERENCIAL

FILIS MORENO AÑORVE

Q U I M I C O

1 9 8 3



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

I. PARTE TEORICA

A. CERAMICA 4

 1. CERAMICA 4

 2. ANTECEDENTES HISTORICOS 4

 3. COMPOSICION DE LOS MATERIALES CERAMICOS 10

 a. LAS ARCILLAS 10

 b. LOS DESGRASANTES 16

 c. FUNDENTE 17

B. METODOS GENERALES DE ANALISIS PARA LA IDENTIFICACION DE CERAMICAS 18

 1. MICROSCOPIA 19

 2. ANALISIS QUIMICO VIA HUMEDA 21

 3. ABSORCION ATOMICA 22

 4. ESPECTROSCOPIA DE EMISION 23

 5. RAYOS X 23

 6. TERMOANALISIS 24

 Termogravimetría 24

 Análisis Térmico Diferencial. 25

 Dilatometría 32

II. PARTE EXPERIMENTAL

PROCEDENCIA Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS 33

A. ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL 35

 1. APARATO 35

 2. TECNICA 38

 Factores Experimentales que Influyen en los Resultados del Análisis Térmico Diferencial 39

 3. INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL 39

FERENCIAL	41
a. Termogramas de Arcillas	41
b. Discusion de los Cambios Característicos Corres <u>ponde</u> <u>ntes</u> a:	
- Probetas Precocidas	47
- Cerámica Actual	50
- Cerámica Arqueológica	52
c. Comparación de Termogramas de una misma Zona	54
B. DETERMINACION DE COLOR	56
1. GENERALIDADES	56
2. TECNICA	57
3. RESULTADOS.	58
Discusion de Resultados	58
C. ANALISIS AUXILIARES	63
1. DETERMINACION DE HIERRO	63
a. Preparación de la Muestra.	63
b. Base del Método	63
c. Reactivos	64
d. Procedimientos	65
e. Calculos	65
f. Resultados	66
g. Interpretación de Resultados	66
2. ANALISIS PETROGRAFICO	67
a. Preparación del Material	67
b. Resultados del Análisis Petrográfico	68
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFIA	75

El presente trabajo se hizo con la finalidad de obtener una correlación entre la alfarería actual y la prehispánica tardía, del hoy Estado de México, a través del Análisis Térmico Diferencial (ATD) (5), (8), (12), (13), -- (17), (18), (22), (28), (31), (35) y (36) con el propósito de encontrar la continuidad tecnológica entre cerámica de algunos centros alfareros que desde hace varios siglos conservan ésta tradición y la pasta cocida efectuada por alfaros prehispánicos. Se ha puesto énfasis en la temperatura de cocimiento, a partir de la cual se pueden establecer semejanzas y diferencias de comportamiento térmico entre las cerámicas antiguas y la alfarería contemporánea no vidriada.

La primera parte del trabajo consta de un breve estudio sobre arcillas, cerámica, así como los métodos analíticos más usados en la análisis cerámico.

La segunda parte se refiere a los análisis realizados por Análisis Térmico Diferencial con las diferentes muestras, así como las conclusiones correspondientes.

Para detectar la correlación de temperatura máxima de cocción entre las pastas cerámicas, arqueológica y actual, se trató de que las muestras (arcilla y pasta cocida) de centros alfareros contemporáneos, correspondan a la misma zona geográfica que las muestras de cerámica arqueológica obtenidas; tal es el caso de Texcoco, Ocoyoacac, Metepec (Teotenango) y Teotihuacán, aunque la producción alfarera de éste último es mínima, ya que está reducida a imitaciones de cerámica arqueológica y se incluyen por su importancia cultural.

También se estudiaron muestras (arcilla y pasta cocida) de Temascalcingo y Valle de Bravo, por su gran producción alfarera actual, aunque no hay

centro cultural prehispánico que corresponda con dichos sitios, sin embargo están en la misma zona geográfica.

La metodología seguida fue:

- 1.- Análisis Térmico Diferencial a las muestras de: arcilla, probetas cocidas a diferentes temperaturas, cerámica actual y cerámica arqueológica.
- 2.- Determinación de color de: arcillas, pastas cerámicas actuales, probetas cocidas a 500°C, cerámica arqueológica y muestras de cada una de las anteriores después de ATD.
- 3.- Determinación de Hierro Total de: arcillas, cerámica actual y cerámica arqueológica.
- 4.- Análisis Petrográfico de algunas muestras seleccionadas de arcilla, cerámica actual y arqueológica.

Se sometió a las muestras de arcilla al Análisis Térmico Diferencial para:

- Ver gráficamente su comportamiento térmico.
- Identificar el grupo arcilloso.
- Reconocer la mayor proporción posible de los contaminantes predominantes, susceptibles de identificación por ATD, en especial los del hierro, que tienen gran influencia en el color y sales como carbonatos y cloruros.

Se hizo el Análisis Térmico Diferencial de las probetas cocidas a

diferentes temperaturas, con el fin de observar el efecto del precocido en la lectura de los termogramas.

A las muestras de cerámica actual se les sometió a Análisis Térmico Diferencial, con la finalidad de conocer la influencia de:

- Los agregados.
- La atmósfera y el rango de cocción, en la obtención de los termogramas correspondientes.
- Comparar con los termogramas de la cerámica arqueológica.

Las muestras de cerámica arqueológica fueron sometidas a Análisis Térmico Diferencial, con el fin de obtener el termograma correspondiente y compararlo con los de las probetas cocidas a diferentes temperaturas y los de cerámica actual.

Se determinó color usando las tablas Munsell (21) para suelos, con la finalidad de registrar la variación del color de las muestras pertenecientes a la misma área geográfica y con base en ello deducir situaciones de cocción y preparación de la pasta.

La determinación del hierro total por vía húmeda, se hizo con el fin de observar la influencia de la cantidad de hierro total en los termogramas, tanto de arcilla, de la cerámica actual como de cerámica arqueológica.

El propósito del análisis petrográfico de las muestras de arcilla, fue corroborar algunos de los datos obtenidos a través de la interpretación de los termogramas, sobre la presencia de minerales y sus niveles.

I. PARTE TEORICA

A. CERAMICA

1. CERAMICA

Partiendo de las raíces etimológicas, KERAMIKE, derivado de keramos -- arcilla, cerámica es el arte de fabricar objetos de toda clase de formas, en -- barros de todos los tipos, con la acción del calor (7) por lo que tradicio-- nalmente se ha considerado a los objetos de arcilla, como objetos cerámicos.

Además de los objetos de barro cocido se amplía el sentido del térmi-- no, a otro, en el que se incluyen materiales tales como: porcelanas, refracta-- rios, vidrio y cemento, en los que predominan los silicatos en su constitución; actualmente se ha ampliado aún más el sentido del término incluyendo algunos -- abrasivos, dieléctricos especiales,.... etc., en los cuales predominan otros -- elementos no metálicos, diferentes del silicio (4), (16) y (27).

El denominador común de lo que modernamente se considera como materia-- les cerámicos es: su composición primaria y un tratamiento térmico, éste es, -- que sean sólidos inorgánicos no metálicos naturales o artificiales, sometidos a tratamientos térmicos definidos, para cada tipo de material.

2. ANTECEDENTES HISTORICOS.

La cerámica es conocida desde tiempo inmemorial, el hombre primero -- aprendió a trabajar la arcilla con agua, formando figuras de animales y perso-- nas, secándolas al sol (en Asia Menor 12,000 años A. C.) (6) y mucho tiempo des--

pués descubrió que el fuego, mejoraba sus características, con lo que producía un objeto duro para siempre, este descubrimiento constituyó un gran adelanto para el hombre primitivo, pues le permitió hervir el agua, cocinar y conservar -- sus alimentos.

No existe un sitio específico donde haya aparecido la cerámica y que de ahí se haya diseminado por el mundo, en cada región hubo quien la descubriera. Existen dos teorías sobre su origen: accidental y búsqueda deliberada; quizás en realidad primero fue accidental y después lo segundo, que surgió de las necesidades que tenía el hombre primitivo de disponer de recipientes para guardar y cocer sus alimentos, que a su vez fueran duraderos y de fácil manejo.

Las primeras vasijas fueron muy burdas, porque las arcilla empleadas estaban muy contaminadas, cocidas a bajas temperaturas y a fuego abierto, lo -- que exhibe una técnica incipiente; poco a poco fue evolucionando la forma de ha cerlas y cocerlas a través de muchos ensayos y errores, hasta lograr vasijas -- que satisficieran sus necesidades.

Satisfecha la urgencia que tuvo el hombre de poseer objetos útiles, -- se preocupó por adornarlos para darles una apariencia agradable y se basó en diseños que la naturaleza y la religión le sugerían.

En general la aparición de la cerámica se relaciona con el hombre ce- dentario. En el Medio Oriente, la alfarería más antigua que se ha encontrado -- proviene de Catal Huyuk (6) (Anatolia, Turquía) 7,000 años A. C., pero sólo has ta la mitad del quinto milenio antes de Cristo fue de uso común. Se han encen- trado alfarerías muy primitivas en Egipto, con una antigüedad de 5,000 años A. C. En China, donde alcanzó su máxima esplendor cientos de años más tarde, apor-

rece la alfarería alrededor de 3,000 A. C.; se han hallado utensilios cerámicos que datan de la época neolítica (4,000 A.C.) (6) en Europa. Mientras que en Mesoamérica la alfarería aparece alrededor de los 1,000 años A. C. (4).

La primera máquina de que dispuso el hombre para la alfarería, fue la rueda del alfarero, apareció hacia el 3,500 años antes de Cristo en Egipto en el Cercano Oriente (25), la cual propició un gran adelanto pues se logró mayor rapidez, uniformidad de modelos y mayor perfección en la cerámica; también hizo posible que el hombre (varón) se introdujera en el arte alfarero, actividad que había estado reducida al grupo femenino (24).

Durante mucho tiempo la cerámica fue permeable a los líquidos hasta que se encontró como vitrificarla, la primera cerámica vidriada parece datar de 5,000 años A. C. (25), permitiendo que las vasijas de barro cocido fueran más impermeables y para algunos más bellas, por la capa de barniz lustroso y duradero.

La arcilla cocida, generalmente es más resistente al intemperismo que otros materiales como: pieles, tela, madera, objetos de paja y mimbre, por ello gran cantidad de artefactos pertenecientes a culturas muy antiguas han podido llegar hasta nosotros, constituyéndose en documentos abiertos de gran valor, en los cuales es posible reconocer, leer e interpretar datos culturales referentes al uso de materias primas, técnicas de manufacturas, costumbres cotidianas, tendencias artísticas y religiosas.

En la manufacturas de artefactos de arcilla (alfarería) se han diferenciado las siguientes etapas:

- Elección de materia prima.

- Preparación de la pasta cerámica.
- Formación de la cerámica.
- Decoración y
- Cocción

El proceso de decoración puede seguir al de cocción, como es el caso de algunas cerámicas Teotihuacanas y Mayas.

La preparación de la pasta depende básicamente de la arcilla, los alfareros actuales, así como el hombre primitivo, la aprenden a base de práctica, aunque sin embargo existen algunas etapas a seguir: eliminación de material - grueso, adición de agua, batido y reposo; la diferencia básica en la preparación de la pasta cerámica de la época neolítica y la actual, son: los utensilios empleados y una conciencia de la calidad de artefacto que se desea.

En la formación de artefactos de arcilla -alfarerías-, desde hace muchos siglos se han usado varias técnicas fundamentales, que a veces se combinan entre sí: modelado, moldeado, enrollado y torneado; la última se conoció en América a partir de la llegada de los españoles.

Debido a que la decoración es un tema muy amplio, tanto desde el punto de vista estético, como químico, no es objeto de estudio del presente trabajo.

A continuación se enunciarán las características de cada una de las técnicas de formación de cerámicas.

- a) El modelado (23) de la arcilla por medio de las manos, es el proceso más antiguo de los cuatro; se parte de una bola de arcilla húmeda (3), que se sostiene en la palma de la mano, mientras que el pulgar de la otra mano presiona dentro de la bola para ahondar, y así formar la base del artefacto, después presionando y apretando con el pulgar y los dedos se levantan las paredes, dándole la forma deseada.
- b) Enrollado (24) o también llamado modelado con rollos, al igual que el modelado con las manos, es una técnica muy antigua para la manufactura de piezas de alfarería, sin embargo, para el ceramista primitivo esta técnica significó un gran adelanto, pues pudo formar piezas de mayor tamaño. El objeto se construye al ir añadiendo en forma de espiral, una tira de arcilla -enrollando- o sucesivos anillos sobre una base, para ir formando las paredes; dicha base, que se puede hacer previamente, puede ser un cilindro de arcilla enrollada o una bola de arcilla aplanada con la forma deseada. Conforme el trabajo progresa se alisan los empalmes, haciendo presión con los dedos o las manos para dejar lo más uniforme -posible las paredes; en algunos pueblos se usan instrumentos tales como raspadores de madera, metal, trapo húmedo o una piedra para desvanecer los empalmes.
- c) El moldeado (23) es un procedimiento posterior y más avanzado que los dos anteriores. En el continente Americano, Perú y México, ya tenían varias décadas de usar ésta técnica, a la llegada de los españoles.

Para esta técnica es necesario uno o varios moldes, en los cuales

se presiona la arcilla húmeda, para después retirarla ya moldeada, en ocasiones se unta materia grasa o secadora, con el fin de facilitar el desprendimiento de la arcilla moldeada.

Foster (1948) distingue dos tipos de moldes: cóncavos y convexos, en México los primeros están más ampliamente distribuidos (32), - en otras palabras, la pasta se puede poner en la parte interior o exterior del molde o armazón.

El molde es comúnmente de barro cocido, pero también puede ser de madera, piedra, yeso y a veces de metal. A través del moldeado - se puede obtener una mayor estandarización, provocando que la originalidad se vea disminuida en gran proporción.

- d) Se llama torneado (14) al procedimiento que se emplea para hacer cualquier artefacto de arcilla usando un torno de alfarero, en el cual aprovecha, la fuerza centrífuga de un disco que gira.

Los pueblos prehispánicos no conocieron este procedimiento. Sin embargo usaban un sistema giratorio (22), apoyándose sobre una superficie y haciendo girar la vasija con los pies o con una mano.

Al igual que en los procesos antes mencionados, se parte de un trozo de arcilla previamente amasado y consiste de los siguientes procesos básicos: - centrado, ahuecado, elevación o estirado, modelado y terminado, por último separación.

La introducción de la rueda (6) en la alfarería hizo posible la comen-

cialización y la estandarización de métodos y técnicas. En el viejo mundo se le relaciona, con la aparición de centros urbanos, ya que sólo ahí los alfareros encontraban ayudantes suficientemente capacitados, así como compradores. En las fábricas todas las etapas de la fabricación del artefacto lo hacían los varones excepto la pintura (6).

3. COMPOSICION DE LOS MATERIALES CERAMICOS

Los materiales cerámicos tradicionales están constituidos por tres tipos de sustancias:

- Plásticos.
- No plásticos o desgrasantes.
- Fundentes.

La cerámica prehispánica primitiva sólo estaba constituida por los dos primeros, pues los indígenas no sabían como vidriar (23), (32), sin embargo algunas de ellas contienen eventualmente algún fundente como impureza de la arcilla.

Los materiales típicos son: arcillas, silicatos, cuarzo y feldespatos.

a. LAS ARCILLAS

Las arcillas son sustancias terrosas naturales, que poseen la propiedad de la plasticidad al ser humedecidas, cuyo tamaño de partícula oscila entre 0.1 y 2 milímetros.

Existen como depósitos consolidados o no consolidados, que generalmente están constituidos por uno o más de los minerales arcillosos en proporciones variables, algunas se encuentran mezcladas con otros materiales no arcillosos - tales como: feldespatos, cuarzo, carbonatos y micas.

Todos los minerales arcillosos son en apariencia sumamente blandos, - su contenido de agua varía con la humedad del medio ambiente y su densidad está en relación con dicho contenido.

Los minerales arcillosos muestran grandes variaciones en sus propiedades físicas, térmicas, composición mineral y química, pero en general son silicatos aluminicos hidratados, en algunos de ellos el aluminio está parcialmente sustituido por magnesio o hierro; los elementos alcalinos y alcalinotérreos pueden estar presentes como constituyentes esenciales.

Los minerales característicos de las arcillas son filosilicatos (estructura en láminas) pertenecientes a cuatro grupos: caolín, montmorillonita, illita y la clorita (8).

- a) Los del grupo del caolín: (estructura en dos capas, una tetraédrica Si_4O_{10} enlazada a una octaédrica $Al_4O_4(OH)_8$). A este grupo pertenecen la caolinita y la halloysita.
- b) Grupo de la Montmorillonita: (estructura en tres capas, una capa octaédrica enlazada con dos tetraédricas) tienen cationes intercambiables y un contenido variable de moléculas de agua entre las capas adyacentes, que dan lugar a que estos minerales arcillosos se hinchen cuando se les sumerge en agua; la montmorillonita $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, la nontronita $(Al.Fe) O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$ y la saponita $2MgO \cdot$

$3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ pertenecen a este grupo.

c) La Illita o hidromica es esencialmente muscovita un hidroxí silicato, de dimensiones cercanas a las coloidales, se diferencia de las micas en que tiene menos silicio sustituido por aluminio, menos potasio y más agua, a menudo se encuentra interestratificada con la montmorillonita, esta mica es el mineral más común de las rocas arcillosas y de los sedimentos marinos recientes, encontrándose también en muchos suelos (3).

d) En clorita (estructura en tres capas), en su estructura existen generalmente cinco magnesios por cada aluminio; aparece siempre mezclada con los minerales arcillosos.

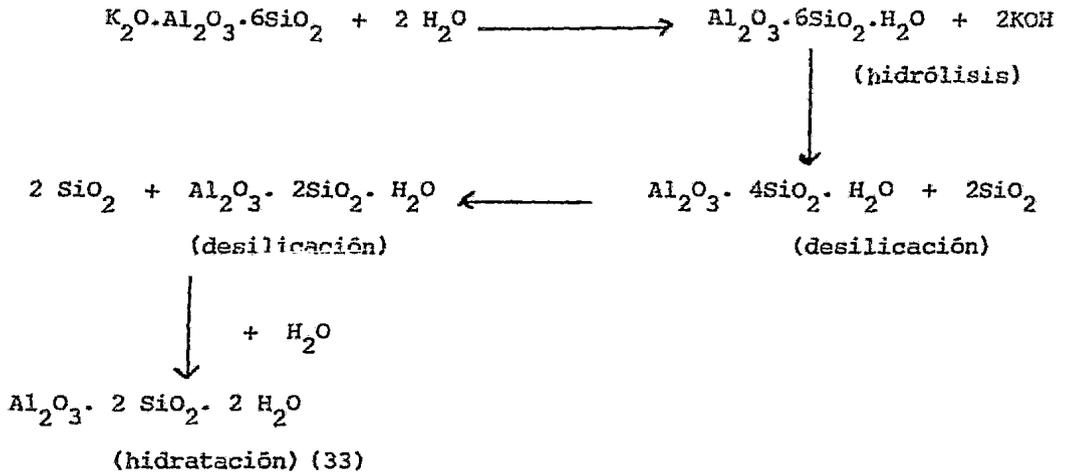
Junto con los minerales arcillosos pueden encontrarse otros minerales de estructura foliada como la biotita y la muscovita.

Los minerales arcillosos son minerales secundarios derivados de la alteración de rocas ígneas primarias (intemperismo); dicha alteración puede ser: mecánica y/o química.

La mecánica se debe a la acción del viento, glaciarias, movimientos terrestres, grandes presiones así como por el agua.

La acción química es el resultado de la acción del bióxido de carbono, a veces gases de azufre y fluor, soluciones de origen ígneo o superficial, temperaturas elevadas o ácidos húmicos.

La génesis desde el punto de vista químico de un material arcilloso, se puede representar por las ecuaciones siguientes:



Las reacciones anteriores no corresponden totalmente a la realidad, - el proceso verdadero es mucho más complicado.

Las arcillas caoliníticas se derivan exclusivamente de la descomposición de rocas feldespáticas y feldespatoideas, mientras que las arcillas bentónicas y la tierra de Fuller tienen su origen en las cenizas volcánicas de depósitos lacustres, sólidos o marinos (31).

*

A las arcillas que se encuentran con la roca madre, se les denomina - arcillas primarias o residuales, generalmente se encuentran asociadas con minerales no arcillosos que a veces son precursores de los minerales, los más importantes son los caolines primarios, no se emplean tal como se encuentran, sino - que se les purifica por medio de lavado.

Algunas arcillas son removidas y troceadas principalmente por el --

agua y el viento, éste tipo de arcillas que posteriormente se depositan, se denominan arcillas sedimentarias o secundarias.

Mientras se efectúa el transporte, tiene lugar una clasificación por tamaño de partícula, por lo tanto, éste es mucho más pequeño en las arcillas secundarias que en las primarias. En el traslado también ocurre una contaminación con productos de alteración de otros minerales y materia orgánica, lo que provoca que sea muy laborioso purificar completamente una arcilla secundaria.

Las propiedades físicas y químicas de las arcillas más importantes desde el punto de vista cerámico son:

- a) Plasticidad.- Es una propiedad primordial de las arcillas húmedas, gracias a ella es posible la formación de cerámicas.

En virtud de ésta propiedad, la arcilla húmeda conserva su forma bajo la acción de pequeños esfuerzos y es posible deformarla y moldearla sin producir fracturas al aplicarle esfuerzos mayores.

La plasticidad (29) se debe a dos características de la arcilla:

- El tamaño tan pequeño de las partículas.
- Su forma laminar.

Las partículas de arcilla se unen entre sí mediante fuerzas: eléctrica, gravitacional y de van der Waals.

La atracción molecular de una arcilla húmeda aumenta entre menor sea el tamaño de la partícula.

La cantidad de agua físicamente ligada a la arcilla forma una película interlaminar que le confiere plasticidad a la misma; el grado de plasticidad de la arcilla, depende del grosor de esta película y de la orientación de las moléculas de agua dentro de ella.

La calidad plástica de una arcilla está influenciada por factores mecánicos y fisicoquímicos tales como:

Presencia de electrolitos, pH, cantidad de agua que ha recibido la mezcla, tensión superficial del agua, tipo y origen de la arcilla, tiempo de contacto arcilla-agua y temperatura.

La plasticidad es una propiedad que no puede medirse de modo directo por método alguno, que no sea el tacto, sin embargo con medidas indirectas, nos podemos dar una idea de ella:

- Agua de Plasticidad.- Es el agua necesaria para dar la plasticidad deseada a una arcilla o a un cuerpo cerámico (9).

$$T = \frac{W_p - W_d}{W_d} \times 100$$

donde: T = agua de plasticidad en porcentaje.

Wp = peso de la pieza.

Wd = peso de la pieza secada a 110°C.

- Número de Atterberg.- Es el porciento de agua en masa necesaria para que 100 g de arcilla seca molida y pasada por un tamiz del # 35 llegue al punto plástico.

b) Las partículas arcillosas no son en sí coloides, pero por su tamaño (menor que 0.01 mm) y su comportamiento, se les considera como tales. Presentan Propiedades Coloidales (15) al dispersarse en agua, pues forman un sol, debido a que las partículas arcillosas presentan carga eléctrica, como resultado hay una gran solvatación de las partículas coloidales.

La disposición de los cationes en la película de agua, depende del tamaño y número de carga de los mismos, así como de la presencia de aniones en solución y/o su alcalinidad o acidez relativas.

c) Intercambio iónico, llamado también cambio de base, está muy relacionado con las propiedades coloidales.

d) Color.

e) Textura.

f) Compacidad.

b. LOS DESGRASANTES.

Se consideran como desgrasantes a todas aquellas sustancias que disminuyen la plasticidad de la arcilla, en la mayoría de los casos los minerales arcillosos están contaminados con uno o más desgrasantes y a menudo es necesario agregarlos para mejorar las características de la pasta arcillosa, actúan como estabilizadores de volumen, aumentan la porosidad y pueden alterar el color de la pasta una vez cocida.

Los antiguos alfareros usaron una muy amplia variedad de desgrasantes, tanto de origen orgánico como inorgánico (32); los más comunes han sido:

Orgánicos.- Conchas, aserrín, huesos calcinados y tierra de diatomeas.

Inorgánicos.- Arenas cuarcíferas y volcánicas, barro calcinado.

La arena puede proceder de minas, ríos, lagos o de mar. Es muy importante la identificación de las arenas, porque es un dato que conecta al artefacto con un sitio geográfico determinado, así mismo representa un dato tecnológico.

En el curso de las encuestas realizadas con los ceramistas de los centros alfareros actuales del Edo. de México, se encontró un dato por demás interesante: el empleo de la pelusa de la flor de tule, la cual se encuentra abundantemente en la región de Texcoco, su adición a la pasta permite la manufactura de piezas de grandes dimensiones, sin que se agrieten durante el secado al sol, previo a la cocción, ni en la cocción misma.

Algunos autores como Shepard (32) consideran que los desgrasantes son sólo aquellas sustancias agregadas para mejorar las características de trabajabilidad de la pasta arcillosa.

c. FUNDENTE

En el caso de la cerámica doméstica, el fundente es el material que se agrega en la preparación de las capas de vidriado, con la finalidad de reducir la temperatura de vitrificación de las mismas, y así lograr más fácilmente el esmaltado o la vitrificación, obteniendo una superficie brillante, lisa y

muy poco porosa, que vuelve más resistente el artefacto, además de evitar la -- permeabilidad a los líquidos.

En los cerámicos modernos el fundente forma parte de la pasta cerámi- ca y en el vidriado.

Los fundentes más usados actualmente son: feldespatos y talco.

El acabado vítreo tiene su aparición en México a partir de la época - colonial; hasta la fecha no se han encontrado vestigios de esta técnica en la - cerámica prehispánica.

En las pastas cerámicas prehispánicas, es posible encontrar feldespa- tos, debido a que estaban como impurezas de la materia prima, sin embargo, no ac- tuaron como fundentes, sino más bien como desgrasantes por la baja temperatura de cocción a las que fueron sometidas.

B. METODOS GENERALES DE ANALISIS PARA LA IDENTIFICACION DE CERAMICAS.

No existe un método de análisis que proporcione datos suficientes pa- ra la identificación total de una cerámica, por lo que es necesario emplear va- rios de ellos.

A continuación se enuncian algunos de los métodos de análisis más - - usados en el estudio de cerámicas, así como algunos de los datos que proporcio- nan; los primeros de ellos son los más sencillos y los que más información apor- tan; existen otros como Efecto Mossbauer y Termoluminiscencia muy sofisticados, que requieren equipo especial y sólo se usan para investigaciones específicas.- Por no ser el objetivo central de este trabajo no se explica el fundamento de -

cada técnica, sin embargo, se remite al lector a bibliografía especializada.

Se han agrupado los análisis más usados en cerámica por la clase de datos que proporcionan.

Textura: microscopía estereoscópica y petrográfica.

Cualitativo: microscopía petrográfica y electrónica, difracción y fluorescencia de Rayos X, microquímica y métodos espectroscópicos varios.

Semicualitativo: microscopía petrográfica, espectrografía de emisión.

Cuantitativo: químico vía húmeda, absorción atómica, difracción y fluorescencia de Rayos X.

Compuestos Cristalinos: microscopía petrográfica y electrónica, difracción de Rayos X.

El análisis térmico es poco usado en el análisis rutinario de cerámicas, sin embargo en el presente trabajo se trata de encontrar aplicaciones del análisis térmico diferencial en el análisis de cerámicas arqueológicas.

1. MICROSCOPIA

Son tres los tipos de microscopio más usados en el análisis cerámico:

- Microscopio binocular estereoscópico,
- Microscopio petrográfico y

- Microscopio electrónico.

El microscopio binocular estereoscópico tiene un arreglo óptico de tal manera que permite observar objetos en forma tridimensional a mayores aumentos, sin menoscabo de la imagen; es muy útil para trabajos de microquímica en cerámicas y para identificación de la pasta cerámica.

La observación de una cerámica arqueológica a través del microscopio estereoscópico proporciona datos para:

- Clasificación preliminar de la pasta: detección primaria de alteraciones superficiales, distribución aproximada de partículas, identificación de inclusiones minerales, distinción de las clases principales de desgrasante y reconocimiento del tipo de decoración pre y post-cocción, engobes, vidriados. etc..
- Separación de constituyentes por analizarse.
- Control del grosor de la lámina delgada.
- Observación general de cortes transversales.
- En ocasiones puede también indicar, si la cocción fue hecha en atmósfera reductora y si fue homogénea o no, que se reconoce por las distintas coloraciones presentes en la pasta cerámica.

Usando un microscopio petrográfico se pueden conocer propiedades ópticas de las sustancias (cristalinidad, bi-refringencia, índice de refracción, etc.) que proporcionan bases para su identificación.

Para hacer un análisis petrográfico, se necesita tener conocimiento de cristalografía óptica.

La microscopia petrográfica es muy útil para el análisis de cerámica porque permite la identificación cualitativa y semicuantitativa de algunos minerales no arcillosos, la textura y materiales adicionales accidentales, dicha identificación hace posible que los arqueólogos determinen si una cerámica arqueológica fue hecha en la región donde se encontró, o llegó a ésta a través del comercio o alguna corriente de intercambio cultural.

En cuanto a la decoración, el análisis petrográfico informa el tipo de pigmento, el aglutinante, así como el reconocimiento de productos de alteración (*).

El microscopio electrónico de barrido y de transmisión permite la observación de la estructura de los componentes cerámicos, con un poder de resolución en el orden de angstroms, por lo que es muy útil para ver las transformaciones físicas y químicas que se produjeron durante el conocimiento, tanto de la arcilla como de las impurezas, así como para distinguir las diferentes formas de minerales agregados.

2. ANALISIS QUIMICO VIA HUMEDA

En el análisis cerámico, se puede considerar al análisis químico vía húmeda como un análisis complementario, sobre todo para la cuantificación de los metales presentes, actualmente este análisis se substituye a menudo por la absorción atómica.

Para el análisis químico vía húmeda es necesario colocar la muestra

* Comunicación personal de G. Giorgio Vera

ya sea por un ataque ácido o por fusión alcalina.

En el análisis de pastas cerámicas pueden determinarse gravimétricamente: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , entre otros.

El conocimiento de la composición química de la pasta cerámica es útil para corroborar el origen de la cerámica, pero es de valor limitado y secundario en los estudios tecnológicos; se usa generalmente para el análisis de pinturas y vidriados cerámicos.

En la capa pictórica se determinan cationes diversos, como un inicio en la caracterización de los pigmentos. Esta técnica se emplea para cuantear los constituyentes en forma de óxidos, pero no es posible conocer la composición real de los constituyentes de la muestra.

3. ABSORCION ATOMICA

En el análisis de cerámicas arqueológicas al igual que en otros análisis, se usa la absorción atómica cuando es necesario cuantificar trazas de elementos. La exactitud de esta técnica (2 %) es a menudo inadecuada para el análisis de constituyentes mayoritarios.

La amplitud de la longitud de onda es extremadamente angosta tanto para la línea de emisión de la fuente luminosa, como para la línea de absorción del mismo elemento en la llama; por este motivo, las probabilidades de interferencia por absorción de líneas espectrales de otros elementos es casi nula.

Hasta el momento se han determinado sesenta y ocho elementos distin-

tos que incluyen quince tierras raras.

4. ESPECTROSCOPIA DE EMISION

En el análisis cerámico la espectroscopía de emisión (32) es ampliamente usada para determinar Al, Fe, Ti, Ca, Mg, Mn, Ba, Li, Zn y B, con algunas adaptaciones, también es posible determinar Cr, Ni, Pb, Sb, Cu, Sn, y Ag, estas determinaciones son especialmente útiles en análisis de vidriados.

Por este método de análisis sólo se pueden detectar elementos, hasta un nivel semicuantitativo pero no se obtienen datos acerca de la forma en que están combinados.

La espectrometría de emisión comparándola con el análisis químico vía húmeda, tiene la ventaja de que es muy rápida.

5. RAYOS X

El análisis por rayos X es muy útil en el análisis de cerámicas, las formas más usadas son:

- Difracción y
- Fluorescencia

En el análisis de cerámica, se usa ampliamente la difracción de rayos X para identificar los componentes cristalinos tanto de las pastas cerámicas como de la policromía. Por ejemplo: cuarzo, feldespatos, micas, óxidos de hierro, carbonatos, etc. Los cambios de estructura que se producen por calentamiento de los minerales arcillosos y los minerales acompañantes pueden seguirse por ésta técnica. En el caso que nos ocupa quedaría limitada a reconocer los desgrasantes y pigmentos cristalinos que no se transforman sustancialmente en el calentamiento.

Por este método de análisis se pueden obtener datos cualitativos y -
cuantitativos.

Aún cuando la difracción de rayos X es un método no destructivo, no -
siempre se puede utilizar en piezas arqueológicas completas, porque implica una
toma de muestra que ya no se reintegra al original, por lo que el muestreo se -
hace preferentemente de cerámica fragmentada o de tiestos perfectamente clasi--
ficados arqueológicamente.

La fluorescencia de rayos X o espectrometría de rayos X generalmente
se emplea para cuantificar la existencia de los elementos, pero no su partici--
pación global.

En el análisis de cerámicas arqueológicas se ha usado para cuantifi--
car hierro, manganeso, potasio, silicio, aluminio y calcio entre otros.

6. TERMOANALISIS

En el análisis térmico se incluyen casi todas aquellas técnicas que -
miden los efectos en los cambios físicos y químicos de los materiales en fun- -
ción de la temperatura.

Dentro de las técnicas de análisis térmico, las más importantes son:
la termogravimetría, el análisis térmico diferencial, la dilatometría y la calo-
rimetría diferencial de barrido.

Termogravimetría: sirve para medir los cambios de peso que sufre una
sustancia en función de la temperatura. Los fenómenos de adsorción y absorción
de vapores, corrosión, oxidación o combinación directa con gases reactantes, --

producen una ganancia en el peso. Una disminución en el mismo es el resultado de la desorción de gases o vapores, vaporización de líquidos, sublimación, -- deshidratación, descomposición o degradación de sustancias con producción de gas.

Este método de análisis proporciona datos útiles para establecer -- cuantitativamente las reacciones a temperaturas altas, estabilidades térmicas de sólidos o líquidos, identificación de productos de reacción intermedios, -- también manifiesta la secuencia de reacciones (descomposición o degradación) que acompañan a varias reacciones y se pueden deducir mecanismos de reacción.

Esta técnica no es del todo útil para análisis de cerámicas arqueológicas, a menos que se utilice como método comparativo entre arcillas crudas y cerámica arqueológica del mismo origen, de esta manera se puede estimar las condiciones de precocimiento.

Análisis Térmico Diferencial

Un sólido sometido a tratamiento térmico manifiesta una serie de fenómenos caloríficos endo y exotérmicos de acuerdo con su naturaleza; sus características propias sirven para identificarlos a través de los fenómenos de fusión, ebullición, sublimación, vaporización, transiciones cristalinas, deshidratación, fenómenos de óxido reducción, destrucción de la red cristalina, entre otros.

El análisis térmico diferencial (ATD) es una técnica analítica que -- registra las diferencias de temperatura en sólidos, de una muestra problema y un material de referencia, a fin de caracterizar térmicamente la muestra, en

ocasiones puede indicar algunos de los componentes integrantes de la misma y - cuantificarlos; en la práctica se mide la diferencia de temperatura entre la - muestra y la referencia, sometidos a un mismo régimen térmico a velocidad con- trolada, el registro obtenido, es llamado térmico diferencial, termograma o -- curva de ATD (fig. 1), y muestra una serie de inflexiones (a condición de que la substancia sea térmicamente activa en el rango de temperatura usado); la po- sición de cada una de ellas está determinada por la composición química y es-- tructura cristalina de la substancia, el área de la curva diferencial está re- lacionada con la energía de la reacción que ocurre.

El primer avance hacia lo que se conoce actualmente como Análisis -- Térmico Diferencial, ocurrió en 1887 cuando Henry Louis Le-Chatelier (1850- - 1936) descubrió una técnica experimental que utilizaba la acción del calor so- bre minerales arcillosos, por lo cual obtuvo curvas de calentamiento, en las - que se podía apreciar las reacciones endotérmicas y exotérmicas, este método - no era muy sensible para pequeños efectos térmicos. El aparato usado por Le-- Chatelier fue mejorado más de una vez por W.C. Roberts Austen, quien contribuyó con la idea de medir la diferencia de temperatura entre la muestra y un mate-- rial inerte (1899), estableciendo con ello el "método diferencial".

En los años siguientes se hicieron varias modificaciones técnicas al aparato, a la vez que se encontraron numerosas aplicaciones en el campo de la mineralogía de la metalurgia.

A partir de 1945, en que Speil dió a conocer el primer tratamiento - teórico capaz de explicar las relaciones cuantitativas de ATD, éste toma un -- gran impulso en todos sus aspectos, pues deja de ser una técnica empírica para ser exacta, por lo que desde entonces, se han encontrado un sinnúmero de apli- caciones tanto en la industria como en la investigación.

En industrias tales como la cerámica, química, textiles, jabones, - plásticos, cementos, etc.; en la investigación de composiciones cuantitativas, estabilidad térmica, estabilidad de oxidación, etc.; en la industria cerámica, es usada en el control de los minerales arcillosos, así como la pasta cerámica.

Actualmente se ha logrado una gran perfección en el método y en los aparatos empleados. Los aparatos se distinguen por los dispositivos particulares referentes al sistema de enfriamiento o calentamiento, al circuito termoelectrónico, a las dimensiones de la muestra, al sistema de registro y a los accesorios para obtener atmósferas controladas.

Base del método.- En el ATD la muestra (m) y el material de referencia (r), se calientan a velocidad controlada, por medio de un horno que tiene dos cámaras idénticas y simétricas, cada una de estas cámaras tiene un termopar o cualquier otro elemento para medir la temperatura, dichas temperaturas se comparan permanentemente, la diferencia entre las temperaturas de la muestra y el material de referencia ($T_m - T_r$) se detectan y se grafican en función de la temperatura, obteniéndose un termograma.

Se puede detectar únicamente las diferencias de temperatura, cuando ocurren reacciones térmicas; en rangos de temperatura donde no hay reacciones o cambios físicos no hay respuesta, obteniéndose una línea recta horizontal o línea de referencia.

Las variaciones térmicas son provocadas por transformaciones físicas o químicas, que involucran cambios de energía en la muestra, y se reflejan en las curvas de ATD, con picos exotérmicos y/o endotérmicos.

Si $(T_m - T_r)$ es negativo, el evento es endotérmico, es decir la muestra absorbe calor, y debido a esto, los parámetros o inflexiones quedan ubicados debajo de la línea de referencia. Mientras que si $(T_m - T_r)$ es positivo, las reacciones son exotérmicas, es decir, la muestra cede calor, las temperaturas de ésta serán mayores que las temperaturas del inerte, razón por la cual las inflexiones estarán localizadas en la parte superior de la línea de referencia (fig. 1),

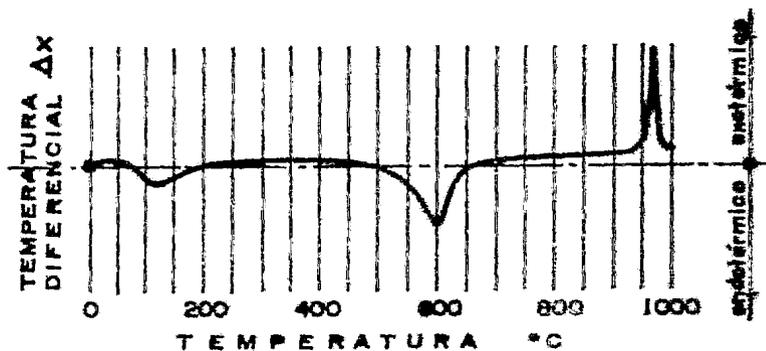


FIG. 1 TERMOGRAMA DE LA ANAUXITA

Los principales fenómenos detectados en análisis térmico diferencial son:

1. Efectos endotérmicos

fusión

vaporización

transiciones de fase

reducción

sublimación

absorción

deshidratación

transición de oxidación

2. Efectos exotérmicos

cristalización

oxidación

adsorción

algunas reacciones de descomposición (14) (28),

Existen diferentes teorías para la interpretación teórica de los termogramas, pero todas ellas relacionan el área del pico de la curva diferencial con varios parámetros de la muestra y el aparato, tales como calor específico de la celda, coeficiente de transferencia de calor de la muestra y el horno.

Speil, en 1945 propuso la siguiente expresión, para calcular el calor de transformación de un gramo de sustancia (31) (34):

$$H = g Ks/m \int_a^c y dt$$

H = calor de reacción

g = constante geométrica

Ks = conductividad térmica de la muestra

m = masa de la muestra reactante

$$\int_a^c y dt = \text{área de la curva diferencial}$$

y = temperatura diferencial

Esta expresión quizá es la más sencilla, que relaciona el ΔH con el área del pico a través del uso de constantes de proporcionalidad.

Vold cuatro años más tarde, obtuvo la siguiente ecuación para calcular el calor de reacción, sin tomar en cuenta el calor específico de la muestra (14):

$$\frac{\Delta H}{C_s} \frac{df}{dt} = \frac{dy}{dt} + A (y - y_s)$$

donde:

ΔH = calor de reacción

df/dt = fracción de muestra transformada a un tiempo t

y = temperatura diferencial

C_s = capacidad calorífica de la celda llena

dy/dt = derivada de la temperatura a un tiempo t

A = constante que depende de:

- la capacidad calorífica de la celda
- el calor perdido en el termopar
- el coeficiente de transferencia de calor entre:

a) material de referencia y pared del horno

b) las dos celdas

t_s = temperatura diferencial cuando es constante, que se obtiene a lo largo de un tiempo suficientemente amplio.

La integración de la ecuación anterior en el tiempo que dure la transformación, proporciona el valor del calor de reacción.

Usando un porta muestra construido de un metal con una conductividad térmica infinita, tal como el níquel, Boersma (10) encontró que el área del pico es igual a:

$$\int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt = mq/G$$

t_1 y t_2 = tiempo en que empieza y termina el pico

ΔT = temperatura diferencial

m = masa de la muestra

q = calor de transformación por unidad de volumen

G = coeficiente de transferencia de calor del portamuestra de M_1 y alrededores. (18)

Dilatometría o Análisis Termomecánico, determina el cambio de volumen, de la muestra en función de la temperatura.

En la industria cerámica, esta técnica se usa para el control de la pasta cerámica, en especial para la decoración pre-cocción.

En el análisis de cerámica arqueológica se ha empleado la dilatometría para determinar la temperatura de cocción.

II PARTE EXPERIMENTAL

PROCEDENCIA Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Se obtuvieron muestras de arcillas, de cerámica actual y de cerámica arqueológica.

Con el fin de conseguir los dos primeros tipos de muestras, además de la información adicional, se entrevistaron a los ceramistas de diversos sitios alfareros del Estado de México, estas personas señalaron el sitio donde recolectan regularmente la arcilla y proporcionaron muestras de ésta, así como objetos cerámicos hechos con esa arcilla.

Se trató, que las muestras de cerámica arqueológica provinieran de -- centros culturales próximos a los centros alfareros actuales, con el fin de obtener muestras arcillosas, lo más cerca posible a las arcillas con las que fueron elaborados los artefactos arqueológicos.

El número, procedencia y características de cada muestra se encuentran en la tabla No. 1.

Fue necesario elaborar probetas cilíndricas, que más tarde se usaron en el Análisis Térmico Diferencial y en la determinación de color, para las que se emplearon aproximadamente tres gramos de cada muestra arcillosa: Metepec, -- Texcoco, Valle de Bravo, Temazcaltzingo y Oaxaca*; a cada una de las muestras --

* En vista de que se disponía de una muestra de arcilla con la que se elabora la cerámica negra de Oaxaca, se creyó pertinente incluirla en el presente estudio, para ver si el ATD indicaba diferencias significativas.

T A B L A No. 1

NUMERO DE MUESTRA	TIPO	PROCEDENCIA	PROFUNDIDAD FORMA O CLASIFICACION
1		Metepec	40 cm. de prof.
2		Metepec	Superficial
3		Sta. Cruz Texcoco	40 cm. de prof.
4		Sta. Cruz Texcoco	5 cm. de prof.
5		Valle de Bravo	Superficial
6		Valle de Bravo	100 cm. de prof.
7		Temazcaltzingo	30 cm. de prof.
8	ARCILLA NATURAL	Temazcaltzingo	30 cm. de prof.
9		Sta. Ma.C. Temazcaltzingo	120 cm. de prof.
10		S. M. Ocoyoacac	Superficial
11		Sta.Ma. A. Ocoyoacac	150 cm. de prof.
12		S. M. I. Cuautitlán	30 cm. de prof.
13		S. M. Ix. Cuautitlán	arcilla preparada
14		Teotihuacán	Superficial
14'		S.B.C. Coyotepec Oax.	-----
16		Metepec	Arbol de la vida
15		Sta. Cruz Texcoco	Cenicero
17		Valle de Bravo	Cenicero
18	CERAMICA NATURAL	Temazcaltzingo	Maceta
19		Sta. Ma.C. Temazcaltzinbo	Olla
20		Ocoyoacac	Cazuela
21		San M. Ix. Cuautitlán	Piñata
22		Teotihuacán	Ceram. Arql. Falsa
23		Teotenango	Tiesto
24		Teotenango	Tiesto
25		Teotenango	Tiesto
26		Teotenango	Tiesto
27		Texcoco	San Martin Negro
28		Texcoco	S. Martin Rojo-Bayo I.
29		Texcoco	Cerámica Simple
30	CERAMICA ARQUEOLOGICA	Tepetlaostoc (Tex.)	Cerámica Simple
31		Tepetlaostoc (Tec.)	Cerámica Simple
32		Ocoyoacac	Cerámica Simple
33		Ocoyoacac	-----
34		Ocoyoacac	-----
35		Sta.C.A. Cuautitlán	-----
36		Sta.C.A. Cuautitlán	-----
37		Teotihuacán	-----
38		Teotihuacán	-----
39		Teotihuacán	-----
40		S.M. Amantla (Atzacapatzalco)	-----
60	Arcilla	-----	-----

se le agregó agua hasta hacerlas plásticas, formando después probetas cilíndricas con diámetro aproximado de 9 mm. Se les dejó secar a temperatura ambiente.

Las muestras se introdujeron a la mufla y se inició el calentamiento; se eligieron temperaturas de cocimiento de 450°, 500°, 700° y 800°, dichas temperaturas máximas, se mantuvieron durante treinta y sesenta minutos, según se muestra en la tabla No. 2

Las probetas cilíndricas de arcilla se sacaron de la mufla hasta que ésta se encontró a temperatura ambiente.

A. ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL.

1. APARATO

El aparato de Análisis Térmico Diferencial empleado en este trabajo, es un aparato portátil Eberbach, (fig. 2) que se usa frecuentemente en trabajos de campo, es el más sencillo que existe en el mercado y consta de:

- a) Horno eléctrico, como fuente de calor, con un rango de 0° a --
1,000°C.
- b) Tres portamuestras de níquel, cada uno con dos orificios circulares de 0.5 cm. de diámetro y 1.5 cm. de profundidad, uno de ellos para la muestra y el otro para el material de referencia.
- c) Tres juegos de termopares de cromel/alumel, para medir la temperatura.

T A B L A N O. 2

PROBETAS DE ARCILLAS SOMETIDAS A CALENTAMIENTO

NUMERO DE MUESTRA	NUMERO DE GRAFICA	TIPO	PROCEDENCIA	CONDICIONES
1a	40	P	Metepec	30 min. a 500 ° C
1b	41	R	Metepec	60 min. a 800 ° C
2a	42	O	Metepec	30 min. a 500 ° C
2b	43	B	Metepec	60 min. a 800 ° C
3a	44	E	Texcoco	30 min. a 500 ° C
3b	45	T	Texcoco	780 min. a 500 ° C *
3c	46	A	Texcoco	60 min. a 700 ° C
3d	47		Texcoco	60 min. a 800 ° C
4a	48		Texcoco	30 min. a 500 ° C
4b	49	C	Texcoco	60 min. a 700 ° C
5a	50	I	Valle de Bravo	30 min. a 450 ° C
5b	51	L	Valle de Bravo	60 min. a 700 ° C
5c	52	I	Valle de Bravo	60 min. a 800 ° C
6a	53	N	Temazcaltzingo	30 min. a 500 ° C
6b	54	D	Temazcaltzingo	60 min. a 800 ° C
7a	55	R	Temazcaltzingo	30 min. a 500 ° C
7b	56	I	Temazcaltzingo	60 min. a 700 ° C
7c	57	C	Temazcaltzingo	60 min. a 800 ° C
14A	58	A	Oaxaca	30 min. a 450 ° C
14B	59		Oaxaca	60 min. a 700 ° C

* Calentamiento prolongado intencional para observar respuesta

- d) Dos galvanómetros con escala en grados centígrados, uno para leer temperatura y el otro para incremento de temperatura.

El registro de temperatura, así como el de incremento de ésta se hace manualmente, la primera se lee en una caratula graduada, la segunda en un galvanómetro, en éste último se puede observar, si el incremento es positivo o negativo.

Este aparato es de fácil manejo y mantenimiento, sólo es necesario:

- Llenar los orificios del portamuestras con el material de referencia y la muestra.
- ajustar la posición de la celda, es decir que la celda que se calienta, sea la misma a la cual se le esté midiendo la temperatura y el incremento de temperatura.
- ajustar la sensibilidad
- ajustar el galvanómetro, de tal manera que la carátula que marca el incremento de temperatura esté en cero, antes de iniciar el calentamiento.
- colocar el horno en la celda que se va a someter a calentamiento y
- conectar el horno.

Debido a que el registro es manual, aumenta el margen de error, pues no es posible observar, simultáneamente la carátula para ver la temperatura y el galvanómetro, por lo que las lecturas no son muy precisas, además de que puede haber error de paralaje y error de medición.

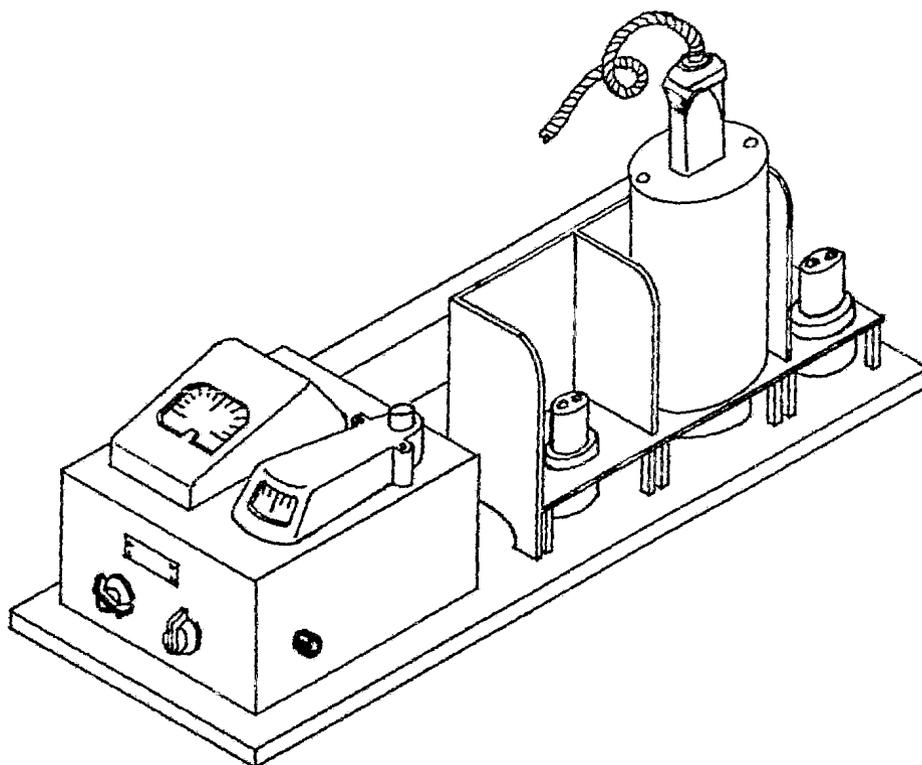


FIG. 2 - APARATO PORTATIL DE ATD EBERBACH.

2. TECNICA

Preparación de la muestra para Análisis Térmico Diferencial; cuando el material seleccionado no resultó de grano fino, se hizo una ligera molienda, en el caso de la pasta cocida fue necesario moler por mayor tiempo, en mortero de porcelana, para después hacerla pasar por un tamiz No. 35, que tiene 0.172 mm. de claro libre cuadrado; en caso de que sea de grano fino, se pasa directamente por el tamiz. El objeto del tamizado es eliminar basura y agregados arcillosos de mayor tamaño, éste último es para compactar homogéneamente la muestra en el orificio del portamuestra.

En la cerámica vidriada, se eliminó el vidriado con el lijado de la muestra, antes de moler la pasta cerámica.

Análisis Térmico Diferencial: la muestra problema tamizada y el material inerte (alúmina calcinada) se colocaron en el portamuestra respectivo.

Se compactaron la muestra y el inerte golpeando ligeramente el crisol y luego presionando suavemente con una varilla del mismo diámetro del crisol -- tratando de que el empaquetamiento fuera homogéneo.

Se conectó la celda preparada, y el aparato se ajustó a la sensibilidad media.

Se verificó que el galvanómetro marcara incremento de temperatura -- igual a cero, en caso de no marcarlo, se hicieron los ajustes necesarios.

Se colocó el horno y se inició el calentamiento, se trató de que el gradiente de calentamiento fuera uniforme haciendo los ajustes convenientes en el control correspondiente.

Se registraron las temperaturas que marcó el galvanómetro cada 20°C -- hasta llegar a 900°C.

Se obtuvieron los termogramas graficando los valores de ΔT (lectura del galvanómetro) contra T (temperatura). Las reacciones endotérmicas se representaron por abajo de la línea de referencia y las exotérmicas arriba de ella.

Factores Experimentales que influyen en los Resultados del Análisis Térmico Diferencial: las temperaturas a las que se registran las reacciones térmicas.

nicos en las curvas de Análisis Térmico Diferencial, dependen de:

- Las variaciones de composición de los materiales que se estudian, - pues puede variar el material de prueba, como sucede en las montmorillonitas, o con el grado de regularidad en la estructura del cristal, como sucede en los minerales caoliníticos.
- Equipo empleado en la forma y el material de que está hecha la celda, la colocación de los termopares en la muestra y el inerte, la velocidad de calentamiento y el tipo de atmósfera.
- Técnica experimental usada, influye en forma determinante la preparación de la muestra, y esta operación depende a su vez de las siguientes situaciones:
 - a) peso de la muestra
 - b) tamaño de partícula y
 - c) compactación

Peso de Muestra.- Los pesos de la muestra y el inerte, deben ser muy semejantes, con aproximación de miligramo.

Efecto de Tamaño de Partícula en la Muestra.- El tamaño de partícula tiene gran influencia en los termogramas (8), (12), (13), (17), (18), (31), (34) y (36). Una disminución en el tamaño de partícula aumenta el área superficial y por lo tanto el volumen de agua adsorbida, lo que se refleja en los termogramas, reduciendo el área del pico de deshidratación, en tanto en los termogramas de la oxidación decrece al disminuir el tamaño de partícula.

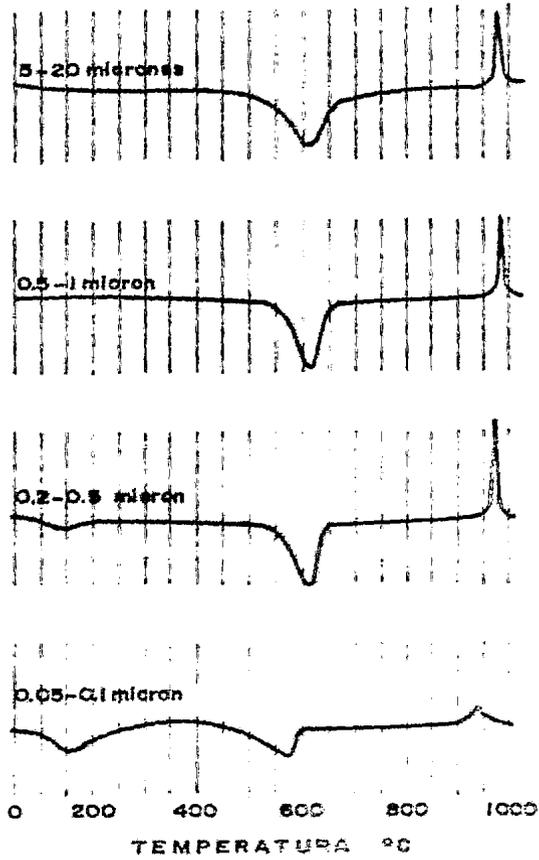


FIG. 3 - EFECTO DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS EN LAS CURVAS DE ANALISIS TERMICO EN CAOLIN.

Un caso observado fue la disminución del pico endotérmico a 600°C en el caolin - (34) (fig. 5).

Compactación.- Para obtener resultados reproducibles es necesario que la compactación de la muestra y el inerte sean aproximadamente iguales. Una muestra ligeramente compactada, dará lugar a una gran porosidad, con bastantes espacios de aire, lo cual reduce la conductividad térmica y ocasiona con ello inestabilidad de la línea de referencia. Lo más conveniente en la práctica, es compactar moderadamente tanto la muestra como el inerte, con objeto de uniformar las condiciones en que se presenten los efectos térmicos, en las zonas de bajas temperaturas, donde la transferencia de calor se gobierna principalmente por conducción, el efecto de la compactación es más pronunciado, y es mínimo en las zonas de altas temperaturas, en donde la transferencia de calor ocurre por radiación (31).

3. INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

a. Termogramas de arcillas

Al observar los termogramas de las arcillas (muestras 1 a 14) se nota que todas ellas tienen gran proporción de minerales arcillosos del grupo del caolin y/o de la illita, en la mayoría de las muestras no es posible especificar el mineral o los minerales adicionales que tienen cada una de ellas, ya que:

- Las arcillas solamente se molieron y cribaron antes de hacerles el término diferencial, por lo que los picos característicos de la fraguación arcillosa pueden estar traspicados y/o enmascarados por impurezas y las reacciones secundarias de éstas que pudieran ocurrir.

- Es difícil diferenciar los minerales arcillosos de un mismo grupo entre sí, ya que los picos se encuentran dentro de un mismo rango, además de que es muy pequeña la diferencia entre los termogramas,
- La sensibilidad del aparato empleado es muy pequeña.

Para una identificación más precisa, es necesario emplear otros métodos de análisis para complementar y/o ratificar los datos proporcionados por el ATD; el análisis por difracción de Rayos X y la Microscopía Electrónica son los más adecuados.

Los minerales arcillosos del grupo del colín se caracterizan por presentar en el termograma un pico endotérmico entre 500 y 700°C (18), (33) y (34) - que corresponde a su deshidroxilación y un pequeño pico exotérmico entre 950 y 1,000°C que se produce debido a un cambio de empaquetamiento de los iones oxígeno, Lawrence (17) le llama formación de fase spinel.

Si se observa la curva de ATD de la halloysita standard (muestra 60), - se notan dos picos endotérmicos, perfectamente definidos, el primero a los 170°C, que corresponde a la deshidratación de la halloysita, el segundo provocado por la deshidroxilación a los 640°C, a partir de los 960°C se observa una tendencia exotérmica producida por una modificación del arreglo por la formación de la fase spinel. Este termograma es similar al publicado por Mackenzie (18), el cual muestra un pico endotérmico a los 600°C y un exotérmico alrededor de los 980°C.

De lo anterior se deduce que los termogramas obtenidos están corridos hacia la derecha, por esto aumenta el margen de error, en la identificación.

Las muestras 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 14, y 15 se incluyeron dentro del grupo del caolín por presentar los picos característicos de deshidroxilación y cambio de empaquetamiento en los rangos de temperatura antes mencionados, es decir, el primero entre 500 y 700°C y el segundo de 900 a 1,000°C (34).

Un pico de deshidratación entre 100 y 150°C, un endotérmico alrededor de los 550°C y un sistema endo-exotérmico muy pequeño, alrededor de los 900°C indican la presencia de illitas (18) en ocasiones el pico endotérmico a los 550°C es muy pequeño, raramente se presenta otro pico endotérmico a los 700°C o puede suceder también que se presenten dos picos endotérmicos entre 550 y 600°C, Mackenzie (18).

Se incluyeron dentro de este grupo las siguientes muestras: 4, 7, 8 y 13.

Los termogramas de las cloritas varían mucho, pues su composición cambia por el desplazamiento de magnesio, de hierro, etc.

Las cloritas dioctaédricas presentan un pico endotérmico entre los 545 y 600°C, algunas presentan dos picos exotérmicos entre 680 y 725°C, otras presentan dos exotérmicos entre 850 y 870°C y presentan un efecto exotérmico alrededor de los 910°C.

El termograma de una clorita trioctaédrica tiene un pico endotérmico entre los 600 y 650°C y un doble pico endo-exotérmico entre los 800 y 900°C por recristalización (18).

La presencia de clorita se detectó en varias muestras de arcilla como

impureza, ejemplo en las muestras 7 y 10.

Además de las impurezas de las cloritas se lograron identificar en las muestras de arcillas, impurezas de: sustancias orgánicas, mica, hierro, feldespatos y carbonato de calcio.

Las reacciones exotérmicas entre 200 y 600°C indican la presencia de materia orgánica (5) (34). Ver muestras 5 y 14.

Se puede detectar la presencia de una mica en un termograma, si este presenta dos picos, uno exotérmico muy pequeño, alrededor de los 350°C y uno endotérmico entre 1,050 y 1,200°C, este último se produce por la deshidroxilación de la mica, las muestras se corrieron hasta 980°C, por lo que el último pico no se puede apreciar, para confirmar la presencia de ciertas micas (18), (muscovita, paragonita, lepidolita o zinwaldita) además del pico de los 350°C se buscó el pico endotérmico entre 800 y 900°C. Ver muestras 4 y 10.

Los compuestos de hierro se encuentran en la mayoría de las arcillas: un pico exotérmico entre 640 y 660°C indica que el hierro se oxidó, la aparición de este pico no depende de la cantidad de hierro presente, sino del estado de oxidación del mismo, por lo que la ausencia de este pico no implica que no exista hierro en la arcilla; ver muestras 5, 7, 8, 12, 13 y 14.

El engrosamiento del pico de deshidratación se interpretó como presencia de impurezas de sales como cloruros, carbonatos; en la muestra de Oaxaca se identificó claramente la presencia de carbonato de calcio por el pico endotérmico a los 860°C (10) (12).

Otro tipo de impurezas que se detectaron fueron feldespatos en forma de plagioclasas, que presentan un pico endotérmico entre 720 y 820°C.

La práctica de agregar arena a la arcilla, para mejorar las características de la pasta cerámica es muy común.

La presencia de cuarzo se detecta en los termogramas, por un pico endotérmico a los 573°C y se debe a la inversión de alfa cuarzo a beta cuarzo, en la curva de ATD del material arcilloso no se observa este pico, pues se encuentra en el mismo rango en que aparece el pico de deshidroxilación de las arcillas.

Por lo que la presencia de cuarzo, en estos casos está indicada por el engrosamiento del pico de deshidroxilación, sin embargo no se puede generalizar que dicho engrosamiento sea provocado sólo por cuarzo pues existen algunas sales que sufren transformaciones endotérmicas en este rango de temperatura por ejemplo: el cloruro de magnesio hexahidratado sufre una hidrólisis a 515°C y el sulfato de potasio sufre una transformación a los 573°C.

El ATD de las anfíbolos * es muy variable, por lo que en las gráficas de térmico diferencial de las arcillas no fue posible identificarlas, aunque hay gran posibilidad de su existencia en ellas.

Se presenta a continuación una tabla comparativa de todas las muestras sometidas a Análisis Térmico Diferencial, se tomó como base las tres respuestas características de las arcillas al someterlas al ATD, y algunas impurezas observables entre 20^o y 1,000^oC.

* $A_2B_5(Si, Al)_8O_{22}(OH.O.F.)_2$ donde A = Na, Ca, K B = Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Ti, Al, Li, Mn

TABLA NUM. 3

REACCION TERMICA Y RANGO DE TEMPERATURA	ARCILLA		PROBETA		CERAMICA ACTUAL		CERAMICA ARQUEOLOGICA	
	(+)*	(-)**	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
i) Deshidratación 70° - 140°c	15	0	12	8	6	2	13	4
ii) Deshidroxilación 500° - 620°c	15	0	3	17	0	8	0	17
iii) Formación de fase Spinel 880° - 1,000°c	15	0	17	3	2	6	10	7
iv) Materia orgánica 0° - 600°c	2	13	7	13	4	4	9	8
v) Oxidación del Fe 640° - 660°c	6	9	1	19	3	5	2	15

* (+) número de casos presentes

** (-) número de casos ausentes

b) Discusión de los Cambios Característicos correspondientes a:

- Probetas Precocidas

i) Deshidratación. Esta manifestación endotérmica depende de la clase de arcilla, contaminantes y de la precocidad de la probeta.

Al comparar esta inflexión, presente en algunas probetas, con los termogramas de cerámica actual no vidriada, se notó que el área de la infle-

xi3n es menor y compar3ndola con la cer3mica actual vidriada, es a3n - menor. Lo primero se explic3 porque en la preparaci3n de las pastas - cer3micas, los alfareros agregaron arenas, lo que hizo que disminuyera la proporci3n de arcilla en la pasta y por lo tanto el porcentaje de -- agua. Lo segundo se debe a que la cer3mica vidriada tiene doble coc-- ci3n, por lo que fue mayor la deshidrataci3n.

En la tabla anterior se puede ver, que dos muestras de cer3mica actual no presentaron 3sta respuesta, dichas muestras son de cer3mica vidriada, lo que demuestra, que en ocasiones, en la doble cocci3n hay una -- deshidrataci3n total.

Por supuesto en cer3mica arqueol3gica, la deshidrataci3n es mayor que en las probetas cil3ndricas, (pues durante el tiempo que permaneci3 en terrada, se hidrato) es por eso que, es mayor el n3mero de muestras de 3sta cer3mica que presentan tal respuesta, pero esto depende b3sicamen-- te de las condiciones del sitio donde estuvo enterrada la cer3mica.

ii) Deshidroxilaci3n. Al mantener la temperatura de cocci3n en el l3mite inferior en el cual aparece 3sta manifestaci3n a 500°C, se observ3 que - en m3s del 85% de los termogramas correspondientes a las probetas, desaparece tal manifestaci3n t3rmica y s3lo se presenta en los termogramas 3a, 5a y 10a. (ver tabla No. 3), en los que las muestras se cocieron a 500°C la primera de ellas y a 450°C las dem3s, durante treinta - minutos. Este dato es importante porque a partir de 3stas pruebas de simulaci3n se puede situar el l3mite inferior de cocido en las muestras problema.

Las muestras 3a y 3b (Texcoco) se sometieron a la misma temperatura máxima de 500°C durante diferentes lapsos, la primera de treinta minutos y la segunda de setecientos ochenta minutos, se observó que:

- no aparece el pico de deshidroxilación
- la formación de fase spinel es semejante en ambos.

Lo que se considero más relevante, es que la formación de fase spinel es semejante en ambos, es decir a ésta última manifestación no le afecta el tiempo que se mantenga la temperatura máxima, siempre y cuando ésta sea de 500°C .

Resumiendo la aparición o no del pico de deshidroxilación depende de la temperatura y tiempo de cocción, tipo de arcilla e impurezas presentes.

iii) Formación de Fase Spinel. En casi todas las curvas de ATD de las muestras de probetas se observó ésta manifestación térmica (ver tabla No. 3), dicha manifestación disminuye al aumentar la temperatura de precocción, en los dos termogramas donde no aparece ésta inflexión, se mantuvo durante sesenta minutos la temperatura de 800°C , por lo que se hace notar que la energía así proporcionada es capaz de afectar tal manifestación en algunas arcillas.

iv) Materia Orgánica. En algunos (43%) de los termogramas que nos ocupan, se observa su presencia, por la tendencia exotérmica antes de los 600°C , dicha tendencia disminuye al aumentar la temperatura de precoccimiento,

en algunos casos (muestra 2b y 5b) desaparece totalmente, lo que está de acuerdo a lo previsto.

En la curva de ATD de la muestra 7a. (cocida a 500°C) se observó el pico de deshidratación, pero no en la 7b. (cocida a 700°C), en la 7c si se observa (cocida a 800°C), por lo que se deduce que la muestra 7b sufrió contaminación orgánica, lo que provocó el enmascaramiento del pico de deshidratación; en las muestras 1a y 2a, se supone que también existió este tipo de contaminación.

- v) Oxidación del Hierro. El pico característico de esta oxidación, no se presentó en los termogramas de las probetas precocidas, excepto en la probeta cilíndrica de Valle de Bravo cocida a 450°C durante treinta minutos, a pesar de que en algunas arcillas si aparece (ver tabla No. 3), de lo que se infiere, que esta manifestación es muy sensible a la temperatura de precocimiento.

- Cerámica Actual

- i) Deshidratación. Esta manifestación térmica, es bastante pequeña en el tipo de muestras que nos ocupan; no existe en dos muestras lo cual se explicó, porque esta cerámica no ha tenido tiempo de hidratarse, ya que es corto el tiempo entre la fabricación y el análisis.
- ii) Deshidroxilación. no se presentó este pico característico de las arcillas, porque la temperatura alcanzada durante la cocción fue igual o superior al rango de temperatura en que se presenta (500°C - 700°C).
- iii) Formación de Fase Spinel. La presencia de esta fase en los termogramas hace

pensar que, la temperatura a la que fue cocida la cerámica actual no llegó a los 900°C, la temperatura y la forma del pico o inflexión a la que se manifiesta ésta modificación térmica, nos indica que son arcillas caoliníticas, lo que se confirma con los termogramas de las arcillas.

- iv) **Materia Orgánica.** Para un observador no experimentado las gráficas 16, 17, 18 y 19 presentan un pico exotérmico a los 140°C, pero no es tal, en realidad es el final del pico endotérmico y el inicio de otro endotérmico, éste último se atribuyó a la presencia de impurezas de materia orgánica.
- v) **Oxidación del Hierro.** En las muestras de Metepec, Cuautitlán y Teotihuacán 16, 21 y 22 respectivamente se identificó la magnetita (Fe_3O_4), son -- dos los picos característicos de la misma, ambos exotérmicos, uno pequeño entre los 350° y 400 °C y el otro muy amplio de 600° a 1 000°C. En las pastas cocidas sólo se aprecia el segundo, pues el primero de ellos desaparece durante la cocción.

En la comparación con las arcillas respectivas, se observa la presencia de magnetita, en la materia arcillosa de Cuautitlán y Teotihuacán, pero no en la de Metepec, lo que se explicó suponiendo que la magnetita fue -- una impureza del desgrasante.

- vi) **Otros.** Las muestras 15 y 17 durante su manufactura se cocieron dos veces, ya que la técnica tradicional del vidriado así lo requiere, esto explica que la gráfica de ATD obtenida sea prácticamente una recta.

En algunas gráficas aparece una tendencia exotérmica arriba de los 500°C, la cual no se puede atribuir a algún compuesto específico, sin embargo,

es posible que sean provocados por los desgrasantes empleados en su manufactura, ya que en la arcilla correspondiente no se observan.

- Cerámica arqueológica

- i) Deshidratación. Suponiendo que este tipo de cerámica permaneció largo tiempo enterrada, es de esperarse que la proporción de humedad sea mayor que en la cerámica actual y menor que la que exhiben las arcillas correspondientes.
- ii) Deshidroxilación. No se observó la presencia de ésta manifestación característica de la arcilla, por tratarse de una pasta cocida.
- iii) Formación de Fase Spinel. En la mayoría de éste tipo de muestras (59%), -- existe actividad térmica entre los 900 y los 980°C, ésta actividad es -- característica de las arcillas y se debe a la modificación del empaquetamiento por la formación de la fase spinel.

Cuando existe un pico exotérmico más o menos a los 950°C se trata de una arcilla del grupo del caolín (18), si el pico exotérmico se encuentra en los 900°C entonces, es del grupo de la montmorillonita (18), si es un -- sistema endo-exotérmico, la arcilla pertenece al grupo de las illitas -- (18); gracias a la presencia de ésta actividad se supone que la temperatura máxima de cocimiento no llegó a dicho rango, aunque en tres muestras (31, 36 y 38) existe tal actividad, deduciendo:

La arcilla predominante con la que se fabricó el tiesto fue del grupo -- del caolín, excepcionalmente puede haber illitas y montmorillonita (ver

gráficas 23, 28, 35, 36 y 37).

Se hace notar que en las muestras de arcilla sometidas a ATD, no se pudo identificar ninguna arcilla montmorillonítica, por lo que se cree que en realidad la muestra 36 pudo ser elaborada con arcilla caolinítica muy contaminada o fue hecha en otra región.

Se corroboró que la muestra 35 pertenece a otra región (San Miguel Amantla, Atzacapotzalco) por la ubicación del pico endotérmico a 900°C.

iv) Materia Orgánica. En el 53 % de éste tipo de muestras se aprecia la presencia de materia orgánica.

v) Oxidación del Hierro. En muy pocas muestras (25 y 37) se notó ésta oxidación.

vi) Otros. Es común encontrar en las cerámicas arqueológicas, la presencia de sales solubles e insolubles tales como: cloruros, sulfatos, carbonatos, nitratos, nitritos y fosfatos, que provienen del suelo donde se mantuvieron enterradas por algún tiempo.

Dado que las respuestas térmicas de dichas sales son numerosas en un rango de temperatura muy amplio, y que con frecuencia tratándose de mezclas, los picos se traslapan, su posición y forma puede variar o enmascararse por la influencia entre sí, por arcillas y por otras impurezas presentes, se dificulta especificarlas.

En este trabajo, se reconoce la presencia de sales por la deformación del pico de deshidratación o por la presencia de otras manufactacio -

nes endotérmicas a temperaturas menores de 500°C , ya que las manifestaciones térmicas de las sales tienen mayor frecuencia en éste rango, pudiendo haber eventualmente manifestaciones exotérmicas en el rango antes mencionado o arriba del mismo.

En el 72% de las muestras se nota la presencia de sales, desafortunadamente no fue posible especificarlas por ATD.

La presencia de sales es un factor determinante en la distorsión de los termogramas.

c. Comparación de Termogramas de una misma Zona:

Para mostrar el método de trabajo seguido, se comparan los termogramas de la zona Texcoco (ver tabla No. 4).

Comparando las probetas cocidas a diferentes temperaturas, se nota que entre menor sea la temperatura de precocción, mayor cantidad de manifestaciones térmicas se presentan entre los 500° y los 980°C .

Se observó que la actividad térmica de las plagioclasas antes de los 1000°C es sensible a la temperatura de precocción, pues no aparece en las probetas de la muestra tres, cocidas a 700°C o más (ver tabla No. 4), es por esto que los termogramas de las probetas precocidas a 800°C son casi rectos en éste ámbito, excepto por la manifestación térmica del acomodamiento por la formación de la fase spinel.

Se observa que en las probetas cocidas elaboradas con la arcilla de la muestra cuatro, el pico de formación de la fase spinel se presenta a menor

TABLA No. 4

MANIFESTACIONES EN ATD DE LAS MUESTRAS DE LA ZONA TEXCOCO

TIPO	MUES TRA.	DESHIDRATAACION 70° a 150°C endotérmico	DESHIDROXILACION 500° a 620°C endotérmico	FORMACION DE FASE S. 880°-980°	PLAGIOCLASA Y/O OLIGOCLE SAS 720° a 820° endotérmico
ARCILLA	3	X	X	X	X
PROBETA 500°C 30 min.	3a	X	X	X	X
PROBETA 500°C 780 min.	3b	X	-	X	X
PROBETA 700°C 60 min.	3c	-	-	X	-
PROBETA 800°C 60 min.	3d	-	-	X	-
ARCILLA	4	X	X	X	-
PROBETA 500°C 30 min.	4a	X	-	X	-
PROBETA 700°C 60 min.	4b	X	-	X	-
CERAM. ACT.	15	X	-	X	-
CERAM. ARQ.	27	X	-	X	X
CERAM. ARQ.	28	X	-	X	-
CERAM. ARQ.	29	X	-	X	-
CERAM. ARQ.	30	X	-	X	-
CERAM. ARQ.	31	X	-	X	-

X presencia
- ausencia

temperatura de precoccimiento; sin embargo en las probetas elaboradas con la arcilla de la muestra tres, ésta manifestación no varió con la temperatura de precoccimiento. Esto nos proporciona un argumento más para el empleo prudente del ATD.

La presencia de plagioclasas en la materia prima puede ser de gran utilidad, para señalar el rango de temperatura de cocción menor que 700° o mayor que 800°C , siempre y cuando se conozca su existencia en la materia prima.

B. DETERMINACION DE COLOR

1. GENERALIDADES

La determinación de color en sólidos es muy empírica, por lo que está sujeta a muchos errores. Usando las tablas Munsell para suelos se obtienen datos más precisos en la determinación de color en sólidos.

Para determinar el color de acuerdo con Munsell se utilizan dos sistemas complementarios:

- notación Munsell y
- nombres de los colores.

En la notación Munsell la naturaleza de cualquier color se califica por medio de tres variables: matiz, valoración e intensidad; en donde cada una de ellas tiene su respectiva escala y notación, que son combinados en el mismo orden para la designación del color (20) (32).

El matiz indica la relación con el rojo, amarillo, verde, azul y púrpura.

pura.

El símbolo para el matiz es la abreviatura del color (en inglés): R (rojo), Y (amarillo), G (verde), YR (rojo amarillento) . . . , precedidos por números que van del cero al diez, éstos últimos indican la posición del color en el rango del matiz, el cinco es el matiz del color básico, el número diez coincide con el siguiente color y el cero con el color anterior (escala radial).

La valoración indica la luminosidad, tiene una escala del cero al -- diez, el cero para el negro absoluto y diez para el blanco absoluto (escala vertical).

La intensidad indica la pureza del color, o sea el contraste con el neutro de semejante luminosidad; la escala empieza en cero para el gris neutral y se va incrementando a intervalos iguales, el máximo es cercano a veinte (escala horizontal).

La valoración y la intensidad se representan por una fracción, en la cual en el numerador se encuentra la notación de valoración y en el denominador la de intensidad.

Ejemplo: 5R 5/4 y 7R 6/8

La primera notación indica que es rojo, con luminosidad mediana, poco brillante; mientras que el segundo es de color rojo tirando a anaranjado, un poco más claro que el anterior y mucho más intenso.

2. TÉCNICA

Preparación de la muestra para determinación de color: las muestras

preparadas para ATD se molieron en mortero de porcelana para obtener un material de grano fino.

Se coloca un poco de muestra sobre el papel gris (pantalla). Encima de él se coloca un portaobjetos o cubreobjetos y se compara con los colores de la tabla Munsell para suelos.

3. RESULTADOS

Los resultados ordenados aparecen en la tabla No. 5.

Discusion de Resultados:

Analizando Verticalmente la tabla se observa que:

-- El color original de una muestra dada, tiene una gran variación - respecto a las otras columnas, como era de esperarse, ya que en el proceso de cocción se efectúan transformaciones y reacciones de: la arcilla, impurezas y arcilla con impurezas. Comparando la columna de muestra original con la columna de pasta cocida y pasta cocida después de ATD, además de lo antes mencionado, también influye el uso de mezclas de arcillas y desgrasantes en la fabricación del artefacto.

-- Al comparar la segunda columna (arcilla después de ATD) con la tercera (pasta cocida), en un 66% de las muestras se observa un cambio notable en el color por:

- a) la diferencia de atmósfera durante la cocción del artefacto, o
- b) la introducción de sustancias en la preparación de la pasta cerámica.

T A B L A N º 5

NOTACION MUNSELL.

MUESTRA	FILA	1	2	3	4	5	6	7
Nº y TIPO PROCEDENCIA	PROF. CM.	ORIGINAL	ORIGINAL DESP. ATD	PASTA COC ARTEFACTO	PASTA COC DESP. ATD	PROBETA MOLIDA A 500°C	CERAMICA ARQUEOL.	CERAMICA ARQUEOL. DESP. ATD
1 METEPEC	40	10 YR5/3 CAFE PALIDO	5 YR5/6 ROJO AMARILLENTO	7.5 YR7/4 ROSA (ARBOL DE LA VIDA)	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO	10 YR6.5/4 CAFE AMARILLENTO LUMINOSO (i)	5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO
2 METEPEC	40	10 YR6/3 CAFE PALIDO	5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR7/4 ROSA (ARBOL DE LA VIDA)	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO	10 YR7/3 CAFE MUY PALIDO (ii)	7.5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO
3 TEXCOCO	40	10 YR5/3 CAFE PALIDO	7.5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO	5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO (CENICERO)	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	10 YR7/4 CAFE MUY PALIDO	10 YR6/3 CAFE MUY PALIDO (iii)	5 YR6.5/8 AMARILLO ROJIZO
4 TEXCOCO	0	2.5 Y 6/2 GRIS CAFESOSO LUMINOSO	5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO	5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO (CENICERO)	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR6/6 CAFE MUY PALIDO	10 YR7/2 GRIS LUMINOSO (iv)	5 YR6/7 AMARILLO ROJIZO
5 VALLE DE BRAVO	0	10 YR6/4 CAFE AMARILLENTO LUMINOSO	5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR8/6 AMARILLO (CENICERO)	7.5 YR8/6 AMARILLO ROJIZO	5 YR5/6 ROJO AMARILLENTO	NO HAY MUESTRA	—
6 VALLE DE BRAVO	100	2.5 Y 8/2 BLANCO	10 YR8/6 AMARILLO	7.5 YR8/6 AMARILLO (CENICERO)	5 YR8/6 AMARILLO ROJIZO	10 YR7/4 CAFE MUY PALIDO	NO HAY MUESTRA	—
7 TEMAZCAL- TZINGO.	30	10 YR5/3 CAFE	7.5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR7/8 AMARILLO ROJIZO (TEPALCATE)	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	5 YR6/6 AMARILLO CAFESOSO	NO HAY MUESTRA	—
8 TEMAZCAL- TZINGO.	30	10 YR5/1 GRIS	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR7/8 AMARILLO ROJIZO (TEPALCATE)	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	10 YR6/4 CAFE AMARILLENTO LUMINOSO	NO HAY MUESTRA	—
9 TEMAZCAL- TZINGO.	120	10 YR6/4 CAFE AMARILLENTO LUMINOSO	10 YR7/4 CAFE MUY PALIDO	5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO (TEPALCATE)	5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR5/6 AMARILLO ROJIZO	NO HAY MUESTRA	—
10 OCOYOACAC	0	10 YR6/3 CAFE PALIDO	5 YR6/8 AMARILLO ROJIZO	5 YR6/5 CAFE ROJIZO LUMINOSO (TEPALCATE)	5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO (v)	7.5 Y 7/6 AMARILLO ROJIZO
11 OCOYOACAC	150	7.5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	2.5 YR6/8 ROJO LUMINOSO	5 YR6/5 CAFE ROJIZO LUMINOSO (TEPALCATE)	5 YR7/6 AMARILLO ROJIZO	5 YR6/6 AMARILLO ROJIZO	5 YR5/6 AMARILLO ROJIZO (vi)	5 YR5/6 AMARILLO ROJIZO
14 TEOTIHUACAN	0	10 YR6/3 CAFE PALIDO	5 YR5/8 ROJO AMARILLENTO	7.5 YR5.5/6 AMARILLO ROJIZO (ARQ. FALSA)	5 YR5/8 ROJO AMARILLENTO	NO HAY MUESTRA	10 YR6/6 CAFE AMARILLENTO (vii)	5 YR5/8 ROJO AMARILLENTO

(i) Teotenango, muestra No 26

(ii) Teotenango, muestra No 24

(iii) San Martín Negro-Tezcoco, muestra No 27

(iv) Cerámica Simple-Tezcoco, muestra No 29

(v) Ocoyoacac, muestra No 32

(vi) Ocoyoacac, muestra No 33

(vii) Teotihuacan, muestra No 38

En la notación Munsell el primer número y las letras nos indican el matiz, el numerador de la fracción nos representa la luminosidad y el denominador la intensidad

Todos los números tienen escala del cero al diez

mica, o

- c) la temperatura de cocción diferente a la obtenida en el ATD, o
- d) el uso de mezclas de arcillas en la preparación de la pasta cerámica.

En las muestras restantes el valor del matiz permaneció constante, sólo en la muestra 4 la luminosidad y la intensidad no variaron, en ésta muestra es posible que la atmósfera de cocción y la temperatura máxima de cocción hayan sido semejantes a las obtenidas en el ATD, es decir atmósfera oxidante y temperatura máxima de 980°C y que las impurezas hayan tenido poca influencia, se considera que es bastante aventurado asegurar la temperatura y la atmósfera de cocción basándose sólo en la diferencia de color Munsell. En las otras muestras la diferencia en intensidad y luminosidad pudo ser el resultado de una o de varias de las razones antes mencionadas en los incisos.

-- Observando la segunda columna (original después de ATD) y la cuarta columna (pasta cocida después de ATD) se aprecia que, en el 38% de las muestras el color es igual o casi igual, sólo cambia en una unidad la luminosidad, por lo que se supone que las muestras incluidas en éste porcentaje tienen poco desgrasante, o que la influencia de éste fue muy poca, se hace notar que ambas columnas tienen las mismas condiciones de cocción, excepto que la pasta ya tenía una precocción.

En las muestras 6 y 19 el color se volvió un poco más rojo, es decir el matiz bajo, en este caso se supone que junto con el desgrasante hubo algunas impurezas como óxido de hierro. En las muestras restantes el matiz aumentó, es decir se volvió más amarillo, se consideró que la atmósfera del horno obtenida en el aparato de ATD no fue semejante a la obtenida en la cocción de éstas muestras, además de que también el desgrasante influyó.

-- Comparando la columna dos (arcilla después de ATD) con la cinco - (probeta cilíndrica molida) se nota un cambio notable en el color, lo cual se explicó porque las probetas se cocieron a una temperatura de 500°C y no alcanzaron a realizarse todas las reacciones que provocan cambios de color, mientras que en el ATD se llegó hasta 980°C .

-- En la observación de la columna tres (pasta cocida) y cuatro (pasta cocida después de ATD) en el 63% de las muestras hubo diferencias únicamente en su intensidad, lo que indicó que la cocción de éstas llegó alrededor de los 980°C , tres de tales muestras pertenecen al mismo municipio (Temazcaltzingo), las muestras 6 y 7 se cocieron en horno cerrado, mientras que la 19 en - horno abierto, por esto último se supone que además de los desgrasantes también influye la composición de las arcillas. En las muestras restantes fue tan grande la variación de la notación Munsell que, hasta el nombre del color cambió, - se supone que en estas muestras de pasta cocida, la temperatura de cocción está bastante alejada de los 980°C que la proporción de impurezas de la arcilla o desgrasante fue grande.

-- Comparando las columnas tres (pasta cocida artefacto) y cinco (probeta cilíndrica cocida a 500°C) las muestras 1,2 y 11 tienen el mismo matiz y - en los restantes existe un cambio importante en el color. Se supone que la atmósfera y la temperatura máxima de cocción fueron semejantes a las obtenidas en el ATD en las muestras antes mencionadas. El cambio de color quizás se deba a que:

- a) La preparación de las pastas cerámicas es diferente, ya que los - alfareros introdujeron sustancias que influyen en el color y en el caso de las probetas sólo se agregó agua.
- b) El cambio de combustible, ya que esto repercute en la clase de atmósfera, que a su vez puede modificar el color.

-- Haciendo una comparación de las columnas cuatro (pasta cocida después de ATD) con la cinco (probeta precocida) se observa que:

En las muestras 1, 2 y 11 el color es casi idéntico, sólo varía en una unidad la luminosidad, sin embargo varía totalmente en las restantes. Lo anterior se explica, porque tienen diferentes temperaturas de cocción, en los de la fila 4 la temperatura máxima fue de 980°C , mientras que la máxima temperatura de las probetas fue de 500°C . Quizá también la composición de las pastas sea diferente, pues los alfareros al preparar la pasta para los artefactos pudieron agregar sustancias que influyeran en el color, como en el caso de la muestra de Texcoco, en la que se agregó además del desgrasante, flor de tule, mientras que para formar la probeta cilíndrica sólo se agregó agua.

Analizando Horizontalmente la tabla No. 5, en el renglón correspondiente a la muestra de Texcoco (3) se nota que al cocerse la muestra arcillosa se va aclarando el color; el matiz permanece constante sólo en: probeta precocida a 500°C y en cerámica arqueológica, por lo que se supone que éstas tuvieron una temperatura de cocción cercana, es decir alrededor de los 500°C .

Al cocerse la pasta cerámica a mayor temperatura, disminuye aún más, si es que existe algún desgrasante en ella.

El color Munsell es casi igual en la muestra de pasta cocida y en la pasta arqueológica después de ATD, sólo varió media unidad en luminosidad; el matiz es menor que en las demás columnas, de lo que se deduce que actualmente se sigue usando el mismo tipo y proporción de desgrasante que la usada en la preparación de la cerámica arqueológica San Martín - negro, y que la cerámica actual de ésta zona se coció a una temperatura un poco menor de 980°C , se propuso tal temperatura, porque al cocer la muestra de pasta cocida hasta 980°C

en el ATD, cambia el color, indicando con ello no haber sido cocida a ésta temperatura

C. ANALISIS AUXILIARES.

1. DETERMINACION DE HIERRO

La determinación de hierro se hizo volumétricamente.

a. Preparación de la Muestra:

Se mezcla un gramo de muestra con cinco gramos de carbonato de sodio en un crisol de platino, se tapa, se coloca con camisa en una mufla, manteniendo la temperatura de ésta a 950°C durante cuarenta y cinco minutos. Se enfría a temperatura ambiente, se coloca el crisol con camisa en un vaso de precipitados de 600 ml, se agregan 175 ml de agua destilada caliente, se tapa con un vidrio de reloj y se agregan 15 ml de ácido clorhídrico para neutralizar al carbonato, se agregan unos mililitros de exceso. Se deja hervir hasta la formación de floculos, se filtra en caliente y el precipitado (sílice) se lava con agua destilada caliente, el filtrado se pasa a un matraz volumétrico, se afora con agua destilada y se agita vigorosamente.

b. Base del Método:

La reacción base en la determinación del Fe (II) con dicromato de potasio, en medio ácido es la formación de Cr³⁺, a través de la siguiente reacción:

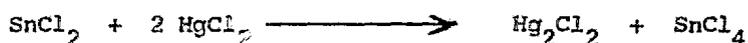


El Cr^{+++} es identificado a través de un indicador interno (la difenil amina); el cambio en el punto final es, de verde claro del Cr^{+++} al violeta - de la forma oxidada del indicador.

Se agrega cloruro estanoso con el fin de reducir las sales férricas a ferrosas, además de que favorece la disolución de las sales de hierro, la reacción es la siguiente:



El exceso de cloruro estanoso se elimina con cloruro mercurico, en 8 frío, efectuándose la siguiente reacción:



El color amarillo de los complejos clorados de hierro (III) que se forman durante la titulación impiden la detección del punto final, por lo que se agrega el ácido fosfórico para formar complejos fosfatados del hierro (III) que son solubles e incoloros.

c. Reactivos:

Cloruro de estaño II.

Cloruro de mercurio II

Acido sulfúrico 1:5

Acido fosfórico concentrado

Difenil amina

Dicromato de potasio 0.1 N.

Preparación de Reactivos:

Cloruro de estaño II.- se disuelven 15 g de cloruro de estaño II -

dihidratado en 300 ml de ácido clorhídrico concentrado y 50 ml de agua destilada, caliéntese y enfríese, dilúyase a un litro con agua destilada, añádase granalla de estaño para evitar la oxidación por el aire.

Cloruro de mercurio II al 5%.— disuélvase 50 g de cloruro de mercurio II en agua destilada y dilúyase a un litro.

Difenil amina.— disuélvase 0.1 g de difenil amina sulfonato de bario en 100 ml de agua destilada.

Acido sulfúrico 1:5 .— a 50 ml de agua destilada agréguese 10 ml de ácido sulfúrico concentrado.

d. Procedimiento:

Se calienta a ebullición una alícuota de la muestra, se retira de la llama y se le agregan dos o tres gotas de cloruro estanooso hasta la decoloración, con agitación ininterrumpida se añaden dos gotas en exceso, se enfría, se agregan 10 ml de cloruro de mercurio II, agitar y agregar 10 ml de ácido sulfúrico 1:5 y 5 ml de ácido orto fosfórico concentrado, agregar 10 gotas de difenil amina, agitar y por último titular con dicromato de potasio 0.1 N hasta color azul violeta, para mayor seguridad se hizo dos veces cada determinación, el resultado que se reporta es el promedio de ambas.

e. Calculos:

$$\%Fe = \frac{\text{ml de } K_2Cr_2O_7 \text{ gastados} \times 0.05585 \times 100}{\text{Peso de muestra}} \times \frac{\text{alícuota}}{\text{Vol. total}}$$

f. Resultados:

TABLA No. 6

# Muestra	Procedencia	Tipo	% de Hierro
1	Meteppec	arcilla	4.65
3	Texcoco	arcilla	3.70
10	Ocoyoacac	arcilla	6.26
11	Ocoyoacac	arcilla	6.07
14	Teotihuacán	arcilla	3.59
15	Texcoco	c. actual	6.94
16	Meteppec	c. actual	3.63
20	Ocoyoacac	c. actual	5.71
22	Teotihuacán	c. actual	3.52
23	Teotenango	c. arql.	6.07
24	Teotenango	c. arql.	2.94
27	Texcoco	c. arql.	3.93
29	Texcoco	c. arql.	3.09
33	Ocoyoacac	c. arql.	4.36
34	Ocoyoacac	c. arql.	4.72
38	Teotihuacán	c. arql.	3.89

g. Interpretación de Resultados:

En todas las muestras de (arcilla, cerámica actual y arqueológica) - se observa la presencia de hierro. Al comparar el % de hierro de las muestras arcillosas con las de cerámica actual, se nota que el % de Fe disminuye, lo - cual se explica porque en la preparación de la pasta se agrega desgrasante a la arcilla, provocando con ello que baje el porcentaje de hierro de la pasta -

total, junto con la adición del desgrasante se pudo haber agregado impurezas de hierro; de acuerdo con los resultados obtenidos no aumenta significativamente el % de hierro en la pasta cerámica.

No se encontró por este método, relación entre el porcentaje de hierro de las muestras de cerámica arqueológica con las de arcillas y pasta cocida actual, en el 71% de las muestras disminuyó la proporción de hierro de las muestras de cerámica arqueológica mientras que en el 29% aumentó.

No se encontró relación del por ciento de hierro de las muestras con el termograma respectivo, pues en éste, sólo se aprecia la oxidación del hierro, tampoco hubo correlación entre por ciento de hierro total con el color Munsell de las muestras.

2. ANALISIS PETROGRAFICO

a. Preparación Del Material:

Se agrega un gramo de arcilla a una probeta que contenga un litro de agua destilada, se agita y se deja sedimentar durante doce horas, con todo cuidado se separa el agua y se deja secar el material grueso sedimentado. La pasta cocida actual o arqueológica se muele ligeramente. El material, así -- preparado se proporcionó a los geólogos para su análisis petrográfico.

El análisis petrográfico de las muestras arcillosas fue realizado por el Geólogo Eduardo Schmitter de los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, las otras muestras se hicieron en la Comisión de Fomento Minero por Leticia Rodríguez.

Nota:

En la tabla anterior las muestras:

1 a 13 son arcillas

15 y 16 cerámica actual

y las tres últimas cerámica arqueológica.

Al comparar los minerales presentes en muestras de arcilla, pasta -
cocida actual y arqueológica se nota que:

Algunos de los minerales presentes en la muestra de arcilla, se des
componen con el calor de reacción:



mientras que a otros no les afecta la cocción: cuarzo, hornblenda.

CONCLUSIONES

ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

Arcillas:

- 1.- Para una identificación precisa de arcillas es necesario emplear además del ATD*, métodos complementarios como el de difracción de Rayos X y microscopía petrográfica y electrónica.
- 2.- En el termograma de una arcilla el engrosamiento del pico de deshidroxilación es un indicio de la posible presencia de cuarzo en la arcilla.
- 3.- Por la forma y posición de los picos característicos de las arcillas, las muestras 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 14, y 15 se ubicaron en el grupo del caolín; las muestras 4, 7, 8 y 13 dentro de las illitas. La presencia de la clorita como impureza se detectó en las muestras 7 y 10.
- 4.- Además de las impurezas de cloritas se identificaron sustancias orgánicas, mica, hierro, feldespatos y carbonato de calcio.

Probetas de Arcilla Sometidas a Precocción (400 - 800°C):

- 5.- Es mayor la influencia de la temperatura máxima de cocción, que el tiempo que ésta se mantenga.
- 6.- La aparición o no del pico de deshidroxilación depende de: tipo de arcilla, tiempo de cocción y temperatura máxima de cocción.

- 7.- En la mayoría de las muestras la manifestación exotérmica por la -
la formación de la fase spinel, disminuye al aumentar la temperatu
ra de precocción.
- 8.- La inflexión exotérmica característica de la oxidación del hierro -
es muy sensible a la temperatura de precocción.
- 9.- La presencia del pico de deshidratación depende de la clase de ar-
cilla y contaminantes.

Cerámica Actual:

- 10.- En la curva de ATD de una arcilla pura, no hay respuesta endotér-
mica ni exotérmica en la región comprendida entre 700 y 800^oC, por
lo que no es posible determinar por ATD si la cerámica cocida alcan-
zó dicho rango.
- 11.- Aproximadamente las dos terceras partes de las cerámicas actuales -
fueron cocidas a una temperatura máxima que se encuentra entre 500
y 700^oC, dentro de este grupo es posible que alguna cerámica alcanza
ra temperatura de cocción de 800^oC.
- 12.- La tercera parte restante de cerámica actual revisada, alcanzó tem-
peraturas cercanas a los 900^oC, de ahí se dedujo que ha habido cier-
to cambio en la tecnología, como son cambio de combustible, tipo de
horno, que ha permitido a algunos alfareros alcanzar más altas tempe-
raturas de cocción. Esta ligera modificación tecnológica se comprobó
en las entrevistas, algunos alfareros usan como combustible desechos

industriales, petróleo, en otros el horno usado ya no es abierto como en la época prehispánica, sino cerrados.

Cerámica Arqueológica:

13.- La existencia de magnetita indica que la cerámica fue cocida a temperaturas menores de 600°C .

14.- La actividad térmica observada entre los 900° y los 980°C confirma que las cerámicas fueron cocidas a temperaturas menores a este rango.

15.- Se identificó la presencia de cloruros y sulfatos.

16.- La manifestación exotérmica alrededor de los 900°C puede indicar a que clase de grupo arcilloso pertenece la arcilla con la que fue elaborado, pero no hay mucha exactitud debido a que las pastas cerámicas pudieron ser hechas con mezclas de varios grupos arcillosos, además de que las impurezas pueden traslapar los picos.

17.- Gracias a la presencia o ausencia de la manifestación endotérmica entre los 720 y los 820°C de las plagioclasas, se puede señalar un rango probable más pequeño, de cocimiento de la cerámica, siempre y cuando se determine la existencia de las plagioclasas en la materia prima.

COLOR MUNSELL:

18.- Teniendo en cuenta la serie de factores que influyen en el color -

final de una pasta cerámica, entre otros: pureza y tipo de arcilla, desgrasante, atmósfera de cocción, temperatura máxima y tiempo de cocción; se puede concluir que el método Munsell es útil para codificar y ubicar las cerámicas en general. de hecho esta medida se usa regularmente en arqueología.

Sin embargo, para fines comparativos o de reconocimiento más precisos es necesario elaborar patrones de referencia a partir de la materia prima recogida en la misma zona que la cerámica arqueológica, tratada la primera en condiciones perfectamente conocidas sobre todo en lo que se refiere a temperatura máxima, atmósfera y tiempo de cocción. Asimismo es necesario analizar un mínimo representativo de muestras del área cultural en cuestión.

HIERRO TOTAL:

19.- La determinación de hierro total no aporta datos importantes, para el análisis de cerámica arqueológicas.

ANALISIS PETROGRAFICO:

20.- El estudio petrográfico es útil y necesario en el análisis de cerámicas arqueológicas, dado que proporciona información acerca de la composición mineralógica del desgrasante.

Es necesario hacer un estudio petrográfico exhaustivo de arcillas, cerámicas actuales y cerámicas arqueológicas de la misma zona cultural, para poder sacar conclusiones, poniendo énfasis en aquellos minerales que están en menor proporción en las pastas cerámicas.

CONCLUSION FINAL DEL TRABAJO:

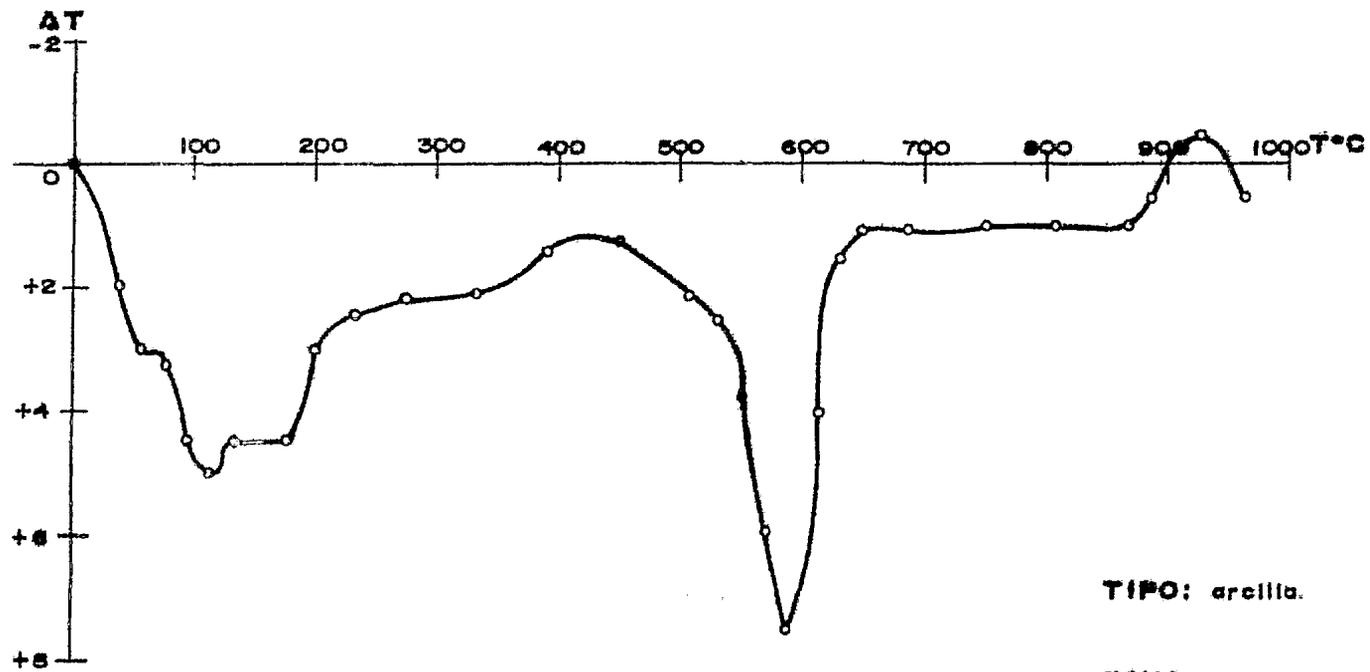
El ATD, no debe adoptarse de manera definitiva en el análisis de pasta ce r á m i c a, para conocer la temperatura de cocción de cerámicas desconocidas, en vista de que sóloamente se pueden ubicar rangos muy amplios de temperatura; sin embargo se puede llegar a conclusiones más concretas en estudios exhaustivos de la cerámica y materiales arcillosos regionales, una vez - que se tengan éstos últimos perfectamente identificados, efectuando pruebas de simulación en las que se introduzcan uno o varios materiales de re fe re n ci a cuyo comportamiento térmico sea completamente conocido.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BERRY, L. G. y MASON, B. Mineralogía, Ediciones Aguilar, España, 1966.
- 2.- BUDKINOV, P. P. The Technology of Ceramics, The M. I. T. Press, Cambridge Massachusetts, 1964.
- 3.- DANA - HULBURT, Manual de Mineralogía, Reverté, Barcelona España, 2a. Edición, 1960.
- 4.- ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMICAL ANALYSIS. Book. Snell, F. D. and Hilton, C. L., eds. Interscience (Wiley), New York, N. Y., USA., 2, General Techniques, F. O. 767 pp.; 3, General Techniques, P-Z, Index to Vols. 1 - 3 845 pp. 1970.
- 5.- DIFERENTIAL THERMAL ANALYSIS OF INDIAN CHINA CLAYS. J. Sci. Ind. Research India, 19 B, 1960, p. 224 - 226
- 6.- GONEN R. Ancient Pottery, Casellís Introducing Archeology Series, Book 2, Israel, 1973.
- 7.- GRAN ENCICLOPEDIA LAROUSSE, Tomo 4, 3a. Edición, 1970.
- 8.- GRANDE LOPEZ, RAUL. Análisis Térmico Diferencial, Instituto de Geología y Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México, Folleto Técnico # 31, 1972.
- 9.- GRIMSHAW, R. W. HEATON, E. and ROBERTS A. L. "Constitution of Refractory Clays II, Thermal Analysis Methods", Trans Ceram Soc. 44, 1945, p. 76 - 92.
- 10.- GRIMSHAW, R. W. The Chemistry and Physics of Clays and Allied Ceramics - Materials, Published by Ernest Benn Limited, 4a. Edition, London, 1971.
- 11.- GUILLOT, M. and HALOT, E. Some Physico-chemical Methods of Studying Clays After Firing, Soc. Fr. céram., Bull., No. 51, 1961, p. 45 - 52. 1961.
- 12.- HANDBOOK OF ANALYTICAL CHEMISTRY, Edited by Louis I. Medved, 2a. Ed., USA, Chap 6, 1963.
- 13.- HAMELIN, M. La Therme - Analyse, que sais - je ? 1968. Université de France, Paris. 1968.

- 14.- HODGES, H. Artifacts, John Baker Publishers Ltd., 1964.
- 15.- ILER, R. K. The Colloid Chemistry of Silica and Silicates, Cornell University Press, New York USA, 1955.
- 16.- KINGERY, W. D. Introduction to Ceramics, John Wiley & Sons, Inc., USA, - 1967.
- 17.- LAWRENCE, Ceramic Science for the Potter, Chitton Book Company, Philadelphia, 1972.
- 18.- MACKENZIE, R. C. Differential Thermal Analysis, Academic Press, London -- and New York, 1 y 2, 1970.
- 19.- MICHELS, J. W. Dating Methods in Archaeology, Seminar Press, New York USA, p. 190 - 195.
- 20.- MORTON C. B. Systems of Color Classification Technical Studies in the -- Field of the Fine Arts, Published for the Fogg Art Museum, Harvard University USA, 6, 4, 1938, p. 240 - 275.
- 21.- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS, Munsell Color Company, USA, 1971.
- 22.- MURPHY, C. B. "Differential Thermal Analysis Review of Fundamental Developments in Analysis ", Analytical Chemistry, 30, No. 4, 1958, p. 867 - 871.
- 23.- NOGUERA, EDUARDO. La Cerámica Arqueológica de Mesoamérica, Instituto de -- Investigaciones Históricas, UNAM México, 1a. Serie #8, 1965.
- 24.- NORIEGA ROMERO, Cerámica de Artesanía en México, tesis, Facultad de Química UNAM, México, 1977.
- 25.- NORTON, Cerámica Para Tecnología y Aplicaciones, Edit. Omega, España, 1975.
- 26.- PADILLA BOLIVAR, A. Atlas de Arqueología, Ediciones Jover, Barcelona España, 9a. Edición, 1978.
- 27.- PEREZ HOLDER, CRISTINA, Apuntes de Química de los Materiales Cerámicos, - Facultad de Química, UNAM México, 1er. semestre 1980.
- 28.- BORTILLA, M. y WINT A. S. "Análisis Térmico - Principios y Aplicaciones", Revista de la Química de México, 21, No.6, 1977, p. 335 - 341.

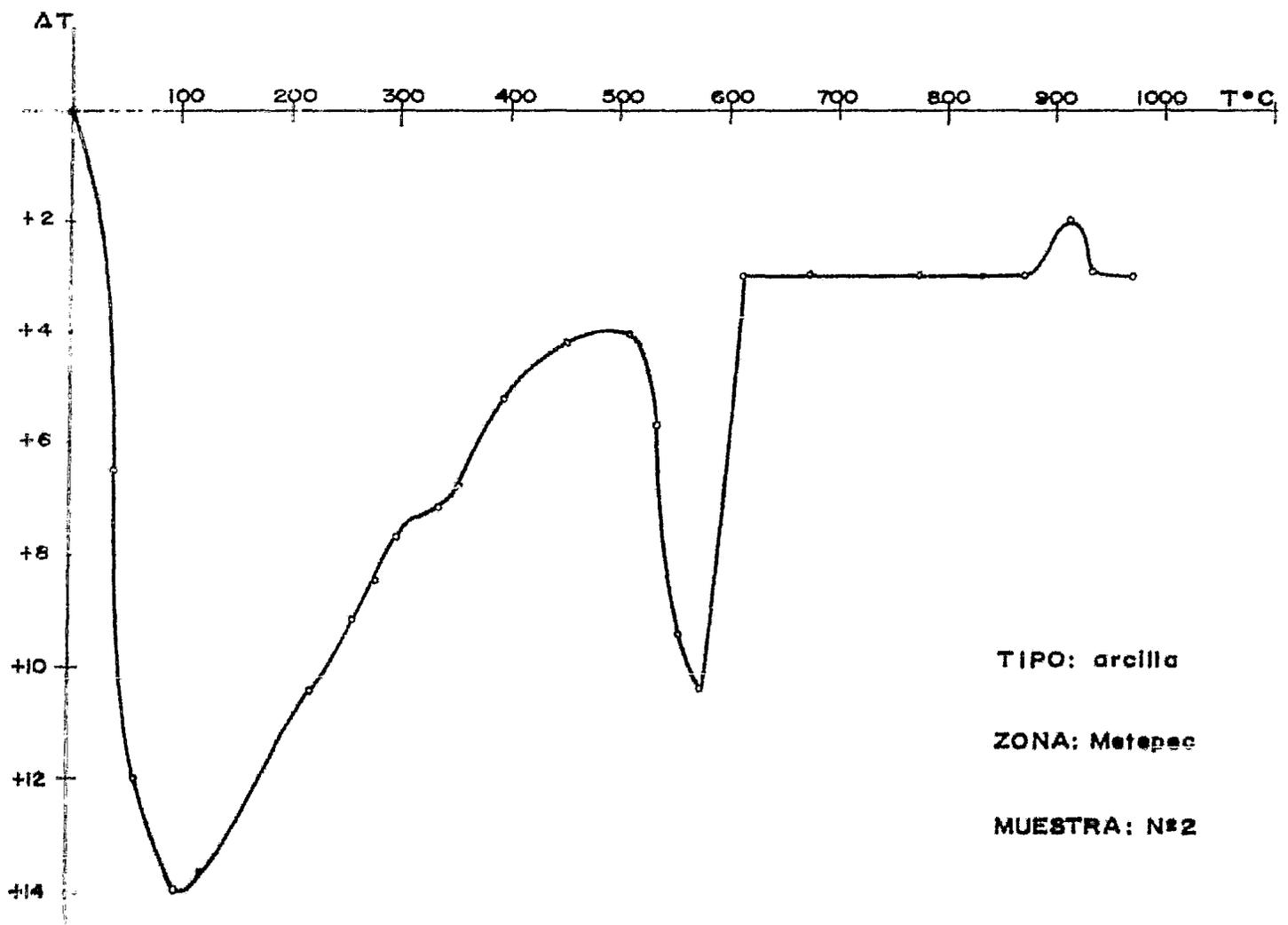
- 29.- ROSENTHAL, E. Alfarería y Cerámica, Reverté, Barcelona España, 1958.
- 30.- RORURA VILLELA, FELIPE. Lozas, Porcelanas y Esmaltes, Edit. Sintés. Barcelona España, 1953.
- 31.-SCHMITTER V., EDUARDO. Curvas de Análisis Térmico Diferencial Cualitativo - obtenido de estudios de bauxita, arcillas bauxíticas y otros minerales, Boletín #63 del Instituto de Geología de la UNAM, México, 1962.
- 32.- SHEPARD, A. O. Ceramic for the Archaeologist, Carneige Institution of Washington D. C. USA, 1971.
- 33.- SINGER, F y SINGER, S. S. Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo 9, Cerámica Industrial 1 y 2, Ediciones URMO, 1971.
- 34.- SPEIL, S. BERKELHAMER, L. A. PASK, J. A. AND DAVIES, B. Differential Thermal Analysis Its Application to Clays and Other Aluminous Minerals, U. S. Bur Mines Tech Paper, 1945.
- 35.- VOLD, M. Differential Thermal Analysis, Analytical Chemistry, 21, No. 6, 1949, p. 683 - 686.
- 36.- WENDLANDK, Thermal Methods of Analysis, John Wiley & Sons, 2a. Ed., 1974.



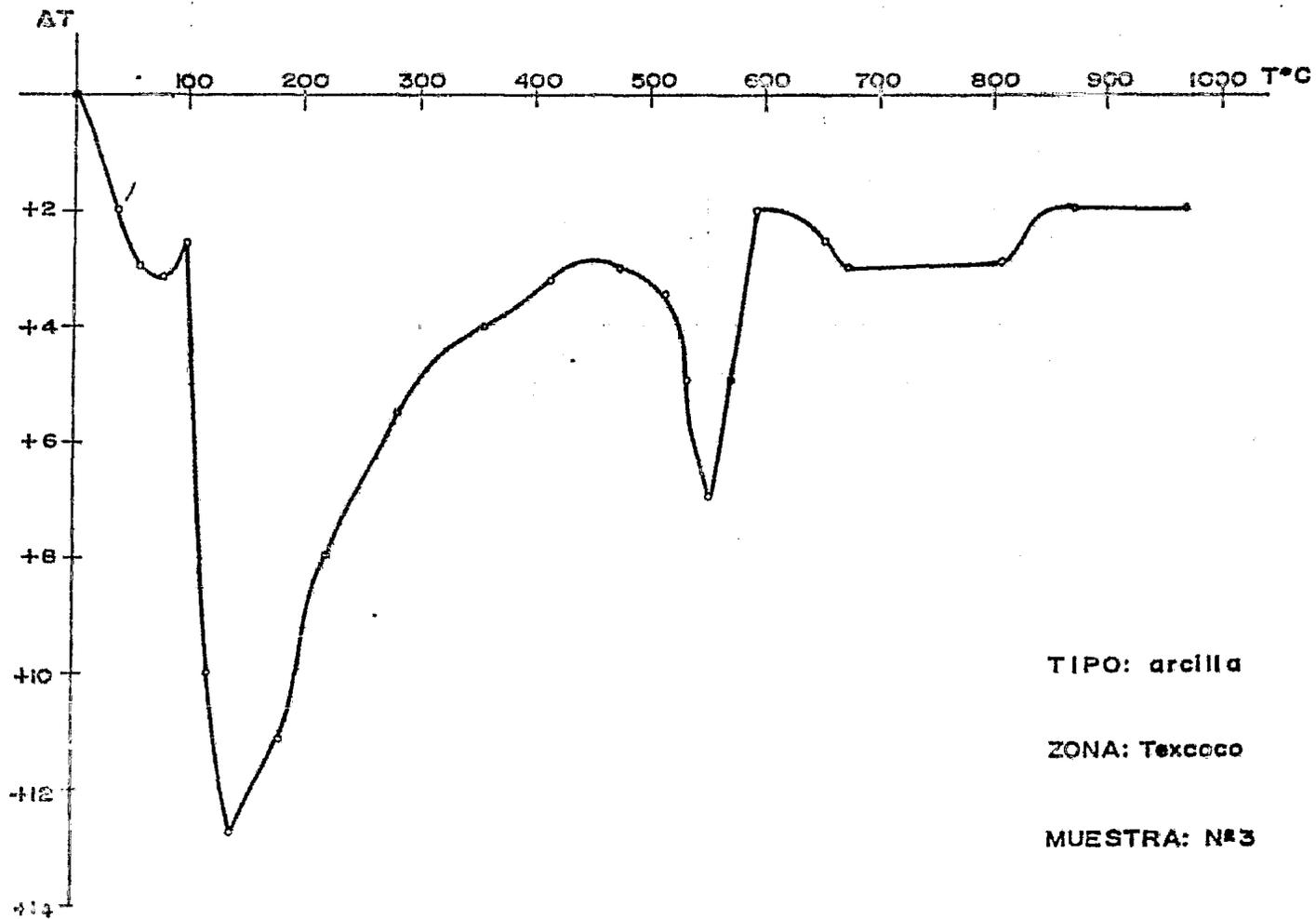
TIPO: arcilla.

ZONA: Matapao.

MUESTRA: N°1



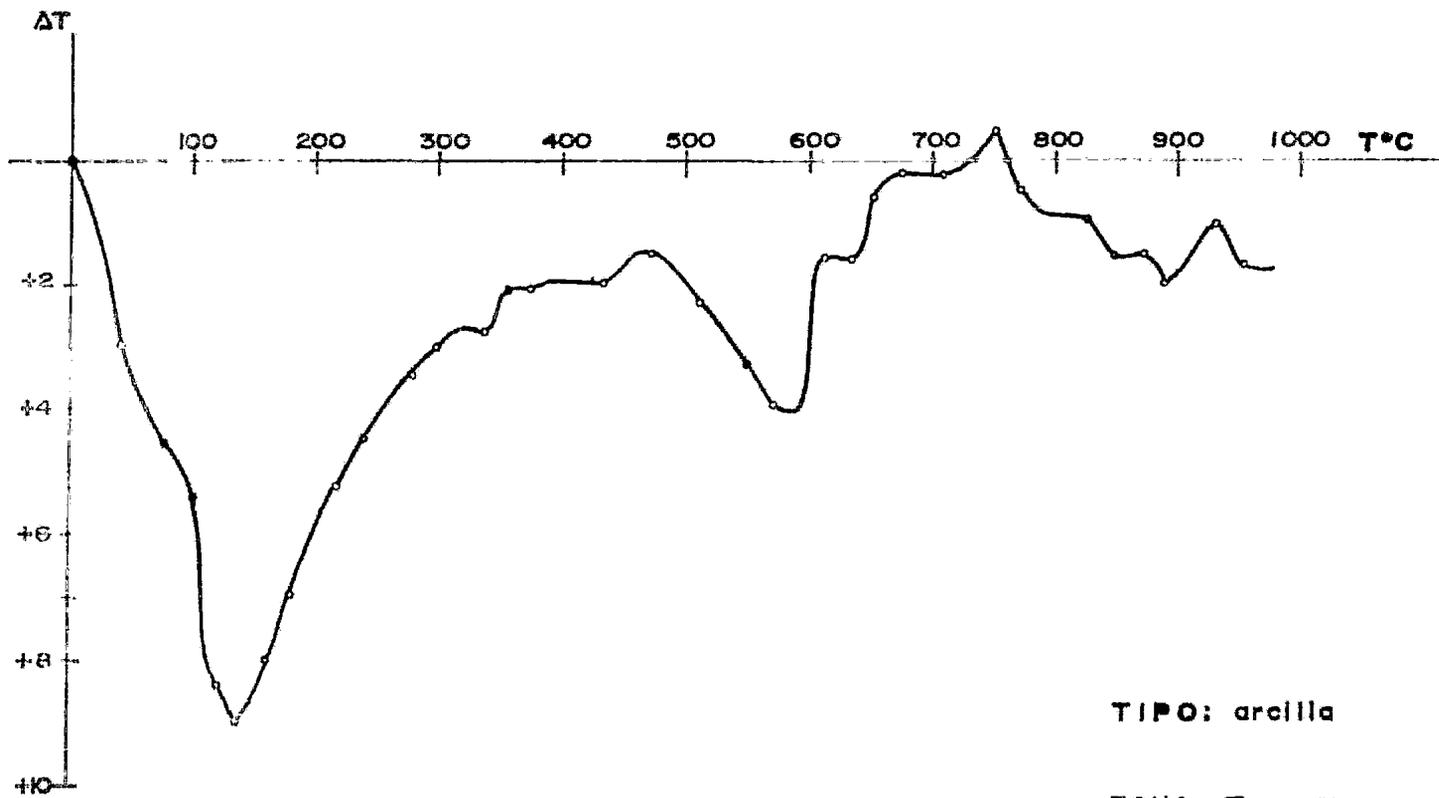
TIPO: arcilla
ZONA: Metepec
MUESTRA: N°2



TIPO: arcilla

ZONA: Texcoco

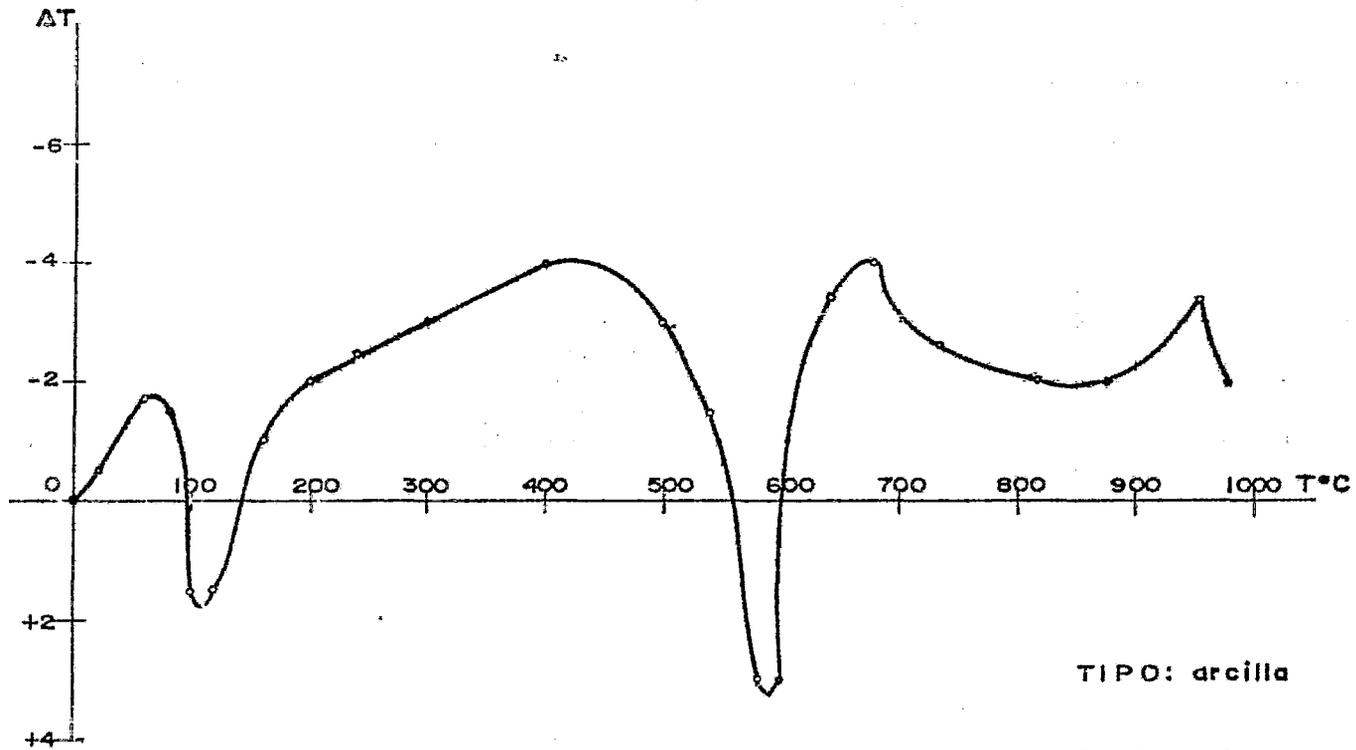
MUESTRA: N°3



TIPO: arcilla

ZONA: Texcoco

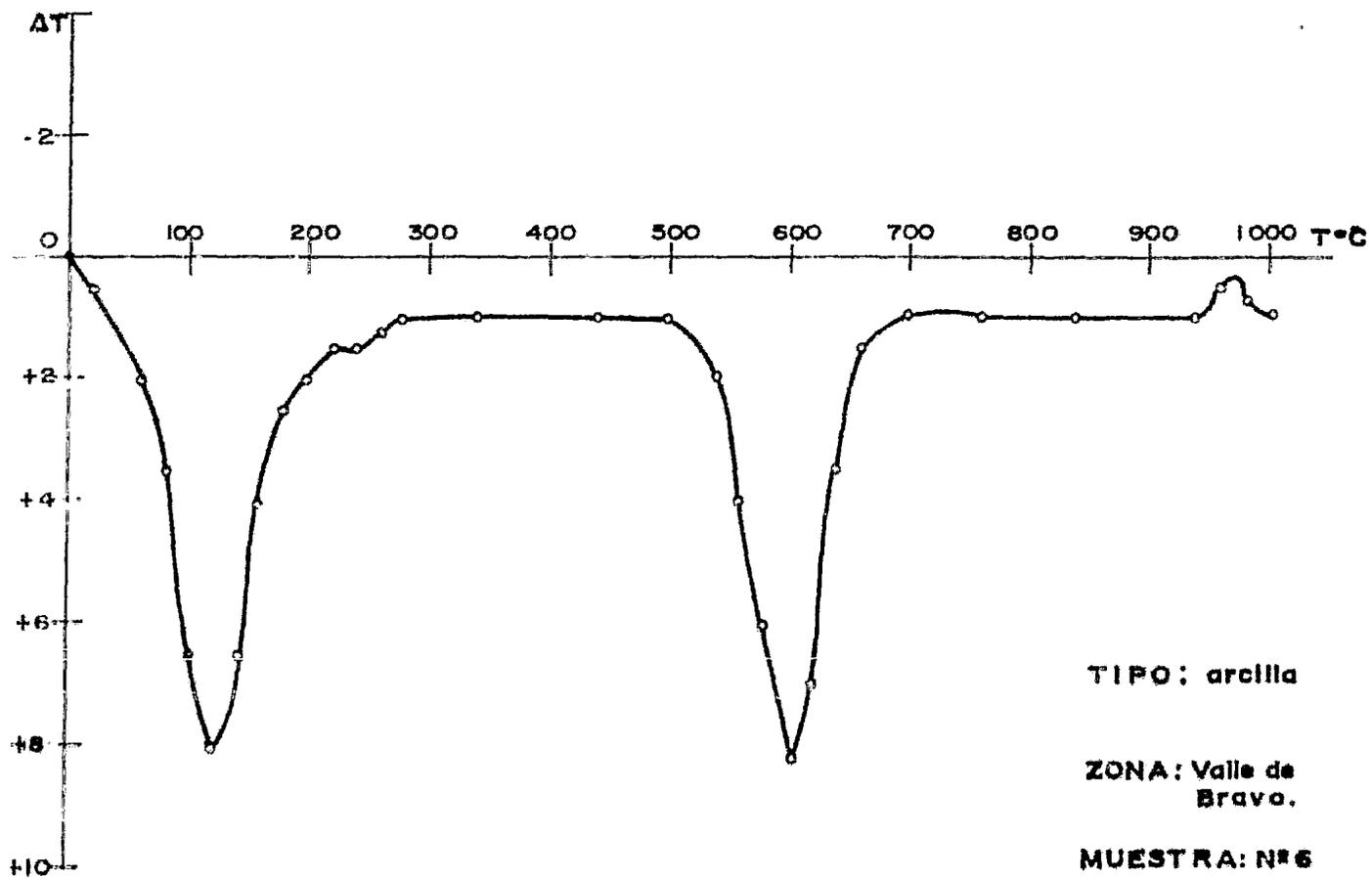
MUESTRA: N°4

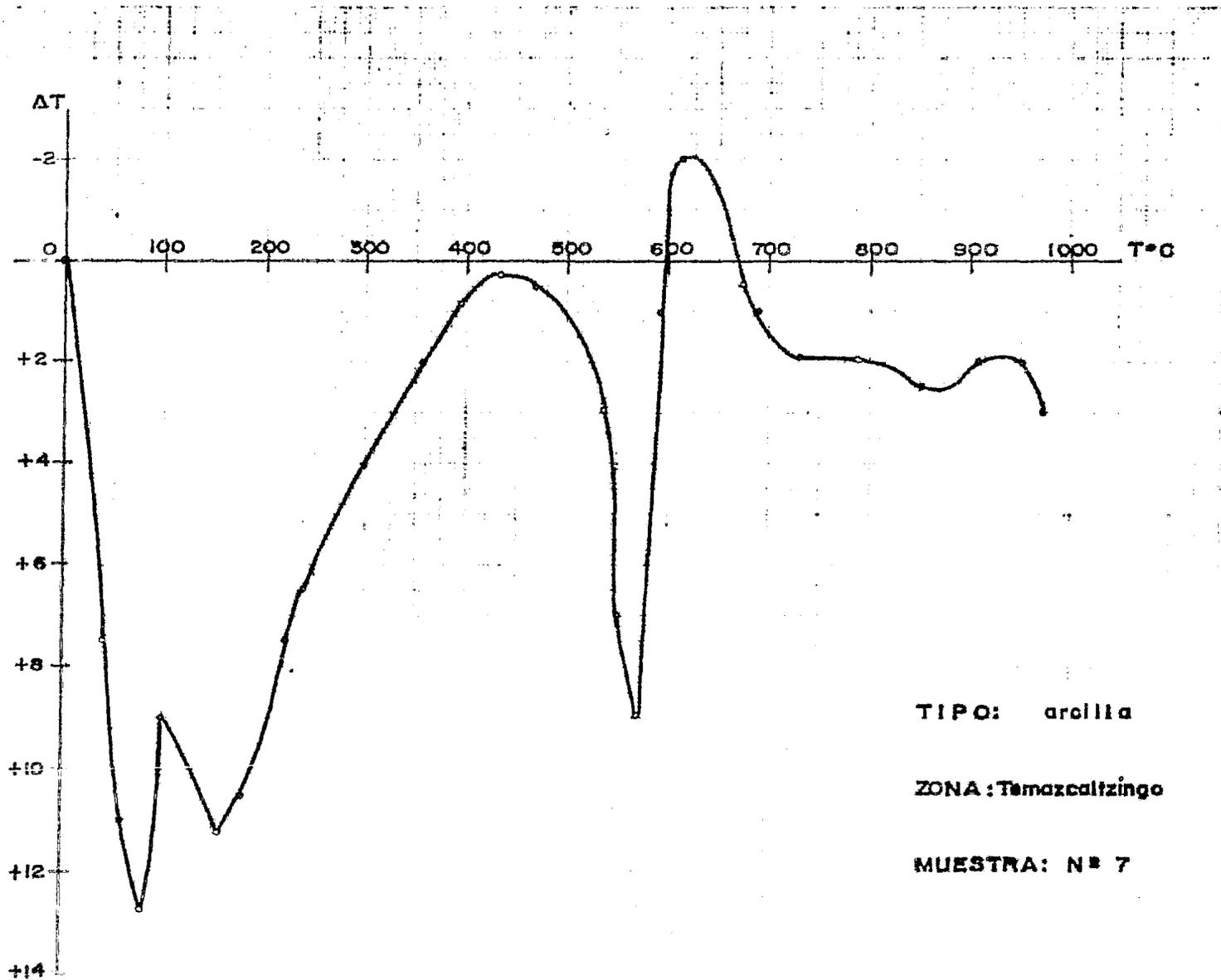


TIPO: arcilla

ZONA: Valle de
Bravo.

MUESTRA: N°3

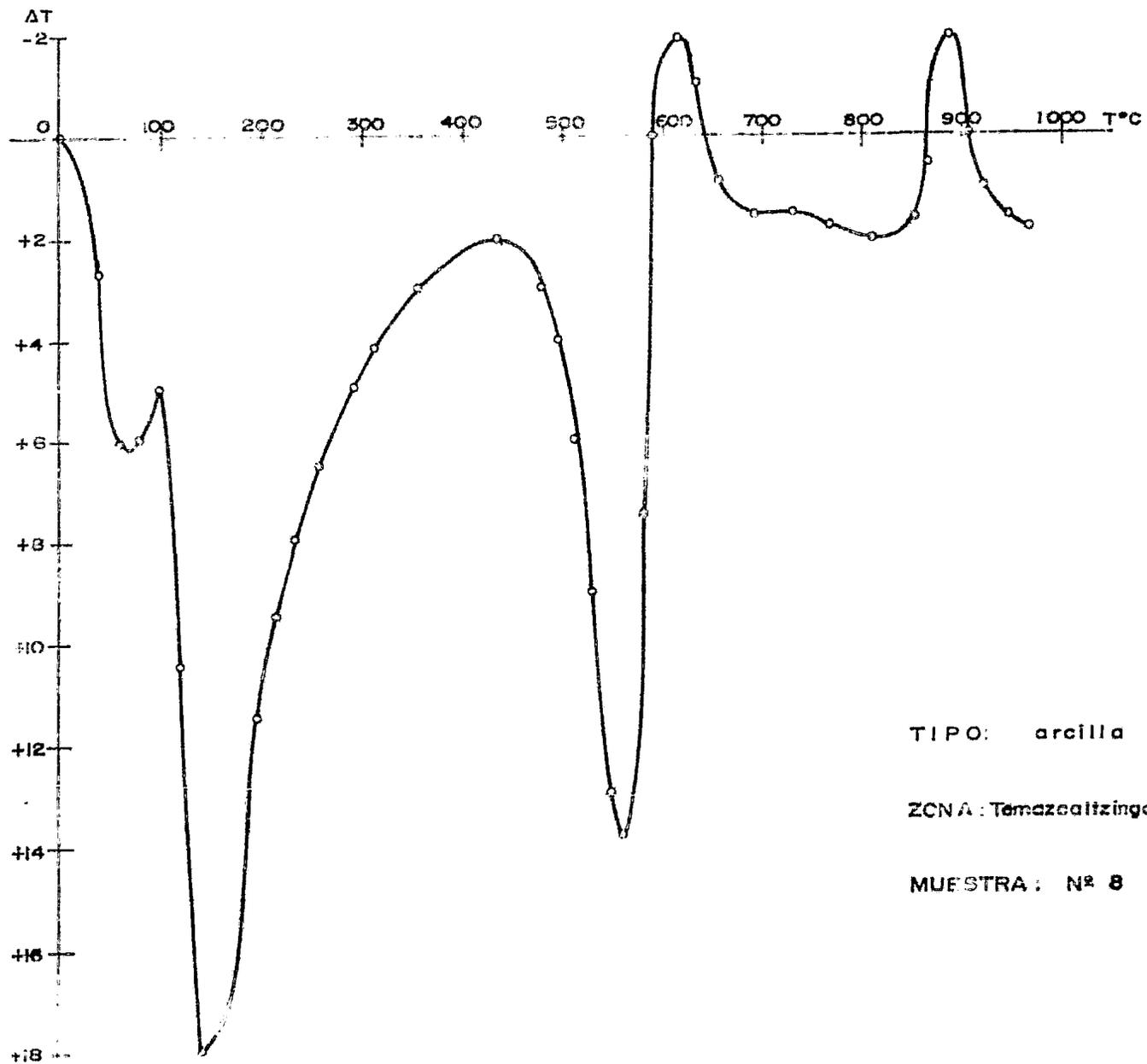




TIPO: arcilla

ZONA: Temascalcingo

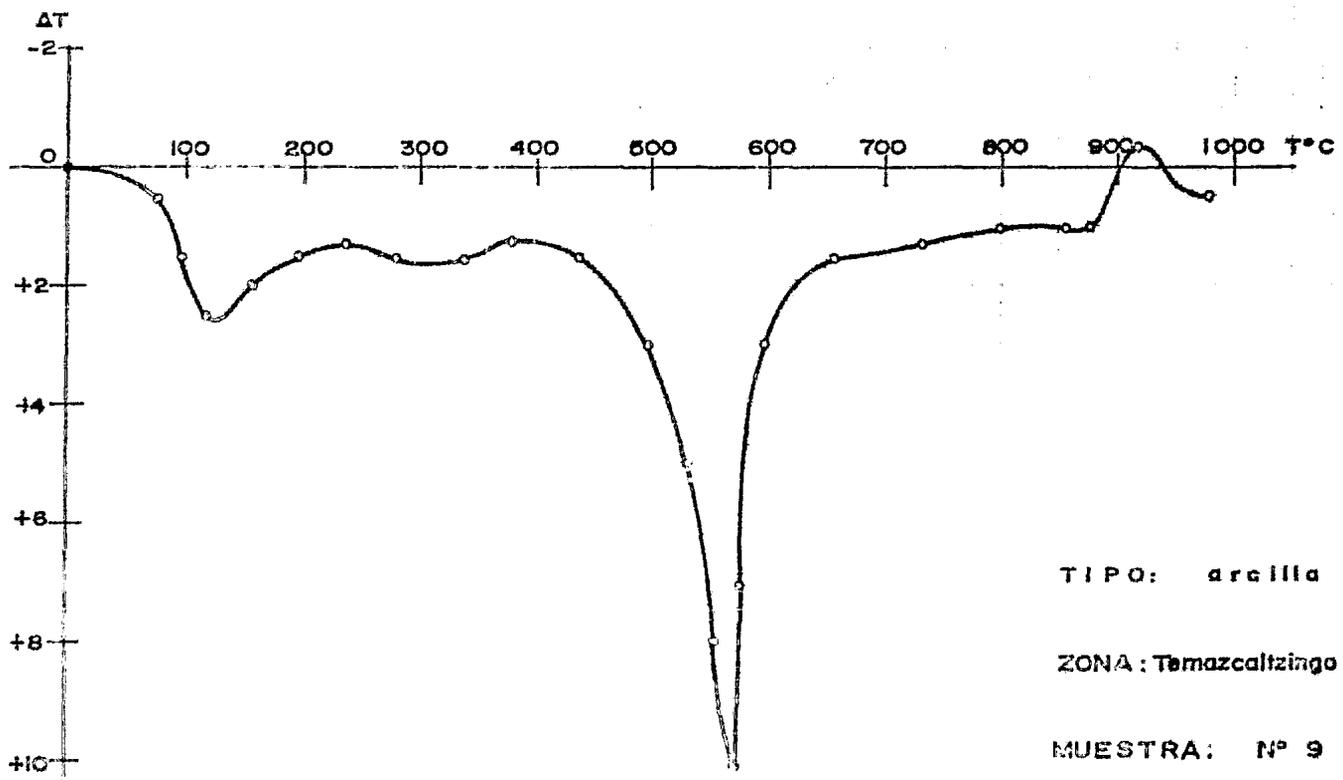
MUESTRA: N° 7



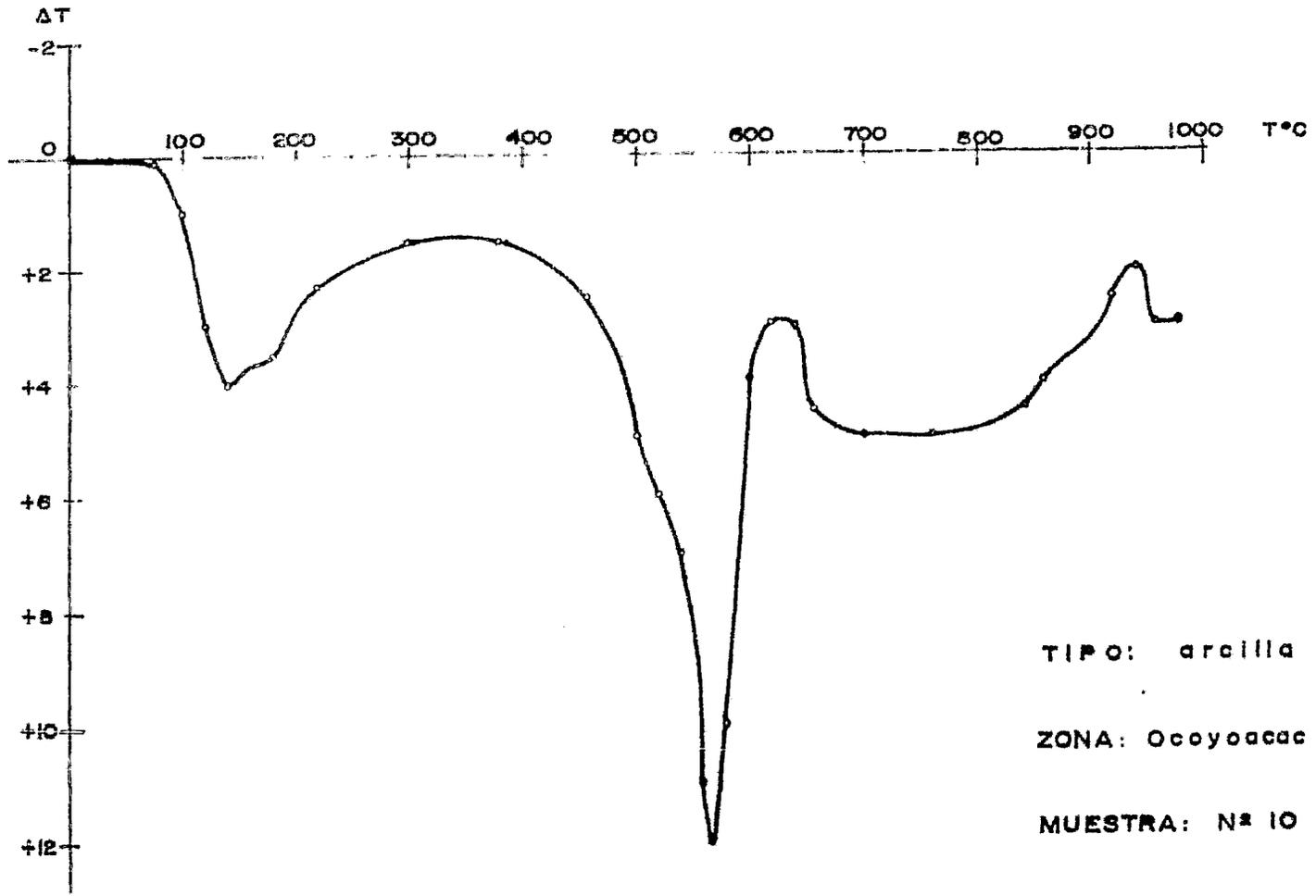
TIPO: arcilla

ZONA: Temazatlzingo

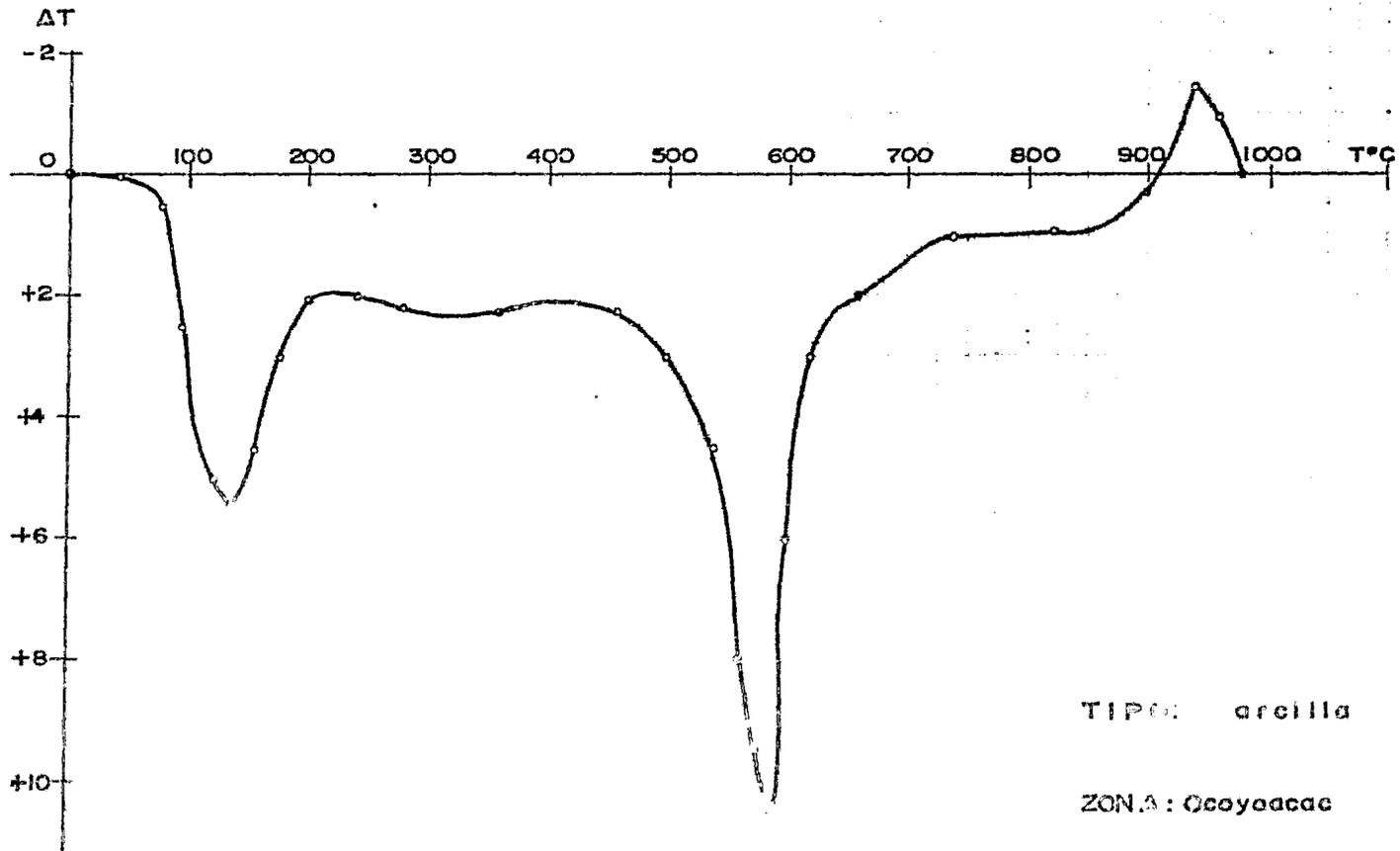
MUESTRA: N° 8



TIPO: arcilla
ZONA: Tamazcaltzingo
MUESTRA: N° 9



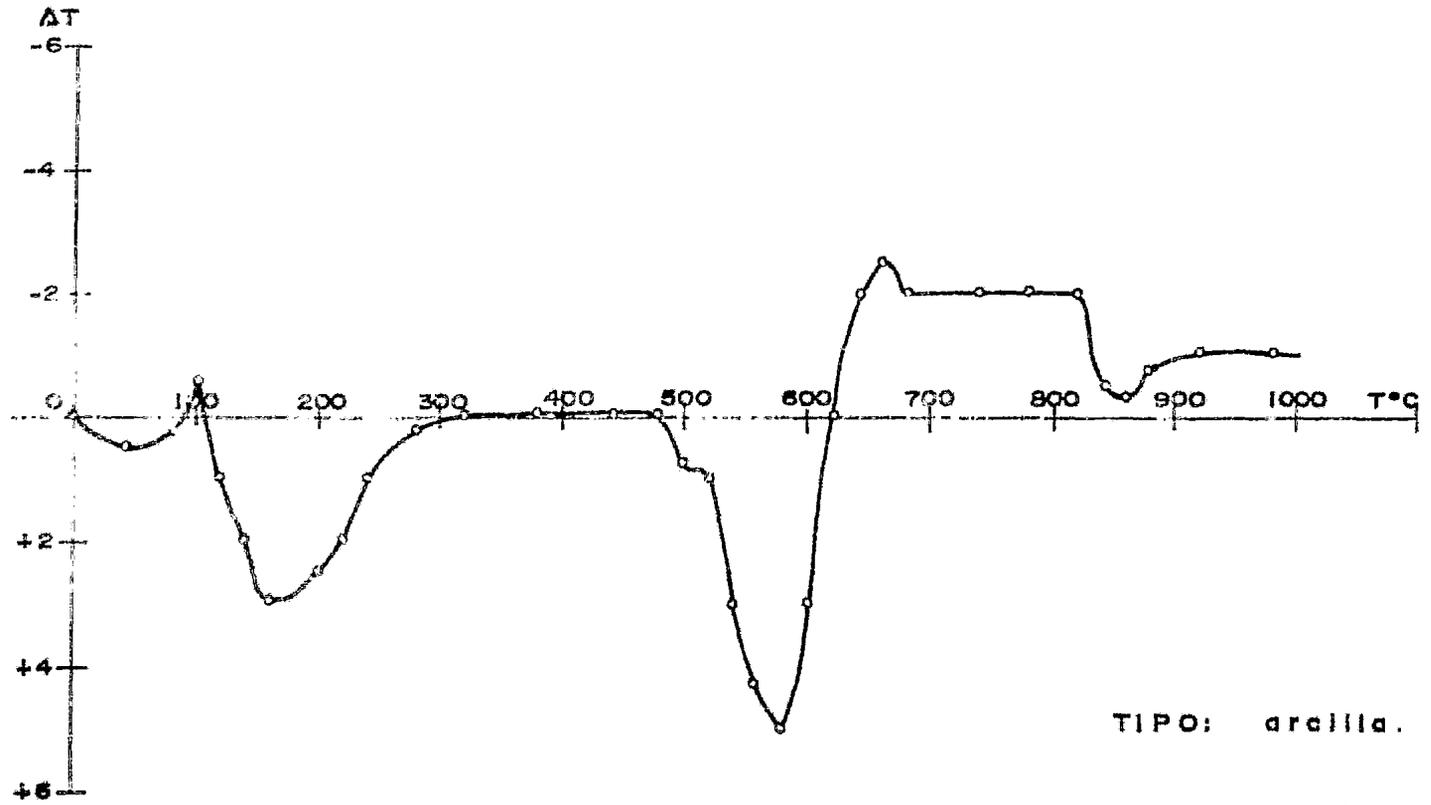
TIPO: arcilla
ZONA: Ocoyoacac
MUESTRA: N° 10



TIPO: arcilla

ZONA: Ocoyoacac

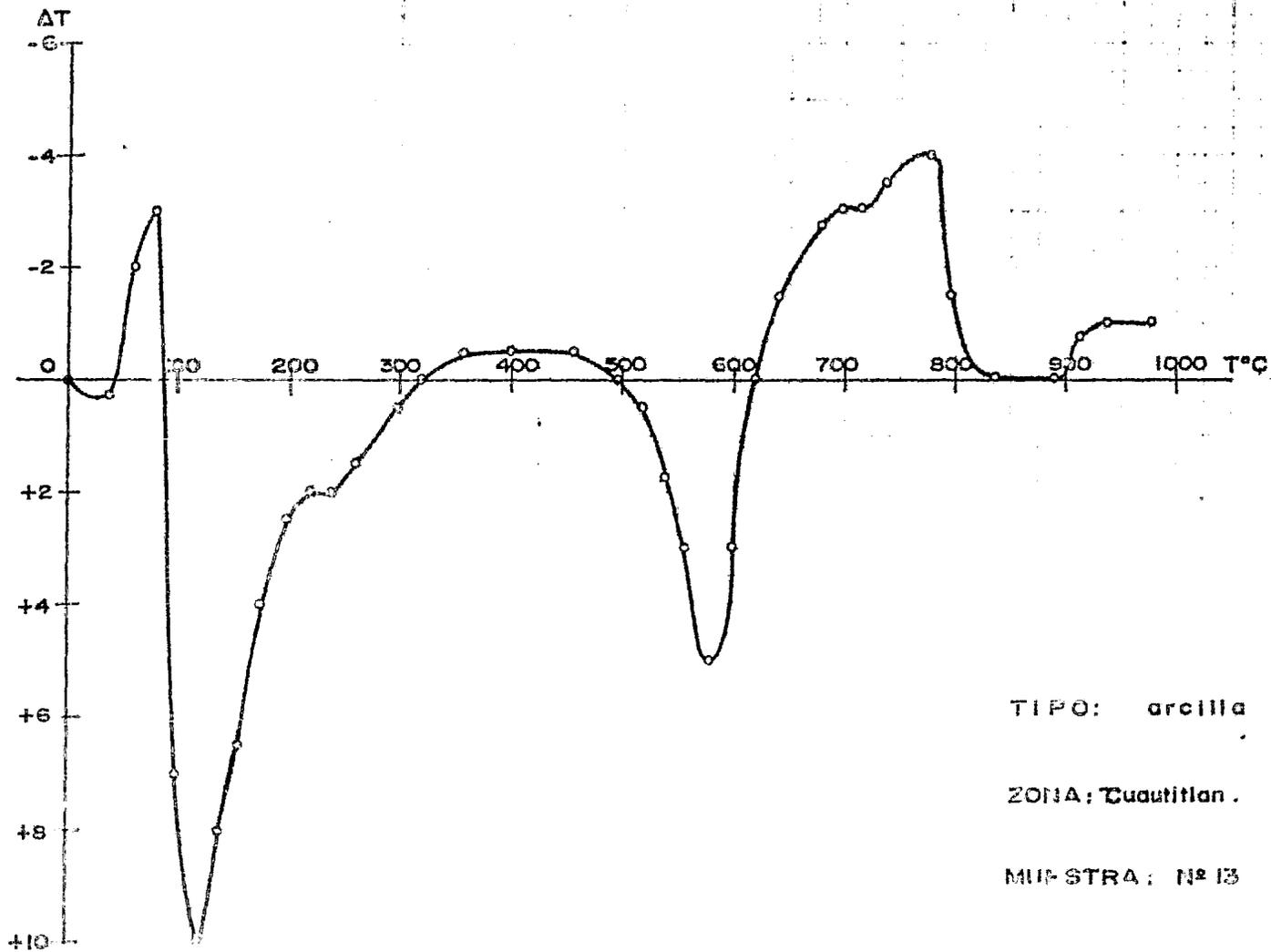
MUESTRA: Nº 11



TIPO: arcilla.

ZONA: Cuautitlan

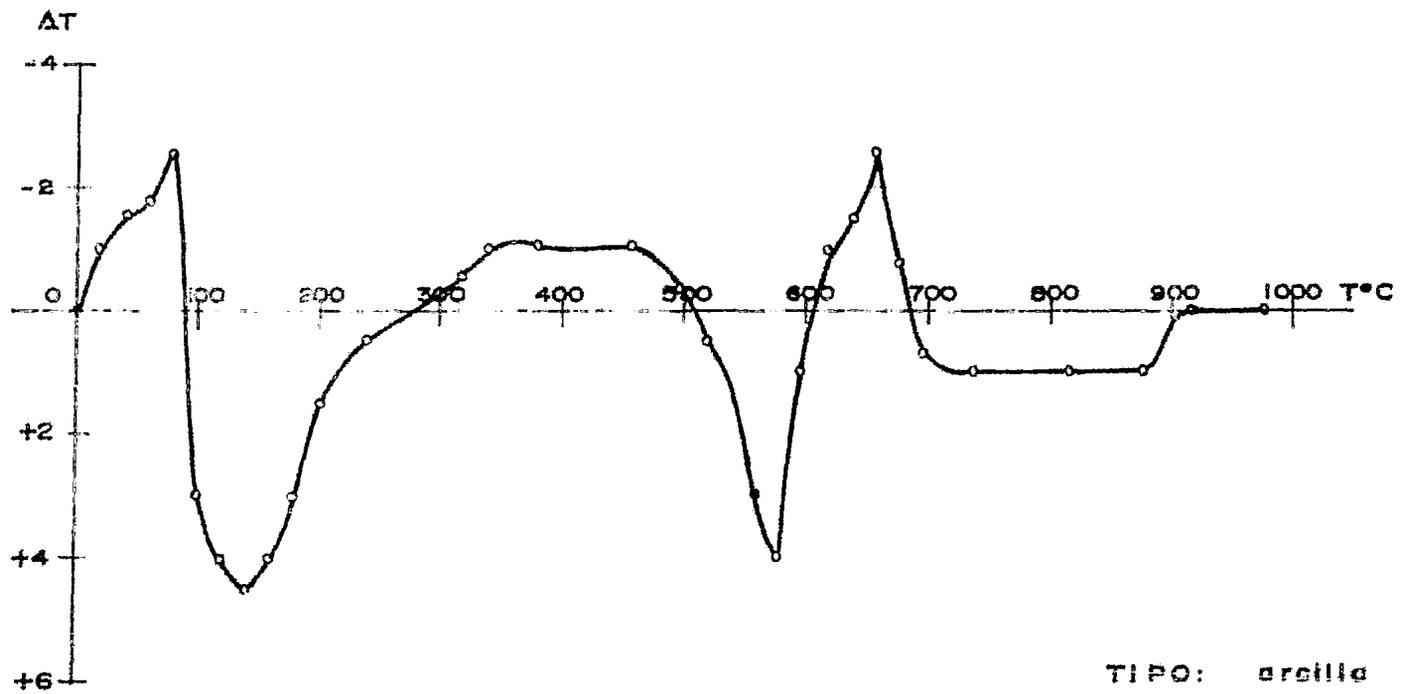
MUESTRA: N°12



TIPO: arcilla

ZONA: Cuautitlan.

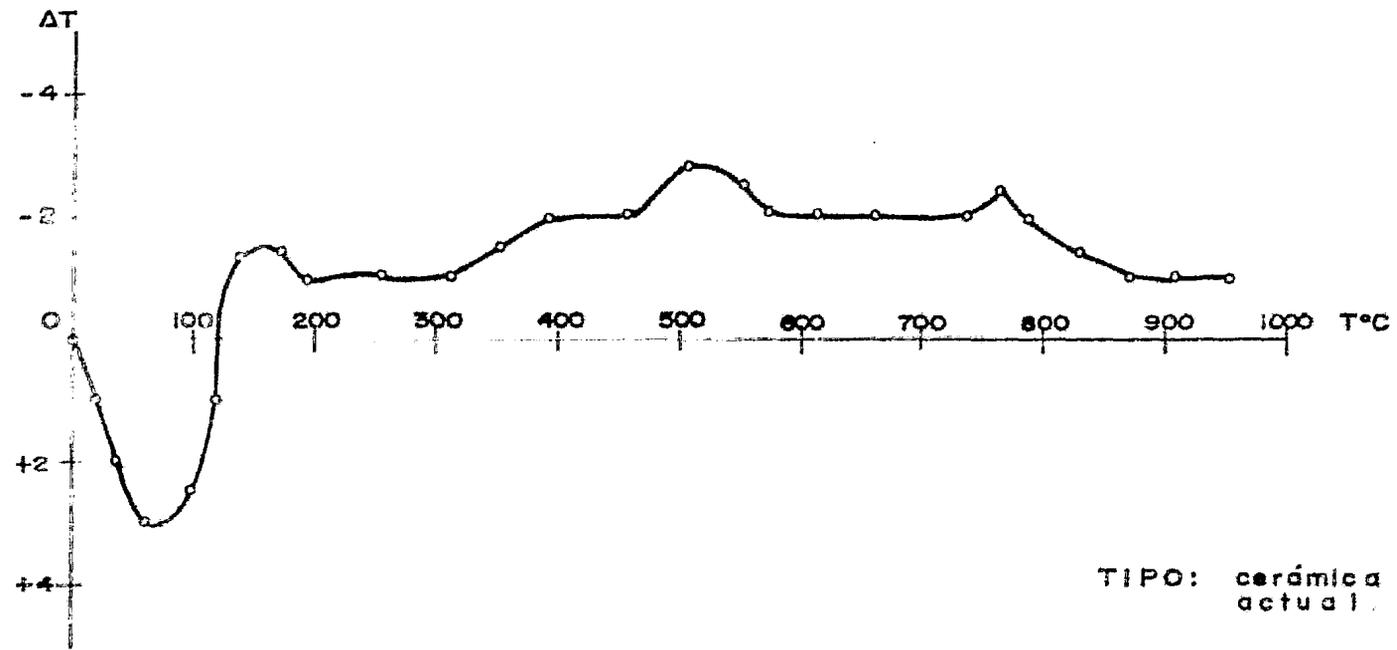
MUESTRA: N° 13



TIPO: arcilla

ZONA: Teotihuacan

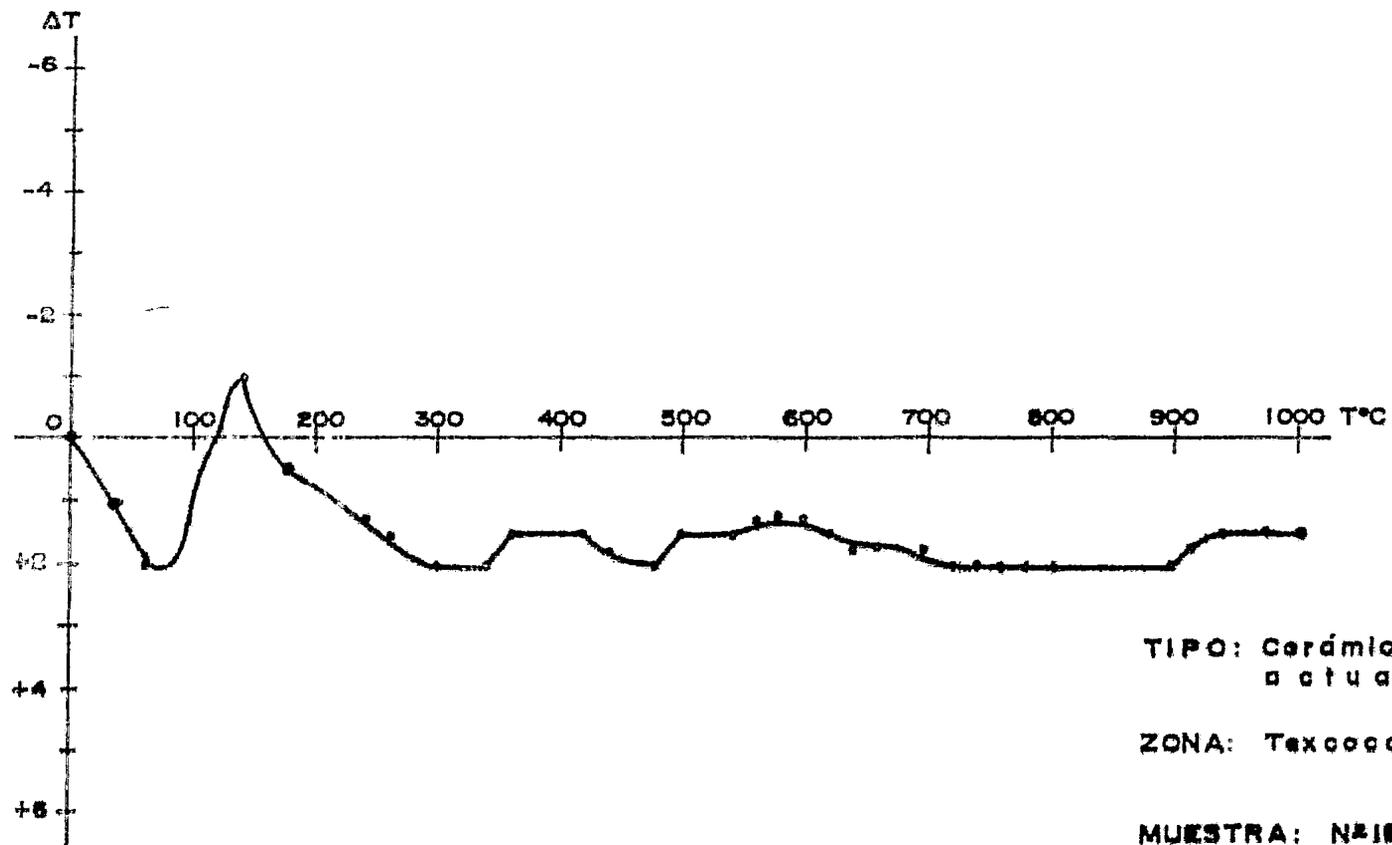
MUESTRA: N° 14

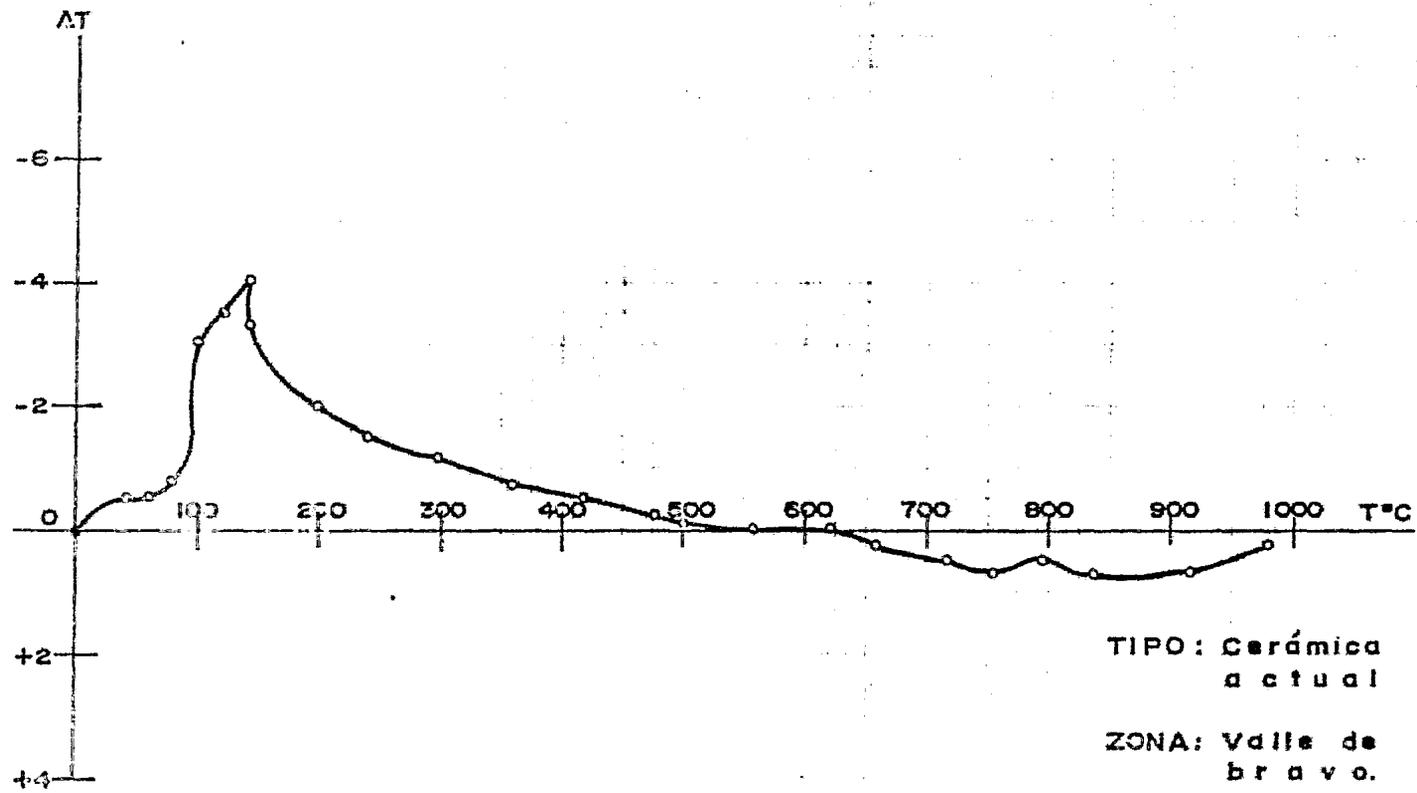


TIPO: cerámica actual.

ZONA: Metapac.

MUESTRA: N°15

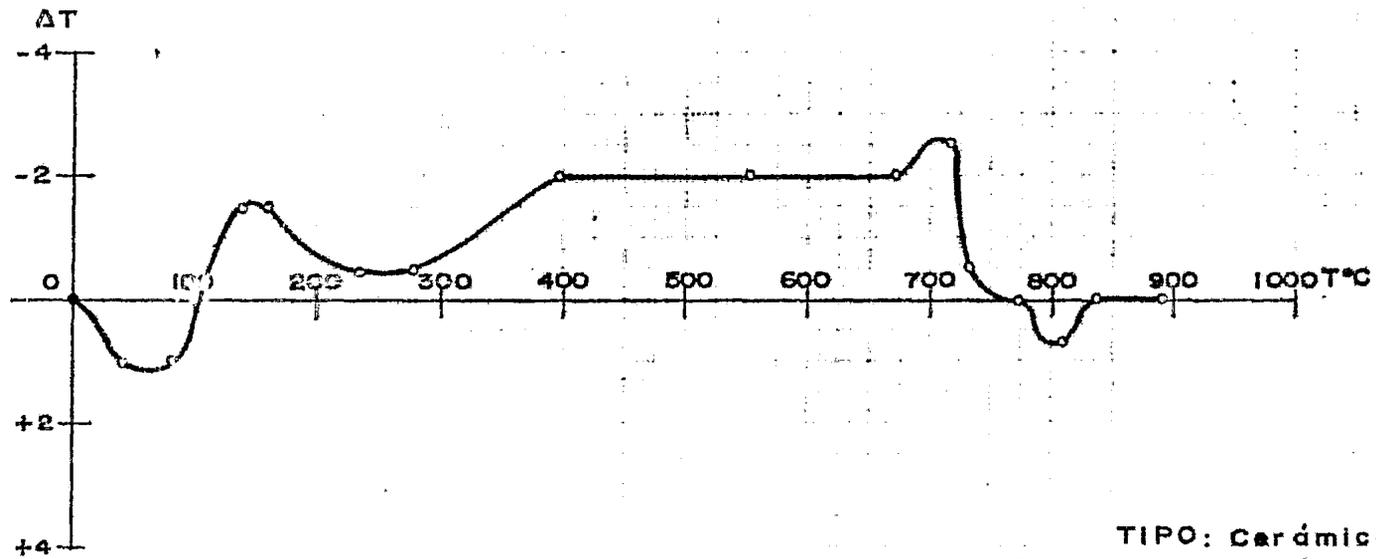




TIPO: Cerámica actual

ZONA: Valle de bravo.

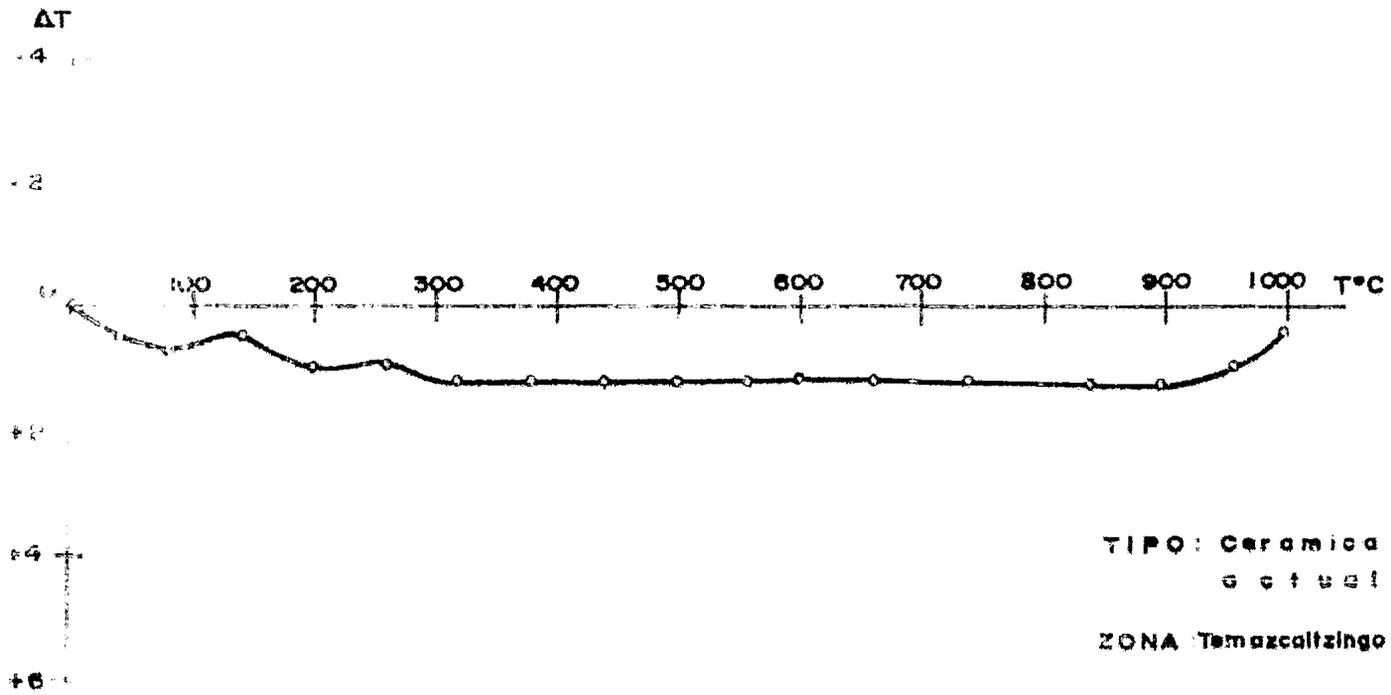
MUESTRA: N° 17



TIPO: Cerámica
actual

ZONA: Temascalizingo

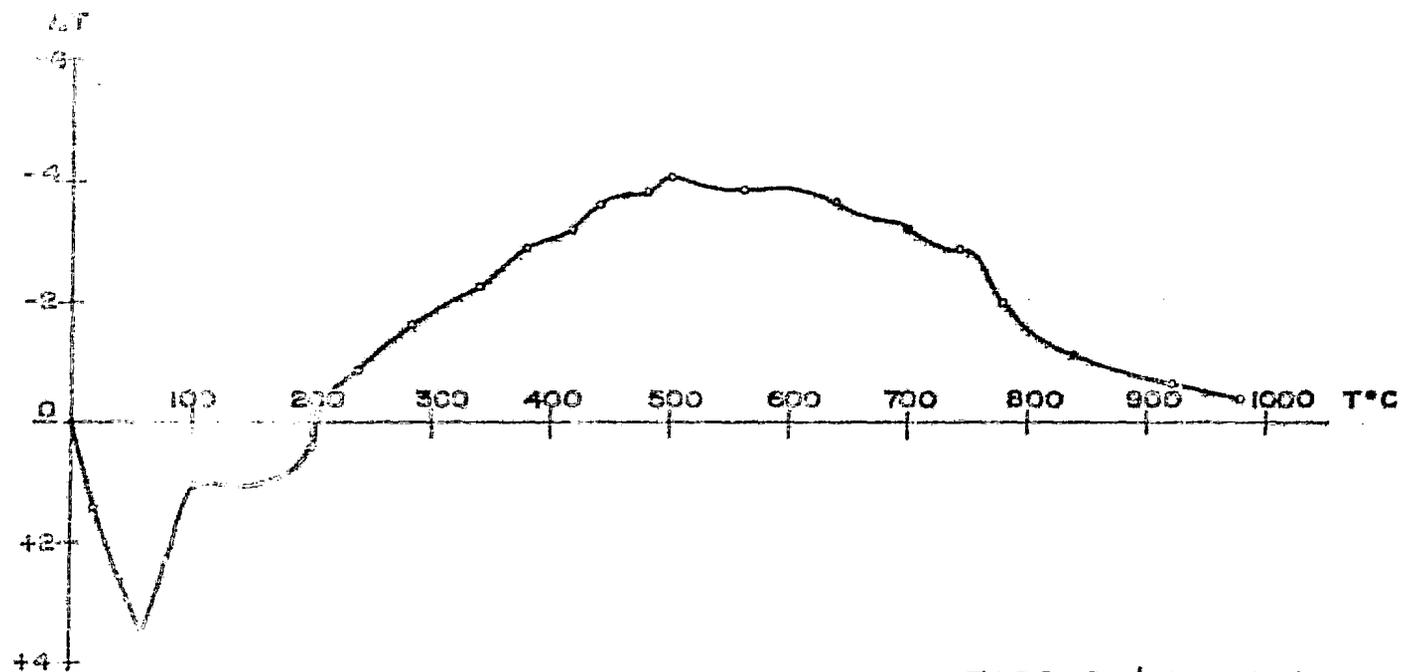
MUESTRA: N° 18.



TIPO: Ceramica
actual

ZONA: Temascalcingo

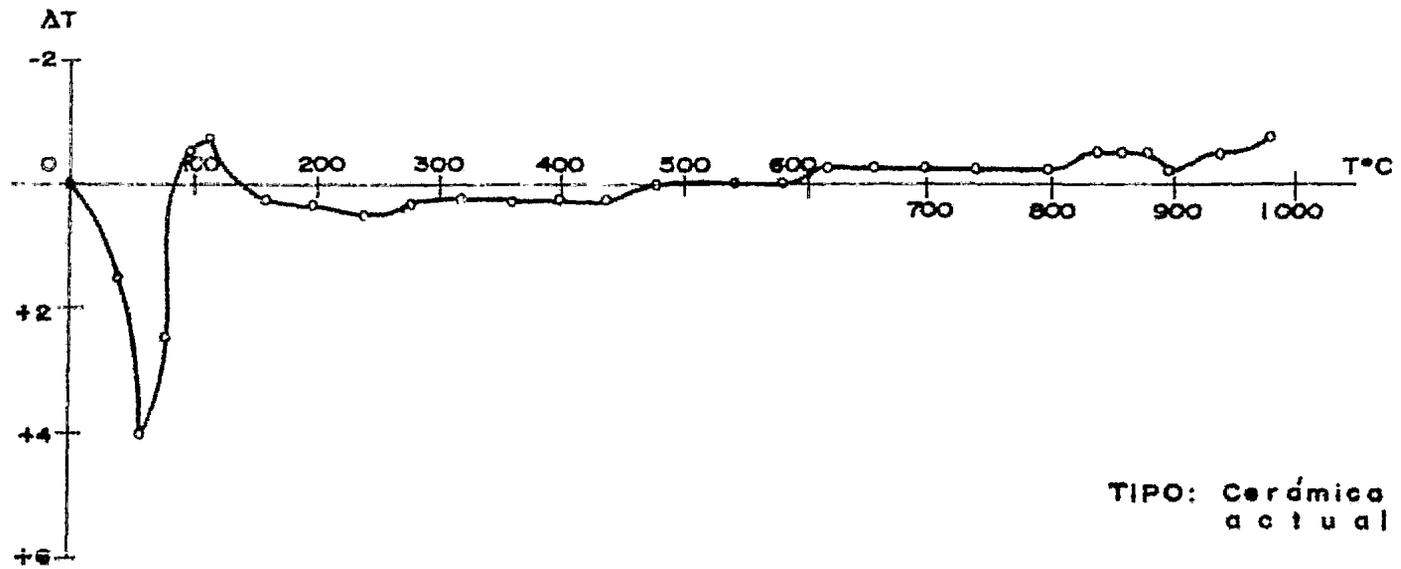
MUESTRA: N° 10



TIPO: Cerámica actual
(vidriada)

ZONA: Goyoaga

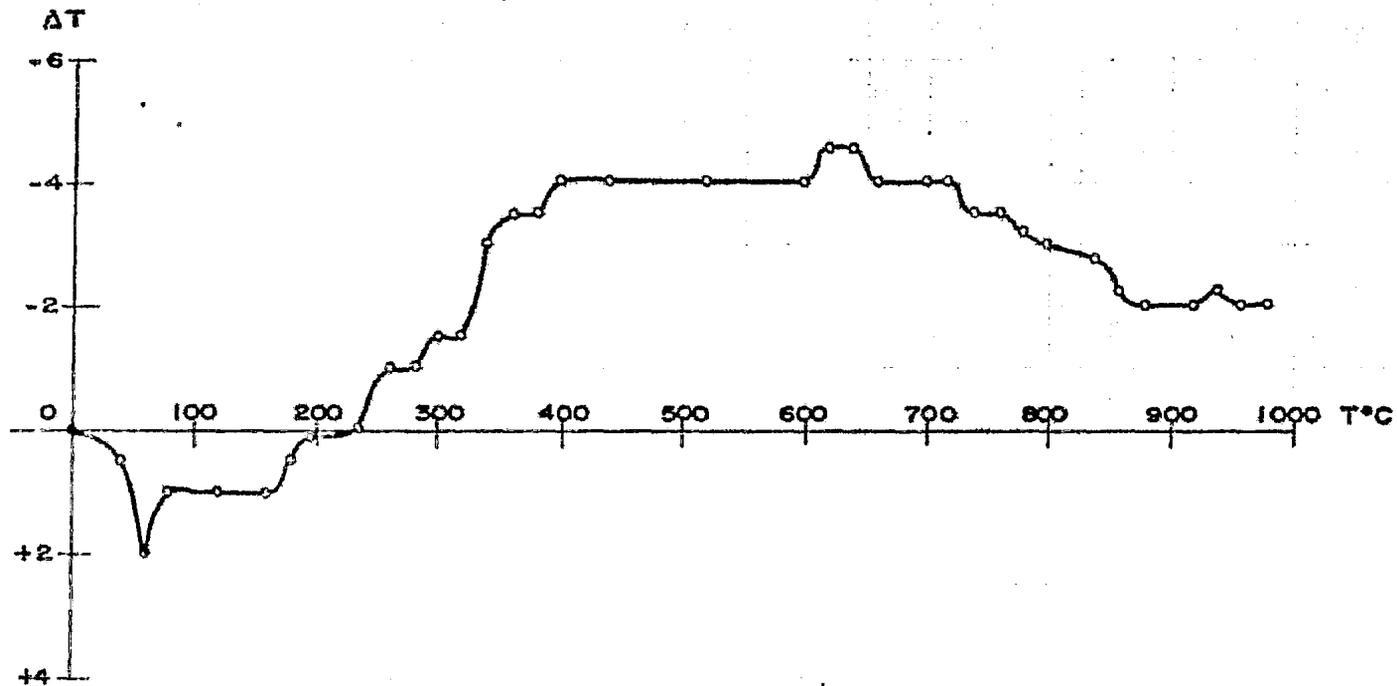
MUESTRA N° 20



TIPO: Cerámica
actual

ZONA: Cuautitlan

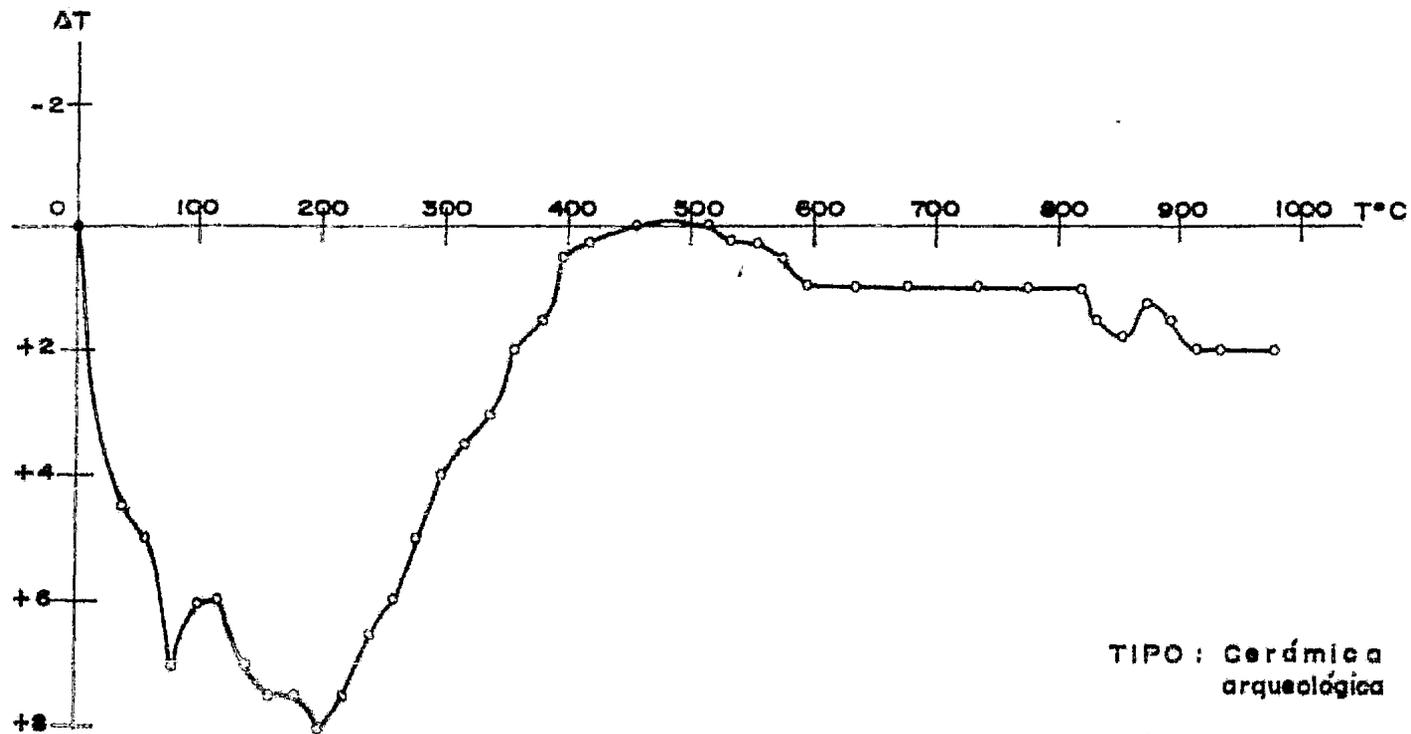
MUESTRA: N°21



TIPO : Cerámica
actual

ZONA : Teotihuacan

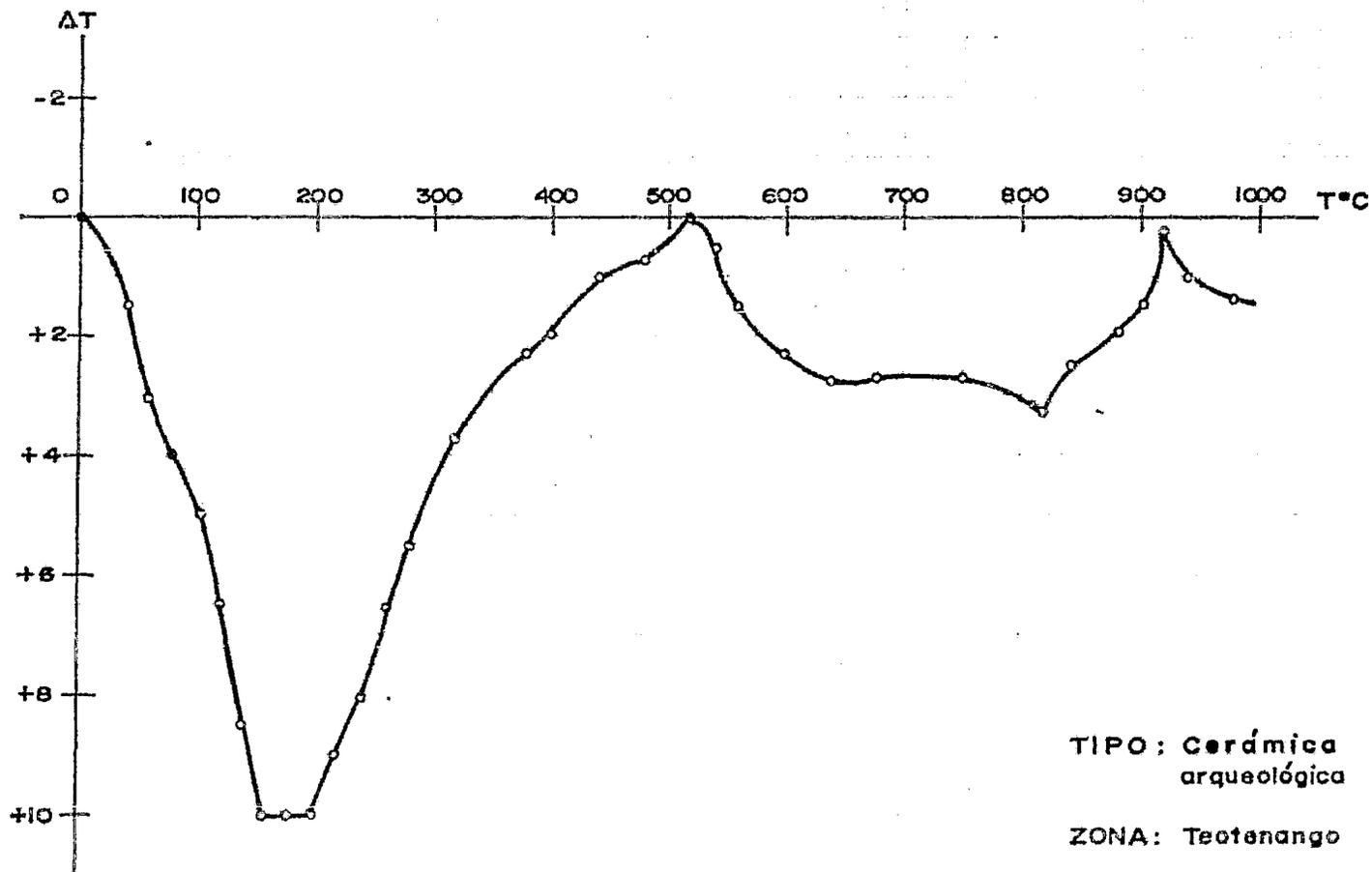
MUESTRA: N°22



TIPO : Cerámica
arqueológica

ZONA : Teotenango

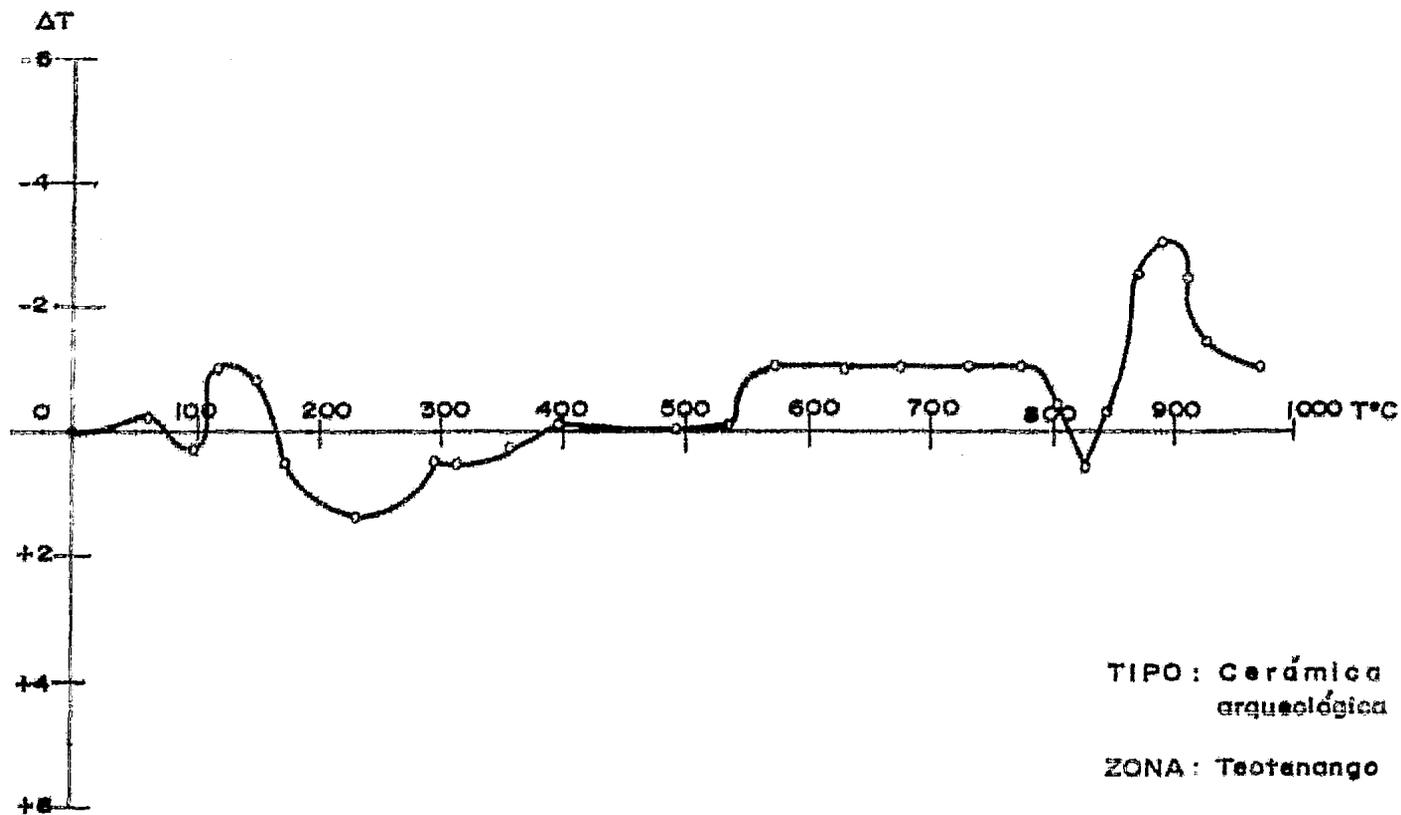
MUESTRA: N°23



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Teotenango

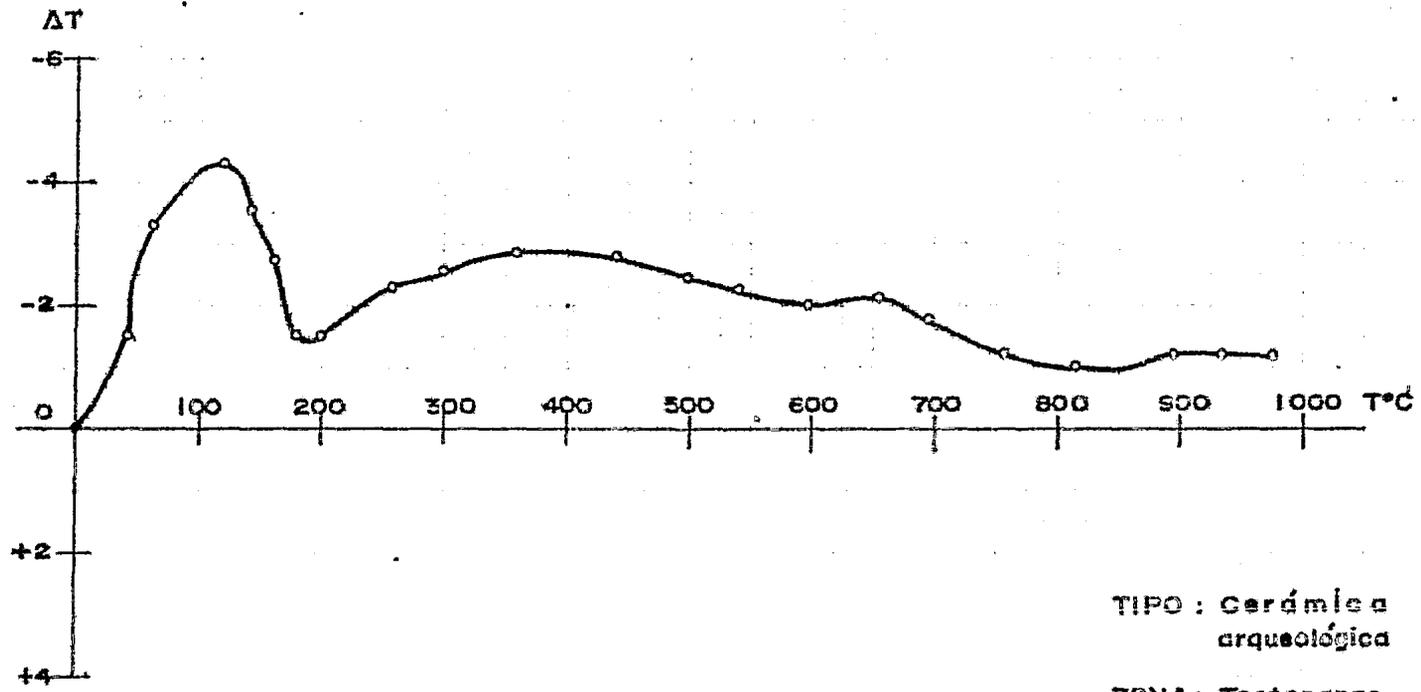
MUESTRA: N°24



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Teotenango

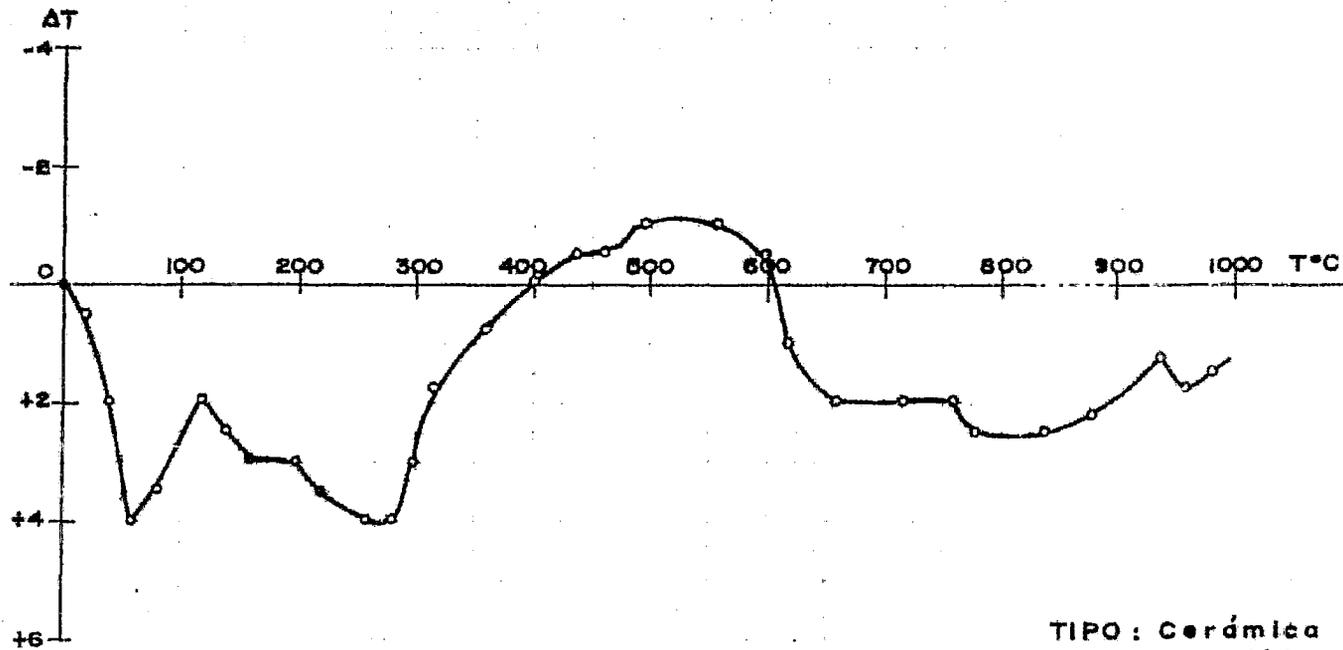
MUESTRA: N°25



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Teotihuacan

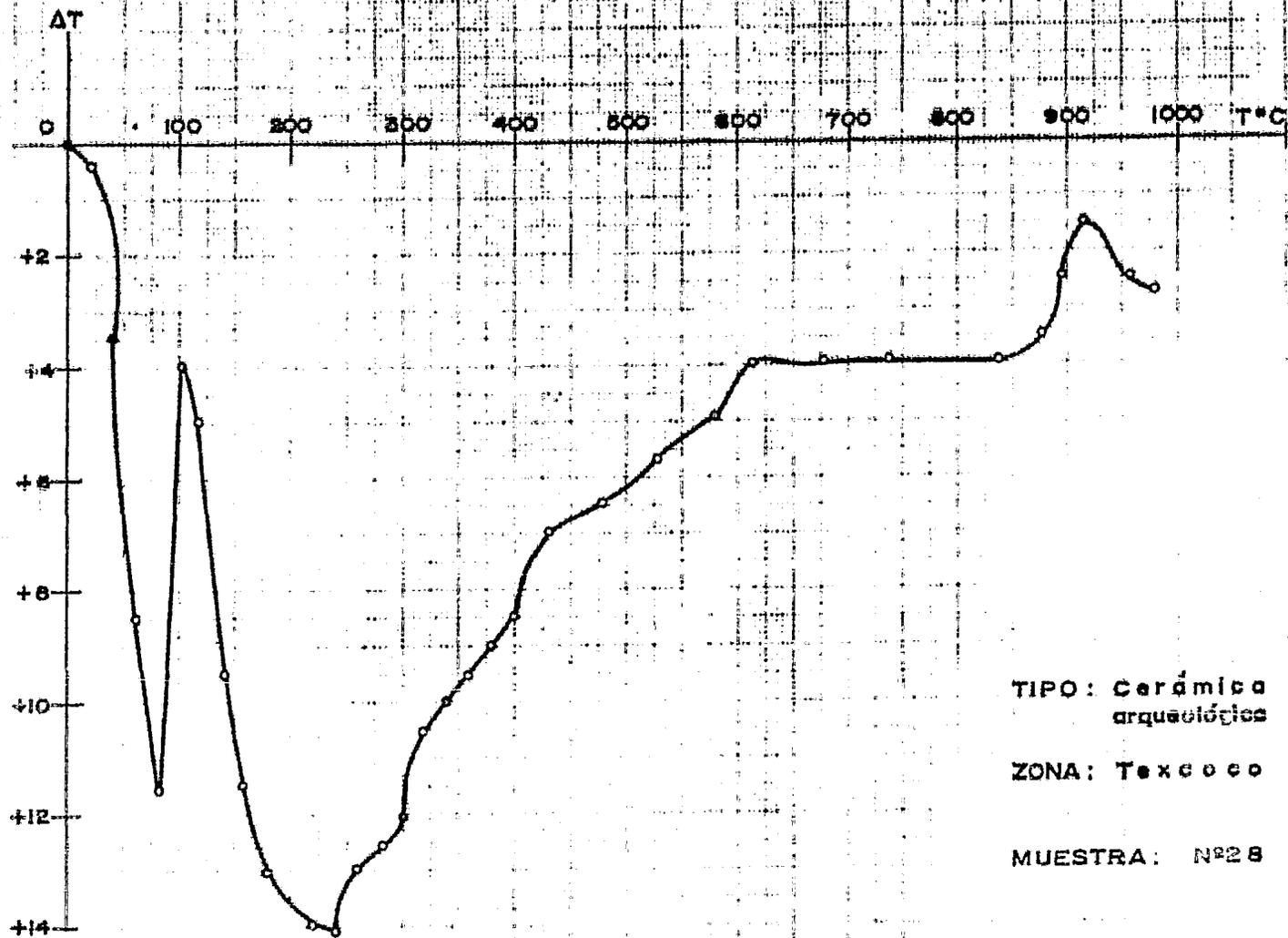
MUESTRA: N° 25



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Texcoco.

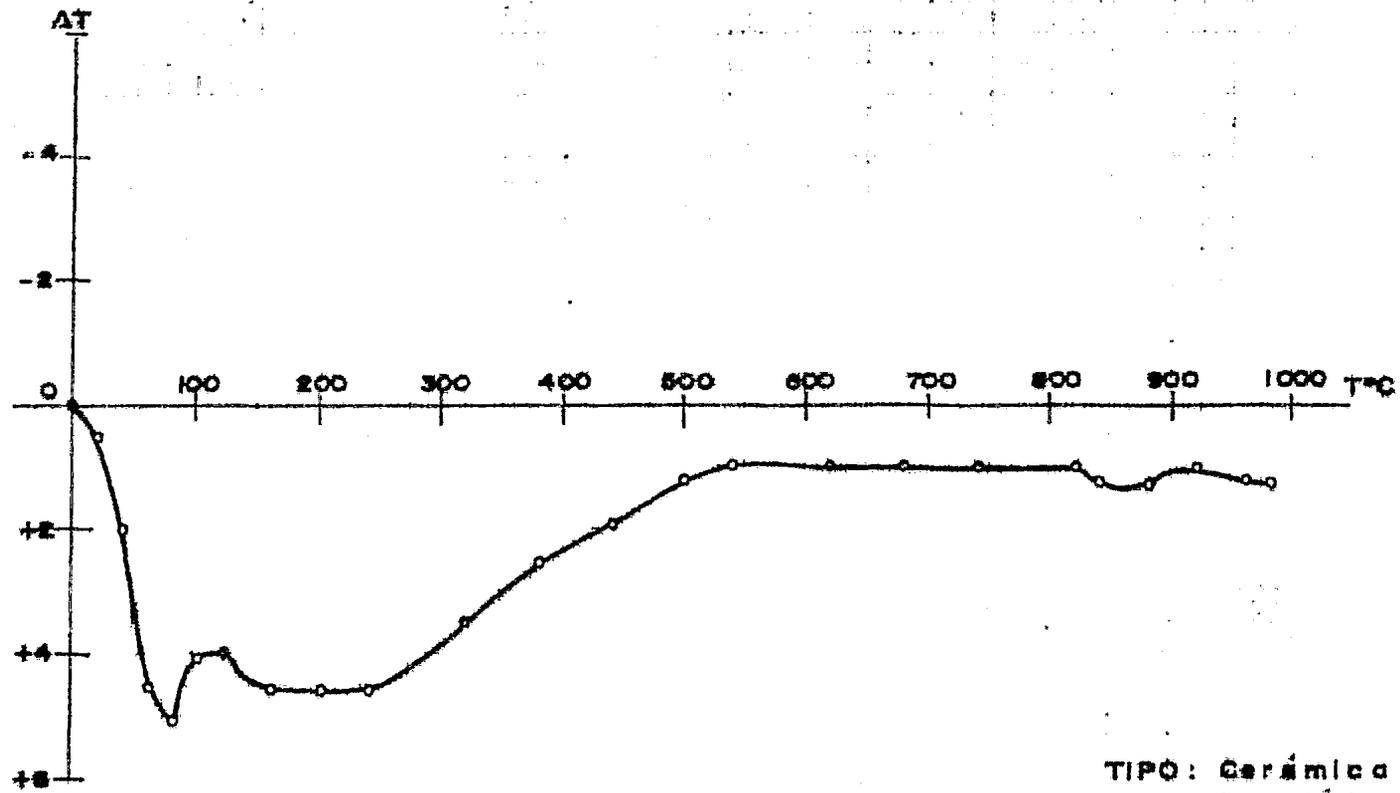
MUESTRA: N° 27.



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Texcoco

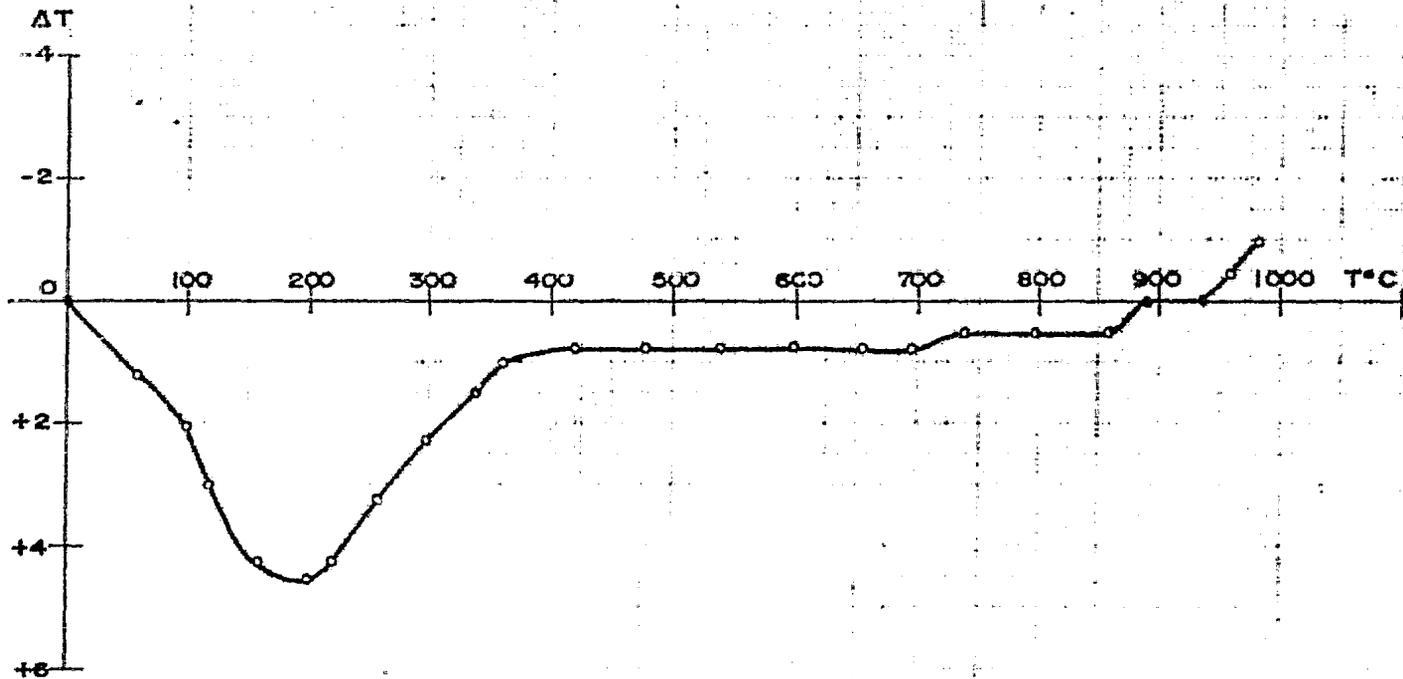
MUESTRA: N°28



TIPO: Cerámica
Arqueológica

ZONA: Texcoco

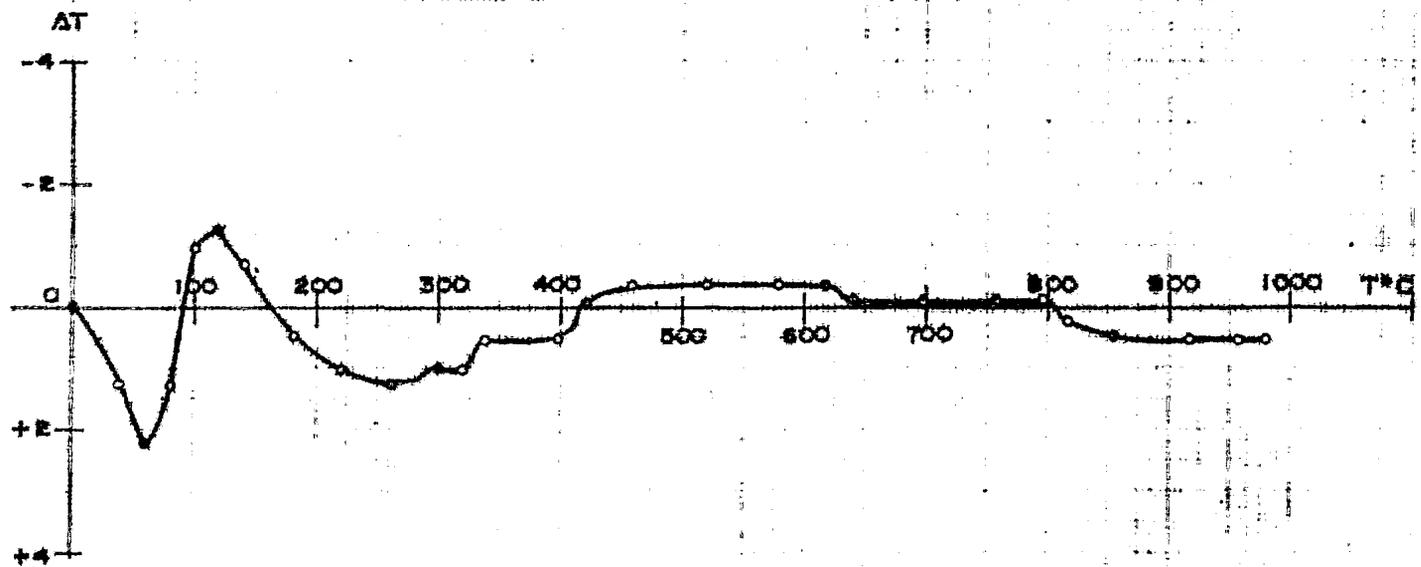
MUESTRA: N°22



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Texcoco

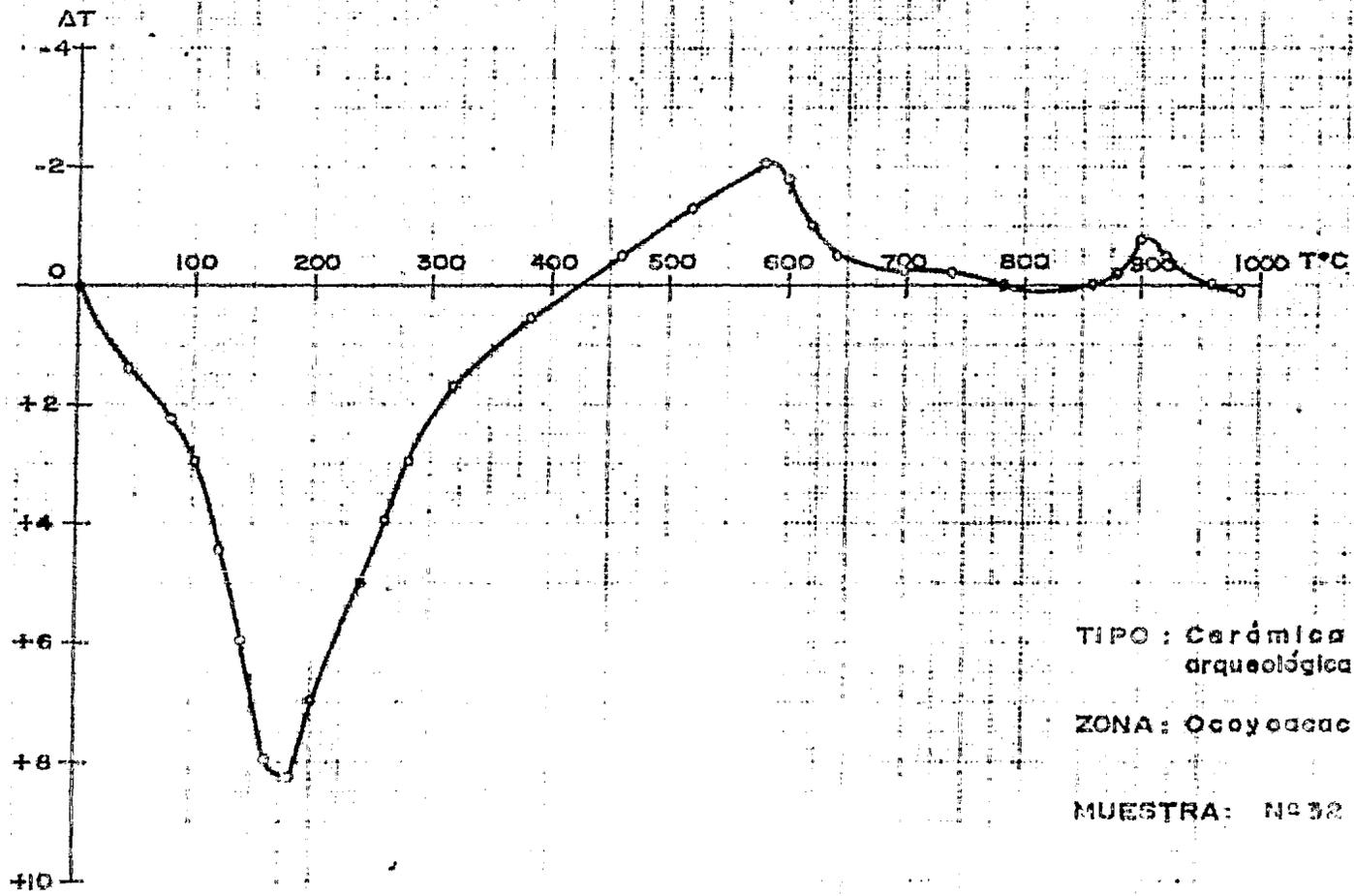
MUESTRA: N°30



TIPO: Geómetría
arqueológica

ZONA: Texcoco

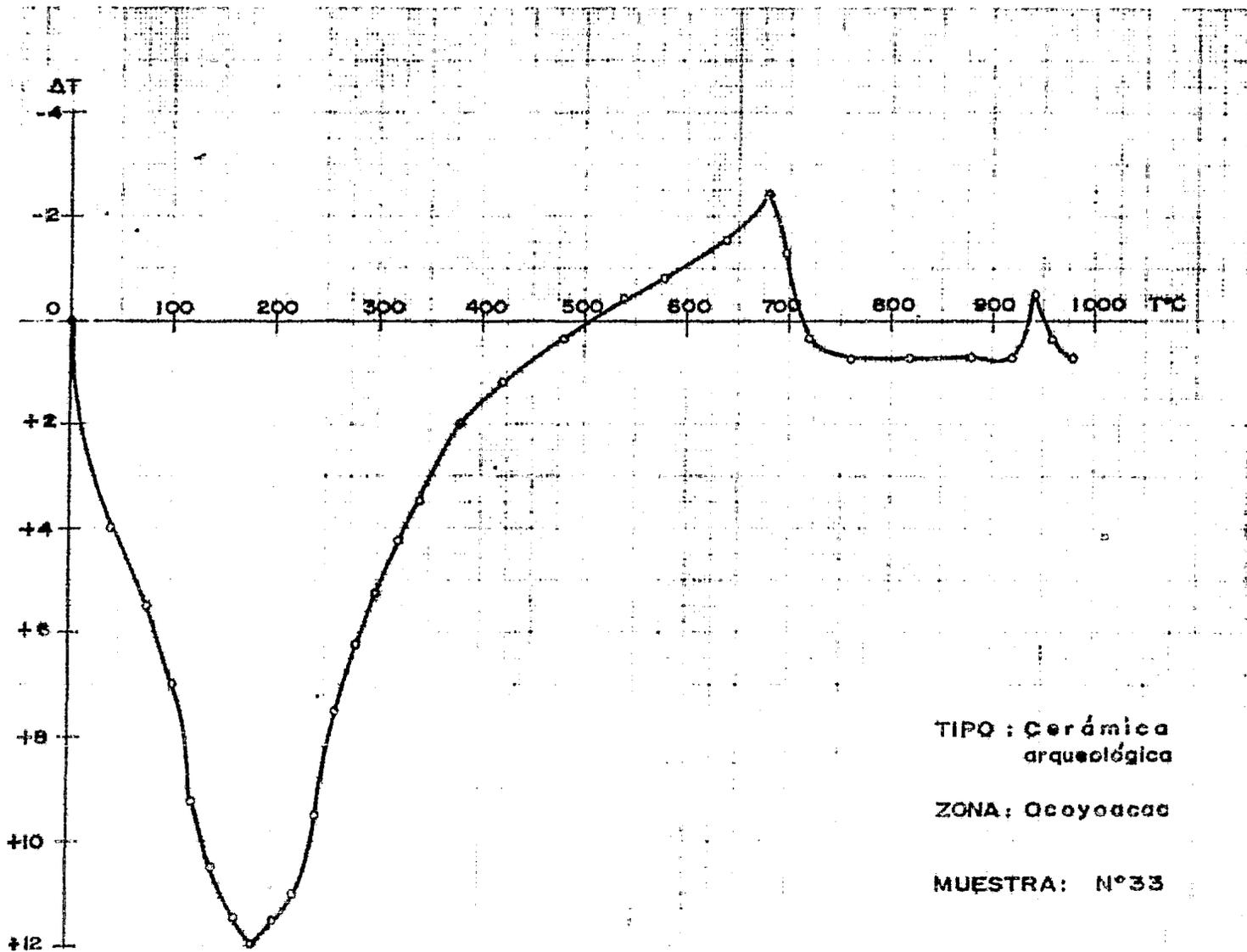
MUESTRA: NR31



TIPO : Cerámica
arqueológica

ZONA : Ocoyoacac

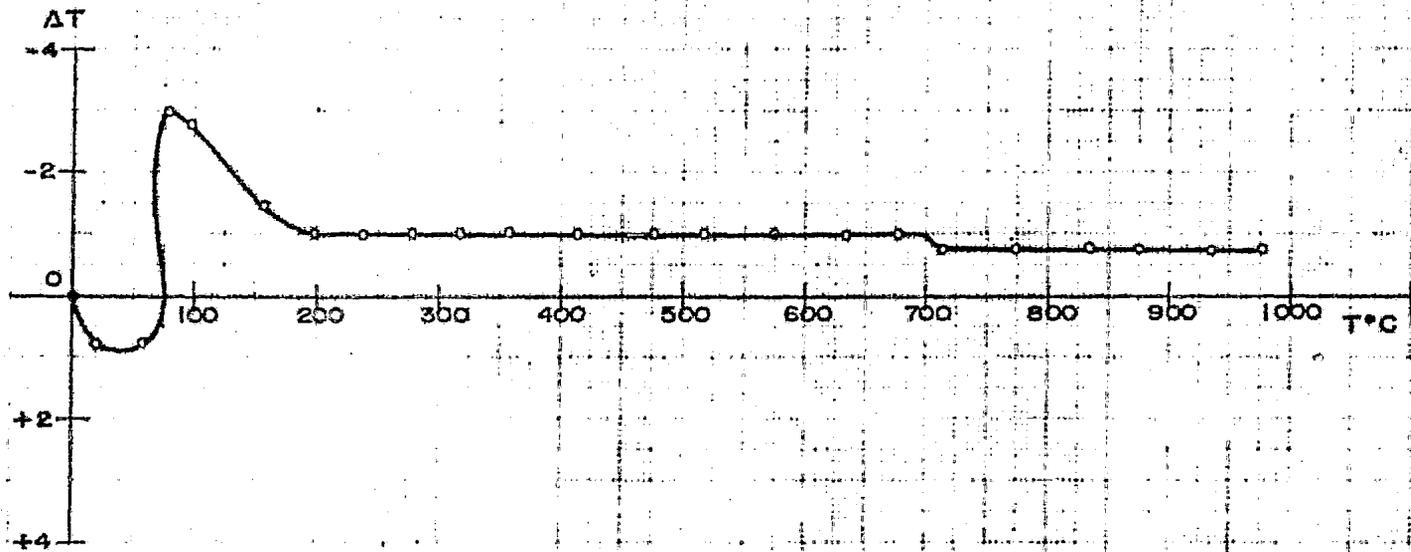
MUESTRA: N° 32



TIPO : Cerámica
arqueológica

ZONA: Ocoyoacac

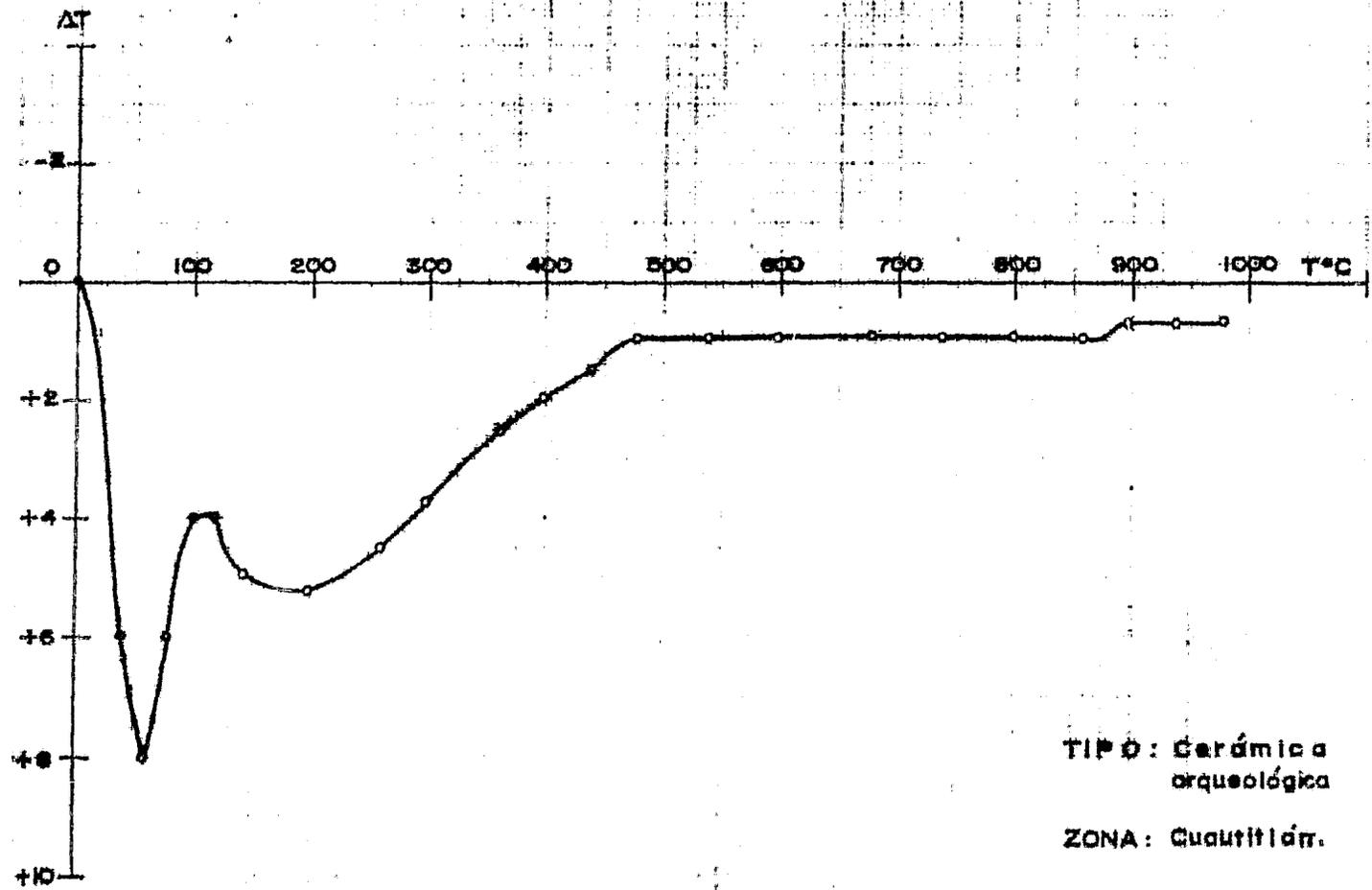
MUESTRA: N°33



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Oaxaca

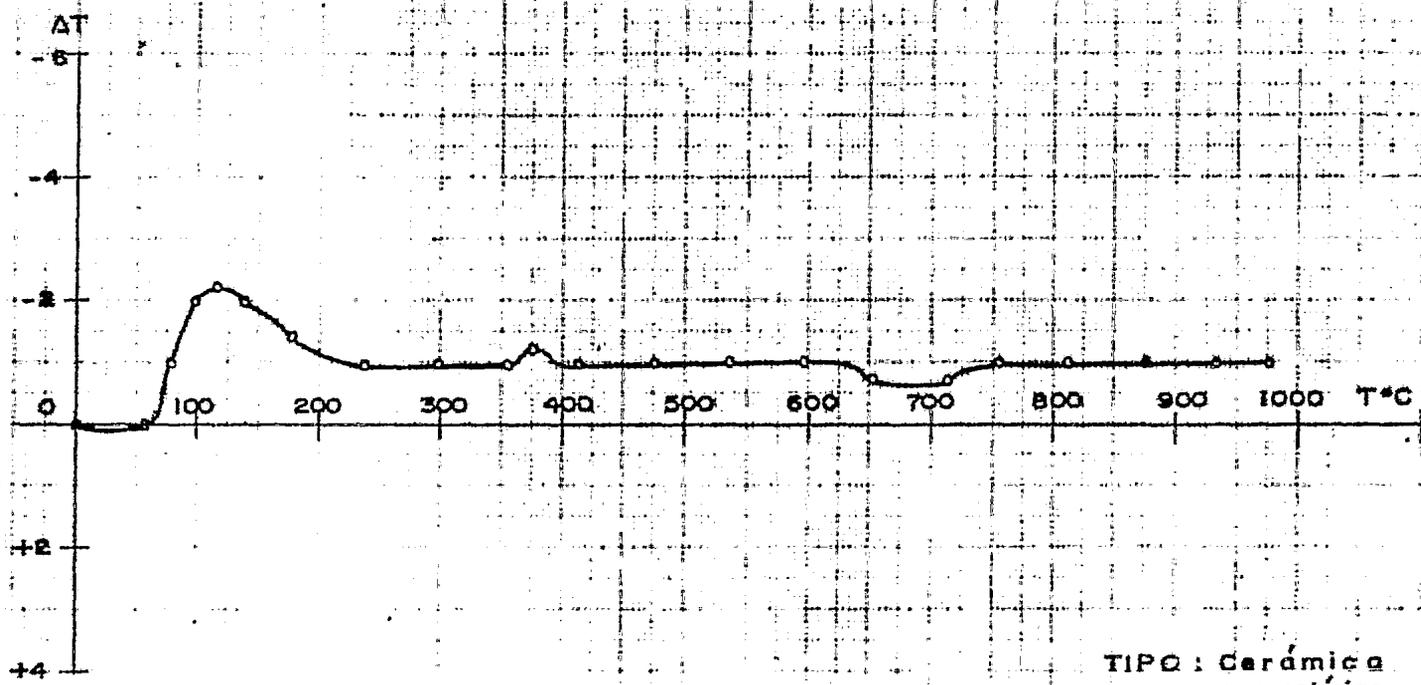
MUESTRA: N°34



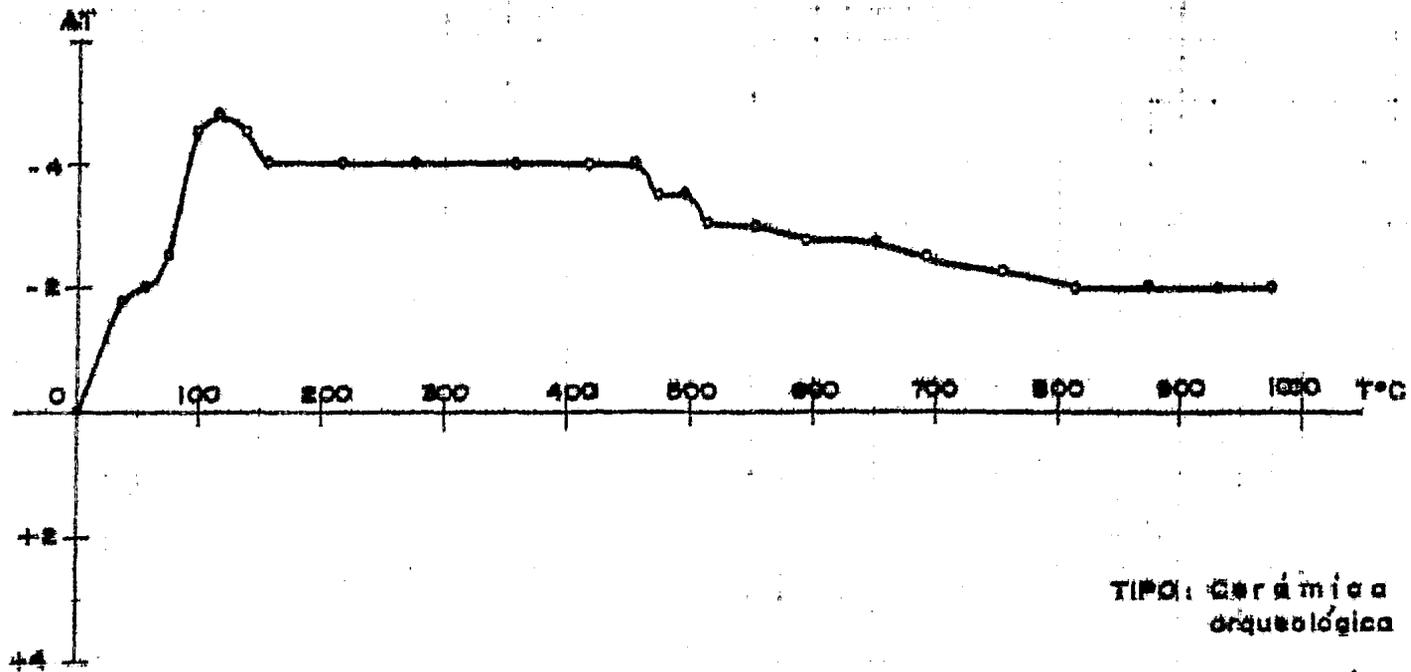
TIP O: Cerámica
arqueológica

ZONA: Cuautitlán.

MUESTRA: N°35



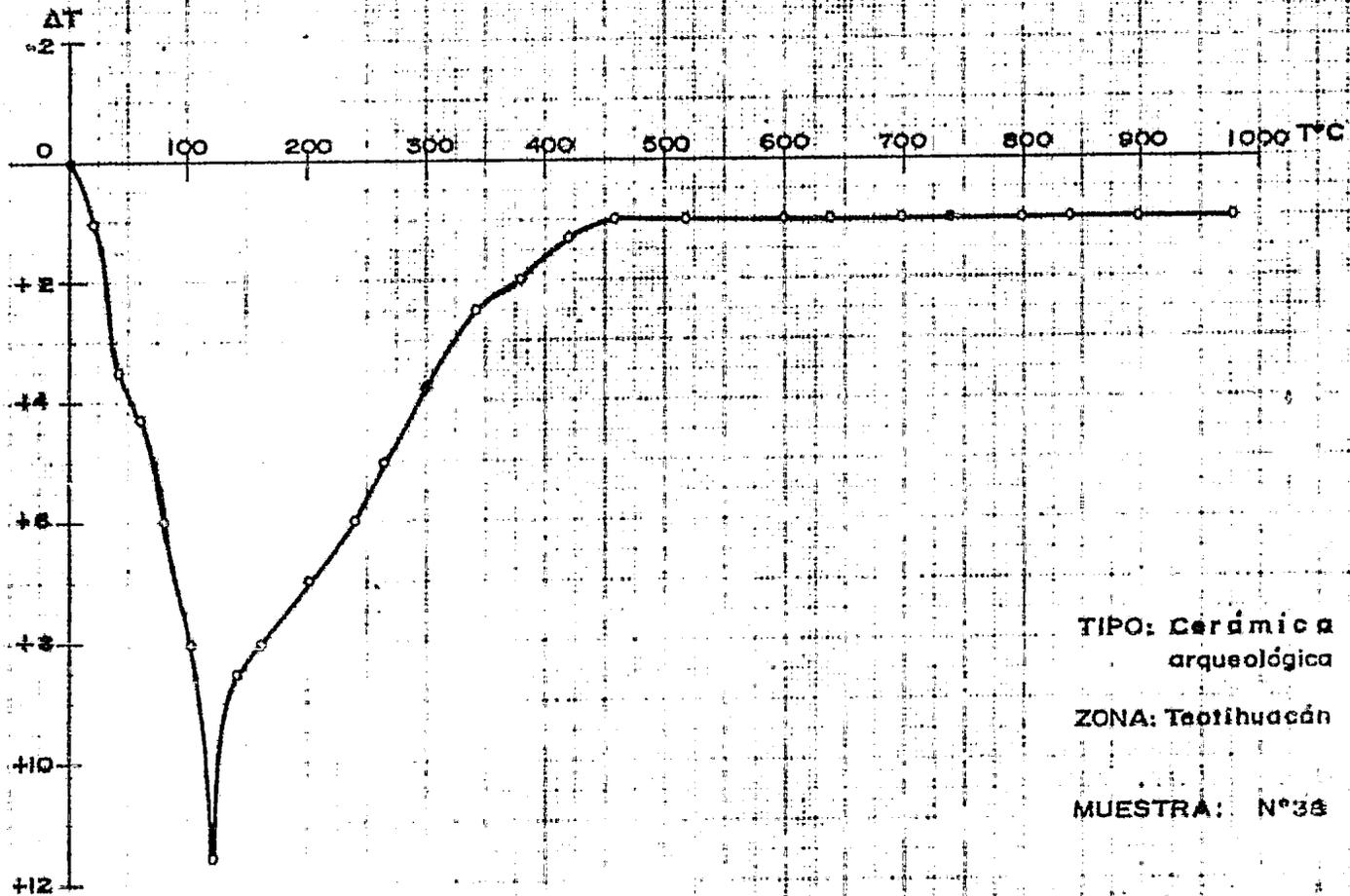
TIPO : Cerámica
arqueológica
ZONA: Cuautitlan.
MUESTRA: N°36



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Teotihuacán.

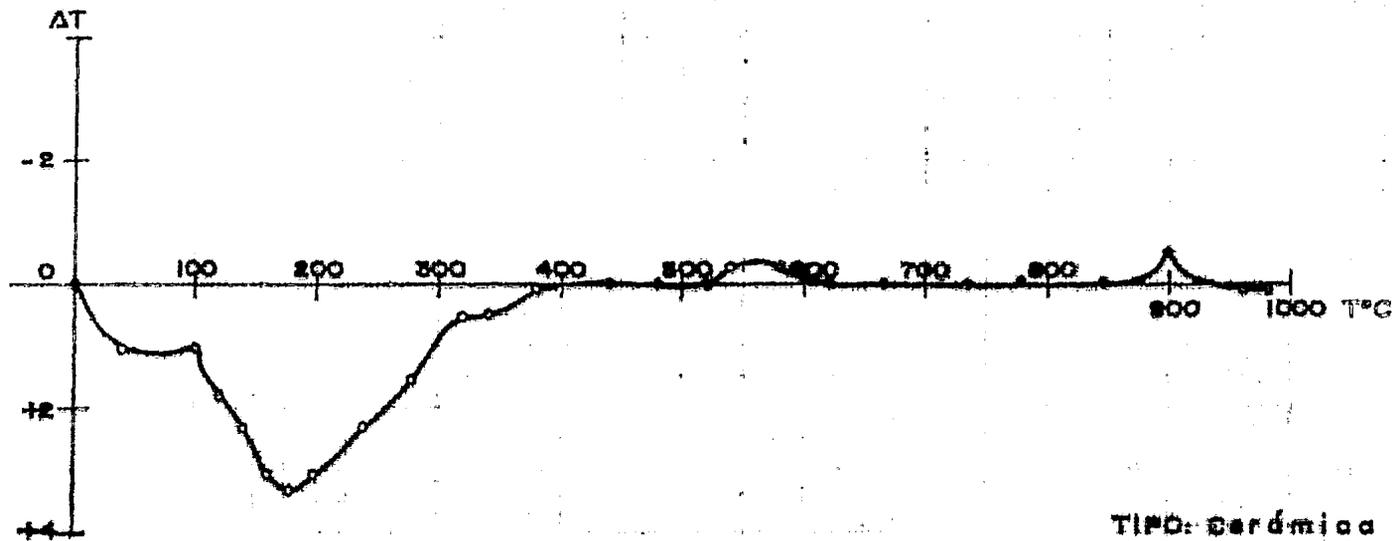
MUESTRA: N° 37.



TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Teotihuacán

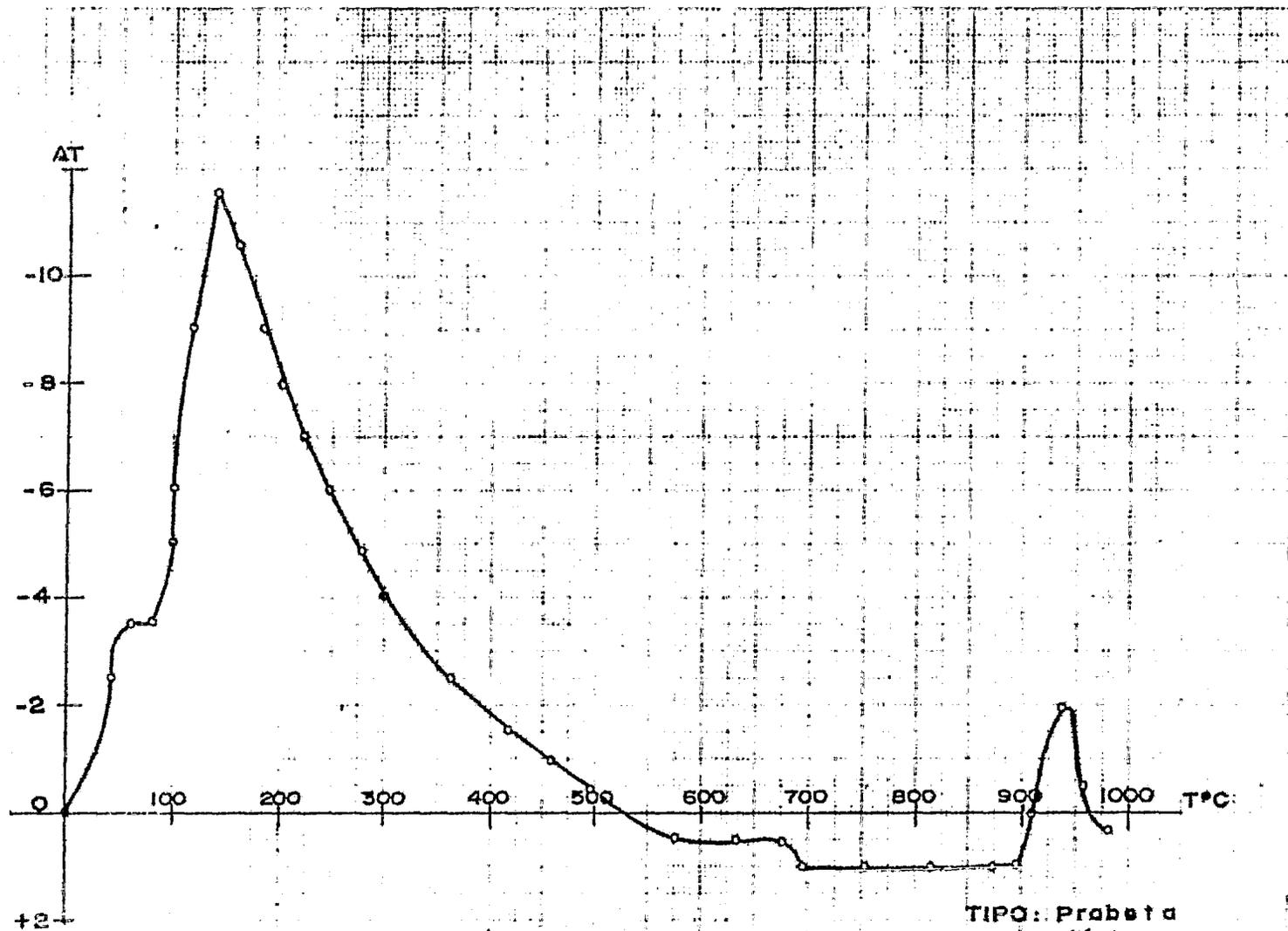
MUESTRA: N°38



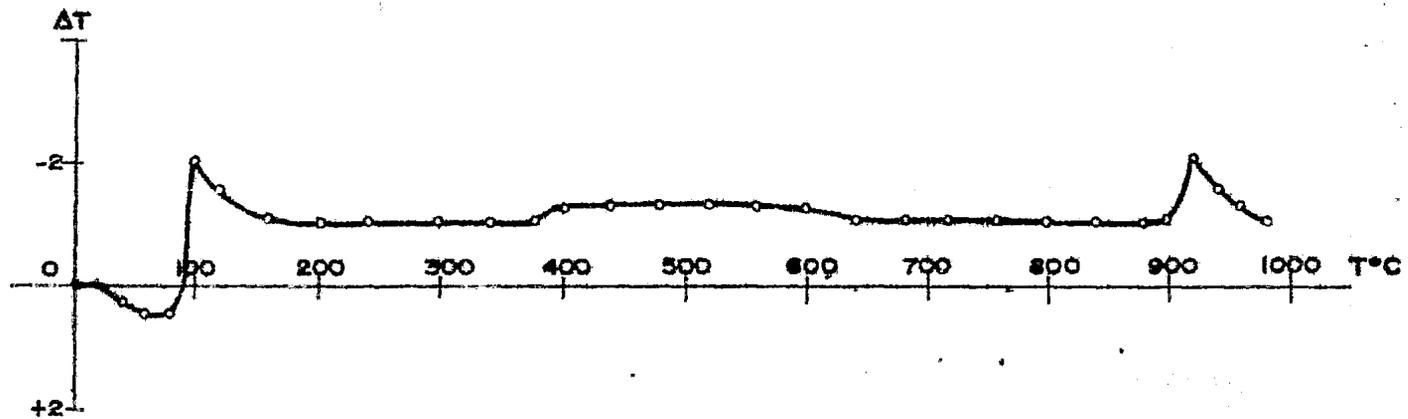
TIPO: Cerámica
arqueológica

ZONA: Azcapotzalco

MUESTRA: N°30



TIPO: Prueba cilíndrica.
ZONA: Matepec.
MUESTRA N° 1a
GRÁFICA N° 40

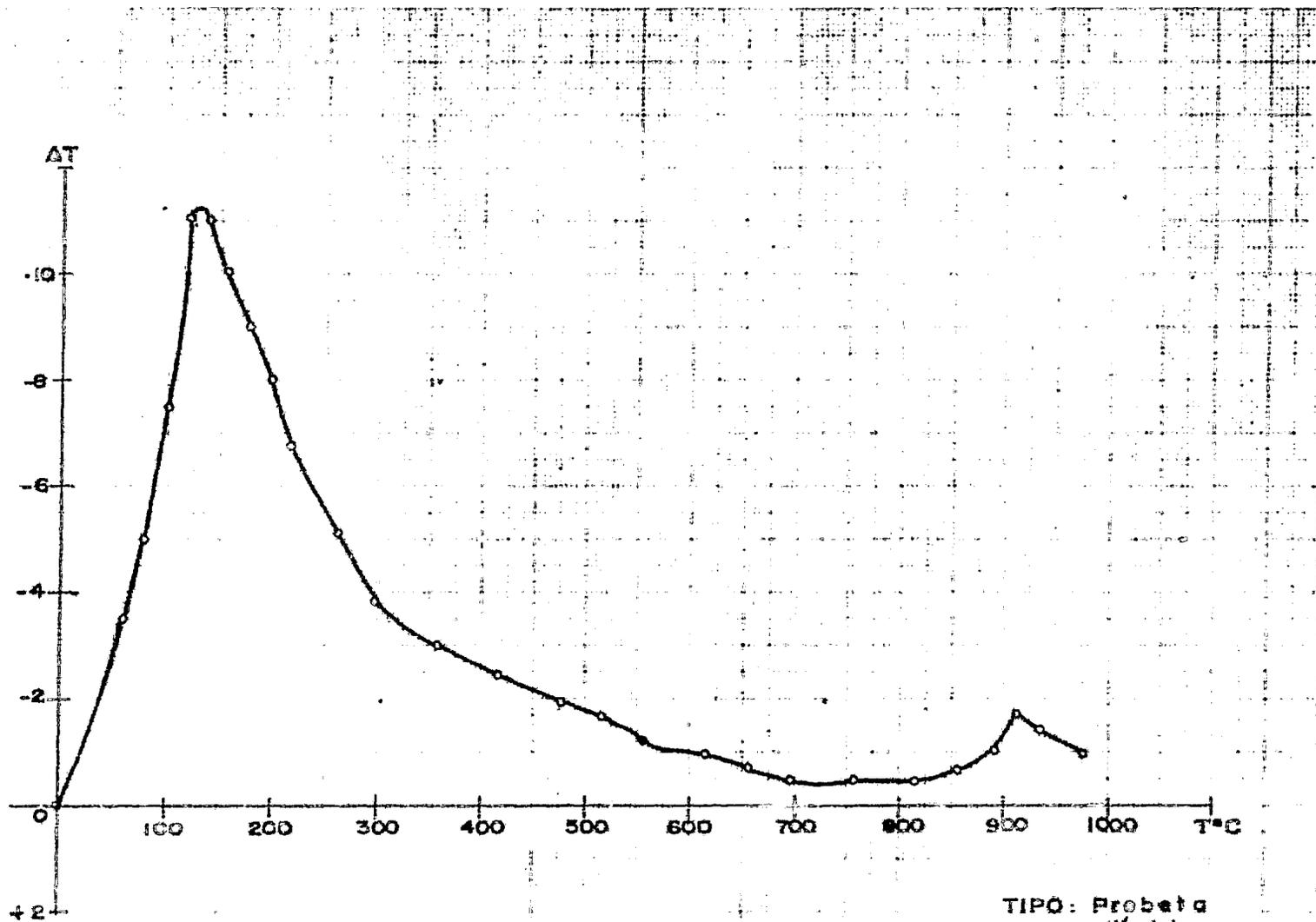


TIPO: Probeta
cilíndrica

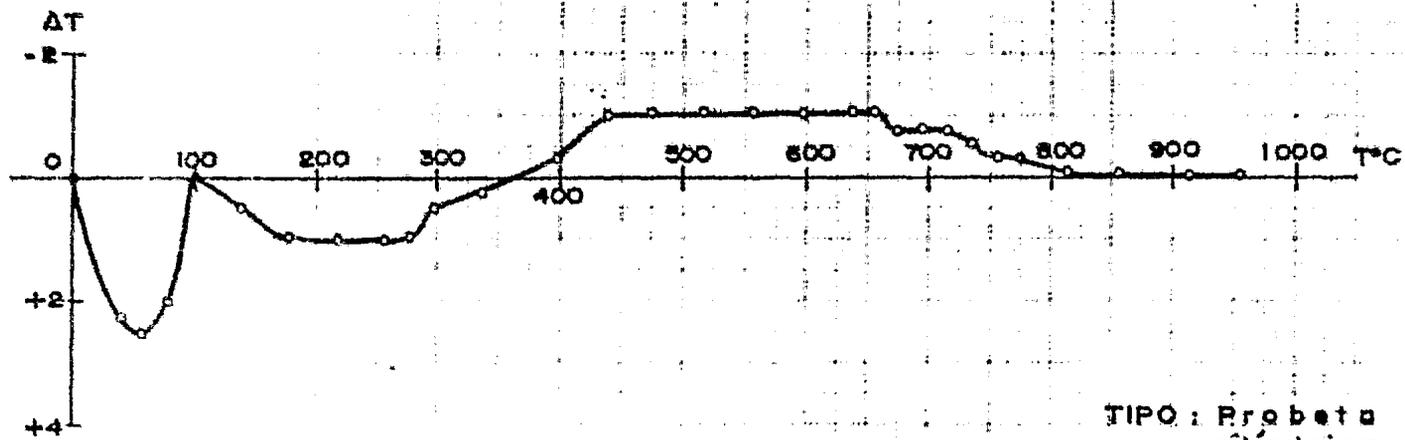
ZONA: Matapac

MUESTRA: N° 1b

GRAFICA N° 41



TIPO: Probeta
cilindrica
ZONA: Matagalpa
MUESTRA N°2a
GRAFICA N°42

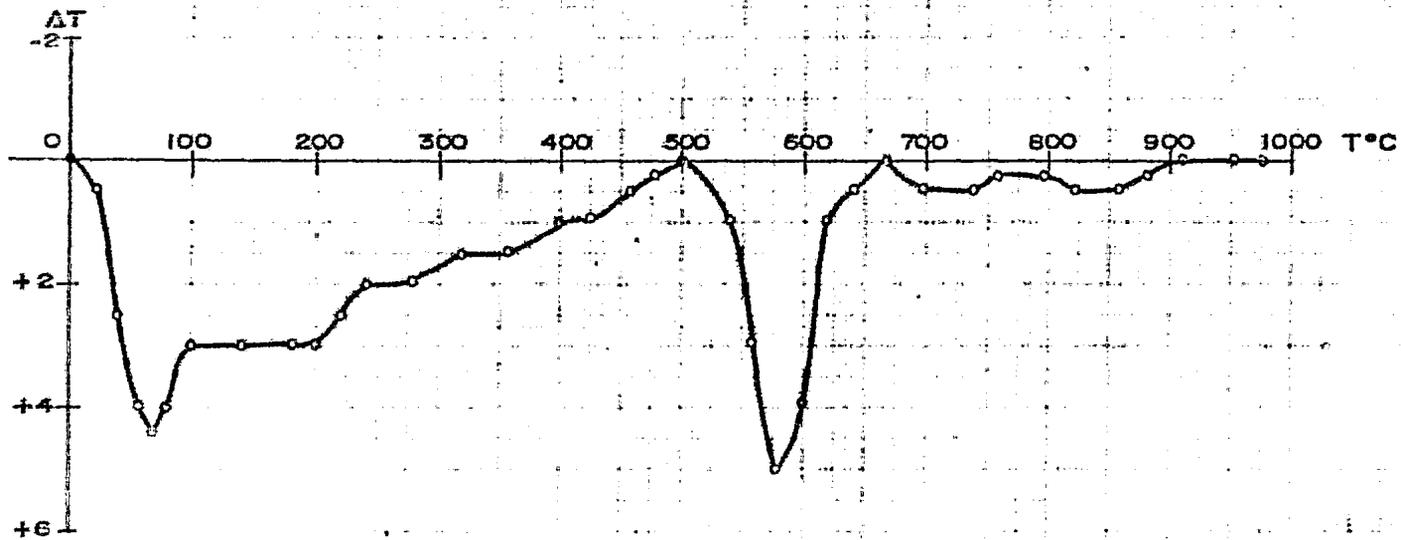


TIPO: Probeta
cilíndrica

ZONA: Metepac

MUESTRA: N°2a

GRAFICA: N°43

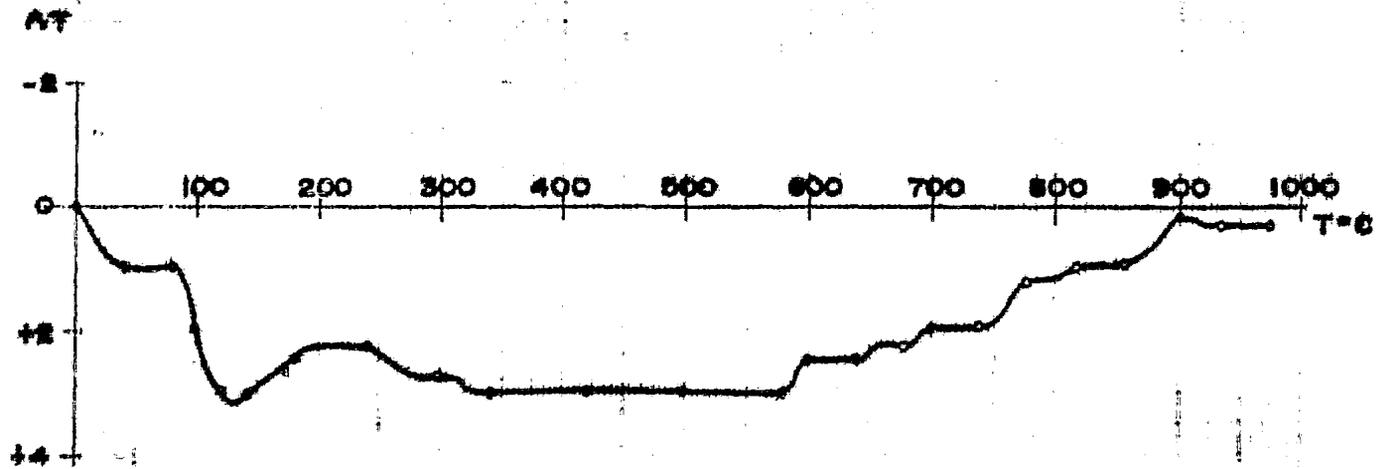


TIPO: Probeta
cilíndrica

ZONA: Texcoco

MUESTRA: N° 3b

GRAFICA: N° 44

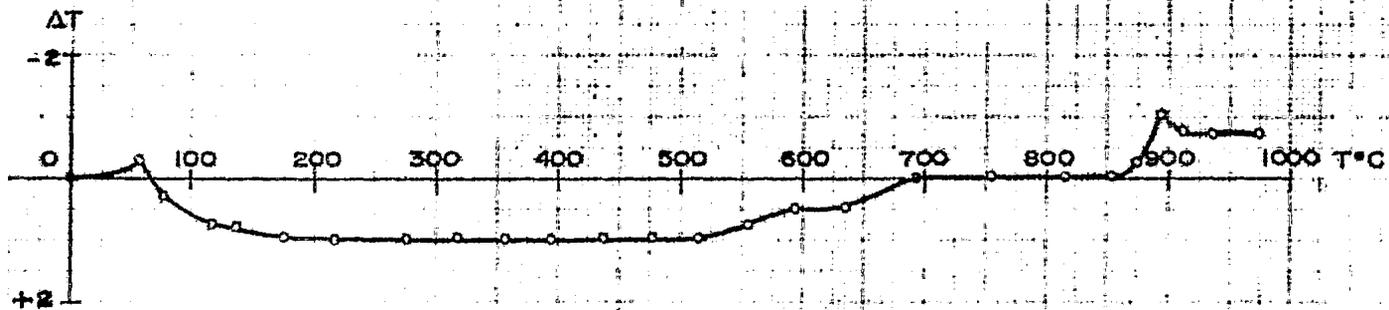


TIPO: Prueba Cilindrica

ZONA: Taxeooo

MUESTRA: N° 25

GRAFICA N° 4B

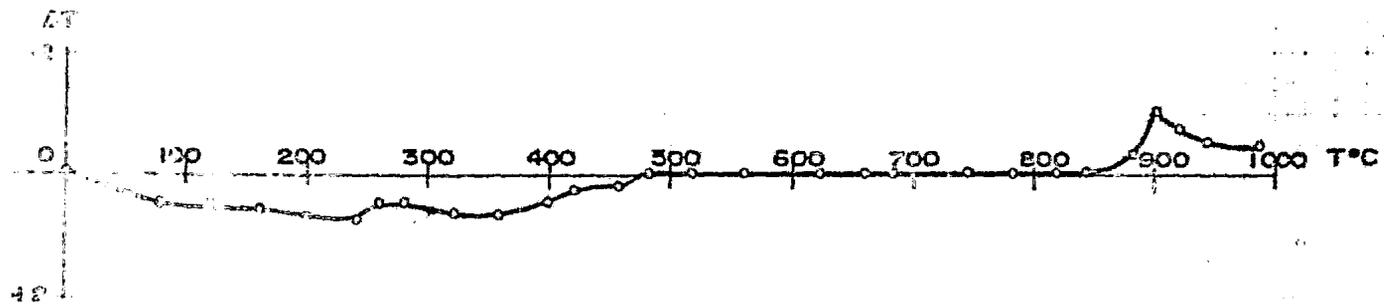


TIPO: Probeta
cilindrica

ZONA: Texcoco

MUESTRA: N° 36

GRAFICA: N° 46

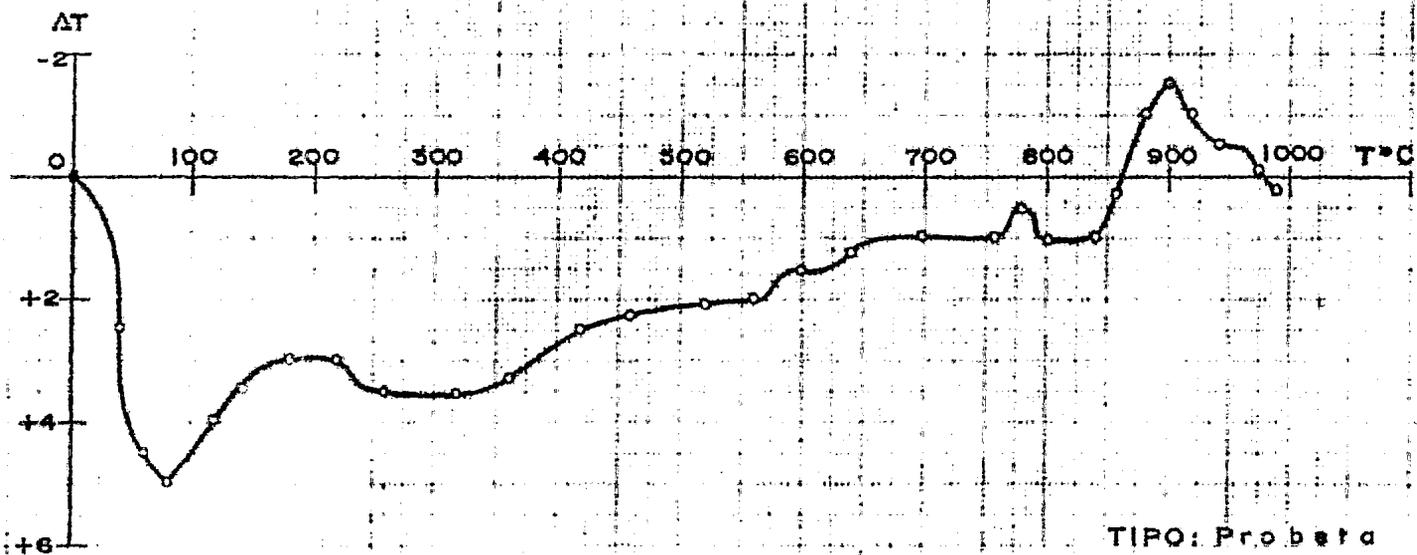


TIFO: Probeta
cilíndrica

ZONA: Texcoco

MUESTRA: N°31

GRAFICA N°47

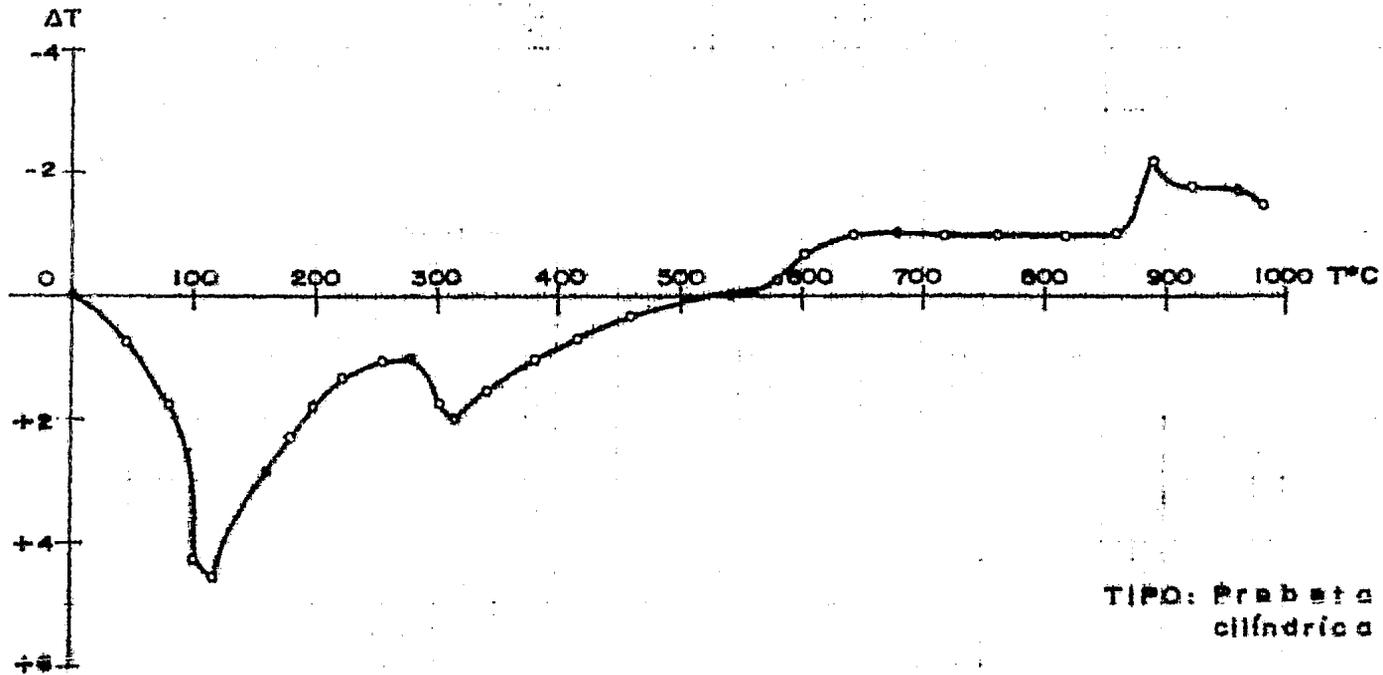


TIPO: Probeta
cilindrica

ZONA: Texcoco

MUESTRA: N° 4g

GRAFICA: N° 48

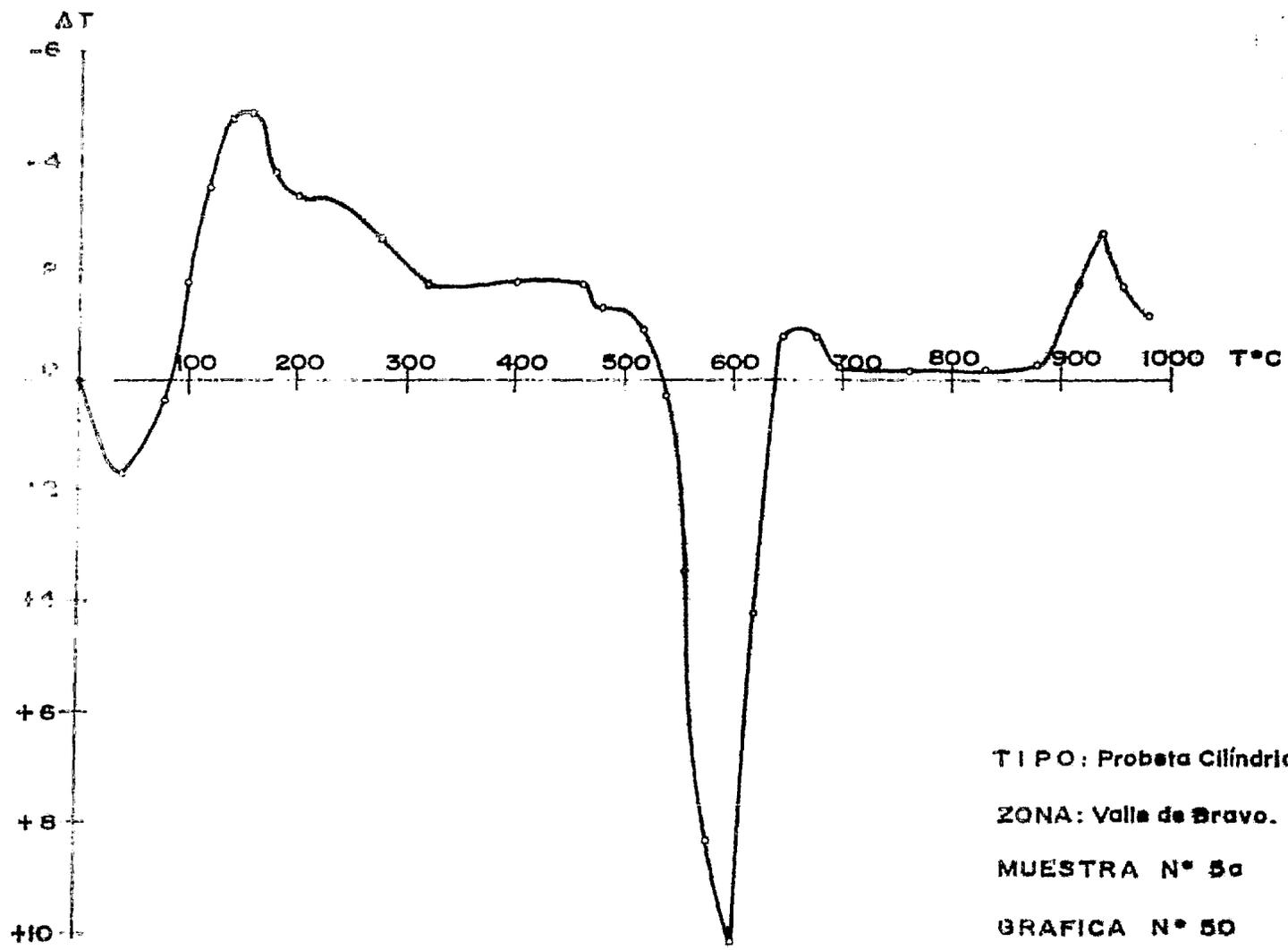


TIPO: Prueba
cilíndrica

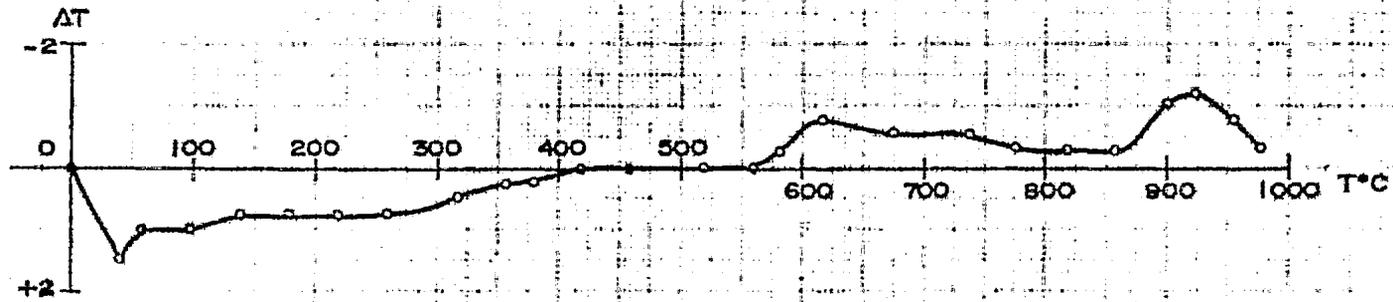
ZONA: Texaco

MUESTRA: N° 4B

GRAFICA: N° 4B



T I P O : Probeta Cilíndrica
ZONA: Valle de Bravo.
MUESTRA N° 5a
GRAFICA N° 50

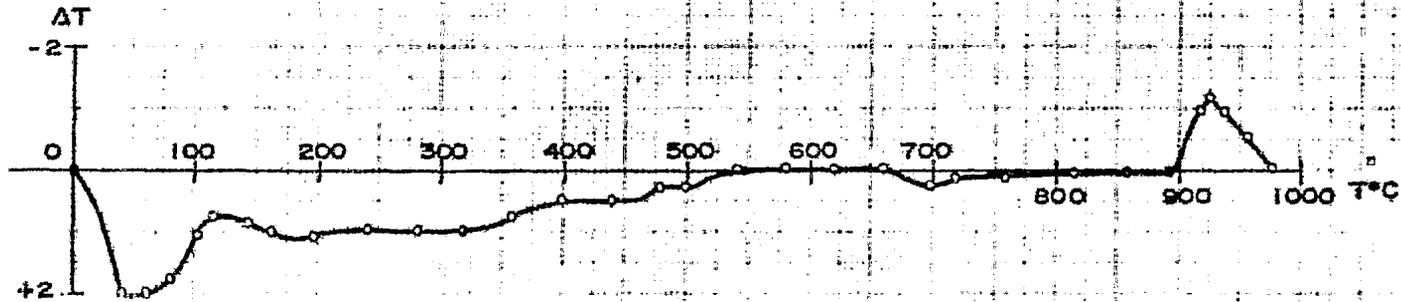


TIPO: Probeta cilíndrica

ZONA: Valle de Bravo

MUESTRA: N° 5 b

GRAFICA N° 51

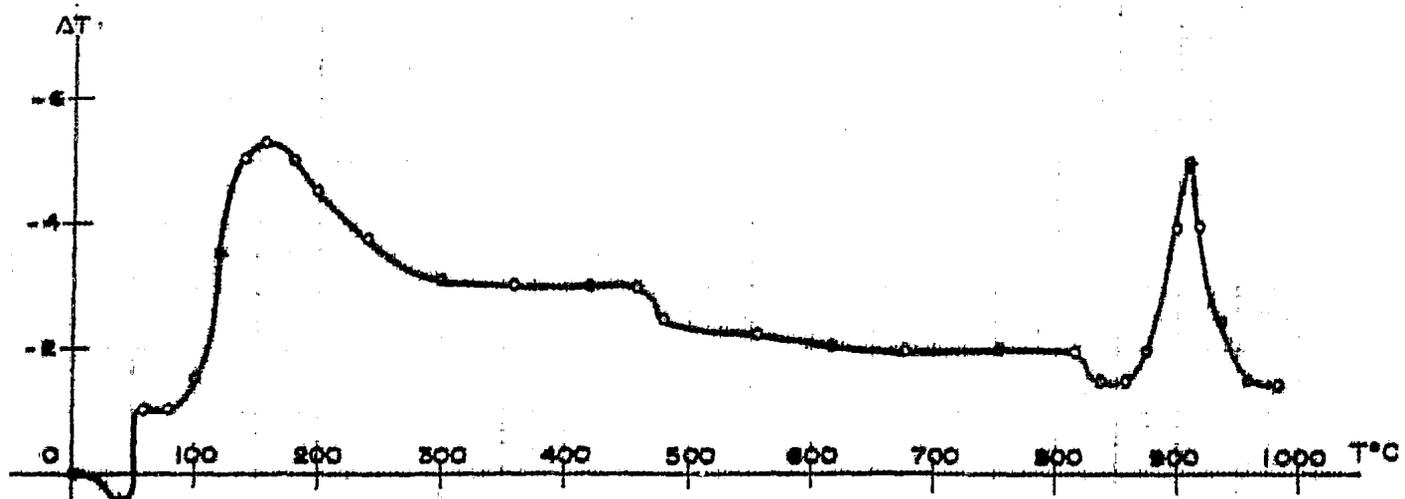


TIPO: Probeta
cilíndrica

ZONA: Valle de
Bravo

MUESTRA: N°5c

GRAFICA: N°52

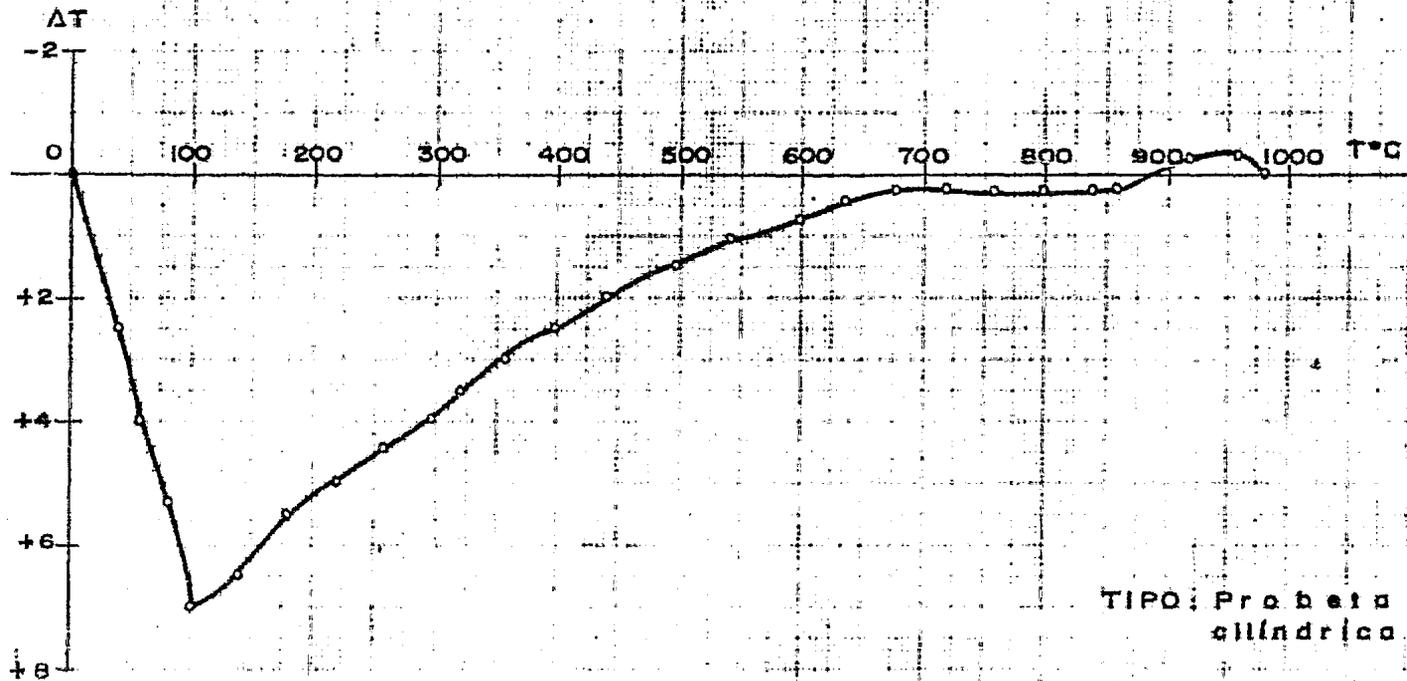


TIPO: Prueba
cilindrica

ZONA: Tamazcalcingo

MUESTRA: N° 09

GRAFICA: N° 03

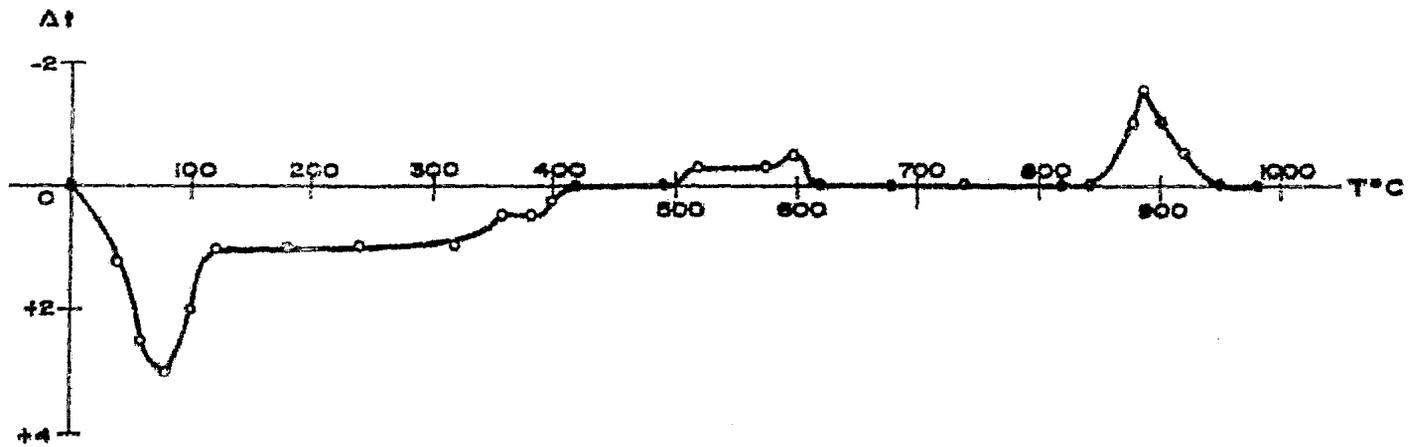


TIPO: Probeta
cilindrica

ZONA: Temascalcingo

MUESTRA: N° 6b

GRAFICA: N° 54

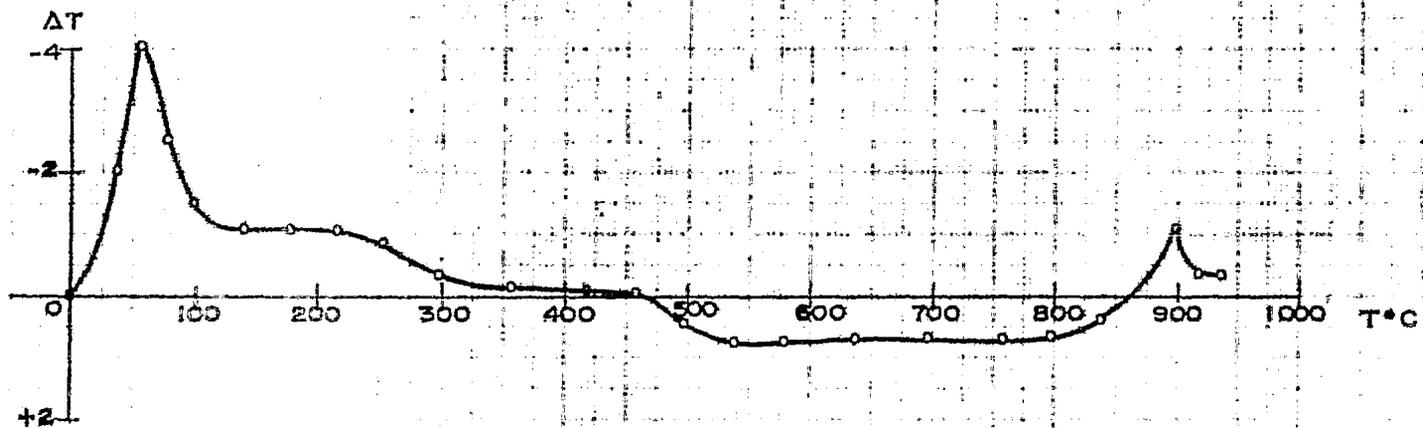


TIPO: Probeta cilíndrica

ZONA: Temaxcaltzingo

MUESTRA: N° 7a

GRAFICA N° 55

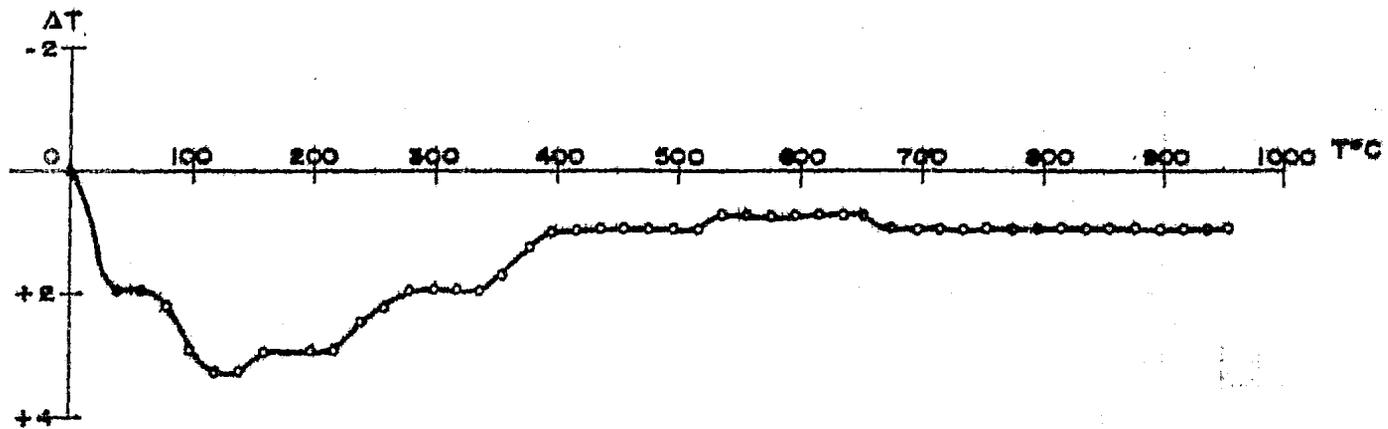


TIPO: Probeta
cilindrica

ZONA: Tamazcaltzingo

MUESTRA: N° 7b

GRAFICA: N° 56

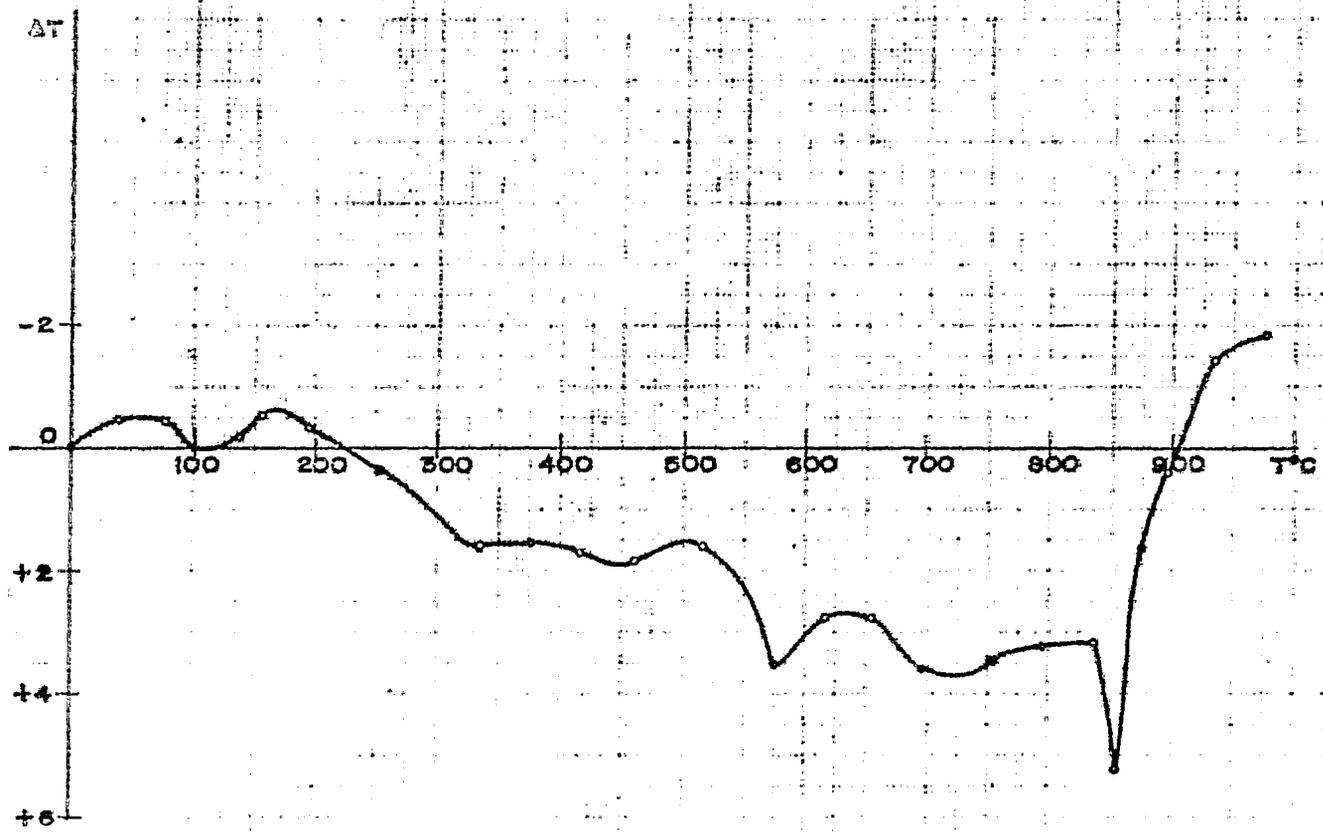


TIPO: Probeta
cilindrica

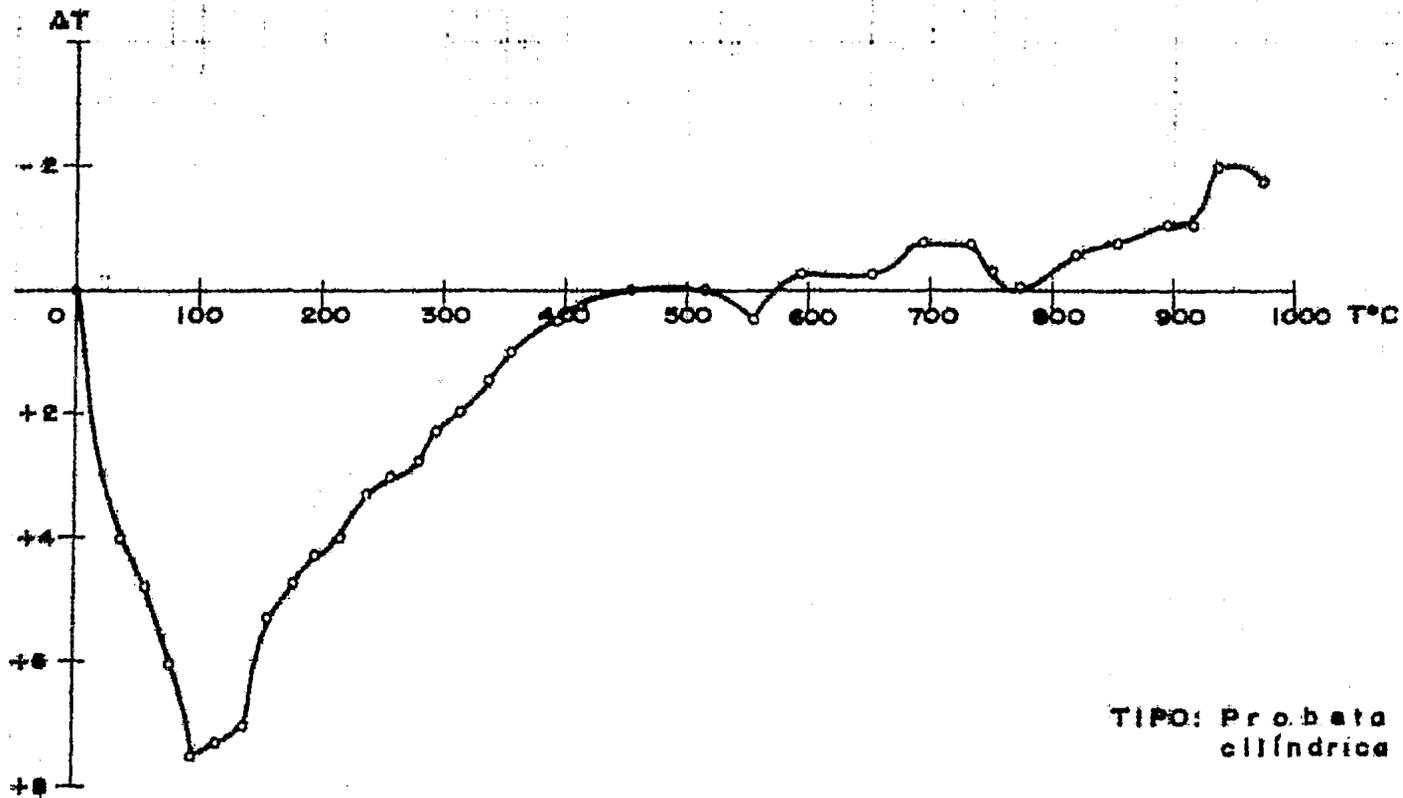
ZONA: Temascalcingo

MUESTRA: N° 7c

GRAFICA: N° 57



TIPO: Probeta
Cilíndrica
ZONA: Oaxaca
MUESTRA: 14 a¹
GRAFICA N° 53

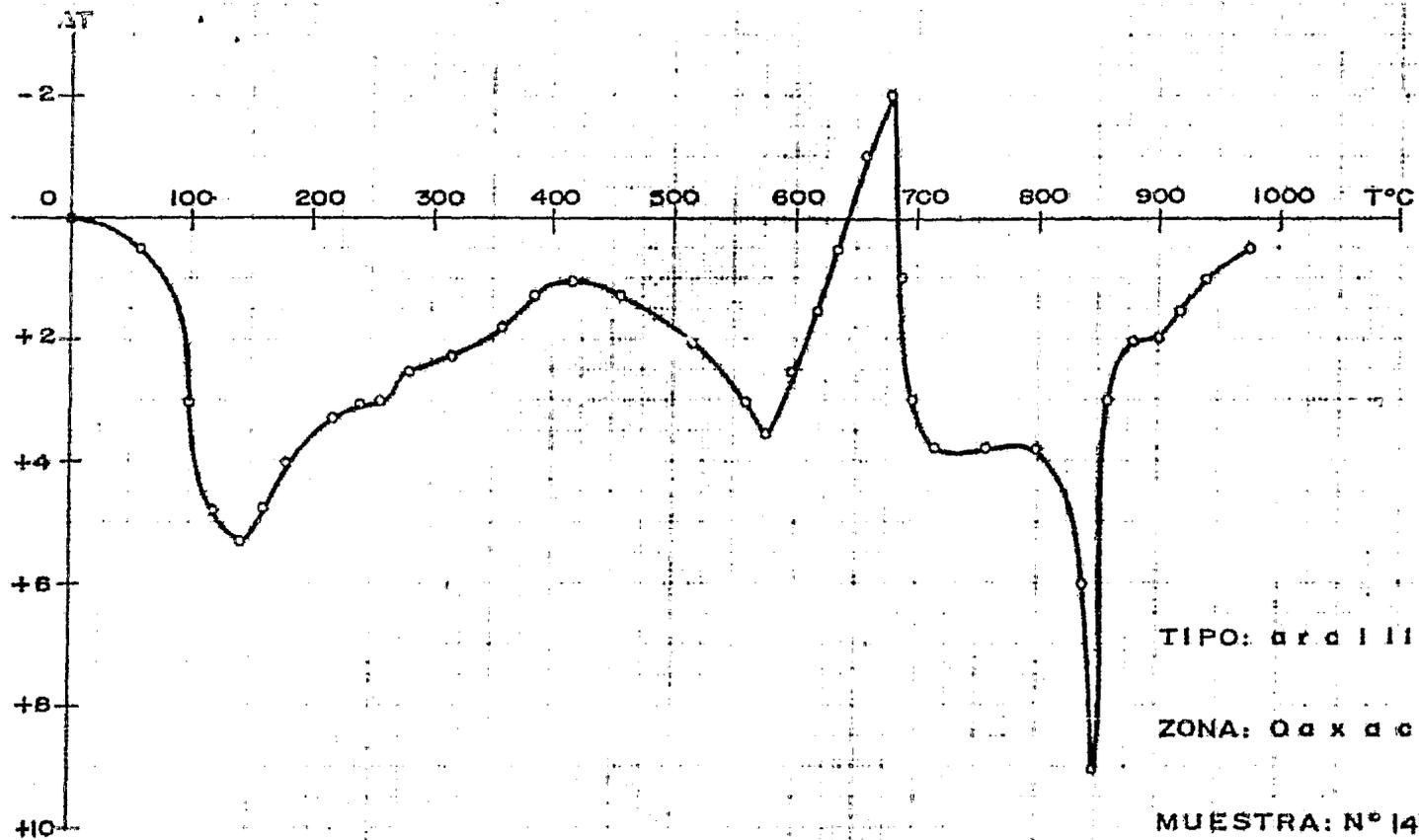


TIPO: Probeta
cilíndrica

ZONA: Oaxaca

MUESTRA: N° 44

GRAFICA: N° 53



TIPO: arcilla

ZONA: Oaxaca

MUESTRA: N° 141

GRAFICA: N° 30

