



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA
DE LA CERÁMICA PIZARRA.**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO.

PRESENTAN:

ANGEL ARTURO SORIANO RODRÍGUEZ
VÍCTOR MANUEL SOLANO VÁZQUEZ

Directores de Tesis:

Dr. Arturo Barba Pingarrón
Dr. Luis Alberto Barba Pingarrón



México , D.F.

Ciudad Universitaria, 2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: ANGEL ARTURO

SORIANO RODRIGUEZ

FECHA: 6-09-02

FIRMA: Angel Soriano R

ESTA TESIS NO
DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis se llevó a cabo bajo la dirección académica de:

DIRECTORES DE TESIS:

DR. ARTURO BARBA PINGARRON.

DR. LUIS BARBA PINGARRON.

Este trabajo fue realizado en la Facultad de Ingeniería (Laboratorio de Pruebas Mecánicas) en colaboración con el Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA de la UNAM), donde se nos proporciono el material arqueológico para el presente trabajo. A continuación se presentan los asesores respectivos:

ASESORES:

SR. ADOLFO ALTAMIRANO.

DRA. HEAJOO CHUNG.

QUIM. MANUEL REYES GARCÍA.

Por medio de este trabajo agradecemos :

A nuestros Directores de Tesis,
a nuestros Asesores de Tesis,
a los miembros del H. Jurado,
a nuestros Profesores y
a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por todos los conocimientos y experiencias compartidos , durante esta etapa de preparación en nuestras vidas. A todos y cada uno de ellos nuestra eterna gratitud por haber intervenido en nuestra superación y alegría.

A nuestros compañeros de la generación 1996-2000 con los cuales compartimos momentos muy agradables.

A nuestros familiares y personas más allegadas, por todos sus consejos y ayuda incondicional.

A nuestros padres y hermanos, quienes siempre nos entregaron su amor, ejemplos y consejos, a ellos les debemos íntegramente nuestra formación. A ellos que trazaron en nuestro camino, una meta de superación y mejoramiento. Con nuestra infinita admiración y gratitud

A Dios que nos dio la oportunidad de estar presentes en esta etapa de nuestras vidas y por seguir nuestros pasos en cada uno de nuestros logros.

ÍNDICE

PREFACIO

INTRODUCCIÓN

1

I) GENERALIDADES DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

3

1. Aplicaciones de la cerámica pizarra.

3

2. Enlaces y estructura.

3

3. Propiedades mecánicas.

5

a) Resistencia a la compresión.

7

b) Resistencia al impacto.

8

c) Porosidad.

9

II) CARACTERÍSTICAS DE LA CERÁMICA PIZARRA

12

1. Definición y clasificación de la cerámica pizarra.

12

III) EXPERIMENTACIÓN

20

1. Normas para la elaboración de las probetas.

21

a) Compresión.

22

b) Impacto.

25

c) Porosidad.

27

2. Manufactura de las probetas.

28

a) Compresión.

29

b) Impacto.

29

c) Porosidad.

30

3. Caracterización.

30

a) Ensayo de Compresión.

30

b) Ensayo de Impacto.

37

c) Porosidad.

41

IV)ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
a)Compresión.	49
b)Impacto.	52
c)Porosidad.	53
V) CONCLUSIONES	55
VI) APLICACIONES FUTURAS	57
VII)BIBLIOGRAFÍA	59
GLOSARIO	60
ANEXO I NORMAS DE PREPARACIÓN DE PROBETAS	A1
ANEXO II IMÁGENES DE LAS CERÁMICAS MAYA	A11
ANEXO III TABLAS	A20
ANEXO IV MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	A28

PREFACIO

HIPÓTESIS:

1. Las propiedades mecánicas están determinadas por las características de la pasta y la temperatura de cocción.
2. El acabado proporciona una superficie de tacto ceroso.
3. El tacto ceroso puede ser producto de la aplicación de sustancias orgánicas en la superficie y como consecuencia de éstas, puede generarse una mejora de las propiedades mecánicas.

OBJETIVO GENERAL.

Evaluar las propiedades mecánicas de la cerámica pizarra¹, a fin de relacionar dichas propiedades con sus métodos de producción.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Verificar la posible presencia de materia orgánica en la composición de la cerámica pizarra, y relacionarlo con su caracterización mecánica.
2. A partir de la evaluación de las propiedades mecánicas de la cerámica pizarra proyectar modificaciones y/o mejores métodos de producción.

1. La cerámica arqueológica Pizarra se distingue básicamente por tener un acabado ceroso al tacto y una dureza alta en la pasta.

EPÍGRAFE

“El verdadero conocimiento no está en los libros, está en
tí ”

Anónimo.

INTRODUCCIÓN

En un mundo en el que cada día nuevos descubrimientos provocan el avance de la ciencia a pasos agigantados, la rama correspondiente a los materiales cerámicos no podía quedarse a la zaga. A partir de esto se decidió realizar un estudio histórico y experimental acerca del desarrollo de un ejemplo de los mismos, ya que por sus propiedades pueden ser muy interesantes para las diferentes ramas de la ingeniería.

Desde el Clásico Tardío hasta el Posclásico Temprano, en la Península de Yucatán, especialmente en el sector norte, durante los trabajos de investigación sobre la cerámica maya se encontraron unas cerámicas que se distinguían por su acabado de superficie ceroso y aspecto lustroso denominada "Pizarra".

Se han realizado distintos estudios acerca de las propiedades de esta cerámica, con el fin de averiguar por qué el aspecto de su superficie es tan distinto del resto de otras cerámicas mayas. Aunque se tienen otras cerámicas con tacto ceroso, la idea planteada proponía que la técnica de acabado de superficie de las cerámicas estudiadas debía ser diferente a las demás cerámicas ya que su dureza era tan baja que podían contener sustancias orgánicas.

Con el fin de exponer con claridad lo realizado en este trabajo, ésta tesis se presenta siguiendo la secuencia descrita a continuación:

- En el capítulo 1 se detallan los conceptos generales acerca de la estructura de los materiales cerámicos, partiendo desde sus aplicaciones hasta sus propiedades mecánicas generales.
- En el capítulo 2 se describen aspectos sobre las características principales de la cerámica pizarra.
- En el capítulo 3 se describe lo relacionado a las normas de elaboración y manufactura de las probetas, así como la caracterización de éstas.
- En el capítulo 4 se interpretan los resultados obtenidos del capítulo anterior, haciendo una comparación entre los tipos de cerámica maya y la cerámica actual.
- En el capítulo 5 se obtuvieron las conclusiones finales del presente trabajo, haciendo una comparación entre la cerámica maya y la actual.
- En el capítulo 6 se investigaron algunas posibles aplicaciones de la cerámica maya proyectadas a la actualidad.

C A P Í T U L O I

GENERALIDADES DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

Aplicaciones de la cerámica pizarra.

Los materiales cerámicos han sido utilizados desde tiempos inmemoriales para la manufactura de utensilios de cocina, objetos ornamentales, construcciones, recubrimientos para hornos, etc., y hasta hace unos pocos años solo se identificaba como cerámica a algunos materiales utilizados en estas aplicaciones. Lo anterior se aplica considerando que el termino "cerámicos" proviene del griego "Keramicos " o " Keramos", que se empleaba para designar a los objetos hechos de arcilla quemada.

Enlaces y Estructuras.

La mayoría de las cerámicas son compuestos formados por elementos metálicos y no metálicos cuyos enlaces interatómicos pueden ser de carácter totalmente iónico, o bien de carácter predominante iónico con algún carácter covalente.

Puesto que las arcillas están compuestas usualmente por lo menos por dos elementos y a menudo por más de dos, sus estructuras cristalinas son generalmente más complejas que la de los metales.

Por otro lado, el que las cerámicas sean mucho más duras que las otras familias de materiales, se debe a que estos compuestos involucran coordinaciones atómicas más complejas lo que ocasiona que haya una mayor resistencia al deslizamiento, por lo tanto, tienen una menor ductilidad, comparándolas con otras familias[1].

Hay dos características de los iones que componen a los materiales cerámicos cristalinos que determinan la estructura cristalina; el valor de la carga eléctrica de los iones componentes, y los tamaños relativos de los cationes y aniones. Con respecto a la primera característica, el cristal debe ser eléctricamente neutro. El segundo criterio depende del tamaño de los radios iónicos de los cationes y aniones.

Las estructuras estables de los materiales cerámicos se pueden formar cuando los aniones que rodean un catión están todos en contacto con el catión, tal como se muestra en la Fig.1.

Una de las partes más importantes desde el punto de vista de su aplicación, es su microestructura, en la cual la cristalinidad o tamaño de grano afectará las propiedades, siendo mucho más resistentes mecánicamente hablando, aquellos cerámicos con tamaño de grano fino que los que poseen granos gruesos, así mismo la presencia de poros en los cerámicos cocidos reducirá la resistencia mecánica del material, lo que implica, mientras mayor sea la porosidad, menor será la resistencia mecánica del material cerámico[2].

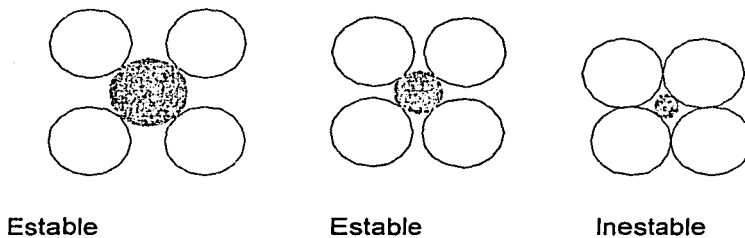
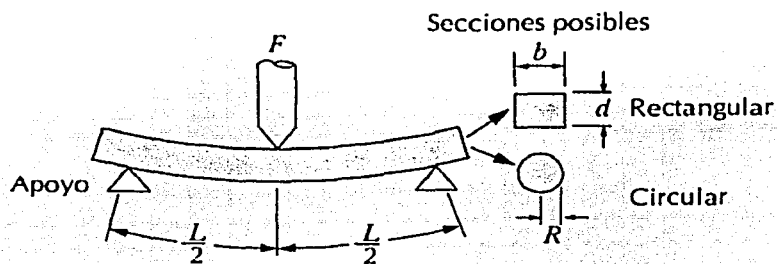


Fig.1 Configuraciones estables e inestables entre aniones y cationes.

3.Propiedades Mecánicas.

Los materiales cerámicos tienen aplicabilidad limitada debido a sus propiedades mecánicas, las cuales en muchos aspectos son inferiores a la de los metales. La principal desventaja es la tendencia a la fractura de forma frágil con muy poca absorción de energía.

A temperatura ambiente, virtualmente todas las cerámicas son frágiles, la presencia de microfisuras, las cuales son muy difíciles de detectar, producen una amplificación de los esfuerzos de tracción aplicados, lo que explica las bajas resistencias a la fractura (**módulo de rotura**) de estos materiales. Para medir el módulo de rotura y de esfuerzo de formación se utiliza el ensayo de flexión por tres puntos, el cual consiste en flexionar la barra como una viga simple hasta la fractura; para ello se calcula el esfuerzo en las fibras exteriores al momento de la fractura y en base a esto se obtiene el máximo esfuerzo a la tensión del material, reportando normalmente como esfuerzo de flexión. Esto se muestra en la figura 2, en la cual se indica el punto de aplicación de la carga, la superficie superior está sometida a un estado de compresión, mientras la superficie inferior está sometida a tracción[2].



$$\sigma = \text{tensión} = \frac{Mc}{I}$$

donde M = Momento de flexión máximo

c = distancia desde el centro de la probeta a las fibras externas

I = momento de inercia de la sección

F = carga aplicada

	$\frac{M}{4}$	$\frac{c}{2}$	$\frac{I}{12}$	$\frac{\sigma}{2bd^2}$
rectangular	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
circular	$\frac{FL}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

Fig. 2. Esquema del sistema para el ensayo a flexión por tres puntos

a) La resistencia a la compresión de las cerámicas es en muchas ocasiones más alta en comparación a la de los metales y plásticos (tal como se muestra en la tabla 1) Además, poseen una mayor dureza, lo cual permite su uso como herramientas para trabajo y les permite ser empleados también en componentes contra el desgaste, tales como discos abrasivos y otras herramientas de corte.

Esta prueba se realiza aplicando una carga axial a la probeta hasta la fractura, con la finalidad de conocer su resistencia a la compresión. Para poder llevarla a cabo se requiere que las probetas tengan ciertas características así como seguir ciertos procedimientos

Propiedades Mecánicas	Cerámicas	Metales	Plásticos.
Esfuerzo de fluencia (MPa)	No presenta esfuerzo de fluencia	250 máx.	25 máx.
Esfuerzo de compresión (MPa)	600 máx.	400 máx.	400 máx.
Resistencia al impacto	Pobre.	Pobre a Excelente.	Pobre a Bueno
Dureza(Knoop)	Puede ser 2600	900 máx.	100 máx.
Esfuerzo de Fractura	Excelente	Bueno.	Pobre.

Tabla 1. Comparación de propiedades mecánicas de diferentes familias de materiales[2].

Una propiedad mecánica favorable de las cerámicas es su **dureza**, la cual es a menudo utilizada cuando se requiere una acción abrasiva o de desbaste, de hecho los materiales más duros conocidos son las cerámicas.

b) Resistencia al impacto : Muchos de los materiales cerámicos que son frágiles tienen una baja resistencia al **impacto**, esto es debido a sus uniones iónico-covalente. Para poder estudiar esta propiedad una de las pruebas de impacto utilizadas consiste en colocar una placa en una superficie rígida, la cual intenta ser penetrada por un proyectil a alta velocidad y esta lleva en su punta una filosa navaja para lograrlo.

Cuando las cerámicas se encuentran sometidas a esfuerzos de impacto por parte de un proyectil con alta velocidad, los estados de esfuerzo severos se encuentran muy cerca de la zona de impacto. Es en este momento cuando la cerámica experimenta una mayor fragmentación en la zona de contacto. Sin embargo, para que el proyectil pueda ejercer su acción penetradora es necesario que haga uso de una navaja, la cual se encuentra situada en la punta.

En el momento que el proyectil es disparado impacta con la navaja al material, y para que esto pueda seguir avanzando en el interior de la cerámica, será necesario retirar los residuos producidos por el impacto (polvos), de otra manera estos polvos se comprimirán y evitarán el paso de la navaja. Es así como los residuos de la superficie de la cerámica, juegan un papel muy importante en la resistencia a la penetración

c)La porosidad en los materiales cerámicos es el índice del volumen de todos los poros presentes en un material. Esta propiedad también establece la cantidad de gases y líquidos que son capaces de pasar a través de los poros de un cuerpo.

La porosidad es desfavorable para la resistencia a la fractura (o módulo de rotura) por dos razones: (1) Los poros reducen el área de la sección a través de la cual se aplica la carga, y (2) También actúan como concentradores de esfuerzos.

Existen dos tipos de porosidad, una es la porosidad aparente la cual se define como la relación entre el volumen del espacio de los poros y el volumen de la pieza, ésta evalúa los poros abiertos, dichos poros no se encuentran aislados en el material por tanto, pueden ser penetrados por un fluido, lo cual trae como consecuencia que exista un grado de penetrabilidad en el cuerpo.

El otro tipo es la porosidad real, la cual representa el volumen de los poros abiertos y de los cerrados, en el volumen del cuerpo. Estos últimos se encontrarían aislados por completo en el interior del cuerpo, por lo que el poro sería impermeable a líquidos o gases.

Debido a que las cerámicas artesanales se cocen a temperaturas menores a las de sinterización, la probabilidad de encontrar un poro cerrado es mínima, por lo cual los poros que tienen importancia para los fines de este estudio son los poros abiertos y, por ende, la porosidad aparente.

Sin embargo cuando las cerámicas tienen un tamaño de grano grande y uniforme tenderán a tener menor cantidad de poros en comparación con aquellas cerámicas que tengan diferentes tamaños de granos, pues los espacios que existen entre los granos grandes serán ocupados por granos pequeños, evitando con ello la acumulación de esfuerzos.

Una ecuación experimental [2] empleada con frecuencia para la determinación de la porosidad es:

$$P = \frac{W_{sa} - W_{se}}{W_{sa} - W_{su}} \times 100(\%)$$

Donde:

P = Porcentaje de porosidad aparente(%)

W_{sa} = Peso de la pieza saturada de agua(gr.)

W_{se} = Peso de la pieza seca(gr.)

W_{su} = Peso de la pieza suspendida en agua(gr.)

C A P Í T U L O 2

CARACTERÍSTICAS DE LA CERÁMICA PIZARRA

1. Definición y clasificación de la cerámica Pizarra.

La cerámica Pizarra se distingue básicamente por tener un acabado ceroso al tacto y una dureza alta en la pasta. Se ha encontrado que este tipo de cerámica varía en las formas asociadas a diferentes "Vajillas", debido a lo cual Smith (1971) [3] ha propuesto un sistema de clasificación tipo-variedad, donde se distinguen las siguientes "Vajillas": Pizarra Puuc, Pizarra Delgada y Pizarra Chichén. Posteriormente los investigadores aceptaron y utilizaron este sistema de tipo-variedad para distinguir las variedades de la cerámica Pizarra. Por la cantidad encontrada en las excavaciones (Brainerd 1958; Smith 1971; y Chung 1993) [4,3,5] y la diferencia clara entre las vajillas, la Pizarra se utiliza como una cerámica diagnóstica de períodos. Posteriormente se aplicó para definir las unidades políticas de la península de Yucatán (Andrews y Robles 1985)[6].

Por lo tanto, la variedad de la cerámica Pizarra es una clave importante para entender la condición socio-política de la península de Yucatán durante dicho período.

Por otro lado, la variedad de cerámica Pizarra se presenta no solo en las formas sino también en el acabado superficial (Barba y Chung 1995)[5], la pasta (Brainerd 1958; Smith 1971; Simmons y Brem 1988; Chung 1993) [4,3,1,5], la técnica, así como el material utilizado. Estas diferencias se observan aun en una misma Vajilla. Por ejemplo, en los sitios Chichén Itzá y Dzibilchalún(Pizarra Muna) se han observado 3 diferentes acabados en una Vajilla (Ver Anexo II fig.1 Barba y Chung 1995) .En las muestras de Chichén Itzá se observan: uno que presenta un acabado de brillo metálico (fig.1 a-1) [2], tiene recubrimiento ceroso(fig.1 a-2) [2] y casi no presenta recubrimiento(fig.1 a-3) [2]. En las de Dzibilchaitún se pueden notar que uno tiene una línea clara sin recubrimiento ceroso(fig.1 b-1) [2] , y otra encima de la pintura clara(fig.1 b- 2)[2] y difusa(fig.1 b-3)[2] se siente un recubrimiento ceroso.

Respecto a las características de este tipo de cerámicas en un estudio previo realizado por Barba y Chung (1995) se ha identificado por medio de análisis petrográfico, con la microscopía electrónica de barrido² la composición química de los materiales a fin de conocer la fuente del material con que fueron elaborados.

2. Para mas detalle Ver Anexo IV al final del presente trabajo.

Los estudios petrográficos dada la rapidez con que se hacen las secciones delgadas y la relativa facilidad para determinar las propiedades ópticas de las diferentes fases que constituyen a un material, sirven como base para caracterizar, minerales, ver relaciones texturales (forma, tamaño y disposición) entre éstos y otros compuestos y en el caso de los restos de cerámica es posible reconocer los elementos plásticos como arcillas³, los elementos desgrasantes (todos los no plásticos) y los huecos o espacios vacíos que nos revela el porcentaje de porosidad.

Las observaciones al microscopio realizado por Chung permiten caracterizar varios elementos no plásticos, los cuales se presentan en diferentes proporciones dependiendo de la cerámica. Los principales que se han identificado en éstos cerámicos son :

a) Calcita (Ca CO_3)³, que se encuentra en forma de fragmentos angulosos tamaño arena fina que por lo regular constituyen fragmentos de caliza. Esta roca es muy abundante en la Península de Yucatán.

b) Cuarzo (SiO_2)³, se encuentra como fragmentos subredondeados a redondeados que varían de tamaño de arena fina a gruesa, se encuentra en una proporción desde trazas hasta relativamente abundante.

En aquellos casos en que es muy abundante y por tener su forma redondeada, se supone que este mineral fue obtenido de ambientes sedimentarios.

3. Ver definición en el glosario al final del presente trabajo.

c) Grumos de hierro (ferruginous lump), crecimientos subredondeados de material arcilloso y óxidos o hidróxidos de fierro , que constituyen gran parte del material plástico (barro).

d) Vidrio volcánico, este sólido se forma por el enfriamiento brusco de una lava lo que impide que se generen cristales, el vidrio volcánico se considera como un sólido formado por un líquido solidificado. En la cerámica Pizarra se observa como esquinas o pómez, lo que implica que procede de una erupción volcánica de tipo explosiva que ocasionó la formación de ceniza, siendo el vidrio un constituyente primordial junto con los fragmentos de plagioclasa o de roca volcánica (Fig. 2)⁴.

e) Fragmentos de roca, en muchos fragmentos de Pizarra, los vidrios se presentan junto con rocas y se lograron diferenciar básicamente tres tipos de roca: fragmentos subredondeados de una roca cloritizada cuyo grado de alteración impide caracterizar el protolito, sin embargo, en otros fragmentos grandes se puede identificar que se trata de roca ígnea, fragmentos de una roca limonitizada que al igual que en el caso anterior no es posible identificar el tipo de roca que se trata; y fragmentos de rocas volcánicas de textura porfídica constituidas por fenocristales de plagioclasa y/o de cuarzo incluidos en una matriz afanítica (Fig.3)⁴.

4. Ver Anexo II, al final del presente trabajo.

f) Rocas ígneas de origen extrusivo, posiblemente todas de composición variada.

g) Minerales opacos, son aquellos minerales no transparentes que al impedir el paso de la luz a través de ellos no pueden ser identificados por petrografía, sin embargo parecen corresponder con hematita (Fe_2O_3)⁴ muy común en los barros, donde se presentan como pequeños puntos.

h) Goethita-limonita ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{NH}_2\text{O}$), agregados redondeados de color pardo o rojo tamaño arena fina diseminados en el barro o formando aglomerados.

i) Plagioclasa ($\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2\text{O}_8\text{-Na AlSi}_3\text{O}_8$), este mineral de origen ígneo se observa como fragmentos subangulosos a angulosos con tamaño de arena fina, donde muchos fragmentos de este mineral presentan saneamiento.

j) Micas, se pueden identificar dos tipos: Biotita que son escamas de grano fino que por lo regular forman parte del material plástico (barro) y Sericita³, que se aprecia como alteración de los feldespatos-plagioclasa³.

3. Ver definición en el glosario al final del presente trabajo.

4. Ver Anexo II, al final del presente trabajo.

Así pues las "Vajillas" Pizarras se pueden clasificar en tres grupos dependiendo de la proporción en que se encuentran los desgrasantes. Los grupos son:

1. Pasta que tiene como único desgrasante la calcita, a este grupo pertenecen las cerámicas pizarras Ticul y la mayoría de la Pizarra Puuc de la región Puuc (Fig. 4a)⁴.
2. Pasta que tiene como desgrasante más abundante al vidrio volcánico, a este grupo pertenecen casi el 100% de la cerámica Pizarra Chichén y variedades no identificadas de la Pizarra. (Fig. 4b)⁴.
3. Pasta que tiene una mezcla de carbonatos y vidrio volcánico. En este caso se encuentra la mayoría de la cerámica de Pizarra Puuc. (Fig. 4c)⁴.

Analizando el grupo 2 donde predomina como desgrasante el vidrio volcánico lo podemos clasificar a su vez en dos grandes grupos:

1. Uno donde el vidrio se presenta como único desgrasante (Fig. 5a)⁴.
2. Otro donde el vidrio se encuentra asociado a fragmentos de roca. (Fig. 5b)⁴.

4. Ver Anexo II, al final del presente trabajo.

Otra información que permite caracterizar a la cerámica Pizarra con respecto a los componentes del barro, clasificándola hasta el momento en tres grupos, son:

1. Barro que tiene carbonatos, mineral cuya presencia se considera como un fenómeno natural debido al carácter geológico de la Península de Yucatán (Fig. 6a) ⁴.
2. Barro que contiene abundante fierro, sin carbonatos, que al momento de la cocción ocasiona la formación de los grumos de fierro. Aunque todavía no se ha identificado la fuente de este barro (Fig. 6b) ⁴.
3. Barro que contiene abundante cuarzo, mineral que se presenta como fragmentos redondeados, lo que implica que fue obtenido de un ambiente sedimentario.

Con el análisis químico del vidrio se ha encontrado en este tipo de cerámica se han encontrado que existen dos tipos de vidrio, uno de composición básica a intermedia y otro grupo con una composición riolítica o ácida.

La presencia de carbono en la pasta no puede ser explicado como un componente natural en este tipo de materiales volcánicos, por lo cual su presencia se explica como un material orgánico del recubrimiento que penetró a la pasta.

4. Ver Anexo II, al final del presente trabajo.

Los componentes principales encontrados en la superficie son: Al, Si, y O, los cuales son los constituyentes básicos de cualquier tipo de arcilla³. De igual manera el K, Ca, Fe y Ti pueden ser elementos contenidos en los minerales arcillosos. Sin embargo, se ha observado que la superficie de muestras que tienen un brillo metálico, y otra que casi no presenta recubrimiento tienen concentraciones más altas de potasio (K) y fierro (Fe) que la cerosa. Se ha demostrado que en los sistemas naturales el potasio tiene una gran movilidad cuando existen incrementos de temperatura. Así mismo se forman poros debidos al escape de gases en la parte superficial (Fig. 8a)⁴, cuando estos gases no pueden salir se forman especies de ampollas (Fig. 8b)⁴.

Dado que los materiales de superficie analizados tienen prácticamente la misma composición química, la diferencia en el acabado que presentan se debe posiblemente a distintos métodos de preparación de la cerámica.

4. Ver imágenes en el Anexo II al final del presente trabajo.

CAPÍTULO 3

EXPERIMENTACIÓN.

En ocasiones, cuando los arqueólogos se enfrentan a la difícil tarea de buscar vestigios de nuestro pasado, son presa de la excitación ante lo nuevo y lo desconocido a que se enfrentan, pero cuando logran encontrar aquello que puede darles nuevas pistas para conocer un poco más acerca de ese pasado, tan afanosamente buscado, se dan cuenta que los fragmentos de los materiales encontrados son pequeños, lo cual dificulta la labor de estos hombres y mujeres de ciencia para caracterizar dichos materiales.

Este es uno de los principales problemas a que se enfrenta todo aquel que desea conocer las propiedades de diversos materiales que pueden ser encontrados en cualquier sitio arqueológico, pues muchas de las veces, los fragmentos encontrados son los vestigios de lo que en esos lugares acontecía y sobre todo de los tipos de técnicas y tecnologías que empleaban.

Esto último es importante para la ingeniería ya que representa el desarrollo tecnológico de ese momento, además, puede permitirnos emplearlas para nuevos fines o bien reutilizarlas de acuerdo al fin con que fueron creadas.

Lo que se busca en este caso es comprobar que las cerámicas tipo maya contienen materia orgánica, y que ésto puede modificar sus propiedades mecánicas y adicionalmente compararlas con las cerámicas actuales .

1. Normas para la elaboración de las probetas

Las pruebas más comúnmente empleadas para evaluar las propiedades mecánicas de la mayoría de los materiales son las destructivas, tales como la de tracción, compresión, flexión, impacto, fatiga y dureza ; pero también se aplica para conocer otros comportamientos del material, como lo son la resistencia del material a un cierto tipo de medio ambiente y la porosidad.

En función de los alcances de este estudio, se realizaron pruebas de compresión, impacto y porosidad de las cerámicas mayas, como una forma de caracterización de estas cerámicas.

a)Compresión

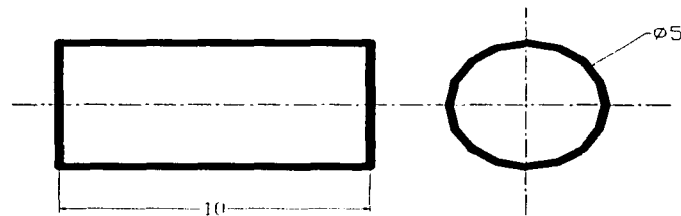
Esta prueba se realiza aplicando una carga axial a la probeta hasta la fractura, con la finalidad de conocer su resistencia a la compresión. Para poder llevarla a cabo se requiere que las probetas tengan ciertas características así como seguir ciertos procedimientos .Todo esto se encuentra referido en normas como las emitidas por la ASTM(American Society for Testing of Materials) y las Normas Mexicanas (NOM), estas últimas publicadas por la Dirección General de Normas (DGN).

La norma ASTM: C773-88 (año: 1993), se refiere al "Método de Prueba Standard para determinar la Resistencia a la *Compresión* de Materiales Cerámicos Cocidos". Esta norma se encuentra referida en el Anexo I , por lo que en esta parte solo se mencionarán los puntos más importantes que se tomaron en cuenta para la elaboración de las probetas y la realización de las pruebas.

El método A es generalmente aplicable a productos cerámicos de niveles de resistencia bajos hasta los moderadamente altos, es decir, hasta 100,000 psi o 690 (Mpa). El método B es utilizado específicamente para evaluar cerámicos, arriba de los 150,00 (psi) o 1030 (MPa),es por ello que se selecciono el método A(Ver Anexo I).

El equipo empleado para realizar esta prueba fue una máquina universal INSTRON de ensayo mecánico existente en el Laboratorio de Pruebas Mecánicas del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, la cual cumple con los requerimientos marcados por esta norma

De acuerdo con las especificaciones establecidas por el Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA), las probetas deben elaborarse bajo el siguiente criterio "la dimensión de la altura debe ser del orden del doble de la dimensión del diámetro", en nuestro caso se consideraron probetas de , 0.5 centímetro de diámetro por 1 centímetro de altura .



Probeta para compresión en
cerámicos.
Acotaciones en mm.

**Figura 14. Dimensiones de la probeta experimental
utilizada para el ensayo de compresión.**

Antes de realizar la prueba, las probetas se limpiaron y se retiraron las que mostraron defectos superficiales .El procedimiento de esta prueba se podrá observar con mayor detalle en la sección de caracterización.

b) Impacto

Esta prueba consiste en proporcionar a la muestra de material un impacto a alta velocidad, es decir, la energía será entregada en un lapso de tiempo muy corto, pudiendo ocasionar deformación o ruptura en el material de forma casi inmediata.

Debido a que los cerámicos no presentan prácticamente ninguna deformación plástica antes de la ruptura[2], toda la energía que se utilice para realizar esta prueba de impacto servirá para ocasionar la de ruptura del material, es por ello que se espera que estos materiales presenten baja resistencia en esta prueba.

Esta prueba se realizó en base a la norma ASTM: C368 - 88 (año: 1993), la cual se denomina el "Método de Prueba Standard para la Resistencia al *Impacto* de Materiales Cerámicos Cocidos".

Debido a los mismos problemas de elaboración de las probetas a partir de los fragmentos encontrados en las ruinas Mayas de manera similar a la prueba de compresión, en la prueba de impacto se modificó ligeramente la norma, pues como ya se mencionó, dichos especímenes son muy pequeños y de forma irregular, por lo que éstos se aproximaron a paralelepípedos.

La prueba de impacto marcada en la norma (Ver Anexo 1), fue establecida para probetas de forma cilíndrica tanto sólidas como huecas. El tipo de probetas que se manejó para realizar este ensayo fueron probetas de tipo paralelepípedo, ya que los resultados obtenidos de ésta en relación a una probeta circular sólida, son aproximadamente iguales.

El aparato utilizado para realizar este ensayo(Fig.4), cumple con las especificaciones indicadas en esta norma, pues este equipo fue construido en base a lo indicado por la misma expresamente, para realizar este tipo de pruebas en cerámicas arqueológicas, por el IIA en colaboración con la F.I.

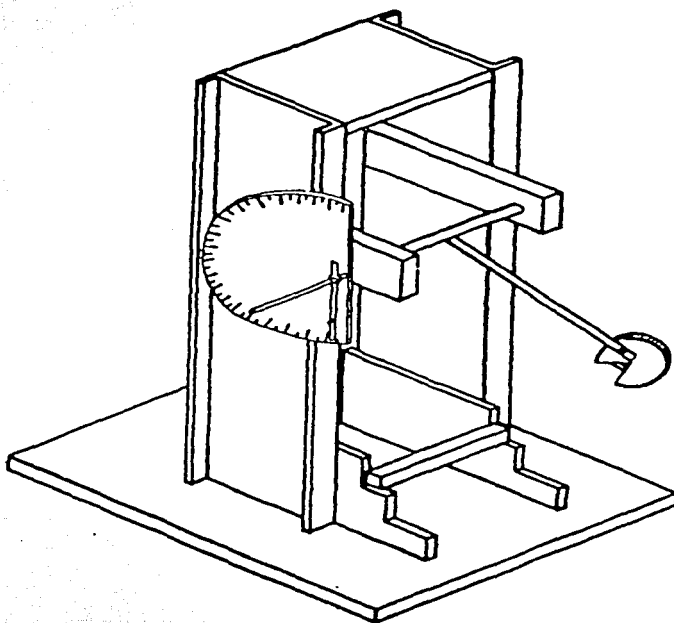


Fig.4 Máquina de impacto para cerámica.

También en este ensayo los criterios para la elaboración de las probetas, fueron proporcionados por experiencias previas de trabajos conjuntos con el IIA.

Por otro lado se llevaron a cabo las pruebas a diferentes tipos de cerámicas mayas, donde los resultados de esta prueba se pueden consultar en la sección de caracterización.

c) Porosidad

Con relación a esta propiedad existen diversos métodos para conocer el porcentaje de porosidad en las piezas cerámicas[2]; uno de estos métodos fue ya referido en el capítulo anterior, donde:

$$P = \frac{W_{sa} - W_{se}}{W_{sa} - W_{su}} \times 100(\%)$$

- P = Porcentaje de porosidad aparente(%)
- W_{sa} = Peso de la pieza saturada de agua(gr.)
- W_{se} = Peso de la pieza seca(gr.)
- W_{su} = Peso de la pieza suspendida en agua(gr.)

Para consultar los resultados arrojados por estas pruebas se muestran en la parte de caracterización.

2. Manufactura de las probetas.

Para conocer el comportamiento de las cerámicas mayas (Pizarra, Ticul Pizarra, Muna y Yokat) fue necesario conformar las probetas que se requirieron para ello; en este caso, las probetas se obtuvieron a partir de pedazos de vasijas de cerámicas mayas, las cuales presentaban formas y grosores distintos.

El proceso que a continuación se presenta, es la técnica bajo la cual se conformaron las probetas, y a su vez permitirán en su momento comparar las propiedades mecánicas de las cerámicas mayas con las actuales.

Las probetas para *compresión e impacto* se realizaron con la ayuda de una cortadora de disco de diamante existente en el (IIA), un torno, un par de placas paralelas y un calibrador vernier. Para ello primeramente las cerámicas se encontraban en fragmentos de distintas formas y espesores (Ver Anexo II fig.9).

Por otro lado se dimensionaron las diferentes cerámicas considerando el espesor del disco y se cortaron las probetas requeridas, posteriormente se colocaron en un recipiente con agua para eliminar los residuos provocados por el corte, para posteriormente llevar a cabo su secado.

A partir de éstas piezas se procedió a conformar las probetas para los siguientes ensayos:

a)Compresión

Teniendo los cortes de las probetas sobredimensionadas se procedió a conformarlas en el torno, donde primeramente se refrentó una cara con la ayuda de una placa paralela y una lija, posteriormente se refrentó la otra cara del mismo modo cuidando las dimensiones tanto de grosor y longitud con el vernier (Ver Anexo II fig.10).

b)Impacto

Para la conformación de estas probetas se manejaron paralelepípedos de $5\text{cm} \times 0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ (largo x ancho x espesor), las cuales se manufacturaron de manera manual con la ayuda de lija de agua, en donde las caras opuestas de las probetas se mantuvieron paralelas entre si. Cabe mencionar que dichas dimensiones fueron aproximadas dado que el material para manufacturar las probetas era de forma irregular (Ver Anexo II fig.11).

c) Porosidad

Se utilizaron probetas restantes de vasijas debido a que el material era escaso y no afectaba a la prueba ya que ésta se encuentra en función del peso y del volumen de la muestra (Ver Anexo II fig.12).

Cuando ya se encontraban terminadas las probetas se les sometió a su limpieza y a su almacenamiento.

3. Caracterización

Este apartado es uno de los más importantes, pues es donde se encuentran los resultados de las pruebas ya anteriormente descritas, las cuales se enuncian a continuación:

a) Ensayos de compresión

Como ya se mencionó este ensayo tiene como finalidad evaluar la resistencia a la compresión de los materiales cuando se les aplica una cierta carga axial.

Para realizar esta prueba se utilizó una máquina INSTRON electromecánica, la cual se puede observar en la figura 3.

Esta se encuentra en el Laboratorio de Pruebas Mecánicas del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Las pruebas de compresión se hicieron bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiente: 23⁰C.
- Humedad: 50%.
- Atmósfera: 77,326.9737 [Kpa] (58 cmhg).
- Velocidad de desplazamiento del cabezal: 5 mm/min.

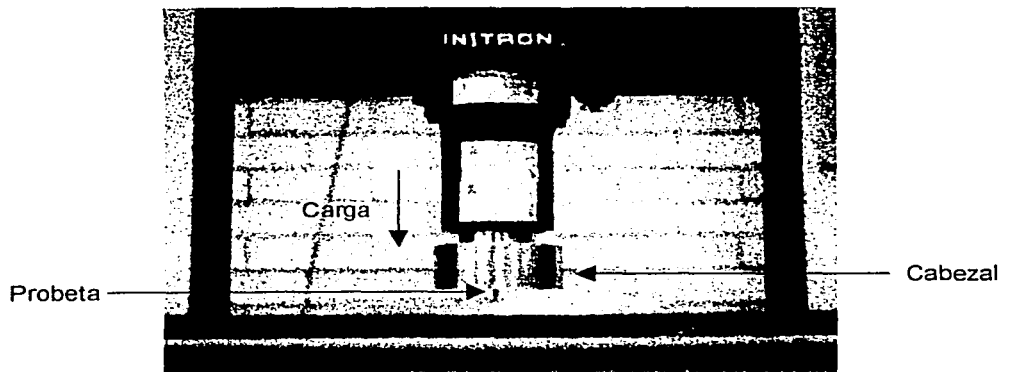


Fig.3 Máquina INSTRON utilizada para la prueba de compresión.

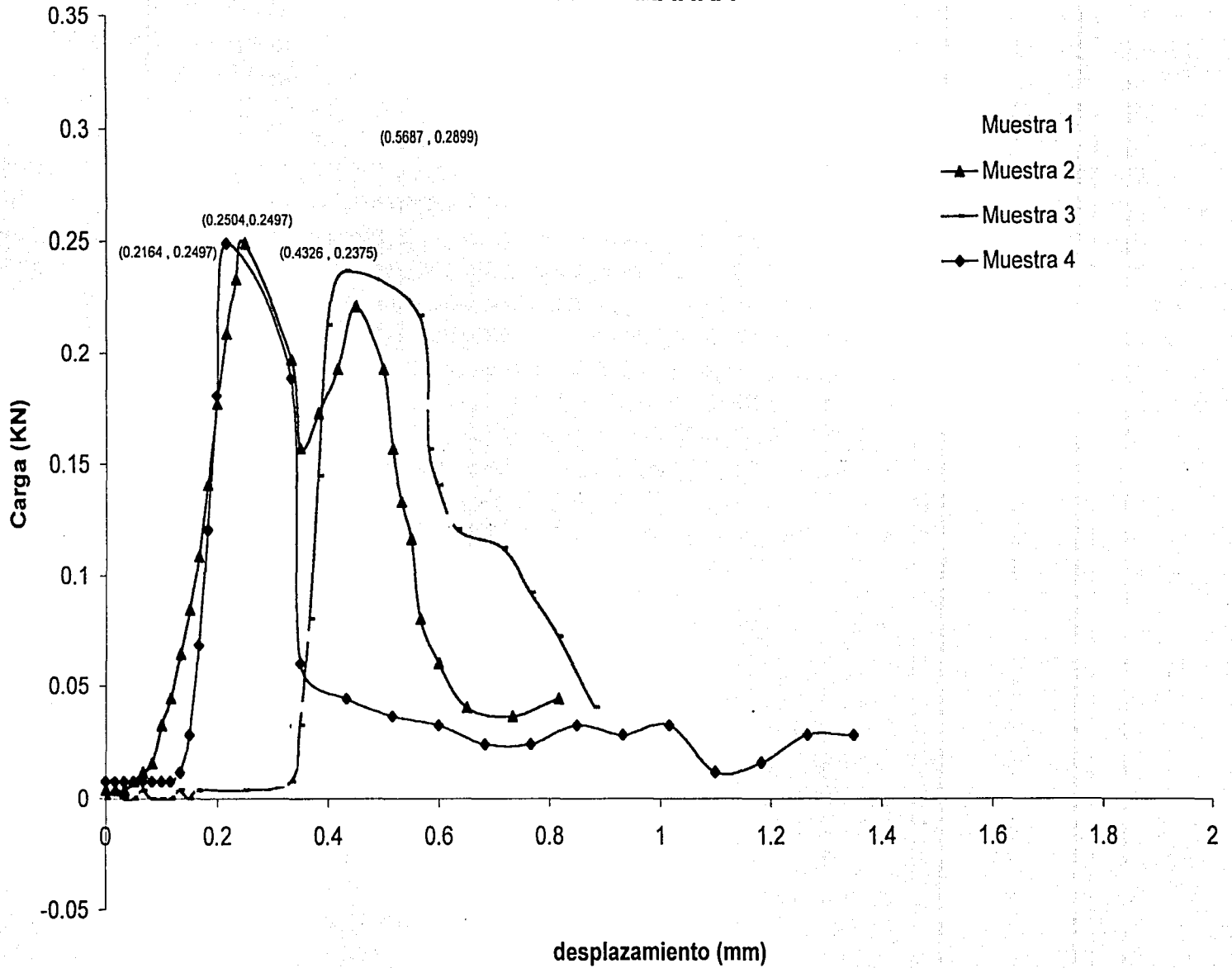
Se realizaron un total de dieciséis experimentos de compresión, cada uno con cuatro probetas de iguales dimensiones para los diferentes tipos de cerámica maya como son :

- a) Muna Pizarra.
- b) Pizarra
- c) Ticul Pizarra
- d) Yokat Estriado.

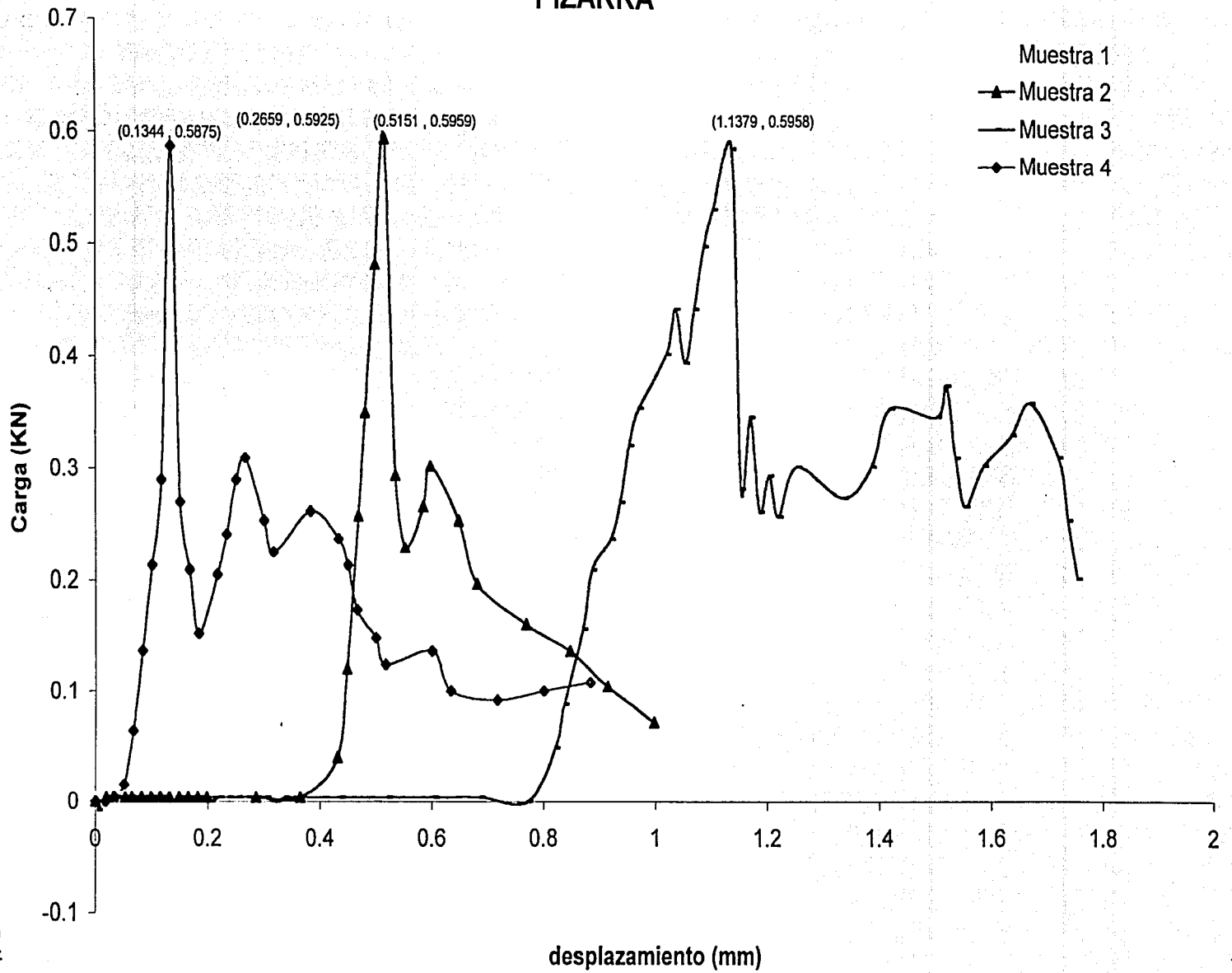
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la prueba de compresión representados gráficamente.

Nota: Los resultados obtenidos a partir de la máquina Instron nos muestran valores de desplazamiento(mm) vs Carga(KN) ,los cuales están dados para cada cerámica Maya acompañados con sus gráficas respectivas. Para ver a detalle los valores correspondientes a las gráficas ver el Anexo III al final del presente trabajo.

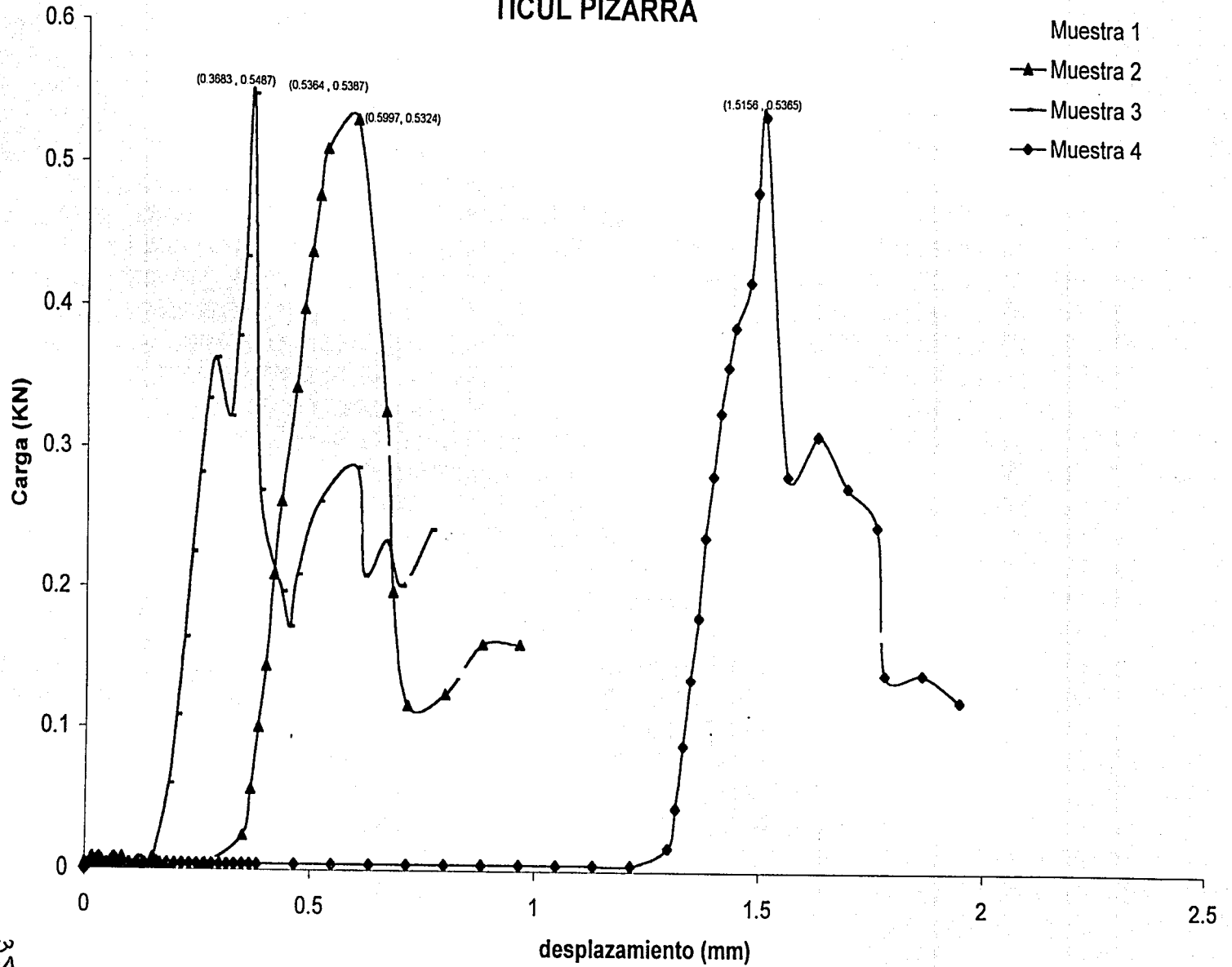
MUNA PIZARRA



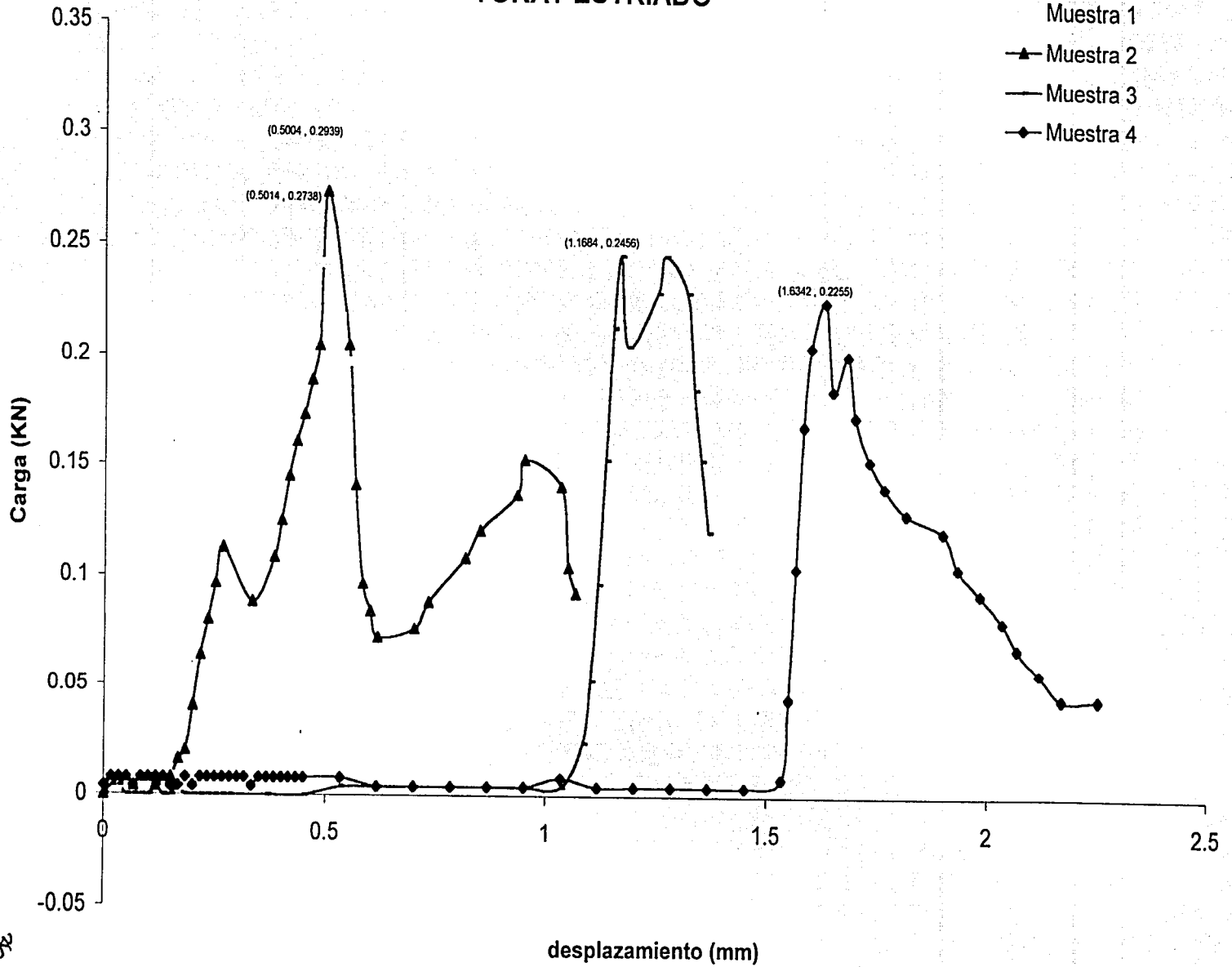
PIZARRA



TICUL PIZARRA



YOKAT ESTRIADO



b) Ensayo de impacto

El objetivo primordial de esta prueba es evaluar la resistencia al impacto, es decir, que tan tenaz es la probeta ante una energía proporcionada por unidad de área, la cual como ya se mencionó, presenta valores muy bajos por tratarse de cerámicas.

Dado que la finalidad de esta prueba es compararla con los resultados obtenidos en los cerámicos actuales, se procedió a realizar la prueba bajo las condiciones similares, las cuales fueron:

- Temperatura ambiente :21 °C
- Atmósfera: 77,326.9737 [KPa] (58 cmhg)
- Humedad : 50%
- Energía proporcionada por el péndulo: 0.341 (J).

Como se mencionó anteriormente la cantidad de material con que se contaba era limitada por lo que se procedió realizar ocho pruebas de impacto (dos para cada tipo de cerámica). Para esta prueba se utilizaron probetas de área transversal de 5mmx5mm y una longitud de 50mm. Debido a la geometría de estas cerámicas.

En la prueba de Charpy para las cerámicas hay un cambio, ya que en ésta el espesor del espécimen puede variar ,lo que se refleja en las unidades de energía que se requiere para la fractura, la cual se expresa por unidad de espesor de la barra de prueba.

$$RI = \frac{E}{e} \left(\frac{J}{m} \right)$$

Donde:

RI = Energía por unidad de longitud o número de Charpy (J/m)

E = Energía transmitida del péndulo a la muestra (obtenidas del aparato) (J)

e = Espesor de la muestra = 5×10^{-3} (m)

En esta prueba se evaluaron ocho piezas con dos probetas para cada tipo de cerámica Maya, lo cual se encuentra referido en las tablas que a continuación se muestran.

MUNA PIZARRA

Probeta	Grados	Energía(J)	Energía por unidad de longitud (J/m)
1	4	0.00667	1.334
2	4	0.00667	1.334
Promedio			1.334

PIZARRA

Probeta	Grados	Energía(J)	Energía por unidad de longitud (J/m)
1	10	0.04154	8.308
2	9	0.03365	6.73
Promedio			7.519

TICUL PIZARRA

Probeta	Grados	Energía(J)	Energía por unidad de longitud (J/m)
1	6	0.01497	2.994
2	10	0.04154	8.308
Promedio			5.651

YOKAT ESTRIADO

Probeta	Grados	Energía(J)	Energía por unidad de longitud (J/m)
1	8	.0266	5.32
2	7	.02036	4.072
Promedio			4.696

c) Porosidad.

Al estar haciendo una comparación entre las cerámicas prehispánicas y las actuales, la evaluación de la porosidad nos proporciona una información palpable de las posibles diferencias entre ambas, además, de comprobar la hipótesis planteada en este trabajo. La cantidad de poros afecta en forma directa las propiedades mecánicas de cualquier cerámica, dado que los poros actúan como concentradores de esfuerzo.

Esta prueba de porosidad se llevó a cabo bajo el siguiente procedimiento:

Se manejaron piezas de iguales características, las cuales se clasificaron de acuerdo al tipo de cerámica Maya, para poder obtener los pesos de las cerámicas antes y después de sumergir cada pieza en agua a condiciones normales durante un tiempo de 24 hrs. (tiempo que se considera suficiente para que el líquido sature los poros presentes del material) para obtener un aumento en peso de las probetas.

Respecto al volumen suspendido, se llevó a cabo tomando como referencia el Principio de Arquímedes⁵, donde el volumen desplazado, se calculó con ayuda de una bureta, en la cual se vertieron 50 ml de agua (0.05 Kg.).

5. Ley física que establece que cuando un objeto se sumerge total o parcialmente en un líquido, éste experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del líquido desalojado.

Posteriormente se colocó dentro de la bureta con el fluido una muestra de cerámica, observándose un incremento de mililitros en la bureta la cual se registro, para poder obtener el volumen suspendido. Este volumen se calculó haciendo una diferencia entre los mililitros antes de introducir la pieza y después de introducir la pieza y finalmente se convirtió ésta diferencia a gramos.

En esta prueba se evaluaron 12 experimentos, esto se encuentran referidos en las tablas que a continuación se muestran:

Tipo de Cerámica **MUNA PIZARRA**
 Fluido Utilizado: **Agua.**
 Tiempo de permanencia en el fluido **24 hrs.**

MUESTRA(No)	PESO INICIAL (gr)	PESO SUSPENDIDO(gr)	PESO FINAL(gr)	INCREMENTO (%)
1	1.088	0.588	1.1176	5.589
2	1.093	0.4166	1.111	2.5
3	1.138	0.4545	1.1818	6.02
Promedio				4.703

Tipo de Cerámica: **PIZARRA**
 Fluido Utilizado: **Agua.**
 Tiempo de permanencia en el fluido **24 hrs.**

MUESTRA(No)	PESO INICIAL (gr)	PESO SUSPENDIDO(gr)	PESO FINAL(gr)	INCREMENTO (%)
1	1.115	0.4545	1.121	0.8187
2	0.962	0.5813	0.968	1.5115
3	1.085	0.568	1.090	0.957
Promedio				1.109

Tipo de Cerámica: **TICUL PIZARRA**
 Fluido Utilizado: **Agua.**
 Tiempo de permanencia en el fluido **24 hrs.**

MUESTRA(No)	PESO INICIAL (gr)	PESO SUSPENDIDO(gr)	PESO FINAL(gr)	INCREMENTO (%)
1	1.046	0.625	1.0625	3.77
2	1.0434	0.5882	1.0588	3.27
Promedio				3.52

Tipo de Cerámica: **YOKAT ESTRIADO**
 Fluido Utilizado: **Agua.**
 Tiempo de permanencia en el fluido **24 hrs.**

MUESTRA(No)	PESO INICIAL (gr)	PESO SUSPENDIDO(gr)	PESO FINAL(gr)	INCREMENTO (%)
1	1.0348	0.909	1.04	3.96
2	1.0476	1	1.05	4.8
Promedio				4.35

Tipo de Cerámica: **ACTUAL**
 Fluido Utilizado: **Agua.**
 Tiempo de permanencia en el fluido **24 hrs.**

MUESTRA(No)	PESO INICIAL (gr)	PESO SUSPENDIDO(gr)	PESO FINAL(gr)	INCREMENTO (%)
1	0.80	0.0	0.9	11.11
2	0.20	0.0	0.23	13.04
Promedio				12.075

Propiedades elásticas vs Porosidad

Un grupo de propiedades interesantes a analizar son la relación de las propiedades mecánicas de los materiales cerámicos vs la porosidad, ya que después del tratamiento térmico que se desarrolla en la cerámica, se genera porosidad no deseada que se ve reflejada en las propiedades mecánicas del material, no importando el tipo de cerámica en cuestión. Una forma de comprobarlo es de la siguiente forma:

El modulo de elasticidad "E" disminuye conforme el volumen de porosidad aumenta[2], esto es:

$$E = E_0(1 - 1.9P + 0.9P^2) \quad (\text{MPa})$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad.

E₀ = Módulo de elasticidad del material no poroso.

P = Volumen de porosidad.

Nota: Se consideró E_0 como constante debido a que este valor es constante para todas las cerámicas.

El volumen de porosidad es obtenido como la diferencia de la cantidad de Peso saturado de la cerámica y el peso inicial de la cerámica.

MUNA PIZARRA					
Muestra	Peso inicial(gr) W_{se}	Peso suspendido(gr) W_{su}	Peso saturado(gr) W_{sa}	Volumen de poros	Modulo de elasticidad E(Mpa)
1	1.088	0.588	1.118	0.030	0.945
2	1.093	0.417	1.111	0.018	0.966
3	1.138	0.455	1.182	0.044	0.919

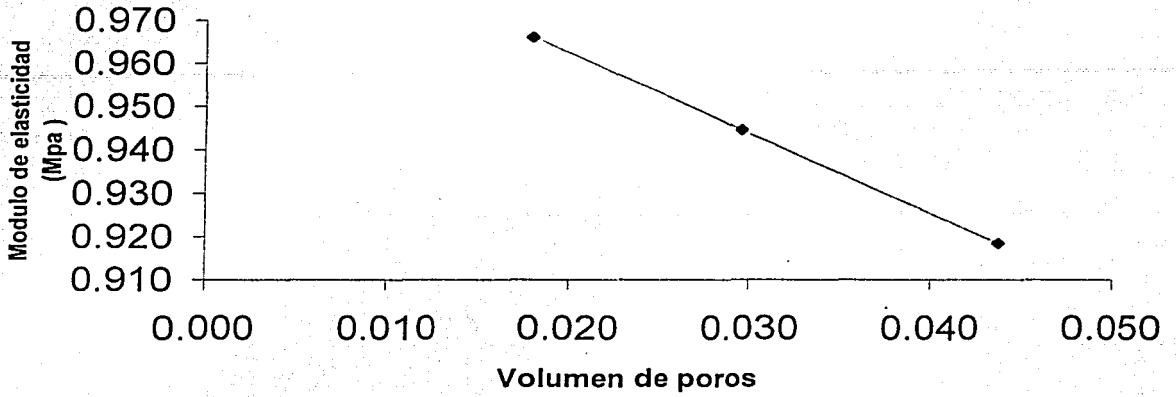
PIZARRA					
Muestra	Peso inicial(gr) W_{se}	Peso suspendido(gr) W_{su}	Peso saturado(gr) W_{sa}	Volumen de poros	Modulo de elasticidad E(Mpa)
1	1.115	0.455	1.121	0.006	0.9886324
2	0.962	0.581	0.968	0.006	0.9886324
3	1.085	0.568	1.090	0.005	0.9905225

TICUL PIZARRA					
Muestra	Peso inicial(gr) W_{se}	Peso suspendido(gr) W_{su}	Peso saturado(gr) W_{sa}	Volumen de poros	Modulo de elasticidad E(Mpa)
1	1.046	0.625	1.063	0.017	0.968895025
2	1.043	0.588	1.059	0.015	0.970953444

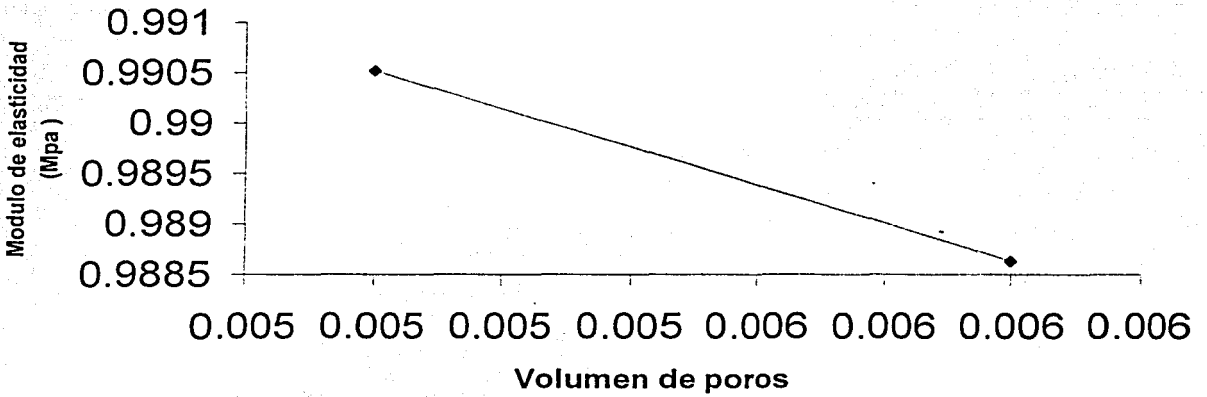
YOKAT ESTRIADO					
Muestra	Peso inicial(gr) W_{se}	Peso suspendido(gr) W_{su}	Peso saturado(gr) W_{sa}	Volumen de poros	Modulo de elasticidad E(Mpa)
1	1.035	0.909	1.040	0.005	0.990144336
2	1.048	1.000	1.050	0.002	0.995445184

Resultados del Modulo de elasticidad en función del volumen de poros.

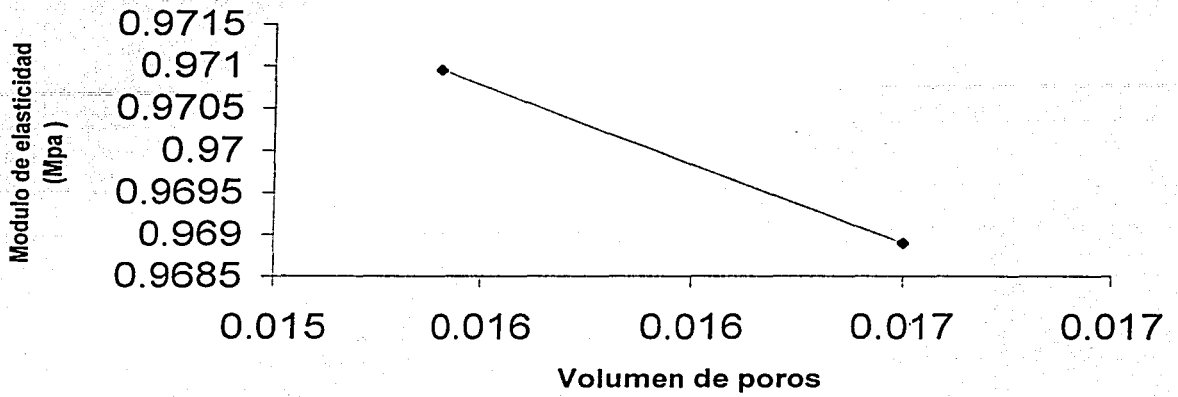
MUNA PIZARRA



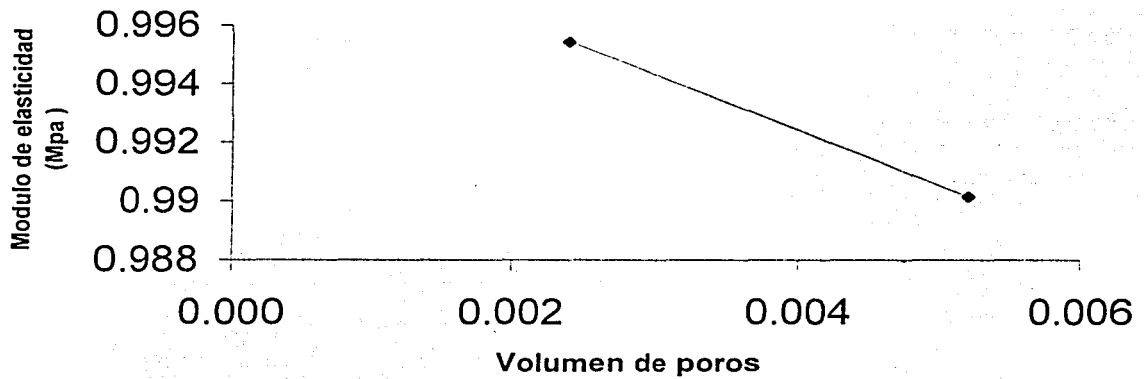
PIZARRA



TICUL PIZARRA



YOKAT ESTRIADO



IV) ANÁLISIS DE RESULTADOS

a) COMPRESIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en la parte de caracterización, se tienen los siguientes valores del ensayo de compresión de los diferentes tipos de cerámica Maya:

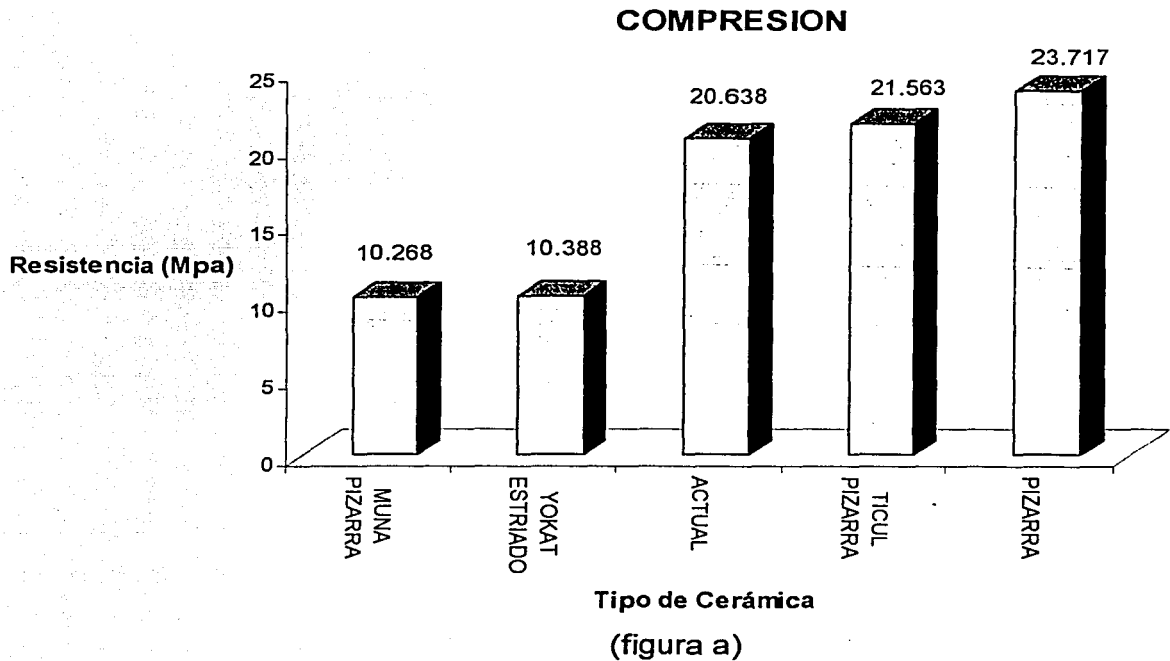
MUNA PIZARRA		
Muestra	Carga Máxima (KN)	Resistencia(Mpa)
1	0.2899	11.596
2	0.2497	9.988
3	0.2375	9.5
4	0.2497	9.988
Promedio	0.25867	10.268
PIZARRA		
Muestra	Carga Máxima (KN)	Resistencia(Mpa)
1	0.5925	23.7
2	0.5959	23.836
3	0.5958	23.832
4	0.5875	23.5
Promedio	0.592925	23.717
TICUL PIZARRA		
Muestra	Carga Máxima (KN)	Resistencia(Mpa)
1	0.5387	21.548
2	0.5324	21.296
3	0.5487	21.948
4	0.5365	21.46
Promedio	0.539075	21.563
YOKAT ESTRIADO		
Muestra	Carga Máxima (KN)	Resistencia(Mpa)
1	0.2939	11.756
2	0.2738	10.952
3	0.2456	9.824
4	0.2255	9.02
Promedio	0.2597	10.388

CERÁMICA ACTUAL	
Muestra	Resistencia(Mpa)
1	19.19
2	15.59
3	20.92
4	22.56
5	21.95
6	23.39
7	19.69
8	26.47
9	22.77
10	19.28
11	24
12	19.28
13	16
14	18.67
15	20.72
16	19.49
17	19.9
18	21.54
Promedio	20.638

Haciendo una comparación entre los promedios de estas cerámicas Mayas, la cerámica Pizarra es la mas resistente seguida de las cerámicas Ticul Pizarra, Yokat y Muna respectivamente. Esto parece confirmar la hipótesis de la presencia de materia orgánica en su interior, la cual actúa como un amortiguador y absorbe la posible deficiencia de los poros internos de las probetas, haciendo un poco más dúctil este tipo de cerámicas, caso contrario al que ocurre con las cerámicas Yokat y Muna.

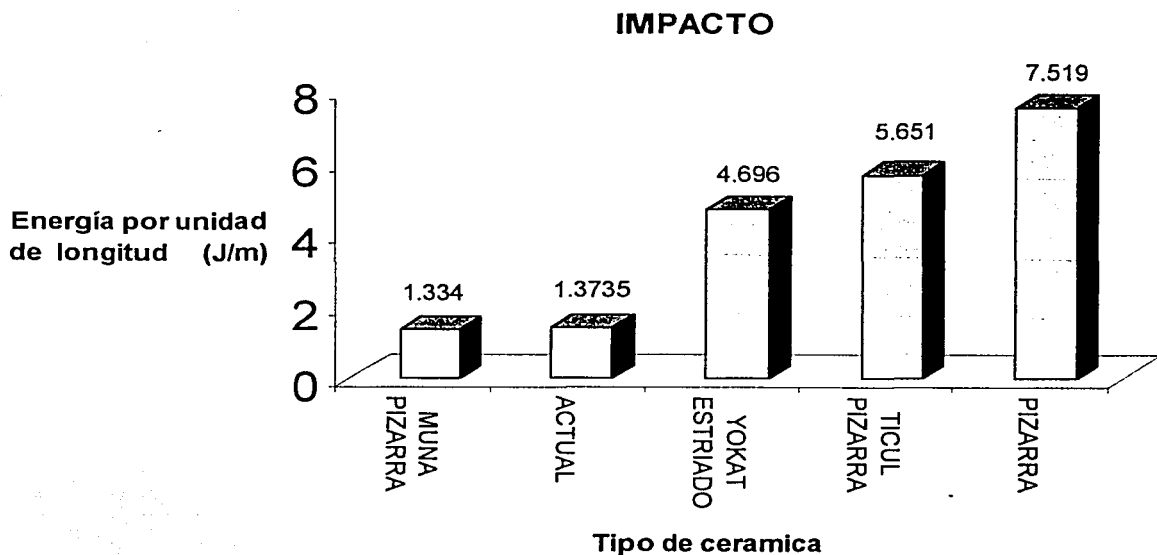
Al estar cubiertas las porosidades de materia orgánica, se reduce el riesgo de formación y crecimiento de grietas, es decir se reducen los concentradores de esfuerzo, lo que permite aumentar sustancialmente la resistencia mecánica de estas cerámicas.

La resistencia que presentan las cerámicas "Pizarra" y "Ticul Pizarra", es superior en magnitud en comparación con las cerámicas Yokat, Muna y actual, lo cual se puede evidenciar en la gráfica siguiente:



b) IMPACTO

En lo que se refiere al ensayo de impacto se observa que las cerámicas Pizarra y Ticul Pizarra resultaron ser más resistentes al impacto con relación a las cerámicas Yokat ,Muna y Actual respectivamente , esto confirma la presencia de algún tipo de materia orgánica en las dos primeras .Se propone el que dicha materia orgánica rodea las partículas frágiles del cerámico que actúa como una matriz suave y tenaz que origina que la cerámica sea mas dúctil y por ende que presente una mayor energía absorbida.

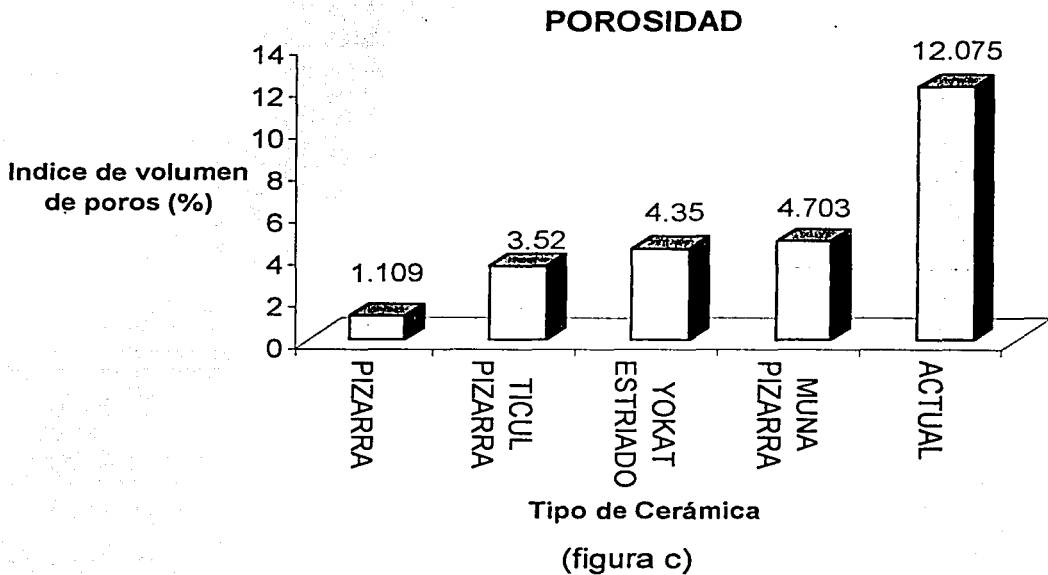


(figura b)

c) POROSIDAD.

La porosidad en los materiales cerámicos afecta directamente sus propiedades mecánicas, a su vez es un factor importante en la permeabilidad del material.

De los valores obtenidos del ensayo de porosidad de las cerámicas Maya y actual del capítulo III se muestra la siguiente gráfica:



En la gráfica se muestra la gran diferencia de porcentaje de poros entre la cerámica Actual y las cerámica Pizarra, lo que demuestra la casi nula cantidad de materia orgánica en la primera.

Por otro lado se puede observar que las cerámicas Muna y Yokat presentan una mayor cantidad de poros, en relación a la cerámica Pizarra. Considerando éste hecho junto con los bajos valores de resistencia a la compresión y baja resistencia al impacto que presentaron las cerámicas Muna y Yokat se puede concluir que éstas no tienen materia orgánica.

V) CONCLUSIONES

En los diferentes ensayos (compresión, impacto y porosidad) al llevar acabo la comparación de los resultados obtenidos entre las cerámicas prehispánicas y las cerámicas actuales, las cerámicas prehispánicas presentaron mejores valores en las diferentes pruebas mecánicas, por lo que se concluye, que el primer tipo de cerámicas presentan materia orgánica como agente principal del aumento de las propiedades mecánicas, esto es debido a que la materia orgánica reduce la cantidad de poros y provoca que las cerámicas tengan una mayor absorción de energía, lo cual hace un material mas compacto y dúctil.

En lo que se refiere a la comparación de las propiedades mecánicas de los cuatro tipos de cerámica Maya (Pizarra, Ticul Pizarra, Yokat y Muna) se encontró que las cerámicas Pizarra y Ticul Pizarra presentaron un mejor comportamiento, con lo que se puede decir, que las cerámicas Pizarra y Ticul Pizarra presentan materia orgánica, caso contrario de las cerámicas Yokat y Muna.

En resumen, la inmersión materia orgánica es una adecuada alternativa para producir una mejora de las propiedades mecánicas a un menor costo, además de proporcionar un mejor acabado superficial con un tono brillante a simple vista, lo que se propone como un método alternativo para nuestro país.

Dentro de los trabajos a futuro que se pueden llevar a cabo a partir de este trabajo, es determinar la temperatura de cocción de este tipo de cerámicas, por medio de una prueba de dilatometría, además de experimentar con diferentes tipos de materia orgánica que puedan aproximar las propiedades de la cerámica pizarra.

Como recomendaciones podemos mencionar por un lado, la utilización de cera de abeja o resinas como materia orgánica y por el otro, la aplicación del recubrimiento orgánico cuando la cerámica se encuentre caliente, para así favorecer la penetración del material fundido en el interior de la cerámica y sobre la superficie del mismo.

VI) APLICACIONES FUTURAS

Con esto se puede afirmar que la inmersión de materia orgánica en los cerámicos puede ser en este momento un método factible de bajo costo de aplicar, lo que constituye una alternativa que puede ser tomada en cuenta con relación al costo y a las posibles aplicaciones. Dentro de las posibles aplicaciones que se pueden obtener se destacan los casos en los cuales los materiales están expuestos a condiciones de humedad relativamente alta y a esfuerzos de compresión. Dichas aplicaciones se señalan a continuación:

En artículos donde sea requerida una buena impermeabilidad y una buena resistencia a la compresión como pueden ser:

- **Materiales de construcción:** Como pueden ser ladrillos, tejas, columnas, bloques cerámicos, etc.,
- **Conservación de osamentas:** Actualmente en los museos de nuestro país son expuestas distintas osamentas de animales prehistóricos y restos humanos. Estas se encuentran expuestas a condiciones de cambios de temperatura y polvo, lo cual va deteriorando con el tiempo estos restos, sin embargo, con un recubrimiento de materia orgánica es posible conservarlos de una forma natural, durante más tiempo.

- Cerámica decorativa y utilitaria: Se pueden obtener cerámicas decorativas para el hogar con propiedades mecánicas mejoradas y con un buen acabado superficial al tacto, con costos relativamente bajos como son: floreros, macetas, lámparas, veleros, platos decorativos, etc.,
- Cerámicos contenedores de líquidos: Para este tipo de accesorios se requiere que estos sean impermeables para evitar que el fluido se trasmine. Una alternativa para obtener esta propiedad es un recubrimiento de materia orgánica para evitar este problema.

VI) BIBLIOGRAFÍA

1. Pineda Beltrán Karina , **"Modificación de propiedades mecánicas de materiales cerámicos"** ,Tesis Profesional ,Ing. Industrial F.I., U.N.A.M. México ed. del autor,1999.
Asesor:Dr.Arturo Barba Pingarrón.
2. William D. Calister Jr. , **"Ciencia e Ingeniería de los Materiales"** , Edit. Reverte,3^a Ed. 1998.
3. Smith, Robert E. , **"The Pottery of Mayapan"** , Papers of the Peabody Museum vol. 66, Harvard University. ,1971.
4. Brainerd, George W. , **"The archaeological ceramics of Yucatan"** , University of California, Archaeological Record, No. 19 Berkeley and Los Angeles, 1958.
5. Chung, Heajoo , **"Análisis tipológico y petrográfico de la cerámica de Chichén Itzá"** , Yucatán ,Tesis de Licenciatura de la ENAH, manuscrito ,1993.
Asesor : Dr. Luis Barba Pingarrón.
6. Andrews, Anthony P., y Fernando Robles C. , **"Chichén Itzá and Cobá: an Itza-Maya Stand off in Early Postclassic, Yucatan"** Lowland Maya Postclassic" , University of Texas Press, Austin,1985, pp 62-72.
7. Simmons, Michael P y Gerald F. Brem , **"The Analysis and Distribution of volcanic ash tempered pottery in Maya area"** , en American Antiquity, vol.44, No. 1, 1965, pp 79-91 .

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

GLOSARIO

MINERAL

Es un objeto sólido, natural, inorgánico, cuyas características físicas y químicas son definidas y constantes. El término mineral tiene dos significados: uno científico y uno industrial.

a. *Punto de vista científico*, en este contexto se establece que un mineral, tal como ya se mencionó, es un cuerpo homogéneo que tiene la misma composición química en todas sus partes y con características físicas: estructura atómica, comportamiento óptico, etc., bien definidas e "individualizables", esto se presenta con frecuencia en los: cristales (especímenes de estructura geométrica).

b. *Punto de vista industrial*, se considera, la mayoría de las veces, que mineral es todo aquello del que se puede "extraer de una mina con una cierta utilidad, refiriéndose particularmente a los minerales metalíferos (cobre, hierro, estaño, etc.), con excepción de las piedras preciosas. El mineral no tiene necesariamente la misma composición en todos sus puntos e incluso tiene, a menudo, composición muy variada, debido a la presencia de huéspedes inútiles que constituyen la ganga. La riqueza es el contenido utilizable de mineral o de metal".

ARCILLA

Las arcillas se derivan de los feldespatos, tales como el granito. Este grupo de minerales tienen la fórmula $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$. Según las condiciones en que se encuentren, dan lugar a los diferentes tipos de arcillas, por ejemplo: el agua (H_2O) y el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, descomponen al feldespato en sílice (SiO_2), óxidos de aluminio (Al_2O_3) y carbonato de potasio (K_2CO_3), el cual se elimina por disolución. El sílice y la alúmina al combinarse con el agua forman la caolinita cuya fórmula es: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Se clasifican en arcillas limosas, que son aquellas en que se encuentran las partículas más cuarzosas, y en arcillas finas, con una granulometría más reducida.

Su tamaño de partícula oscila entre las $4\mu m$ y $62\mu m$, aunque puede ser menor. Se le considera como un agente mineral terroso que se compone de silicatos de aluminio hidratados. Presenta tres estados estructurales, principalmente, los cuales son:

- *Plástico*, cuando está suficientemente pulverizado y humedecido.
- *Rígido*, en el momento en que está seco.
- *Vitreo*, cuando se calcina a temperaturas lo suficientemente elevadas.

Básicamente, está constituida por:

Arcilla:

Grupo cristalino

- Grupo de caolín
- Grupo de la montmorillonita
- Grupo de illita
- Grupo de attapulgita

Grupo no cristalino

- Grupo de la alofana

APATITA

Fluorofosfato de calcio o clorofosfato de calcio, incoloro, blanquecino o coloreado por diversos colores, esto a causa de las impurezas. Su sistema cristalino es el hexagonal. Se le puede encontrar en forma de cristales en pegmatitas, en vetas hidrotermales en los Alpes y en algunos yacimientos metalíferos en nuestro país (México).

CALCITA <CaCO₃>

Carbonato de calcio cristalizado de estructura trigonal. Puede ser incoloro, blanco o coloreado, esto último por la presencia de hierro o manganeso. Las formas más comunes en que se le encuentran son la romboédrica, escalenoédrica o prismática. Bajo la acción del ácido clorhídrico emite una constante efervescencia, lo cual permite distinguirla de otros minerales blancos con los que se suele confundir, tales como: la baritina, fluorita y cuarzo.

Los cristales puros se utilizan para la construcción de prismas polarizadores para el funcionamiento de los microscopios de mineralogía. Como masa compacta, se utiliza en la industria de la construcción (cemento, cal, piedras y piedras ornamentales), en metalurgia se usa como fundente y escorificante, asimismo, las masas de rocas sueltas se utilizan como elementos para pulir y como material de carga en la industria de la goma y en la fabricación de barnices.

CAOLÍN

Roca compuesta de caolinita y otros minerales de su grupo, de color generalmente blanco o gris claro. Se emplea en la elaboración de cerámicas y porcelanas.

CAOLINITA $\{Al_4 [(OH)_8/Si_4O_{10}]\}$

Silicato básico de aluminio; es de color blanco cuando está puro. Aunque generalmente su color depende de las impurezas presentes, éste varía desde el gris amarillento hasta el castaño. Presenta un sistema cristalino tipo monoclinico o triclinico. Se forma por alteración de los feldespatos, debida a las aguas termales. Es un componente muy importante de la arcilla, de ahí que sea muy empleada en la industria de las porcelanas.

DOLOMITA {CaMg(CO₃)₂}

Después de la calcita, es el carbonato más común en la corteza terrestre ya que es un constituyente fundamental de las rocas sedimentarias carbonatadas formadas. Su estructura cristalina es trigonal. Comúnmente se presenta en cristales rombododecaédricos, incoloros o transparentes, de color blanco, rosa o amarillo. Se puede encontrar en bellos cristales en los yacimientos metalíferos con cobre nativo.

FELDESPATOS {(K,Na)₂O Al₂O₃ 6SiO₂}

Son silicatos de aluminio con potasio, sodio, calcio y bario. Su estructura cristalina puede ser monoclinica o triclinica. Los más importantes son los potásicos, tales como la ortoclasa que se muestra en la figura. Están muy difundidos sobre todo en las rocas ígneas y metamórficas, así como en algunas areniscas.

MALAQUITA {Cu₂ [(OH)₂CO₃]}

Carbonato básico de cobre, cuya estructura cristalina es monoclinica. Tiene un bello color verde, se presenta generalmente en masas fibrosas y en costras de finas gujas y estalactitas. Es muy empleada como piedra decorativa en forma de lámina pulida. También, fue usada para la fabricación de colorantes inorgánicos, conocido como verde montano.

ROCAS ÍGNEAS

Estas rocas se forman cuando el magma líquido del manto superior sube hasta la corteza terrestre donde se enfría y solidifica, ejemplo de ello son la lava fría y el granito. Existen dos tipos de rocas ígneas:

Rocas íntusivas. Solidifican en el interior de la corteza terrestre y solo aparecen en la superficie después de que las rocas de la capa superior han sido erosionadas.

Rocas efusivas o volcánicas. Son formadas por la actividad volcánica, cuando el magma que sale a la superficie durante una erupción en forma de lava, se enfría y solidifica.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas desmoronadas por efecto de la erosión se dividen en pequeños trozos de rocas y minerales, éstas junto con restos de seres vivos forman el llamado sedimento, el cual es llevado hasta un nuevo lugar como laderas de ríos o al mar. Los sedimentos son depositados en un lecho en el cual son enterrados y aglutinados por la acción del agua. Después de un tiempo, las partículas se unen para formar nuevas rocas, a estas últimas se les conoce como rocas sedimentarias, tales como: las tierras arenosas, las pizarras arcillosas, las piedras calizas y la sal.

ROCAS METAMORFICAS

Son formadas a partir de las rocas ígneas y/o sedimentarias transformadas por el calor, la presión o por líquidos o gases que se filtran a través de ellas, por ejemplo el mármol, gneis y esquistos (por ejemplo el calcáreo del cual se obtienen mármoles muy costos).

A N E X O I

NORMAS DE PREPARACIÓN DE PROBETAS

Norma ASTM (American Society for Testing of Materials):
C 773-88 (año 1993)

“Método de Prueba Standard para Resistencia a la
Compresión de Materiales Cerámicos Cocidos”.

1 Aplicación

- 1.1 Este método abarca dos procedimientos de prueba (A y B), para la determinación de la resistencia a la compresión de materiales cerámicos cocidos.
- 1.2 El método A es generalmente aplicable a productos cerámicos de niveles de resistencia bajos hasta los moderadamente altos, es decir, hasta 100 000 psi o 690 Mpa.
- 1.3 El método B es utilizado específicamente, para examinar cerámicas de alta resistencia, arriba de los 150 000 psi o 1030 Mpa.

2 Documentos de referencia

- 2.1 ASTM Standards:
 - E4 Verificación de Máquinas de Prueba.
 - E6 Definiciones de Términos Relacionados con Métodos de Ensayos Mecánicos.
 - E165 Práctica Recomendada para el Método de Inspección de Penetración líquida.

3 Importancia

3.1 La resistencia a la compresión es la determinación de la máxima resistencia de un material cerámico a este tipo de cargas. Idealmente, a los cerámicos debería dárseles más importancia en este uso. Esta prueba es una medida de la utilidad del potencial de tolerancia de carga de un cerámico.

MÉTODO A

4 Aparato

4.1 *Máquina de Prueba.* Puede ser usada cualquier máquina de prueba acorde a los métodos E4 y a los requerimientos de velocidad de prueba señalados en las secciones 9 y 12 de este método.

4.2 *Bloque de Soporte Esférico.* En las máquinas de prueba verticales, el bloque de soporte esférico debe ser suspendido de la cabeza superior de la máquina de manera que la platina superior de la máquina (superficie inferior del bloque de soporte esférico) permanezca en una posición central (superficies esféricas en contacto directo) cuando no ha sido cargada. Las superficies esféricas deberán estar bien lubricadas, y el centro de curvatura deberá descansar sobre la superficie inferior de la platina. La diagonal o diámetro de la platina será ligeramente mayor que la diagonal de 1 1/2 in (38.1 mm) de los bloques de contacto para facilitar el centrado exacto de las muestras.

4.3 *Bloques de contacto.* Deberán ser de acero laminado en frío, se utilizarán entre la muestra de prueba y las platinas de la máquina. Estos bloques serán de 1 1/2 in por 5/8 a 3/4 " (15.9 a 19.1 mm) de ancho, y las caras o superficies paralelas. Los bloques de contacto serán limpiados y re-alisados. Si es necesario, después de cada prueba, se debe cuidar que el grosor permanezca sobre 1/2 " (12.7 mm). Si el bloque de contacto se raja o deforma durante la prueba, deberá ser reemplazado.

4.4 *Cojinetes amortiguadores (almohadillas).* Se emplearán estos dispositivos entre la muestra a examinar y los bloques de contacto para ayudar en la distribución de la carga. Para cada muestra se utilizarán almohadillas nuevas. En la siguiente tabla se muestran los materiales más apropiados para almohadillas, seleccionados de acuerdo al rango de resistencia a la compresión del material que se examina:

Rango de resistencia a la compresión [psi (MPa)]	Almohadilla
5000 a 50 000 incl (34.5 a 345)	Papel absorbente 1/64" (0.4 mm) de espesor
Entre 50 000 y 150 000 incl (345 a 1030)	Acero templado 1/32" (0.8 mm) de espesor con una dureza Rockwell de 65HB máx.

5 Especímenes de prueba

5.1 *Preparación.* La muestra a examinarse será en forma de cilindros rectos. Estos cilindros pueden ser formados y cocidos para el propósito de la prueba de compresión, o bien pueden ser cortados por medio de aserramiento o taladrado. Las orillas de toda muestra deberán ser pulidas para producir caras o superficies planas y paralelas. Estas superficies deberán ser perpendiculares al eje de la muestra y paralelas dentro de 15min de arco (0.044 rad).

5.2 *Tamaño.* El tamaño de la muestra debe no ser mayor del 80% requerido de la capacidad estimada de la máquina de prueba. Esto se muestra en la siguiente tabla:

Esfuerzo máximo a la compresión [psi (MPa)]	Capacidad de la máquina [lb (kN)]					
	10 000 (44)		20 000 (89)		30 000 (134)	
	in	mm	in	mm	in	mm
10 000 (69)	1	25.4	1.43	36.3	1.75	44.4
50 000 (355)	0.45	11.5	0.64	16.3	0.78	19.8
150 000 (1034)	0.26	6.6	0.37	9.4	0.45	11.5

5.3 *Número de muestras.* El número de muestras deberá no ser menor de diez.

6 Procedimiento

- 6.1 *Revisión por coloración.* El teñido de la muestra debe realizarse de acuerdo con el método E165 antes de la prueba. Se deberá descartar cualquier pieza que exhiba rotura o defectos a simple vista.
- 6.2 La muestra a examinar se deberá limpiar con un solvente apropiado después de pulir, a continuación se sumergirá en un baño ultrasónico en una solución de detergente caliente. Después se enjuagará en agua caliente y, se secará a $110 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 4^{\circ}\text{F}$) por dos horas, finalmente se enfriarán a temperatura ambiente en un desecador.
- 6.3 Las probetas deberán centrarse cuidadosamente en la máquina entre los bloques de contacto. Se colocará una protección adecuada alrededor de la muestra para desviar los fragmentos que vuelen al fracturarla.
- 6.4 La carga tendrá que ser aplicada de manera continua y sin chocar con la pieza (ya que esto ocasionará que la pieza falle antes de realizar la prueba), hasta el último fracaso. La carga dependerá de la resistencia a la compresión del material a probarse, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Esfuerzo a la compresión		Diámetro de la probeta		Velocidad de aplicación de la carga	
psi	MPa	in	mm	Lb / min	kN / min
10 000	69	1	25.4	8 000	35
50 000	345	0.64	16.3	16 000	70
150 000	1,034	0.45	11.5	24 000	105

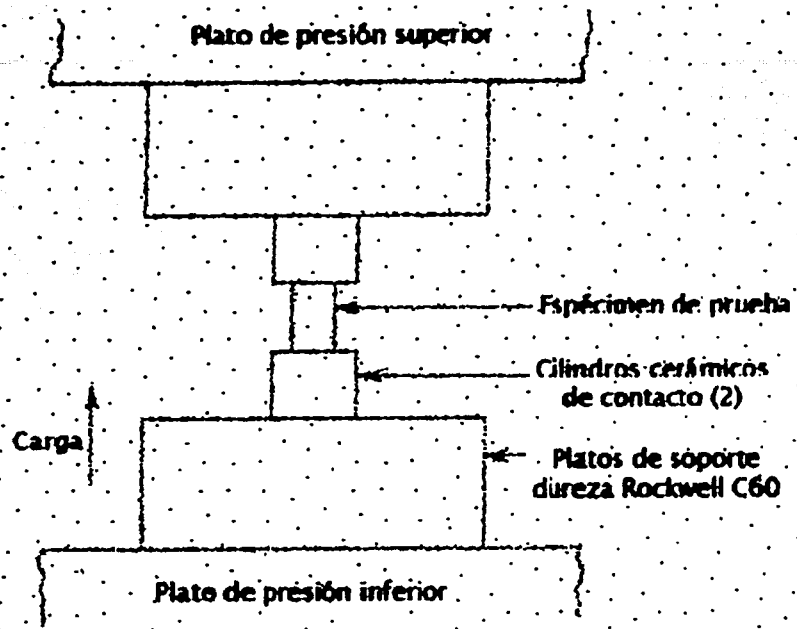


Fig. 1 Aparato para pruebas de compresión.

Norma ASTM: C 368-88 (año1993)

“Método de Prueba Standard para Resistencia al
Impacto de Materiales Cerámicos Cocidos”.

1 Aplicación

1.1 Prueba de impacto de cerámicos sólidos y huecos.

1.2 Prueba de cortante en cerámicos sólidos, los especímenes pueden ser vidriados o no.

2 Significado y uso

2.1 La finalidad de este método es predecir la resistencia ante las cargas de impacto en el servicio.

3 Aparatos

3.1 El aparato para la prueba de impacto es de tipo pendular, el cual está conformado de un dispositivo con las siguientes características:

3.1.1 Una almádana¹ de acero de medida específica y dureza Rockwell C55.

3.1.2 Soporte para la almádana suspendido en “V”.

3.1.3 Prevenir fallas por medio de un disparador fijo, asimismo deberá dar resultados reproducibles independientemente del operario.

3.1.4 Cuidar de tener probetas en las quijadas de resorte frente al soporte metálico rígido.

3.1.5 Micrómetro para mediciones de espesor de probetas que debe dar lecturas de 0.03 mm (0.01 in).

¹ Mazo de hierro que proporciona una energía específica, necesaria para producir el impacto.

4 Probetas de prueba

4.1 Al seleccionar las probetas se cuidará que sean representativas de un lote de muestras existentes. En general, la prueba de impacto deberá ser basada sobre un mínimo de diez probetas y para la prueba de corte se usarán al menos cinco.

4.2 Las probetas serán seleccionadas acústicamente y por defectos físicos obvios antes de las pruebas.

5 Procedimiento para realizar la prueba de impacto en cerámicas sólidas.

5.1 Se monta el tubo cilíndrico mostrado en figura 2 sobre el rebote "C", se coloca de tal forma que los tres baleros colocados al final del tubo cilíndrico estén en contacto y simétricos con respecto a la porción central del espécimen parado sobre el borde del plato. El espécimen puede ser probado con uno u otro (con la cara o el revés del precursor); en general, una falla de bajo valor se obtiene cuando la cara se nivela. El paro del regresador se ajusta pues la cara esférica de la muesca "D" toca justo la superficie del espécimen cuando la muesca está colgando libremente. En este momento se aprietan las dos tuercas de mariposa en la base del regresador.

Nota 1. En esta parte de la prueba el tubo cilíndrico reemplaza el ángulo de agarre, esto se muestra en la figura 2 en posición sobre el rebotador "C".

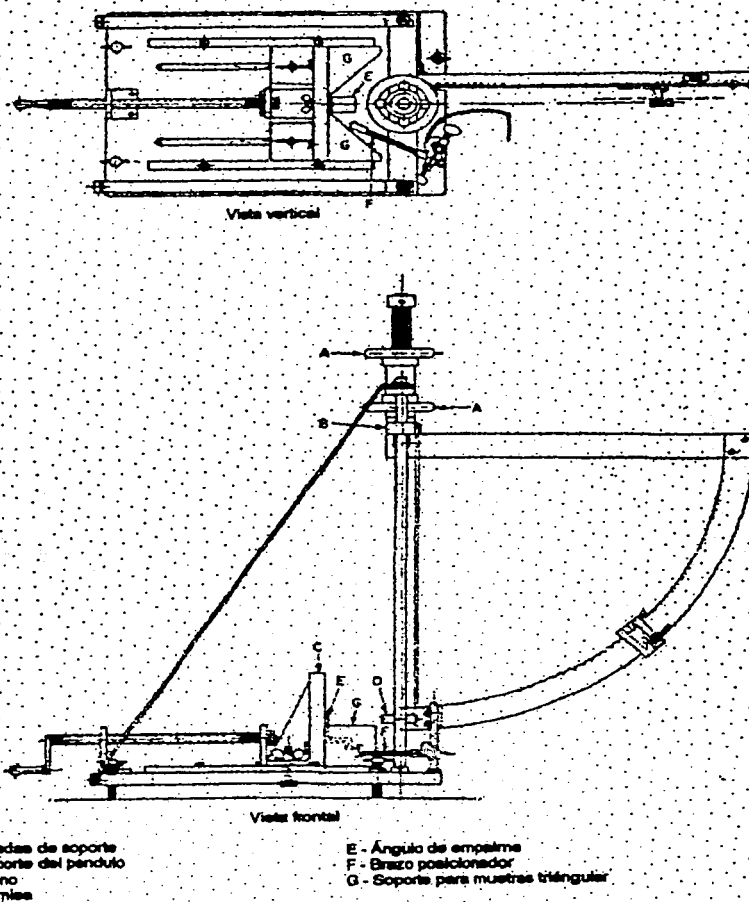


Fig. 2 Aparato para pruebas de impacto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.2 Los brazos posicionadores "F" se ajustan y comprimiéndolos por medio de su llave de chaveta hasta que la orilla de la manga y la pieza coincidan. Los sujetadores de pinzas se ajustan a una posición vertical después de ajustar el espécimen, el péndulo deberá golpear en la misma falla; esto es arriba de la mitad. Los brazos se ajustan a la superficie de la cubierta de goma, en el ángulo correcto esto indica que el vástago tendrá contacto con el arillo de la muestra; la llave de la chaveta se moverá para ajustar la posición de los brazos, sujetando el espécimen nuevamente al tubo cilíndrico. Ajustando nuevamente la barra soporte del péndulo "B" y cerrando en posición por medio de las perillas "A", la muesca deberá golpear al centro del espécimen.

5.3 Con los ajustes preliminares completos, se sujeta el espécimen a un programa de impactos con energías desde 0.027J (0.02 ft lb_f) e incrementos de 0.014J (0.01 ft lb_f) hasta iniciar el agrietamiento, incrementándose después en 0.027J (0.02 ft lb_f) después de esto, hasta la falla.

ANEXO II IMAGENES DE LAS CERÁMICAS MAYA ANALIZADAS.

Fig. 1

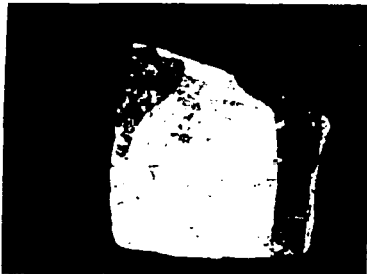
a) Pizarra Chichén de Chichén Itzá
1. acabado brillo metálico



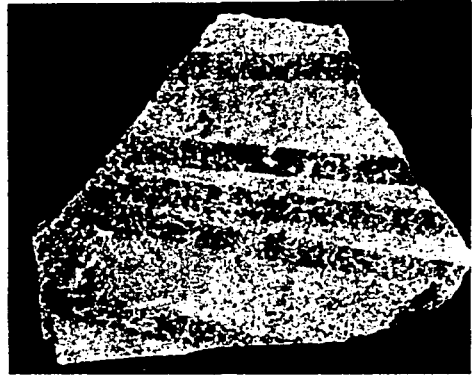
2. recubrimiento ceroso



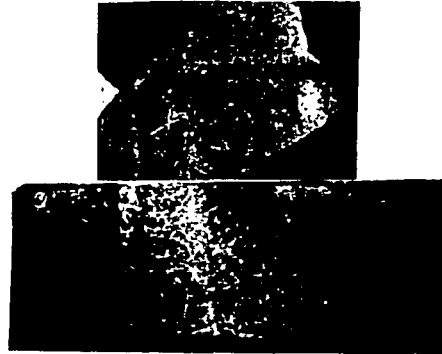
3. no presenta un recubrimiento



b) Pizarra Puuc de Dzibilchaltún
1. pintura sin recubrimiento



2. encima de la pintura se puso recubrimiento



3. se quemó la pintura

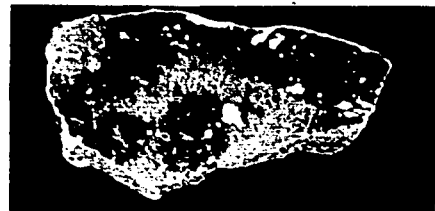


Fig. 2

a) Luz paralela, 160X, Pizarra Chichén de Chichén Itzá
las esquirlas de vidrio y pómez



b) Luz paralela, 160X, Pizarra de Edzná
forma entera de esquirlas de vidrio



Fig. 2

a) Luz paralela, 160X, Pizarra Chichén de Chichén Itzá
las esquirlas de vidrio y pómez



b) Luz paralela, 160X, Pizarra de Edzná
forma entera de esquirlas de vidrio

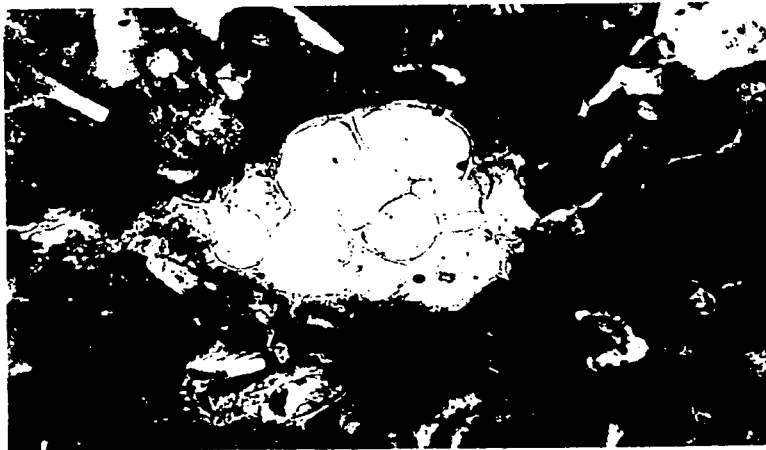


Fig. 3
a) Luz paralela, 600X.
Pizarra no identificada de Chichen Itza
toba volcánica riolítica

b) Luz polarizada, 160X.
Pizarra Chichèn de Chichèn Itza
roca ígnea que tiene plagioclasa

c) Luz polarizada y paralela, 160X.
Pizarra Puuc de Dzibichaitùn
roca volcánica que tiene vidno

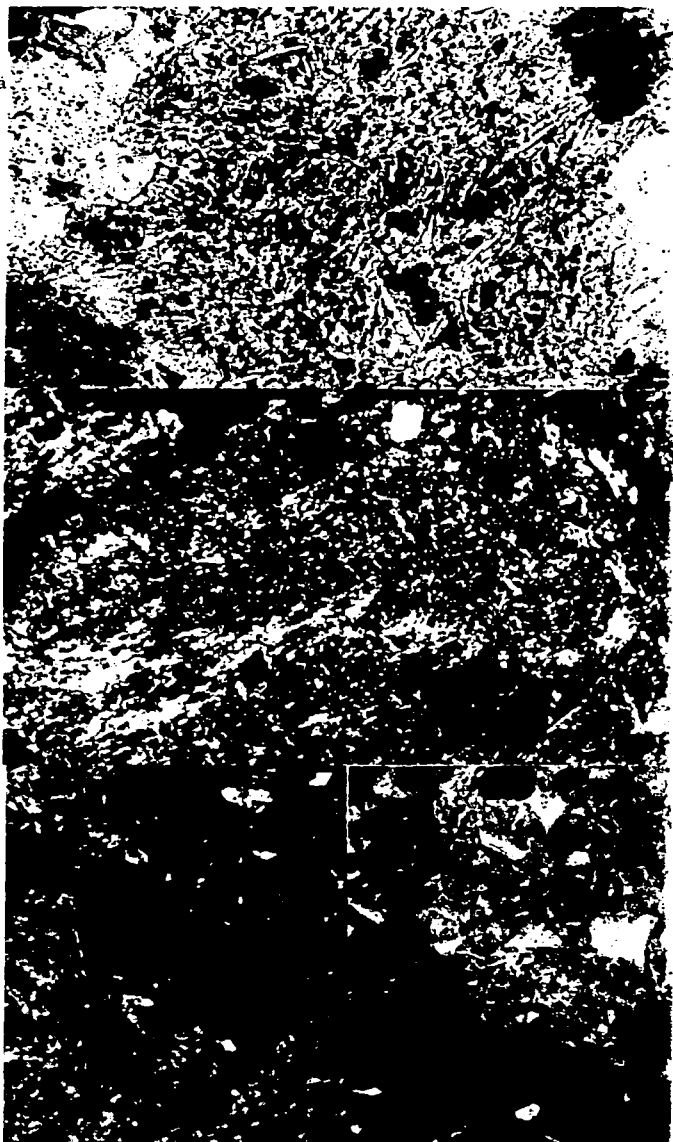
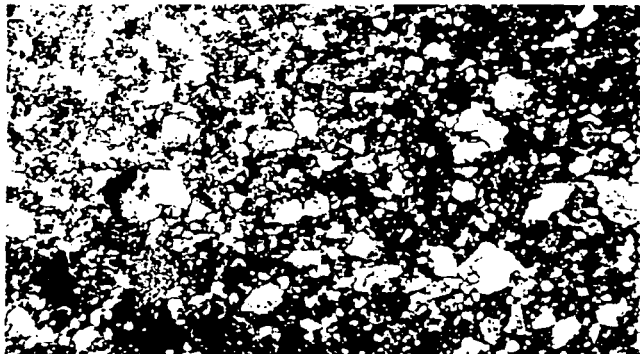


Fig. 4

a) Luz Polarizada, 40X
Pizarra Delgada Ticul
de Edzná,
se aprecia los fragmentos de
caliza y las calcitas



b) Luz polarizada, 40X.
Pizarra Chichén de Chichén Itzá
se observan las esquirlas de vidrio,
cuarzos y grumos de hierro



c) Luz polarizada, 40X.
Pizarra Chichén de Chichén Itzá,
se ven las calcitas, esquirlas de vidrio
y fragmentos de roca.

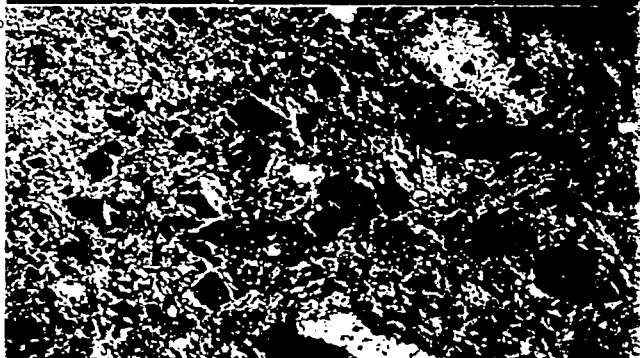
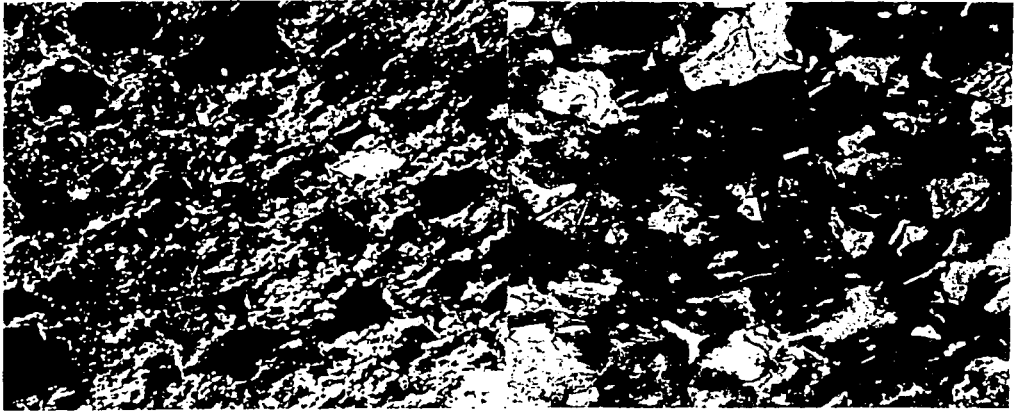


Fig. 5

a) Luz paralela y polarizada, 160X, Pizarra Chichén de Chichén Itzá



b) Luz Polarizada y paralela, 40X, Pizarra Puuc de Dzibichaltún

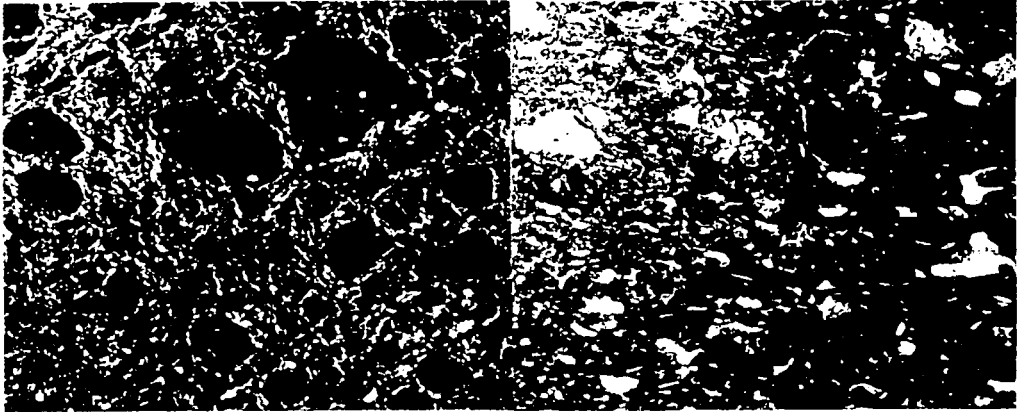
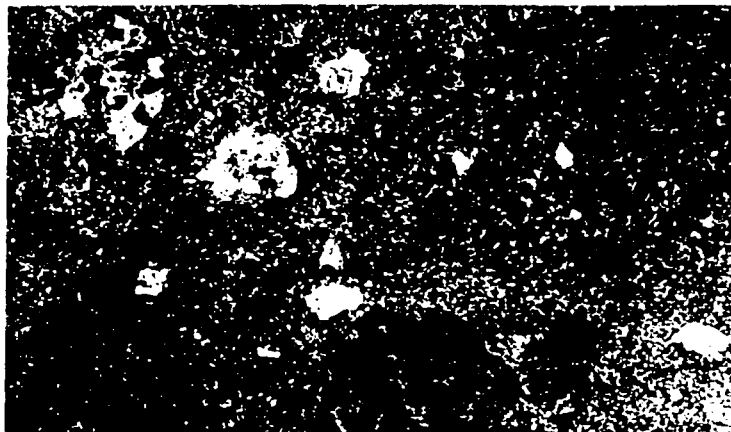


Fig. 6

a) Luz polarizada, 40X, barro de Ticul, Yucatán



b) Luz Polarizada, 40X, barro de Edzná, Campeche.

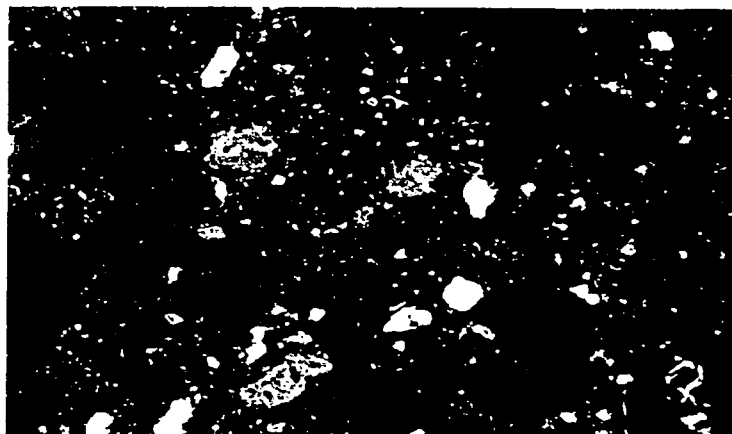
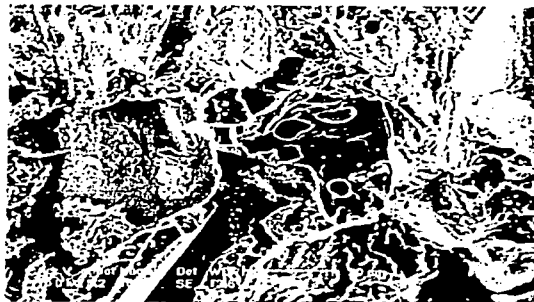


Fig. 7 Fotos de microscopio electrónico de barrido
a) Forma entera de vidrio



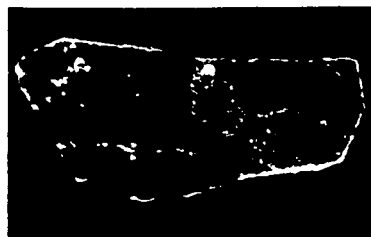
b) Fragmentos de esquirlas de vidrio, se realizaron análisis puntuales.



Fig. 8
a) puntos blancos que tienen calcio
Pizarra no identificada de Chichén Itzá

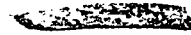


b) ampollas
Pizarra Chichén de Edzná





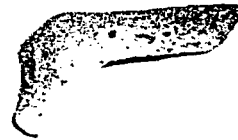
Cerámica Pizarra



Muna Pizarra



Cerámica Yokat Estriado

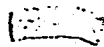


Ticul Pizarra

Fig. 9 Piezas en bruto de las cerámicas Maya en estudio.



a)



b)



c)



d)



e)

Fig. 10 Procedimiento para obtener las probetas de compresión y porosidad.

- a) Pieza en bruto.
- b) Pieza cortada por el disco (pieza irregular).
- c) Corte sobredimensionado.
- d) Acabado de la pieza con lija en forma de paralelepípedo.
- e) Acabado de la pieza con torno en forma cilíndrica (vista superior).

Impacto.

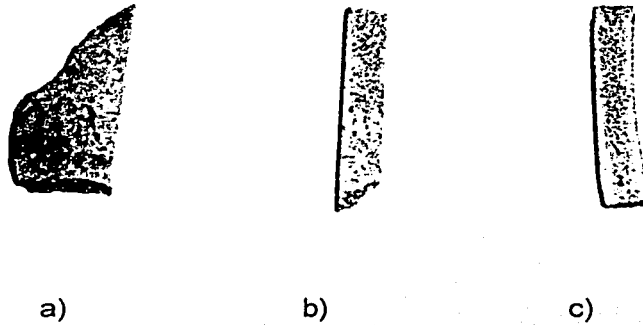


Fig. 11 Procedimiento para obtener las probetas de impacto.

- a) Pieza en bruto.
- b) Pieza cortada por el disco (corte lateral).
- c) Acabado de la pieza en forma de paralelepípedo rectangular (vista lateral).

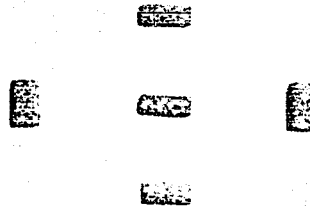


Fig. 12 Probetas empleadas para el ensayo de porosidad.

ANEXO III TABLAS

VALORES DE LA PRUEBA DE COMPRESION.

MUNA PIZARRA

Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
Desplazamiento(mm)	Carga(KN)	Desplazamiento (mm)	Carga(KN)	Desplazamiento(mm)	Carga (KN)	Desplazamiento (mm)	Carga (KN)
0.002032	0.00403	0.000508	0.00403	0	0	0	0.00806
0.018542	0.00806	0.017018	0.00403	0.015748	0.00403	0.01651	0.00806
0.035306	0.00806	0.033782	0.00403	0.032512	0	0.03302	0.00806
0.05207	0.00403	0.050292	0.00806	0.049022	0	0.049784	0.00806
0.06858	0.00806	0.067056	0.012089999	0.065786	0.00403	0.066294	0.00806
0.085344	0.00806	0.08382	0.016109991	0.08255	0	0.083058	0.00806
0.102108	0.00403	0.10033	0.032219982	0.09906	0	0.099822	0.00806
0.118618	0.00403	0.117094	0.044300017	0.115824	0	0.116332	0.00806
0.135382	0.00806	0.133858	0.064429999	0.132588	0.00403	0.133096	0.012089999
0.151892	0.00806	0.150368	0.08456999	0.149098	0	0.149606	0.028189982
0.168656	0.00403	0.167132	0.108730016	0.165862	0.00403	0.16637	0.068459999
0.18542	0.00806	0.183896	0.140939989	0.249174	0.00403	0.183134	0.120810007
0.20193	0.00806	0.200406	0.177180007	0.332486	0.00806	0.199644	0.181210006
0.218694	0.00806	0.21717	0.20938998	0.348996	0.032219982	0.216408	0.249659997
0.235204	0.00806	0.23368	0.23355997	0.36576	0.08053999	0.332994	0.189259997
0.251968	0.00806	0.250444	0.249659997	0.382524	0.144969989	0.349758	0.060410008
0.268478	0.00806	0.333756	0.197309989	0.399034	0.213419979	0.43307	0.044300017
0.285242	0.00806	0.35052	0.15704998	0.432562	0.23754587	0.516382	0.036249981
0.302006	0.00806	0.383794	0.173150007	0.565912	0.217449979	0.599694	0.032219982
0.318516	0.00806	0.417068	0.193289997	0.582422	0.15704998	0.683006	0.02416999
0.33528	0.016109991	0.450342	0.221469971	0.599186	0.140939989	0.766318	0.02416999
0.352044	0.040270017	0.50038	0.193289997	0.63246	0.120810007	0.84963	0.032219982
0.368554	0.072489999	0.517144	0.15704998	0.715772	0.112750007	0.932942	0.028189982
0.385318	0.108730016	0.533654	0.132889998	0.76581	0.092619981	1.016508	0.032219982
0.401828	0.144969989	0.550418	0.116780007	0.815848	0.072489999	1.09982	0.012089999
0.418592	0.173150007	0.567182	0.08053999	0.882396	0.040270017	1.183132	0.016109991
0.435356	0.15301998	0.600456	0.060410008			1.266444	0.028189982
0.451866	0.173150007	0.650494	0.040270017			1.349756	0.028189982
0.46863	0.197309989	0.733806	0.036249981				
0.485394	0.22549997	0.817118	0.044300017				
0.501904	0.245639961						
0.551942	0.273819979						
0.568706	0.289930014						
0.585216	0.177180007						

Muestra 1(continuación)	
Desplazamiento(mm)	Carga(KN)
0.652018	0.14898998
0.701802	0.120810007
0.75184	0.144969989
0.785368	0.165100016
0.851916	0.140939989
0.86868	0.116780007
0.935228	0.132889998
1.00203	0.14898998
1.035304	0.124829998
1.068578	0.108730016
1.15189	0.124829998
1.168654	0.140939989
1.185418	0.161069971
1.201928	0.181210006
1.218692	0.197309989
1.235202	0.213419979
1.26873	0.193289997
1.28524	0.161069971
1.368806	0.14898998
1.452118	0.15704998
1.501902	0.132889998
1.518666	0.108730016
1.55194	0.084569999
1.635252	0.100670016
1.718564	0.104699972
1.801876	0.124829998
1.835404	0.14898998
1.851914	0.165100016

PIZARRA

Muestra 1	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0	0.00403
0.016002	0
0.032512	0.00403
0.049276	0.00403
0.065786	0.00403
0.08255	0.00403
0.099314	0.00403
0.115824	0.00403
0.132588	0.00403
0.149352	0.00403
0.165862	0.01209
0.182626	0.06443
0.19939	0.13691
0.2159	0.22147
0.232664	0.3221399
0.249174	0.4389199
0.265938	0.5925287
0.282702	0.4509999
0.299212	0.3221399
0.315976	0.21342
0.332486	0.20939
0.34925	0.2255
0.366014	0.23356
0.415798	0.18523
0.465836	0.01209
0.549148	0.01209
0.599186	0.04833
0.632714	0.07651
0.699262	0.0443
0.782574	0.06041
0.865886	0.05235
0.949198	0.06443
1.03251	0.06041
1.116076	0.04833
1.199388	0.06846
1.2827	0.05235
1.366012	0.06443
1.399286	0.03625

Muestra 2	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0	0
0.019304	0.00403
0.03175	0.00403
0.052578	0.00403
0.065024	0.00403
0.081788	0.00403
0.098552	0.00403
0.115062	0.00403
0.131826	0.00403
0.14859	0.00403
0.1651	0.00403
0.181864	0.00403
0.198374	0.00403
0.286004	0.00403
0.364998	0.00403
0.4318	0.04027
0.448564	0.12081
0.469392	0.25772
0.481838	0.35033
0.498602	0.4832099
0.515112	0.5959598
0.53594	0.29396
0.552704	0.22953
0.585978	0.26577
0.598424	0.30201
0.648462	0.25369
0.681736	0.19731
0.769366	0.16107
0.84836	0.13691
0.915162	0.1047
0.998474	0.07249

Muestra 3	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.004572	-0.00804999
0.021082	0.00403
0.037846	0.00403
0.05461	0.00403
0.07112	0.00403
0.087884	0.00403
0.104394	0.00403
0.121158	0.00403
0.137922	0
0.154432	0.00403
0.171196	0.00403
0.187706	0.00403
0.20447	0
0.22098	0.00403
0.237744	0.00403
0.254508	0.00403
0.271018	0.00403
0.287782	0.00403
0.304546	0.00403
0.321056	0
0.33782	0.00403
0.354584	0.00403
0.437896	0.00403
0.521208	0.00403
0.60452	0.00403
0.687832	0.00403
0.771144	0
0.821182	0.04833002
0.837692	0.08858998
0.87122	0.15704998
0.88773	0.20938998
0.921004	0.23758001
0.937768	0.26979999
0.954278	0.32213994
0.971042	0.35435997
1.02108	0.40267998
1.037844	0.44293999
1.054608	0.39461998

Muestra 4	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.001016	0
0.01778	0
0.03429	0.00403
0.051054	0.01610999
0.067818	0.06443
0.084328	0.13690999
0.101092	0.21341998
0.117602	0.28993001
0.134366	0.58754216
0.15113	0.26979999
0.16764	0.20938998
0.184404	0.15301998
0.217678	0.20536999
0.234442	0.24161001
0.251206	0.28993001
0.267716	0.31005995
0.30099	0.25369
0.317754	0.22549997
0.384302	0.26173999
0.43434	0.23758001
0.451104	0.21341998
0.467614	0.17315001
0.501142	0.14898998
0.517652	0.12483
0.601218	0.13690999
0.634492	0.10067002
0.717804	0.09261998
0.801116	0.10067002
0.884428	0.10873002

Muestra 1(continuación)	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
1.482598	0.05638
1.56591	0.05638
1.649222	0.05235
1.732534	0.06846
1.815846	0.05638

Muestra 3(continuación)	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
1.071118	0.44293999
1.087882	0.49931999
1.104392	0.53153001
1.13792	0.5958145
1.15443	0.28187998
1.171194	0.34629997
1.187704	0.26173999
1.204468	0.29395997
1.221232	0.25772
1.254506	0.30201
1.337818	0.27381998
1.387856	0.30201
1.42113	0.35435997
1.504442	0.34629997
1.521206	0.37449
1.537716	0.31005995
1.55448	0.26576999
1.587754	0.30201
1.637792	0.33019999
1.671066	0.35837996
1.721104	0.31005995
1.737868	0.25369
1.754378	0.20133999

TICUL PIZARRA

Muestra 1	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.003302	0
0.019812	0.00806
0.04064	0.00806
0.053086	0.00403
0.06985	0.00806
0.086614	0.00806
0.103124	0.00403
0.119888	0.00806
0.136652	0.00403
0.153162	0.00403
0.169926	0.00403
0.190754	0.00806
0.207518	0.00806
0.219964	0.00806
0.240792	0.00403
0.257302	0.00403
0.270002	0.00403
0.286512	0.00403
0.303276	0.00403
0.319786	0.00403
0.340614	0.00403
0.357378	0.00806
0.369824	0.016109991
0.390652	0.060410008
0.403098	0.092619981
0.419862	0.15704998
0.436626	0.20938998
0.457454	0.261739988
0.4699	0.289930014
0.490728	0.334219978
0.503174	0.370459951
0.536448	0.390599986
0.536448	0.538756447
0.553212	0.197309989
0.57404	0.177180007
0.586486	0.197309989
0.60325	0.241610006
0.624078	0.297979961
0.636524	0.229530015

Muestra 2	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0	0.00403
0.01651	0.00806
0.03302	0.00403
0.049784	0.00403
0.066548	0.00403
0.083058	0.00806
0.099822	0.00403
0.116586	0.00403
0.133096	0.00403
0.14986	0.00806
0.166624	0.00403
0.183134	0.00403
0.266446	0.00403
0.349758	0.02416999
0.366522	0.056380008
0.383032	0.100670016
0.399796	0.144969989
0.41656	0.20938998
0.43307	0.261739988
0.466598	0.342279978
0.483108	0.398649977
0.499872	0.43891995
0.516382	0.479190011
0.533146	0.511400029
0.599694	0.53243274
0.666496	0.326169987
0.683006	0.197309989
0.71628	0.116780007
0.799846	0.124829998
0.883158	0.161069971
0.96647	0.161069971

Muestra 3	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.001524	0
0.018288	0.00403
0.035052	0.00403
0.051562	0.00403
0.068326	0.00403
0.08509	0.00403
0.1016	0.00403
0.118364	0.00806
0.134874	0.00403
0.151638	0.00806
0.184912	0.060410008
0.201676	0.108730016
0.218186	0.165100016
0.23495	0.22549997
0.251714	0.281879978
0.268224	0.334219978
0.284988	0.362410004
0.318262	0.322139942
0.335026	0.37851995
0.351536	0.434889994
0.368341	0.548711565
0.385064	0.269799987
0.435102	0.197309989
0.451612	0.173150007
0.468376	0.20938998
0.518414	0.261739988
0.601726	0.28589997
0.618236	0.20938998
0.668274	0.23355997
0.701548	0.201339988
0.76835	0.241610006

Muestra 4	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0	0
0.015494	0.00403
0.032258	0.00806
0.049022	0.00403
0.065532	0.00806
0.082296	0.00403
0.09906	0.00403
0.11557	0.00403
0.132334	0.00403
0.149098	0.00403
0.165608	0.00403
0.182372	0.00403
0.198882	0.00403
0.215646	0.00403
0.23241	0.00403
0.24892	0.00403
0.265684	0.00403
0.282194	0.00403
0.298958	0.00403
0.315722	0.00403
0.332232	0.00403
0.348996	0.00403
0.365506	0.00403
0.38227	0.00403
0.465582	0.00403
0.548894	0.00403
0.632206	0.00403
0.715518	0.00403
0.79883	0.00403
0.882396	0.00403
0.965708	0.00403
1.04902	0.00403
1.132332	0.00403
1.215644	0.00403
1.298956	0.016109991
1.31572	0.044300017
1.33223	0.088589981
1.348994	0.136909989

Muestra 1(continuación)	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.669798	0.297979961
0.686562	0.346299969
0.703326	0.382539986
0.719836	0.205369988
0.75311	0.253689997
0.769874	0.277849978
0.807212	0.237580006
0.836422	0.140939989
0.85725	0.116780007
0.919734	0.144969989
0.953262	0.173150007
0.97409	0.201339988
0.986536	0.15704998
1.053338	0.132889998
1.13665	0.136909989
1.219962	0.136909989
1.28651	0.161069971
1.324102	0.140939989
1.369822	0.120810007
1.403096	0.140939989
1.440688	0.165100016
1.469898	0.132889998
1.55321	0.124829998
1.586484	0.104699972
1.669796	0.128859998
1.736598	0.14898998
1.769872	0.169129971
1.857502	0.177180007
1.940814	0.193289997
2.020062	0.181210006
2.0574	0.201339988
2.136648	0.177180007
2.157476	0.15301998
2.236724	0.14898998
2.30759	0.173150007
2.357374	0.197309989

Muestra 4(continuación)	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
1.399032	0.281879978
1.415796	0.326169987
1.432306	0.35837996
1.44907	0.386569986
1.482344	0.418779959
1.499108	0.483209869
1.515618	0.53650064
1.565656	0.281879978
1.632204	0.310059952
1.699006	0.273819979
1.765554	0.245639961
1.782318	0.140939989
1.86563	0.140939989
1.948942	0.120810007

YOKAT ESTRIADO

Muestra 1	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
1016	0
0.017018	0.00806
0.033528	0.00403
0.050292	0.00806
0.067056	0.00403
0.083566	0.00806
0.10033	0.00403
0.117094	0.00806
0.133604	0.00806
0.150368	0.00806
0.166878	0.00806
0.183642	0.00403
0.200406	0.00806
0.216916	0.00806
0.23368	0.00806
0.316992	0.00806
0.400304	0.00806
0.433578	0.04833002
0.450342	0.10469997
0.467106	0.17315001
0.483616	0.24161001
0.50038	0.29395997
0.51689	0.27381998
0.533654	0.21744998
0.550418	0.19730999
0.566928	0.22549997
0.583692	0.24563996
0.600202	0.21744998
0.616966	0.19730999
0.633476	0.18121001
0.667004	0.16510002
0.733552	0.14093999
0.766826	0.12081001
0.850392	0.10067002
0.933704	0.10067002
1.017016	0.09261998
1.100328	0.09664998
1.150366	0.08053999
1.18364	0.06443

Muestra 2	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.00127	0
0.018034	0.00806
0.034544	0.00806
0.051308	0.00806
0.068072	0.00403
0.084582	0.00806
0.101346	0.00806
0.11811	0.00403
0.13462	0.00806
0.151384	0.00806
0.167894	0.01610999
0.184658	0.02013999
0.201422	0.04027002
0.217932	0.06443
0.234696	0.08053999
0.251206	0.09664998
0.26797	0.11275001
0.334518	0.08858998
0.384556	0.10873002
0.40132	0.12483
0.418084	0.14496999
0.434594	0.16106997
0.451358	0.17315001
0.468122	0.18926
0.484632	0.20536999
0.501396	0.27384578
0.55118	0.20536999
0.567944	0.14093999
0.584708	0.09664998
0.601218	0.08456999
0.617982	0.07249
0.701294	0.07650999
0.734568	0.08858998
0.81788	0.10873002
0.851408	0.12081001
0.93472	0.13690999
0.95123	0.15301998
1.034796	0.14093999
1.051306	0.10469997

Muestra 3	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.001778	0
0.018542	0.00403
0.035052	0.00403
0.051816	0
0.06858	0
0.08509	0
0.101854	0
0.118618	0.00403
0.135128	0
0.151892	0
0.168402	0.00403
0.185166	0
0.201676	0
0.21844	0
0.235204	0
0.251714	0
0.268478	0
0.284988	0
0.368554	0
0.451866	0
0.535178	0.00403
0.61849	0.00403
0.701802	0.00403
0.785114	0.00403
0.868426	0.00403
0.951738	0.00403
1.035304	0.00403
1.085088	0.02417
1.101852	0.05235
1.118616	0.09665
1.135126	0.15302
1.15189	0.21342
1.1684	0.24564
1.185164	0.20537
1.251712	0.22953
1.268476	0.24564
1.318514	0.22953
1.335278	0.18523
1.351788	0.15302

Muestra 4	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
0.001016	0.00403
0.017526	0.00806
0.03429	0.00806
0.051054	0.00806
0.067564	0.00403
0.084328	0.00806
0.101092	0.00806
0.117602	0.00806
0.134366	0.00806
0.150876	0.00403
0.16764	0.00403
0.184404	0.00806
0.200914	0.00403
0.217678	0.00806
0.234188	0.00806
0.250952	0.00806
0.267716	0.00806
0.284226	0.00806
0.30099	0.00806
0.3175	0.00806
0.334264	0.00403
0.351028	0.00806
0.367538	0.00806
0.384302	0.00806
0.401066	0.00806
0.417576	0.00806
0.43434	0.00806
0.451104	0.00806
0.534416	0.00806
0.617474	0.00403
0.700786	0.00403
0.784352	0.00403
0.867664	0.00403
0.950976	0.00403
1.034288	0.00806
1.1176	0.00403
1.200912	0.00403
1.284224	0.00403
1.36779	0.00403

Muestra 4(continuación)	
Desplazamiento (mm)	Carga(KN)
1.550924	0.04430002
1.567688	0.10469997
1.584198	0.16912997
1.600962	0.20536999
1.634236	0.22549997
1.651	0.18523
1.684274	0.20133999
1.701038	0.17315001
1.734312	0.15301998
1.767586	0.14093999
1.817624	0.12886
1.900936	0.12081001
1.93421	0.10469997
1.984248	0.09261998
2.034286	0.08053999
2.067814	0.06846
2.117598	0.05638001
2.167636	0.04430002
2.250948	0.04430002

A N E X O I V

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Análisis preliminar .

Considerando la importancia de la presencia de los vidrios y las rocas asociadas es muy importante conocer la composición química del vidrio para determinar la procedencia del material.

El funcionamiento del microscopio electrónico de barrido se basa en la reflexión de electrones y en la detección de las radiaciones que se producen por este fenómeno.

Al igual que cualquier microscopio electrónico el aparato consiste en un cañón de electrones cuyo haz viaja a través de una columna al vacío perpendicular a la cámara del portamuestras que también está al alto vacío. Los electrones producidos por calentamiento de un filamento (electrones primarios) irradian a la muestra. Cuando un átomo es irradiado por un haz de electrones produce una serie de radiaciones con el objeto de no destruirse al adquirir una gran cantidad de energía externa, lo que nos permiten realizar el análisis químico tanto cualitativamente como cuantitativamente. Entre varias emisiones producidas por la muestra radiada están: los electrones secundarios, electrones retrodispersados y rayos X.

El aparato cuenta con distintos tipos de detectores que sirven para procesar las radiaciones producidas por el choque de los electrones contra la muestra. Entre las señales más usadas para ver imágenes están los electrones secundarios, a partir de los cuales es posible obtener una imagen con efectos de superficie en tercera dimensión. Los electrones retrodispersados, que son los electrones que refleja la muestra, sirven para obtener una imagen con la cual además de la topografía se pueden determinar mediante contrastes de claro-oscuro las variaciones en composición considerando elementos ligeros, medios o pesados. El análisis de los rayos X nos da la composición química elemental del área o punto seleccionado, debido a que cada elemento emite unos rayos X que generan un espectro característico, por lo tanto, la ventaja de este método es que se puede observar un fragmento de mineral específico 6 sección por sección o total. Existen dos tipos de detectores uno que analiza la energía dispersiva de los rayos X (EDAX) y otro que analiza la longitud de onda de los rayos X (WDAX).

Las muestras seleccionadas para obtener la composición del vidrio se recubrieron con oro en un evaporador al vacío, este paso es muy importante para poder tener una superficie conductora que evite sobrecargas y obtener buenos resultados tanto en las diferentes imágenes como en los análisis químicos. Los análisis químicos se obtuvieron empleando un detector de energía dispersiva (EDAX) con un microscopio electrónico de barrido marca Phillips modelo XL20 empleando 25 kiloelectrón voltios.

SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS:

Sobre la base de las observaciones realizadas en el microscopio petrográfico se seleccionaron 4 diferentes tiestos de la cerámica Pizarra de los sitios Edzná, Chichén Itzá, Oxkintok y Dzibilchaltun. Para el análisis del acabado de superficie se seleccionaron 4 tiestos que presentan diferencias a simple vista de los mismos sitios.

RESULTADO DEL ANÁLISIS:

Las esquirlas de vidrio se analizaron en puntos seleccionados. Los resultados obtenidos se anotan en la siguiente tabla:

EDAX ZAF cuantificación, elementos normalizados (por ciento del peso)

Muestra Elementos	Ez		Ok		Ch		Dz	
	a	b	a	b	a	b	a	b
C	15.06	13.41	9.12	8.75	14.00	16.08	17.93	14.35
O	44.27	43.43	37.53	40.24	29.72	35.70	44.15	49.87
Na	1.44	1.40	1.15	1.78	1.17	0.98	1.91	1.02
Mg	0.49	0.79	0.58	0.52		0.43		
Al	7.99	8.36	9.98	7.05	7.57	7.08	5.70	5.77
Si	25.84	27.35	34.25	36.51	36.23	31.82	26.94	25.71
K	2.46	2.62	3.42	3.76	5.91	3.61	2.44	2.01
Ca	0.56	0.97	1.16	0.47	1.19	1.83	0.28	0.37
Fe	1.90	1.37	2.82	0.93	4.21	2.47	0.66	0.89
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Con esta información se ha realizado una interpretación preliminar considerando básicamente el contenido de silicio (Si), aluminio (Al), calcio (Ca), sodio (Na) y potasio (K), los cuales nos sirvieron para clasificar al vidrio desde un punto de vista químico tradicional en: ácidos o sobresaturados en sílice, intermedios y básicos o saturados en sílice, con lo cual se distinguen dos grupos esenciales de fuentes para estos materiales.

Los resultados obtenidos se nos proporcionaron como porcentaje en peso de los elementos, tuvimos que obtener el porcentaje en peso como óxidos del silicio, para lo cual dividimos el dato del análisis entre 0.466 que es la proporción de silicio en la molécula de sílice (Si O_2), por ejemplo tenemos que para la muestra Edzná tiene 25.84 % de Si y se divide entre 0.466 para obtener un resultado de 55.4 % de SiO_2 , Por lo tanto el vidrio de esta cerámica se clasifica como vidrio de composición de intermedio a básico. Igual manera, el vidrio de la cerámica Pizarra, de Chichén Itza y Oxkintok, que tiene arriba de 63 % de SiO_2 Se clasifica como de composición ácida. El vidrio de Dzibichaltún y Edzná, que tienen menos de 60 % de SiO_2 se clasifican por su relación de sílice como un vidrio de composición de intermedia a básica. Sin embargo el carácter geoquímico no concuerda muy bien por tener un alto contenido de potasio y bajo contenido de calcio. Este problema se resolverá con los análisis que se realizarán posteriormente.

Con los resultados obtenidos del análisis químico de las esquirías de vidrio, se observa que existen dos tipos de vidrio, uno de composición básica a intermedia y otro grupo con una composición riolítica o ácida. De acuerdo con las fuentes posibles de proveniencias del material se tiene para el vidrio básico la Sierra de los Tuxtles en Veracruz y para el vidrio de composición ácida el Campo Volcánico de Chiapas. Esta información será analizada posteriormente empleando otros criterios geoquímicos lo que permitirá caracterizar de una manera más precisa a cada tipo de vidrio.

La presencia de carbono en el vidrio de todas las muestras analizadas no puede ser explicado como un componente natural en este tipo de materiales volcánicos, por lo cual su presencia se explica como un material orgánico del recubrimiento que penetró a la pasta.

También se realizaron análisis químicos de la superficie observando que existen diferencias en la composición en los materiales que se diferenciaron a simple vista. Las muestras son las cerámicas Pizarra Chichén que presentan un brillo metálico, muestra Ch₁; ceroso, muestra Ch₂ y Dz; no tiene brillo ni serosidad, muestra Ok. Para el terminado de la superficie se aplicó un análisis por sección.

EDAX ZAF cuantificación, elementos normalizados (porcentaje del peso)

Muestra Elemento	Ch1			Ch2		Ok		Dz	
	a	b	c	a	b	a	b	a	b
C	12.64	12.51	10.36	10.41	9.47	10.62	10.61	8.86	10.41
O	34.65	34.23	31.20	38.98	38.72	39.74	38.91	40.37	40.27
Mg	0.98	0.94	0.88	2.40	2.45	0.80	0.79	1.94	2.11
Al	15.68	16.11	13.90	12.22	12.17	10.33	11.10	12.75	13.43
Si	24.90	25.43	22.76	29.41	29.93	28.83	28.31	28.38	29.54
K	5.65	5.29	4.75	1.61	1.77	3.03	2.69	0.96	0.86
Ca	1.53	1.25	5.38	1.60	1.80	2.46	2.45	2.84	2.26
Ti	0.58	0.62	0.61	0.43	0.48	1.13	1.09	0.83	0.90
Fe	3.42	3.61	5.17	2.95	3.21	3.06	4.05	1.59	1.77
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Los componentes principales encontrados en la superficie son: Al, Si, y O. De igual manera el K, Ca, Fe y Ti pueden ser elementos contenidos en los minerales arcillosos. Sin embargo, se observa que la superficie de las muestras que tiene un brillo metálico (Ch₁), otra que casi no presenta recubrimiento (Ok) tienen concentraciones más altas de potasio (K) y hierro (Fe) que la cerosa (Ch₂ y Dz). Se ha demostrado que en los sistemas naturales el potasio tiene una gran movilidad cuando existen incrementos de temperatura. Por lo tanto, el contenido alto de K se debe a una alta temperatura provocada al momento de la cocción. Así mismo se forman poros debidos al escape de gases en la parte superficial (Ver Anexo II Fig. 8a), cuando estos gases no pueden salir se forman especies de ampollas (Ver Anexo II Fig. 8b). Al mismo tiempo en la columna de Ch₁C se observa un incremento en la cantidad de calcio.

Dado que los materiales de superficie analizados tienen prácticamente la misma composición química, la diferencia en el acabado que presentan se debe posiblemente a distintos métodos de preparación de la cerámica.

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.

El resultado preliminar del análisis de microscopio electrónico de barrido confirmó la diferencia que ha encontrado en el análisis petrográfico:

A) La existencia del vidrio básico y ácido implica distintos fuentes.

B) La diferencia cuantitativa de los elementos del acabado de superficie señala que básicamente al mismo material utilizado, posiblemente se aplicaron diferentes técnicas de cocción o variantes de material agregado, para tener diferentes efectos visibles.

Dado que los materiales de superficie analizados tienen prácticamente la misma composición química, la diferencia en el acabado que presentan se debe posiblemente a distintos métodos de preparación de la cerámica.

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.

El resultado preliminar del análisis de microscopio electrónico de barrido confirmó la diferencia que ha encontrado en el análisis petrográfico:

A) La existencia del vidrio básico y ácido implica distintos fuentes.

B) La diferencia cuantitativa de los elementos del acabado de superficie señala que básicamente al mismo material utilizado, posiblemente se aplicaron diferentes técnicas de cocción o variantes de material agregado, para tener diferentes efectos visibles.