

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**"Aprovechamiento del yeso de la
Mina Dux para moldes de cerámica"**

MONOGRAFIA PREVIA A LA OBTENCION
DEL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

**Directores: Dr. Secundino Moncayo Muñoz
Dr. Fausto Moscoso Bustamante**

**Realizado por: Medardo Neira Alvarado
Gyna Freire Solano**

CUENCA - ECUADOR

1986

Las ideas expuestas en esta tesis son de responsabilidad de los autores.

Medardo Neira Alvarado

Medardo Neira A

Gina Freire Solano

Gina Freire S

APROVECHAMIENTO DEL YESO DE LA MINA "DUX" PARA MOLDES DE
CERAMICA

SUMARIO:

- 1.- Generalidades sobre la mina:
 - 1.1. Datos de Prospección
 - 1.2. Capacidad
 - 1.3. Estado Natural
 - 1.4. Sistema de cristalización
 - 1.5. Condiciones para explotación

- 2.- Análisis Químico del yeso de la mina:
 - 2.1. Ion Sulfato
 - 2.2. Ion Calcio
 - 2.3. Agua de constitución
 - 2.4. Humedad higroscópica
 - 2.5. Impurezas insolubles

- 3.- Tratamiento del yeso para la obtención de moldes de cerá
mica:
 - 3.1. Extracción de la mina y purificación
 - 3.2. Tratamiento previo
 - 3.3. Trituración primaria
 - 3.4. Purificación
 - 3.5. Deshidratación del yeso
 - 3.6. Molienda y tamizado

- 4.- Análisis Físico-Químico del yeso obtenido comparado con
el yeso importado:
 - 4.1. Análisis químico
 - 4.2. Análisis Físico
 - 4.2.1. Finura
 - 4.2.2. Consistencia normal
 - 4.2.3. Fraguado
 - 4.2.4. Resistencia a compresión
 - 4.2.5. Módulo de rotura

- 5.- Aplicación del yeso en moldes de cerámica y pruebas en
planta.

6.- Recuperación del yeso de los moldes para estucos

7.- Esquema general de una posible planta de tratamiento

8.- Conclusiones y recomendaciones

9.- Bibliografía.

INTRODUCCION

La Cerámica Andina, empresa que auspicia el presente estudio, requiere para la elaboración de sus productos confeccionar moldes de yeso. El material para estos moldes es actualmente importado desde los Estados Unidos de Norteamérica, pues en nuestro país no existe yeso con las características técnicas necesarias para este fin.

Es por este motivo que la mayor parte del presente trabajo ha constituido el procesamiento del yeso de la mina "DUX", tratando en lo posible de imitar al yeso americano - en todas sus características.

Se inicia el estudio señalando algunos aspectos generales de la mina "DUX" de donde se extrae la materia prima, para luego indicar cómo se efectuó y cuáles fueron los resultados del análisis químico de la misma. Seguidamente se encuentra el tratamiento que se le ha dado al yeso, de tal forma que esté listo para confeccionar los moldes, pero antes de proceder a esta elaboración, se ha analizado tanto física como químicamente al material procesado, conjuntamente con el yeso patrón, a fin de poder establecer comparaciones. Concluye esta parte con la elaboración de moldes precisamente en la Sección Moldes de la Cerámica Andina y con pruebas de éstos en la planta de la mencionada empresa, a fin de ver si es factible o no el aprovechamiento del yeso "DUX" con fines cerámicos.

Una segunda parte del trabajo es el aprovechamiento del yeso de los moldes hechos con el material importado, -- los mismos que luego de un cierto tiempo de empleo deben ser rechazados, acumulándose como deshechos en los terrenos de la Cerámica Andina. A este material se le ha procesado con el fin de utilizarlo en la fabricación de estucos, ya que esta industria actualmente soporta una considerable escasez de materia prima, constituyendo este tratamiento un valioso aporte tanto para la empresa auspiciadora por el volumen de deshechos, así como para los artesanos que se dedican a confeccionar estucos.

Se podrá encontrar también en este estudio, un esquema general de una posible planta de tratamiento de yeso, para finalizar el mismo con la parte correspondiente a conclusiones y recomendaciones de todo el trabajo efectuado, indicando también las obras que han sido consultadas.

1.- GENERALIDADES SOBRE LA MINA

1.1. DATOS DE PROSPECCION.- A la prospección se la define como el conjunto de investigaciones destinadas a determinar la naturaleza del subsuelo o la posible presencia de yacimientos minerales. Para realizarla generalmente se unen grupos de prospectores prácticos con uno o más geólogos.

En el trabajo de campo, el examen de los afloramientos se ve facilitado por el estudio de mapas e informes geológicos, si existen, dirigiéndose dicho trabajo a las regiones donde las condiciones geológicas son favorables a la mineralización. Llamam la atención las masas intrusivas, en especial si se emplazan en las calizas, prestándose particular atención a los nuevos minerales introducidos y a la alteración de la roca. Se logra buena información examinando cuidadosamente las corrientes y deduciendo su fuente de origen o la dirección de ésta.

Cuando no existen mapas geológicos, se pueden trazar en líneas generales los perfiles de las formaciones a base de expediciones de reconocimiento.

En la actualidad se conocen varios tipos de prospección, pero en general se trabaja a base de procedimientos de prospección geoquímica, geofísica, a los mismos que les siguen extracciones de testigos e introducciones de sondas con el fin de tener suficiente cantidad de material para los ensayos. Si se sabe que el mineral está cerca de la superficie, se pueden excavar pequeños pozos para obtener muestras

de él y para determinar el área del depósito.

1.1.1. PROSPECCION GEOQUIMICA.- La prospección geoquímica¹ trata de la exploración de depósitos minerales y de la medición de las propiedades químicas del material que se busca. Dichas mediciones se pueden efectuar en rocas, suelos, vegetación aguas y sedimentos de cursos de agua.

Antes de comenzar un programa ordinario de muestreo - en un área nueva, se debe examinar el suelo en un perfil vertical para establecer la profundidad óptima a la que se tomarán las muestras, la misma que puede variar desde 15 cm (por debajo de la capa de humus justamente) hasta a eso de 1,80 m de profundidad debajo de una capa de arcilla impermeable.

Luego se planea una rejilla con el fin de cubrir el área geológicamente favorable, en la que posiblemente se encontrará la zona de la mena, teniendo presente que por lo menos dos muestras deber cortar el blanco. El tipo de rejilla a planearse se verá ayudado por el conocimiento del hábito - de los yacimientos de la mena. Por ejemplo, si se busca una vena de uno 30 m de largo, se está indicando un esquema de - muestras escaqueadas (a la manera de un tablero de ajedrez), separadas a unos 15 m, pudiendo ir paralelo a la zona de la mena o en ángulo oblicuo.

1) Tomado de la Enciclopedia de Tecnología Química, tomo 13, bajo la dirección de Raymon E. Kirk y Donald F. Othmer.

Cada muestra se localiza sobre una línea de brújula a base de la cinta métrica o por medio de pasos contados. Si se opera por topografía, se usa una línea de base en la cresta de la loma, tomándose muestras cuesta abajo en ángulo recto con los contornos o en forma paralela a los contornos a lo largo de la ladera. Seguidamente se elaborará un esquema sobre papel de gráficas indicando cada posición. Se tomarán unos 20 gr. de muestra del fondo de la perforación en cada lugar de muestreo, para luego colocarlos en un recipiente (generalmente sobres o fundas comunes), el mismo que deberá ser marcado con el número correspondiente al lugar de la rejilla.

Para tomar muestras hasta de unos 3 m de profundidad en suelos sin rocas, es suficiente un taladro helicoidal de mano, en tanto que para suelos rocosos las perforaciones se harán con una barrena. Existen además herramientas de fuerza motriz para muestreo de profundidad. Si la muestra está a profundidad, se la recoge con un cucharón unido al extremo de un palo, pero si se encuentra superficialmente, se la toma sencillamente con pala o con pico.

Los procedimientos de prospección geofísica se basan en principios de Física y Matemáticas, llevándose a cabo con medición de magnitudes geofísicas, efectuadas desde la superficie. Se los emplea con gran éxito para localizar masas minerales encerradas en la tierra y para determinar la profundidad del lecho de roca.

1.1.2. PROSPECCION GEOFISICA.- Para la prospección geofísica² se usan varios métodos, basados todos en el supuesto de la heterogeneidad del subsuelo, la misma que depende de la naturaleza diferente de las rocas que lo constituyen, de las relaciones recíprocas de colocación, de su posición estratigráfica, etc. Estos métodos son los siguientes:

a) **MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS:** se basan en el principio de la atracción gravitatoria y consisten en determinar los valores absolutos de las variaciones de la aceleración de la gravedad (anomalías de gravedad), a las mismas que les corresponden diversas estructuras geológicas. Existen tres métodos generales para medir la atracción gravitatoria. Aquel que se basa en el empleo del péndulo es el más antiguo, pero en la actualidad se usan comúnmente la balanza de torsión y el gravímetro.

b) **MÉTODOS GEOSISMICOS:** atienden a la diferente propagación, a través de rocas de diversas naturalezas, de ondas elásticas producidas en forma artificial - por la explosión de cargas de dinamita o de tritol, en orificios efectuados en el suelo con aparatos que pueden ser de perforación, de rotación o de percusión. Las ondas produci-

2) Tomado de la Enciclopedia de la Técnica y de la Mecánica, volumen sexto, edición española dirigida por D. Juan Maluquer y de Yacimientos minerales de Rendimiento Económico, por Alan M. Bateman.

das se registran en sismógrafos portátiles, el tiempo de explosión se transmite por radio, en tanto que el tiempo de llegada es registrado por un oscilógrafo sobre una película fotográfica móvil, sobre la que se proyectan señales de tiempo a intervalos de 1/10 o 1/100 de segundo.

Se conocen dos procedimientos sísmicos, de reflexión y de refracción. En el primero se usa la onda o eco reflejada, a diferencia del segundo, en el que se utilizan las ondas refractadas o de penetración más profunda. Lógicamente que ambas ondas son producidas simultáneamente, pero puede ser eliminada una de ellas.

c) METODOS GEOELECTRICOS: consiste en la introducción en el suelo a base de electrodos, de corriente de intensidad determinada, alterna o continua, y medir la intensidad misma a una distancia establecida previamente, teniéndose de esta forma una representación de las diferentes resistividades de las rocas que se suceden en el subsuelo. En otros procedimientos se miden las corrientes naturales producidas por los minerales metálicos que contenga el terreno, o bien se registran las diferencias de resistencia entre varios puntos.

d) METODOS GEOMAGNETICOS: son los más antiguos. El influjo horizontal y vertical del campo magnético de la Tierra sobre la aguja imanada de la brújula es usado en ciertos tipos de prospección geofísica. Se hace para revelar la posible existencia de anomalías en el campo magnético terrestre, debidas a la presencia de masas capaces

de alterar el campo propio magnético. Para el efecto se utilizan los variómetros, los mismos que dan los valores de las intensidades de las componentes horizontal y vertical. Para prospectar grandes zonas se usan magnetómetros aerotransportados en naves que vuelan a cota constante, dando los valo--res de la intensidad total.

e) METODOS ELECTROMAGNETICOS: son los que de mayor predica--mento gozan entre los métodos eléctricos en prospección de masas minerales. Se basan en - el principio de que una corriente que pasa a través de un - conductor, produce una corriente inducida al rededor del mismo.

Si un conductor (masa de mineral) se encuentra dentro de un campo inducido, producirá una corriente inducida secundaria alrededor de él, procediéndose a medir dicha corriente.

Las mediciones realizadas (sea cual sea el método usado) se reproducen sobre gráficos llamados perfiles (respectivamente gravimétricos, geoelectricos, etc.), los que bien interpretados y coordinados, permiten llegar a una representación estructural hipotética.

Una vez efectuadas la prospección geoquímica y geofí--sica, en el área en la que se ha detectado la presencia del mineral se procede a introducir sondas cada cierta distan--cia y a diferentes profundidades, igualmente preestablecidas y se extraen muestras. Estas son divididas, enviándose la una parte al portatestigos y la otra al laboratorio para su a

nálisis. Se suele poner una pieza de madera debidamente señalada en cada punto perforado para identificar las muestras. Con los resultados obtenidos en el laboratorio se determinará hasta qué profundidad, en lo posterior, conviene explotar el mineral. Es de indicar que en la prospección preliminar la distancia entre perforaciones es grande (800 pies, 240 metros). Una vez extraídos y analizados los testigos, siempre que se haya encontrado el material buscado, se perforan orificios cada vez más cercanos (100 pies, 30 metros), con el propósito de obtener una carta completa del depósito.

Finalmente se pasa a excavar zanjas transversales a lo largo de la formación y a diferentes profundidades, con una misma separación. Esto se hace para precisar los cálculos, siendo además el principio de la fase de exploración.

Para el caso del yeso de la mina "DUX", de cuyo tratamiento se ocupa esta monografía, se dispone únicamente de un informe, en el mismo que no se dan datos de prospección, haciéndose solamente una estimación de reservas, de una manera general. Para dicha estimación se considera como la formación yesífera principal a un grupo de arcillas de una potencia media de 10 m, con una corrida de más de 1 km y una profundidad asignada de 50 m. Por tanto las reservas del material yesífero serían: $1000 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 500.000 \text{ m}^3$. Se indica que la proporción de yeso en esta formación es del orden del 7%, teniéndose entonces 35.000 m^3 de yeso puro (sesenta mil toneladas).

1.2. CAPACIDAD.- De acuerdo al informe sobre el yeso de la mina "DUX", dado por el Ing. Walter Pico L., se ha señalado como la formación yesífera principal a un grupo de arcillas de coloración gris-violácea, de potencia media de 10 metros, las mismas que se orientan de Norte a Sur, buscando ligeramente el Oeste, con una corrida en lo que se ha podido observar, de más de 1 km. Según el mismo informe, las reservas de material yesífero serían:
 $1000 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 50 \text{ m} = 500.000 \text{ m}^3$, siendo el contenido o proporción de yeso en esta formación del orden del 7%, por lo que se tendrían 35.000 m^3 de yeso puro, equivalentes a 60.000 toneladas.

1.3. ESTADO NATURAL.- El yeso definido con "propiedad", es la forma mineral del sulfato cálcico dihidratado, de fórmula química $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, peso molecular 172,17, dureza 1,5-2 en la escala de Mohs. Se encuentra en abundancia en la naturaleza, en los terrenos sedimentarios, presentándose bajo las siguientes dos formas: SO_4Ca , cristalizado anhidro, denominada anhidrita y $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, llamado piedra de yeso o algez.

La anhidrita cuando está pura es incolora o blanca, pudiendo estar coloreada de azul, gris, amarillo o rojizo cuando contiene arcillas, óxidos de hierro, sílice, etc. Tiene una dureza (Mohs) de 3-3,5 y la misma solubilidad que el yeso en el agua, pero no reacciona en forma rápida para formar hidratos, siendo menos útil que éste como materia prima, si se desea esta propiedad. Cristaliza en el sistema rómbi-

co, su estructura es compacta y sacaroidea, absorbe el agua en forma rápida, aumentando su volumen de 30 a 50%, convirtiéndose así en yeso o algez.

El algez o piedra de yeso, a diferencia de la anhidrita, cristaliza en el sistema monoclinico, formando rocas muy abundantes. En base a su estructura se mencionan las variedades siguientes:

a) YESO FIBROSO O SEDOSO: es un yeso puro cristalizado en fibras sedosas en forma confusa, obteniéndose con esta variedad un buen yeso para mezclar. Tiene algo de parecido al asbesto y en muchos casos se pueden separar fibras de la masa.

b) SELENITA O YESO ESPEJUELO: es una variedad pura de yeso - cristalizado en el sistema monoclinico en forma de láminas o placas, las mismas que muestran exfoliación perfecta y fácil, paralela al plano de cristalización. En algunas ocasiones se encuentran láminas de selenita en tamaños de varios pies de largo y ancho y estas láminas con ángulos oblicuos característicos, se rompen en paralelogramos de proporciones semejantes. La selenita tiene la propiedad de ser transparente incluso en cristales de varias pulgadas de espesor.

c) YESO EN FLECHA: esta variedad cristaliza en forma de punta de lanza formando macla y de ella se obtiene un excelente yeso para el vaciado de objetos delicados.

d) YESO SACARINO: es una forma macisa densamente cristalizada y de textura blanda, de yeso casi puro. Cuando es de grano muy fino se lo llama alabastro y es utilizado para escultura coloreado con vetas de formas caprichosas debidas a efectos ópticos en la masa cristalina o a indicios de materiales extraños.

e) YESO CALIZO O PIEDRA ORDINARIA DE YESO: Proporciona un buen yeso endureciéndose considerablemente después de fraguado. Contiene hasta un 12 % de carbonato cálcico, por lo que a diferencia del yeso sacarino, produce efervescencia con los ácidos.

Sea cual fuere la variedad de yeso o algez, cuando se encuentra pura, es incolora o blanca, pero contiene impurezas generalmente, por lo que adquieren coloraciones amarilla, gris, rojiza, etc., las mismas que se deben a la arcilla, óxido de hierro, caliza, sílice, etc., en proporción pequeña.

En el caso del yeso de la mina "DUX", objeto de nuestro estudio, es de indicar que se encuentra generalizado en todas las formaciones sedimentarias; la mayor proporción está asociada a las arcillas, cuyos estratos alternan con limos, areniscas y conglomerados gruesos. Este yeso se presenta en forma de vetillas cuyo espesor más común es de 0,5 cm. llegando a alcanzar 1 y 2 cm. Dichas vetillas forman una estructura regular de estoverca o enrejado que en las arcillas mencionadas se estrechan en forma considerable y en su mayoría están limitadas por limonitas o hidróxidos de hierro. Es

por ésto que cuando se recuperan las vetillas "in situ" tienen una patina rojiza en sus dos caras, aunque existen también vetillas de yeso blanco sin hierro. La formación yesífera principal está formada por un grupo de arcillas de coloración gris-violeta.

(Tomado del Informe sobre el Yeso de la Mina "DUX").

De acuerdo a las observaciones efectuadas en las muestras que se tomaron en la mina "DUX", se puede señalar que las vetillas pertenecen a las variedades de yeso sacarino y fibroso, habiéndose encontrado muestras que podrían clasificarse simultáneamente dentro de las dos variedades. Vale además indicar que se encontraron bloques macisos de yeso, de un espesor de más o menos 7 cm., que podrían incluirse dentro del tipo sacarino.

1.4. SISTEMA DE CRISTALIZACION.- Ya se indicó anteriormente que el algez o piedra de yeso cristaliza en el sistema monoclinico, sea cual fuere su variedad. Como se puede observar en la fig 1, dos hojas de grupos aniónicos SO_4^- , unidos estrechamente a los iones Ca^{++} , constituyen capas dobles que se disponen en forma perpendicular al plano del dibujo y siguen en dirección vertical (las líneas limítrofes vienen punteadas) y las moléculas de agua se encuentran entre las mencionadas capas dobles. De esta manera se explica el clivaje característico y perfecto del yeso.

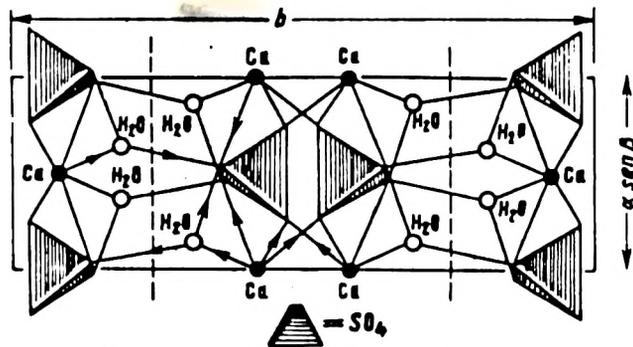


Fig. 1

A cada ión de calcio le rodean seis iones de oxígeno (correspondientes al grupo $SO_4^{=}$ y dos moléculas de agua). Cada molécula de agua fija el ión calcio con un ión de oxígeno de la misma capa doble y con otro ión de oxígeno de la capa vecina.

(Tomado de "Curso de Mineralogía", A. Betejtin, pág 431-432)

1.5. CONDICIONES PARA EXPLOTACION.- Para estudiar la rentabilidad de una explotación minera se consideran entre otros, los siguientes parámetros:

- a) COMPOSICION QUIMICA Y MINERALOGIA: El yeso de la mina "DUX", como se podrá ver más adelante, es sulfato de calcio dihidratado $SO_4Ca \cdot 2H_2O$, cuya composición química promedio es: H_2O , 16,7064 %; $SO_4^{=}$, 45,0872 %; Ca^{++} , 18,5135 %, teniendo un porcentaje de impurezas insolubles al 19,1903 %.
- b) TONELAJE DE RESERVA: El mismo que de acuerdo al informe sobre la mina es de 60.000 toneladas.
- c) TIPO DE EXPLOTACION A REALIZAR: Se recomienda para este -

caso los procedimientos de superficie, concretamente extracción a cielo abierto, en base a las consideraciones que se hacen en 3.1.

d) LOCALIZACION: De acuerdo a un informe emitido a petición de los autores del presente trabajo, por la Dirección de Geología y Minas Regional Cuenca, al respecto se dice lo siguiente:

"UBICACION Y ACCESO".- El área en la que se encuentra la mina "DUX" tiene la forma de un cuadrado (2.000 m. cada lado), siendo las coordenadas geográficas de uno de sus vértices: $79^{\circ}20'05,8''$ long W y $3^{\circ}23'59''$ de lat. S. La mina está localizada en la parroquia Manú del cantón Saraguro, provincia de Loja. El acceso se realiza por la ruta Girón-Santa Isabel -Río Jubones (confluencia de los ríos León y Rircay), luego se continúa hacia el sur por un carretero de tercer orden de aproximadamente 10 Km. hasta llegar al campamento. Otras rutas de acceso parten desde la parroquia Manú y desde el sector de San Sebastián de Yuluc en la provincia de Loja.

CLIMA Y VEGETACION.- El clima es variable entre subtropical en la parte baja (quebrada de Cajamarca) y templado en la parte alta (cerros Nuñurco y Cara Blanca). La altitud varía entre 1.280 y 1.800 m.s.n.m.. La vegetación es fundamentalmente tipo matorral, no hay zonas cultivadas dentro del polígono contratado; algunos huertos se desarrollan en el sector de Jorupe!.

e) FACILIDADES DE SUMINISTROS: Se puede decir que sí hay, pues dispone de agua (aunque no potable) y de fluido eléctrico. Los combustibles y los alimentos pueden ser adquiridos relativamente a poca distancia, en los pueblos por los que pasa la ruta Girón-Santa Isabel -Río Jubones.

2. ANÁLISIS QUÍMICO DEL YESO DE LA MINA

TOMA DE MUESTRAS.- Es de gran importancia realizar los análisis de muestras representativas o promedios de las sustancias, ya sean vegetales o minerales. No existen reglas fijas para tomar muestras, pues estas operaciones, para tener una muestra que sea representativa, dependen de la naturaleza del material y de la cantidad que deba recolectarse del mismo.

El muestreo es la toma de una porción representativa, la misma que expresa en forma muy aproximada, la composición real del material que ha sido analizado.

A continuación se indican las etapas en las que se efectúa el proceso de muestreo:

- a) Se recoge sistemáticamente una cantidad más o menos grande del material, por medio de diversas técnicas, de acuerdo al caso.
- b) Cuando el material se compone de partículas grandes se hace necesaria una trituración, con el objeto de tener partículas de tamaño menor y consecuentemente, una cierta mezcla.
- c) A continuación se subdivide esta porción grande de material en partes, debiéndose tomar una de ellas para llevar a cabo el análisis.

Los métodos empleados para la toma de muestra son dos: mecánico y manual.

El método mecánico ha sido recomendado para cuando se

tiene gran cantidad de una misma clase de material, consistiendo en tomar porciones previamente fijadas del mismo, en intervalos regulares.

La toma de muestra por el método manual es realizada por una persona, la misma que ha de hacerla valiéndose de una herramienta sencilla en caso necesario.

Los siguientes son los métodos manuales de mayor empleo:

a) METODO DE CUARTEO: Es el más usado de los métodos manuales, a pesar de que cuando se trabaja con cantidades considerables de material, puede resultar inexacto, a igual que si las partículas son de tamaño diferente, en cuyo caso se deberá tener precaución al realizar el cuarteo.

La toma de la muestra por el método de cuarteo se efectúa amontonando el material en forma de un cono, al mismo que después se lo extiende para formar una torta circular. A esta torta se la divide en cuatro fracciones iguales, tomando las dos porciones que estén diametralmente opuestas y mezclándoles bien. Este proceso se repite hasta obtener la cantidad de muestra requerida.

Es de indicar que al desarrollarse este proceso se debe evitar que el material se contamine con impurezas de la superficie donde se hará el cuarteo, por lo que dicha superficie tendrá que encontrarse debidamente limpia.

b) METODO DE MUESTREO AL AZAR: Según este método, se toman -

al azar o a intervalos regulares, pequeñas cantidades de muestra, ya sea con la mano o con alguna herramienta adecuada para el efecto.

La ventaja de este procedimiento de muestreo es su sencillez y rapidez, presentando empero el inconveniente de que los resultados obtenidos pueden ser inexactos, en especial si se han tomado porciones pequeñas de material que no presenten uniformidad de tamaño de partículas.

Las porciones obtenidas se unen y se mezclan bien, para seguidamente tomar una cantidad conveniente para el análisis.

Obtenida ya la muestra, sea por el método que fuere, si es necesario será reducida a polvo fino, para lo cual nos servimos de un mortero adecuado, de acuerdo a la dureza del material.

Cuando se requiere que la muestra presente un grado de finura determinado, antes de ser analizada deberá previamente ser pasada por molinos especiales.

Para la toma de muestras de yeso de la mina "DUX", se empleó el método de muestreo al azar, obteniéndose varias y diferentes muestras, en distintos puntos de la mina.

En el laboratorio, antes de efectuar el análisis del yeso como se lo encontró en la mina, se procedió a triturar las muestras mediante un martillo, reduciéndolas a un tamaño de más o menos 1 cm. de diámetro. Seguidamente se mezclaron

las diferentes muestras, se cuartió el conjunto tomando los cuartos opuestos, efectuando este proceso por repetidas ocasiones, hasta obtener 100 gr de muestra aproximadamente.

A esta cantidad de material se la redujo a polvo fino en un mortero de porcelana, hasta pasarla totalmente por el tamiz 0,2 mm (70 mallas según especificaciones A.S.T.M.), - pues el yeso importado al que se trata de imitar, en un 98 % más o menos, atraviesa este tamiz.

A dos muestras representativas de yeso DUX designadas como D_1 y D_2 y tratadas como se indica en 2.3., se las disolvió en HCl concentrado y caliente, pudiéndose ver que no son totalmente solubles, razón por la que se procedió a filtrarlas separadamente. Luego de lavar varias veces los filtros con agua caliente, a cada solución resultante se la aforó en un balón de 250 cc.

Los filtros con lo insoluble servirán posteriormente para determinar las impurezas insolubles en HCl.

2.1. ION SULFATO.- De cada una de las soluciones de las muestras D_1 y D_2 (de 250 cc.) se tomaron 10 c.c., se los diluyó con 200 c.c. de agua destilada y luego de tapar cada vaso con una luna de reloj, se llevó a ebullición al líquido. Retirando de la fuente de calor, se agregó a cada solución, poco a poco y bajo agitación, un ligero exceso de solución de $Cl_2 Ba$ al 5 %. Se dejó sedimentar el precipitado por unos dos minutos, probando luego con unas gotas de este reactivo si la precipitación ha sido com-

pleta. En caso de formarse más precipitado, se añade lentamente unos 5 c.c. más de reactivo, volviéndose a realizar el ensayo hasta tener un ligero exceso de reactivo precipitante.

Se calienta luego el líquido por una hora a baño de - María, lo cual se hace para concentrar los granos de SO_4Ba y hacerlos fácilmente filtrables, sin que atraviesen el filtro. El precipitado así obtenido se sedimenta fácilmente, obteniéndose un líquido sobrenadante claro, síntoma de que se ha formado un precipitado de granos grandes.

Si la solución clara que sobrenada luego de este calentamiento, no da ningún precipitado con unas gotas de Cl_2Ba , se puede ya filtrar el sulfato de bario y sin removerlo se decanta la solución sobrenadante en un filtro sin cenizas. Luego de la filtración y lavado con agua caliente por 3 ó 4 oportunidades, se pasa cuidadosamente todo el precipitado al filtro.

Seguidamente se prueba el ión cloruro con nitrato de plata en unos centímetros cúbicos de filtrado; en caso de tener resultados positivos, se continúa lavando el precipitado hasta la eliminación del ión cloruro, lo cual nos indica que todas las sales solubles han sido eliminadas.

Todo el precipitado del filtro (y del embudo si hubiere) se pasa a un crisol calcinado y pesado, procediéndose luego a calcinar, enfriar y pesar el conjunto.

Efectuado este análisis en 10 cc de cada solución, se

obtuvieron los siguientes datos:

	Muestra D ₁	Muestra D ₂
Peso del crisol vacío (calcinado)	12,2361 gr	12,9429 gr
Peso del crisol + SO ₄ Ba calcinado	<u>12,2806 gr</u>	<u>12,9863 gr</u>
Peso de SO ₄ Ba	0,0445 gr	0,0434 gr

Para D₁ tenemos que:

En 10 cc. solución hay 0,0445 gr SO₄Ba.

En 250 cc X = 1,1125 gr.

Considerando la reacción: SO₄Ca + Cl₂Ba → SO₄Ba + Cl₂Ca

tenemos que:

A 233,42 gr de SO₄Ba corresponden 96,06 gr de SO₄ =

A 1,1125 gr X = 0,4578 gr.

Pero el peso de la muestra es 1,0155 gr (ver pág. 29)
por tanto:

En 1,0155 gr de muestra hay 0,4578 gr SO₄ =

En 100 gr X = 45,0812 % SO₄ =

Haciendo las mismas consideraciones para la muestra -

D₂:

En 10 cc de solución hay 0,0434 gr SO₄Ba

En 250 cc X = 1,085 gr

En 233,42 gr SO₄Ba hay 96,06 gr SO₄ =

En 1,085 gr X = 0,4465

Y como el peso de esta muestra es de 0,9902 gr. (ver pág 29), tenemos que :

En 0, 9902 gr de muestra hay 0,4465 gr $\text{SO}_4^{=}$
En 100 X = 45,0932 % $\text{SO}_4^{=}$

2.2. ION CALCIO. - La determinación del calcio se hizo por flama-fotometría, usando el método de análisis basado en curvas de calibración. Para ésto se preparan varios estándares de concentraciones conocidas del elemento que se analiza (calcio en este caso). Primeramente se calibra el instrumento de forma que dé una respuesta cero, - al aspirar agua pura hacia la llama, para luego ajustarlo a que dé la máxima respuesta con la muestra estándar más concentrada. Entonces sí, se procede a medir las intensidades de emisión de las restantes muestras y de las que se desea analizar. Graficando las respuestas del instrumento contra las concentraciones de los estándares se obtiene idealmente una recta (lo cual comúnmente no ocurre), evaluando la concentración de cada solución problema a base del gráfico obtenido.

Para el efecto se preparó una solución de 1000 p.p.m. (partes por millón) de Ca, en un balón de 500 c.c., usando - sulfato cálcico, habiéndose pesado 1,6984 gr, según las siguientes consideraciones:

A 40,08 de Ca^{++} corresponden 136,14 gr de SO_4Ca
A 1 gr (1000 mgr) de Ca^{++} corresponderán X = 3,3967 gr de -
 SO_4Ca .

3,367 de SO_4Ca en 1000 cc de solución
X = 1,6984 gr de SO_4Ca 500 cc de solución

Con el objeto de obtener los estándares necesarios, - se tomaron 10,15,20,25,30 y 35 c.c. de esta solución y se - los llevó a 100 c.c., obteniéndose así patrones de 100, 150, 200, 250, 300 y 350 p.p.m. de Ca.

Las lecturas obtenidas en el fñamafotómetro (Presión = 0,875 Kg/cm²), con las cuales se obtuvo la correspondiente curva de calibración, fueron las siguientes:

Estándar (p.p.m.)	Lectura
100	30
150	44
200	52
250	65
300	70
350	76

Se pasó luego a leer las muestras D_1 y D_2 , las mismas que tuvieron que ser diluídas (20 cc de muestra a 100 c.c.) para obtener las lecturas respectivas

Muestra	Lectura
D_1	43
D_2	43,5

Estas lecturas de las muestras D_1 y D_2 en la curva de calibración corresponden a 148 y 149 p.p.m. respectivamente.

Por lo tanto para la muestra D_1 tenemos que:

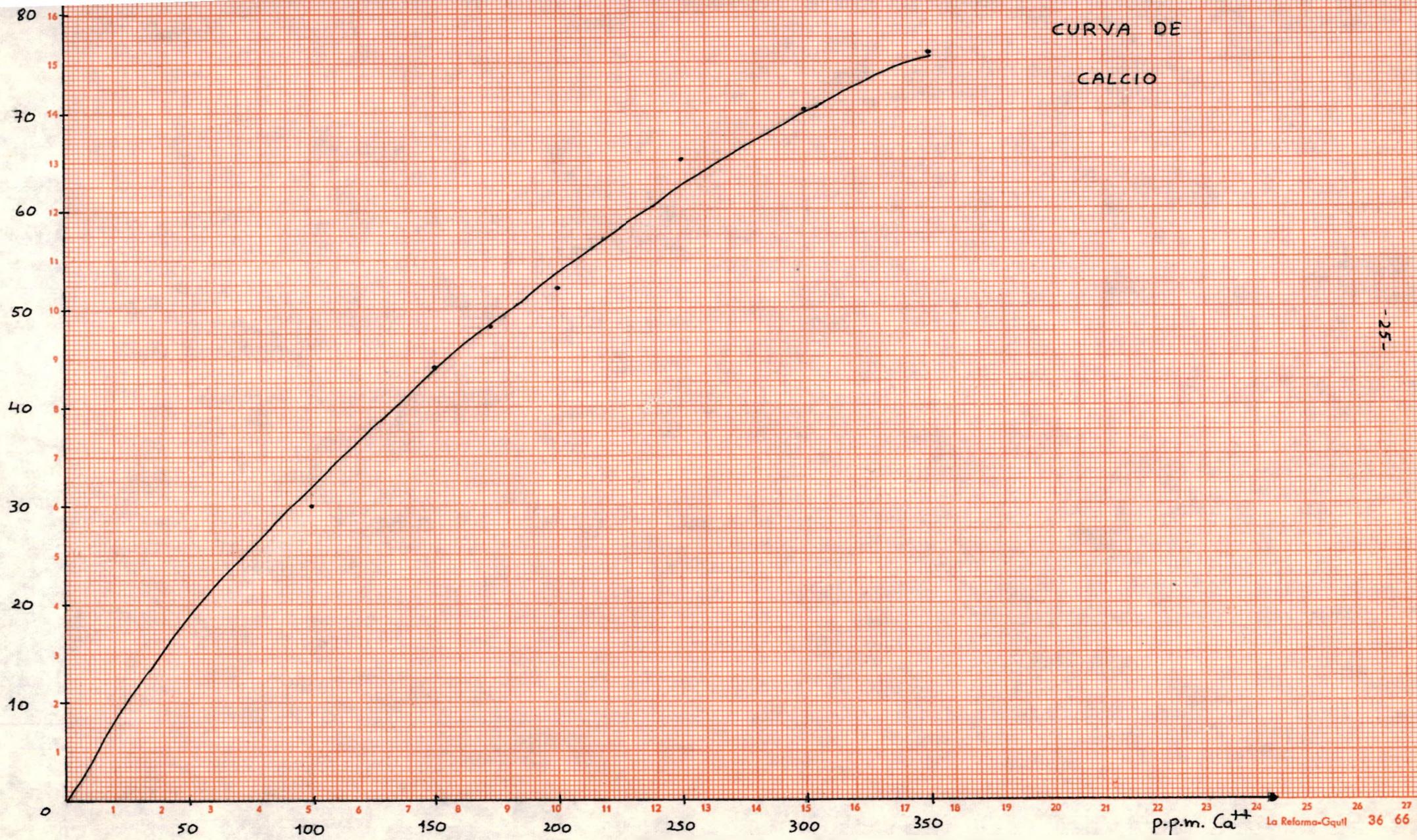


fig. 2

-25-

En 1000 c.c. de solución hay 0,148 gr de Ca^{++} (148 p.p.m)

En 100 c.c. $X=0,0148$ gr de Ca^{++} .

Pero 20 c.c. de muestra se llevaron a 100 c.c., por lo tanto:

En 20 c.c. de solución hay 0,0148 de Ca^{++}

En 250 c.c. $X = 0,185$ gr de Ca^{++}

En 1,0155 gr de muestra se tiene 0,185 gr de Ca^{++}

En 100 $X = 18,2176$ % de Ca^{++}

Haciendo las mismas consideraciones para la muestra D_2 , tenemos que:

En 1000 c.c. de solución hay 0,149 gr. de Ca^{++} (149 p.p.m.)

En 100 c.c. $X = 0,0149$ gr de Ca^{++}

En 20 c.c. de solución hay 0,0149 gr de Ca^{++}

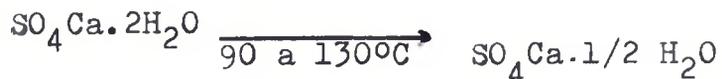
En 250 c.c. $X = 0,1863$ gr de Ca^{++}

En 0,9902 gr de muestra se tiene 0,1863 gr de Ca^{++}

En 100 $X = 18,8093$ % de Ca^{++}

2.3. AGUA DE CONSTITUCION.- Al comenzar el análisis químico y con el fin de obtener un peso real, a las muestras a ser analizadas, se las sometió a una temperatura de 75°C en la estufa hasta obtener peso constante, para eliminar la humedad retenida superficialmente. Cabe indicar que esta eliminación de humedad se realizó a 75°C y no a 100 ó 105°C como se efectúa corrientemente, por-

que el sulfato de calcio dihidratado a partir de los 90°C comienza a perder el agua de constitución, según la siguiente ecuación química:



2.3.1. DETERMINACION DEL AGUA DE CONSTITUCION: para efectuar

este análisis se toma una muestra de aproximadamente 1 gramo de peso, a la que se le somete a una temperatura de 200°C en una estufa, por el tiempo de 1 hora, desecándola hasta obtener peso constante. Por diferencia entre el peso inicial de la muestra y el peso de la misma desecada, se obtiene el agua de constitución, la que luego será referida a 100.

En el caso del presente trabajo, para efectuar los análisis se tomaron dos muestras de la representativa total tratada ya como se indicó con anterioridad. A la una se la sometió a la temperatura de 75°C con el fin de calcular el porcentaje de humedad retenida superficialmente, en tanto que a la otra se la desecó a 200°C para obtener el porcentaje de agua de constitución. Luego se refirieron los datos de la una muestra a la otra y viceversa.

Designándolas a estas muestras de yeso de la mina DUX como D₁ y D₂, se obtuvieron los siguientes datos:

	D ₁	D ₂
1. Peso del crisol vacío y desecado	7,9148 gr	8,9717 gr
2. Peso del crisol más la muestra	8,9420 gr	9,9733 gr
3. Peso de la muestra	1,0272 gr	1,0016 gr
4. Luego de 3 horas a 75°C		9,9620 gr
5. Luego de 1/2 hora más a 75°C		9,9619 gr
6. Después de 1 hora a 200°C	8,7661 gr	
7. Después de 1/2 h. más a 200°C	8,7589 gr	
8. Después de 1/2 h. más a 200°C	8,7587 gr	

El peso de la pérdida de agua a 75°C será:

$$9,9733 \text{ gr} - 9,9619 \text{ gr} = 0,0114 \text{ gr}$$

El peso de la pérdida de agua a 200°C vendrá dado por:

$$8,9420 \text{ gr} - 8,7587 \text{ gr} = 0,1833 \text{ gr.}$$

Llevando a 100 estos valores tenemos que:

en 1,0016 gr de muestra se pierde 0,0114 gr de agua
(a 75°C).

$$\text{en } 100 \text{ gr de muestra} \quad X = 1,1382 \%$$

Por tanto, la cantidad de humedad retenida superficialmente por el yeso es 1,1382 %.

Para el agua de constitución tenemos que

En 1,0272 gr de muestra se pierde 0,1833 gr de agua
a 200°C

$$\text{En } 100 \quad X = 17,8446 \%$$

Pero este valor de 17,8446 % representa la humedad retenida más el agua de constitución, por lo que el porcentaje

de ésta será: $17,8446 \% - 1,1382 = 16,7064$ de agua de constitución.

Para los cálculos a realizarse en estas muestras, se considerarán sus pesos reales, los mismos que se obtienen restando de sus pesos iniciales, la cantidad correspondiente a la humedad retenida en su superficie, según las siguientes consideraciones:

Muestra D_1

En 100 gr de muestra hay 1,1382 gr de humedad (a 75°C)

En 1.0272 gr $X = 0,0117$ gr

Los pesos reales serán:

D_1	D_2
1,0272 gr	1,0016 gr
- <u>0,0117 gr</u>	<u>0,0114 gr</u>
1,0155 gr	0,9902 gr

2.4. HUMEDAD HIGROSCOPICA.- Dentro de los procesos cerámicos se consideran tres tipos

de agua:

a) AGUA MECANICA: Es la que está llenando los poros que dejan los sólidos y se encuentra en contacto con otras moléculas de agua. Es la de más fácil eliminación.

b) AGUA HIGROSCOPICA: Se dice higroscópico a aquel cuerpo capaz de absorber la humedad de la atmósfera. El agua higroscópica constituyen las moléculas de agua adheridas a los sólidos, la misma que está en función de

la temperatura y de la humedad relativa.

c) AGUA DE CRISTALIZACION O DE CONSTITUCION: Es la que con--
forma parte de
las moléculas de los sólidos, estando dentro de ellos.

La técnica para esta determinación consiste en tomar aproximadamente 1 gr de muestra y desecarla a 50°C por el -- tiempo de dos horas, procediendo a enfriarla y pesarla. A - continuación se somete a la muestra a una atmósfera húmeda - por 3 días consecutivos y se la pesa, para por diferencia en tre este valor y el de la muestra desecada a la mencionada - temperatura, calcular el de la humedad higroscópica.

Para obtener atmósfera húmeda se puso agua hirviendo en la parte inferior de un desecador, tapándolo bien una vez colocados los crisoles con las muestras.

Los datos obtenidos en esta prueba, la misma que se e fectuó sobre 2 muestras representativas diferentes a las anteriores, fueron los siguientes:

	Muestra A	Muestra B
Peso del crisol vacío	12,9525 gr	12,3182 gr
Peso de crisol + muestra	13,9864 gr	13,5036 gr
Peso de la muestra	1,0339	1,1854
Después de desecar	13,9688 gr	13,4893 gr
Luego de 3 días en atmósfera húmeda	<u>13,9871 gr</u>	<u>13,5104 gr</u>
Cantidad de humedad absorbida	0,0183 gr	0,0211

Entonces para la muestra A tenemos que:

1,0339 gr de muestra absorben 0,0183 gr de humedad

100 gr $X = 1,7700$ % de humedad hi-

groscópica.

Y para la muestra B:

1,1854 de muestra absorben 0,0211 gr de humedad

100 gr. $X = 1,7800$ % de humedad hi-

groscópica.

2.5. IMPUREZAS INSOLUBLES.- Los filtros con lo insoluble de cada muestra (ver pág 20), fueron pasados a crisoles de porcelana previamente desecados y pesados, procediéndose luego a calcinar, enfriar y pesar el conjunto, hasta obtener peso constante. Luego y por diferencia de pesos, se calculó la cantidad de impurezas insolubles en ácido clorhídrico concentrado, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

	Muestra D ₁	Muestra D ₂
- Peso del crisol vacío	8,9706 gr	7,6467 gr
- Peso del crisol + impurezas calcinadas 3 horas (primera pesada)	9,1656 gr	7,8370 gr
- Peso del crisol + impurezas calcinadas 1/2 hora más (segunda pesada)	<u>9,1655 gr</u>	<u>7,8367 gr</u>
- PESO DE LO INSOLUBLE EN HCl	0,1949	0,1900

Por tanto tenemos que para D_1 :

En 1,055 gr de muestra hay 0,1949 de impurezas insolubles.

En 100 gr. $X = 19,1925 \%$

Para D_2 :

En 0,9902 gr de muestra hay 0,19 gr de impurezas insolubles.

En 100 gr $X = 19,1880 \%$

2.6. ION CLORURO.- Para esta determinación por duplicado se pesaron de la muestra representativa total desecada a 75°C 5,0265 gr y 5,0072 gr., para luego de disolver en ácido nítrico aforar cada parte a 250 c.c. Se tomaron alíquotas de 5 c.c. de esta solución y se titularon con una solución de NO_3Ag 0,005 normal de constante $K = 1,0204$, obteniéndose el viraje con 0,90 y con 1,00 c.c. respectivamente.

El porcentaje del ión cloruro vendrá dado por:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{V.K.N. \text{ meq Cl}^- \times 100 \times 250}{\text{P.M.} \quad 5}$$

En donde $V =$ volumen de NO_3Ag necesario para el viraje.

$K =$ constante de NO_3Ag .

$N =$ normalidad del NO_3Ag .

$\text{meq Cl}^- =$ miliequivalente químico del ión cloruro

$\text{P.M.} =$ peso de la muestra.

Por lo tanto para la muestra de 5,0265 el $\% \text{Cl}^-$ será:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{0,9 \times 1,0204 \times 0,005 \times 0,035456 \times 100 \times 250}{5,0265 \quad 5} = 0,1620\% \text{Cl}^-$$

Y para la muestra de 5,0072 gr tenemos que:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{1,00 \times 1,0204 \times 0,005 \times 0,035456 \times 100}{5,0072} \times \frac{250}{5} = 0,1806\% \text{Cl}^-$$

La determinación del ión cloruro se la realizó por ser su presencia de mucha importancia en la industria cerámica, habiéndose visto que en el caso del yeso "DUX" existe en pequeñísimas cantidades.

Realizando un resumen de los porcentajes correspondientes a los elementos analizados para las muestras D₁ y D₂ tenemos:

	D ₁	D ₂	% PROMEDIO
H ₂ O de constitución (%)	16,7064	16,7064	16,7064
Impurezas insolubles (%)	19,1925	19,1880	19,1903
SO ₄ ⁻ (%)	45,0812	45,0932	45,0872
Ca ⁺⁺ (%)	18,2176	18,8093	18,5135
Cl ⁻ (% promedio)	<u>0,1713</u>	<u>0,1713</u>	<u>0,1713</u>
	ξ = 99,3690	ξ = 99,9682%	ξ = 99,6687%

3. TRATAMIENTO DEL YESO PARA LA OBTENCION DE MOLDES DE

CERAMICA

3.1. EXTRACCION DE LA MINA Y PURIFICACION.- Por lo general las operaciones mineras pueden ser divididas en dos grandes grupos: de superficie y subterráneas. Donde resultan practicable los procedimientos de superficie tienen preferencia, - porque suelen ser más económicos. Los procedimientos de extracción, impuestos por la forma o carácter de una masa de mineral, pueden determinar a menudo si un depósito tendrá o no valor económico.

Los procedimientos de superficie se ven influidos por el volumen del mineral, su riqueza, la extensión del depósito y la profundidad de carga superior. Muchas masas minerales no se pueden explotar en forma ventajosa a no ser mediante procedimientos de superficie, a causa del costo bajo de los mismos.

En el caso de la piedra de yeso, ésta es obtenida por los procedimientos de minería usuales, a cielo abierto o en galería, es decir por excavación debajo de la tierra, de acuerdo a la disposición de la cantera. Como no es una roca dura, se suele usar barrenas de pólvora negra o de mina, a que se fragmente en lo posible, con la finalidad de reducir lo más que se pueda la trituración, la cual es dificultosa porque el yeso es muy elástico.

Se realiza la extracción a cielo abierto o de cantera,

para explotar los yacimientos cercanos a la superficie. En este tipo de explotación, la carga superior es extraída y luego llevada a terrenos de desecho. Esta carga puede ser lo suficientemente blanda como para que se la excave en forma directa (tal es el caso en la mina de yeso "DUX"), o puede ser una roca dura, caso en el que deberá ser volada con explosivos.

PURIFICACION.- Se hace necesaria una purificación, o más propiamente una concentración, para beneficiar minerales dispersos y para separar los minerales que se quieren, de los no deseados.

Se conocen dos fases principales en la concentración: la una no es sino la liberación de los minerales útiles de la ganga en la que están encerrados o de los minerales que no se desean.

La segunda fase es en cambio la reunión o concentración de los minerales útiles a los que se los llama "concentrados", con el mínimo de pérdida y el consiguiente desecho de los minerales no deseados, llamados "colas".

Para la concentración se pueden emplear varios procedimientos tales como escogido a mano, concentración por gravedad, sumersión y flotación, flotación, etc.

El método de escogido a mano que se ha empleado para la purificación inicial del yeso "DUX", es un método basto, usado especialmente en operaciones pequeñas con minerales -

gruesos. En algunas clases de materiales la ganga puede ser escogida a mano, quedando sólo los minerales, los mismos que son enriquecidos de esta forma para una concentración posterior, o son expedidos así.

3.2. TRATAMIENTO PREVIO.- En estas condiciones en las que se encuentra el yeso, es trasladado desde la mina para su tratamiento. Como la proporción mayor del mineral está asociada a arcillas, limos y areniscas, una vez que ha sido colocado sobre una malla gruesa, con aberturas de más o menos 1,25 cm, se lo somete a la acción de una corriente de agua continua, removiendo el material con una pala. De esta forma las partículas pequeñas que se desprenden del yeso, pasarán a través de la malla que se encuentra sobre unos soportes a una pequeña altura del piso, obteniéndose un material puro. Se da por terminado este tratamiento al estimar que ya no se separan más impurezas del yeso.

3.3. TRITURACION PRIMARIA.- En general la trituration tiene un doble objeto:

- 1) dar el producto deseado en forma definitiva;
- 2) dar el producto concentrado dispuesto para un tratamiento posterior.

El yeso de estuco y los yesos de moldear (cuyos detalles se dan más adelante) son preparados reduciendo a polvo grueso la piedra de yeso antes de su cocción (versión americana). Sin embargo, para obtener el mejor yeso para estuco

y modelado, se trituran las piedras hasta que tengan más o menos unos 20 mm de diámetro, se las pone en un horno rotatorio y finalmente el material pasa a ser pulverizado y tamizado (versión francesa).

Para la trituración misma se usan los trituradores de mandíbulas (trituradores bastos), mandíbulas que constan de dos placas gruesas y acanaladas, de acero al manganeso o de cualquier otro material que soporte la abrasión. La una mandíbula va colocada en forma vertical, en tanto que la otra va inclinada; esta última es fija por la parte superior y está sometida a un movimiento de vaivén en la inferior, a través de una biela accionada por la exéntrica de un volante. De acuerdo a la abertura entre las mandíbulas, se tendrá un producto de diferente tamaño.

También se puede usar los molinos de martillos (trituradores intermedios) que operan más por impacto que por presión. Básicamente están formados por un tambor dentro del que giran unos discos que van montados en un eje en forma de barras rectangulares de 3 a 12 mm de espesor y son éstos los que golpean a los pedazos de las piedras, las mismas que luego de trituradas salen por el fondo del tambor a través de unas rejillas.

En el caso del presente trabajo, se procedió a realizar la trituración primaria colocando al material sobre papel limpio y fuerte, para fragmentarlo con un martillo hasta que tenga aproximadamente unos 20 mm de diámetro.

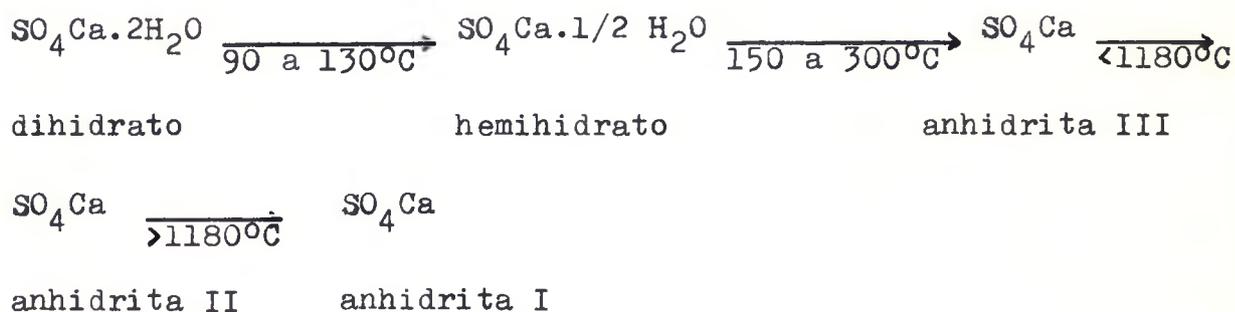
3.4. PURIFICACIÓN. - Con el propósito de purificar un poco más el material luego de la trituración primaria, una vez colocado sobre una malla de 1,25 cm. abertura se lo introduce en una corriente de agua continua, de manera semejante a la indicada en 3.2. De esta manera se habrá eliminado más impurezas superficiales del yeso, quedando empero en las muestras que tienen, una fina capa de color rojizo de compuestos de hierro. En estas condiciones el material será sometido a una deshidratación, transformándolo de sulfato de calcio dihidratado a hemihidrato, para que luego de molido y tamizado, sea utilizado en pruebas de fabricación de moldes cerámicos.

3.5. DESHIDRATACION DEL YESO. - Como ya se indicó anteriormente, los yesos de estuco y los de moldear, son preparados reduciendo a polvo la piedra de yeso (groseramente y sin especificación de finura), luego de lo cual tiene lugar la cocción por el lapso de 2 a 3 horas a una temperatura que se puede estar entre 120 y 130° C. Finalmente el yeso es molido a la finura requerida.

Sin embargo, para obtener el mejor yeso de estuco y modelado, se trituran las piedras hasta que tengan unos 20 mm. de diámetro y se las vierte en un horno rotatorio, por el que pueden pasar en igual sentido o en sentido contrario al de los gases calientes. Se procede luego a pulverizar y tamizar el material.

Un esquema sencillo de las transformaciones del dihidrato, poniendo de relieve las principales fases y estados alo-

trópicos de interés técnico puede ser:



En relación con las propiedades técnicas del yeso, las variedades alotrópicas de mayor importancia son las *d* y B para el hemihidrato y *d* y B para la anhidrita III.

De acuerdo a datos de Beljankin, Lapin e Iwanow, la deshidratación del hemidrato *d* sobre los 220°C nos lleva a obtener la anhidrita *d*, en tanto que la deshidratación del hemihidrato B por sobre los 300°C, da lugar a la anhidrita B.

De los estudios realizados por H. Manthiak y P. Kurpiers sobre la transformación del dihidrato a hemihidrato y de dihidrato a anhidrita III, se deduce que si la presión parcial de vapor de agua sobre el yeso que se deshidrata es igual o mayor a la atmósfera, se tiene el hemihidrato *d*. En cambio si es inferior, como sucede cuando el vapor de agua que se forma es arrastrado por una corriente de gases, se tiene directamente la anhidrita III, a partir del dihidrato. Pero la anhidrita así formada pasará inmediatamente a hemihidrato B, en contacto con aire húmedo. Puede existir en el interior de los gránulos (gruesos relativamente) suficiente presión parcial de vapor de agua en la deshidratación, como para que directamente se forme la anhidrita III.

Pero si en cambio la deshidratación se lleva a cabo - en presencia de vapor de agua a presión en autoclave, se tendrá un *d* más compacto y resistente.

La anhidrita III, deshidratada a temperaturas entre 150 y 300°C, es inestable, absorbe agua del ambiente en forma muy rápida y se convierte en hemihidrato. Si se la mezcla con agua fragua rápidamente, por lo que su presencia en yesos recién obtenidos es responsable de la alteración de sus tiempos de fraguado. Para superar este defecto y conseguir una calidad homogénea, se deja al producto obtenido en grandes silos. Si está presente en cantidades importantes - puede ser necesaria la adición de productos retardantes.

En cambio la anhidrita II insoluble, la misma que se obtiene deshidratando el hemihidrato a temperaturas mayores de 300°C, reacciona con el agua pero en forma muy lenta.

La anhidrita I conseguida por calcinación a alta temperatura, fragua en el aire luego de varias horas, dependiendo del contenido eventual de óxido cálcico (originado en la descarbonatación a 900°C) y de impurezas de CO_3Ca que suelen acompañar al yeso, sabiéndose que su hidróxido acelera el fraguado. Este yeso fragua bajo agua, razón por la que se le denomina hidráulico.

3.5.1. PROCESOS DE OBTENCION INDUSTRIAL.- Los principales procesos de fabricación industrial del hemihidrato son dos: el americano y el francés. En el primero la cocción tiene lu--

gar luego de la molienda, obteniéndose el yeso de fábrica y de estuco, en tanto que en el procedimiento francés la piedra de yeso es reducida a un determinado tamaño, para luego ser cocida y molida, obteniéndose así una mezcla más homogénea. Se usa este método para la obtención de yeso fino para modelar.

PROCEDIMIENTO DE CALDERAS: Una vez que la piedra de yeso ha sido pulverizada, es introducida en una caldera de palastro de aproximadamente dos metros de diámetro. En el interior de dicha caldera existen unos rascadores y un agitador, los mismos que se mueven con el fin de realizar una mejor mezcla y conseguir que la masa pulverizada esté a la misma temperatura.

La caldera que va sobre un hogar de fábrica, se ve rodeada en el fondo por llamas de combustible (comúnmente hulla), las que alcanzan hasta parte de las paredes. Se da por terminada la cocción cuando cesan las burbujas, pues el agua se desprende como vapor, dando la impresión de hervir. Luego se vacía en forma automática el yeso cocido por acción de los rascadores, para finalmente y a través de una pequeña puerta situada junto al fondo, pasar a un silo donde se enfría el producto obtenido. El polvo que arrastra el vapor de agua es captado a través de un aparato especial.

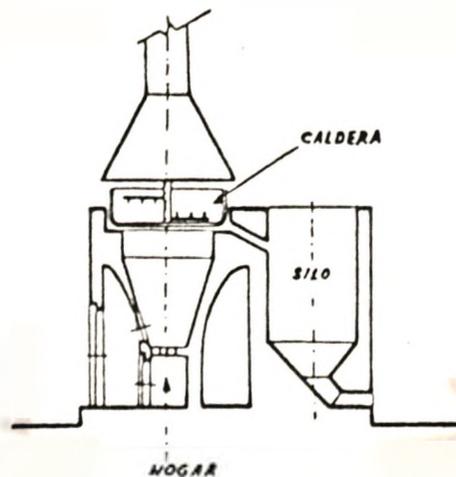


Fig. 3

PROCEDIMIENTO DE VAPOR DE AGUA A PRESION: Luego de que el material ha sido fragmentado, es colocado en unas bandejas, las mismas que dispuestas una sobre otra en unas vagonetas, son introducidas en cámaras o en autoclaves. Se inyecta vapor de agua a presión, - el mismo que después de concluida la cocción, es arrastrado - por corriente de aire, sacándose en seguida las vagonetas. Este es un procedimiento muy económico, a la vez que da un buen producto si se trabaja con piedra escogida.

(Tomado de "Materiales de Construcción", Félix Orús Asso, pág 132-133).

PROCEDIMIENTO DE HORNOS ROTATIVOS.- Desde el año de 1925 aproximadamente se ha producido cantidades considerables de yeso calcinado en hornos rotativos, similares a los empleados en la producción de cemento, a pesar de que en éstos es más difícil controlar la temperatura y el producto contiene cantidades variables de an

hidrita soluble. Estos hornos son unos cilindros de palastro de unos 10 m de largo y 1,50 m de diámetro, los cuales por la baja temperatura a la que se efectúa la cocción, no requieren estar recubiertos de refractario. Esta cocción se efectúa a través del calor que proporciona un hogar separado, cuyos gases calientes rodean al horno. Con la finalidad de que el material no se deshidrate rápidamente como sucedería al introducirlo en polvo, se lo reduce al tamaño de garbancillo. En esta forma entra por un extremo y con la ayuda de unos hierros en forma de ángulo o de unos discos, avanza a través del horno y sale cocido por el otro extremo.

Algunos productos de yeso son "aridizados" (envejecidos químicamente) mediante un tratamiento destinado a obtener un producto que fragua en forma uniforme. Dicho tratamiento consiste en agregar cloruro cálcico (sal delicuescente) en proporciones de 0.01 a 0.05 % durante la calcinación o luego de ella.

Sin embargo de todo lo citado anteriormente, para la cocción de la escayola (llamada además yeso vivo, hemihidrato, etc.) se utilizan también hornos semejantes a los de cocer pan, además de estufas calentadas por electricidad.

Para la cocción del yeso de la mina "DUX" una vez que ha sido tratado de la forma indicada en este capítulo y debido a la carencia de otros equipos, se lo introdujo en pedazos de más o menos 20 mm de diámetro en una estufa que realiza el calentamiento a través de corrientes de aire calentado

a base de electricidad, modelo MEMBERT TV 30 SL VENTILACION.

Siguiendo las recomendaciones técnicas para el caso, a la piedra de yeso se la calcinó por el tiempo de 3 horas, a una temperatura comprendida entre 120 y 130°C.

Con el propósito de saber cuál era la temperatura real en el centro de cada pedazo de yeso, se tomaron cinco de éstos y con un taladro eléctrico se practicó una perforación en cada uno, hasta llegar al plano central. Se introdujo un termopar en cada muestra y otro se colocó en la superficie de un pedazo diferente, para luego introducir las seis muestras en la estufa con los termopares debidamente acoplados y conectados a un graficador tipo Z.6D Elab a-s Copenhagen 110 voltios, en el cual se obtuvo simultáneamente en el mismo gráfico las 6 curvas tiempo-temperatura.

Se tomó en cuenta la posibilidad de realizar la cocción de la piedra de yeso prendiendo la estufa y cuando ésta se encuentra a la temperatura requerida (120-130°C), obteniéndose para cada caso un gráfico con seis curvas simultáneas, máxima capacidad del registrador. En ambos casos se comprobó que la temperatura del centro del yeso llegó a ser del orden de los 120-130°C.

En el primer caso se introdujeron las muestras estando la estufa apagada, siendo la temperatura del ambiente $T_s = 16,7^\circ\text{C}$ (temperatura observada en el termómetro de la estufa) igual a la temperatura inicial T de los pedazos de yeso. Una vez acoplados debidamente los termopares, se encendieron

la estufa y el registrador, descargándosele a la primera luego de 3 horas. Se obtuvo en el registrador la respectiva curva tiempo-temperatura (fig. 4), en la misma que se puede observar que la temperatura en la superficie del yeso, primera curva desde la derecha, alcanzó hasta $132,5^{\circ}\text{C}$, mientras que la del plano central T_a fue máximo de 126°C , existiendo por tanto pequeñas pérdidas en la transmisión del calor desde la superficie del yeso al plano central del mismo.

Así mismo se puede ver cómo luego de 110 minutos, la transmisión del calor pasa del estado no estacionario a un régimen estacionario.

En el otro caso se introdujo en la estufa una muestra con un termopar acoplado en su superficie, prendiéndose luego ésta y el registrador. La temperatura T_s fue de 23°C e igual a T . Cuando el termómetro de la estufa marcaba 132°C a causa de pérdidas en la transmisión del calor por radiación se la abrió y se introdujeron otras cinco muestras con sus respectivos termopares acoplados en su plano central. Esta operación se efectuó a los 33 minutos de prendida la estufa, pudiéndose apreciar un pequeño descenso de la temperatura del ambiente de la estufa y de la superficie de la primera muestra.

En estas condiciones se mantuvo el conjunto hasta 3 horas luego de conectada la estufa, procediendo a desconectarla entonces juntamente con el registrador. Observando la curva tiempo-temperatura (fig. 5) obtenida para este caso, se puede notar cómo al cabo de sólo 30 minutos aproximadamen

te luego de introducir las muestras, la temperatura en su plano central ya está entre los 120-130°C, entrando la transmisión del calor en estado estacionario. Así la temperatura en la superficie del yeso fue de 128°C, mientras que en el plano central $T_a = 124^\circ\text{C}$ más o menos.

Para ambos casos es de indicar que los pedazos de yeso en las parrillas de la estufa estuvieron uno al lado de otro, más no superpuestos.

3.6. MOLIENDA Y TAMIZADO.- Al equipo utilizado para efectuar reducciones de tamaño en los sólidos se lo divide en: trituradoras o machacadoras, molinos (intermedios y finos), molinos de ultrafinos y máquinas cortadoras.

Las trituradoras efectúan el trabajo más duro, rompiendo grandes trozos de material sólido en pedazos pequeños. Para ésto una trituradora primaria opera sobre el material en bruto, tal como éste viene de la mina, rompiéndolo en pedazos de aproximadamente 15 a 25 cm. Estos son reducidos a partículas de un tamaño de más o menos 0,5 cm por medio de una trituradora secundaria. Posteriormente los molinos reducirán la alimentación triturada a polvo, y es así como el producto de un molino intermedio podría pasar a través de un tamiz de 40 mallas, en tanto que la mayor parte del producto de un molino de finos pasará por un tamiz de 200 mallas. Los molinos de ultrafinos (los mismos que no aceptan ser alimentados con partículas mayores a 0,5 cm) nos dan un producto de un tamaño comprendido entre 1 y 50 micrones. Las máqui--

nas cortadoras dan partículas de tamaño y forma definidos, - las mismas que pueden tener una longitud comprendida entre - 0,15 y 1,25 cm.

Para efectuar la reducción de tamaño se tienen las si guientes clases de máquinas:

I. Trituradoras (gruesos y finos)

- a) Trituradoras de mandíbulas
- b) Trituradoras giratorias
- c) Trituradoras de rodillos

II. Molinos (intermedios y finos)

- a) Molinos de martillos, impactores
- b) Molinos giratorios de compresión
 - 1. Molinos de rodillos
 - 2. Molinos de barras
- c) Molinos de fricción
- d) Molinos giratorios
 - 1. Molinos de barras
 - 2. Molinos de bolas y guijarros
 - 3. Molinos de tubos; molinos compartimentados.

III. Molinos de ultrafinos

- a) Molinos de martillos con clasificación interna.
- b) Molinos que utilizan la energía de un flúido.

IV. Máquinas cortadoras

- a) Cortadoras de cuchilla, de cuadrados y de tiras.

Es de indicar que estas máquinas trabajan de formas -

completamente diferentes. Así, la compresión lenta es la característica de las trituradoras; los molinos funcionan a base de impacto y frotamiento, en algunas ocasiones combinados con compresión; los molinos de ultrafinos fundamentalmente trabajan por frotamiento, en tanto que la acción cortante es la característica de las cortadoras¹.

Por ser muy elástico, la operación de molienda en el yeso, ya sea crudo o cocido, resulta costosa. Para realizarla, luego de que ha sido convertido en fragmentos pequeños por las machacadoras o los molinos, es pulverizado, con los desintegradores o molinos giratorios (fig. 6). Estos se hallan constituidos básicamente por dos muelas de piedra, dispuestas en forma horizontal, una sobre la otra, siendo una de ellas fija (comúnmente la superior), en tanto que la otra es móvil.²

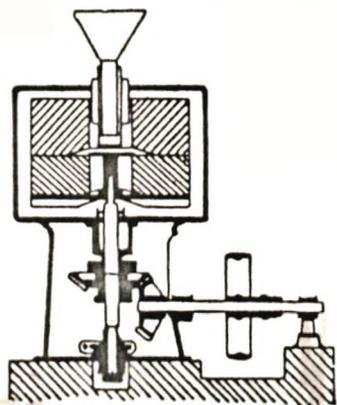


Fig. 6

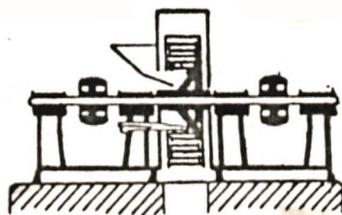


Fig. 7

1. Mc Cabe - Smith, Operaciones básicas de Ingeniería Química, volumen II, pág. 854 - 855.

2. Felix Orus Asso, Materiales de Construcción, pág. 134.

Los molinos desintegradores constan de varios tambores formados por barras de acero, los mismos que se encuentran muy próximos entre sí, girando en sentido contrario (fig 7). La pulverización del yeso se produce cuando éste choca con las barras de los distintos tambores.¹

3.6.1. TAMIZADO.- Es un método para separar partículas, basado únicamente en el tamaño.²

Para realizarlo industrialmente se vierten los sólidos sobre una superficie perforada o tamiz, que permite el paso de las partículas pequeñas o "finos", reteniendo las de tamaños superiores o "rechazos". Un tamiz cualquiera sólo puede realizar una separación en dos fracciones, llamadas fracciones de tamaño no especificado, pues aunque se conoce el límite superior o inferior de los tamaños de las partículas que contienen, el otro límite es siempre desconocido. Al material que atraviesa una serie de tamices de tamaños diferentes se lo separa en fracciones por tamaño, o sea fracciones en las cuales se conocen los tamaños máximo y mínimo de las partículas.

En la mayoría de los tamices las partículas atraviesan sus aberturas por gravedad, pero en algunos modelos se las obliga a pasar mediante cepillos o con la ayuda de una fuerza centrífuga.

1. Tomado de Felix Orus Asso, Materiales de Construcción, pág. 134.

2. Tomado de Mc Cabe - Smith, Operaciones básicas de Ingeniería Química, vol II, pág. 902.

Una vez que el yeso ha sido molido se lo hace pasar - por un tamiz de 144 mallas por centímetro cuadrado, volviendo a molerse los residuos y envasándose el producto que pasa.

En la actualidad se combinan los molinos con separadores de aire (fig. 8) basados en la fuerza centrífuga. Al producto pulverizado se lo introduce en un aparato provisto de un disco giratorio que proyecta el producto a su alrededor, siendo luego el polvo arrastrado por una corriente de aire - débil y depositado en la tolva exterior, cayendo el producto más grueso a otra tolva de forma cónica y concéntrica con la anterior, llevándolo nuevamente a ser pulverizado.

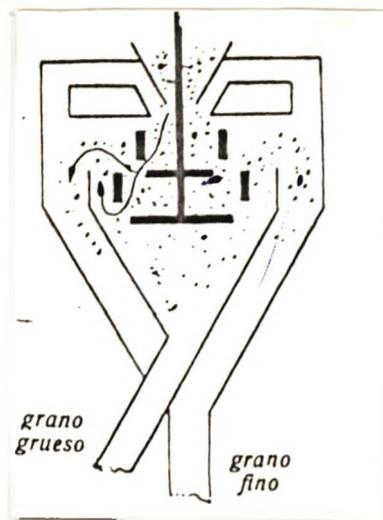


Fig. 8

(Tomado de "Materiales de Construcción", Félix Orús Asso, pág. 134 - 135).

o

A los pedazos de yeso Dux de aproximadamente 20 mm de diámetro (así como también a los pedazos más pequeños), se los convirtió a polvo luego de la cocción, valiéndose de un molino artesanal, tipo fricción, llamado "molino de Yeso", -

construido en forma empírica. Este molino funciona a base de un motor de 220 voltios y 10 H.P., el mismo que a través de una polea acciona una rueda dentada de piedra que gira frente a otra rueda fija, también de piedra. Una vez que el material es cargado por la tolva en forma manual, llega hasta una superficie inclinada situada en su base, para de ahí caer hacia un espiral que lo lleva a las ruedas de piedra de donde cae por la parte inferior del equipo, el mismo que tiene un rendimiento de 20 quintales por hora.

Como las escayolas tienen un elevado grado de finura, pues el material debe pasar el tamiz 0,2 mm en un porcentaje $\geq 98\%$, al yeso Dux que no lo atravesó en primera instancia se lo debió triturar más aún, valiéndose de un mortero de porcelana, ya que el molino usado no reduce más el material. Es así como se logró que el yeso procesado en este trabajo, cumpla con la característica de finura establecido para el yeso patrón.

4.- ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL YESO OBTENIDO COMPARADO CON EL YESO IMPORTADO

La Cerámica Andina, empresa que auspicia este estudio, para la elaboración de sus productos requiere, entre otras cosas, hacer moldes de yeso, tanto para el proceso de colado como de torneado (ver capítulo 5). Para este fin debe actualmente importar yeso desde los Estado Unidos, pues en el país no existe este material con las características técnicas requeridas.

Como ya se indicó anteriormente, una parte del presente trabajo consiste en el procesamiento de un yeso nacional (de la mina "DUX") para utilizarlo en moldes de cerámica, tratando de imitar en lo posible al yeso americano. Es por ello que se procedió primero a analizar este material, tanto física como químicamente, para luego efectuar los mismos análisis con el yeso "DUX" procesado y establecer las respectivas comparaciones.

4.1. ANALISIS QUIMICO

4.1.1. YESO AMERICANO: Para el efecto se procedió de la misma forma que en el capítulo 2, excepto en la parte correspondiente a la desecación de la muestra, la misma que fue realizada no a 75°C, sino a 105 - 110°C, pues a esta temperatura el hemihidrato no pierde agua de constitución.

AGUA RETENIDA SUPERFICIALMENTE Y AGUA DE CONSTITUCION: Se tomaron

dos muestras al azar, a las que se les designó como I_1 e I_2 , habiéndose obtenido los siguientes datos:

	I_1	I_2
1.- Peso del crisol vacío y desecado	12,3672 gr	12,4308 gr
2.- Peso del crisol + muestra	<u>13,3802 gr</u>	<u>13,4308 gr</u>
3.- Peso de la muestra	1,0130 gr	1,0000 gr
4.- Luego de 1 hora a 105°C		13,4192
5.- Luego de 15 minutos más a 105°C		13,4190
6.- Después de 1 hora a 200°C	13,3074	
7.- Después de 1/2 hora más a 200°C	13,3073	

Por tanto el peso de la pérdida de agua a 105°C será:
 $13,4308 - 13,4190 = 0,0118$ gr.

Y el peso de la pérdida de agua a 200°C será:
 $13,3802 - 13,3073 = 0,0729$ gr.

Si llevamos estos valores a 100 y se refieren entre sí tenemos:

En 1,0000 gr de muestra se pierde 0,0118 gr de agua (a 105°C)
en 100 gr $X = 1,18 \%$

Es decir que el agua retenida superficialmente es del orden del 1,18 %.

Para el agua de constitución tendremos que:
En 1,013 gr de muestra se pierde 0,0729 gr de agua total
en 100 gr $X = 7,1965 \%$.

Este valor empero representa tanto el porcentaje de -

humedad retenida superficialmente, como el del agua de constitución.

Por tanto el porcentaje de esta última será:
7,1965 % - 1,18 % = 6,0165 % de agua de constitución.

Se deberán tener en cuenta para los cálculos posteriores, los pesos reales de las muestras según:

Muestra I₁: En 100 gr de muestra hay 1,18% humedad (a105°C).
en 1,013 $x = 0,0120$ gr.

Por lo tanto los pesos reales de las muestras serán:

I ₁	I ₂
1,0130 gr	1,0000 gr
- <u>0,0120 gr</u>	- <u>0,0118 gr</u>
1,0010	0,9882 gr

IMPUREZAS INSOLUBLES.- Disolviendo igualmente las dos muestras en ácido clorhídrico concentrado, se filtró el conjunto y la solución de cada muestra se llevó a 250 cc. para los análisis posteriores.

Los filtros con sus correspondientes residuos insolubles fueron pasados a crisoles previamente calcinados y pesados para efectuar los respectivos cálculos.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

	I ₁	I ₂
- Peso del crisol vacío	12,3661 gr	12,9430 gr
- Peso del crisol + impurezas		

calcinadas (primera pesada)	12,3756 gr	12,9524 gr
- Peso del crisol + impurezas calcinadas luego de 1/2 h. más de calcinación	<u>12,3756 gr</u>	<u>12,9523 gr</u>
- Peso de lo insoluble en H Cl	0,0095 gr	0,0093 gr

Refiriendo a 100 tenemos que:

Para I₁

En 1,0010 gr de muestra hay 0,0095 gr de impurezas
En 100 X = 0,9491 %

Para I₂

En 0,9882 gr de muestra hay 0,0093 gr de impurezas
En 100 X = 0,9411 %

ION SULFATO: Procediendo de la forma indicada con anterioridad, en 2.1., para este análisis sobre 10 cc de cada muestra, se obtuvieron los siguientes datos:

- Peso del crisol vacío (calcinado)	12,3668 gr	12,4314 gr
- Peso del crisol + SO ₄ Ba calcinado (primera pesada)	12,4305 gr	12,4945 gr
- Peso del crisol + SO ₄ Ba calcinado 1/2 hora más (segunda pesada)	<u>12,4304 gr</u>	<u>12,4943 gr</u>
- Peso de SO ₄ Ba	0,0636 gr	0,0629 gr

Por tanto, refiriendo a 10 tenemos:

Para I₁:

En 10 cc de solución hay 0,0636 gr SO₄Ba
En 250 X = 1,59 gr

A 233,42 gr de SO₄Ba corresponden 96,06 gr de SO₄⁻

a 1,59 gr	X = 0,6544
En 1,001 gr de muestra hay	0,6544 gr de $\text{SO}_4^{=}$
en 100	X = 65,3684 %

Para I_2 :

En 10 cc de solución hay	0,0629 gr SO_4Ba
En 250 cc	X = 1,5725
A 233,42 gr de SO_4Ba corresponden	96,06 gr de $\text{SO}_4^{=}$
a 1,5725	X = 0,6471
En 0,9882 gr de muestra hay	0,6471 gr $\text{SO}_4^{=}$
en 100	X = 65,4863 %

ION CALCIO: Habiendo leído el calcio de las diferentes muestras analizadas en este estudio en la misma ocasión y refiriendo a la misma curva de calibración, para las muestras I_1 e I_2 se obtuvieron lecturas de 57 y 56, correspondientes a concentraciones de 218 y 214 p.p.m. respectivamente, realizando con anterioridad diluciones de 20 a 100 cc.

Por tanto tenemos:

Para I_1

En 1000 cc	hay 0,218 gr Ca^{++}
en 100 cc	hay X = 0,0218

En 20 cc	hay 0,0218 gr Ca^{++}
en 250 cc	X = 0,2725

En 1,001 gr de muestra hay	0,2725 gr Ca^{++}
en 100	X = 27,2223 %

Para I_2 :

En 1000 cc se tiene	0,214 gr Ca^{++}
---------------------	---------------------------

en 100 cc $X = 0,0214$
En 20 cc hay $0,0214 \text{ gr Ca}^{++}$
en 250 $X = 0,2675$
En $0,9882 \text{ gr}$ de muestra hay $0,2675 \text{ gr Ca}^{++}$
en 100 $X = 27,0694 \%$

HUMEDAD HIGROSCOPICA: Para esta determinación realizada sobre otras dos muestras representativas, se tuvieron los siguientes datos:

	Muestra A ₁	Muestra A ₂
Peso del crisol vacío	12,3172 gr	7,9174 gr
Peso de crisol vacío más muestra	<u>13,3515 gr</u>	<u>9,1261 gr</u>
	1,0343 gr	1,2087 gr
Luego de desecar 2 h. a 50°C	13,3329 gr	9,1072 gr
Después de 3 días en atmósfera húmeda	<u>13,3453 gr</u>	<u>9,1210 gr</u>
Cantidad de humedad absorbida	0,0124 gr	0,0138 gr

Por tanto para A₁ tenemos que:

1,0343 gr de muestra absorben 0,0124 gr de humedad
100 gr $X = 1,1989 \%$ de humedad
(dad higroscópica.

Y para A₂ tendremos que:

1,2087 gr de muestra absorben 0,0138 gr de humedad
100 gr $X = 1,1417 \%$ de humedad higroscópica.
(ca.

ION CLORURO: De la muestra representativa total desecada a 105°C se pesaron 5,1731 gr y 5,3142 gr, para -

luego de disolver en ácido nítrico, aforar cada parte a 250 cc. Tomando igualmente alíquotas de 5 cc. de cada solución y titulando con NO_3Ag 0,005 N de constante $K = 1,0204$, se obtuvo el viraje con 0,3 y 0,4 cc. respectivamente.

Entonces para la muestra de 5,1731 gr El % de Cl^- será:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{0,3 \times 1,0204 \times 0,005 \times 0,035456 \times 100}{5,1731} \times \frac{250}{5} = 0,0525\% \quad (\text{de } \text{Cl}^-)$$

Y para la segunda muestra:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{0,4 \times 1,0204 \times 0,005 \times 0,035456 \times 100}{5,3142} \times \frac{250}{5} = 0,0681\% \quad (\text{de } \text{Cl}^-)$$

Resumiendo los porcentajes de los elementos analizados para las muestras I_1 e I_2 tenemos:

	I_1	I_2	% PROMEDIO
H_2O de constitución (%)	6,0165	6,0165	6,0165
Impurezas insolubles (%)	0,9491	0,9411	0,9451
$\text{SO}_4^{=}$ (%)	65,3684	65,4863	65,4274
Ca^{--} (%)	27,2223	27,0694	27,1459
Cl^- (% promedio)	<u>0,0603</u>	<u>0,0603</u>	<u>0,0603</u>
	= 99,6166%	= 99,5736%	= 99,5952%

4.1.2. YESO "DUX" OBTENIDO: El análisis químico se efectuó sobre dos muestras tomadas al azar del yeso "DUX", tratado como se indicó en el capítulo 3. Procediendo para el análisis de igual forma que en el caso del yeso americano y designándoles a estas muestras como T_1 y T_2 , se tuvieron los siguientes datos:

AGUA RETENIDA SUPERFICIALMENTE Y AGUA DE CONSTITUCION:

T_1 T_2

1. Peso del crisol vacío desecado 12,3152gr 12,4414 gr

2. Peso del crisol más muestra	<u>13,4056 gr</u>	<u>13,4478 gr</u>
	1,0904 gr	1,0064 gr
4. Luego de 1 h. a 105°C		13,4325 gr
5. Luego de 15' más a 105°C		13,4319 gr
6. Luego de 15' más a 105°C		13,4317 gr
7. Luego de 1 h. a 200°C	13,3117 gr	
8. Después de 1/2 h. más a 200°C	13,3161 gr	
9. Después de 1/2 h. más a 200°C	13,3160 gr	

Entonces el peso de la pérdida de agua a 105°C será $13,4478 - 13,4317 = 0,0161$ gr., en tanto que el peso de la pérdida de agua a 200°C vendrá dado por $13,4056 - 13,3160 = 0,0896$ gr.

Refiriendo a 100 estos valores tendremos que:

En 1,0064 gr de muestra se elimina 0,0161 de agua superficial a 105°C.

En 100 gr $X = 1,5998 \%$

Y para el agua de constitución:

En 1,0904 gr de muestra se pierde 0,0896 gr de agua a 200°C.

En 100 $X = 8,2172 \%$

Siendo el porcentaje de agua de constitución

$$8,2172 \% - 1,5998 \% = 6,6174 \%$$

Los pesos reales de las muestras se tendrán considerando que:

Para T_1 :

En 100 gr de muestra hay 1,5998 de humedad a 105°C

en 1,0904 gr $X = 0,0174$ gr

Por tanto éstos serán:	T_1	T_2
	1,0904 gr	1,0064 gr
	- <u>0,0174 gr</u>	- <u>0,0161 gr</u>
	1,0730 gr	0,9903 gr

IMPUREZAS INSOLUBLES: Las muestras T_1 y T_2 fueron disueltas parcialmente en HCl, por lo que se las filtró y a la solución resultante en cada caso se la aforó a 250 c.c. A los filtros con lo insoluble en dicho ácido se los llevó a crisoles previamente calcinados y pesados. Los datos que se obtuvieron son los siguientes:

	T_1	T_2
- Peso del crisol vacío	12,4316	12,3165
- Peso del crisol + impurezas calcinadas (primera pesada)	12,6060 gr	12,4859 gr
- Peso del crisol + impurezas calcinadas 1/2 h. más	<u>12,6058 gr</u>	<u>12,4858 gr</u>
- Peso de lo insoluble en HCl	0,1742 gr	0,1693 gr

Lo que en porcentaje será:

Para T_1

En 1,073 gr de muestra hay 0,1742 gr de impurezas
En 100 $X = 16,2349 \%$

Para T_2

En 0,9903 gr de muestra hay 0,1693 gr de impurezas
en 100 $X = 17,0958 \%$

ION SULFATO: Efectuando esta determinación sobre 10 cc. de -

solución se tuvieron los datos siguientes:

	T_1	T_2
- Peso de crisol vacío (desechado)	12,3663 gr	12,4306 gr
- Peso de crisol + SO_4Ba calcinado (primera pesada)	12,4240 gr	12,4828 gr
- Peso del crisol + SO_4Ba calcinado 1/2 h. más (segunda pesada)	<u>12,4237 gr</u>	<u>12,4827 gr</u>
- Peso del SO_4Ba	0,0574 gr	0,0521 gr

Para T_1 :

En 10 cc de solución hay 0,0574 gr de SO_4Ba
en 250 cc $X = 1,435$ gr

A 233,42 de SO_4Ba corresponden 96,06 gr de $SO_4^{=}$
a 1,435 $X = 0,5906$ gr

En 1,073 gr de muestra hay 0,5906 gr de $SO_4^{=}$
en 100 $X = 55,0373$ %

Para T_2 :

En 10 cc de solución hay 0,0521 gr de SO_4Ba
en 250 cc $X = 1,3025$ gr

A 233,42 gr de SO_4Ba corresponden 96,06 gr de $SO_4^{=}$
a 1,3025 0,5360 gr

En 0,9903 gr de muestra hay 0,5360 gr de $SO_4^{=}$
en 100 $X = 54,1250$ %

ION CALCIO: La lectura del calcio para estas muestras se efectuó juntamente con las muestras anteriores, siendo para T_1 de 49 y para T_2 de 48, correspondientes a concen--

traciones de 179 p.p.m. y 173 p.p.m. respectivamente. (dilución 20 cc a 100 cc).

Entonces para T_1 tenemos que:

En 1000 cc hay 0,179 gr de Ca^{++}
en 100 $X = 0,0179$

En 20 cc están 0,0179 gr de Ca^{++}
en 250 cc $X = 0,2238$

En 1,073 gr de muestra hay 0,2238 gr de Ca^{++}
en 100 $X = 20,8528 \%$

Y para T_2

En 1000 cc hay 0,173 de Ca^{++}
en 100 cc $X = 0,0173$

En 20 cc hay 0,0173 de Ca^{++}
en 250 cc $X = 0,2163$

En 0,9903 gr de muestra hay 0,2163 gr de Ca^{++}
en 100 $X = 21,8368 \%$

HUMEDAD HIGROSCOPICA: Realizada igualmente sobre dos muestras representativas a las que se las denominó C y D, se tuvieron los siguientes datos:

	Muestra C	Muestra D
Peso del crisol vacío	12,4321 gr	12,3689 gr
Peso del crisol más muestra	<u>13,5125 gr</u>	<u>13,3884 gr</u>
Peso de la muestra	1,0804 gr	1,0195 gr

Después de desecar 2 h. a 50°C	13,5018 gr	13,3782 gr
Luego de 3 días en atmósfera hú- meda	<u>13,5255 gr</u>	<u>13,3978 gr</u>
Cantidad de humedad absorbida	0,0237 gr	0,0196 gr

Entonces para la muestra C se tiene que:

1,0804 gr de muestra absorben	0,0237 gr de humedad
100 gr	X = 2,1936

Y para la muestra D:

1,0195 gr de muestra absorben	0,0196 gr de humedad
100 gr	X = 1,9225 %

ION CLORURO: De la muestra representativa total desecada a -
105°C se pesaron 5,0483 gr y 5,0852 gr, disol--
viendo cada una en ácido nítrico concentrado para aforar a -
250 cc. Se tomaron alíquotas de 10 cc para titularlas con -
NO₃Ag 0,005 N de K = 1,0204, habiéndose obtenido los virajes
con 1,85 y 1,95 cc respectivamente.

Por tanto, para la primera muestra el porcentaje de -
Cl⁻ vendrá dado por:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{1,85 \times 1,0204 \times 0,005 \times 0,035456 \times 100 \times 250}{5,0483 \times 10}$$

$$\% \text{Cl}^- = 0,1657$$

Y para la segunda será:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{1,95 \times 1,0204 \times 0,005 \times 0,035456 \times 100 \times 250}{5,0852 \times 10}$$

$$\% \text{Cl}^- = 0,1734$$

Tabulando los porcentajes de los componentes de T_1 y T_2 tenemos:

	T_1	T_2	% Prom.
H ₂ O de constitución (%)	6,6174	6,6174	6,6174
Impurezas insolubles (%)	16,2349	17,0958	16,6654
SO ₄ ⁼ (%)	55,0373	54,1250	54,5812
Ca ⁺⁺ (%)	20,8528	21,8368	21,3448
Cl ⁻ (% promedio)	<u>0,1696</u>	<u>0,1696</u>	<u>0,1696</u>
	ξ=98,9120%	ξ=99,8446%	ξ=99,3784%

ANALISIS COMPARATIVO:

A continuación se indica un cuadro comparativo de los análisis promedio del yeso americano frente al yeso Dux obtenido:

	YESO AMERICANO	YESO DUX OBTENIDO
H ₂ O de constitución (%)	6,0165	6,6174
Impurezas insolubles (%)	0,9451	16,6654
SO ₄ ⁼ (%)	65,4274	54,5812
Ca ⁺⁺ (%)	27,1459	21,3448
Cl ⁻ (%)	<u>0,0603</u>	<u>0,1696</u>
	ξ = 99,5952 %	ξ = 99,3784 %

Se puede por tanto ver que si bien el porcentaje de agua de constitución es muy similar en los dos tipos de materiales, el yeso Dux presenta un elevadísimo porcentaje de impurezas insolubles en relación al yeso americano, las que redundan en una menor riqueza de SO₄Ca. En ambos casos se han encontrado porcentajes bajísimos de cloruros.

4.2. ANÁLISIS FÍSICO. - Según las normas españolas UNE 7.064-5 para el yeso se realizan los siguientes ensayos y análisis: finura, consistencia normal, fraguado, resistencia a flexión y resistencia a compresión.

4.2.1. FINURA. - Se toma una muestra de aproximadamente 100 gr de yeso, se deseca hasta peso constante a temperatura de 40-50°C y se pesa con exactitud de 0,1 gr.

Se tamiza la muestra desecada sucesivamente por los tamices 1,6 milímetros, 0,2 mm. (900 mallas/cm²) y 0,08 mm (4.900 mallas/cm²), pesando la fracción retenida en cada uno de ellos, y la fracción más fina, con exactitud de 0,1 gr. La suma de los pesos de las cuatro fracciones no debe direr en más de 0,5 gr.; en caso contrario, se repite el ensayo.

El resultado se da expresando cada fracción en porcentaje de la suma de los cuatro con aproximación de una décima.

(Tomado textualmente de "Materiales de Construcción", Félix Orús Asso).

4.2.1.1. YESO IMPORTADO. - Se procedió de la manera antes indicada pesándose primeramente en 2 vasos para tener aproximadamente 100 gr. de muestra y luego desecarlo a 50°C. Se tuvieron los siguientes datos:

	Vaso 1	Vaso 2
- Peso vaso vacío desecado	54,1624 gr	49,8716 gr
- Peso vaso más muestra	109,5922 gr	99,8274 gr
- Luego de 2 h. a 50°C	109,2615 gr	99,4883 gr
- Luego de 1/2 h. más a 50°C	109,2055 gr	99,4464 gr
- Luego de 10' más a 50°C	109,1916 gr	99,4282 gr

De estas muestras ya desecadas se tomaron 100 gr. según

Peso recipiente (papel) vacío	2,3851 gr
Peso recipiente más muestra desecada	<u>102,3851 gr</u>
Peso de la muestra a analizarse	100,0000 gr

Se tamizó la muestra desecada en forma automática por 15 minutos, haciéndola pasar sucesivamente por los tamices - 1,7 mm. (tamiz N° 12 A.S.T.M.), 0,212 mm. (tamiz N° 70 A.S.T.M.), 0,106 mm. (N° 140 A.S.T.M.), 0,053 mm. (N° 270 A.S.T.M.) Se usaron estos dos últimos tamices para interpolar el valor del porcentaje de peso retenido en el tamiz de 0,08 mm., pues no se dispone de éste.

Seguidamente se pesó la fracción retenida en cada tamiz, así como la que atravesó el N° 270. Como la muestra total fue de 100,0000 gr., las cantidades retenidas en cada tamiz dieron directamente los siguientes porcentajes (columna 4):

Tamiz número (A.S.T.M)	Número de mallas (A.S.T.M.)	Apertura de malla milímetros	Peso por ciento retenido	Peso por cien- to retenido acumulado
12	10	1,700	0,00	0,00
70	65	0,0212	1,8590	1,8590
140	150	0,106	51,5501	53,4091
170	170	0,088	x	x
270	270	0,053	34,7461	88,1552
Sobre 270			<u>11,3649</u>	<u>99,5201</u>
			= 99,5201 %	

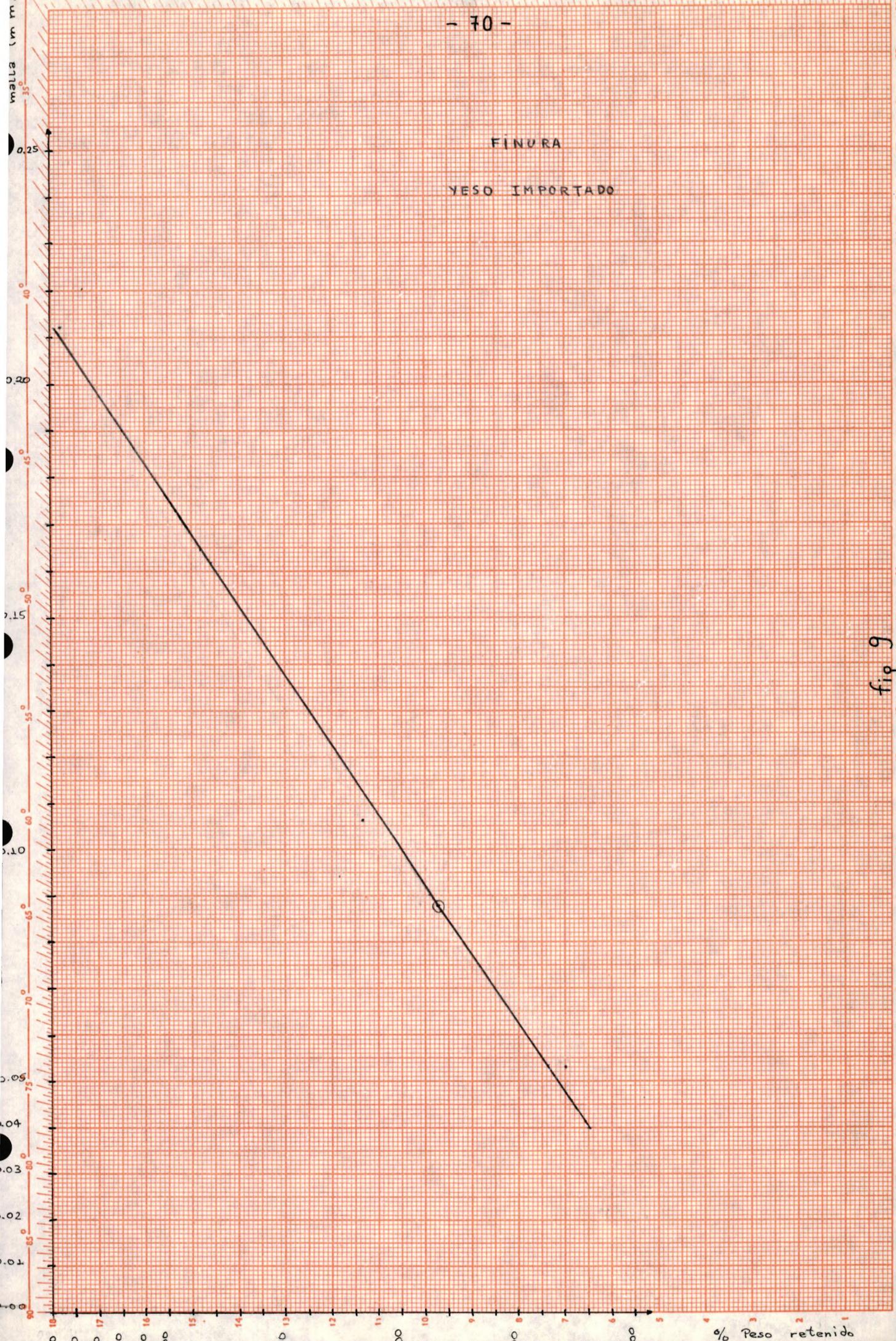
Valor del sumatorio que difiere en 0,4799 gr del peso total de la muestra, cumpliendo por lo tanto con la precisión establecida en la respectiva norma.

El peso por ciento retenido en el tamis 0,08 mm se obtuvo del gráfico peso por ciento retenido (acumulado) contra apertura de malla (fig. 9) siendo este valor de 66 %.

4.2.1.2. YESO DUX TRATADO: Se procedió de igual forma que con el yeso importado, habiéndose pesado para el tamizado 99,9851 gr de muestra desecada, según:

- Peso recipiente (papel) vacío	2,0370 gr
- Peso del recipiente más muestra desecada	<u>102,0221 gr</u>
Peso de la muestra a analizarse	99,9851 gr

Una vez tamizada la muestra automáticamente por 15 minutos, se tuvieron los siguientes datos: (columna 4):



FINURA

YESO IMPORTADO

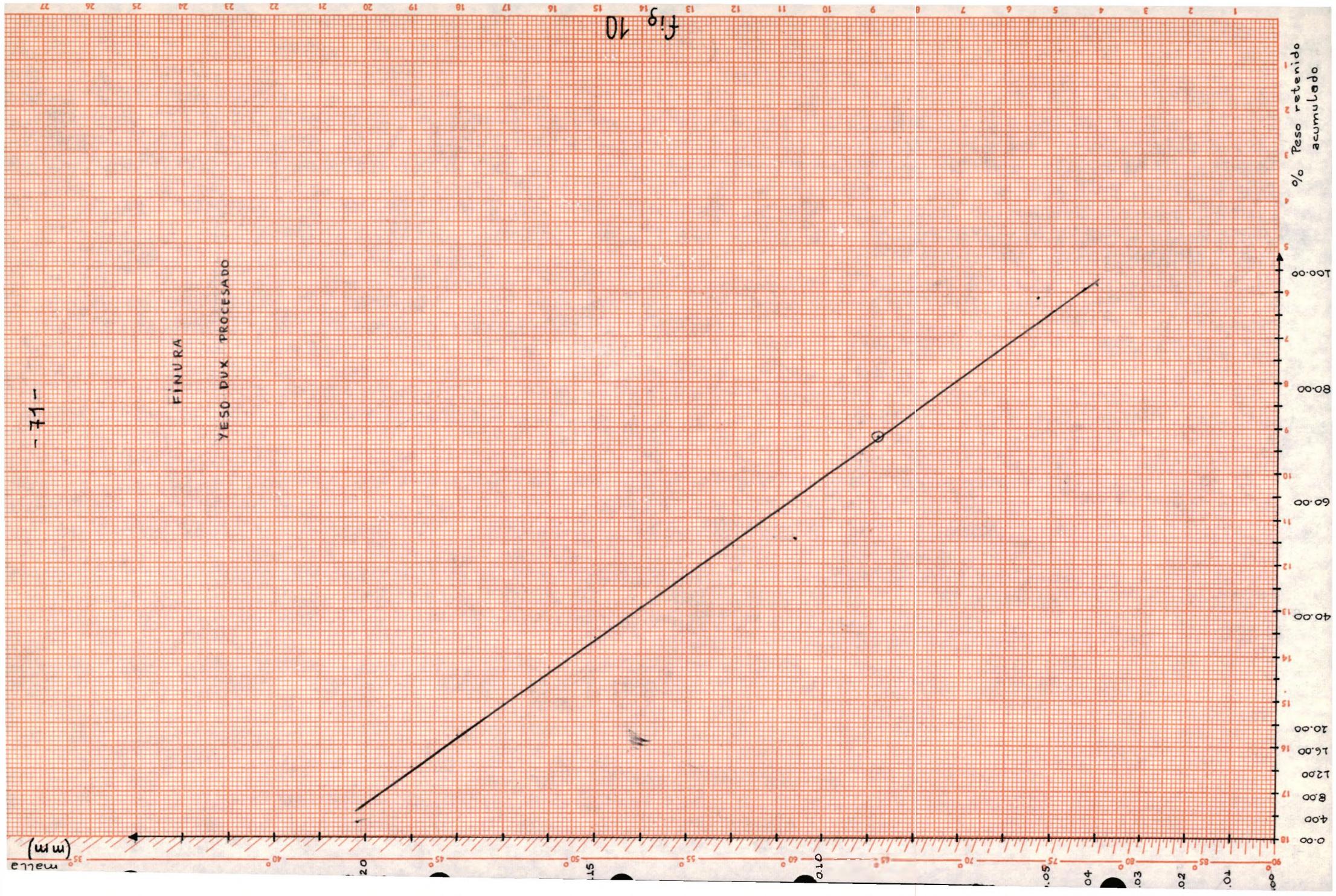
fig 9

- 71 -

FINURA

YESO DUX PROCESADO

Fig 10



Tamiz número (A.S.T.M.)	Número de mallas (A.S.T.M.)	Apertura de malla en mm.	Peso rete nido por 99,9851 gr)	Peso por ciento ret.	Peso por 100 ret. acum.
12	10	1,700	0,00	0,00	0,00
70	65	0,212	2,2198	2,2201	2,2201
140	150	0,106	50,3276	50,3351	52,5552
170	170	0,088	x	x	x
270	270	0,053	42,2179	42,2242	94,7794
Sobre 270			4,7299	4,7306	99,5100
			$\Sigma = 99,4952$		

Valor del sumatorio que difiere en 0,4899 gr del peso total de la muestra, cumpliendo por tanto con la precisión requerida.

El peso por ciento retenido correspondiente al tamiz 0,08 mm se obtuvo del gráfico peso por ciento retenido acumulado apertura de malla (fig 10), correspondiendo este valor al 70 %.

En las figuras 9 y 10 no se ha graficado el punto correspondiente en cada caso a la apertura de malla del tamiz # 12 (1,7mm.) para tener mayor amplitud en la parte del gráfico correspondiente a la apertura de 0,08 mm., pues el porcentaje de peso retenido en este tamiz es el que se busca.

4.2.2. CONSISTENCIA NORMAL.- Según las normas españolas UNE 7.064-5 la técnica para esta determinación textualmente dice:

"Para poder realizar este ensayo sobre una pasta de yeso sin

que comience su fraguado, lo que falsearía el resultado, es preciso amasar el yeso con agua que contenga un retardador de fraguado. Se emplea para ello bórax en cantidad de 1 gr. por 100 cm³ de agua, que se disuelve previamente en ésta.

Se emplea un molde troncocónico de 6 y 7 cm. de diámetro y 4 cm de altura apoyado sobre una placa de vidrio engrasada.

Se pesa una muestra de 200 gr. de yeso con exactitud de 1 gr y se vierte de modo continuo, en un intervalo de treinta segundos, en un recipiente que contenga 100 cm³ de agua con retardador. Se deja reposar la mezcla quince segundos más y se agita finalmente durante treinta segundos. La pasta se vierte seguidamente dentro del molde, sacudiendo para evitar que queden incluidas burbujas de aire. Se enrasa el molde con una espátula.

El molde lleno se coloca centrado con el eje del aparato de Vicat modificado con sonda de 19 mm. de diámetro y peso de 50 gramos. La sonda debe estar limpia y humedecida. Se hace deslizar la sonda hasta ponerla en contacto con la superficie de la pasta, leyendo en la escala. Se suelta la sonda, que penetra en la pasta, leyendo en la escala cuando cesa la penetración.

La diferencia de lecturas nos da la penetración de la sonda en milímetros.

Si la penetración es de 30 ± 2 mm., la pasta tiene

consistencia normal.

Si la penetración es menor (o mayor), se repite el ensayo con mayor (o menor) cantidad de agua con retardador hasta conseguir una pasta en la que la penetración sea de 30 ± 2 mm y tenga por tanto, consistencia normal.

La cantidad de agua de amasado de la pasta de consistencia normal se expresa en centímetros cúbicos por 100 gr de yeso".

En la práctica la prueba de consistencia normal no pudo ser realizada siguiendo esta técnica, pues no se dispuso de la sonda de 19 mm de diámetro y peso de 50 gr.

Para obviar este inconveniente se realizó la mencionada prueba siguiendo la técnica indicada por la fábrica proveedora de yeso americano a sus clientes. El procedimiento a seguirse textualmente dice:

"PROCEDIMIENTO".- Use una muestra de yeso de 50 gr y pese a una exactitud de 0,1 gr. El recipiente de mezcla y la espátula deberán estar completamente limpios antes de usarlos. Ponga el agua de la bureta en la cantidad estimada y espolvoree el yeso en el agua. Si se requiere más agua para humedecer todo el yeso, adicione ésta con goteo en las partes secas del yeso hasta humedecerlo totalmente. Permita que el yeso se sature sin tocarlo por

60 segundos, luego bátalo completamente por 30 segundos, batiéndolo de 90 a 100 revoluciones completas con la espátula; después de batido vierta inmediatamente en una placa de vidrio limpia desde una altura de 1/2 a 1 1/2".

A la consistencia correcta el yeso se vaciará libremente del recipiente sin la ayuda de la espátula. Yesos con una consistencia normal de 30 a 40 cc, producirán una torta de $3 \frac{1}{4} \pm \frac{1}{8}$ de pulgada de \emptyset . Yesos con una consistencia normal de 40 a 60 cc producirán una torta de $3 \frac{1}{2} \pm \frac{1}{8}$ de pulgada de \emptyset . Yesos con una consistencia de 60 a 90 cc producirán una torta de $3 \frac{3}{4} \pm \frac{1}{8}$ de pulgada de \emptyset .

Repita las pruebas usando más o menos agua hasta obtener este grado de fluidez de mezcla. El número de cc de agua usado multiplicado por dos es la consistencia normal".

4.2.2.1. YESO AMERICANO: Para esta determinación se pesaron 50,0 gr de yeso, los que espolvoreados sobre 35 cc de agua y tratados de la forma antes indicada se vaciaron libremente del recipiente dando una torta de $3 \frac{7}{8}$ " de diámetro y una consistencia normal de $35 \times 2 = 70$ cc de agua por 100 gr de yeso. Habiéndose repetido esta prueba se obtuvo una torta de $3 \frac{3}{4}$ " de diámetro y por tanto una consistencia normal de 70 cc de agua por

100 gr. de yeso.

4.2.3. FRAGUADO.- De acuerdo a Marignac el hemihidrato es bastante soluble en el agua, pues un litro de ésta a 25°C disuelve 10,5 gr. convirtiéndose de forma inmediata en doble hidrato, al recuperar la misma cantidad de agua que expulsó en su fabricación.

Para explicar sobre el fraguado y endurecimiento del yeso ha habido una dualidad de opiniones acerca de la prioridad efectiva de los estados cristalino o coloide.

Autores como Ostwald, Baykoff y Cavazzi han admitido la formación de un gel, habiendo preparado este último un gel de yeso precipitado a bajas temperaturas. Sin embargo de investigaciones posteriores realizadas por G. Becherer y H. Fiedler, basándose en la comparación de las interferencias que el gel de yeso preparado según Cavazzi, produce en los diagramas de difracción de rayos X de las fases cristalinas de yeso, se ha deducido que no hay formación de ningún tipo de gel ni en el proceso de fraguado ni en el de endurecimiento; esta deducción se ha efectuado pues en ningún caso se obtienen líneas de difracción difusas y porque las líneas presentan desde el primer instante de la reacción, la misma intensidad y agudeza.

Por lo tanto el fenómeno de "cristalización" en ausencia de fases coloidales parece ser la interpretación del endurecimiento del yeso.

Al hablar de la reacción de cristalización vale distinguir dos modos:

Uno que corresponde al clásico concepto de la cristalización, la misma que se da sólo en equilibrio "a través" de la solución, y otro, el referente a la cristalización por transformación directa de los cristales mismos debida a su hidratación, sin el paso previo a la solución (transformación interna o topo-química).

E. Eipeltaner y K.W. Fisher y Weimar han tratado de demostrar este segundo aspecto, habiendo efectuado un estudio por microscopía electrónica, por el cual al humedecer por unos 10 minutos unas partículas de yeso hemihidratado, interrumpir por alcohol la hidrólisis y pasar a secar y observar la probeta formada, se ha determinado claramente la velocidad de "transformación interna" con la que avanza al interior del núcleo del granulado, siendo el desorden en las zonas de transición, lo que revela el cambio. Esta velocidad es lineal y se la ha estimado en $1 \mu\text{m}/\text{mi}$.

Ya en 1765 Lavoiser explicó que el endurecimiento y fraguado del semihidrato amasado con agua se debe a la cristalización, a partir de una disolución sobresaturada de cristales de bihidrato. Debido a que el semihidrato es más soluble que el bihidrato, tiene lugar el fraguado, pues al amasarle con agua se tiene una disolución sobresaturada de bihidrato y cristaliza. Pero el agua queda en condiciones de disolver más semihidrato, el que nuevamente se satura y cristaliza, y así sucesivamente, hasta que toda la masa se transforma.

El comienzo del fraguado del semihidrato tienen lugar

a los dos o tres minutos, terminando al cabo de quince a veinte minutos con desprendimiento de calor y elevación de la temperatura en unos 20°C. Es de indicar que hay una contracción a la que sigue una dilatación del 1%, la misma que se debe a la formación inicial de la variedad rómbica y su consiguiente paso a la monoclinica que presenta mayor estabilidad.

Es debido a esta propiedad de dilatación del hemihidrato que se lo usa para moldeo, pues reproduce satisfactoriamente los detalles más pequeños del molde.

VELOCIDAD DEL FRAGUADO: La velocidad del fraguado puede ser alterada por la adición de sustancias que disminuyan o aumenten la solubilidad del hemihidrato, retardando o acelerando su fraguado. Entre las que retardan están el cloruro cálcico, cola, agua caliente, queratina, bórax, fosfato sódico, azúcar, mientras que aceleran el fraguado el cloruro sódico, cloruro magnésico, sulfato potásico, nitrato potásico, acetato y citrato sódicos, alumbre.

En la práctica la cantidad de agua de amasado va desde el 50 % para las aplicaciones corrientes hasta el 60 % para los estucos y el 70 % para moldeo, vertiéndose el yeso sobre el agua y mezclando rápidamente.

En el yeso ordinario existe de un 15 a un 40 % de yeso sin deshidratar, por mucho esmero que se haya puesto en su fabricación, aspecto que resulta favorable, ya que los cristales en una disolución sobresaturada actúan como gérmenes acelerando el fraguado, haciendo además que cristalice y se endu

rezca. Es por ésto que el yeso en la mayoría de las aplicaciones sólo se amase con agua.

ENSAYO DE FRAGUADO: Para realizarlo se han seguido las mismas normas españolas UNE 7.064-5, las que al respecto dicen:

"FRAGUADO.- Se pesa una muestra de 200 gr de yeso con exactitud de 1 gr., y se vierte en un recipiente que contenga agua pura en la cantidad correspondiente a la pasta de consistencia normal. Este momento se toma como comienzo del ensayo y desde él se cuenta el tiempo. Se agita la pasta, se vierte en el molde, preparado como antes y se enrasa.

El molde lleno se coloca algo descentrado con el eje del aparato de Vicat de 1 mm. de diámetro y cargado con 300 gr. La aguja debe estar bien limpia. Se hace deslizar la aguja hasta ponerla en contacto con la superficie de la pasta, y se suelta dos minutos después del comienzo del ensayo.

Después de la penetración se limpia la aguja y se gira el molde. Se realizan penetraciones sucesivas cada minuto.

Comienzo del fraguado es el momento en que la aguja no penetra hasta el fondo de la pasta, definido por el tiempo transcurrido desde el comienzo del ensayo.

Terminación del fraguado es el momento en que la penetración de la aguja en la pasta no es superior a 2 mm., definido por el tiempo transcurrido desde el comienzo del ensayo.

Es muy importante en este ensayo que todo el utillaje esté sin trazas de yeso de ensayos anteriores, pues aún en pequeñas cantidades, pueden modificar los plazos del fraguado".

(Tomado de "Materiales de Construcción", Félix Orús - Asso).

4.2.3.1. YESO AMERICANO: Habiendo pesado 200 gr. de yeso se lo virtió en un recipiente con 140 cc de agua, para luego de proceder de la forma antes indicada tener los siguientes resultados:

Tiempo (seg)	=	(mi)	Penetración (mm)
0		0	-
60		1	-
120		2	40
180		3	40
240		4	40
300		5	40
360		6	40
420		7	40
480		8	40
...		.	..
...		.	..
...		.	..
1680		28	40
1740		29	29 (comienzo del fra--
1800		30	27 guado)
1860		31	22

1920	32	9,5
1980	33	3
2040	34	2 (terminación del fraguado)

Por lo que este yeso comienza a fraguar a los 29 minutos y termina a los 34 minutos.

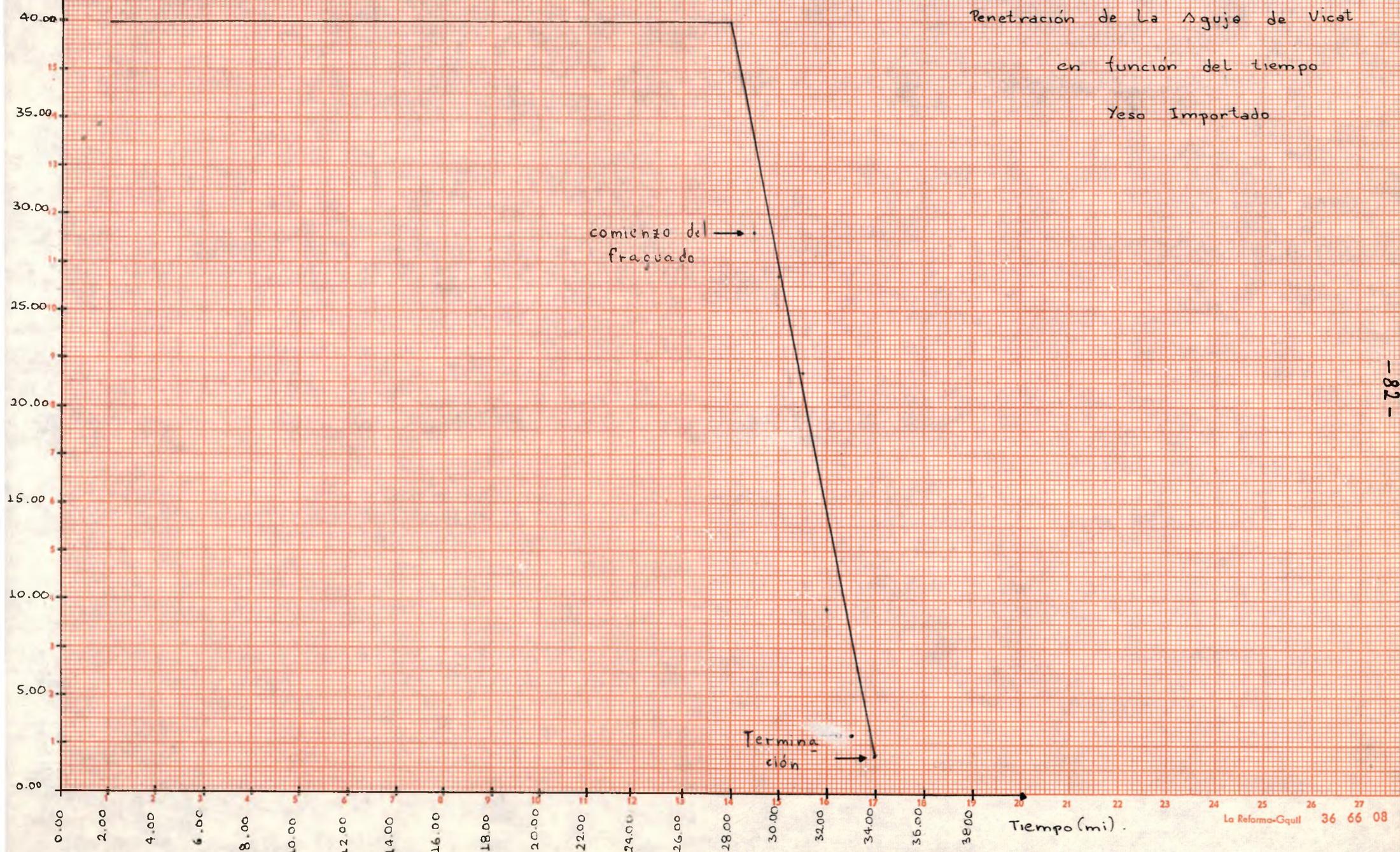
En la figura # 11 se puede observar la variación de la penetración de la aguja en la masa de yeso, en función del tiempo, la misma que va decreciendo desde un valor de 40 (mm) en el que se mantiene por 26 minutos, hasta tener un valor de 2 (mm), instante en el que se dió por terminado el ensayo.

4.2.3.2. YESO DUX TRATADO: Al igual que en el caso del yeso americano, se pesaron 200 gr. de yeso DUX procesado y se lo virtió en un recipiente con un contenido de 140 cc de agua pura. Siguiendo con la marcha indicada para este ensayo, se agitó la pasta, sin poderla verter en el molde para colocarla en el aparato de Vicat.

Con la finalidad de que este yeso Dux tenga un tiempo de fraguado similar al del yeso americano, se agregó bórax al agua para retardarlo. Se hicieron pruebas con soluciones de bórax al 1%, al 1,5% y al 1,15%, obteniéndose con esta última un tiempo de fraguado prácticamente igual al del yeso importado. Vale anotar que la cantidad de agua en todos los casos fue la misma, es decir, 140 cc para los 200 gr. de yeso.

Penetración (mm).

Penetración de La Aguja de Vicat
en función del tiempo
Yeso Importado



comienzo del fraguado →

Terminación →

fig 11

Los resultados obtenidos con la solución de bórax ($B_4O_7Na_2 \cdot 10 H_2O$) al 1 % fueron los siguientes:

Tiempo (seg)	=	(min)	Penetración (mm)
0		0	-
60		1	-
120		2	40
180		3	40
240		4	40
300		5	40
360		6	40
420		7	40
480		8	40
540		9	40
600		10	40
660		11	40
720		12	40
780		13	28 (comienzo del fraguado)
840		14	14
900		15	3
960		16	1 (terminación del fraguado)

(do

Se puede notar claramente que el tiempo de fraguado ha sido aumentado, pues al poder ya realizar la prueba, el yeso comenzó a fraguar a los 13 minutos para terminar a los 16 minutos.

Como este tiempo de fraguado (13 a 16 minutos) resultó ser aún pequeño para los fines que se persiguen, se realizó u

na prueba empleando solución de bórax al 1,5 %, habiéndose te
nido los siguientes datos:

Tiempo (seg)	=	(mi)	Penetración (mm)
0		0	40
60		1	40
120		2	40
180		3	40
240		4	40
300		5	40
360		6	40
420		7	40
480		8	40
...		.	..
...		.	..
...		.	..
2400		40	40
2460		41	40
2520		42	40
2580		43	40
2640		44	40
2700		45	40

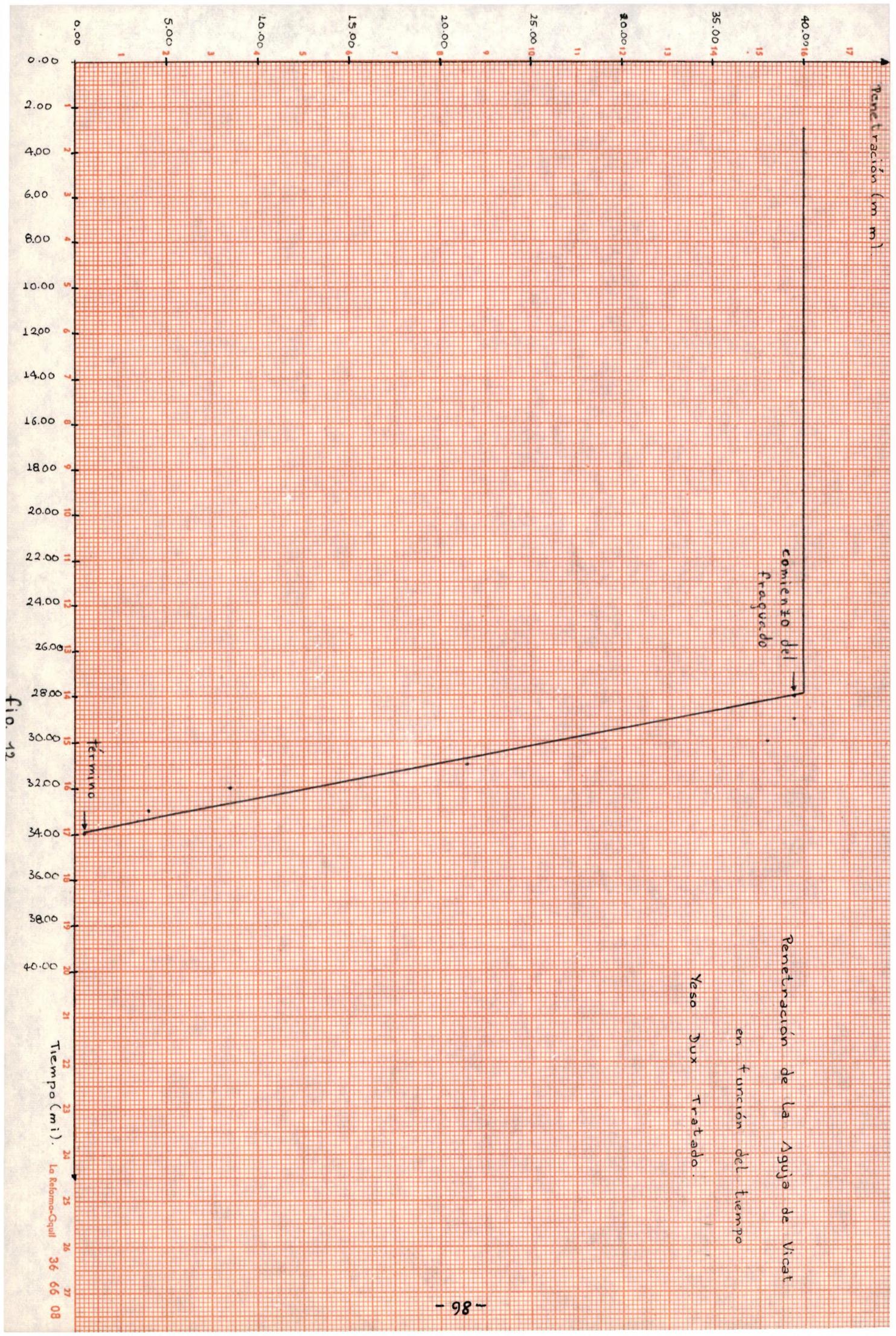
Habiendo empleado esta solución de bórax al 1,5 %, has
ta los 45 minutos de empezado el ensayo, el yeso no comenzaba
aún a fraguar.

Se realizó por tanto una nueva prueba, esta vez con u-

na solución de bórax al 1,15 %. Empleando a igual que en los ensayos anteriores 200 gr de yeso y 140 cc de solución, se tuvieron los datos indicados a continuación:

Tiempo (seg)	=	(mi)	Penetración (mm)
0		0	40
60		1	40
120		2	40
180		3	40
240		4	40
300		5	40
360		6	40
420		7	40
480		8	40
•••		•	••
1620		27	40
1680		28	39,5 (comienzo del fra guado)
1740		29	39,5
1800		30	38
1860		31	21,5
1920		32	8,5
1980		33	4
2040		34	0,5 (terminación del fraguado).

Al observar estos resultados se puede notar que empleando la solución de bórax al 1,15 %, se ha logrado conseguir que el yeso Dux que se ha procesado prácticamente tenga el mismo tiempo de fraguado que el yeso patrón, pues éste comienza a fraguar a los 29 minutos y termina a los 34 minutos, en



tanto que el yeso Dux empieza a los 28 minutos y termina de fraguar a los 34 minutos.

La figura # 12 muestra la variación de la penetración de la aguja de Vicat en la masa de yeso con el transcurrir del tiempo. Al principio ésta se mantiene en el valor de 40 (mm) por 25 minutos, para al final del ensayo luego decrecer sucesivamente, tener un valor de 0,5 (mm).

En general, el tiempo de utilización interesa que sea lo más dilatado posible, a fin de facilitar su puesta en obra, sin que se deterioren lógicamente, las restantes cualidades del yeso.

4.2.4. RESISTENCIA A COMPRESION.- Previamente se realizó el ensayo de flexión, pues sobre una de las mitades de cada probeta en la que se efectúa esta prueba, se lleva a cabo posteriormente el ensayo de resistencia a compresión.

Siguiendo con las normas españolas UNE 7.064-5, para el efecto se procede de la siguiente manera:

"RESISTENCIA A FLEXION.- Se pesa una muestra de 2.000 gr. de yeso, con exactitud de 10 gr., y se vierte en un recipiente que contenga agua pura en la cantidad correspondiente a la pasta de consistencia normal. Se agita la pasta y con ella se llenan seis moldes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, previamente engrasados, vertiendo lentamente la pasta entre todos de modo que se llenen simultáneamente. Se golpean ligeramente para homogenizar la pasta y facilitar la expulsión de

las burbujas de aire.

Se engrasan los moldes con una espátula.

Los moldes llenos se dejan en cámara húmeda y se desmolda a las 24 horas.

Después de desmoldar se desecan las probetas a temperatura de $30 \pm 10^{\circ}$, pesándolas cada 24 horas hasta que dos pesadas sucesivas no difieran entre sí en más de 0,2 gr.

Las seis probetas desecadas se ensayan en la balanza de flexión. Como resistencia a flexión del yeso se toma la media de los resultados de las seis probetas".

4.2.4.1. YESO IMPORTADO: A 2.000 gr. de yeso se los vitió en un recipiente con 1400 cc de agua pura, llenando con esta pasta 6 moldes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ previamente engrasados. Procediendo de la manera indicada en la técnica, luego de haberlos dejado en cámara húmeda y haberlos desmoldado a las 24 horas, se desecaron las muestras a 38°C , las mismas que designadas como I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 e I_6 y pesadas cada 24 horas, dieron los siguientes datos para la prueba del flexión:

PESADA N°	PESO (gr)					
	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆
1	401,94	401,14	394,16	401,74	407,88	401,36
2	397,34	397,52	387,02	383,47	400,77	390,17
3	383,98	388,36	365,98	369,90	386,13	369,27
4	371,59	381,42	358,91	362,36	374,62	357,21
5	356,41	371,00	337,42	352,23	369,74	341,64
6	331,94	352,79	322,76	341,64	353,62	330,09
7	300,87	326,59	296,14	302,66	326,62	294,64
8	297,63	317,04	292,08	298,04	316,02	294,56
9	293,75	292,71	289,62	294,71	296,75	293,25
10	293,18	292,45	289,09	294,11	296,43	292,73
11	292,98	292,34	288,90	293,90	296,31	292,56
12	292,75	292,23	288,67	293,65	296,18	292,32
13	292,13	291,98	288,01	293,06	295,90	291,68
14	291,99	291,93	287,87	292,96	295,85	291,55
15	291,86	291,87	287,73	292,83	295,79	291,40

Ensayadas las seis probetas en la balanza de flexión (facilitada por la fábrica "Cementos Guapán"), siendo las caras - que estuvieron en contacto con las paredes laterales de cada molde las que soportaron la presión, éstas se rompieron en forma transversal, aproximadamente por la mitad, dando las siguientes lecturas:

MUESTRA	LECTURA
I ₁	150
I ₂	160
I ₃	174
I ₄	144

I ₅	126
I ₆	176

En el caso de la balanza de flexión empleada, la contracción máxima obtenida F vendrá por la siguiente fórmula:

$$F = \frac{P}{4}$$

Siendo P la carga leída.

El valor de la resistencia a la flexión para cada muestra, una vez aplicada la fórmula anterior será:

MUESTRA	RESISTENCIA A FLEXION (Kgr./cm ²)
I ₁	37,5
I ₂	40
I ₃	43,5
I ₄	36
I ₅	31,5
I ₆	44

Por tanto, el yeso importado tendrá como resistencia a flexión el promedio de los seis valores indicados, es decir $F = 38,75 \text{ Kgr./cm}^2$.

RESISTENCIA A COMPRESION.- Al respecto las normas UNE 7.064-5 señalan lo siguiente:

"El ensayo de resistencia a compresión se realiza sobre una de las mitades de cada una de las seis probetas ensayadas a flexión, colocando el trozo de probeta entre las placas de modo que su cara de presión sea de $4 \times 4 \text{ cm}^2$.

Como resistencia a compresión del yeso se toma la media

de los resultados de las seis probetas".

Esta prueba se efectuó sobre ambas mitades de cada probeta ensayada a flexión, haciendo igualmente que soporten la presión las caras que estuvieren en contacto con las paredes laterales del molde. Las pruebas se efectuaron en una balanza de compresión (facilitada igualmente por la fábrica "Cementos Guapán"), obteniéndose los datos que se indican en la segunda columna. En la tercera, al dividir el valor de la carga leída para la cara de presión de cada probeta ($4 \times 4 \text{ cm}^2$), se tiene el valor de la resistencia a compresión en Kgr/cm^2 , según se indica a continuación:

MUESTRA	LECTURA (Kgr)	RESISTENCIA A COMPRESION($\text{Kgr.}/\text{cm}^2$)
I ₁ a	1350	84,375
I ₁ b	1520	95,000
I ₂ a	1880	117,500
I ₂ b	1800	112,500
I ₃ a	1620	101,250
I ₃ b	1400	87,500
I ₄ a	1760	110,000
I ₄ b	1680	105,000
I ₅ a	2090	130,625
I ₅ b	2040	127,500
I ₆ a	1550	96,875
I ₆ b	1600	100,000

Entonces, el valor correspondiente a la resistencia a compresión para el yeso importado será la media de los resultados de las doce probetas, igual a $105,6771 \text{ Kgr.}/\text{cm}^2$.

4.2.4.2. YESO DUX TRATADO: Para las pruebas de flexión y compresión se -

confeccionaron igualmente seis probetas, preparando para ello una pasta con 2.000 gr de yeso y 1400 cc de agua con bórax, al 1,15 %. Tratándolas como indica la técnica se las desmontó a las 24 horas y se las desecó a 38°C, para luego de designarlas como D₁, D₂, D₃, D₄, D₅ y D₆ y pesarlas cada 24 horas hasta - conseguir peso constante, tener los datos siguientes:

PESADA N ^o	PESO (gr.)					
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
1	401,65	398,45	401,76	400,11	402,48	399,11
2	395,12	392,13	394,93	392,80	395,54	391,64
3	373,48	372,79	372,71	366,87	369,44	364,50
4	365,25	365,29	365,78	359,14	362,60	358,60
5	356,12	357,47	551,46	350,64	353,58	345,80
6	337,75	339,24	338,30	333,28	336,48	332,24
7	302,96	305,30	293,15	306,52	310,65	305,26
8	293,84	294,09	286,71	293,13	297,80	294,42
9	276,59	275,23	276,86	275,44	275,98	275,18
10	275,85	274,00	276,13	174,77	175,12	174,53
11	275,75	273,90	276,03	274,65	275,01	274,44
12	275,73	273,87	276,02	274,65	274,98	274,42
13	275,67	273,81	275,99	274,60	274,93	274,39
14	275,66	273,80	275,96	274,58	274,91	274,36

FLEXION.- Las probetas tratadas en la forma anteriormente indicada se probaron en la balanza de flexión, procediendo de igual manera que en el caso del yeso importado. Se tu--

vieron las lecturas siguientes:

MUESTRA	LECTURA (Kgr)
D ₁	98
D ₂	67
D ₃	77
D ₄	80
D ₅	68
D ₆	64

Aplicando la fórmula correspondiente, $F = \frac{P}{4}$, se tienen los siguientes resultados:

MUESTRA	RESISTENCIA A FLEXION (Kgr./cm ²)
D ₁	24,50
D ₂	16,75
D ₃	19,25
D ₄	20,00
D ₅	17,00
D ₆	16,00

Es decir que el valor de resistencia a flexión para el yeso Dux procesado será el promedio de los seis resultados obtenidos, o sea $F = 18,92 \text{ Kgr./cm}^2$.

COMPRESION.- Se efectuó de igual manera que en el caso del yeso importado, teniéndose las lecturas de la segunda columna y los resultados de la tercera, dividiendo el valor de la carga para la cara de presión de cada probeta ($4 \times 4 \text{ cm}^2$),

según:

MUESTRA	LECTURA (Kgr)	RESISTENCIA A COMPRESION (kgr./cm ²)
D ₁ a	550	34,375
D ₁ b	580	36,250
D ₂ a	600	37,500
D ₂ b	670	41,875
D ₃ a	500	31,250
D ₃ b	600	37,500
D ₄ a	500	31,250
D ₄ b	600	37,500
D ₅ a	580	36,250
D ₅ b	620	38,750
D ₆ a	500	31,250
D ₆ b	540	33,750

Por tanto, el yeso Dux procesado tendrá como resistencia a la compresión el valor promedio de los doce obtenidos, - es decir 35,625 Kgr./cm².

4.2.5. MODULO DE ROTURA.- Esta determinación fue incluida en el presente estudio porque en la empresa auspiciadora del mismo no se realizan los ensayos de resistencia a flexión y compresión, sino la prueba - del módulo de rotura.

Siguiendo indicaciones al respecto de la casa proveedora de yeso para la Cerámica Andina, se procedió de la siguiente forma:

Al material objeto de estudio se lo seca completamente

a una temperatura no menor de 64°C y no mayor de 76°C, para luego mezclarlo con agua y amasarlo a mano hasta que tenga una consistencia plástica suave.

La muestra se forma en un molde metálico de las siguientes dimensiones: 14,8 cm. de largo, 2,5 cm. de ancho y 0,55 cm de espesor. Luego de que la pasta es ubicada en el molde, se elimina el excedente con una espátula. La identificación de la muestra se coloca hacia los extremos de la barra.

Posteriormente se seca la muestra en el molde a la temperatura ambiente por un tiempo de 48 horas, cubriéndola con un pedazo de tela. Cuando la muestra ha adquirido cierta dureza es conveniente sacarla del molde y cambiar su posición - cada 12 horas para evitar torceduras. Finalmente se completa de secar la muestra colocándola a 110°C en una estufa.

Después de enfriada la muestra en un desecador, se la lleva hacia el aparato para determinar el módulo de rotura. - Se lee la carga necesaria para romper la barra y luego se mide, en el sitio de la rotura, el ancho y el espesor de la misma.

CALCULO DEL MODULO DE ROTURA: El módulo de rotura se calcula a través de la fórmula siguiente:

te:

$$M = \frac{3}{2} \cdot \frac{W L}{ab^2}$$

En donde:

$$M = \text{módulo de rotura en Kg./cm}^2$$

W = la carga para romper la muestra en Kg.

L = distancia entre los soportes de la barra en cm.

a = ancho de la barra en cm.

b = espesor de la barra en cm.

Una desviación de $\pm 15\%$ del promedio es aceptable.

Las muestras que presentan mayor desviación son descartadas; si más de dos muestras son descartadas se debe repetir la prueba.

4.2.5.1. YESO AMERICANO.-- Al igual que en las pruebas de resistencia a flexión y a compresión, este ensayo se realizó sobre seis muestras, habiéndose tenido los datos siguientes:

BARRA N°	W (Kg)	a 9cm)	b (cm)
1	2,90	2,628	0,656
2	3,45	2,462	0,668
3	2,25	2,546	0,582
4	3,20	2,482	0,676
5	2,50	2,442	0,642
6	2,80	2,558	0,654

Con la distancia entre los soportes de la barra (L) de 9 cm, el módulo de rotura para cada barra será:

BARRA N°	M (Kg./cm ²)
1	34,6177
2	42,3947
3	35,2218

4	38,0880
5	33,5319
6	34,5490

En tanto que el valor promedio del módulo de rotura \bar{M} vendrá dado por:

$$\bar{M} = \frac{(34,6177+42,3947+35,2218+38,0880+33,5319+34,5490) \cdot (\text{Kg./cm}^2)}{6}$$

$$\bar{M} = 36,4005 \text{ Kg./cm}^2$$

Como se acepta una desviación de $\pm 15 \%$ del valor promedio, estos límites en el presente caso son $41,8606 \text{ Kg./cm}^2$ y $30,9404$. Solamente el valor del módulo de rotura de la barra # 2 sale de los límites, siendo por tanto válida la prueba.

4.2.5.2. YESO DUX TRATADO: Realizada esta prueba del módulo de rotura sobre seis muestras, se tuvieron los siguientes resultados:

BARRA Nº	W (Kg)	a (cm)	b (cm)	M (Kgr./cm ²)
1	0,5	2,522	0,664	6,0705
2	0,45	2,556	0,592	6,7818
3	0,5	2,472	0,536	9,5044
4	0,6	2,462	0,698	6,7528
5	0,45	2,422	0,632	6,2797
6	0,45	2,534	0,612	6,4008

Por lo que el valor promedio del módulo de rotura \bar{M} para este caso será:

$$\bar{M} = (6,0705 + 6,7818 + 9,5044 + 6,7528 + 6,2797+6,4008) \cdot (\text{Kg./cm}^2)/6$$

$$\bar{M} = 6,9650 \text{ Kg./cm}^2$$

Siendo el valor promedio del módulo de rotura 6,9650 Kg./cm², se tolerarán valores comprendidos entre 8,0098 Kg./cm² y 5,9203 Kg./cm². Por tanto, el valor del módulo de rotura de la barra # 3 únicamente, no está dentro de estos límites, siendo entonces válida la prueba.

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre el yeso patrón y el yeso obtenido, indicando sus características técnicas:

CARACTERISTICAS	YESO IMPORTADO	YESO DUX PROCESADO
COMPOSICION QUIMICA		
(Promedio)		
SO ₄ Ca.1/2 H ₂ O	98,5898	82,5434
FINURA		
Peso retenido acumulado		
Tamiz 1,700 mm	0,0000 %	0,0000 %
Tamiz 0,212 mm	1,8590 %	2,2201 %
Tamiz 0,088 mm	66 %	70 %
FRAGUADO		
Principio	29 minutos	28 minutos
Fin	34 minutos	34 minutos
RESISTENCIAS		
Flexión	38,7500 Kg./cm ²	18,9200 Kg./cm ²
Compresión	105,6771 Kg./cm ²	35,6250 Kg./cm ²
(Módulo de rotura)	36,4005 Kg./cm ²	6,9650 Kg./cm ²

Habiendo concluido los análisis físico y químico tanto del yeso americano como del yeso Dux, se puede notar que es tos materiales están en iguales condiciones en lo que respecta al agua de constitución, a finura, a consistencia normal, al tiempo de inicio y finalización del fraguado, presentando notables diferencias respecto a la riqueza en SO_4Ca y a la re sistencia a la flexión y a la compresión, así como al módulo de rotura, aspectos estos últimos en los que el yeso patrón - se encuentra en condiciones superiores frente al yeso con el que se ha tratado de imitarlo.

5.- APLICACION DEL YESO EN MOLDES DE CERAMICA Y PRUEBAS EN

PLANTA

GENERALIDADES.- Para la formación de las diferentes piezas la Cerámica Andina emplea el proceso de Colado o Vaciado y el proceso de Torneado.

COLADO.- En general el colado o vaciado consiste en colocar la barbotina en un molde poroso de yeso, en el cual se forma la pared de la pieza.

Si este molde es construido con poca agua tendrá pocos poros y demorará el proceso de colado. Si por el contrario - el molde contiene mucha agua, éste será muy débil y el proceso de colado será muy rápido. Es por ésto que el molde de yeso deberá tener una composición específica para que la porosidad sea homogénea y la absorción de agua del colado sea lo suficientemente rápida.

Para este proceso en la Cerámica Andina, los moldes se confeccionan con una mezcla de setenta partes de agua por cien partes de yeso, cumpliendo así aquello de que para el colado los moldes deben tener aproximadamente un 60% en peso de yeso y un 40% en peso de agua. En efecto si tenemos un conjunto de 170 partes en peso, el porcentaje de yeso será de $100 \times 100/170 = 58,82 \%$, en tanto que el de agua vendrá dado por la relación $100 \times 70/170 = 41,18 \%$.

Una vez construido el molde de yeso en una matriz (molde de este molde), es sacado de ésta para luego pasar a un se

cadero. La barbotina, la misma que para el colado vendrá con más o menos un 30 % de humedad desde un molino, llega hasta unos agitadores desde los cuales cae hacia los moldes a través de mangueras, tomando de esta manera una determinada forma para continuar con el proceso de fabricación que siguen las piezas cerámicas.

TORNEADO.- En este caso para la confección de la pieza se requiere de un molde de yeso adecuado y de una cuchilla, con la que se puede hacer la parte exterior o la interior del objeto, dependiendo de su forma. Para el proceso de torneado el molde debe tener más yeso y menos agua, fabricándose con sesenta y seis partes en peso de agua por cien partes en peso de yeso (60,24 % en peso de yeso y 39,76 % en peso de agua).

La pasta en cambio deberá contener un porcentaje de humedad del orden del 20 al 25 %, para lo cual del molino pasará al filtro prensa donde pierde humedad y de allí a la estructuradora de la que saldrá en forma de "chorizos" (cilindros). De esta manera se la transporta para colocarla en un molde de yeso ya secado, en el que tomará la pieza su forma exterior o interior, en tanto que con el roler (se lo usa en vez de cuchilla, haciendo de contramolde) se da la forma interior o exterior respectivamente.

En el proceso de torneado el molde de yeso juntamente con la pieza pasarán a los secaderos, a diferencia de lo que ocurre en el colado, en el que las piezas por sus delicadas -

formas no van a los secaderos, sino que una vez desmoldadas, son secadas primeramente en estanterías con el aire que circula y con el calor que se desprende de los hornos.

Para ambos procesos los moldes se forman por partes - que se unen con unos dispositivos plásticos, las que al separarse permiten retirar la pieza formada.

PRUEBAS EN PLANTA.- En la planta de la Cerámica Andina se procedió a confeccionar moldes de yeso en las matrices existentes para el efecto. Se confeccionaron dos moldes para tapas de cafeteras, tanto con yeso importado, como con yeso Dux procesado, a fin de someterlos a idéntico trabajo y establecer las respectivas comparaciones.

Sabiendo que para cada tapa aproximadamente se requiere 1,5 Kgr. de yeso, se hizo la siguiente consideración, pues al yeso Dux se lo usaría en moldes de colado:

Para 100 Kgr. de yeso	se necesitan	70 lt de agua
para 1,5	se necesitarán	X = 1,05 lt.

Pero como para los moldes de yeso Dux se requiere 1,15 % de bórax a fin de retardar su fraguado y poder manipular el yeso en las matrices, se prepararon 10 lt. de agua con este porcentaje de bórax, para lo que se disolvieron en ésta 115 gr. de dicho retardador, considerando que:

En 1 lt. de agua	habrán	11,5 gr de bórax
en 10	habrá	X = 115 gr.

Con 1,5 Kgr. de yeso y 1,05 lt. de agua se formó la --

respectiva pasta, se la batió manualmente por aproximadamente tres minutos, se la colocó en una matriz para las mencionadas tapas previamente engrasada y luego de que el yeso había fraguado, se sacó el molde de la matriz, pudiéndose apreciar que era muy suave y se lastimaba al realizar esta última operación, no siendo útil para fines cerámicos.

Sin embargo se pensó en bajar el porcentaje de agua ya que así se obtiene un molde más resistente y compacto, habiéndose realizado pruebas con pastas de aproximadamente 30 % -- (29,58 %) y 35 % (34,72 %) en peso de agua.

En efecto, para el primer caso se confeccionó una pasta con 1.5 Kg de yeso y 0,63 lt. de agua con bórax (29,58 % - en peso de agua) y se formó el respectivo molde, el mismo que presentó dificultades para sacarlo de la matriz, pues faltaba agua.

Por esta razón se subió el porcentaje de agua al 34,72 %, confeccionándose un molde con 1,5 Kgr. de yeso y 0,7979 lt de agua. El molde así construido fue sacado de la matriz sin ninguna dificultad y llevado a producción (desde el taller de Matrices donde se lo preparó), juntamente con un molde de yeso americano recién elaborado.

No se tuvieron buenos resultados con este molde de yeso Dux, pues mientras los moldes con yeso americano soportan la confección de más o menos 200 piezas, el primero no sirvió ni para una, ya que al sacar la pieza de él, tanto el molde - como la figura sufrieron alteración en sus formas.

En vista de que en los análisis químico y físico ya se pudieron apreciar las características del yeso procesado, no se hicieron más pruebas en planta ante los resultados obtenidos, concluyéndose que este material a pesar de que reúne las mismas características de finura, consistencia y tiempo de fraguado que el yeso patrón, difiere grandemente en lo que respecta a módulo de rotura, resistencia a flexión y a compresión y sobre todo a su riqueza, no sirviendo para ser utilizado en moldes cerámicos.

6.- RECUPERACION DEL YESO DE LOS MOLDES PARA ESTUCOS

Luego de que los moldes tanto de colado como de torneado han sido usados más o menos para unas doscientas piezas, deben ser retirados de producción por estar saturados de humedad.

Por el hecho de que mensualmente en la Cerámica Andina estos desperdicios alcanzan más de diez toneladas, se pensó en recuperar el yeso americano de que están constituidos y procesarlo para su aprovechamiento en la confección de estucos.

Para el efecto a estos moldes primeramente se los quitó - los dispositivos plásticos de cada una de sus partes, para luego someterlos a una trituración primaria, deshidratar los pedazos obtenidos y finalmente moler el material, siguiendo los mismos procedimientos usados para el procesamiento del yeso Dux (ver capítulo 3, numerales 3.3, 3.5. y 3.6.). Puesto que el yeso para estucos no requiere de la finura del yeso para moldes, no se tamizó el material, ocupándolo directamente luego de molido.

CONFECION DE ESTUCOS.- Ya desde tiempos muy remotos el yeso fue usado en las construcciones y es así como los árabes lo ocuparon como yeso de fábrica, y en los decorados, como estucos. Actualmente éstos tienen gran aceptación y demanda, siendo muy común en nuestro medio observar tumbados de estucos de las más variadas formas, dada la facilidad que presenta su elaboración.

En el caso del presente estudio, con el material recupera

do de los moldes hechos con yeso americano, se concurrió a un taller artesanal donde se elaboran estucos, a fin de ubicarse en un plano real. Se pudo observar la confección de algunos estucos con este yeso, la misma que se describe a continuación:

Sobre una mesa cualquiera se coloca un molde de cemento o de vidrio de 65 x 65 cm., el mismo que servirá para dar la forma deseada al estuco a confeccionarse. A su alrededor se hace un marco con cuatro tiras de hierro o madera, de 67 cm. de largo, 5 cm. de alto y 3 cm. de espesor, para luego "engrasar" el molde a fin de que el yeso no se adhiera a él. El líquido para esta operación lo preparan disolviendo un jabón amarillo, común y corriente, en un galón de kérex, al que se lo añade un poco de detergente en polvo.

Sobre el molde tratado en la forma indicada se vierte la parte de yeso preparado en un recipiente aparte con 2 "medidas" de agua (cada medida constituye un pequeño recipiente de 1/4 de galón americano), poniéndose por cada una de éstas una y media "manos" de yeso, pudiendo añadirse un poco más de él si fuere necesario hasta que la pasta esté "pesada" (es decir hasta que tenga su consistencia normal). Luego en la masa de yeso distribuida homogéneamente sobre el molde, se pone cabuya que viene preparada para estucos, pero en forma separada, pues estas fibras orgánicas se sabe que sirven para dar mayor solidez y dureza al estuco. Se espera algunos minutos a que el yeso se endurezca un poco y así la cabuya no se despegue.

Luego se prepara más pasta de yeso con dos "medidas" de a

gua, media "mano" de cemento (que tienen por finalidad endurecer más a la pasta) y cinco manos de yeso, procediendo igualmente a batir en forma manual. Actualmente, dada la escasez de yeso blanco para confeccionar estucos, esta pasta se hace con el denominado "yeso moreno" (yeso con gran cantidad de impurezas), pues al constituir la parte posterior del estuco, no afecta mayormente a su presentación. Sin embargo en los estucos hechos con el material de los moldes no se usó ningún otro tipo de yeso que el procesado para este fin.

Finalmente en cada uno de los cuatro contornos del estuco en proceso, se pone un carrizo rodeado de cabuya, y entre dos opuestos, tres carrizos más en forma paralela y aproximadamente con la misma separación. Se espera unos cinco minutos a que termine el fraguado y se procede a desmoldar el estuco obtenido, retirando las tiras que rodean al molde y levantando de éste el estuco elaborado. Es de indicar que cada vez que se vierte pasta sobre el molde, se la extiende al rededor de él para homogenizarla y tener una superficie posterior prácticamente horizontal.

El estuco de yeso recuperado resultante de cada molde, no necesitó ser blanqueado como acostumbran los artesanos hacer con sus productos, pues a diferencia de éstos, los primeros están constituidos de un excelente yeso a decir del artesano dueño del taller.

(La confección de estos estucos se la realizó en el taller de Estucos del artesano Manuel Pelchor Tapia, ubicado en la calle Gaspar Sangurina # 18-79).

Sin embargo y para tener una idea clara del yeso que constituye estos estucos, se procedió a efectuar sobre el material recién procesado para este fin, las pruebas de finura, consistencia normal, fraguado, resistencia a compresión y a flexión, módulo de rotura, todas según las mismas normas indicadas en el capítulo 4, numeral 4.2.

FINURA.- Procediendo de la forma indicada en 4.2.1., se tomó una muestra que una vez desecada pesó 99,9394 gr., la que luego de tamizada por 15 minutos en forma automática por los tamices 1,7 mm, 0,212 mm. 0,106 mm y 0,0503 mm. (normas A.S.T.M.) dió los datos que se indican en la cuarta columna:

Tamiz número (A.S.T.M.)	Número de mallas (A.S.T.M.)	Apertura de malla en mm.	Peso rete- nido (por 99,9394 gr)	Peso por ciento retenido	Peso por ciento tenido (a cumulado)
12	10	1,700	0,4188	0,4191	0,4191
70	65	0,212	8,9384	8,9438	9,3629
140	150	0,106	60,2651	60,3016	69,6645
170	170	0,088	X	X	X
270	270	0,053	28,1323	28,1494	97,8139
sobre	270		1,6939	1,6949	99,5088
			Σ =99,4485 gr		

Pudiéndose apreciar que este sumatorio difiere en 0,4909 gr del peso de la muestra desecada tomada para este análisis, siendo por tanto válida esta prueba.

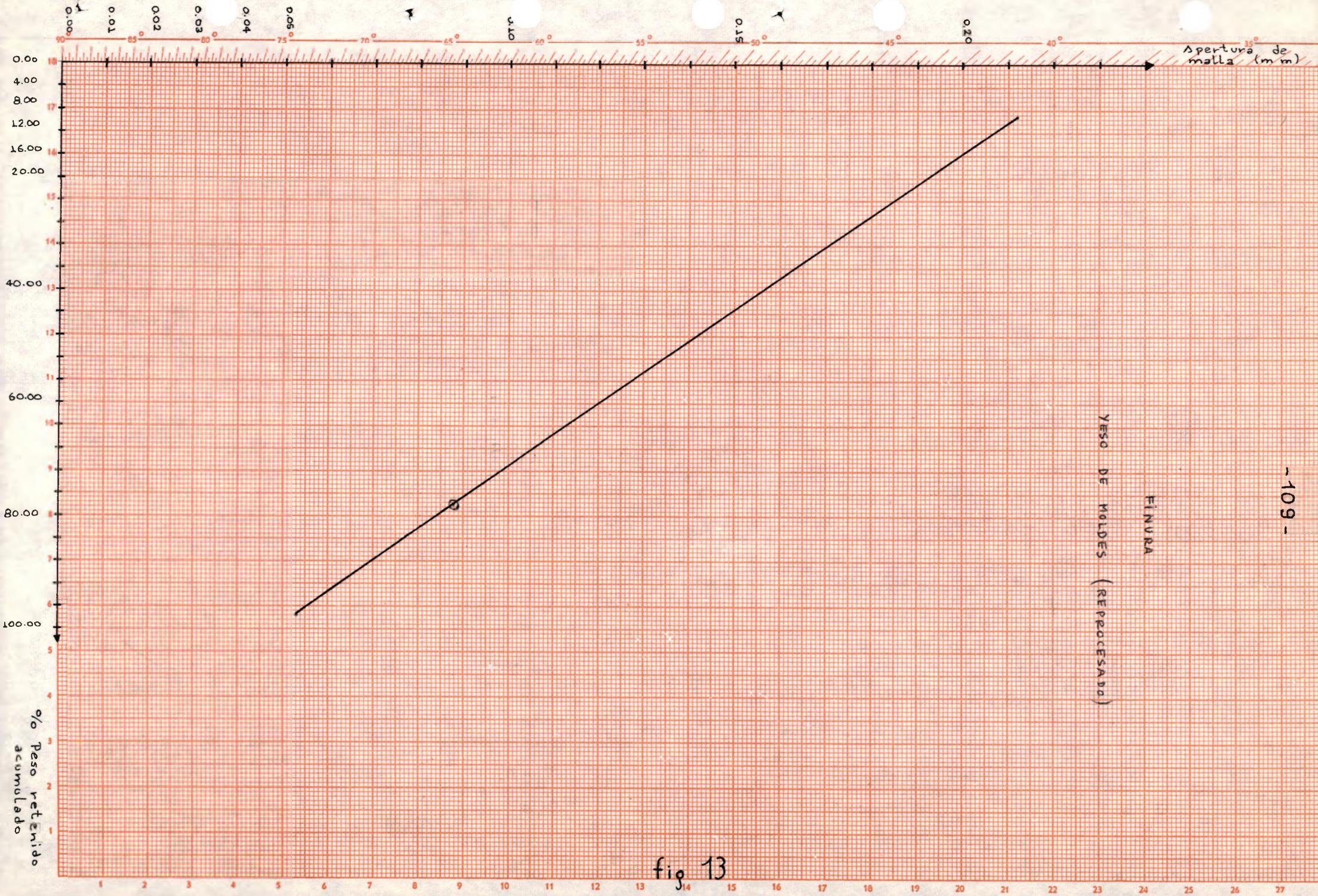


fig 13

De igual forma que en los anteriores análisis de finura, el peso por ciento retenido acumulado correspondiente al tamiz 0,08 mm, se obtuvo del gráfico peso por ciento retenido -apertura de malla en mm (fig 13), siendo para este yeso igual al 78 %.

CONSISTENCIA NORMAL.- Esta prueba se realizó siguiendo la técnica recomendada por la casa americana proveedora de yeso, según se indicó en 4.2.2.

Para el efecto se efectuaron varios ensayos hasta obtener la consistencia correcta de este yeso. Primeramente se tomaron 50 gr de yeso y se los espolvoreó en 35 cc de agua, es decir obteniendo una mezcla de iguales proporciones a la del yeso importado, pero sin obtener una correcta consistencia, pues la mezcla no se vaciaba del recipiente.

Se probó luego con una mezcla de 50 gr de yeso sobre 50 cc de agua, sin que tampoco se la pueda vaciar, para después mezclar 50 gr de yeso con 60 cc de agua, obteniéndose igual resultado que en las pruebas anteriores.

Como faltaba agua se pasó a ensayar con una mezcla de 50 gr de yeso con 70 cc de agua, la misma que vaciándose libremente del recipiente que lo contenía sobre una placa de vidrio limpia, (desde una altura de 1 pulgada), dió una torta de 4 1/8" de diámetro. Sin embargo por estar fuera de los límites indicados en la norma, se realizaron otras pruebas.

En efecto, sobre 65 cc de agua se espolvorearon 50 gr. de yeso, habiéndose obtenido una mezcla que luego de vaciada

libremente sobre la placa de vidrio, dió una torta de 3 3/4" de diámetro. Realizando por duplicado este ensayo dió una -- torta de 3 26/32" de diámetro (es decir 3 3/4 + 1/16"), ha- - biéndose obtenido así el grado de fluidez adecuado para este yeso.

Como de acuerdo a la norma seguida el número de centímetros cúbicos de agua usado multiplicado por dos es la consistencia normal, ésta para el yeso ensayado será de 65 cc x 2 = 130 cc de agua por 100 gramos de yeso.

FRAGUADO.- Habiendo efectuado esta prueba de acuerdo a las normas UNE 7.064-5 que para el efecto se indicaron en 4.2.3., y usando agua pura en la cantidad correspondiente a la pasta de consistencia normal (260 cc para 200 gr. de yeso) se tuvieron los siguientes resultados:

Tiempo 9seg)	=	(mi)	Penetración (mm)
0		0	---
60		1	---
120		2	40
180		3	40
240		4	40
300		5	40
360		6	40
420		7	40
480		8	40
540		9	40
600		10	40
660		11	30 (comienzo del fragua

(do)

Penetración de la Aguja de Vicat
 en función del tiempo
 Yeso de Holdas (Reprocesado).

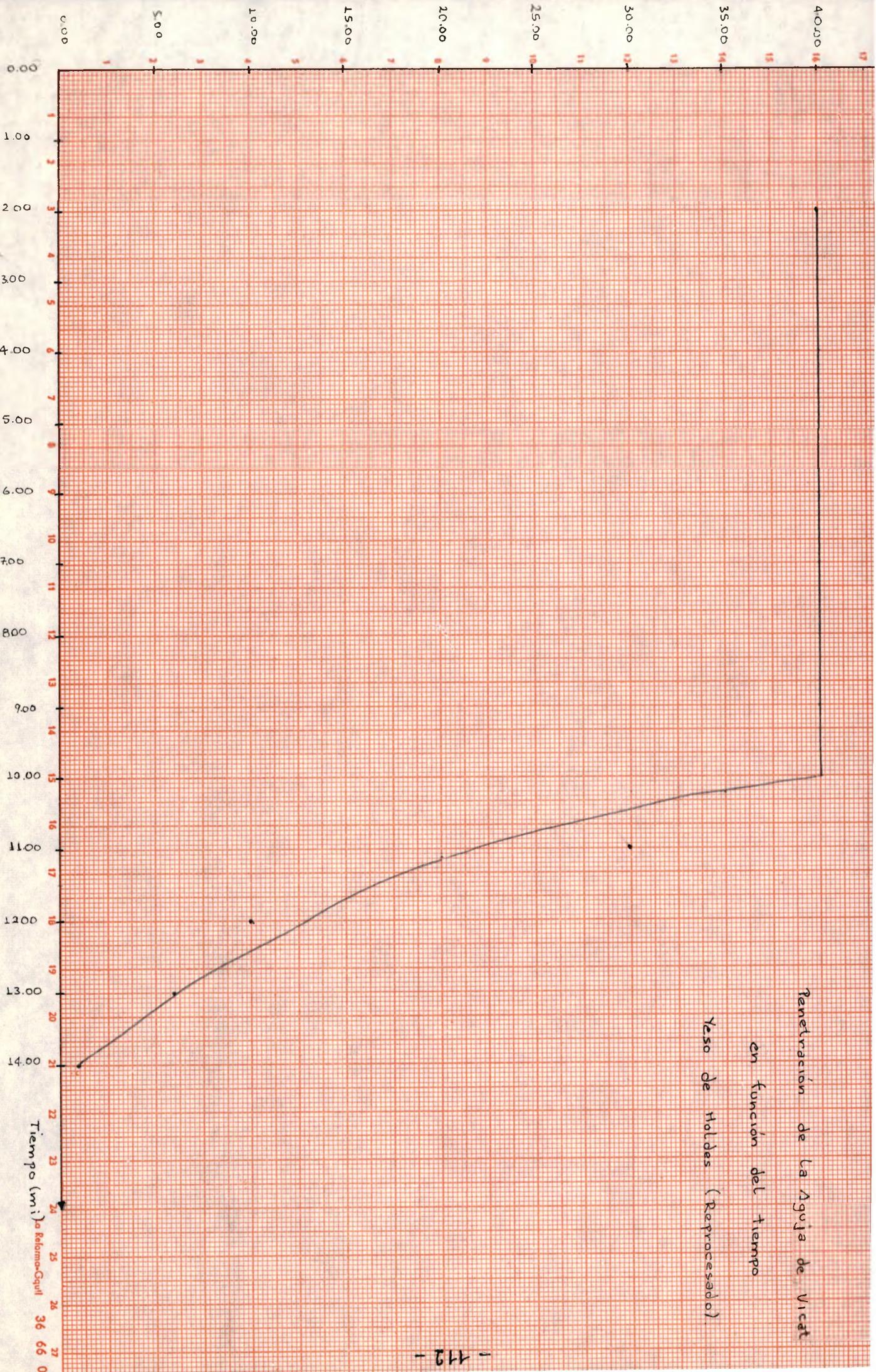


Fig. 14

720	12	10
780	13	6
840	14	1 (terminación del fraguado).

Se puede apreciar que este yeso comienza a fraguar a los 11 minutos, terminando a los 14, es por lo tanto ideal para ser trabajado en la confección de estucos.

En la figura # 14 se observa la variación de la penetración de la aguja en función del tiempo.

RESISTENCIA A FLEXION Y A COMPRESION.- Procediendo de acuerdo a las normas respectivas indicadas en 4.2.4., para estas pruebas se tomaron 2.000 gr de yeso y se los virtió sobre 2.600 cc de agua pura, obteniéndose una pasta con la que se confeccionaron 6 probetas, las que luego de tratadas adecuadamente fueron desecadas a 38°C. Pesadas cada veinte y cuatro horas (hasta que 2 pesadas sucesivas no difieran en más de 0,2 gr.) y habiendo designado previamente a estas probetas fabricadas con yeso americano reprocesado como M₁, M₂, M₃, M₄, M₅ y M₆, se tuvieron los siguientes datos:

PESADA N°	PESO (gr.)					
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
1	343,69	348,14	344,15	343,46	342,40	346,71
2	333,46	338,15	336,12	334,90	335,03	337,83
3	308,51	315,18	309,61	311,37	313,89	315,45
4	297,50	305,62	299,59	301,05	304,18	305,43

5	285,10	294,32	285,31	384,45	287,71	288,11
6	273,08	279,99	272,37	273,20	274,84	276,76
7	245,12	251,47	245,00	247,09	247,27	250,17
8	228,27	237,52	232,60	234,50	237,38	240,02
9	180,75	188,00	180,76	182,80	189,50	183,97
10	179,51	182,00	180,06	179,32	178,79	181,10
11	179,46	181,93	180,00	179,26	178,74	181,05
12	179,43	181,90	179,95	179,23	178,71	181,01
13	179,39	181,86	179,94	179,19	178,69	180,99
14	179,39	181,86	179,93	179,18	178,69	180,97

FLEXION: Colocadas correctamente una a una las seis probetas en la balanza de flexión, éstas se rompieron dando - las siguientes lecturas:

MUESTRA	LECTURA (Kgr)
M ₁	70
M ₂	86
M ₃	73
M ₄	64
M ₅	77
M ₆	82

Aplicando la respectiva fórmula, $F = \frac{P}{4}$ se tienen los - valores indicados a continuación:

MUESTRA	RESISTENCIA A FLEXION (Kgr./cm ²)
M ₁	17,50
M ₂	21,50
M ₃	18,25
M ₄	16,00
M ₅	19,25
M ₆	20,50

Siendo entonces el valor de resistencia a flexión para este yeso reprocesado, el promedio de los seis obtenidos, por lo que $\bar{F} = 18,83$ Kgr./cm².

COMPRESION: A cada mitad de las seis probetas ensayadas a la flexión se la colocó debidamente para la prueba de compresión, habiéndose tenido las lecturas de la segunda columna y los resultados de la tercera, según se indica a continuación:

MUESTRA	LECTURA (kgr)	RESISTENCIA A COMPRESION (Kgr./cm ²)
M ₁ a	520	32,500
M ₁ b	550	34,375
M ₂ a	480	30,000
M ₂ b	480	30,000
M ₃ a	490	30,625
M ₃ b	470	29,375
M ₄ a	470	29,375
M ₄ b	460	28,750

M ₅ a	500	31,250
M ₅ b	480	30,000
M ₆ a	480	30,000
M ₆ b	460	28,750

Por tanto, este material recuperado de los moldes confeccionado con yeso importado, tendrá como resistencia a compresión 30,4167 Kgr./cm², valor promedio de los 12 obtenidos.

MODULO DE ROTURA.- Habiéndose confeccionado seis barras - con la pasta de la consistencia normal indicada para este yeso, luego de tratarlas como indica la - técnica expuesta en 4.2.5., se tuvieron los siguientes datos:

BARRA N°	W (Kgr)	a (cm)	b (cm)
1	0,50	2,552	0,556
2	0,65	2,482	0,618
3	0,85	2,492	0,672
4	0,90	2,492	0,672
5	0,60	2,642	0,592
6	0,70	2,458	0,638

Aplicando la fórmula $M = \frac{3}{2} \cdot \frac{W L}{ab^2}$, siendo L = 9 cm., tenemos:

BARRA N°	M (Kgr./cm ²)
1	8,5561
2	9,2570
3	10,1969
4	10,7967

5	8,7480
6	9,4451

El módulo de rotura promedio es 9,5000 Kgr/cm². Como se acepta una desviación de \pm 15 % del promedio, el valor correspondiente para cada barra deberá estar comprendido entre 8,0750 Kgr/cm² y 10,9250 Kgr./cm², como efectivamente sucede. En consecuencia, el módulo de rotura de yeso es 9,5000 Kgr/cm².

También aquí se presenta un cuadro comparativo entre el yeso americano y el recuperado para la elaboración de estucos, a pesar de que el primero es fabricado con especiales características para su utilización en moldes cerámicos, lo cual no ocurre con el segundo, que presenta menos exigencias. Sin embargo se hace este cuadro comparativo entre los dos materiales por no disponerse de normas para el yeso de estuco.

CARACTERISTICAS	YESO IMPORTADO	YESO RECUPERADO
FINURA		
Peso retenido acumulado		
Tamiz 1,7 mm	0,0000 %	0,4191 %
Tamiz 0,212 mm	1,8590 %	9,3629 %
Tamiz 0,088 mm	66 %	78 %
FRAGUADO		
Principio	29 minutos	11 minutos
Fin	34 minutos	14 minutos

RESISTENCIAS

FLEXION	38,7500 Kgr/cm ²	18,8333 Kgr/cm ²
COMPRESION	105,6771 Kgr/cm ²	30,4167 Kgr/cm ²
(MODULO DE ROTURA)	36,4005 Kgr/cm ²	9,5000 Kgr/cm ²

Claramente se puede notar la gran diferencia que presentan los dos materiales en cuanto a las características analizadas, pues han sido elaborados para fines diferentes. Sin embargo es de recalcar que el yeso fabricado para la confección de estucos, ya en la práctica resultó ser muy adecuado - para este fin, cumpliendo incluso aquello de que el yeso para estucos debe poseer un tiempo de fraguado comprendido entre 8 y 25 minutos.

7.- ESQUEMA GENERAL DE UNA POSIBLE PLANTA DE TRATAMIENTO

BREVE DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.- El yeso -
luego de ser extraído de la mina recibe un tratamiento previo mediante agua, para eliminar impurezas. Una vez realizado este tratamiento, es trasladado a una machacadora de conos con el objeto de disminuir su tamaño, para que la eliminación del agua sea más homogénea.

La machacadora de conos es una máquina para la trituration y molienda de rocas. Está constituida por un cono acanalado que gira en la cavidad de otro cono fijo también acanalado; el espacio entre ambos conos va estrechándose hacia abajo y en él se quebranta el material. Por medio de un elevador de cangilones se traslada el material ya triturado hacia un silo.

Los elevadores de cangilones son transportadores de materiales con la parte superior descubierta que utilizan recipientes cóncavos y funcionan en pendientes pronunciadas hasta de unos 70° , siendo los cangilones los que impiden que el material se corra hacia atrás. Su capacidad se calcula en base de que los cangilones se llenan las $3/4$ partes. Los elevadores de cangilones son de dos tipos: cadena y cangilones y, - banda y cangilones. Para nuestro caso convienen los del segundo tipo ya que se adaptan en particular para el manejo de materiales abrasivos que producirán desgaste excesivo en las cadenas. La longitud de los elevadores está limitada por la resistencia de las bandas. Desde el silo se deja caer el yeso

a un horno giratorio.

Estos hornos giratorios son de combustión interna y -- con circulación de gases en el mismo sentido del avance del material. De este modo se consigue una clasificación neumática para los distintos tamaños granulométricos, de forma que los más finos tienen un menor tiempo de exposición al calor en la zona de calcinación debido al arrastre de los gases, en cambio que los de mayor tamaño no son arrastrados.

Los hornos giratorios están formados por un tubo de acero de un diámetro de hasta 4 metros y una longitud bastante considerada, revestido en su interior de material silicoaluminoso. La velocidad de rotación es de 1 a 2 r.p.m. Los productos de la combustión ascienden a lo largo del tubo y salen por el extremo superior mediante un extractor, mientras que el material clacinado sale por el extremo inferior.

El material "yeso" al salir del horno por el extremo inferior es trasladado a un silo mediante un elevador de cangilones. Desde el silo se introduce en un molino, que disgrega el material hasta convertirlo en polvo fino.

Luego de moler el material es pasado por medio de un elevador de cangilones a una criba neumática.

Las cribas neumáticas tienen la función de separar el material que cumple las especificaciones requeridas del material grueso. Este retorna al molino en donde se lo tritura hasta que cumpla las especificaciones. La criba neumática es accionada por aire comprimido.

El material ya tamizado es llevado, con la ayuda de una rosca transportadora redistribuidora al silo de producto terminado en donde se lo deja reposar un tiempo con la finalidad de uniformar su calidad. Por último, mediante una máquina de llenar sacos, se embasa el material para su distribución.

(Este esquema fue tomado de la obra "Yesería y Estuco", Karl Lade - Adolf Win Kler).

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES.- Observando los resultados del análisis químico del yeso de la mina Dux tal como en ella se encuentra (pág. 33) y luego de procesado (pág. 66), se puede advertir el alto porcentaje de impurezas que presenta, tomando en cuenta que el yeso para moldeado requiere un grado de pureza próximo al 90 %.

Sea que la deshidratación del yeso se comience a realizar con la estufa ocupada para este fin a la temperatura ambiente (es decir prendiéndole ese instante), o cuando ella se encuentra a la temperatura requerida, dicha operación debe cesar cuando la transmisión del calor entre en régimen estacionario. Esto de acuerdo a lo experimentado ocurre a los 110 minutos en el primer caso y a los 30 minutos en el segundo.

Si bien el yeso Dux presenta un 16,7064 % de agua de constitución antes de ser procesado para su utilización en moldes cerámicos, luego de la deshidratación a que ha sido sometido se ha encontrado que este porcentaje ha disminuido a 6,6174 %, frente al 6,0165 % de agua de constitución que tiene el yeso patrón, lo que significa que la deshidratación del yeso Dux se ha efectuado en forma muy adecuada.

Tanto el yeso americano como el yeso Dux procesado presentan características prácticamente iguales en cuanto a finura, consistencia normal y tiempo de fraguado. Es así como el yeso patrón deja sobre el tamiz 0,2 mm una fracción de 1,86 %,

tiene una consistencia normal de 70 cc de agua por 100 gr. de yeso, comienza a fraguar a los 29 minutos y termina a los 34. En cambio el yeso procesado deja sobre el tamiz 0,2 mm. un 2,2 % de residuo, tiene una consistencia normal de 70 cc. de agua por 100 gr. de yeso, comienza a fraguar a los 28 minutos y termina igualmente a los 34 minutos, debiéndose usar para ésto una solución de bórax al 1,15 %.

En cuanto a las resistencias a flexión y a compresión así como en el módulo de rotura existe una gran diferencia en tre los dos materiales, siendo estas características físicas de tal importancia que ayudan a definir la aptitud o no del yeso para la elaboración de moldes de cerámica.

Sin embargo y a pesar de estas diferencias, se pasó a realizar algunas pruebas con moldes confeccionados tanto con el yeso patrón como con el preprocesado. Si bien los moldes confeccionados con este material en la Cerámica Andina sirven para elaborar unas 200 piezas, los confeccionados con el yeso procesado en las mismas condiciones no sirvieron ni para una, pues al sacarlos de la matriz ya presentaron pequeñas roturas.

A pesar de haber efectuado nuevas pruebas con una menor cantidad de agua en la mezcla para obtener moldes más resistentes, no se consiguieron resultados positivos, pues si bien los moldes no presentaban problemas al ser sacados de la matriz, se dañaban y dañaban la pieza cuando ya en producción eran abiertos para recuperar los objetos en ellos elaborados.

Por lo antes expuesto se llegó a la gran conclusión de

la primera parte del presente estudio, que el yeso Dux no sirve para la confección de moldes cerámicos, pudiendo utilizarlo empero, para la fabricación de estucos por ejemplo, en lo que también fue probado con buenos resultados.

Respecto a la segunda parte del trabajo, la recuperación del yeso de los moldes elaborados con material importado una vez que ya no sirven para este fin, con miras a obtener yeso para estucos, se concluyó que el citado proceso recuperatorio fue correctamente realizado. Es así como el material obtenido una vez puesto en un taller artesanal donde se confeccionan estucos y luego de haber elaborado muchos de ellos, se pudo observar ya en un plano real que presenta excelentes condiciones para dicha elaboración, teniendo incluso la ventaja de dar un producto muy blanco que no necesita, como ocurre con otros materiales, ser blanqueado una vez terminado.

Se lo probó también a este yeso en la elaboración de moldes cerámicos, cada uno de los cuales sirvió para confeccionar 40 piezas (a diferencia de 200 piezas que se obtienen de los moldes de yeso "nuevo" importado), ya que en los procesos cerámicos el yeso de los moldes a más del agua absorbe sales, las mismas que influyen en sus propiedades, disminuyendo la calidad.

8.2. RECOMENDACIONES.- Dadas las necesidades de los tantos artesanos que se dedican a la confección de estucos en nuestra ciudad respecto a la materia prima (el yeso), dados los excelentes resultados que con el material

recuperado para este fin se ha tenido, el precio muy bajo que puede significar su elaboración y la gran cantidad de material de deshecho que mensualmente hay en la Cerámica Andina, los autores del presente estudio nos permitimos recomendar a la citada empresa, se piense realmente en una recuperación de dicho material para la elaboración de yeso destinado a la fabricación de estucos.

En cuanto al proceso de deshidratación se recomienda - para trabajar con las temperaturas y los tiempos indicados en 3.5., realizarlo poniendo los pedazos de yeso uno al lado de otro y no sobrepuestos. Sin embargo y con la finalidad de disminuir el tiempo de deshidratación, se sugiere introducir el material en la estufa cuando ésta se encuentra ya entre 120-130°C.

Se recomienda además que el material obtenido se use - lo más pronto posible, pues se sabe que a igual que todo otro tipo de yeso si absorbe humedad no fragua, debiéndoselo almacenar en silos o depósitos elevados donde no haya humedad.

9.- BIBLIOGRAFIA

WALTER L. BADGER, JULIUS T. BANCHERO, INTRODUCCION A LA INGENIERIA QUIMICA.

LIBROS MCGRAW-HILL, 1980, México.

JOSE R. BARCELO, DICCIONARIO TERMINOLOGICO DE QUIMICA EDITORIAL ALHAMBRA, S.A., REIMPRESION DE LA SEGUNDA EDICION, 1979, Madrid.

ALAN M. BATEMAN, YACIMIENTOS MINERALES DE RENDIMIENTO ECONOMICO EDICIONES OMEGA, S.A., 1957, Barcelona.

A. BETEJIN, CURSO DE MINERALOGIA EDITORIAL MIR, TERCERA EDICION, 1977, Moscú.

JAIME CARRASCO VINTIMILLA, PRODUCCION DE DISTINTAS CLASES DE YESO EMPLEANDO MATERIA PRIMA EXISTENTE EN LAS PROVINCIAS DEL AZUAY Y CAÑAR, TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE DOCTOR EN QUIMICA INDUSTRIAL.

UNIVERSIDAD DE CUENCA, 1962, Cuenca.

F. GOMA, EL CEMENTO PORTLAND Y OTROS AGLOMERANTES EDITORES TECNICOS ASOCIADOS, S.A., 1979, Barcelona.

PETER HALD, TECNICA DE LA CERAMICA EDICIONES OMEGA, S.A., SEGUNDA EDICION, 1973, Barcelona.

ENCICLOPEDIA DE LA TECNICA Y LA MECANICA, VOLUMEN SEXTO, D. JUAN J. MALUQUER WAHL, DIRECTOR DE LA EDICION ESPAÑOLA EDICIONES NÁUTA, S.A., EDICION EN LENGUA CATELLANA, 1970, Barcelona.

KARL LADE, ADOLF WINKLER, YESERIA Y ESTUCO
EDITORIAL GUSTAVO GILI, S.A., 1960, Barcelona

ENCICLOPEDIA DE LA TECNOLOGIA QUIMICA, TOMOS 3 Y 13, BAJO
LA DIRECCION DE RAYMOND E. KIRK Y DONALD F. OTHNER
UNION TIPOGRAFICA EDITORIAL HISPANO AMERICANA (UTEHA),
PRIMERA EDICION, 1961, México.

MARKS, LIONEL S, MANUAL DEL INGENIERO MECANICO
UTEHA, 1960, México.

WARREN L. McCABE, JULIAN C. SMITH, OPERACIONES BASICAS DE
LA INGENIERIA QUIMICA
EDITORIAL REVERTE, S.A., 1980, Barcelona.

Dr. SECUNDINO MONCAYO NUÑEZ, APUNTES DE CLASE DE TECNOLO-
GIA DE CERAMICA
UNIVERSIDAD DE CUENCA, FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS, 1981,
Cuenca.

DR. JOSE ORELLANA SOLANO, ANALISIS CUANTITATIVO MINERAL,
UNIVERSIDAD DE CUENCA, 1981, Cuenca.

FELIX ORUS ASSO, MATERIALES DE CONSTRUCCION
EDITORIAL DOSSAT, SEPTIMA EDICION, 1965, Madrid.

ENCICLOPEDIA DE LA TECNICA Y DE LA MECANICA, TOMOS 5 y 6,
DR. ING. FRANCO ROSSI, DR. ING. CLAUDIO SCHIMAIA, DIRECTO
RES
EDICIONES NAUTA, EDICION EN LENGUA CASTELLANA, 1970, Bar-
celona.

FABIAN SANCHEZ TAMARIZ, YOLANDA TORRES MOSCOSO, ESTUDIO DE ROCAS DE ALTA DUREZA PARA ELEMENTOS MOLEDORES Y REVESTIMIENTO DE MOLINOS, MONOGRAFIA PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO QUIMICO UNIVERSIDAD DE CUENCA, FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS, 1983, Cuenca.

DOUGLAS A. SCOOG, DONAL M. WEST, ANALISIS INSTRUMENTAL NUEVA EDITORIAL INTERAMERICANA, S.A. de C.V., PRIMERA EDICION EN ESPAÑOL, 1975, México.

F. SINGER Y S.S. SINGER, ENCICLOPEDIA DE LA QUIMICA INDUSTRIAL, TOMO 9, CERAMICA INDUSTRIAL, VOLUMEN 1 EDICIONES URMO, 1971, Bilbao.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	1
1.- <u>GENERALIDADES SOBRE LA MINA</u>	3
1.1. Datos de prospección.....	3
1.2. Capacidad.....	10
1.3. Estado natural.....	10
1.4. Sistema de cristalización.....	13
1.5. Condiciones para explotación.....	14
2.- <u>ANALISIS QUIMICO DEL YESO DE LA MINA</u>	17
2.1. Ión sulfato.....	20
2.2. Ión calcio.....	23
2.3. Agua de constitución.....	26
2.4. Humedad higroscópica.....	29
2.5. Impurezas insolubles.....	31
3.- <u>TRATAMIENTO DEL YESO PARA LA OBTENCION DE MOLDES</u> <u>DE CERAMICA</u>	34
3.1. Extracción de la mina y purificación.....	34
3.2. Tratamiento previo.....	36
3.3. Trituración primaria.....	36
3.4. Purificación.....	38
3.5. Deshidratación del yeso.....	38
3.6. Molienda y tamizado.....	48
4.- <u>ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL YESO OBTENIDO COMPARA-</u> <u>DO CON EL YESO PATRON</u>	54
4.1. Análisis químico.....	54

4.2. Análisis físico.....	67
4.2.1. Finura.....	67
4.2.2. Consistencia normal.....	72
4.2.3. Fraguado.....	76
4.2.4. Resistencia a compresión.....	87
4.2.5. Módulo de rotura.....	94
5.- APLICACION DEL YESO EN MOLDES DE CERAMICA Y PRUEBAS EN PLANTA.....	100
6.- RECUPERACION DEL YESO DE LOS MOLDES PARA ESTUCOS.....	105
7.- ESQUEMA GENERAL DE UNA POSIBLE PLANTA DE TRATAMIENTO.....	119
8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	123
9.- BIBLIOGRAFIA.....	127