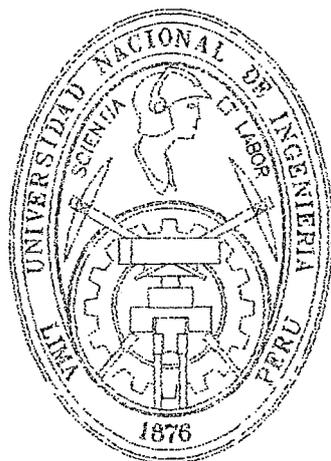


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL  
LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA**

**TESIS**

*Para optar el Título Profesional de:*

**INGENIERO CIVIL**

**DAVID ALBERTO MALDONADO CARRASCO**

*Lima - Perú  
2003*

**Digitalizado por:**

Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse

### **Dedicatoria:**

Doy gracias a Dios y a toda mi familia, en especial a mi Abuelita Cipriana que fue como una madre para mí y se que siempre me esta acompañando espiritualmente, a mi esposa Mélida y mis amores que son mis hijas Katherine y Frecsia, que sin su apoyo, paciencia, comprensión y fortaleza que me brindan cada día para seguir esforzándome y poder lograr todas mis metas.

**Agradecimiento:**

Esta tesis es un gran esfuerzo realizado con la inmensa colaboración de mi asesor el Ingeniero Carlos Barzola, que sin su ayuda y comprensión no hubiera logrado la culminación de esta investigación por lo que agradeceré siempre y que Dios le siga brindando esa bondad y riqueza que da siempre con su conocimiento y esfuerzo para sus alumnos.

# INDICE

## INTRODUCCIÓN

### CAPITULO I

1.0.0	LA ARCILLA	1
1.0.1	ESTRUCTURA DE LOS FILOSILICATOS.	4
1.1.0	CLASIFICACION	8
1.2.0	PROPIEDADES FISICOS QUÍMICAS	10
1.3.0	CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA ARCILLA.	16

### CAPITULO II

2.0.0	LA ARCILLA –HISTORIA-	17
2.1.0	LA ARCILLA COMO MATERIAL CONSTRUCCTIVO EN LA ANTIGÜEDAD.	17
2.2.0	USOS Y TRATAMIENTOS DE LA ARCILLA EN LA ANTIGÜEDAD.	22
2.3.0	ELABORACION DE LADRILLOS PARA LA RESTAURACIÓN DE EDIFICIOS HISTORICOS	26

### CAPITULO III :

3.0.0	LA ARCILLA –MATERIA-EN LA INDUSTRIA	28
3.0.0.1	ARCILLAS ESPECIALES	29
3.1.0	EXTRACCIÓN Y PROCESADO	34
3.2.0	APLICACIONES INDUSTRIALES	35

## **CAPITULO IV :**

4.0.0	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO	47
4.1.0	FABRICACION ARTESANAL	47
4.2.0	FABRICACION INDUSTRIAL	54
4.3.0	MAQUINARIAS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LADRILLOS, TABIQUES Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA.	59
4.4.0	DIFERENCIA DE FABRICACIÓN HUANCAYO-PUCALLPA.	63

## **CAPITULO V :**

5.0.0	ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LAS ARCILLAS	
5.1.0	ANALISIS GRANULOMETRICO	64
5.2.0	LIMITES DE CONSISTENCIA	65
5.3.0	EQUIVALENTE DE ARCILLA	67

<b>CAPITULO VI :</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>70</b>
----------------------	-------------------------------	-----------

<b>CAPITULO VII :</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>84</b>
-----------------------	---------------------------------------	-----------

## **ANEXOS**

**ANEXO A** : RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRAFICAS

**ANEXO B** : ESPECIFICACIONES TECNICAS

**ANEXO C** : FOTOS

## **BIBLIOGRAFÍA**

## INTRODUCCIÓN

La arcilla como material constructivo forma parte del paisaje habitual de nuestras modernas urbes, enormes edificios de vivienda, museos etc. en todos aparece este material. Este elemento edilicio que ya era utilizado por las poblaciones de Mesopotamia (llanura aluvial entre los ríos Tigris y Eufrates) hacia el 6000 a.c.; y en el 3000 a.c. aparece el ladrillo cocido (palacio de Nippur en Mesopotamia); su uso en la construcción se difundió primero en Egipto y al lejano oriente, pasando después a Europa a través de Grecia y Roma.

El mundo romano fue el gran difusor de la construcción en ladrillo que permitió la edificación de los vastos complejos monumentales del imperio; de esta forma, los romanos se convirtieron en los grandes difusores del uso del ladrillo, pues a su accesibilidad se añadía la posibilidad de producir grandes cantidades a corto plazo, con la consiguiente reducción de costos y de tiempo, además constituían un material muy resistente que podía conseguirse de diversas formas y tamaños.

Es así como el ladrillo cocido a través de la historia se ha difundido a la vez comprobado su resistencia.

Hoy en día países como Colombia a través de laboratorios cerámicos selecciona la materia prima (la arcilla), la cual debe tener una composición química para ser utilizada en la fabricación de ladrillo.

En España elaboran proyecto de fabricación de ladrillos para la restauración de edificios históricos.

En el Perú la industria ladrillera peruana fabrica ladrillos de muy buena calidad basándose en la normas técnicas peruana (NTP) 331.017 que establece las definiciones, clasificación, condiciones generales y requisitos que debe cumplir el ladrillo de arcilla, usado en albañilería; pero lo que no se conoce aun es como se selecciona la materia prima; esto solo se realiza cualitativamente en base a la experiencia de muchos; por ello se decide la realización de la siguiente tesis **“ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACIÓN DEL LADRILLOS COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA”**.

El Ing. Emilio Medrano cuya tesis forma parte de la bibliografía, realizó el primer estudio de la arcilla para la fabricación del ladrillo; tomado como muestras la materia prima utilizada por las fábricas Rex, Lark, Huachipa; elaborando un marco de referencia para la fabricación de ladrillo cocido en Lima(Rex, Lark, Huachipa); este trabajo de investigación está orientado ha encontrar mediante ensayos físicos mecánicos como limites de consistencia (limite liquido, limite plástico, limite de contracción), análisis granulométrico por tamizado, análisis granulométrico método del hidrómetro equivalencia de arcilla, clasificación de acuerdo a la SUCS Y AASHTO, resistencia a la compresión del ladrillo; parámetros (modulo de finura, limite liquido, limite plástico, pasante la malla 100 y 200, clasificación de acuerdo a la SUCS YAASHTO) de la cantera Huancayo ubicado en Quilcas distrito de

Quilcas y la cantera "Villacorta" en Pucallpa; compararlos analizarlos, tomando como basa de referencia los establecidos por el Ing. Medrano para las fabricas de ladrillos de Lima (Rex, Lark, Huachipa); obteniendo conclusiones de la arcilla de Pucallpa(no combina su arcilla) y la muestra de Huancayo combinada 50% $m_1$  +50% $m_2$  ( $m_1$  y  $m_2$  son muestras del material en estudio), y obtener referencias que nos permita medir de forma cuantitativa las características de muestras para seleccionar la materia prima adecuada para la fabricación de la pasta de ladrillo; proponer las recomendaciones respectivas, incentivar la investigación de la arcilla con fines constructivos (ladrillos cocidos), como lo hace en otros países (Colombia, España); contribuyendo la mejorar la calidad de nuestros ladrillos a nivel nacional.

# **CAPITULO I**

# **CAPITULO I**

## **1.0.0 LA ARCILLA**

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).

Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ .

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2  $\mu\text{m}$ .

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Las rocas sedimentarias, formadas por el depósito de granos de roca transportada por el agua o viento, se separan en dos grupos, según sus componentes minerales principales. Las rocas calcáreas, formadas principalmente por compuestos de calcio o magnesio, incluyen la caliza y la dolomita. Las rocas sedimentarias, compuestas principalmente de sílice, incluyen la lidita, la arenisca y el sílex.

Los depósitos de sedimentos son principalmente a los minerales que se han depositado en los lechos de lagos y mares por la acción de arrastre de los ríos.

Las arcillas son rocas sedimentarias disgregadas: comprenden varios silicatos aluminicos hidratados cristalizados procedentes de la descomposición de los feldespatos por la acción erosiva de la atmósfera junto con la acción química de l anhídrido carbónico.

La arcilla es un silicoaluminato hidratado, es decir que desde el punto de vista químico esta compuesta de silicio(Si), aluminio(Al), oxígeno(O) e hidrógeno(H);

Los silicatos (familia de minerales) forman el árbol genealógico de las arcillas; por ello daremos un pequeño resumen al origen de estos.

Mediante métodos indirectos como los sismológicos, se ha logrado poner en evidencia que la estructura interna de la tierra esta formada por capas que tienen una composición más o menos definida: así hacia el interior de la superficie encontramos la capa llamada SIAL, situada entre los 40 y 100 km de profundidad que es rica en sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y aluminio, es de tipo ácido y con

densidad media de 2.7. Más hacia el interior hallaremos la capa denominada SIMA rica en hierro y magnesio pero con algunas porciones de sílice, aluminio y otros elementos, de carácter básico más caliente y fluida que la capa SIAL. La capa SIMA es considerada la madre directa de todas las formaciones minerales que afloraron a la superficie. Es decir que es muy probable que las primeras rocas superficiales se hallan formado por el enfriamiento y cristalización posterior de las corrientes del magma provenientes de la capa SIMA, acarreadas por las erupciones volcánicas y enfriadas en la superficie, dando origen a las rocas básicas como los basaltos.

En cambio, la afloración del mineral fundido proveniente de la capa SIAL, a través de las hendiduras y fallas, originó la formación de las rocas ígneas de carácter ácido: los granitos. Las segregaciones del magma caliente, su migración y su compactación posteriores, dieron origen a diversos minerales, como las cromitas, magnetitas, corindón, sienitas, mármoles y cuarcitas, entre otros. Unos más resultaron de la presión de los suelos al replegarse, como ocurrió con el grafito.

La acción de los vapores y de los gases calientes sobre las primeras rocas condujo a su alteración y a la consecuente formación de mezclas finas de minerales. Estas últimas permanecieron en forma de residuos o bien fueron transportadas y depositadas en los lechos de los ríos y en los fondos marinos. El arrastre y depósito de estas mezclas finas pudo efectuarse por vía fluvial, es decir, por acción de los ríos o bien por medio de los glaciares y los vientos.

El resultado fue su depósito en los lechos lacustre y marinos, lo cual produjo los yacimientos más importantes.

El 95% de la corteza terrestre esta formada por silicato.

La familia de los silicatos comprende la mayoría de los minerales de la corteza terrestre, incluido el cuarzo y, como veremos, su composición y estructura están relacionados directamente con la historia geológica de la tierra, es decir, que dependen de la naturaleza de la roca madre que les dio origen, así como del ambiente a que fueron sometidos durante la etapa de arrastre o deposición. Las arcillas son pues una rama de los silicatos y su formación obedeció a tres mecanismos principales: 1) por herencia, 2) por reformación, 3) por transformación. El primer mecanismo indica que el material arcilloso fue derivado directamente de una roca madre y es este tipo de arcillas el que predomina en los sedimentos de lagos y mares.

Los otros dos mecanismos implicaron una reacción química entre varios componentes- o bien a partir de la arcilla original-, por lo que este tipo de formación requirió de mayor energía y de ciertas condiciones hidrotérmicas. Curiosamente, estos mecanismos están relacionados con la latitud en el planeta, de modo que encontramos que el primer mecanismo fue más común en las regiones árticas, mientras que la neoformación y la transformación resultaron dominantes en los trópicos húmedos.

## **1.01 ESTRUCTURA DE LOS FILOSILICATOS**

Como veremos, las propiedades de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales. Por ello es imprescindible conocer la estructura de los filosilicatos para poder comprender sus propiedades.

Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos  $(\text{SiO})_4^{4-}$  se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ , que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ .

Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibosita o brucita. En ellas algunos  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$ , pueden estar sustituidos por  $\text{Fe}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$  y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por grupos  $(\text{OH})^-$  de la capa brucítica o gibsitica, de forma que, en este plano, quede un  $(\text{OH})^-$  en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los  $(\text{OH})^-$  son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros (Figura N°1).

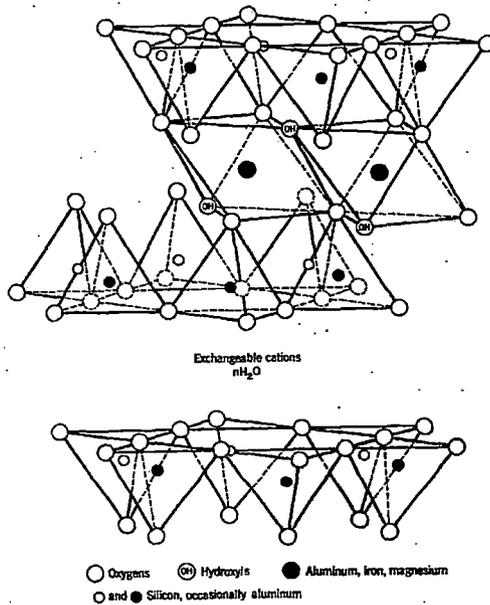


Figura N° 1

Una unión similar puede ocurrir en la superficie opuesta de la capa octaédrica. Así, los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: tetraédrica más octaédrica y se denominan **bilaminares, 1:1**, o **T:O**; o bien por tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose **trilaminares, 2:1** o **T:O:T**. A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica más una o dos tetraédricas se la denomina **lámina**.

Si todos los huecos octaédricos están ocupados, la lámina se denomina **trioctaédrica** ( $Mg^{2+}$  dominante en la capa octaédrica). Si solo están ocupadas dos tercios de las posiciones octaédricas y el tercio restante está vacante, se denomina **dioctaédrica** (el  $Al^{3+}$  es el catión octaédrico dominante).

En algunos filosilicatos (esmectitas, vermiculitas, micas...) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar, o espacio existente entre dos láminas consecutivas, de cationes (como por ejemplo en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las vermiculitas y esmectitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas, como sucede en las cloritas. A éstas últimas también se las denomina **T:O:T:O** o **2:1:1**. La unidad formada por una lámina más la interlámina es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca).

Las fuerzas que unen las diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lámina, por ese motivo los filosilicatos tienen una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas.

También pertenecen a este grupo de minerales la sepiolita y la paligorskita, a pesar de presentar diferencias estructurales con el resto de los filosilicatos. Estructuralmente están formadas por láminas discontinuas de tipo mica. A diferencia del resto de los filosilicatos, que son laminares, éstos tienen hábito fibroso (figura N° 2), ya que la capa basal de oxígenos es continua, pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (sepiolita) o cada 5 posiciones (paligorskita). Esta inversión da lugar a la interrupción de la capa octaédrica que es discontinua.

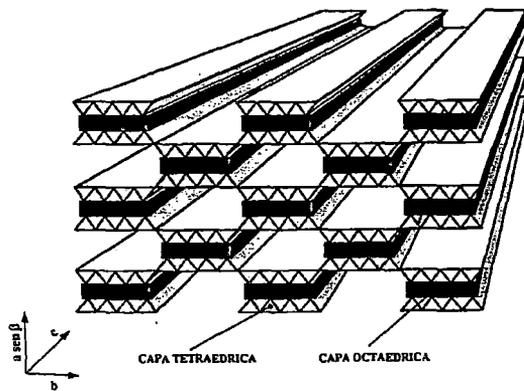


Figura N° 2

### 1.1.0 CLASIFICACION

Los filossilicatos se clasifican atendiendo a que sean bilaminares o trilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos (Cuadro N°1). Como puede verse pertenecen a los filossilicatos grupos de minerales tan importantes como las micas y las arcillas.

Cuadro N° 1

## Filosilicatos Bilaminares o Trilaminares

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS		CARGA
BILAMINARES T:O 1:1		Caolinita		Antigorita	X = 0
	CANDITAS	Nacrita	SERPENTINA	Crisotilo	
		Dichita		Lizardita	
		Halloisita		Bertierina	
TRILAMINARES T:O:T 2:1	Pirofilita		Talco		X = 0
		Montmorillonita		Saponita	X = 0,2-0,6
	ESMECTITAS	Beidellita	ESMECTITAS	Hectorita	
		Nontronita			
	Vermiculitas		Vermiculitas		X = 0,6-0,9
	Illitas				X = 0,9
		Moscovita		Biotita	X = 1
	MICAS	Paragonita	MICAS	Flogopita	
			Lepidolita		
T:O:T:O 2:1:1	CLORITAS				
FIBROSOS	Paligorskita		Sepiolita		

### 1.2.0 PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades fisico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2  $\mu\text{m}$ )
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades geológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

- **Superficie específica**

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $\text{m}^2/\text{g}$ .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

Caolinita de elevada cristalinidad hasta  $15 \text{ m}^2/\text{g}$

Caolinita de baja cristalinidad hasta  $50 \text{ m}^2/\text{g}$

Halloisita hasta  $60 \text{ m}^2/\text{g}$

Illita hasta  $50 \text{ m}^2/\text{g}$

Montmorillonita  $80\text{-}300 \text{ m}^2/\text{g}$

Sepiolita  $100\text{-}240 \text{ m}^2/\text{g}$

Paligorskita  $100\text{-}200 \text{ m}^2/\text{g}$

- **Capacidad de Intercambio catiónico**

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los

cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- ❖ Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- ❖ Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- ❖ Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina.

A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g):

Caolinita:	03 - 05
Halloisita:	10 - 40
Illita:	10 - 50
Clorita:	10 - 50
Vermiculita:	100 - 200
Montmorillonita:	80 - 200
Sepiolita-paligorskita:	20 - 35

- **Capacidad de absorción**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

- **Hidratación e hinchamiento**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmeclitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

### • **Plasticidad**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al. , 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

- **Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

### **1.3.0 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS ARCILLAS.**

Entre las principales características podemos citar las siguientes:

- a) Las arcillas están formadas por cristales muy pequeños.
- b) Tienen capacidad de intercambiar iones.
- c) Son capaces de variar su composición química interna.
- d) Pueden alojar moléculas en el espacio interlaminar.

- e) La superficie de las láminas presenta una actividad química considerable.
- f) Los cambios físicos de la estructura laminar, por ejemplo el hinchamiento, son reversibles.

# **CAPITULO II**

## **CAPITULO II**

### **2.0.0 LA ARCILLA - HISTORIA**

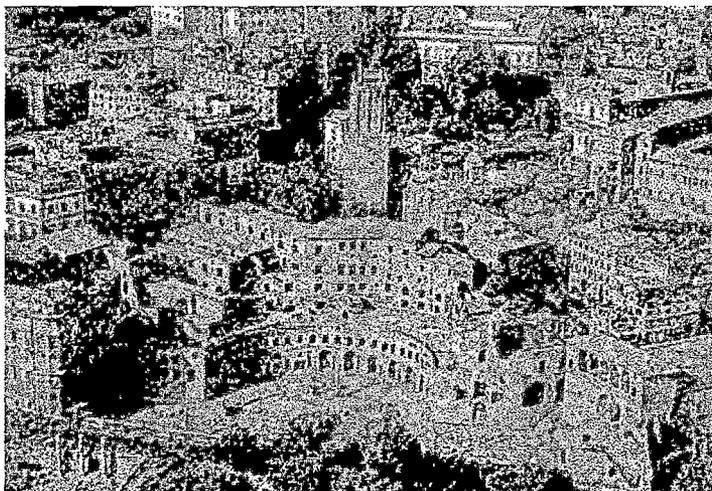


Foto N° 1

Ciudad Romana construida con ladrillo de arcilla

### **2.1.0 LA ARCILLA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO EN LA ANTIGÜEDAD.**

La arcilla como material constructivo forma parte del paisaje habitual de nuestras modernas urbes. Enormes edificios de viviendas, museos, estaciones de tren...: en todos aparece este material. Sin embargo, son pocos los que conocen la antigüedad de este elemento edilicio que ya era utilizado por las poblaciones de Mesopotamia (llanura aluvial entre los ríos Tigris y Eufrates) hacia el 6000 a. c., la deuda de nuestra sociedad con aquellas primeras civilizaciones no sólo queda patente por el continuo uso que hacemos de la arcilla, sino que se demuestra también en cuestiones más sutiles pero no por ello menos importantes. Así, la palabra actual que empleamos

para designar el adobe proviene del término egipcio dbt "ladrillo de barro crudo".

El inicio de la construcción en materiales imperecederos se produce cuando el hombre abandona el nomadismo para adoptar unas pautas de vida sedentarias (proceso que comienza a partir del Neolítico).

Desde el inicio de esta evolución, los hombres han construido con los materiales que le rodeaban, con aquello que tenían al alcance de la mano. Sólo los edificios con fines claramente propagandísticos, templos y palacios sobre todo, eran levantados utilizando otras materias de mayor coste y dificultad de trabajo, circunstancia ésta que les confería un carácter diferenciador y preeminente.

De esta forma, se comprende que al iniciarse el fenómeno de sedentarización en una llanura aluvial (Mesopotamia) casi todas las construcciones se realizaran en arcilla que era el material edilicio más asequible. Su uso en la construcción se difundió primero a Egipto y al lejano Oriente, pasando después a Europa a través de Grecia y Roma.

Los primeros núcleos de habitación en los que aparecen construcciones realizadas en material imperecedero se dan en Mesopotamia (Tell Mureybet y Ali Kosh) en el IX milenio a. c., se trata de casas rectangulares construidas en tapial (mezcla de tierra, arcilla y elementos aglutinantes) de características muy primitivas. En el VIII milenio a. c., se detectan en Mureybet viviendas edificadas con bloques calcáreos unidos por mortero de arcilla. Simultáneamente en Ali Kosh aparecen los primeros ladrillos de adobe, aunque de muy

pequeño tamaño y destinados a conformar depósitos y pequeños almacenes. Estos serán los sistemas de construcción hasta que durante el período de Samarra (c. 5500 a. c.) se comiencen a erigir edificios con ladrillos de adobe. En el c. 3000 a. c. aparece el ladrillo cocido (Palacio de Nippur en Mesopotamia), usándose como elemento decorativo y cubrimiento de muros realizados en adobe.

Esta combinación, será muy frecuente tanto en Mesopotamia como en Egipto. El ladrillo cocido suponía una gran mejora con respecto al de adobe, pues era mucho más duro, además de resistir mejor el paso del tiempo y los agentes naturales (lluvias y viento). En zonas como Egipto y Mesopotamia donde los vientos están cargados de arena y suele llover de forma torrencial, las edificaciones levantadas con ladrillos de adobe, que eran la gran mayoría, han desaparecido casi en su totalidad (salvo cuando han permanecido soterradas por las dunas). En cambio los ladrillos cocidos se han conservado mejor.

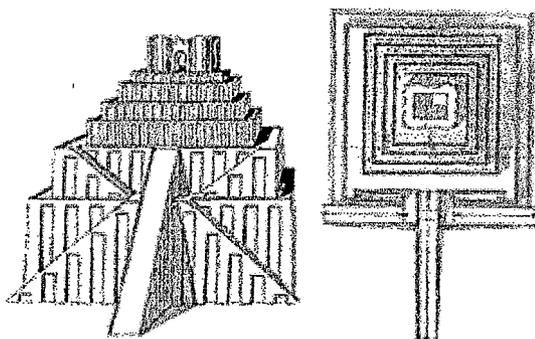


Figura N° 3

### Torre de Babel Bíblica

Las sociedades afincadas entre el Tigris y el Eufrates aprendieron a usar este elemento edilicio y lo emplearon para crear sus grandes ciudades fortificadas que estaban constituidas por casas particulares, palacios y los conocidos zigurats, que son el origen de la torre de Babel bíblica. (Figura N°3).

En Egipto su utilización es posterior y parece haber sido introducido desde la vecina Mesopotamia. En este país la roca también era muy abundante, lo que provocó que ambos materiales constructivos alternaran. En general, la piedra se reservó para conjuntos arquitectónicos de gran entidad y elevado costo como los templos.

Los primeros edificios construidos con ladrillos de adobe en Egipto son de la Primera Dinastía c. 3050 a. c. (Mastabas de Saqara y Naqada y tumbas de Abidos), si bien las paletas del Predinástico (IV milenio a. c.) parecen indicar que existieron construcciones anteriores que no han sido halladas. El ladrillo cocido se empleó en el Imperio Medio (c. 2040-1660 a. c.) para la pavimentación de una fortaleza egipcia en Nubia, aunque existen barras de arcilla cocida pertenecientes al Predinástico que se usaron para construir hornos.

Su definitiva difusión tuvo lugar en el Imperio Nuevo (c. 1540-1070 a. c.) y sobre todo en la época greco-romana. Durante estos períodos ambos tipos de ladrillos convivieron en la edificación, siendo muy habitual la utilización en una misma construcción de ambos materiales: el cocido para las partes más expuestas al desgaste y a la humedad y el adobe para el resto del conjunto. Este panorama sólo cambiará en época romana cuando los edificios públicos se

construyan con ladrillo cocido, quedando el adobe relegado al uso doméstico.

El mundo greco-romano fue más lento en la incorporación de la arcilla a sus edificaciones, ya que no utilizan el ladrillo cocido hasta aproximadamente el siglo I a. c. Las conexiones con el próximo Oriente son claras, así uno de los monumentos en los que primero se aplicó fue el palacio helenístico de Nippur (Mesopotamia). El mundo heleno generaliza el uso del ladrillo por el Mediterráneo, siendo a través de sus colonias en la Magna Grecia como se da a conocer en Campania, etruria y con posterioridad en Roma. Una gran aportación de los griegos es la invención de la teja, que servía para cubrir los techos y proteger las estructuras de madera. Los romanos desarrollarán y perfeccionarán este sistema con el uso de tegulas e imbrices.

El mundo romano fue el gran difusor de la construcción en ladrillo que permitió la edificación de los vastos complejos monumentales del Imperio, tarea difícil de completar con cualquier otro material. Las monumentos erigidos con ladrillo podían ser recubiertos con piedra y estuco para mejorar el acabado.

De esta forma, los romanos se convirtieron en los grandes difusores del uso del ladrillo, pues a su accesibilidad se añadía la posibilidad de producir grandes cantidades a corto plazo, con la consiguiente reducción de costos y de tiempo. Además, constituían un material muy resistente que podía conseguirse de diversas formas y tamaños.

## **2.2.0 USOS Y TRATAMIENTO DE LA ARCILLA EN LA ANTIGÜEDAD.**

El trabajo de la arcilla como realización humana consciente aparece por primera vez en el Paleolítico Superior (25000 a. C.) con las esculturas de barro secas. Desde este primer momento hasta la actualidad, las técnicas y métodos de fabricación han mejorado de forma considerable, a la par que aumentaba la demanda y la variedad de usos aplicados a los productos cerámicos. En el presente artículo se pretende ilustrar el uso y tratamiento de la arcilla en la antigüedad. Este tema ha despertado el interés de los investigadores desde época romana, siendo por ello muy abundante la bibliografía. Para una mayor claridad en la exposición será necesario realizar una síntesis en la cual se preste mayor atención a los temas afines al mundo de la construcción.

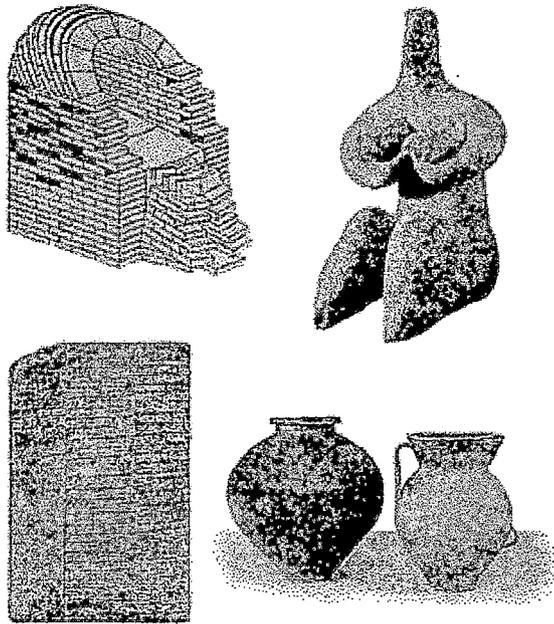


Figura N°4

Uso de la Arcilla

## LA ARCILLA: USOS Y APLICACIONES MÁS FRECUENTES

La arcilla es un elemento que, al aplicársele agua, se convierte en dúctil y maleable. Las formas que se le confieren cuando está húmeda se conservan tras la desaparición del agua, haciendo de este material el más versátil de los que el hombre tenía a su alcance.

La abundancia de la arcilla en la naturaleza, su relativa facilidad de tratamiento y la resistencia e impermeabilidad de este elemento lo convirtieron en un material profusamente utilizado por las sociedades antiguas. El papel que desempeñó en las grandes civilizaciones del mundo antiguo es crucial tanto para la comprensión de dichas

sociedades como para el mejor conocimiento de nuestra propia cultura que, en gran parte, es heredera de aquellas comunidades. La importancia de la arcilla para estas primeras sociedades sedentarias llega incluso a reflejarse en la religión de dichos pueblos, así en el Génesis, Dios utilizó la arcilla para modelar al hombre.

Los usos más frecuentes de la arcilla en la antigüedad son (Figura N°4).

- **La arcilla como material constructivo.** Desde la utilización del barro a la cocción de ladrillos regulares, la arcilla pasó por un largo proceso evolutivo encaminado a mejorar su calidad como material edilicio. En las civilizaciones antiguas del Próximo Oriente y el Mediterráneo, donde se podía obtener con facilidad, se convirtió en el elemento fundamental para la edificación, tanto de muros en forma de adobes y ladrillos como de cubrimientos y suelos.
  
- **La arcilla como soporte para la escritura.** El sistema de escritura cuneiforme utilizaba la arcilla como material escriptorio. De esta forma, se convirtió en el soporte de la primera literatura del mundo, la más antigua mitología escrita, los inicios del Derecho, los primeros análisis del mundo y el universo, así como la primera administración. Las tablillas de arcilla con escritura cuneiforme se encuentran en gran número por todo el Próximo Oriente, constituyendo el mejor ejemplo de esta abundancia la aparición en el palacio de Mari (Mesopotamia) de un conjunto de más de quince mil de estas tablillas.

- **La arcilla para realizar exvotos y figurillas.** Constituye una de las funcionalidades más antiguas que se conoce para este material. La plasticidad del barro permite obtener figuras y esculturas de gran calidad con menor esfuerzo y habilidad que si se emplease la piedra o la madera.
  
- **La arcilla para fabricación de cacharros domésticos y de transporte.** Es uno de los usos más comunes que se le dio a la arcilla en la antigüedad. Prueba de ello es la abundancia de vasijas encontradas en las excavaciones arqueológicas realizadas en toda Europa. La cerámica de transporte es un elemento fundamental para el estudio de los intercambios comerciales en la antigüedad. La Andalucía Romana, la Bética, fue una gran productora de estas cerámicas de transporte denominadas ánforas, cuyo cometido era servir de recipiente para el comercio de mercancías líquidas y semilíquidas (vino, aceite, resina, conservas, ...) con Roma. El comercio de aceite de la Bética fue tan intenso que la producción de ánforas fue tan amplia que el vertedero romano donde fueron apilándose una vez vacías constituye actualmente un montículo ( el monte testaccio) en la capital italiana.

Muchos de los usos expuestos antes no son exclusivos de la antigüedad, pues en el campo artesanal perduraron a lo largo de la historia, manteniéndose incluso hasta nuestros días.

### **2.3.0 ELABORACIÓN DE LADRILLOS PARA LA RESTAURACIÓN DE EDIFICIOS HISTORICOS.**

El objetivo de este proyecto es definir las bases para fabricar, a escala industrial, ladrillos para la restauración de edificios de carácter histórico ubicados en la ciudad de Toledo y que, siguiendo las tendencias actuales, deberían reproducir fielmente las características estéticas y funcionales de las piezas que conforman el edificio a restaurar.

Para ello, se utilizan técnicas de análisis tales como dilatometría, termogravimetría, difracción de rayos X, análisis térmico diferencial, porosimetría de mercurio, etc., que permiten determinar "como" y "con qué" fueron fabricados los ladrillos pertenecientes a edificios de hasta 1800 años de antigüedad, como por ejemplo los de las Termas Romanas de Cabrahigos.

Paralelamente, un profundo estudio arqueológico-documental permite ubicar las explotaciones de arcilla que surtían a los tejares ubicados en Toledo, principalmente a partir del siglo XIII. Aún cuando la explotación de estas canteras resulta, hoy en día, inviable, su estudio y localización ha permitido recabar información sobre la naturaleza de las arcillas.

La primera etapa del proceso consistió en fabricar piezas a escala de laboratorio utilizando arcillas y aditivos explotables en la actualidad, de manera que se ajustaran las dosificaciones y condiciones de fabricación, especialmente el ciclo de cocción, a los datos obtenidos con las muestras reales. Para ello ha sido necesaria la utilización de

aditivos y procedimientos no siempre habituales en la industria cerámica, ya que alguna de las características propias de una elaboración artesanal resulta difícil de reproducir en un proceso más mecanizado y moderno.

Posteriormente se procede a la fabricación semi-industrial de estos ladrillos en la Planta Piloto del “Centro Tecnológico de Toledo”, adecuando las características de producción a los condicionantes indicados y adecuando el proceso productivo de manera que resulte rentable económicamente su fabricación a nivel industrial.

El análisis de las propiedades tecnológicas: controles dimensionales, resistencia a compresión, absorción de agua, succión, densidad, resistencia al hielo, etc.; y su comparación con los datos originales indica la bondad del procedimiento. También se han cuidado los detalles estéticos, para lo que se ha realizado una minuciosa planificación de las arcillas y aditivos utilizados y un control riguroso de la atmósfera de cocción, aspecto determinante de la coloración final de la pieza.

# **CAPITULO III**

## CAPITULO III

### 3.0.0 LA ARCILLA – MATERIA PRIMA- EN LA INDUSTRIA

Hoy en día las arcillas comerciales, aquellas que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90 % de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Sólo un 10 % se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.)

En general al primer tipo (las que se utilizan en construcción) se las denomina **arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes**, son arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo...). Se utilizan para la fabricación de materiales de construcción y agregados.

Al segundo tipo se las denomina **arcillas especiales**, son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral de la arcilla, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional.

Las arcillas especiales se pueden dividir en caolines y arcillas caoliníferas, y bentonitas, sepiolita y paligorskita.

### **3.0.0.1 ARCILLAS ESPECIALES**

- **Caolines y arcillas caoliníferas**

Un caolín es una roca que contiene una cierta proporción de minerales del grupo de caolín, que puede ser económicamente extraída y concentrada. Se trata, generalmente, de una arcosa o arena caolinífera, granito o gneis caolinitizado, que es necesario procesar para enriquecer en minerales del grupo del caolín.

La arcilla caolinífera es también un caolín en sentido amplio. Igualmente, se trata de una arcilla compuesta, fundamentalmente, de minerales del grupo del caolín. Esta no se procesa, se usa tal cual, e inicialmente los porcentajes en minerales del grupo del caolín son más altos que en el caolín (>50%). Cuando el caolín se usa para cerámica blanca recibe la denominación de China Clay.

El caolín, tal como se obtiene en una explotación mineral (caolín bruto/todo uno) posee un contenido variable de caolinita y/o halloysita que, a veces no llega al 20 %, además suele tener cuarzo, feldespatos, micas, y, dependiendo de la roca madre otro tipo de minerales accesorios. Para concentrar el mineral es preciso someterlo a diferentes procesos que eleven el contenido en filosilicatos por encima del 80 %. El producto final, generalmente, recibe el nombre de caolín lavado.

Como la caolinita tiene un tamaño de partícula muy pequeño, el lavado de las fracciones groseras conduce a un material con alto contenido en caolinita. Es evidente que cuanto mayor sea el contenido en fracciones finas del caolín bruto, mayor será también el porcentaje en caolinita. Un caolín comercial de alta calidad a penas deberá tener

partículas superiores a las 20µm, lo que garantizaría una riqueza en caolinita superior al 80%.

Otro término utilizado para arcillas especiales, con un indudable significado industrial, es el de arcillas refractarias: Arcillas caoliníferas utilizadas para la fabricación de materiales cerámicos refractarios.

Dentro de este grupo pueden incluirse las denominadas ball-clays, o arcillas caoliníferas plásticas y dispersables en agua, que son grises o negras pero que cuecen blanco. Son los materiales más interesantes para la fabricación de cerámica blanca de gran calidad. Las fire-clays o arcillas refractarias propiamente dichas, suelen tener óxidos de hierro, lo que hace que no cuezan blanco. Las flint-clays o arcillas caoliníferas duras, carentes de plasticidad se utilizan fundamentalmente para la fabricación de refractarios silicoaluminosos. Por último las Tonsteins (Underclays), son muy similares a las flint-clays, son niveles volcánicos.

- **Bentonitas**

Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, independientemente de cualquier connotación genética.

Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades fisico-químicas; así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua:

- Bentonitas altamente hinchables o sódicas

- Bentonitas poco hinchables o cálcicas
- Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias

El término fuller'earth, también conocidas en español como tierras de batán, los ingleses lo usan para denominar a arcillas constituidas fundamentalmente por montmorillonita con Ca como catión de cambio, mientras que los americanos se lo dan a arcillas paligorskíticas. A las bentonitas cálcicas que los ingleses denominan fuller'earth los americanos las llaman bentonitas no hinchables.

Otras clasificaciones se basan en criterios distintos, así, por ejemplo, en USA se utiliza el término "Bentonitas del Sur" (Southern Bentonites) como equivalentes de bentonitas cálcicas, ya que la mayor parte de la bentonita cálcica norteamericana se explota cerca del Golfo de México, denominándose "bentonita tipo Wyoming" a las bentonitas sódicas.

#### **Tratamientos destinados a mejorar la calidad de las bentonitas:**

En ocasiones se procede a someter a las bentonitas a procesos físicos y químicos que tienen por objeto potenciar algunas de sus propiedades para determinadas aplicaciones industriales. Desde el punto de vista industrial tienen gran importancia los procesos destinados bien a modificar las propiedades de superficie del mineral mediante tratamientos de distinta naturaleza (tratamiento ácido, térmico, o de pilarización) o bien a modificar el quimismo del espacio interlamilar. El tratamiento ácido produce la destrucción del mineral por disolución de la capa octaédrica, generando sílice amorfa procedente de la capa tetraédrica lo cual conlleva un considerable incremento de la superficie específica. Así mismo, aumentan la

capacidad de intercambio iónico y la actividad catalítica. Las variaciones en el tipo de arcilla (granulometría y mineralogía) y en el tipo y grado de acidulación (tipo de ácido, temperatura, tiempo de contacto, proporción de arcilla, etc.) darán lugar a diferentes productos con diversas propiedades.

Igualmente, se puede efectuar una activación sódica, sobre bentonitas cálcicas, tratándolas con carbonato cálcico, para obtener bentonitas sódicas.

Norteamérica, Europa y Japón son los principales productores de bentonitas activadas.

Si los cationes de cambio inorgánicos de una esmectita son sustituidos por cationes orgánicos de cadena larga tipo compuestos tetraamonio o alquilamina, a esta arcilla se la denomina arcilla organofílica. Las arcillas naturales son organofóbicas; sin embargo, cuando son modificadas orgánicamente presentan afinidad por las moléculas orgánicas; por ello tienen importantes aplicaciones como adsorbentes de residuos orgánicos. Además son hidrofóbicas, adecuadas para su empleo en la fabricación de pinturas, como gelificantes de líquidos orgánicos, en lubricantes, etc.

El uso de la hectorita como base para las arcillas organofílicas está muy extendido, ya que esta esmectita da un producto de alto poder gelificante en sistemas altamente polarizados.

En 1970 comenzó a funcionar por primera vez en Houston (Texas) una planta de fabricación de montmorillonita sintética. Se trata, en realidad, de un interestratificado al azar illita/montmorillonita. El material se vende para catálisis en cracking, hidrogenación/deshidrogenación, y como componente en catalizadores hidrotratantes. Posee un área superficial de 110-160 m<sup>2</sup>/g, y una capacidad de cambio entre 150 y 160 meq/g.

También se fabrica hectorita sintética en el Reino Unido, que se comercializa con el nombre de Laponita. Es, evidentemente, más pura que el material natural y se destina a los mismos usos que la bentonita sintética.

- **Paligorskita-Sepiolita**

Las sepiolitas y paligorskitas son arcillas con un contenido en dichos minerales superior al 50 %. Son minerales con hábito fibroso con una enorme área superficial debida tanto al pequeño tamaño de partícula como la porosidad estructural que presenta su estructura. La superficie específica teórica se calcula alrededor de los 900 m<sup>2</sup>/g, aunque la superficie accesible es muy inferior.

Su peculiar estructura les confiere una serie de propiedades, entre ellas las de formar suspensiones poco afectadas por la concentración iónica y una enorme capacidad sorcitiva, por lo que son poderosos decolorantes y absorbentes. También tienen propiedades reológicas, son capaces de formar geles y suspensiones estables de alta viscosidad a bajas concentraciones de sólido. Al igual que las esmectitas, son susceptibles de ser activadas mediante tratamientos térmicos y ácidos.

- **Otros tipos de arcillas especiales**

También pueden considerarse arcillas especiales las halloysitas, compuestas fundamentalmente por halloysita, mineral del grupo del caolín y las hectoritas, compuestas por hectorita (una esmectita), Las arcillas halloysíticas también pueden considerarse caolines, y las hectoritas un tipo de bentonitas. Ambos tipos son muy escasos en el mundo.

Recientemente el termino arcilla especial ha sido restringido aún más por algunos autores y lo reservan para arcillas raras como la sepiolita o hectorita, poco abundantes, o como la paligorskita y bentonitas blancas. También lo usan para arcillas modificadas químicamente como las bentonitas activadas con tratamientos ácidos o organofílicas, quedando fuera de la denominación de arcillas especiales los caolines, bentonitas y, por supuesto las arcillas comunes.

### **3.1.0 EXTRACCIÓN Y PROCESADO**

La explotación, normalmente, se efectúa a cielo abierto, utilizando medios mecánicos convencionales. La potencia del recubrimiento a remover varía de unos yacimientos a otros, pero, generalmente, en la mayor parte de las explotaciones son inferiores a los 15 m. El procesado industrial del producto de cantera viene fijado por la naturaleza y uso a que se destine. Generalmente es sencillo, reduciéndose a un machaqueo previo y eliminación de la humedad y finalmente, a una molienda hasta los tamaños de partícula deseados.

La temperatura de secado depende de la utilización posterior de la arcilla.

### **3.2.0 APLICACIONES INDUSTRIALES**

Desde el punto de vista industrial, la mayor parte de las aplicaciones no requieren especificaciones estrictas en cuanto a composición química (composición de las capas tetraédrica y octaédrica). Sin embargo, en el caso de las bentonitas si tiene importancia el quimismo del espacio interlaminar y sus propiedades fisico-químicas.

#### **ARCILLAS COMUNES**

El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas...), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. La industria ladrillera, toma como materia prima la arcilla tipo magro, por sufrir menos contracción y agrietamiento que las llamadas grasas, cuando la arcilla es de naturaleza grasa se aconseja mezclarla con materiales inertes como las arenas.

Son así mismo son utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

#### **• CAOLIN**

Se trata de un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Ha sido utilizando desde antiguo para numerosos usos. En

el siglo XVI adquirió gran fama entre la nobleza la porcelana fabricada a base de pastas cerámicas ricas en caolín. Los principales usos a los que se destina en la actualidad son:

- **Fabricación de papel**

El principal consumidor de caolín es la industria papelera, utilizando más del 50 % de la producción. En esta industria se usa tanto como carga, como para proporcionarle al papel el acabado superficial o estucado. Para que pueda ser destinado a este uso las especificaciones de calidad requeridas son muy estrictas, tanto en pureza como en color o tamaño de grano.

- **Cerámica y refractarios**

También es importante el uso del caolín en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos). Al igual que en el caso del papel las especificaciones requeridas para el uso de caolines en cerámica y refractarios son estrictas en cuanto a pureza y tamaño de grano.

- **Otros usos**

Además se utilizan caolines, en menores proporciones, en otras industrias: como carga más económica sustituyendo a las resinas en pinturas, aislantes, caucho. También como carga de abonos, pesticidas y alimentos de animales.

La industria química consume cantidades importantes de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de Al, así como para la fabricación de ceolitas sintéticas.

A partir del caolín calcinado se obtienen catalizadores y fibras de vidrio.

La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales.

- **BENTONITAS**

Son muy numerosos los usos industriales de las bentonitas, tanto que resulta difícil enumerarlos todos. Los más importantes son:

- **Arenas de moldeo**

A pesar de que la industria ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas y ha ido sustituyendo a las bentonitas por otros productos en la fabricación de moldes para fundición, éste sigue siendo su uso principal.

Las arenas de moldeo están compuestas por arena y arcilla, generalmente bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el moldeo y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varía entre el 5 y el 10 %, pudiendo ser ésta tanto sódica como cálcica, según el uso a que se

destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no féreos. Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no féreos.

El aumento de los costes de las materias primas está forzando a las fundiciones a recuperar las mayores cantidades posibles de mezclas de arenas para ser usadas de nuevo, si bien generalmente esto no afecta de forma sensible al consumo de bentonita. El reciclado, en la mayoría de los casos, no es posible, pues la mezcla alcanza temperaturas superiores a los 650°C, y a esas temperaturas la arcilla pierde parte de su agua de constitución, proceso que es irreversible, y pierde con ello sus propiedades, no pudiendo ser recuperada.

#### • **Lodos de perforación**

A pesar de los importantes cambios que van sufriendo con el tiempo las formulaciones de los lodos de perforación, (comenzó a utilizarse a principios del siglo XX) este sigue siendo uno de los mercados más importantes de las bentonitas.

Las funciones que debe cumplir el lodo son:

- Extracción del ripio y limpieza del fondo del pozo
- Enfriamiento de la herramienta de perforación
- Control de presiones de formación y estabilización de las paredes

- Mantenimiento en suspensión del ripio
- Transmisión de potencia hidráulica al tricono
- Soportar parte del peso de la sarta de perforación
- Permitir la adición de agentes densificantes

Las bentonitas de Wyoming son las más utilizadas para la preparación de lodos de perforación.

#### • **Peletización**

La bentonita se ha venido usando desde los años 50 como agente aglutinante en la producción de pelets del material previamente pulverizado durante las tareas de separación y concentración. La proporción de bentonita añadida es del 0,5%, en la mayor parte de los casos.

Aunque no existen especificaciones estandarizadas para este uso, se emplean bentonitas sódicas, naturales o activadas, puesto que son las únicas que forman buenos pelets con las resistencias en verde y en seco requeridas, así como una resistencia mecánica elevada tras la calcinación.

#### • **Absorbentes**

La elevada superficie específica de la bentonita, le confiere una gran capacidad tanto de absorción como de adsorción. Debido a esto se emplea en decoloración y clarificación de aceites, vinos, sidras, cervezas, etc. Tienen gran importancia en los procesos industriales de purificación de aguas que contengan diferentes tipos de aceites industriales y contaminantes orgánicos.

Se utiliza además como soporte de productos químicos, como por ejemplo herbicidas, pesticidas e insecticidas, posibilitando una distribución homogénea del producto tóxico.

En los últimos años, además, están compitiendo con otras arcillas absorbentes (sepiolita y paligorskita) como materia prima para la fabricación de lechos de animales. La demanda de bentonitas para este uso varía sustancialmente de unos países a otros, así en Estados Unidos comenzaron a utilizarse a finales de los años 80, sin embargo en Europa el mercado es más complejo y su demanda mucho menor.

#### • **Material de Sellado**

La creciente importancia que está tomado en los últimos años, por parte de los gobiernos de toda Europa, la legislación en lo referente a medio ambiente, ha favorecido la apertura y desarrollo de todo un mercado orientado hacia el uso de bentonitas como material de sellado en depósitos de residuos tanto tóxicos y peligrosos, como radiactivos de baja y media actividad.

Durante muchos años las bentonitas se han venido utilizando en mezclas de suelos en torno a los vertederos, con el fin de disminuir la permeabilidad de los mismos. De esta forma se impide el escape de gases o lixiviados generados en el depósito. Esta mezcla se podía realizar in situ o sacando el suelo de su emplazamiento, mezclándolo con la bentonita y volviéndolo a colocar en su sitio, la ventaja de la primera alternativa es que supone un gasto menor pero, sin embargo, implica una mezcla menos homogénea. La segunda alternativa, sin embargo, es más cara pero asegura una mejor homogeneización de la mezcla bentonita-

suelo. Por otro lado, esto disminuye la cantidad de bentonita necesaria (5-6 %), frente a 7-8 % para la utilizada en mezclas in situ.

Más recientemente ha surgido una nueva tendencia en el diseño de barreras de impermeabilización que se basa en la fabricación de complejos bentonitas-geosintéticos (geomembranas y geotextiles). Consiste en la colocación de una barrera de arcilla compactada ente dos capas, una de geotextil y otra de geomembrana (plásticos manufacturados, como polietileno de alta densidad o polipropileno, entre otros).

La geomembrana es impermeable, mientras que el geotextil es permeable de modo que permite a la bentonita hinchar, produciendo la barrera de sellado compactada.

La normativa varía de un país a otro en cuanto a los valores que tienen que cumplir las arcillas compactadas para dicho fin.

Esta utilidad de las bentonitas como material de sellado se basa fundamentalmente en algunas de sus propiedades características, como son; su elevada superficie específica, gran capacidad de hinchamiento, buena plasticidad y lubricidad, alta impermeabilidad, baja compresibilidad. Las bentonitas más utilizadas para es fin son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.

Así mismo, se utilizan bentonitas sódicas como material impermeabilizante y contenedor en los siguientes campos:

- Como contenedores de aguas frescas: Estanques y lagos ornamentales, campos de golf, canales.
- Como contenedores de aguas residuales: Efluentes industriales (balsas).
- En suelos contaminados: Cubiertas, barreras verticales.
- En el sellado de pozos de aguas subterráneas contaminadas.
- En depósitos de residuos radiactivos: Repositorios subterráneos, sellado de fracturas en granitos, etc.

- **Ingeniería Civil**

Las bentonitas se empezaron a utilizar para este fin en Europa en los años 50, y se desarrolló más tarde en Estados Unidos. Se utiliza para cementar fisuras y grietas de rocas, absorbiendo la humedad para impedir que esta produzca derrumbamiento de túneles o excavaciones, para impermeabilizar trincheras, estabilización de charcas, etc.

Para que puedan ser utilizadas han de estar dotadas de un marcado carácter tixotrópico, viscosidad, alta capacidad de hinchamiento y buena dispersabilidad. Las bentonitas sódicas o cálcicas activadas son las que presentan las mejores propiedades para este uso.

Los usos en este campo se pueden resumir en:

- Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones.

- Prevención de hundimientos. En las obras, se puede evitar el desplome de paredes lubricándolas con lechadas de bentonita.
- Protección de tuberías: como lubricante y rellenando grietas.
- En cementos: aumenta su capacidad de ser trabajado y su plasticidad.
- En túneles: Ayuda a la estabilización y soporte en la construcción de túneles. Actúa como lubricante (un 3-5 % de lodo de bentonita sódica mantenida a determinada presión soporta el frente del túnel). También es posible el transporte de los materiales excavados en el seno de fluidos benoníticos por arrastre.
- En tomas de tierra: Proporciona seguridad en el caso de rotura de cables enterrados.
- Transporte de sólidos en suspensión.

#### • **Catálisis**

El uso de aluminosilicatos en diferentes campos de la catálisis es tan antiguo como el propio concepto de catálisis. Son muchas las aplicaciones de las arcillas como catalizadores o soporte de catalizadores en diferentes procesos químicos. Así, son utilizadas en reacciones de desulfuración de gasolina, isomerización de terpenos, polimerización de olefinas, cracking de petróleo, etc.

Las propiedades catalíticas de las bentonitas son resultado directo de su elevada superficie específica y tipo de centros activos.

La pilarización consiste en introducir, en el espacio interlaminar de una esmectita, un polication muy voluminoso que, tras calcinación, da lugar a un oxido estable que determina una porosidad fija y permanente de tamaño controlado (tamices moleculares).

- **Industria farmacéutica**

Desde hace tiempo las arcillas se vienen usando como excipiente por la industria farmacéutica. Debido a que no son tóxicas, ni irritantes, y a que no pueden ser absorbidas por el cuerpo humano se utilizan para la elaboración de preparaciones tanto de uso tópico como oral. Se utiliza como adsorbente, estabilizante, espesante, agente suspensor y como modificador de la viscosidad.

Su principal uso es la preparación de suspensiones tópicas, geles y soluciones. Cuando se usa como parte de una preparación oral, su naturaleza adsorbente puede enmascarar el sabor de otros ingredientes, o puede relentizar la liberación de ciertos fármacos catiónicos (la hectorita y la saponita se utilizan como fármacos o drogas retardantes).

Como en el resto de los excipientes, las cantidades que se requieren son pequeñas. Generalmente las concentraciones de bentonita como agente de soporte es del 0,5-5 % y del 1-2 % cuando se usa como adsorbente.

- **Otros usos**

Las posibles aplicaciones de las bentonitas son tan numerosas que es casi imposible citarlas todas. Además de los campos de aplicación industrial indicados anteriormente, las bentonitas se utilizan:

- En la industria de detergentes, como emulsionante y por su poder ablandador del agua, debido a su elevada capacidad de intercambio catiónico.
- Par la fabricación de pinturas, grasas, lubricantes, plásticos, cosméticos, se utilizan arcillas organofílicas, capaces de hinchar y dispersarse en disolventes orgánicos, y utilizarse, por lo tanto, como agentes gelificantes, tixotrópicos o emulsionantes.
- Para desarrollar el color en leucocolorantes, en papeles autocopiativos, se utilizan bentonitas activadas con ácido.
- En agricultura, para mejorar las propiedades de suelos arenosos o ácidos. Así mismo se utilizan esmectitas sódicas para recubrir ciertos tipos de semillas, de forma que su tamaño aumente, y resulte más fácil su distribución mecánica, a la vez que se mejora la germinación.
- En la obtención de membranas de ósmosis inversa, para la desalinización de aguas.

#### • **PALIGORSKITA Y SEPIOLITA**

Las arcillas con paligorskita o sepiolita como mineral mayoritario son raras. Son arcillas conocidas desde antiguo. Los Mayas fabricaban el azul Maya con paligorskita. La sepiolita se ha utilizado desde antiguo para fabricar pipas (pipas de espuma de mar). Además entre 1735 y 1808 se preparaba con sepiolita de Vallecas la pasta de la famosa porcelana del buen Retiro. En Vallecas está el yacimiento más importante del mundo de este mineral.

Los usos de estas dos sustancias son consecuencia de sus propiedades reológicas, tixotropía, alta superficie específica, baja capacidad de cambio y, sobre todo, su levado poder absorbente. Por ello se utilizan en:

- Como absorbentes, para lechos de animales, suelos.
- Como soporte en aerosoles y aerogeles para pesticidas y fertilizantes.
- Por sus propiedades adsorbentes, en la purificación de productos de petróleo, azúcar,...
- En procesos de filtración, floculación y clarificación
- Por sus propiedades reológicas, en los dos de perforación con base de agua salada, farmacia, pinturas, resinas, cosmética.
- En cerámica y aislantes
- En nutrición animal.

# **CAPITULO IV**

## **CAPITULO IV**

### **4.0.0 TRATAMIENTO DE LA ARCILLA. LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS-**

#### **4.1.0 FABRICACIÓN ARTESANAL**

El largo proceso de la fabricación cerámica, desde la extracción de la arcilla hasta su ulterior cocción, es campo de estudio de numerosas ramas cinéticas, entre las que cabe citar la Historia, la Arqueología, la Etnoarqueología y la Etnología. Los datos e informaciones con los que el arqueólogo y el historiador cuentan son insuficientes para estudiar en toda su extensión el proceso fabril y la organización interna de los alfares. Por ello, se impone un sistema de trabajo multidisciplinar, en el que se aúnen los esfuerzos y conocimientos de todas las ciencias que estudian la fabricación de cerámica. Con respecto a la arcilla como material de construcción es necesario distinguir entre la arcilla sin cocer (tapial o ladrillo de adobe) y la arcilla cocida en su forma más habitual, el ladrillo, propiamente dicho.

Entre las ciencias que aportan mayor información se encuentran la Etnología y la Etnoarqueología, debido a que estudian el proceso de fabricación tradicional, lo que permite obtener testimonios de primera mano sobre la actividad alfarera en la antigüedad.

Sin embargo, las técnicas no industriales constituyen un conjunto poco estandarizado y las variaciones regionales e incluso locales son muy abundantes. Esto se debe ante todo al

carácter artesanal e individual de las realizaciones y a los diferentes acabados finales que se pretendía conseguir.

A continuación se expone una breve síntesis del conjunto de actividades encaminadas a la obtención de piezas cerámicas. Muchas de las técnicas que se refieren siguen siendo empleadas hoy día por alfares de producción artesanal.

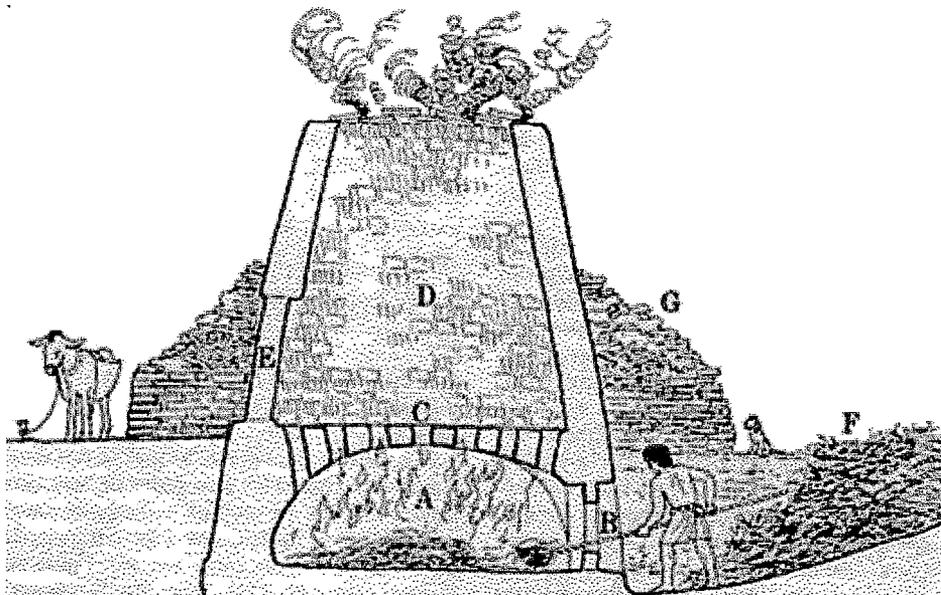


Figura N° 5

Horno artesanal para la fabricación de ladrillos de arcilla

Los pasos seguidos para la fabricación cerámica eran:

- **Extracción:** La obtención de arcilla podía realizarse de muy diversas formas, aunque dos eran los procedimientos fundamentales de extracción, en función de la situación de la pasta cerámica.

La arcilla que se hallaba en la orilla de los ríos y en superficie se conseguía cortándola en bloques. Resultaba un sistema sencillo y que permitía la obtención de la pasta en numerosas zonas. Este tipo es fácil de obtener pero tienen el inconveniente de portar gran cantidad de materia orgánica que deberá ser eliminada para la correcta cocción de la cerámica.

La arcilla enterrada debía extraerse de forma parecida a la que se utilizaba en las minas a cielo abierto. El procedimiento consistía en cavar hasta encontrar una veta arcillosa, que era expuesta completamente, separándola de las capas de tierra y vegetación.

Se creaba de esta manera una mina a cielo abierto de la cual se obtenía la arcilla cortándola en bloques.

La situación geográfica del alfar estaba íntimamente relacionada con el lugar en el que se obtuviese la materia prima con el objetivo de facilitar su transporte o incluso eliminarlo completamente.

- **Depuración de la pasta:** antes de ser modelada, la arcilla debía someterse a diversos procesos de depuración encaminados a reducir la cantidad de elementos extraños (piedras, vegetación, conchas...) que se encontraban en la pasta tras su extracción. Se trataba de un conjunto de procedimientos de suma importancia, pues de ellos dependía en buena medida que la arcilla tuviera las características necesarias para ser modelada y resistir la cocción.

La intensidad del proceso estaba determinada por la calidad del objeto que se pretendía obtener: así, la cerámica de lujo necesitaba una pasta muy depurada, mientras que los ladrillos y adobes requerían un menor esfuerzo de limpieza.

Existían diversos sistemas entre los que cabe señalar la limpieza a mano, la depuración por la acción de los agentes naturales y el filtrado en agua. Estos métodos se utilizaban para la fabricación de vasijas, que requerían una pasta más fina para su cocción; sin embargo, rara vez se incluían dentro del proceso fabril del ladrillo, cuya depuración era menor y se pasaba directamente de la extracción al amasado.

- **Amasado:** Se realizaba para dotar de flexibilidad y homogeneidad a la arcilla. También tenía la función de dar uniformidad interna a la pasta, eliminando las pequeñas cámaras de aire que se formaban dentro de ella y que creaban zonas de menor resistencia.

La arcilla utilizada para fabricar ladrillos se sometía a un amasado específico que consistía en colocar pequeñas cantidades de materia prima humedecida sobre una superficie plana y espaciosa al aire libre, donde el alfarero la sometía a un amasado continuo con los pies. (Ver figura 2). La operación podía prolongarse varias horas, durante las cuales se eliminaban aquellos cuerpos extraños que eran detectados con el pie.

Durante el amasado se añadían elementos (conocidos con el nombre de desgrasantes) que conferían a la pasta una mayor resistencia y una menor contracción durante el secado.

En el caso concreto del ladrillo de adobe se trataba de arena y paja, mientras que los ladrillos cocidos no incluían el último elemento. El barro del río Nilo reduce su tamaño casi un 30 % cuando se seca; sólo la acción de los desgrasantes permitía que los adobes se mantuvieran compactos y sin quebrarse.

- **Modelado:** Es el momento en el que la arcilla pasa de constituir una pasta amorfa a presentar un cuerpo definido, con personalidad propia. Durante la antigüedad se llevaron a cabo tres tipos de modelado para la obtención de vasijas: el modelado a mano, el modelado a torno y el modelado a molde.

El modelado de ladrillos tenía sus propios procedimientos que es posible reconstituir gracias a la información histórica (pinturas murales de tumbas egipcias y fuentes literarias romanas) y al estudio de los alfares actuales que producen con técnicas tradicionales. (Ver figura 3). La mezcla de arcilla y otros elementos (paja y arena), una vez se había constituido en una masa compacta y homogénea, se vertía en un molde paralelepípedo que podía estar recubierto con una fina capa de arena para evitar que se pegara. El alfarero eliminaba con la mano o con un trozo de madera la pasta sobrante y levantaba el molde intentando no deshacer el ladrillo.

La operación se repetía tantas veces como fuera necesario, dejando entre uno y otro ladrillo el grosor de la pared del molde. En países como Egipto, la cercanía a campos con paja y la proximidad

de una fuente inagotable de agua facilitaban de gran forma la rapidez en el modelado de ladrillos.

Una cuadrilla de cuatro albañiles fabrica tres mil ladrillos diarios en el Egipto moderno siguiendo el procedimiento antiguo. Aun admitiendo que la velocidad de producción fuera menor en época faraónica, la cantidad total sería considerable.

Los ladrillos cocidos están a veces estampillados con diversos motivos como el nombre del fabricante, del comerciante, del emperador reinante, de los cónsules... Esta costumbre comienza en Mesopotamia, aunque también se llevará a cabo en Egipto y Roma.

El tamaño de los ladrillos, una vez se afianzó el proceso de fabricación, se fue estandarizando para facilitar la construcción de muros. Vitrubio y Plinio indican cuáles son las medidas más frecuentes para los ladrillos crudos (Lidio 29.6 x 14.8; tetradoron 29.6 x 29.6; pentadoron 37 x 37). A pesar de que los estudios del mismo tipo para el Próximo Oriente y Egipto no están tan avanzados, se cree que las dimensiones del ladrillo también serían homogéneas, cuando menos por regiones y alfares.

- **Secado:** Durante este proceso, la pieza modelada perdía el agua contenida en su interior, produciéndose una disminución de tamaño que podía arruinar el trabajo realizado. El secado debía realizarse de forma gradual y lenta, en lugar fresco y aireado, alejado de las fuentes de calor y las corrientes de aire. Vitrubio en su obra "De Architectura" defiende que las épocas del año más satisfactorias para orear las piezas cerámicas eran la primavera y el otoño, pues

en ellas el secado se producía lentamente y sin cambios fuertes de temperatura.

Los ladrillos se secaban en la misma superficie en la que se habían modelado; a los tres días se les debía dar la vuelta, de manera que era necesaria una semana aproximadamente para que estuvieran en condiciones de ser apilados en grandes bloques. El autor romano Vitrubio aconsejaba que el material constructivo se dejara almacenado durante dos años antes de ser utilizado para optimizar su resistencia.

- **Cocción:** Constituye la última y definitiva etapa de la fabricación cerámica y se llevaba a cabo con la ayuda de hornos que podían ser abiertos o cerrados. Los hornos cerrados fueron los que se utilizaron para la cocción de ladrillos y su tipología es muy amplia.

El horno cerrado romano supone la culminación del modelo tradicional y está compuesto por tres partes fundamentales: el praefurnium (zona donde ardía la materia vegetal); la cámara de fuego (espacio en el que la llama se expandía) y; la cámara de cocción (lugar donde se cargaba y cocía la arcilla). Como se indicó antes, las posibilidades tipológicas y los materiales constructivos podían variar, quedando constancia de ello a través de los numerosos hallazgos de hornos en excavaciones arqueológicas.

El empleado para la cocción de ladrillos (ver figura 5), aunque del mismo tipo que el usado para las vasijas, permitía una carga mayor en la cámara de cocción. La cochura era muy larga, con una duración aproximada de tres días, aunque variaba en función del

tamaño de la hornada, de las características del horno y del material de combustión empleado.

El empleo de hornos abiertos para cocer enormes cantidades de ladrillos de una sola vez (método todavía practicado en Grecia y Turquía) no está atestiguado en la antigüedad.

#### **4.2.0 FABRICACIÓN INDUSTRIAL.**

Con el fin de tener conocimiento como realizan la fabricación de ladrillos cocidos en otros países en este caso se muestran el de Colombia y Chile y se observa que en Colombia ya han determinado la composición química de la arcilla para la fabricación de la arcilla, por tanto hay una selección de la materia prima; en demás el procedimiento es el mismo (secado, cocción) en el Perú y Chile, es decir tiene la misma forma de procedimiento.

#### **• EN COLOMBIA**

##### **SELECCION DE LA MATERIA PRIMA:**

La materia prima de un ladrillo es la arcilla, la cual debe tener la siguiente composición química para ser apta para un ladrillo:

- Contenido de Alkalís y Ácidos: menor del 0.2%. Puede causar eflorescencia con un porcentaje mayor.
- Sustancias solubles (sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio): menor al 0.04%. Igual al anterior produce eflorescencias con un porcentaje mayor

- Piritas (Sulfuros de Hierro). Su exceso puede producir una deposición sulfúrica, en el momento de la cocción, ocasionando coloraciones indeseables y cuarteaduras sobre el material.
- Contenido de Alúmina: 20% - 30%: Imparte plasticidad a la arcilla, y un exceso provoca contracciones altas en el secado.
- Contenido de Sílice: 50% - 60%: Da baja contracción, previene el agrietamiento, imparte formas uniformes al ladrillo. Asociada con la durabilidad. Su exceso disminuye la cohesión entre partículas.
- Oxido de Hierro: Imparte coloración rojiza a la cerámica, previene que la cal produzca la función de la arena. Su exceso produce una coloración azul oscura (generalmente no ocasiona otra molestia).
- Cal : Debe estar dispersa (diámetro 0.2 mm) o sea cal viva más agua. Es un fúndente que permite bajar la temperatura de fusión de la sílice. Si hay un exceso puede fundir demasiado provocando agrietamiento y deformación de la pieza.
- MgO : Imparte coloración amarilla a la cerámica. Ayuda a decrecer la deformación. Sé exceso produce deterioro por expansión de la superficie.
- Además la arcilla debe tener un bajo contenido de material orgánico para que en el proceso de la cocción no queden espacios vacíos por el consumo de este material.

#### **ADECUACION DE LA MATERIA PRIMA.**

- Ajuste granulométrico: Dependiendo de la finura de la arcilla esta tendrá mayor o menor grado de plasticidad. El ajuste se hace por medios mecánicos
- Ajuste por contracción: consiste en agregar arena o arcillas no plásticas.

- Ajustes por humedad: Se realiza teniendo en cuenta las especificaciones dadas por los límites de atterberg.
- Mezcla homogénea: se debe lograr una misma composición en toda la matriz ya sea por bestia, por batidora, o por otros procesos mecánicos.

## **MOLDEO**

Depende del proceso de producción, ya sea con equipo de extrusión, en donde se utiliza una boquilla para impartir la forma del ladrillo, o por moldeo manual, en donde se utiliza un molde para dar la forma a la arcilla.

## **SECADO**

Tiene por objeto eliminar la humedad libre y parte de la combinada por exposición al ambiente, lo cual se hace así por costos, velocidad de contracción, lo que nos da una mejor calidad.

## **COCCION**

Proceso mediante el cual se somete al fuego la arcilla moldeada y seca, para producir una sinterización intensa de la arcilla, y una vitrificación adecuada.

Estos procesos de cocción se deben llevar a cabo manejando una curva de temperaturas de la cual dependerán varias de las características del ladrillo, ya que si es mal manejada esta curva pueden haber problemas con el ladrillo, por ejemplo la generación de esfuerzos residuales en el ladrillo, produciendo agrietamientos. La

curva de temperaturas estándar esta presentada en la siguiente pagina.

## **PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS Y SU NORMALIZACION.**

Existen unas normas para normalizar los ensayos que se hacen al ladrillo, la norma icontec 451. en el Perú norma técnica peruana NTP 331.017.

La normalización de los ladrillos consiste en producir unos datos estándares para poder compararlos con otros ladrillos, y así poder clasificarlos en tres clases de tipos, Tipo I, Tipo II, Tipo III.

- **EN CHILE**

### **PROCESO Y FABRICACION**

Fábrica de Ladrillos Cerámicos "KON-AIKEN" Ltda., inició sus actividades en la fabricación de ladrillos prensados en junio del año 1975. Con la excelente materia prima que la Sociedad extrae de sus propios yacimientos, ubicados en el Km. 32 Ruta Norte, Provincia de Magallanes y mediante los más avanzados métodos de fabricación, la industria está produciendo más de 15 tipos de productos cerámicos de alta calidad técnica y presentación, los cuales se están empleando en la construcción de viviendas, en industrias, y diversas realizaciones arquitectónicas.

El yacimiento arcilloso, tiene una extensión de 180 hectáreas con una cubicación aproximada de 900.000 metros cúbicos. Las maquinarias

industriales y dependencias administrativas ocupan una superficie construida de 2.597 metros cuadrados.

Las materias primas son alimentadas a un alimentador mezclador lineal, que permite dosificarlas convenientemente y asegura una alimentación uniforme y continua a las siguientes máquinas: El alimentador está compuesto por un cajón trapezoidal, cuyo fondo es una cinta transportadora metálica en forma de persiana reticulada, que en su movimiento arrastra continua y constantemente las arcillas, que sobre ellas descansan y que son mezcladas mediante un molinete desmenuzador. Enseguida mediante una cinta transportadora, la materia prima es descargada en un molino laminador, que consiste en dos cilindros lisos que giran con velocidad diferencial.

Este molino desintegra la materia prima en partes finísimas convirtiendo la masa térrea en una materia físicamente homogénea. La pasta de amasado es descargada en la amasadora-batidora, desde donde se alimenta la prensa extrusión. En la prensa, mediante vacío, se consigue eliminar en su mayoría el aire incorporado en la mezcla, obteniendo un producto de una gran compacidad, lo que es determinante en la calidad del ladrillo que se obtiene. La prensa descarga en forma continua una barra (chorizo) que es trozada mediante un cortador automático, el cual permite cortes a distancias planos regulables.

La boquilla empleada a la salida de la prensa, determina la forma del ladrillo y si éste es hueco o macizo.

## **SECADO**

El ladrillo crudo es alimentado al elevador automático que tiene una carrera ascendente y descendente y permite disponer los ladrillos en estanterías, las que una vez llenas son retiradas por los carros transportadores que las trasladan a los secadores naturales y posteriormente a los artificiales, donde son colocados de manera de permitir el flujo de aire a través de ellos. En el secado artificial se exponen los ladrillos al paso de los gases calientes provenientes del horno, durante un lapso de aproximadamente 3 días.

## **COCCION**

Una vez seco el ladrillo, es alimentado el horno para su cocimiento que se efectúa aproximadamente a 1.000 °C. y a fuego directo. Durante el progresivo aumento de la temperatura hasta llegar a 1.000 °C., se producen los cambios físicos y químicos que le otorgan la dureza, durabilidad y calidad estructural deseada.

### **4.3.0 Maquinaria del proceso productivo de ladrillos, tabiques y otros productos de arcilla.**

#### **Hornos de microondas**

En el horno rotatorio se lleva a cabo el proceso de calcinación de la arcilla, que consiste en darle al material un tratamiento térmico a alta temperatura, para obtener un agregado denso, duro y que no se contraiga.

### **Trompo o tupí**

En esta máquina se lleva a cabo la trituración de las arcillas duras, con objeto de obtener el tamaño del material requerido por el equipo de molienda. El tipo de trituradora a emplear, ya sea de impacto o de quijadas depende de las propiedades físicas de la arcilla.

### **Molino para arcilla**

Una vez llevada a cabo la trituración del material se debe realizar la molienda de la arcilla, para lo cual se empleará un molino de bolas, martillos o de rodillos. El tipo de molino a emplear también depende de las propiedades de la arcilla.

### **Criba vibratoria de arcilla**

La operación de cribado se realiza en una serie de tres cribas del tipo vibratorio, con objeto de obtener tres tamaños de granos de arcilla (grueso, intermedio y fino).

### **Mezcladora para tabiques**

En este equipo se efectúa el mezclado de los diferentes tamaños de material. La mezcla por lo general se prepara tomando un 60% de partículas gruesas y un 40% de finas, desechando las intermedias o empleando una cantidad que no exceda del 10%.

La mezcla anterior debe garantizar la máxima densidad y resistencia del tabique. Este proceso se realiza en una mezcladora turbomática o en una malaxadora, que contenga paletas inclinadas para un mejor mezclado de la arcilla.

### **Dosificador de agua**

Este equipo se emplea para suministrar el agua necesaria para realizar el mezclado del material.

### **Prensa hidráulica**

El formado del producto se realiza mediante el proceso de prensado en seco, por medio de una prensa mecánica o hidráulica que efectúa una compactación vertical sobre la masa de pasta cerámica con una humedad promedio de operación del 7%.

### **Secadores de tabique**

El secado de los tabique prensados se realiza en secadores horizontales y verticales o en túneles, en los cuales se inyecta aire caliente, ya sea de los gases residuales de los hornos de quemado o de quemadores permanentes de gas.

### **Molino de bolas**

La fabricación de los esmaltes se hace en un molino de bolas de porcelana, donde se adicionan los compuestos del esmalte con una determinada cantidad de agua según una formulación previa y se muele la carga hasta que ésta alcance la finura adecuada para su aplicación.

### **Cabina de pulverización**

El esmaltado de las piezas se realiza en una cabina de pulverización, en la cual se rocía el tabique con una solución de esmalte para formar una

capa uniforme e impermeable. Esta cabina se ubica a lo largo de una banda transportadora, en la cual se va efectuando el proceso de esmaltado.

### **Horno de cocción**

Una vez aplicado el esmalte, los tabiques son introducidos a un horno túnel o de rodillos, en los cuales se efectúa la cocción de las piezas mediante el quemado del soporte o cuerpo del tabique con el recubrimiento vítreo o esmalte.

El horno túnel consiste generalmente en estructuras robustas útiles para quemar piezas de tamaño regular, que pueden ser estibadas encima de plataformas refractarias, las cuales transitan dentro del horno, donde el producto experimenta la elevación de temperatura conforme se desplaza para lograr la sinterización del producto. Los hornos de rodillos están diseñados para que el producto transite continuamente sobre una cama de rodillos refractarios dentro de una estructura aislada térmicamente y en donde se eleva la temperatura por medio de quemadores de gas para lograr su esterización.

### **Banda transportadora**

En la fabricación de tabiques se requiere el empleo de varias bandas transportadoras entre diferentes áreas del proceso.

#### 4.4.0 DIFERENCIA DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO EN HUANCAYO Y PUCALLPA

Ubicación: distrito Quilcas Huancayo	Ubicación: Pucallpa cantera Villacorta
En Huancayo el proceso de fabricación es artesanal.	En Pucallpa el proceso de fabricación es industrial.
La arcilla la extraen de la tierra de cultivo	La arcilla la extraen de la cantera de cerro.
La arcilla(m1) es juntada con suelo (m2) en partes iguales, le adicionan aserrín.	La arcilla extraída no la mezclan con ningún tipo de suelo.
Es mezclada manualmente	Utilizan un equipo mezclador.
Moldeada manualmente en moldes de madera de 4 unidades	El material mezclado es llevado por fajas transportadoras a la maquina extrusora.
Utilizan horno abierto.	Utilizan horno cerrado.
El ordenamiento para el quemado del ladrillo es uno sobre otro, no tienen un separador de una hilada sobre otra.	Los ladrillos tienen un separador de una hilada sobre otra.
Existe más desperdicios, y no hay un quemado uniforme.	El quemado es más uniforme, existe menos desperdicios.

# **CAPITULO V**

## **CAPITULO V**

### **ENSAYOS DE LABORATORIO**

#### **ANÁLISIS GRANULOMETRICO**

Se llama también análisis mecánico; La distribución de las partículas por tamaño en una muestra de suelo se expresa mediante un grafico que relaciona el porcentaje de partículas de tamaño inferior, en peso, con cada diámetro en mm; La uniformidad de un suelo puede expresarse por el coeficiente de uniformidad, que es la relación entre D60 y D10, siendo D60 el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 60% del suelo en peso y D10 el valor correspondiente. Un suelo con un coeficiente de uniformidad menor de 2 se considera uniforme.

La precisión de las curvas granulométricas de suelos finos es más discutible que la de las curvas correspondientes a suelos gruesos. Los tratamientos químicos mecánicos que reciben los suelos naturales antes de realizar un análisis granulométrico (en especial en el método del hidrómetro o areómetro) suelen dar lugar a unos tamaños afectivos que son muy diferentes de los existentes en el suelo natural. Incluso aunque pudiera obtenerse una curva granulométrico exacta, su valor solamente sería limitado. Si bien el comportamiento de un suelo granular puede relacionarse frecuentemente con la distribución granulométrica, el comportamiento de un suelo cohesivo suele depender mucho más de la historia geológica y de su estructura que del tamaño de las partículas.

Se realizaron el análisis granulométrico de las muestras Huancayo M-1, Huancayo M-2, mezcla Huancayo 50%M-1 +50%M-2 y Pucallpa. Los gráficos se encuentran en el anexo de ensayos.

Del análisis granulométrico se obtuvieron los siguientes parámetros: pasante malla 100, pasante la malla 200, modulo de finura.

La especificación se encuentra contenida en el anexo.

### **Pasante la malla 100**

Huancayo	M1	Huancayo	M2	50% M1+50%M2	Pucallpa
91.40%		28.40%		54.10%	98%

### **Pasante la malla 200**

Huancayo	M1	Huancayo	M2	50% M1+50%M2	Pucallpa
88.70%		27.10%		52.20%	93.3%

### **Modulo de finura**

Huancayo	M1	Huancayo	M2	50% M1+50%M2	Pucallpa
0.18		0.24		0.38	0.08

### **LIMITES DE ATTERBERG**

En gran parte mediante el trabajo de A. Atterberg y A. Casagrande(1948), los limites de atterberg y los índices con ellos relacionados han constituido unos valores muy útiles para caracterizar los conjuntos de partículas de suelos. Los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solamente puede existir en cuatro estados de consistencia según su humedad. Así un suelo se encuentra en estado sólido cuando esta seco,

pasando al añadir agua a los estados semisólido, plástico y finalmente líquido. Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan límite líquido, límite plástico y límite de contracción. el límite líquido se determina midiendo la humedad y el número de golpes necesarios para cerrar en una determinada longitud una ranura de un determinado ancho mediante un aparato normalizado. El límite plástico se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a desmoronarse pequeños cilindros de suelos de 3mm de diámetro. El límite de contracción o retracción se define como la humedad presente al haber añadido agua suficiente para llenar todos los huecos de una pastilla de suelo seca.

La especificación se encuentra en el anexo.

### **Límite líquido**

Huancayo M1	Huancayo M2	50% M1+50%M2	Pucallpa
32.80%	30.20%	31.00%	53.70%

### **Límite plástico**

Huancayo M1	Huancayo M2	50% M1+50%M2	Pucallpa
20.50%	18.60%	19.90%	27.00%

### **Límite de contracción**

Huancayo M1	Huancayo M2	50% M1+50%M2	Pucallpa
17.20%	14.50%	15.90%	13.20%

## **EQUIVALENTE DE ARCILLA.**

El ensayo de equivalente de arena nos da un índice del material del porcentaje de material arenoso e la muestra, y por consiguiente, la cantidad de material arcillosos presente en el mismo. Esto esta en cierto modo ligado al ensayo de porcentaje de material que pasa tamiz N°200, y también a los límites de consistencia, porque una muestra que contiene material arcilloso tiene equivalente de arena bajo.

Generalmente, el análisis granulométrico para suelos finos, limoso-arcilloso o arcillosos, se basa como se ha dicho, en el principio de sedimentación, siendo el método hidrométrico o AASHO Standard, el más conocido y empleado. Sin embargo, como este método demanda mucho tiempo en su realización y exige una serie de operaciones de cálculo y correcciones de peso específico, temperatura, etc, por tanto el método de equivalente de arena (o método del sifoneado propuesto por el ing. Raúl Valle rodas en 1945) es mucho más practico.

Las especificaciones de este ensayo se encuentran en el anexo.

<b>Huancayo</b> <b>50%M1+50%M2</b>	<b>Equivalente de arena</b> 15%	<b>Equivalente de arcilla</b> 85%
---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

<b>Pucallpa</b>	<b>Equivalente de arena</b> 2%	<b>Equivalente de arcilla</b> 98%
-----------------	-----------------------------------	--------------------------------------

## ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR RL METODO DEL HIDROMETRO

El análisis granulométrico se basa en la ley de Stokes. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelo que pasan el tamiz de 2.00mm(N°10). Para más precisión, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 75µm(N°200).

Suelo	Huancayo 50%M1+50%M2 (%)	Pucallpa (%)
Limos	26.4	29.5
Arcillas	13.4	37.2
Coloides	12.4	26.6

## RESISTENCIA A LA COMPRESION

La norma NTP 331.017 establece las definiciones, clasificación, condiciones generales y requisitos que debe cumplir el ladrillo de arcilla, usado en albañilería; y en uno de los requisitos obligatorios especifica el ensayo de resistencia a la compresión.

En la presente tesis no pudo realizarse la comparación debido a que las de Huancayo fueron muestras de ladrillo macizo, de Pucallpa ladrillo tubular y las de la fabricas (Rex, Lark, Huachipa) fueron ladrillos perforados.

La norma NTP 331.017 se adjunta en el anexo, en don de se encuentra los otros requisitos obligatorios y complementarios para ladrillos de arcilla, usado en albañilería.

# **CAPITULO VI**

## CAPITULO VI

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 6.1. ASPECTOS GENERALES

La industria ladrillera Peruana fabrica ladrillos de muy buena calidad basándose en la norma técnica peruana (NTP) 331.017 que establece las definiciones, clasificación, condiciones generales y requisitos que debe cumplir el ladrillo de arcilla, usado en albañilería; pero lo que no se conoce aun es como se selecciona la materia prima; esto solo se realiza cualitativamente en base a la experiencia de muchos años; por ello se decide la realización de la siguiente tesis titulada **“ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA”**. Que es una continuación de la tesis del Ing. Medrano “ESTUDIO DE LA ARCILLA Y SU UTILIZACIÓN COMO COMPONENTE IMPORTANTE EN LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO”

La materia prima ha analizar fueron: la cantera “Villacorta” ubicada en Pucallpa, la cantera de Huancayo ubicada en la provincia de Quilcas cuyas muestras ha analizar fueron Huancayo (M1) ,suelo de Huancayo(M2), combinación Huancayo (50%M1+50%M2) , de los cuales se realizaron los siguientes ensayos físicos fueron: limites de consistencia (limite líquido, limite plástico, limite de contracción),análisis granulométrico por tamizado ,clasificación SUCS y AASHO, análisis granulométrico (método del hidrómetro), equivalencia de arcilla.

Luego de los resultados obtenidos por los ensayos de la arcilla para la fabricación del ladrillo en Huancayo y Pucallpa, se realizara la comparación con respecto a los parámetros analizados a la arcilla

para ladrillo cocido estudiada por el Ing. Medrano en las fabricas de Lima; Rex, Lark, Huachipa; de esta manera se contribuye a tener datos referenciales de parámetros ( modulo de finura, limite liquido limite plástico, pasante malla 100 y 200, equivalente de arcilla, clasificación de acuerdo a la SUCS y AASHTO) que permitan determinar si la arcilla es aceptable para la fabricación de ladrillo cocido y la vez nos permitirá mejorar la calidad de nuestros ladrillos a nivel nacional.

## 6.2 ANÁLISIS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

MATERIA PRIMA PARA FABRICAR LADRILLOS COCIDOS EN LA SIERRA (HUANCAYO), SELVA (PUCALLPA)

	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Limite Contracción (%)	Índice plástico
Huancayo (m1)	32.80	20.50	17.20	12.30
Huancayo (m2)	30.20	18.60	14.50	11.60
Huancayo(m1+m2)	31.00	19.90	15.90	11.90
Pucallpa	5370	27.00	13.20	26.70

MATERIA PRIMA PARA FABRICAR LADRILLOS COCIDOS LIMA FABRICAS (REX, LARK, HUACHIPA)

### ARCILLA\*

	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice plástico
Rex	31.80	20.80	18.00
Lara	36.20	12.70	23.50
Huachipa	35.50	20.00	15.50

### SUELO\*

	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice plástico
Rex	27.30	12.50	14.80
Lara	22.60	16.60	6.00
Huachipa	24.80	11.30	13.50

## COMBINACIÓN\*

	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice plástico
Rex	34.20	18.80	15.40
Lara	28.30	22.50	5.8
Huachipa	26.90	14.30	12.60

### \* Datos de tesis: Ing. Emilio Medrano

- La arcilla utilizada para la fabricación del ladrillo en la muestra Huancayo (M1) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y según la AASHO es un CL, A-6 (10); respectivamente; Estas son arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, con limite líquido menor de 50 % e índice de plasticidad mayor de 7, estas pueden ser: arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
- La arcilla de Pucallpa de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) Y AASHO es un CH, A-7-6(17), respectivamente; Arcillas inorgánicas con plasticidad elevada estas pueden ser, arcillas grasas; con límite líquido mayor de 50%.
- Las arcillas de las fábricas de la costa ( Rex, Lark, Huachipa ) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) son un CL.
- El suelo utilizado para la fabricación del ladrillo en la muestra de Huancayo(M2), de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS ) y AASHO es un SC, A-2-6(0); respectivamente; arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas y arcillas.

- Pucallpa no combina la arcilla para la fabricación de ladrillo utiliza arcilla pura.
- Para los suelos de las fábricas Rex y Huachipa de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS ) son un CL y para la fábrica Lark se clasifica como un CL-ML; arenas finas limosas arcillosas con índice de plasticidad entre 4 y 7 arriba de la línea "A" según carta de plasticidad.
- Para la combinación de la muestra Huancayo (50%M1+50%M2); de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHO es un CL, A-6(4); respectivamente.
- Para la combinación arcilla –suelo (30% y 70% respectivamente), de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) la fabrica Lark es un CL – ML, a diferencia de las fabricas Rex y Huachipa es un CL.
- En la costa se fabrican ladrillos con arcillas que de acuerdo a la clasificación (SUCS) son un CL ó CL-ML, en ambos casos los ladrillos que producen son de buena calidad.

### 6.3. ANÁLISIS DEL MODULO DE FINURA

- Según la tesis del Ing. E. Medrano los siguientes rangos de modulo de finura de la materia prima para la fabricación de ladrillo en Lima fabricas: Rex, Lark, Huachipa

Para las arcillas de alta pureza	0.27<MF<0.70
para los suelos limo arcilloso	0.29<MF<0.60
para la combinación de las dos anteriores	0.52<MF<0.69

- Los módulos de finura de la sierra (Huancayo), selva (Pucallpa) son los siguientes:

	HUANCAYO(M1) ARCILLA	HUANCAYO(M2) SUELO	HUANCAYO (50%M1+50%M2) COMBINACION	PUCALLPA
Modulo de finura (M.F.)	0.18	0.24	0.38	0.08

- La arcilla de Huancayo (M1) alcanza el 67%, y el 25% respecto al valor mínimo y máximo de las arcillas de lima fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La arcilla de Huancayo (M2) alcanza el 83%, y el 40% respecto al valor mínimo y máximo de los suelos limo arcillosos fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La arcilla de Huancayo (50%M1+50%M2) alcanza el 73%, y el 55% respecto al valor mínimo y máximo de la combinación arcillas-suelolimo arcilloso de las fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La arcilla de Pucallpa alcanza el 30%, y el 11% respecto al valor mínimo y máximo de las arcillas de lima fabricas: Rex, Lark, Huachipa. Pucallpa solo utiliza arcilla sin combinación de ningún suelo para la fabricación de sus ladrillos.

#### 6.4. ANÁLISIS DE AREAS LÍMITES

Parámetros que definen las áreas límites para la fabricación de ladrillo en Lima fabricas: Rex, Lark, Huachipa son:( limite liquido, limite plástico, modulo de finura).

CUADRO DE AREAS LIMITE FABRICAS (REX, LARK, HUACHIPA)

\*En el caso de las arcillas

	Modulo de finura	Limite liquido	Limite plástico
REX	0.34	31.80	20.80
LARK	0.27	36.20	12.70
HUACHIPA	0.70	35.50	20.00
COORDENADAS LIMITES	0.25	31.50	12.50
COORDENADAS LIMITES	0.25	36.50	21.00
COORDENADAS LIMITES	0.72	31.50	12.50
COORDENADAS LIMITES	0.72	36.50	21.00

Arcilla de Huancayo (M1)

Muestra	Modulo de finura	Limite liquido	Limite plástico
HUANCAYO (M1)	0.18	32.80	20.50
%RESPECTO AL VALOR MINIMO	72%	104%	164%
%RESPECTO AL VALOR MAXIMO	25%	90%	98%

- Como se puede observar en el cuadro el modulo de finura alcanza el 72% por debajo del valor mínimo y el 25% por debajo del valor máximo.
- El límite líquido alcanza el 104% por encima del valor mínimo y el 90% por debajo del valor máximo.
- El límite plástico alcanza el 164% por encima del valor mínimo y el 98% por debajo del valor máximo.

### Arcilla de Pucallpa

MUESTRA	Modulo de finura (M.F.)	Limite liquido (L.L.)	Limite plástico (L.P.)
PUCALLPA	0.08	53.70	27.00
%RESPECTO AL VALOR MINIMO	32%	170%	216%
%RESPECTO AL VALOR MAXIMO	11%	147%	129%
%RESPECTO AL VALOR MAXIMO	11%	147%	129%

- Como se puede observar en el cuadro el modulo de finura alcanza el 32% por debajo del valor mínimo y el 11% por debajo del valor máximo.
- El límite líquido alcanza el 170% por encima del valor mínimo y el 147% por encima del valor máximo.
- El límite plástico alcanza el 216% por encima del valor mínimo y el 129% por encima del valor máximo.

\*En el caso del suelo

	Modulo de finura	Limite liquido	Limite plástico
REX	0.29	27.30	12.50
LARK	0.54	22.60	16.60
HUACHIPA	0.59	24.80	11.30
COORDENADAS LIMITES	0.25	27.50	17.00
COORDENADAS LIMITES	0.25	22.50	11.00
COORDENADAS LIMITES	0.60	27.50	17.00
COORDENADAS LIMITES	0.60	22.50	11.00

Suelo de Huancayo (M2)

Muestra	Modulo de finura (M.F.)	Limite liquido (L.L.)	Limite plástico (L.P)
HUANCAYO (M2)	0.24	30.20	18.60
%RESPECTO AL VALOR MINIMO	96%	134%	169%
%RESPECTO AL VALOR MAXIMO	40%	110%	109%

- Como se puede observar en el cuadro el modulo de finura alcanza el 96% por debajo del valor mínimo y el 40% por debajo del valor máximo.
- El límite líquido alcanza el 134% por encima del valor mínimo y el 110% por encima del valor máximo.

- El límite plástico alcanza el 169% por encima del valor mínimo y el 109% por encima del valor máximo.

\*En el caso de la combinación

	Modulo de finura	Limite liquido	Limite plástico
REX	0.52	28.30	22.50
LARK	0.69	34.20	18.80
HUACHIPA	0.68	26.90	14.30
COORDENADAS LIMITES	0.50	26.50	14.00
COORDENADAS LIMITES	0.50	34.50	23.00
COORDENADAS LIMITES	0.70	26.50	14.00
COORDENADAS LIMITES	0.70	34.50	23.00

\* Datos de tesis : Ing. Emilio Medrano.

Combinación Huancayo (50%M1+50%M2)

MUESTRA	Modulo de finura (M.F.)	Limite liquido (L.L.)	Limite plástico (L.P)
HUANCAYO (50% $m_1$ +50% $m_2$ )	0.38	31.00	19.90
%RESPECTO AL VALOR MINIMO	76%	117%	142%
%RESPECTO AL VALOR MAXIMO	54%	89%	87%

- Como se puede observar en el cuadro el modulo de finura alcanza el 76% por debajo del valor mínimo y el 54% por debajo del valor máximo.
- El límite líquido alcanza el 117% por encima del valor mínimo y el 89% por debajo del valor máximo.
- El límite plástico alcanza el 142% por encima del valor mínimo y el 87% por debajo del valor máximo.

### 6.5. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Esta característica esta relacionada directamente con la calidad de la materia prima, la compactación y el quemado.

De la tesis del Ing. Medrano obtenemos los siguientes rangos de resistencia a la compresión para los ladrillos(perforados 18 huecos) de la costa (fabricas: Rex, Lark, Huachipa).

- Rex  $165 < f'_b < 258$
- Lark  $228 < f'_b < 334$
- Huachipa  $156 < f'_b < 286$

Tendencias máximas y mínimas: se observa

- A menor M.F. mayor resistencia
- A mayor M.F. Huancayo menor resistencia

Para los ladrillos de la sierra (Huancayo) se ensayaron ladrillos macizos K.K. porque solo se fabrican de este tipo y para los ladrillos de Pucallpa se ensayaron ladrillos tubulares (solo fabrican de este tipo de ladrillo).

## 6.6. ANÁLISIS DE LA EQUIVALENCIA DE LAS ARCILLAS

- De datos recogidos de la tesis del Ing. Medrano el porcentaje de arcilla con que se fabrica ladrillos en Lima, fabricas: Rex, Lark, Huachipa ( combinación 30% arcilla+70% suelo limoso arcilloso) son los siguientes:
  - Huachipa 94%
  - Lark 92%
  - Rex 90%
- Para la fabricación de ladrillos en Huancayo combinación de (50%M1+50%M2) se obtuvo 85% de equivalencia de arcilla.
- Para la fabricación de ladrillos en Pucallpa (no lo combina con ningún suelo) se obtuvo 98% de equivalencia de arcilla.

## 6.7. ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES QUE PASAN LAS MALLAS 100 Y 200

- Los porcentajes mínimos que pasan por las mallas 100 y 200 de las arcillas de las fábricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), según tesis del Ing. Medrano son:

	Rex	Huachipa	Lark
Malla 100	86.40%	72.50%	90.90%
Malla 200	84.60%	69.90%	89.20%
MIN(malla 100)	72%	72%	72%
MIN(malla 200)	69.50%	69.50%	69.50%

Muestras Huancayo M1 y Pucallpa.

	% pasa malla 100	% pasa malla 200
Huancayo(M1)	91.00	89.00
Pucallpa	98.00	93.30

- La arcilla Huancayo M1 comparada con los valores mínimo requeridos de % que pasa la malla 100 y malla 200 de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), se encuentran por encima, alcanzando hasta el 91% y 89%, respectivamente.
- La arcilla de Pucallpa comparada con los valores mínimo requeridos de % que pasa la malla 100 y malla 200 de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), se encuentran por encima, alcanzando hasta el 98% y 93.30%, respectivamente.
- Los porcentajes mínimos que pasan por las mallas 100 y 200 de los suelos limosos arcillosos de las fábricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), según tesis del Ing. Medrano son:

	Rex	Huachipa	Lark
Malla 100	81.80%	71.70%	67.90%
Malla 200	70.70%	61.20%	57.80%
MIN(malla 100)	67.50%	67.50%	67.50%
MIN(malla 200)	57.00%	57.00%	57.00%

Muestra de Huancayo M2

	% pasa malla 100	% pasa malla 200
Huancayo(M2)	28.40	27.10

- El suelo Huancayo M2 comparada con los valores mínimo requeridos de % que pasa la malla 100 y malla 200 de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), se encuentran por debajo, alcanzando hasta el 28.40% y 27.10%, respectivamente.
- Los porcentajes mínimos que pasan por las mallas 100 y 200 de la combinación arcilla- suelos limosos arcillosos de las fábricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), según tesis del Ing. Medrano son:

	Rex	Huachipa	Lark
Malla 100	74.80%	69.90%	71.40%
Malla 200	69.50%	60.70%	63.70%
MIN(malla 100)	69.50%	69.50%	69.50%
MIN(malla 200)	60.50%	60.50%	60.50%

Muestra Huancayo (50%M1+50%M2)

Huancayo(50%M1+50%M2)	54.10	52.20
-----------------------	-------	-------

- La combinación muestra Huancayo (50%M1+50%M2) comparada con los valores mínimo requeridos de % que pasa la malla 100 y malla 200 de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), se encuentran por debajo, alcanzando hasta el 54.10% y 52.20%, respectivamente.

# **CAPÍTULO VII**

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 GENERALIDADES

El Ing. Emilio Medrano realizo el primer estudio de la arcilla para la fabricación del ladrillo; tomando como muestras la materia prima utilizada por las fabricas Rex, Lark, Huachipa; elaborando un marco de referencia para la fabricación de ladrillo cocido en Lima (fabricas: Rex, Lark, Huachipa); el presente trabajo de investigación **“ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA”**; esta orientado ha encontrar mediante ensayos físicos mecánicos como: límites de consistencia (límite líquido, límite plástico, límite de contracción ), análisis granulométrico por tamizado, análisis granulométrico método del hidrómetro, equivalencia de arcilla; clasificación de acuerdo a la SUCS y AASHTO, resistencia a la compresión del ladrillo; parámetros( modulo de finura limite líquido, límite plástico, pasante la malla 100 y 200, clasificación de acuerdo a la SUCS y AASHTO) de la cantera Huancayo ubicado en Quilcas distrito de Quilcas y la cantera “Villacorta” en Pucallpa; compararlos analizarlos, tomando como base de referencia los establecidos por el Ing. Medrano para las fabricas de ladrillos de Lima (Rex, Lark, Huachipa); obteniendo conclusiones de la arcilla de Pucallpa (no combina su arcilla) y la muestra de Huancayo combinada (50%M1 +50%M2), y obtener referencias que nos permita medir de forma cuantitativa las características de muestras para seleccionar la materia prima adecuada para la fabricación de la pasta de ladrillo; y proponer las recomendaciones respectivas en cuanto a procedimiento y quemado de la arcilla para ladrillo; y de esta forma poner ha disposición de los ingenieros, técnicos e industriales peruanos una nueva innovación tecnológica y contribuir ha mejorar la fabricación del ladrillo a nivel nacional.

## 7.2. CONCLUSIONES

1. La muestra de arcilla de Huancayo para fabricar ladrillos cocidos (combinada 50% $m_1$ +50% $m_2$ ), es un CL, (clasificación SUCS); menor grado de pureza con respecto a Lima.
2. La muestra de arcilla de Pucallpa ( arcilla pura), es un CH; (clasificación SUCS); mayor grado de pureza con respecto a Lima.
3. El modulo de finura de la muestra de arcilla de Huancayo (combinada 50% $m_1$ +50% $m_2$ ),de 0.38 esta fuera del rango de las arcillas de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa),(0.50-0.70);y este representa el 63% del promedio del rango; estando fuera del rango.
4. El limite liquido de la muestra de arcilla de Huancayo (combinada 50% $m_1$ +50% $m_2$ ) de 31% esta dentro del rango las arcillas de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), (26.50-34.50)%, y este representa el 102% del promedio del rango; quedando dentro del rango establecido.
5. El limite plástico de la muestra de arcilla de Huancayo (combinada 50% $m_1$ +50% $m_2$ ), de 19.90% , esta dentro del rango de las arcillas de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa),(14-23)%,y este representa el 108% del promedio del rango; quedando dentro del rango establecido
6. El equivalente de arcilla de la muestra de arcilla de Huancayo (combinada 50% $m_1$ +50% $m_2$ ) es de 85%;y el valor mínimo de

equivalente de arcilla en Lima es de 90% (fabrica Rex); esta fuera del rango establecido (tesis: Ing. Medrano).

7. El % que pasa la malla 100 y 200 de la muestra de arcilla de Huancayo (combinada 50% $m_1$ +50% $m_2$ ) es de 54%,52%;y los valores mínimos el % que pasa la malla 100 y 200 de las arcillas de Lima (Rex, Lark, Huachipa) son de 69.50%, 60.50%; respectivamente.
  
8. El modulo de finura de la muestra de Pucallpa de 0.08 esta fuera del rango de las arcillas de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa), (0.50-0.70),y esto representa el 13% del promedio del rango; quedando fuera del rango establecido
  
9. El limite liquido de la muestra de Pucallpa de 53.70%,esta por encima del rango de las arcillas de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa),(26.50-34.50)%;alcanzando el 176% con respecto al promedio del rango; quedando fuera del rango establecido.
  
- 10.El limite plástico de la muestra de Pucallpa de 27% esta por encima del rango de las arcillas de las fabricas de Lima (Rex, Lark, Huachipa),(14-23)%; alcanzando 146% con respecto al promedio del rango; quedando fuera del rango establecido.
  
- 11.El % que pasa la malla 100 y 200 de la muestra de Pucallpa es de 98%,93%; y los valores mínimos de % que pasa la mallas 100 y 200 de las arcillas de Lima (Rex, Lark, Huachipa) son de 69.50%, 60.50%; respectivamente.

12. El equivalente de arcilla de la muestra de Pucallpa es de 98%, y el valor mínimo de equivalente de arcilla en Lima es de 90% (fabrica Rex), y es usado para fabricar ladrillo.

13. El limite de contracción de la muestra de arcilla de Huancayo (50% $m_1$ +50% $m_2$ ) es mayor en un 20% con respecto al limite de contracción de la muestra de arcilla de Pucallpa.

## RESUMEN

### a) Muestra de Huancayo

- Según los resultados de clasificación (SUCS) las arcillas son concordantes con las arcillas de utilizadas en Lima por las fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La arcilla para fabricar ladrillo cocido es más fina, que las arcillas que usa en Lima las fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La arcilla para fabricar ladrillo cocido tiene menor grado de pureza que las arcillas utilizada en Lima por las fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La muestra de arcilla según los 6 parámetros establecidos por el Ing. Medrano (limite liquido, limite plástico, modulo de finura, pasante malla 100 y 200, clasificación según( SUCS, AASHTO), equivalente de arcilla); 3 están fuera del rango y 3 están en el rango , por lo que la muestra de arcilla no cumple con ser un material adecuado par la fabricación de ladrillo cocido.

## **b) Muestra de Pucallpa**

- Según los resultados de clasificación (SUCS) las arcillas son concordantes con las arcillas utilizadas en Lima por las fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La arcilla para fabricar ladrillo cocido es más fina, que las arcillas utilizada en Lima por las fabricas: Rex, Lark, Huachipa.
- La arcilla para fabricar ladrillo cocido es más pura, que las arcillas utilizada en Lima por las fabricas: Rex, Lark, Huachipa.

## **7.3 RECOMENDACIONES**

1. Los valores de los parámetros que se encuentran en los rangos inferiores, nos indican que las arcillas no son las más adecuadas.
2. Los valores de los parámetros que se encuentran en los rangos superiores, indican que a mayor pureza de la arcilla, nos da arcilla de mayor calidad.
3. Tomando los rangos establecidos en la costa de las fabricas de ladrillos cocidos (Rex, Lark, Huachipa).
  - Es necesario que para el caso de Huancayo, se incremente de 85% a 90% el equivalente de arcilla.
  - Todas las industrias dedicadas a la fabricación del ladrillo deberían tener como mínimo un horno cerrado que proporcione las características siguientes:
    - a) El horno debe alcanzar una temperatura no menor de 900°C, garantizando así que el quemado del ladrillo se realice con la temperatura mínima necesaria.
    - b) El incremento de la temperatura para el quemado es gradual, garantizando una temperatura inicial de 200°C hasta un máximo

de 900°C y posteriormente descendiendo hasta una temperatura igual al medio ambiente.

- c) El sistema de recubrimiento de las paredes y techos del horno deben ser con ladrillos refractarios de manera que impida la fuga de temperatura interna, con esta se garantiza que el ambiente interno tenga en todo lugar igual temperatura y garantice un quemado homogéneo en todos los ladrillos.
- d) Para la elaboración del ladrillo, la fabrica debe poseer una maquina extrusora que garantice una adecuada presión a la pasta, logrando así una mezcla lo suficientemente compacta que no muestre excesiva porosidad y al mismo tiempo garantice que no se deforme y mantenga estable su volumen.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

## INFORME N° S99-208

SOLICITANTE : BACH. DAVID ALBERTO MALDONADO CARRASCO  
 PROYECTO : TESIS " ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN LA SIERRA Y SELVA"  
 UBICACION : Huancayo y Pucallpa  
 FECHA : 29 de Marzo de 1999

### RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

#### I. ENSAYOS ESTANDAR

##### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D422

ARCILLA MUESTRA	HUANCAYO M-1	HUANCAYO M-2	MEZCLA 50%M1+50%M2	PUCALLPA
mallas	(%) acumulado que pasa			
1"		100.0	100.0	
3/4"		92.3	96.1	
1/2"		87.4	90.1	
3/8"		83.7	87.1	
1/4"		76.5	84.1	
N°4	100.0	70.6	80.7	
N°10	98.9	53.4	72.3	
N°20	97.4	40.3	64.9	
N°30	96.4	35.9	62.0	100.0
N°40	95.7	34.5	60.9	99.3
N°60	93.4	30.6	56.9	99.2
N°100	91.4	28.4	54.1	98.0
N°200	88.7	27.1	52.2	93.3
LIMITE LIQUIDO (%) ASTM D4318	32.8	30.2	31.0	53.7
LIMITE PLASTICO(%) ASTM D4318	20.5	18.6	19.9	27.0
LIMITE DE CONTRACCION(%) ASTM D427	17.2	14.5	15.9	13.2
CLASIFICACION SUCS	CL	SM	CL	CH





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

## II. ANALISIS GRANULOMETRICO POR EL METODO DEL HIDROMETRO - ASTM D422

ARCILLA MUESTRA	MEZCLA 50%M1+50%M2	PUCALLPA	
Diámetro (mm)	Material en suspensión (%)	Diámetro (mm)	Material en suspensión (%)
0.03443	47.26	0.03223	90.13
0.02461	42.95	0.02295	86.19
0.01594	37.20	0.01474	82.25
0.00921	31.64	0.00862	72.41
0.00650	28.77	0.00605	68.72
0.00469	24.65	0.00437	61.10
0.00230	16.76	0.00217	41.98
0.00100	12.25	0.00099	26.64
Resultados		Resultados	
Limo (%) :	23.43	Limo (%) :	24.58
Arcilla (%) :	16.52	Arcilla (%) :	42.08
Coloides(%) :	12.25	Coloides(%) :	26.64

## III. ANALISIS QUIMICOS

ARCILLA MUESTRA	MEZCLA 50%M1+50%M2	PUCALLPA
SALES SOLUBLES TOTALES(%):	0.0320	0.0178

## IV. EQUIVALENTE ARENA - ASTM D2419

ARCILLA MUESTRA	MEZCLA 50%M1+50%M2	PUCALLPA
Lectura arcilla	7.7	12.0
Lectura arena	1.1	0.2
Equivalente arena(%)	15.0	2.0
*(Lectura arena/Lectura arcilla)		

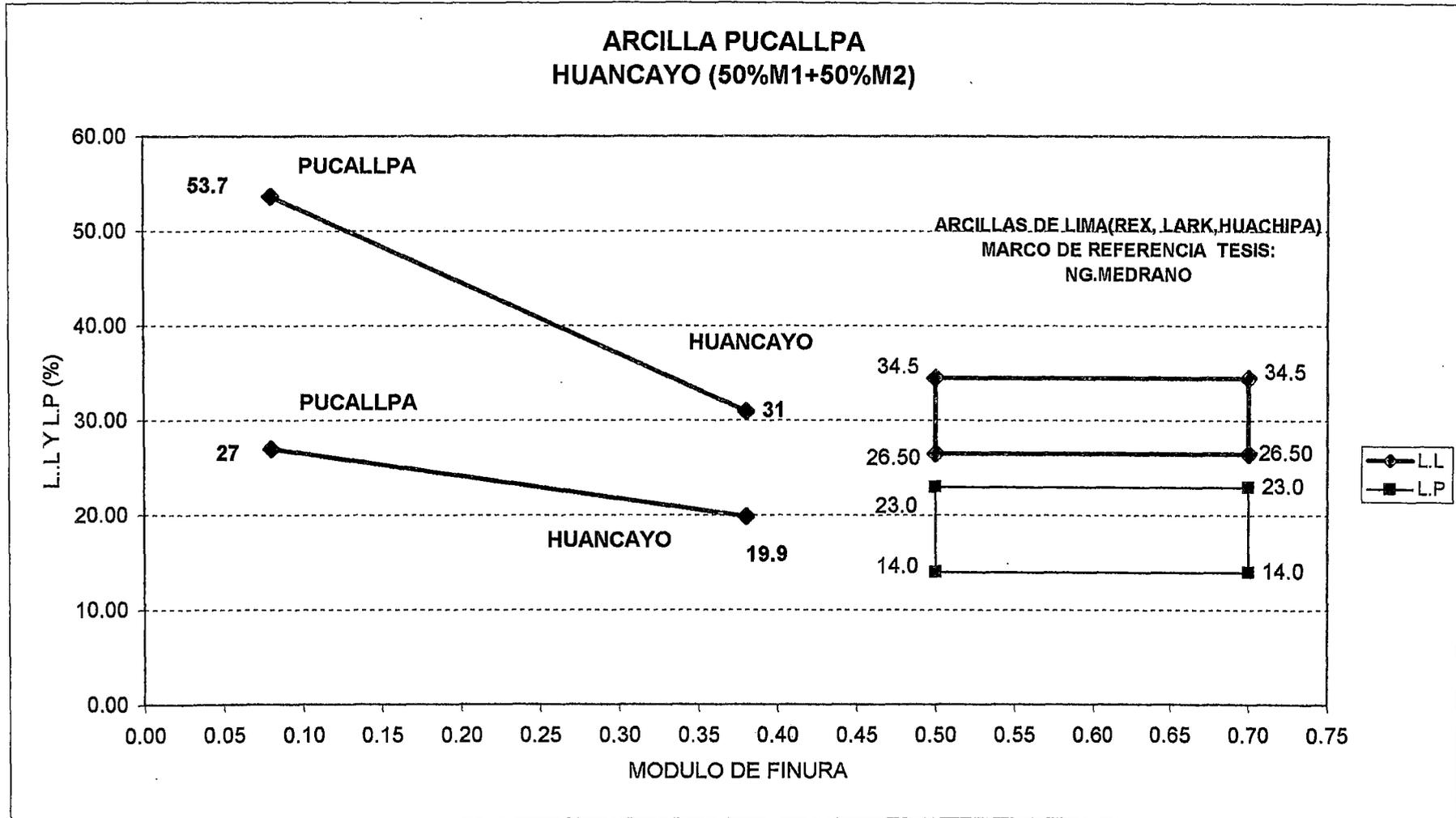
NOTA. Las muestras fueron remitidas e identificadas por el Solicitante.

  
**LUISA SHUAN LUCAS**  
 Asistente  
 Laboratorio N.2 - FIC - UNI



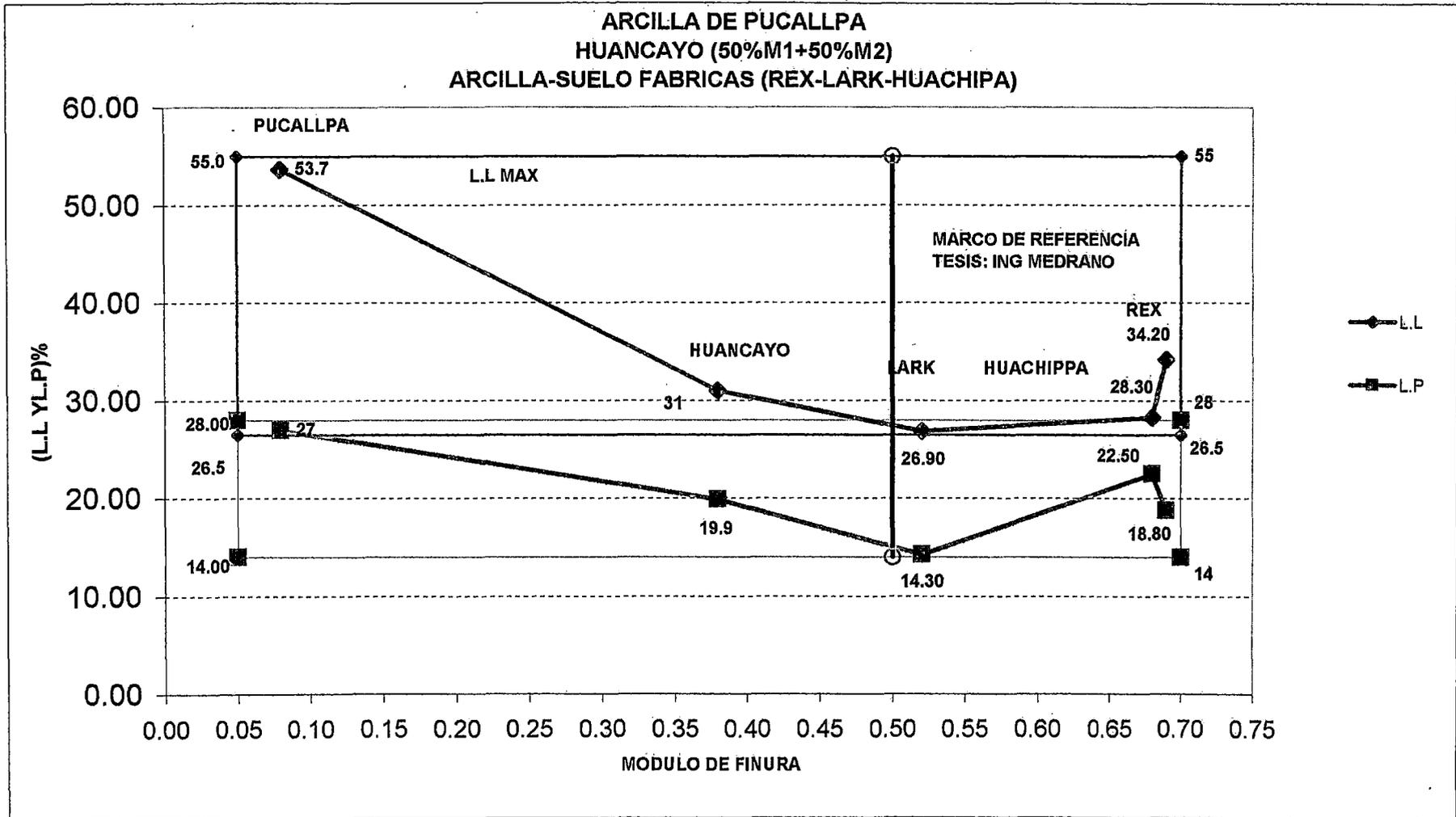
  
**JOSÉ WILFREDO GUTIERREZ LAZARES**  
 ING. JEFE DEL LAB. No. 2  
 Mecánica de Suelos - UNI

# AREA LIMITE DE LIMITE LIQUIDO-LIMITE PLASTICO-MODULO DE FINURA DE LA ARCILLA DE LIMA (REX-LARK-HUACHIPA)



TESIS: "ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA "

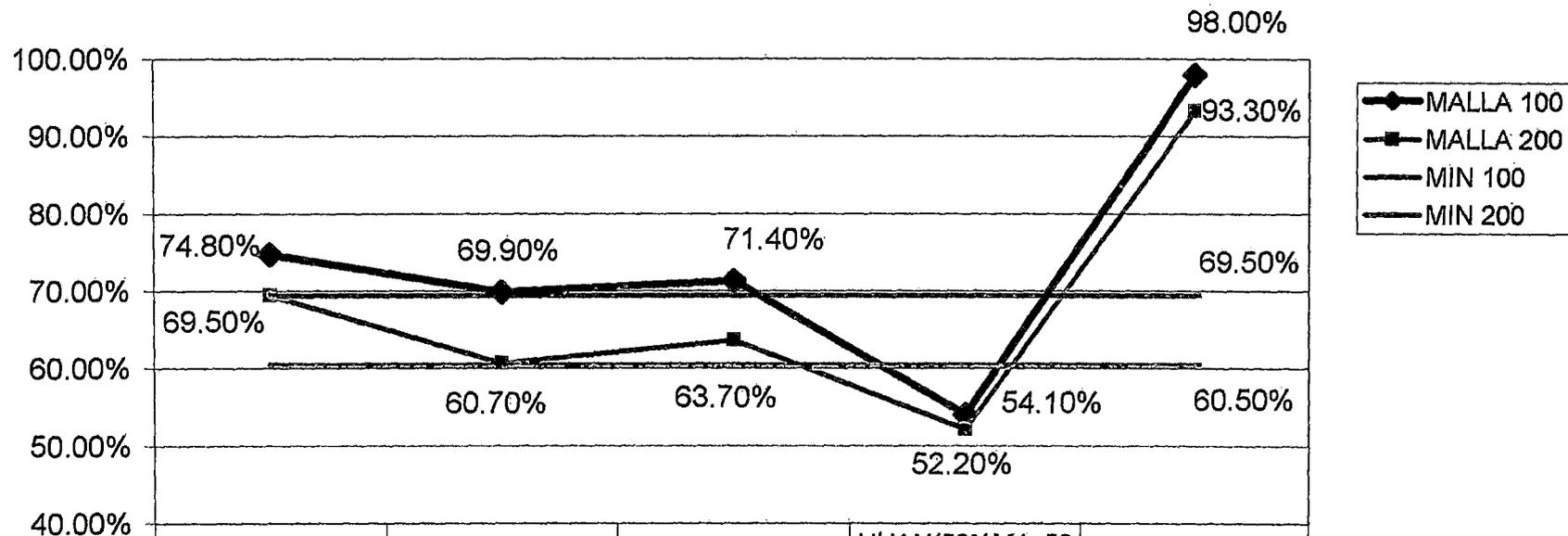
# AREA LIMITE DE LIMITE LIQUIDO-LIMITE PLASTICO-MODULO DE FINURA



TESIS: "ESTUDIO DE ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA"

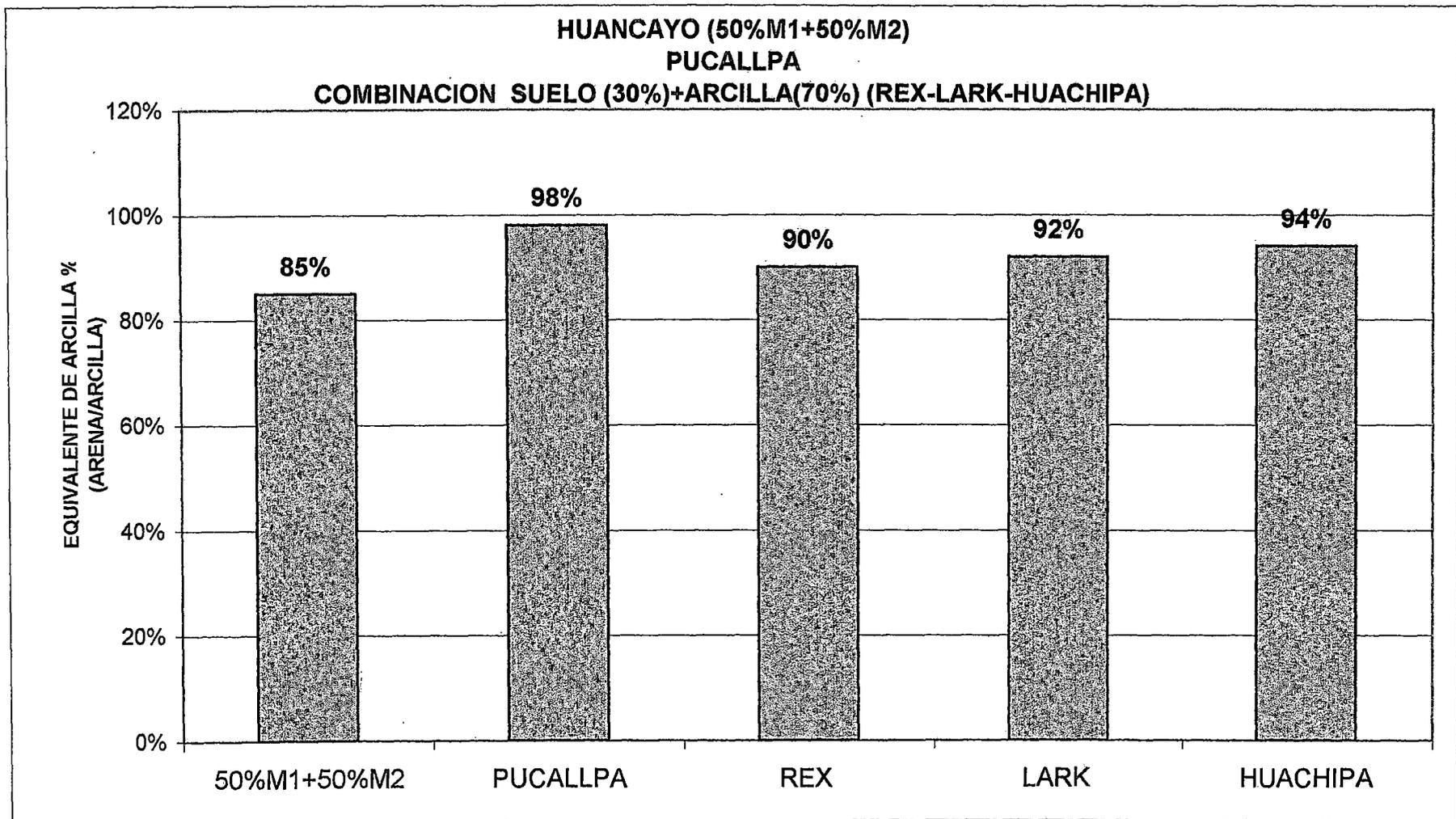
## PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 100 Y 200

**HUANCAYO (50%M1+50%M2)  
PUCALLPA  
FABRICAS (REX, LARK, HUACHIPA)**



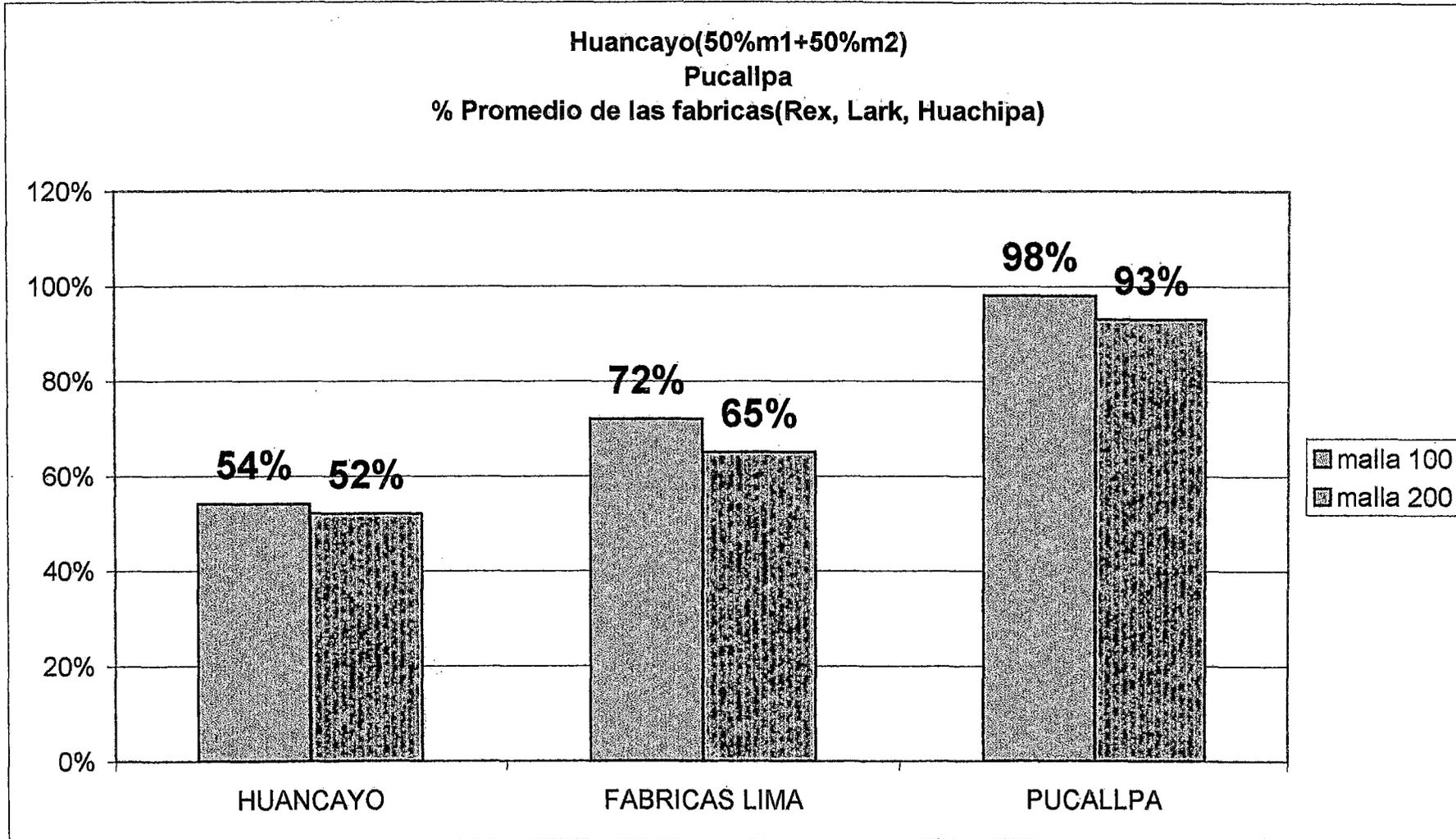
	REX	HUACHIPA	LARK	HUAN(50%M1+50%M2)	PUCALLPA
◆ MALLA 100	74.80%	69.90%	71.40%	54.10%	98.00%
■ MALLA 200	69.50%	60.70%	63.70%	52.20%	93.30%
○ MIN 100	69.50%	69.50%	69.50%	69.50%	69.50%
▲ MIN 200	60.50%	60.50%	60.50%	60.50%	60.50%

# ENSAYO DE EQUIVALENCIA DE ARCILLA



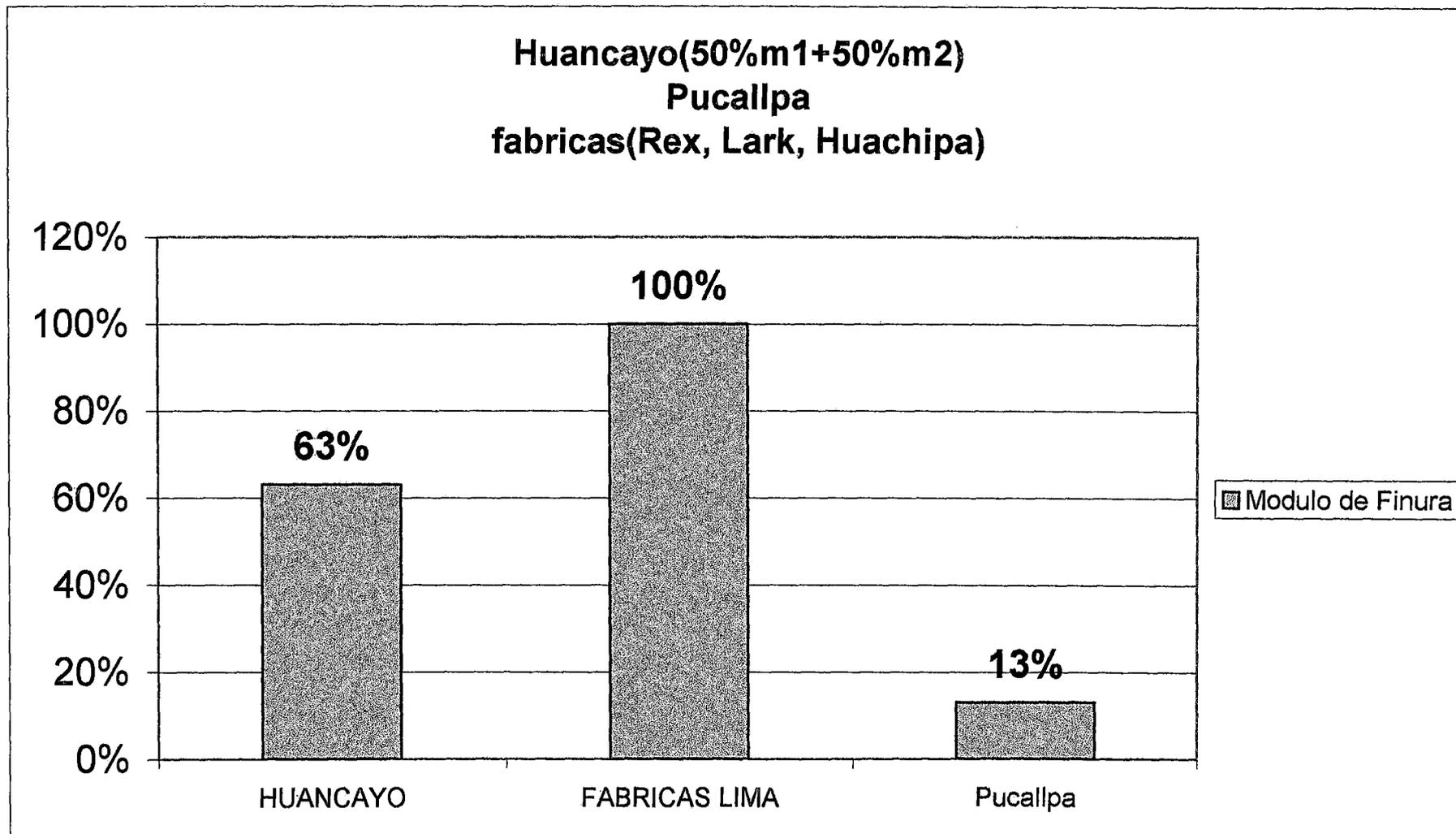
TESIS: " ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA "

# COMPARACION DE PORCENTAJES QUE PASA LA MALLA 100 Y 200

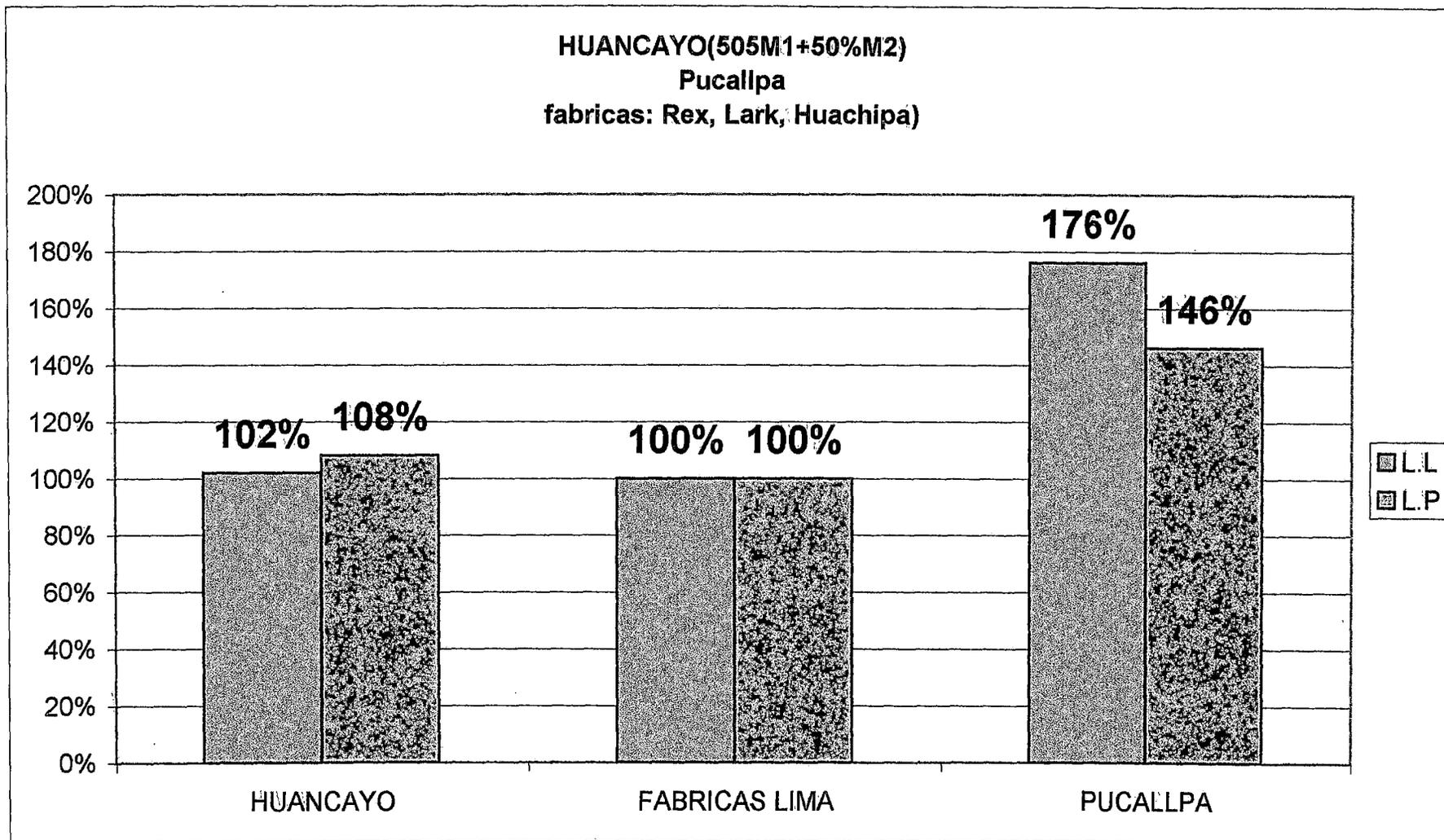


TESIS:"ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA"

**PORCENTAJE DE MODULO DE FINURA CON RESPECTO AL PROMEDIO DEL RANGO DE LAS FABRICAS DE LA COSTA**



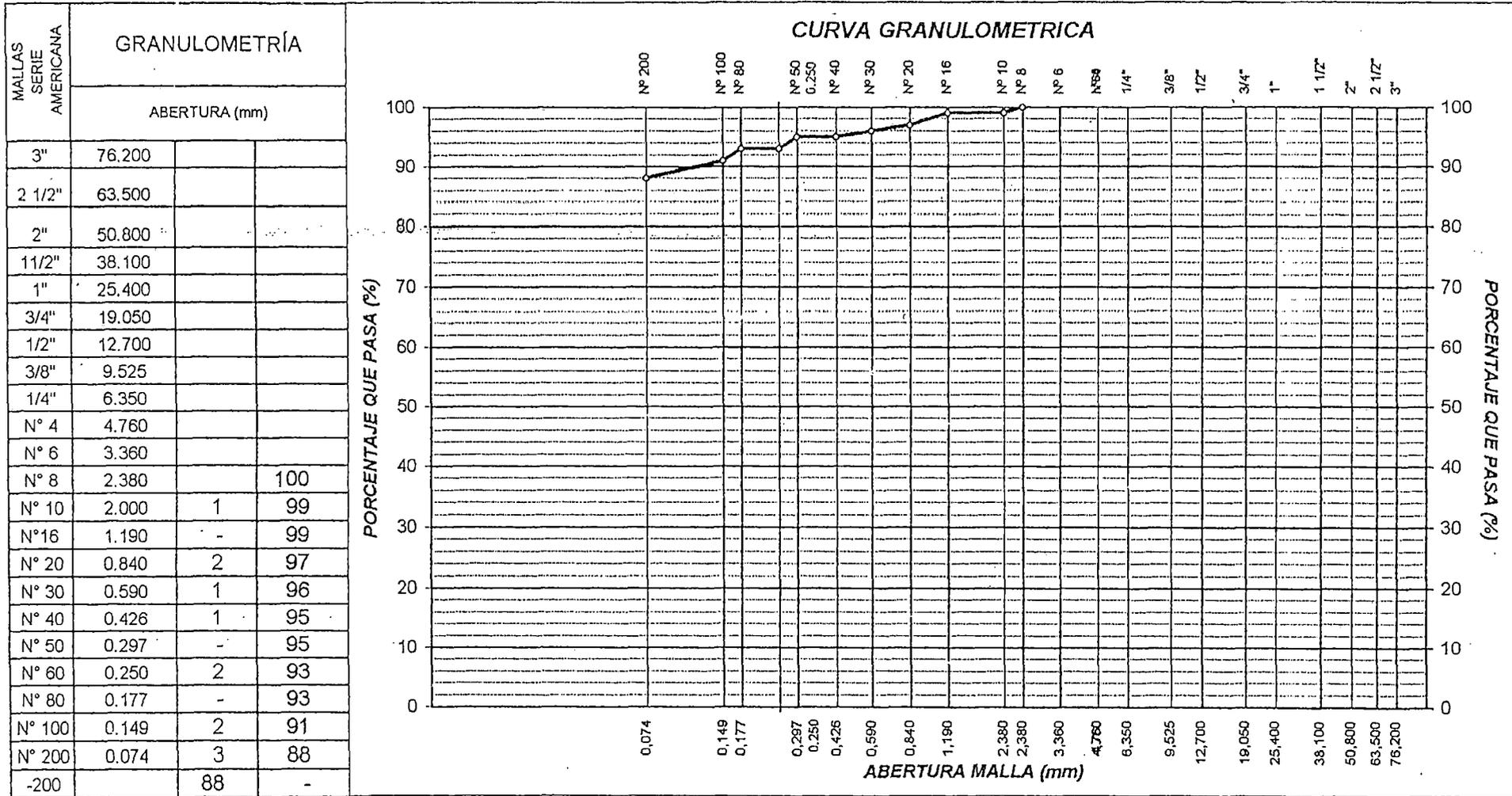
# PORCENTAJES DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO CON RESPECTO A LAS FABRICAS DE LA COSTA



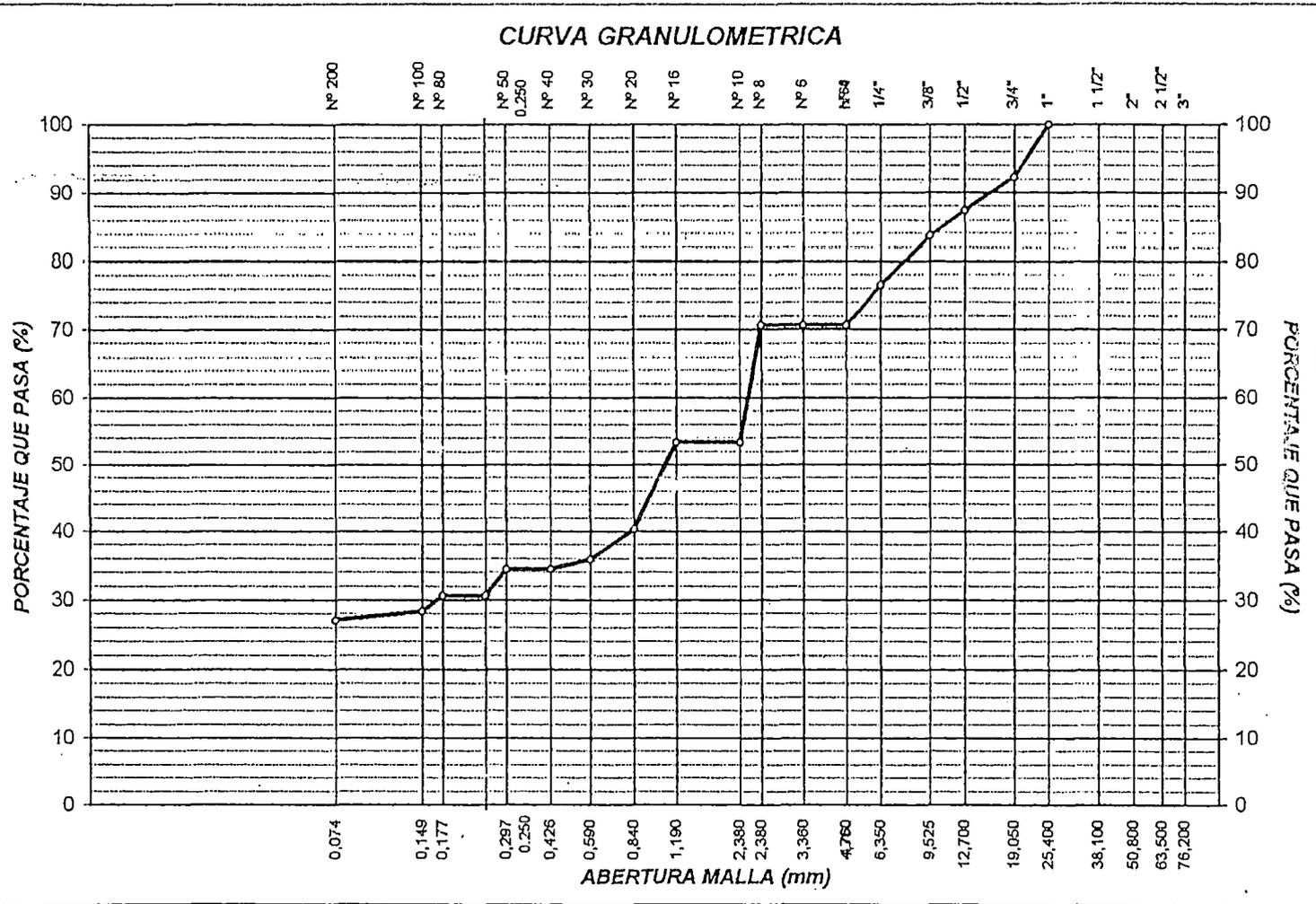
**ANEXOS**

**ANEXO A:**  
**RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO**  
**GRAFICAS**

# ARCILLA DE HUANCAYO (M-1)

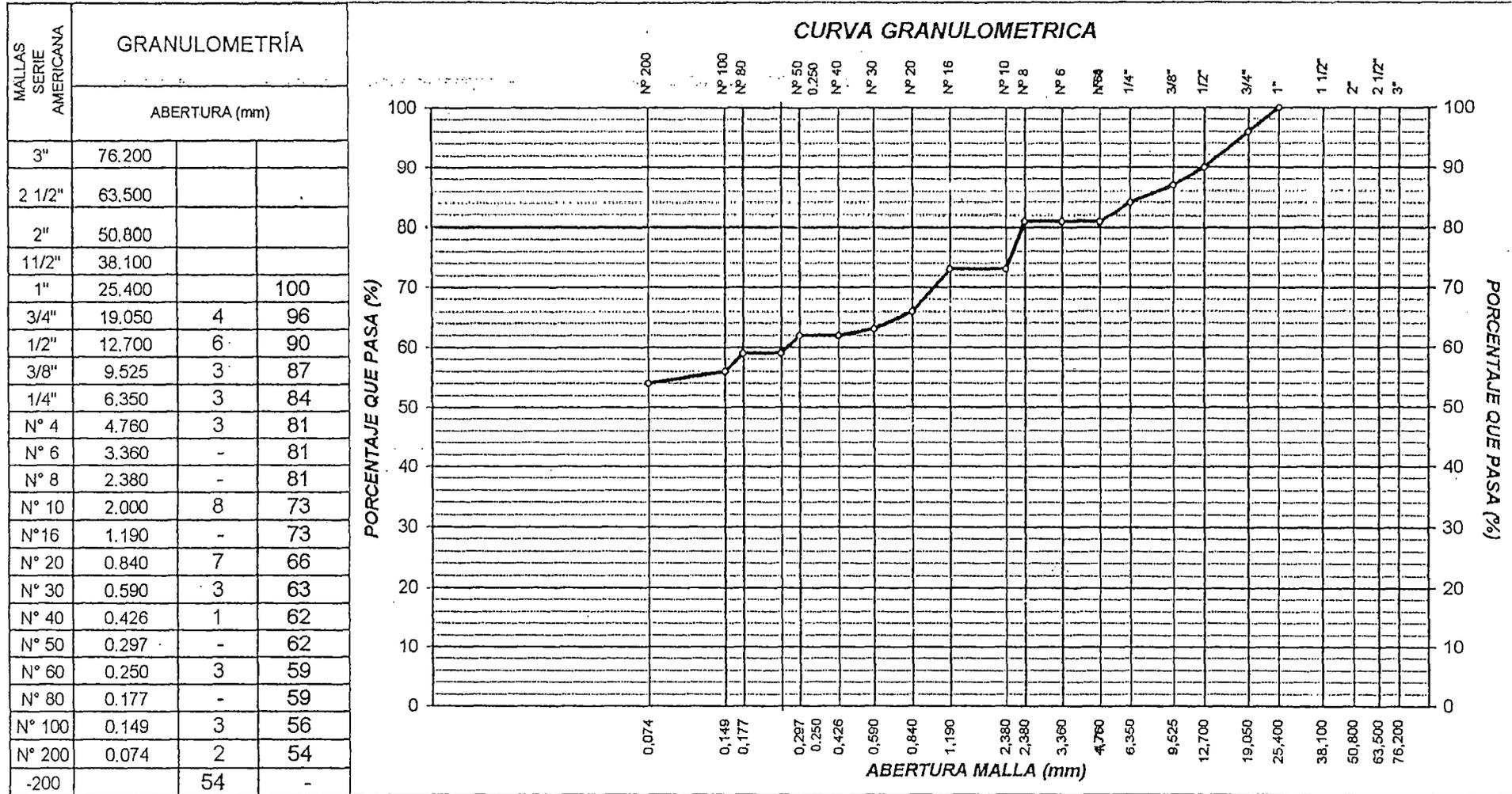


MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA		
	ABERTURA (mm)		
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		100
3/4"	19.050	8	92
1/2"	12.700	5	87
3/8"	9.525	4	84
1/4"	6.350	7	77
N° 4	4.760	6	71
N° 6	3.360	-	71
N° 8	2.380	-	71
N° 10	2.000	17	53
N° 16	1.190	-	53
N° 20	0.840	13	40
N° 30	0.590	4	36
N° 40	0.426	1	35
N° 50	0.297	-	35
N° 60	0.250	4	31
N° 80	0.177	-	31
N° 100	0.149	2	28
N° 200	0.074	1	27
-200		27	-0

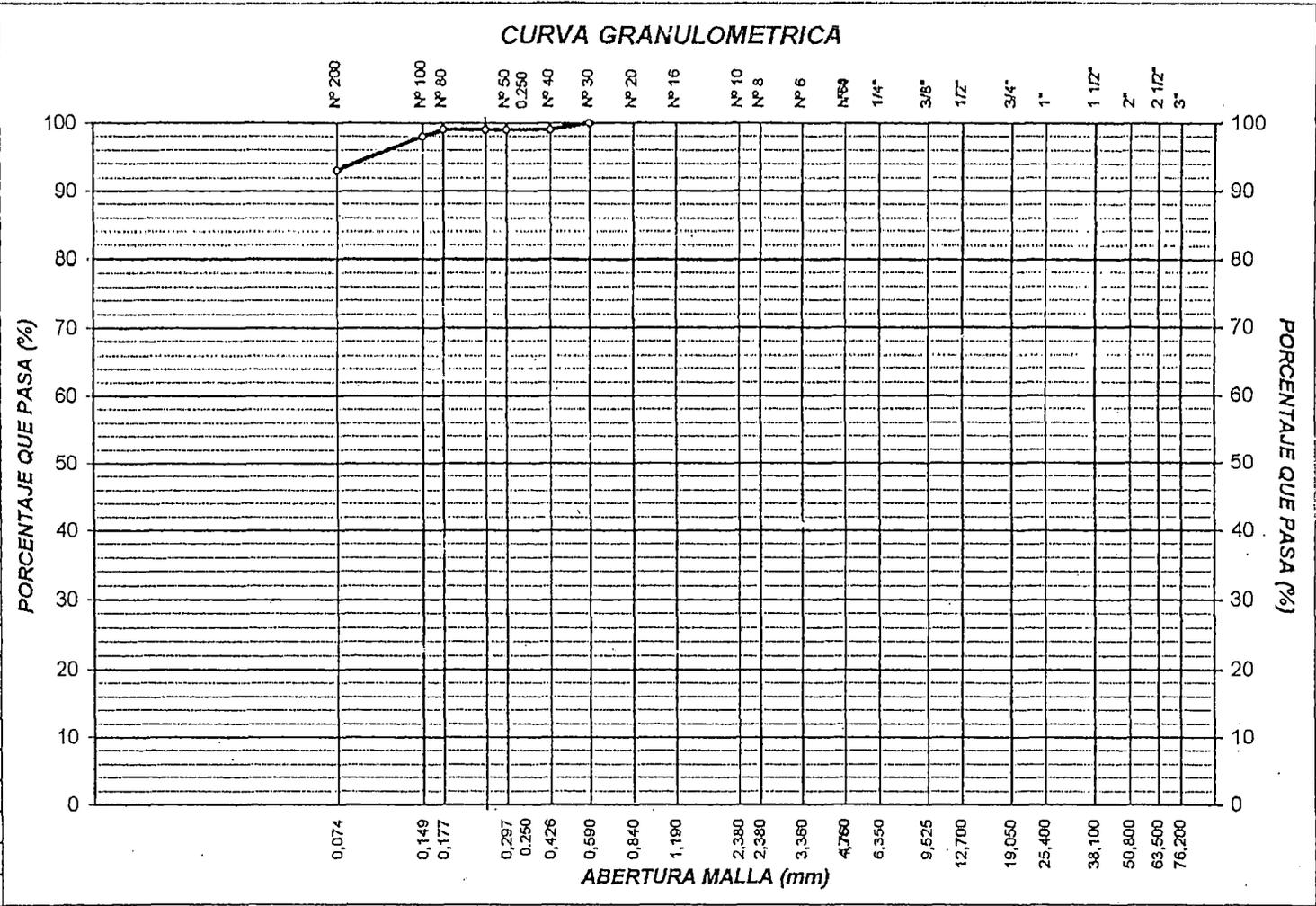


TEISIS: "ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA "

# MEZCLA SUELO- ARCILLA DE HUANCAYO (M-1) Y (M-2)



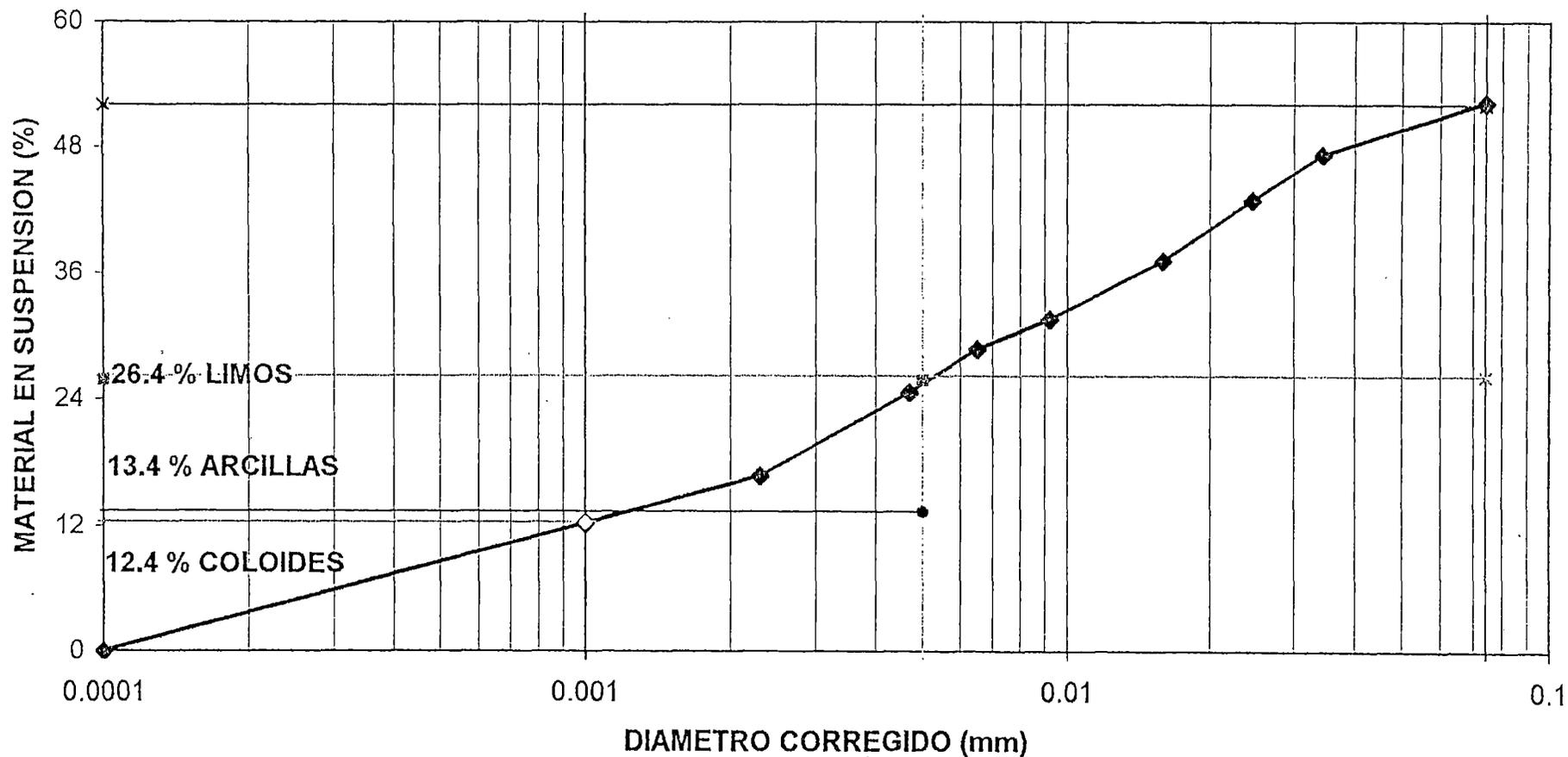
MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA		
	ABERTURA (mm)		
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.050		
1/2"	12.700		
3/8"	9.525		
1/4"	6.350		
N° 4	4.760		
N° 6	3.360		
N° 8	2.380		
N° 10	2.000		
N° 16	1.190		
N° 20	0.840		
N° 30	0.590		100
N° 40	0.426	1	99
N° 50	0.297	-	99
N° 60	0.250	-	99
N° 80	0.177	-	99
N° 100	0.149	1	98
N° 200	0.074	5	93
-200		93	-



TEISIS: "ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLAPA "

# CURVA GRANULOMETRICA

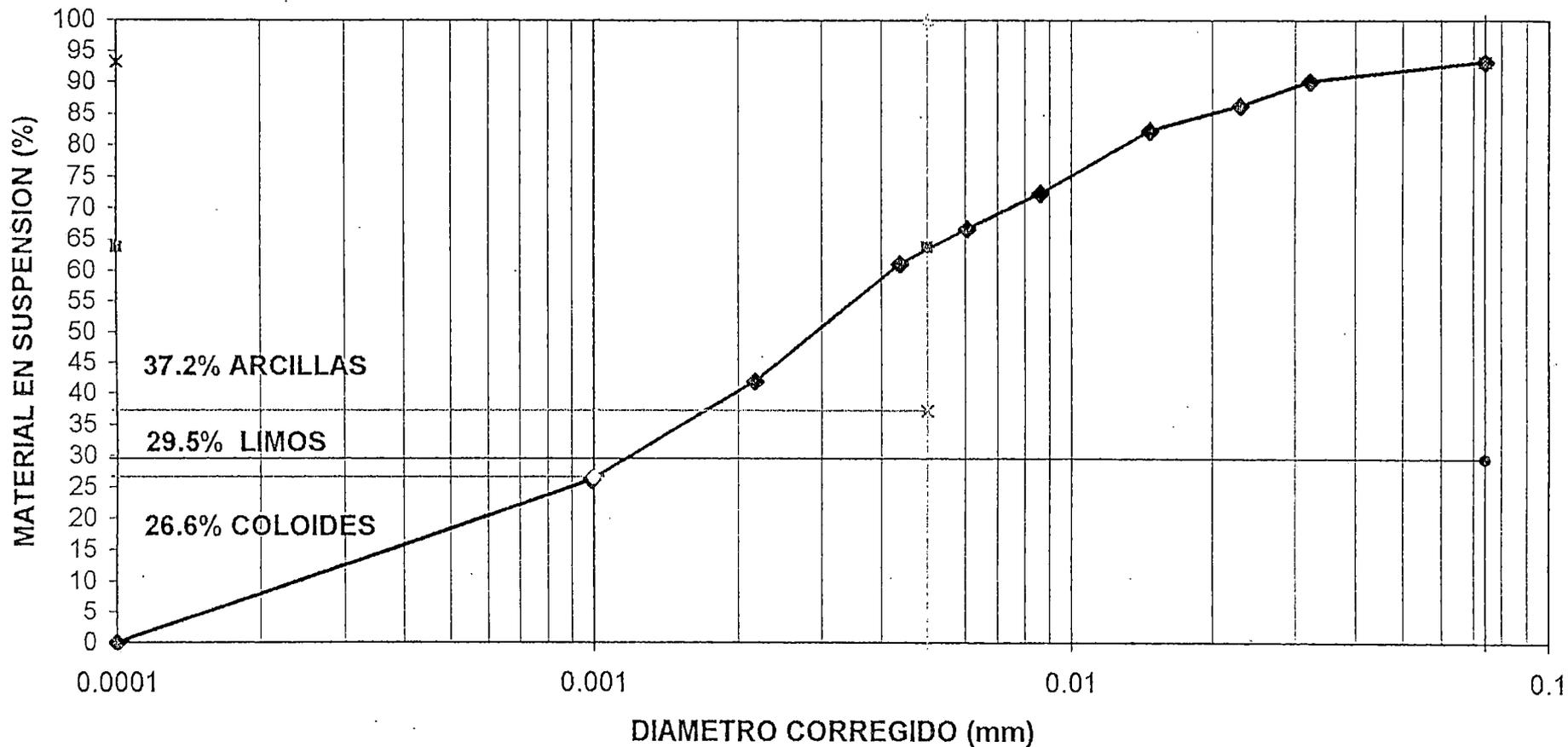
METODO DEL HIDROMETRO (ASTM D422)  
MUESTRA HUANCAYO (50%M1+50%M2)



TESIS: " ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA "

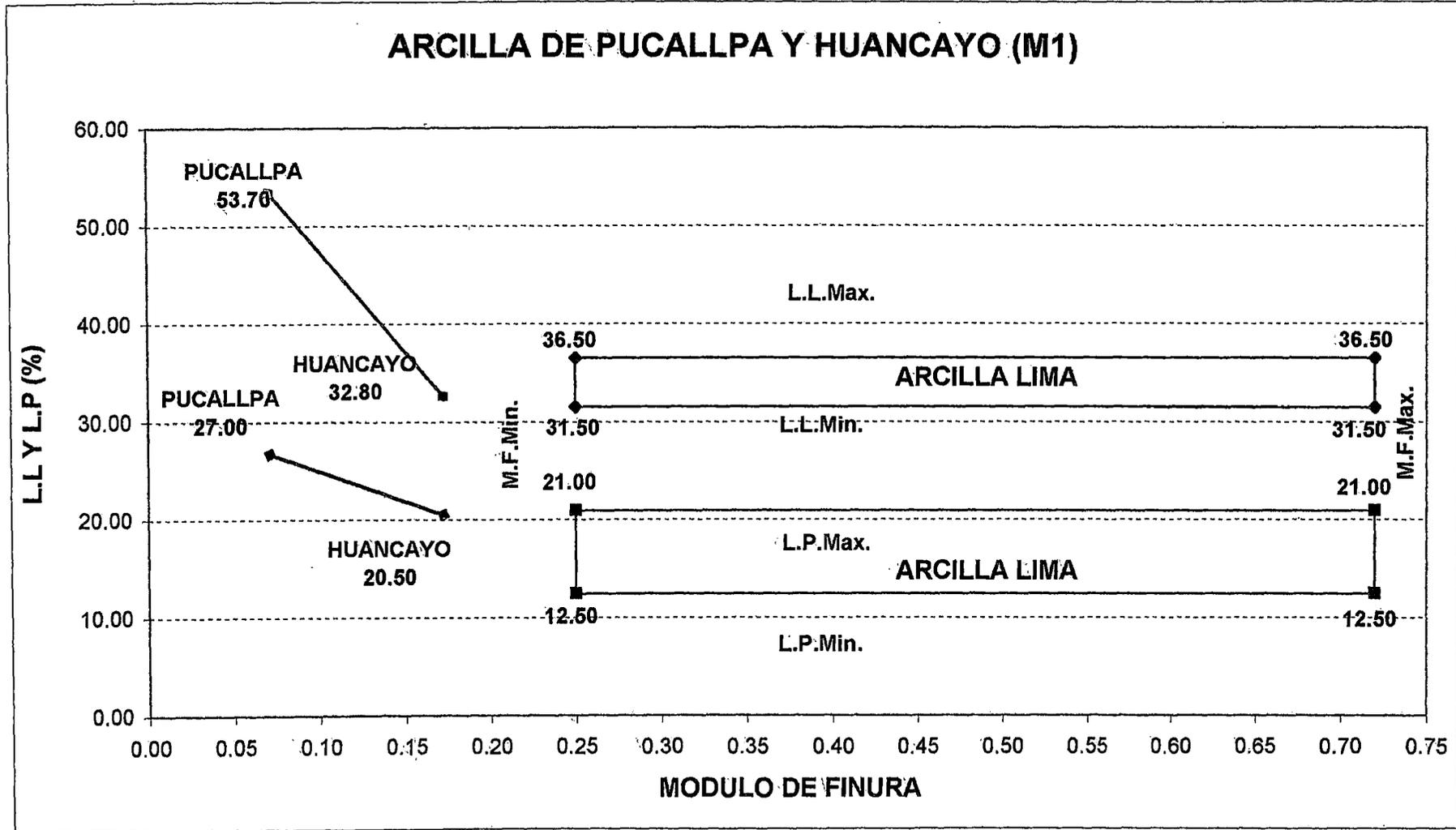
# CURVA GRANULOMETRICA

METODO DEL HIDROMETRO (ASTM D422)  
MUESTRA PUCALLPA

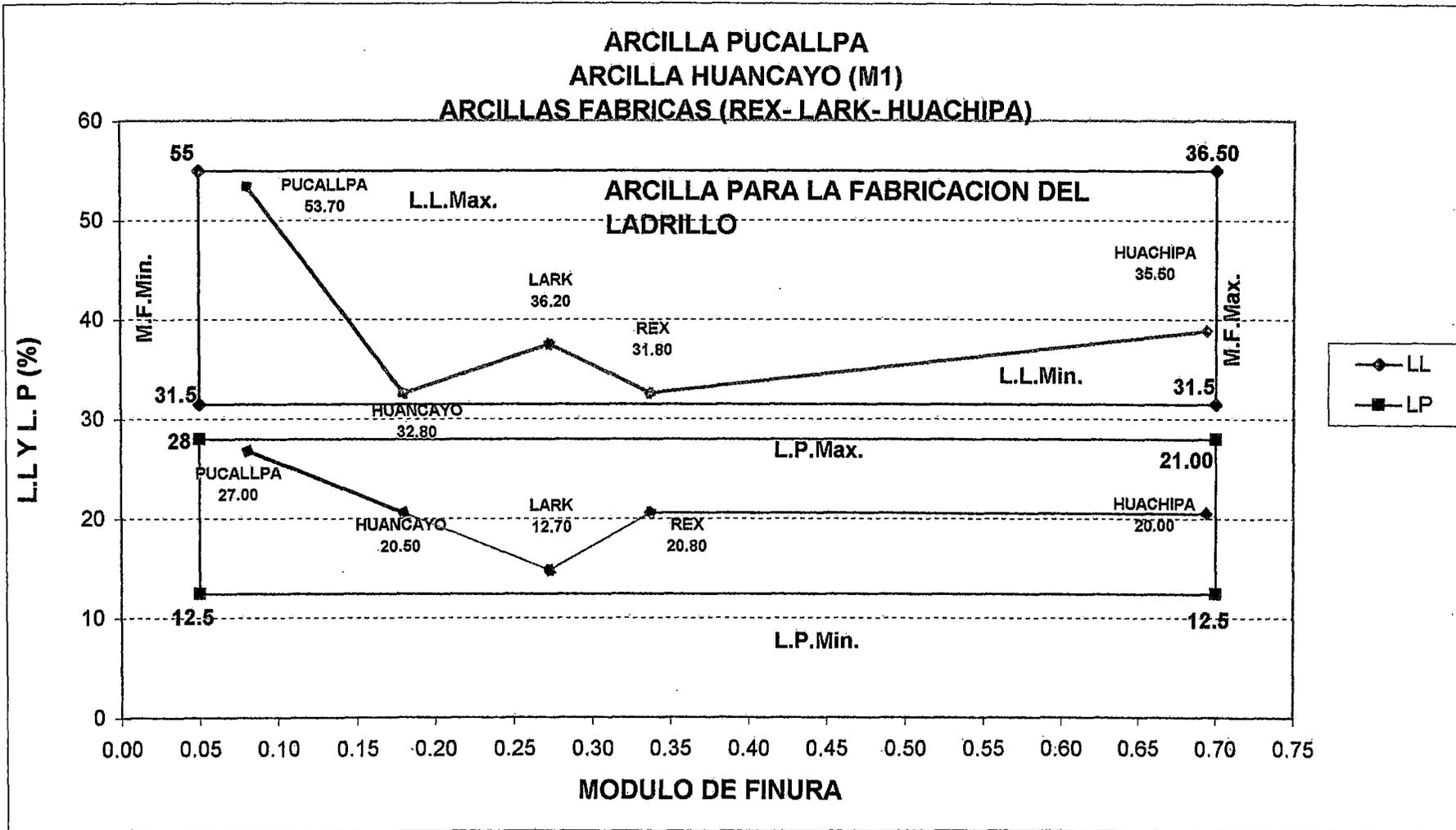


TESIS: " ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN LA SIERRA Y SELVA"

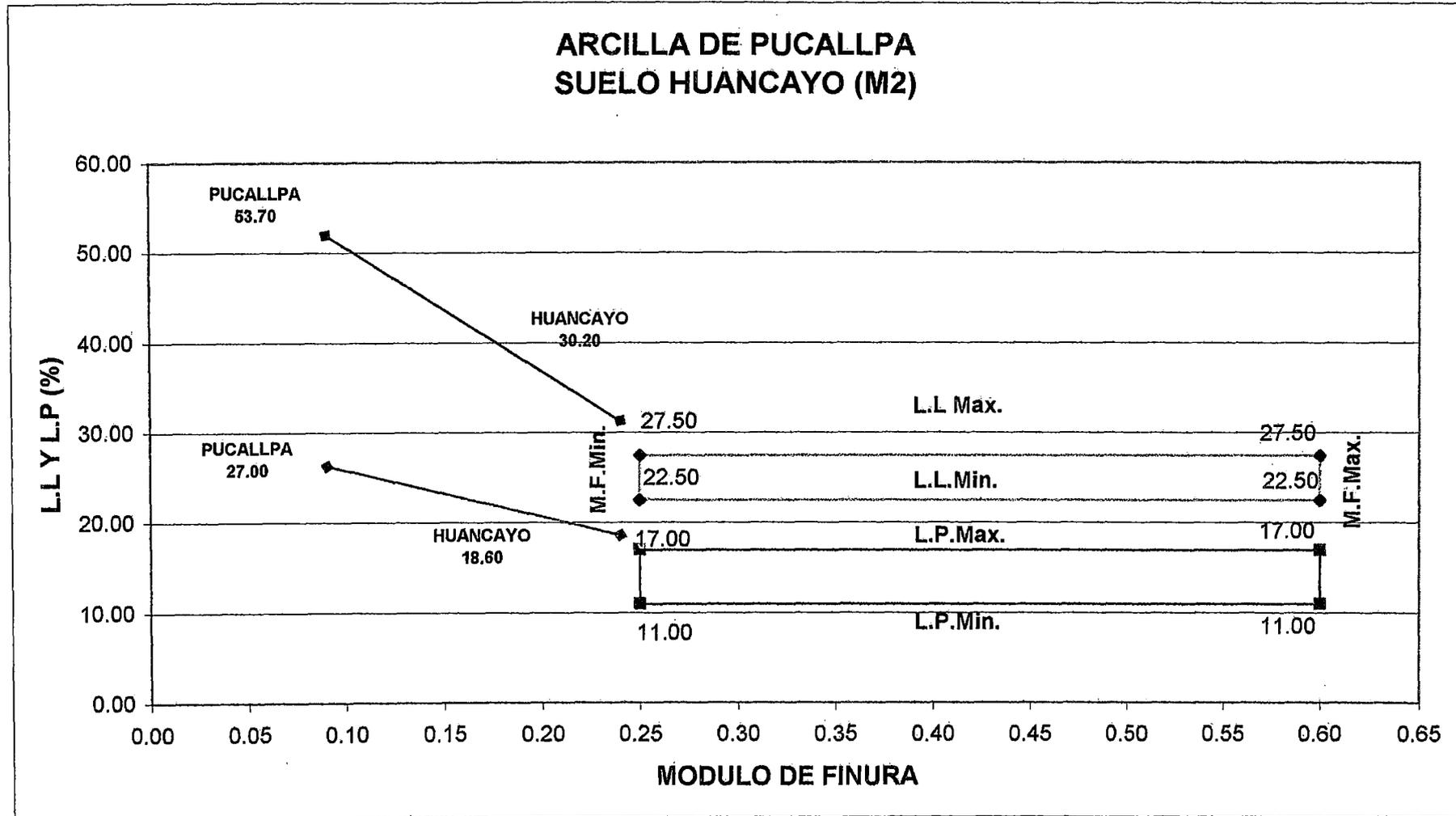
**AREA LIMITE DE LIMITE LIQUIDO- LIMITE PLASTICO-MODULO DE FINURA DE LA ARCILLA DE LIMA  
(REX-LARK-HUACHIPA)**



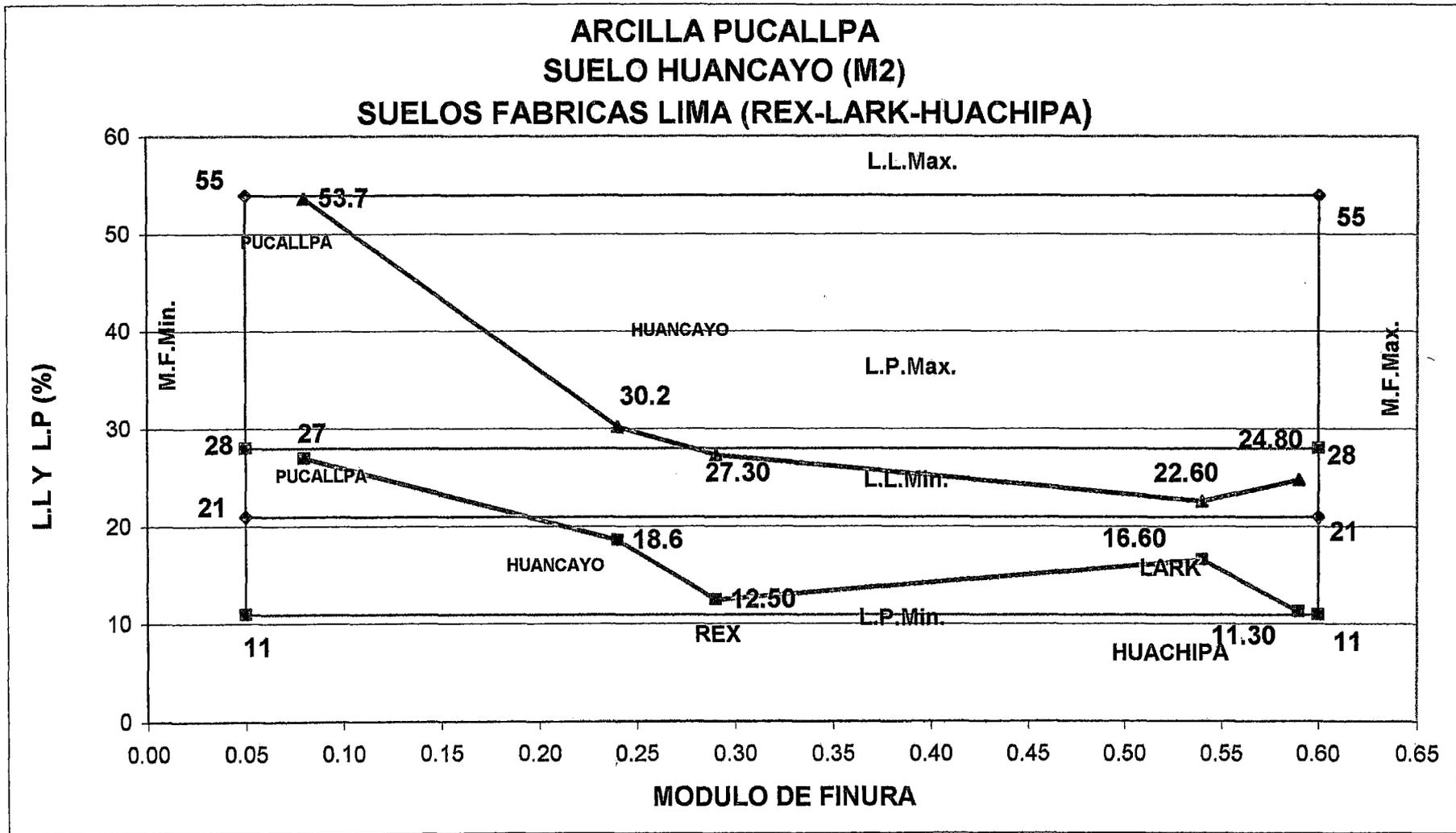
# AREAS LIMITES PARA EL LIMITE LIQUIDO- LIMITE PLASTICO-MODULO DE FINURA



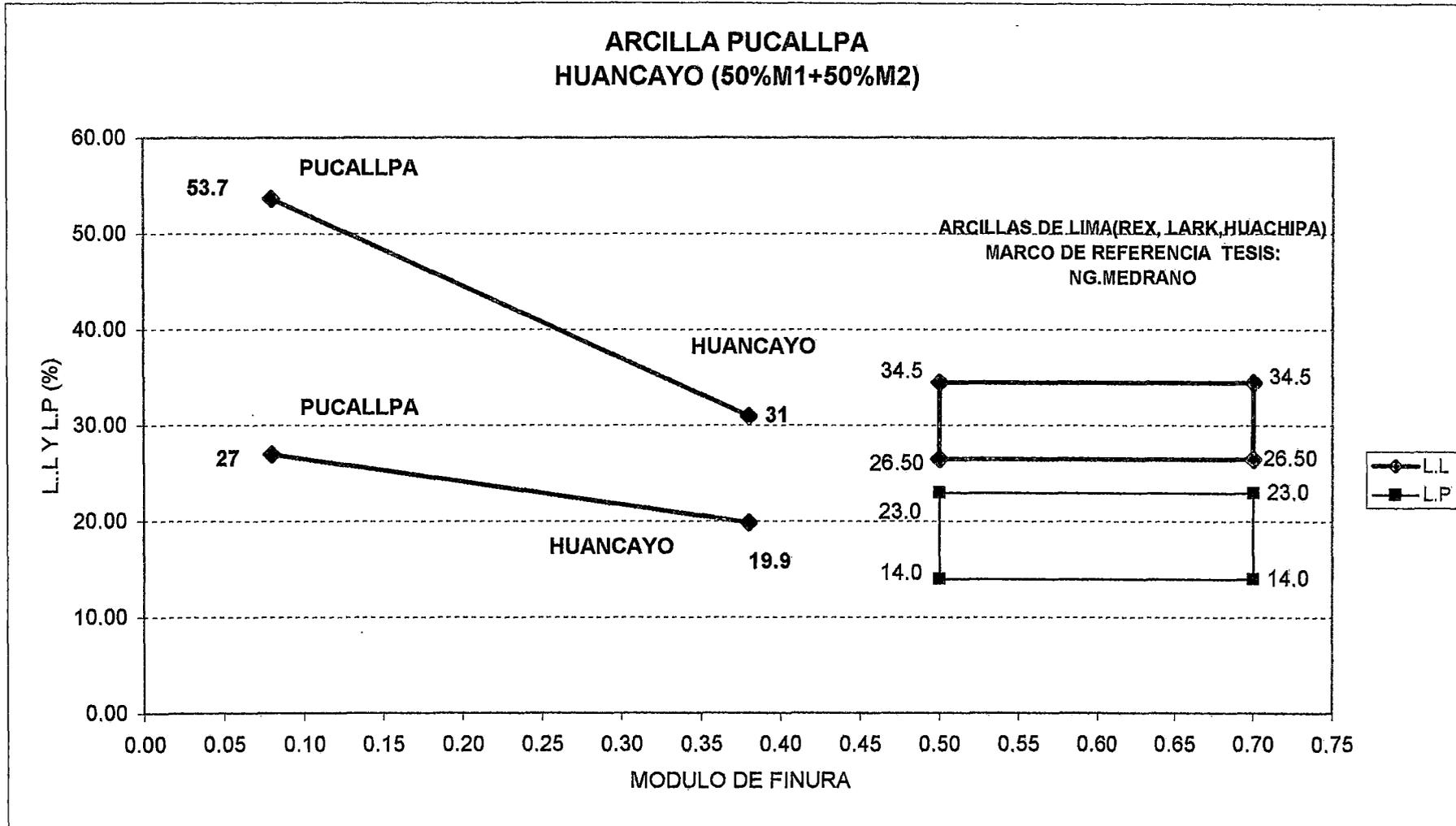
# AREA LIMITE DE LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO-MODULO DE FINURA



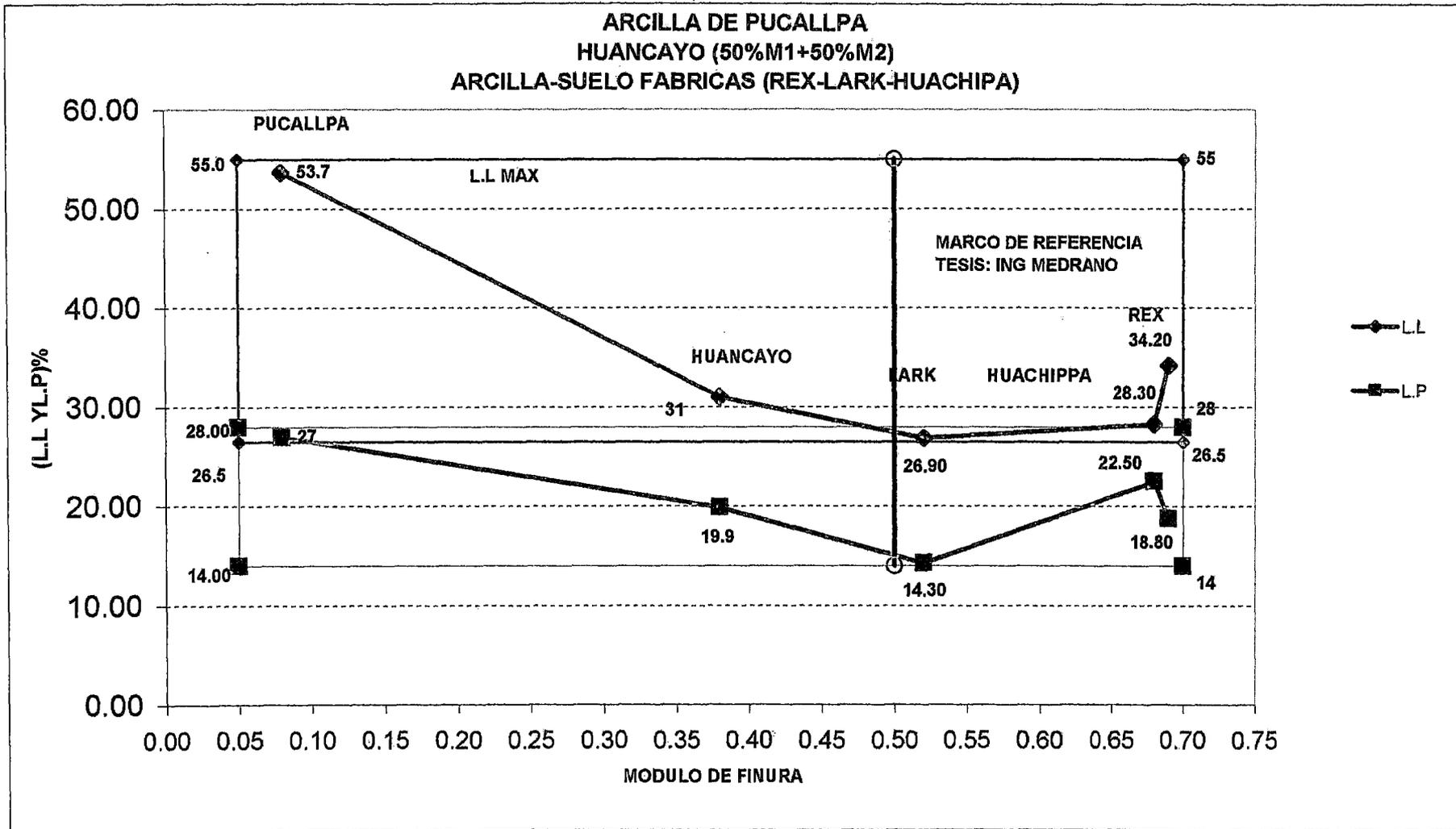
# ÁREAS LÍMITES PARA EL LÍMITE LÍQUIDO-LÍMITE PLÁSTICO-MÓDULO DE FINURA



# AREA LIMITE DE LIMITE LIQUIDO-LIMITE PLASTICO-MODULO DE FINURA DE LA ARCILLA DE LIMA (REX-LARK-HUACHIPA)

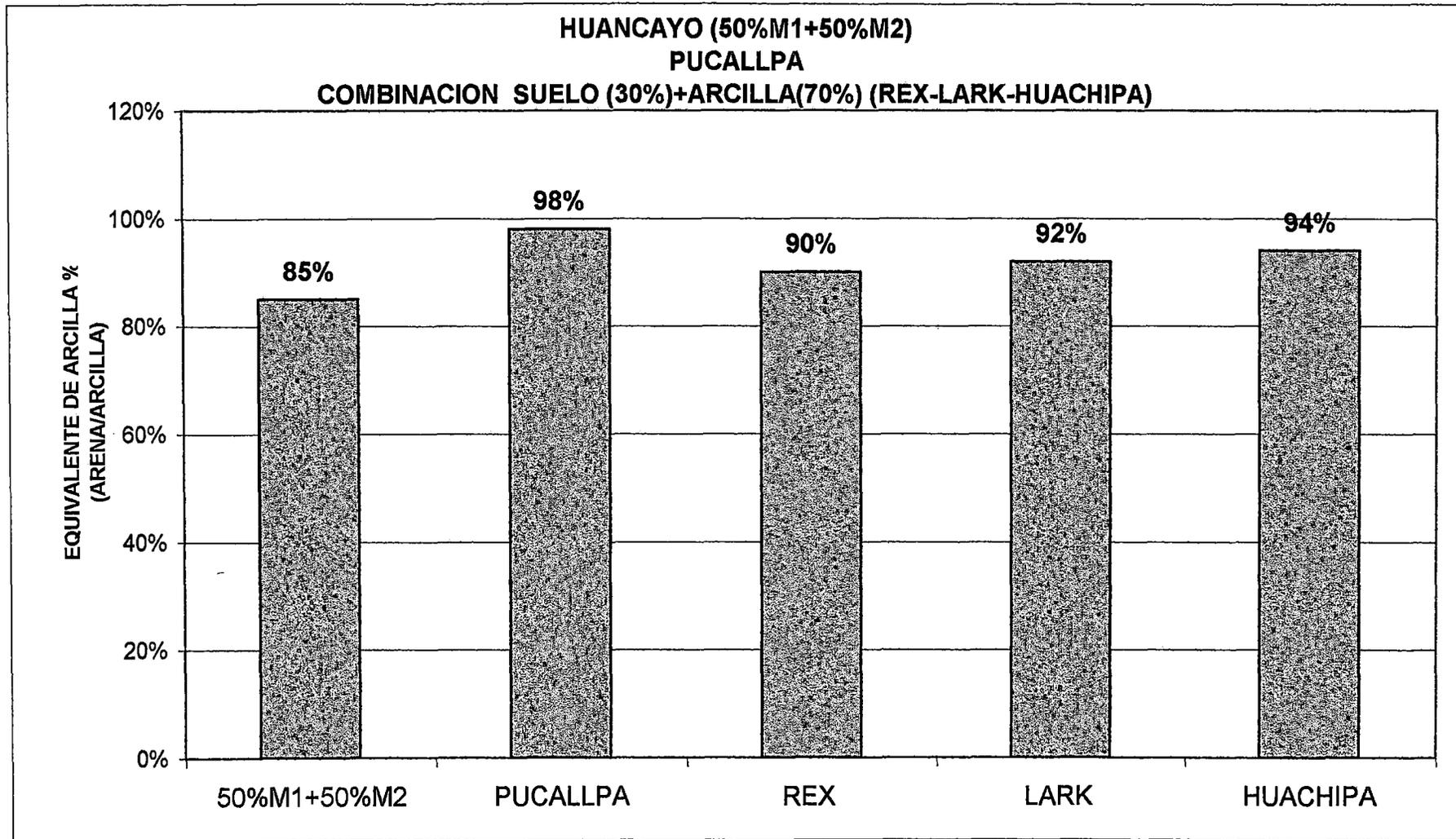


# AREA LIMITE DE LIMITE LIQUIDO-LIMITE PLASTICO-MODULO DE FINURA

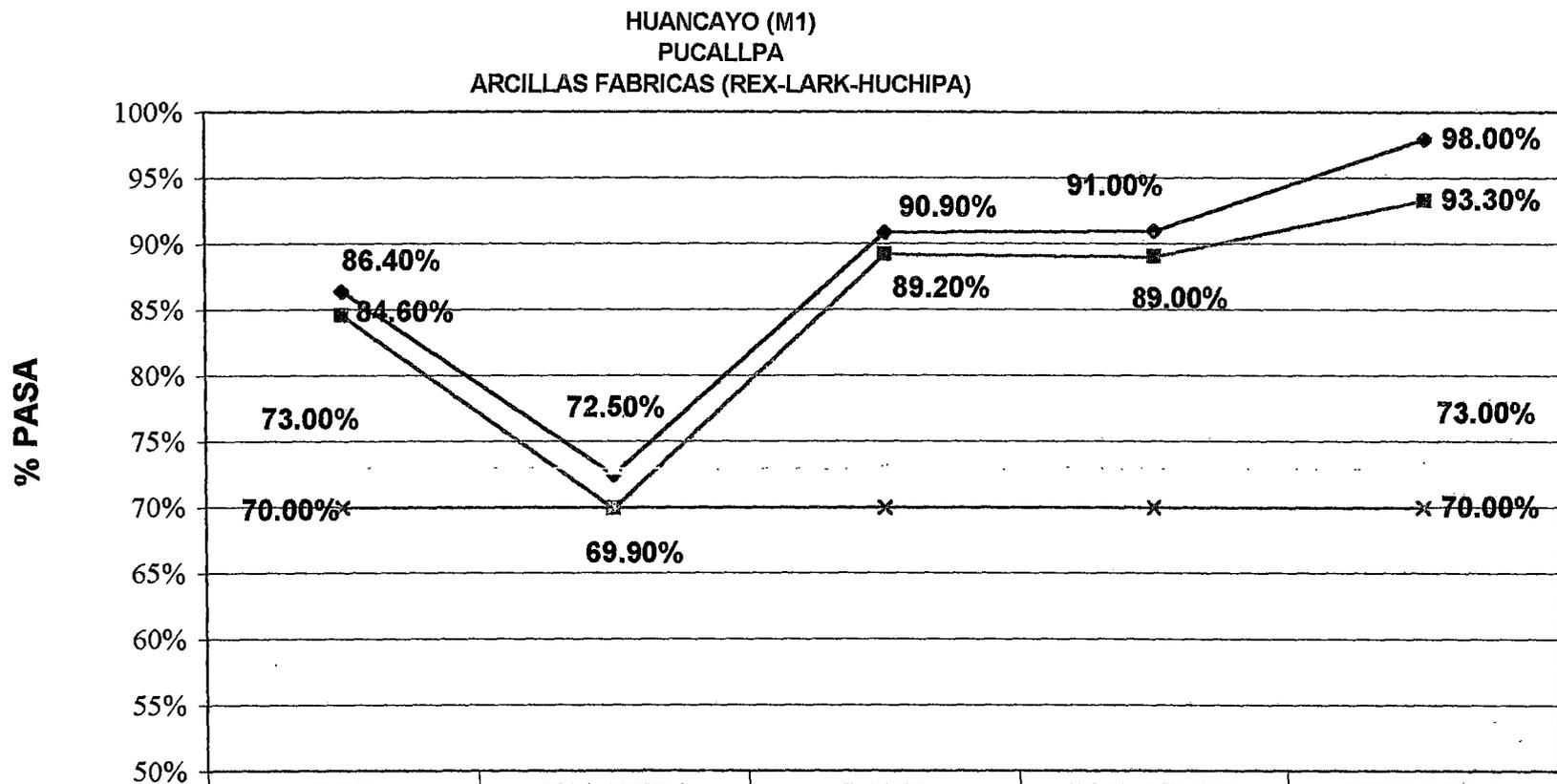


TESIS: "ESTUDIO DE ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA"

# ENSAYO DE EQUIVALENCIA DE ARCILLA

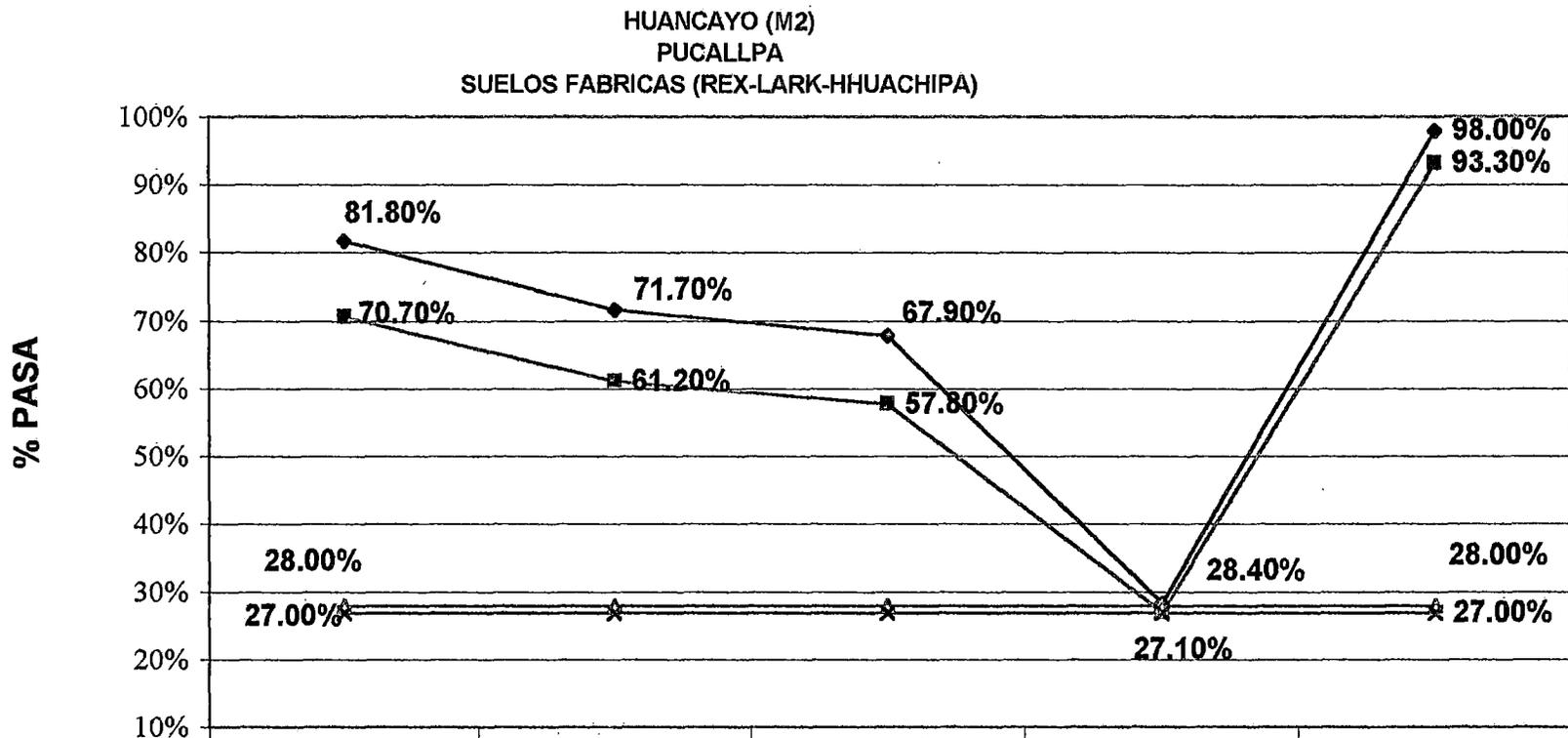


## PORCENTAJES MINIMOS DE MATERIAL QUE PASA POR LAS MALLAS 100 Y 200



	REX	HUACHIPA	LARK	HUANCAYO	PUCALLPA
—◆— malla 100	86.40%	72.50%	90.90%	91.00%	98.00%
—■— malla 200	84.60%	69.90%	89.20%	89.00%	93.30%
..... min(malla 100)	73.00%	73.00%	73.00%	73.00%	73.00%
—×— min(malla 200)	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%

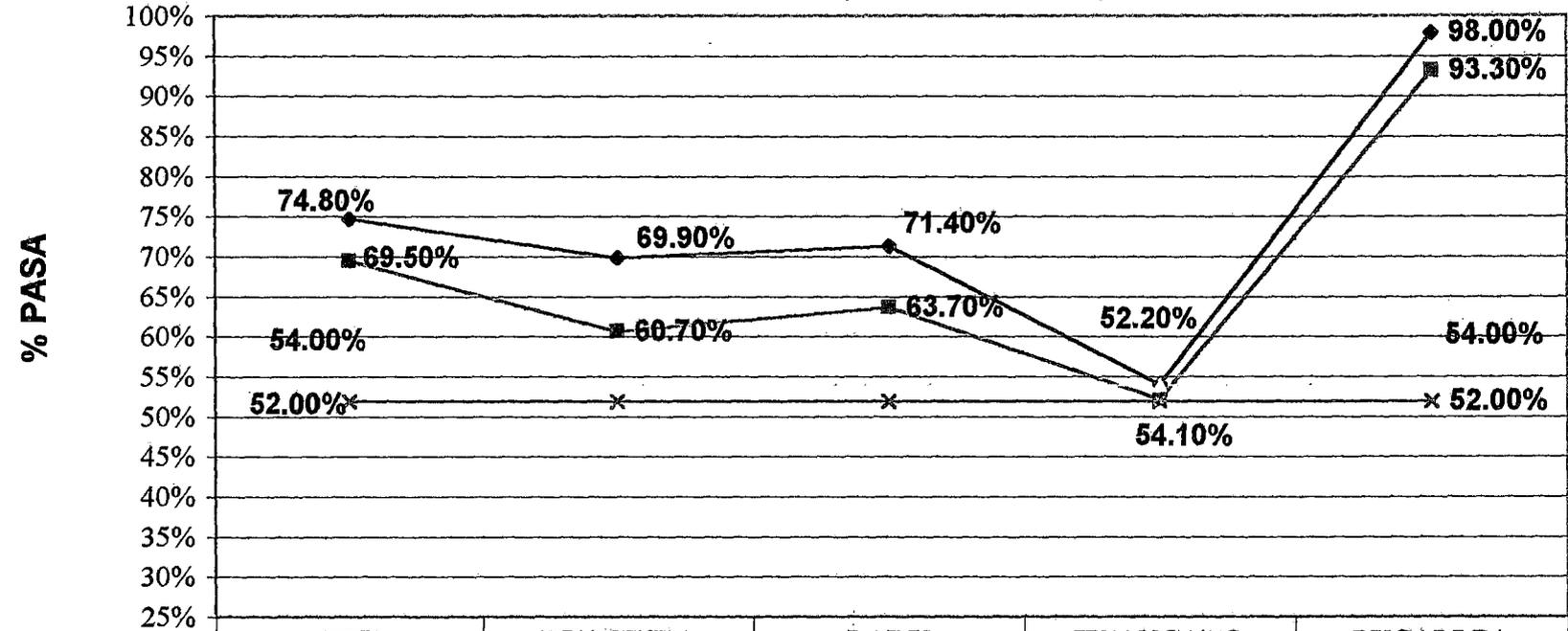
## PORCENTAJE MINIMOS DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA 100 Y MALLA 200



	REX	HUACHIPA	LARK	HUANCAYO	PUCALLPA
◆ malla 100	81.80%	71.70%	67.90%	28.40%	98.00%
■ malla 200	70.70%	61.20%	57.80%	27.10%	93.30%
▲ min(malla 100)	28.00%	28.00%	28.00%	28.00%	28.00%
✕ min(malla 200)	27.00%	27.00%	27.00%	27.00%	27.00%

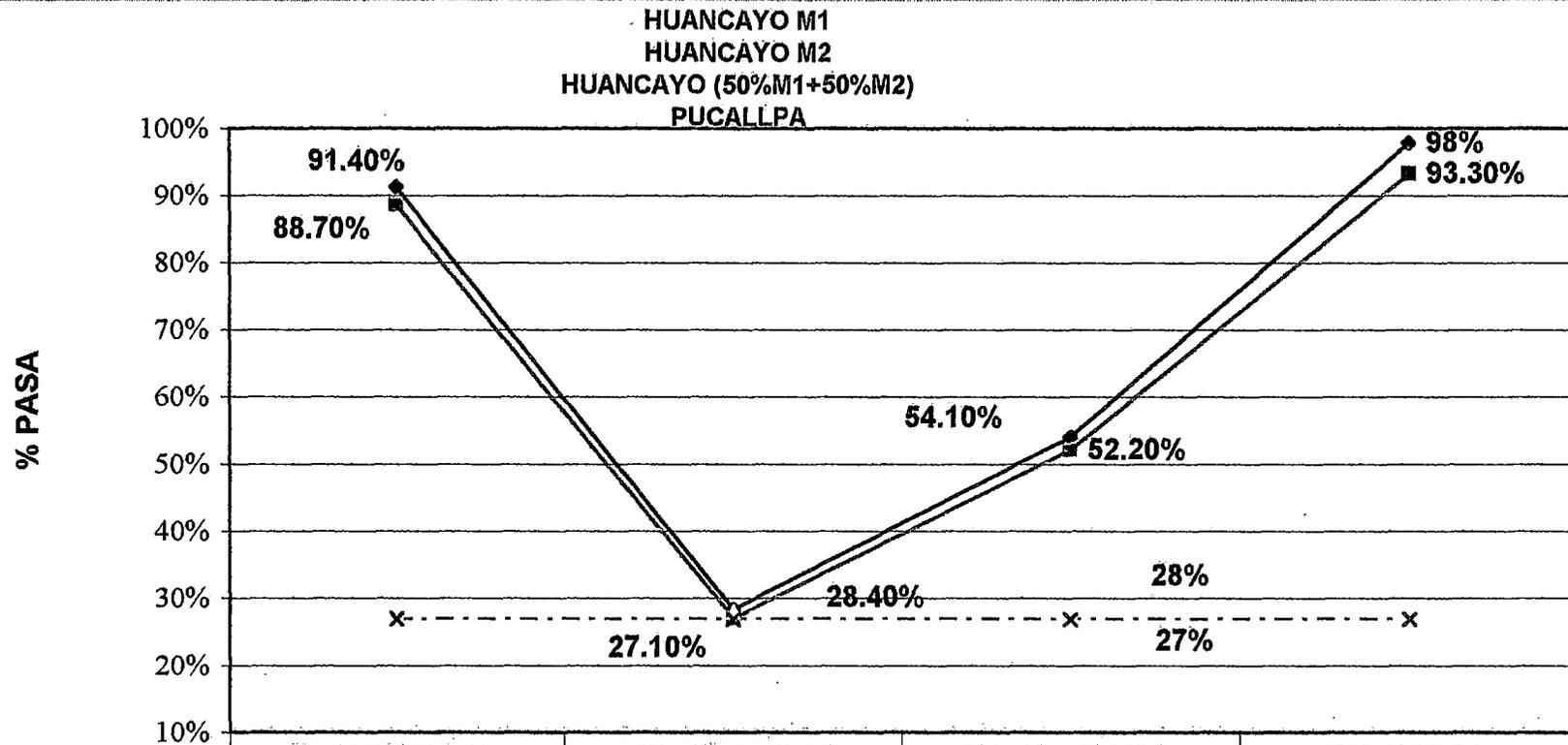
## PORCENTAJES MINIMOS QUE PASA LA MALLA 100 Y MALLA 200

HUANCAYO (50%M1+50%M2)  
PUCALLPA  
COMBINACION SUELO ARCILLA FABRICAS (REX-LARK-HUACHIPA)



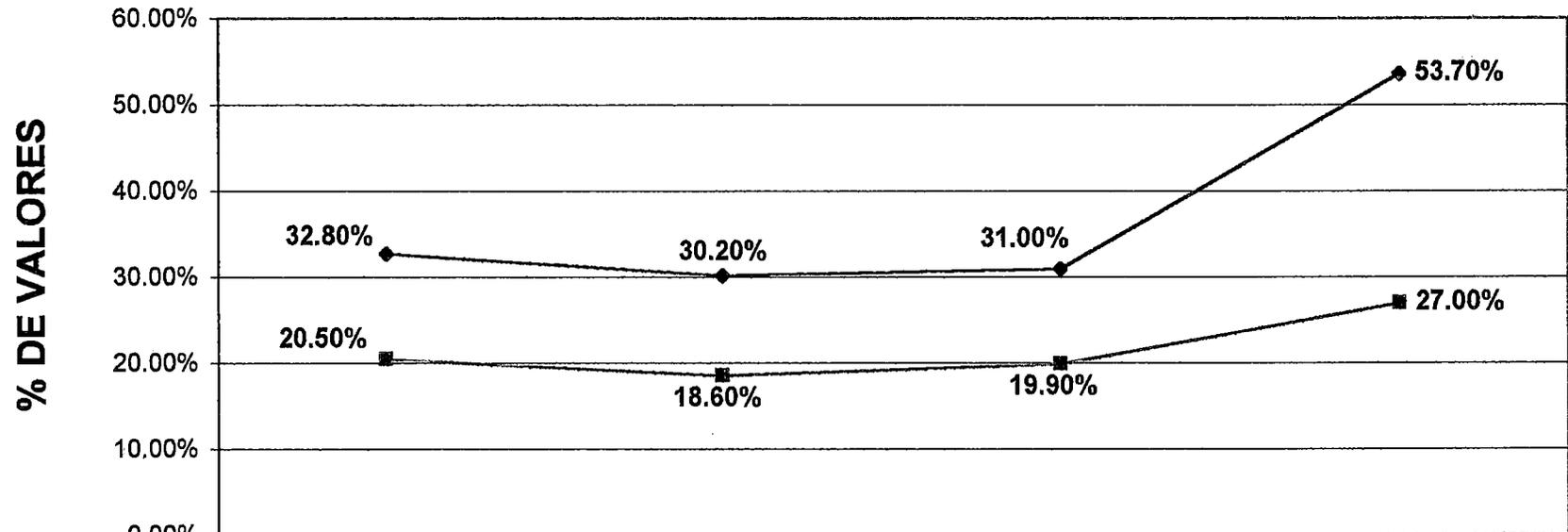
	REX	HUACHIPA	LARK	HUANCAYO	PUCALLPA
◆ malla 100	74.80%	69.90%	71.40%	54.10%	98.00%
■ malla 200	69.50%	60.70%	63.70%	52.20%	93.30%
min(malla 100)	54.00%	54.00%	54.00%	54.00%	54.00%
✕ min(malla 200)	52.00%	52.00%	52.00%	52.00%	52.00%

## PORCENTAJES MINIMOS QUE PASA LA MALLA 100 Y MALLA 200



	HUANCAYO M1	HUANCAYO M2	50%M1+50%M2	PUCALLPA
—◆— malla 100	91.40%	28.40%	54.10%	98%
—■— malla 200	88.70%	27.10%	52.20%	93.30%
min(malla 100)	28%	28%	28%	28%
—x— min(malla 200)	27%	27%	27%	27%

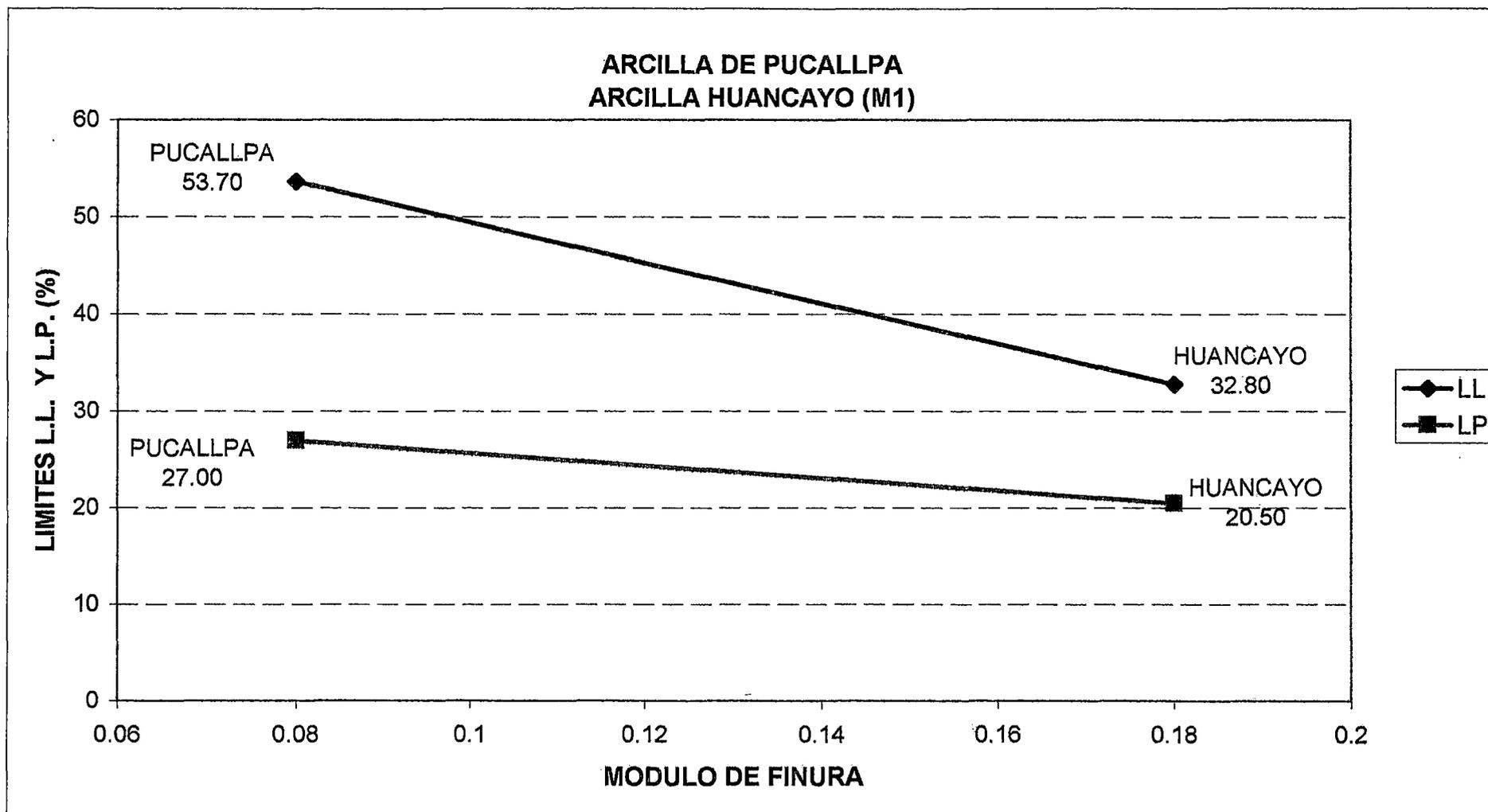
## CUADRO COMPARATIVO ENTRE LIMITES LIQUIDOS Y LIMITES PLASTICOS DE HUANCAYO Y PUCALLPA



◆ LIMITE LIQUIDO %	0.328	0.302	0.31	0.537
■ LIMITE PLASTICO %	0.205	0.186	0.199	0.27

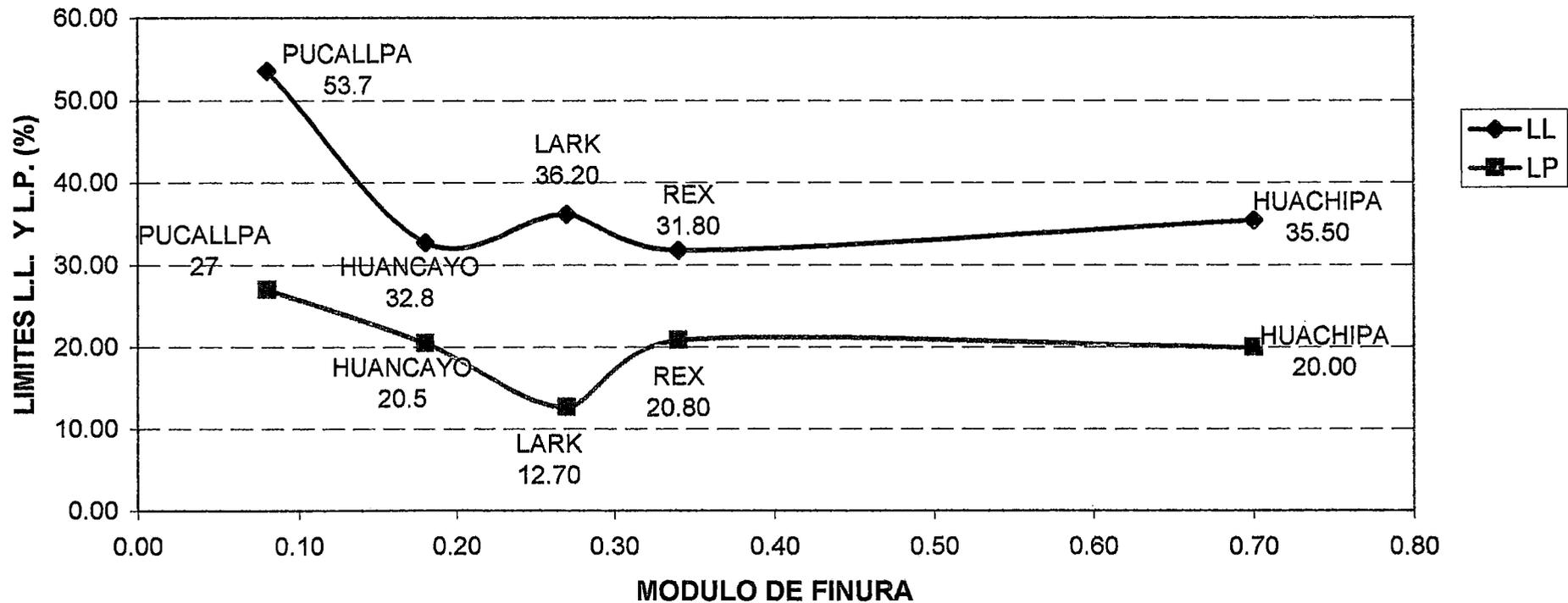
**MUESTRA**

## ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

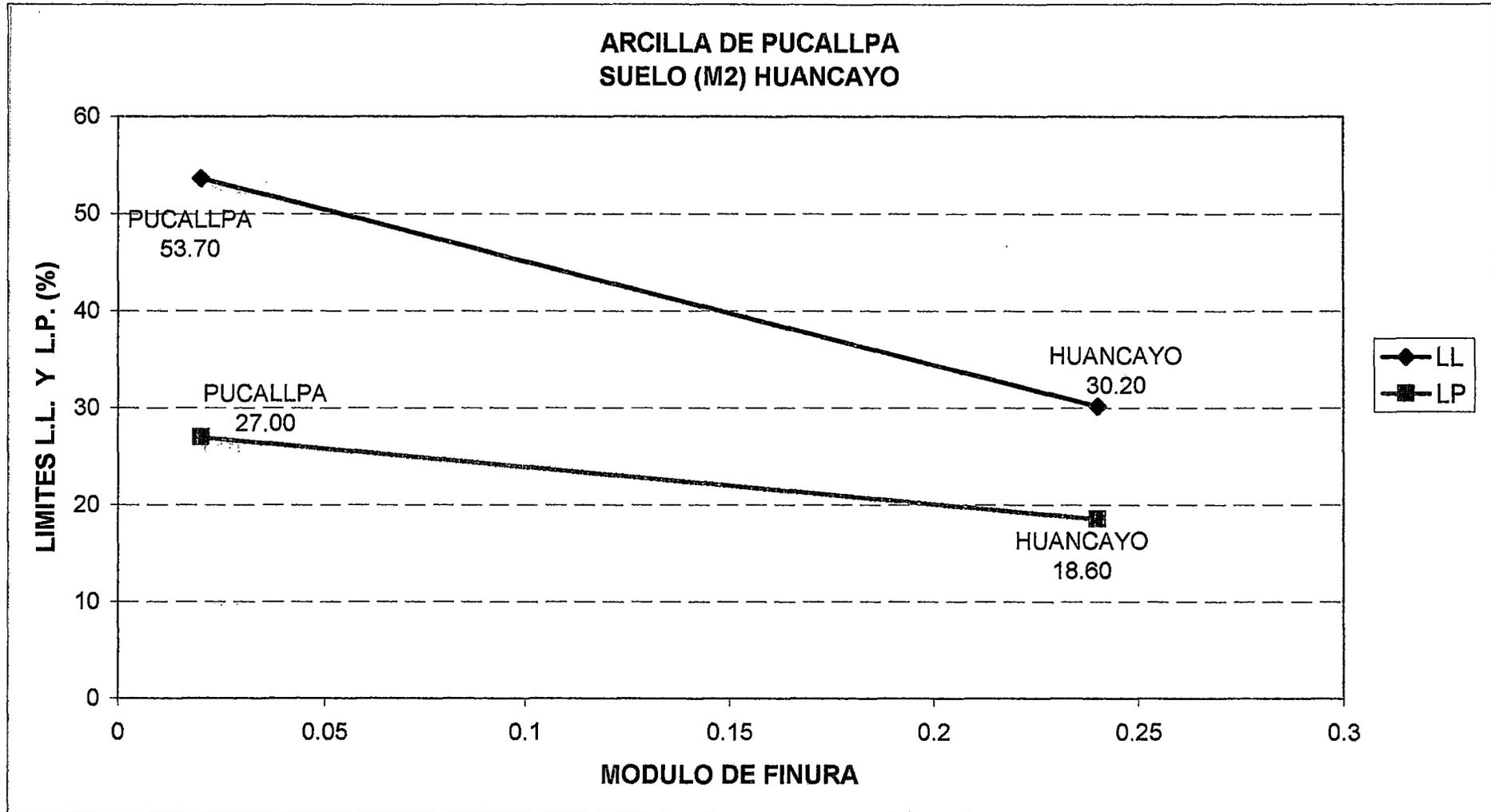


## ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

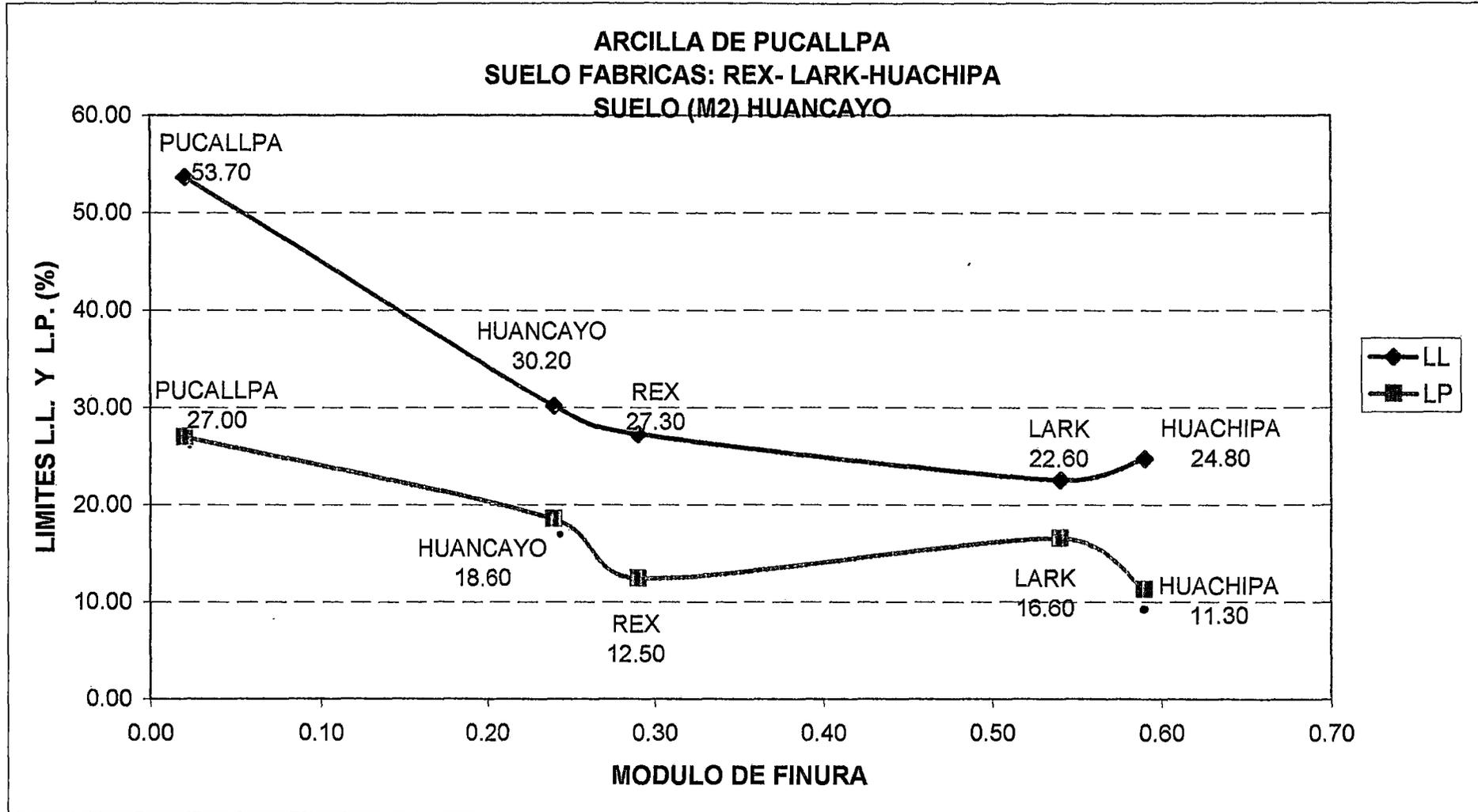
ARCILLA DE PUCALLPA  
ARCILLA FABRICAS: REX-LARK-HUACHIPA  
ARCILLA HUANCAYO (M1)



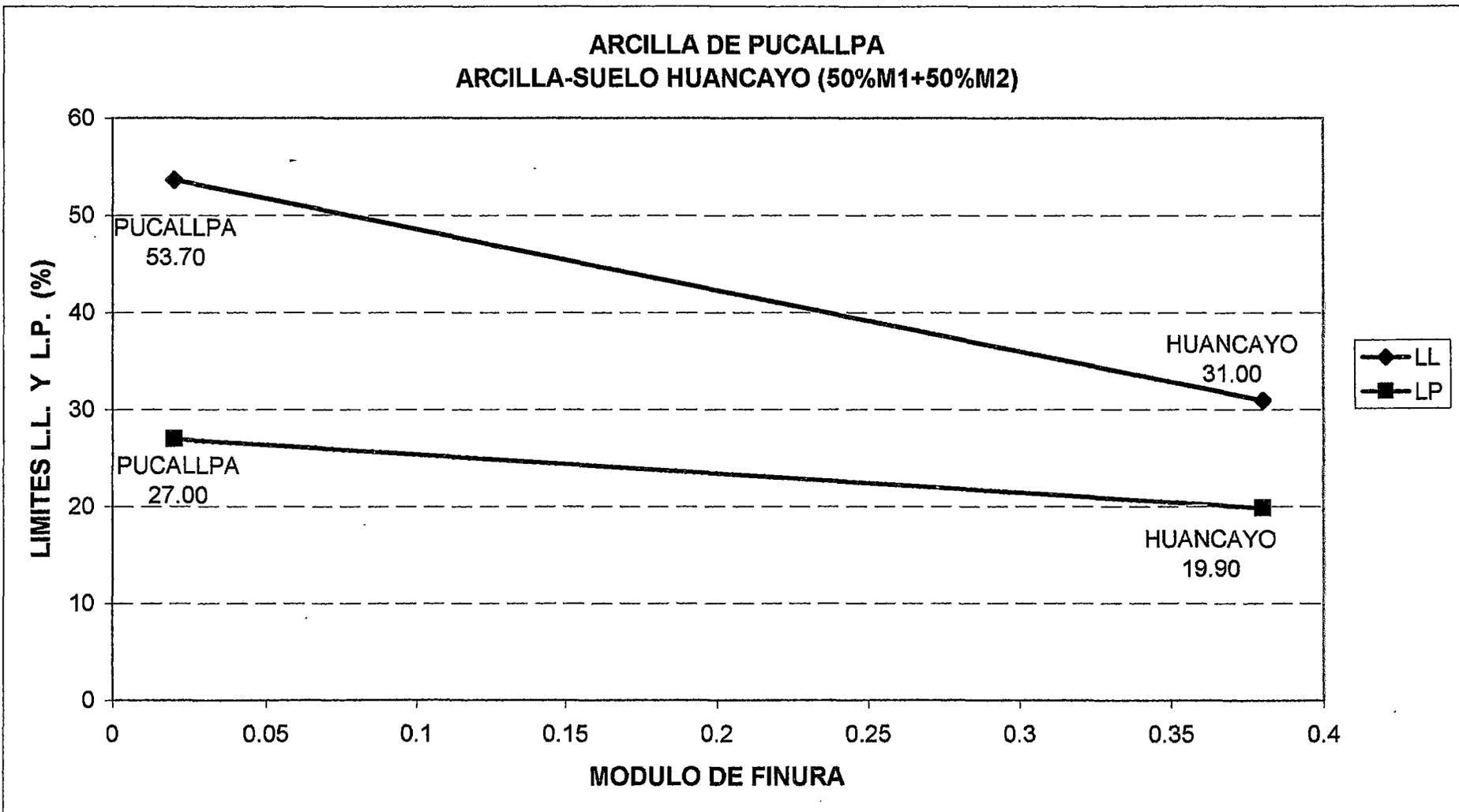
# ENSAYO LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO



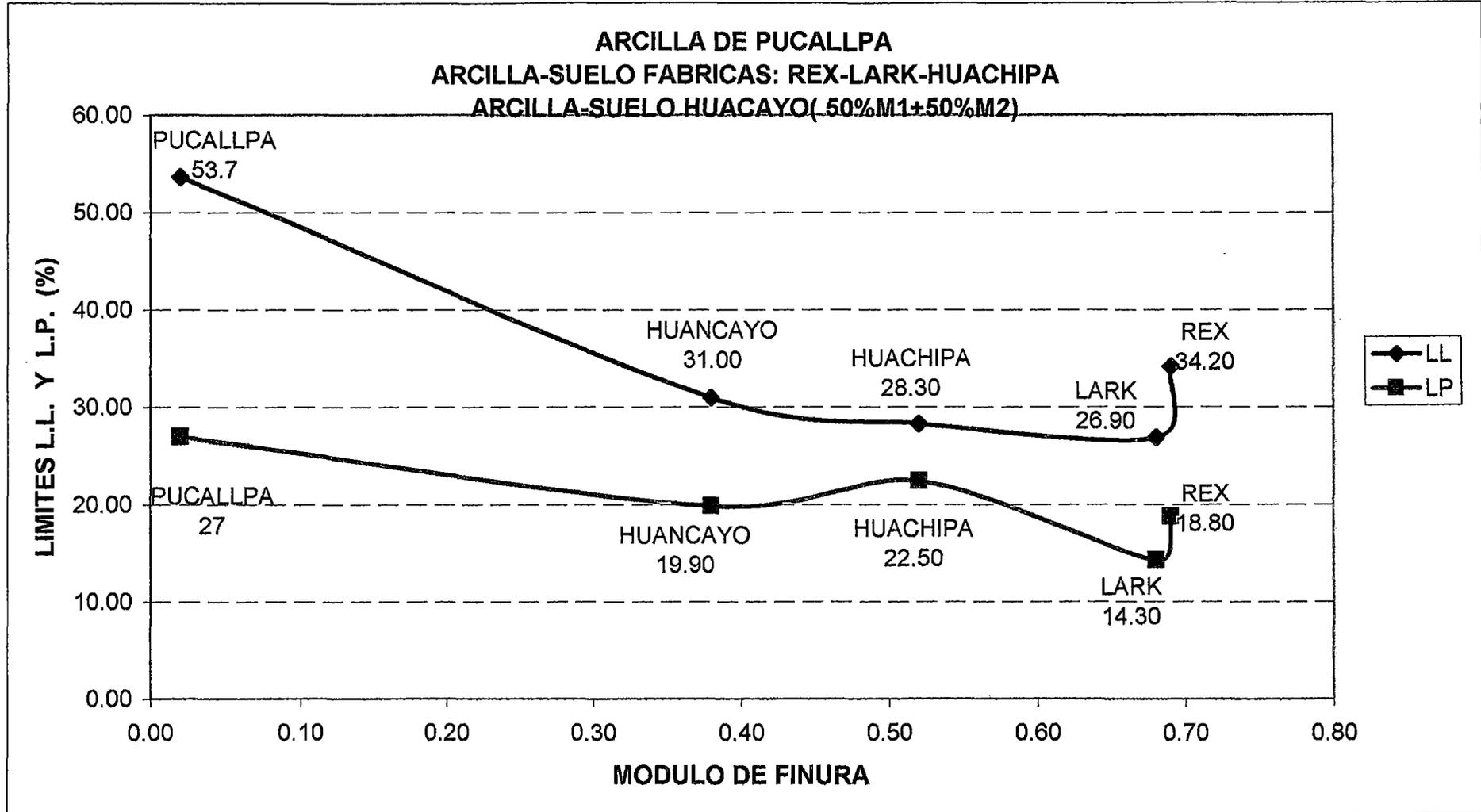
# ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO



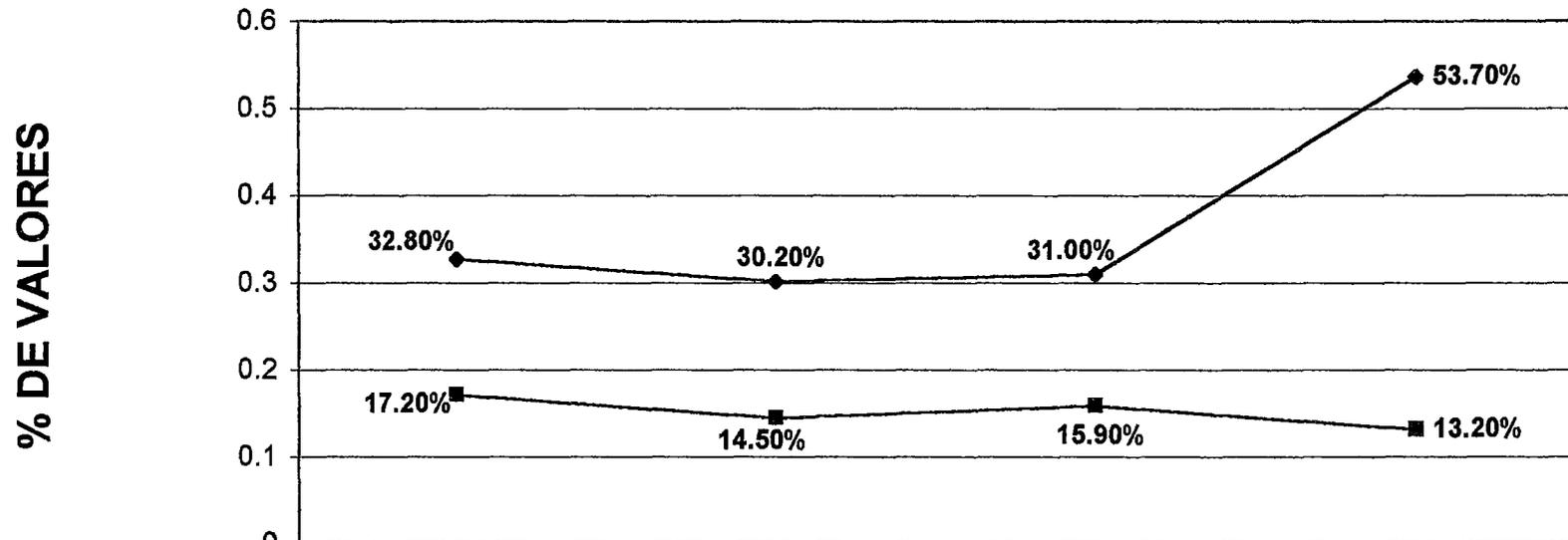
# ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO



# ENSAYO LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO



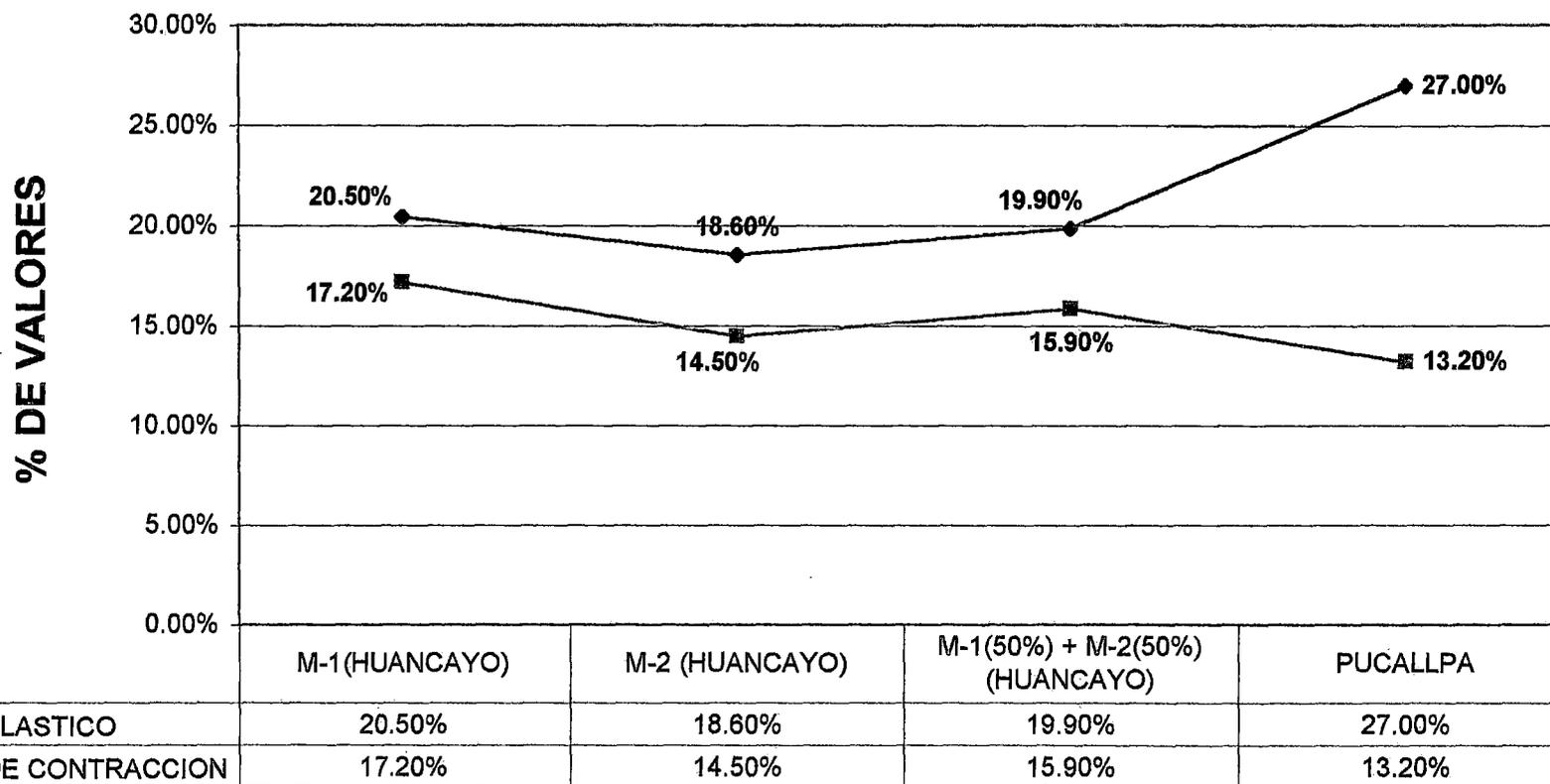
## CUADRO COMPARATIVO ENTRE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE DE CONTRACCION DE HUANCAYO Y PUCALLPA



	M-1(HUANCAYO)	M-2 (HUANCAYO)	M-1(50%) + M-2(50%) (HUANCAYO)	PUCALLPA
◆ LIMITE LIQUIDO %	0.328	0.302	0.31	0.537
■ LIMITE DE CONTRACCION %	0.172	0.145	0.159	0.132

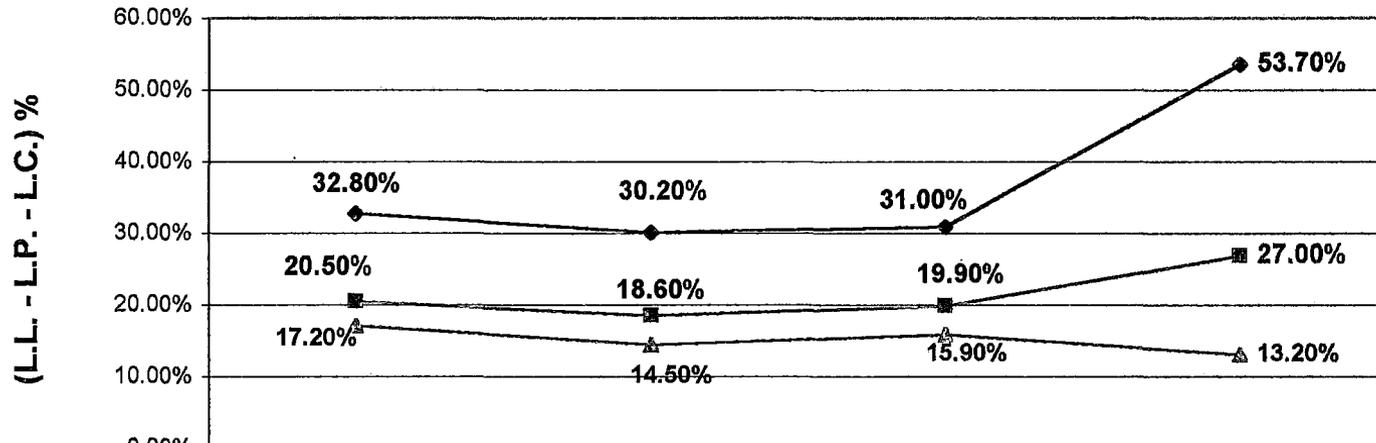
**MUESTRA**

## CUADRO COMPARATIVO ENTRE LIMITE PLASTICO Y LIMITE DE CONTRACCION DE HUANCAYO Y PUCALLPA



**MUESTRA**

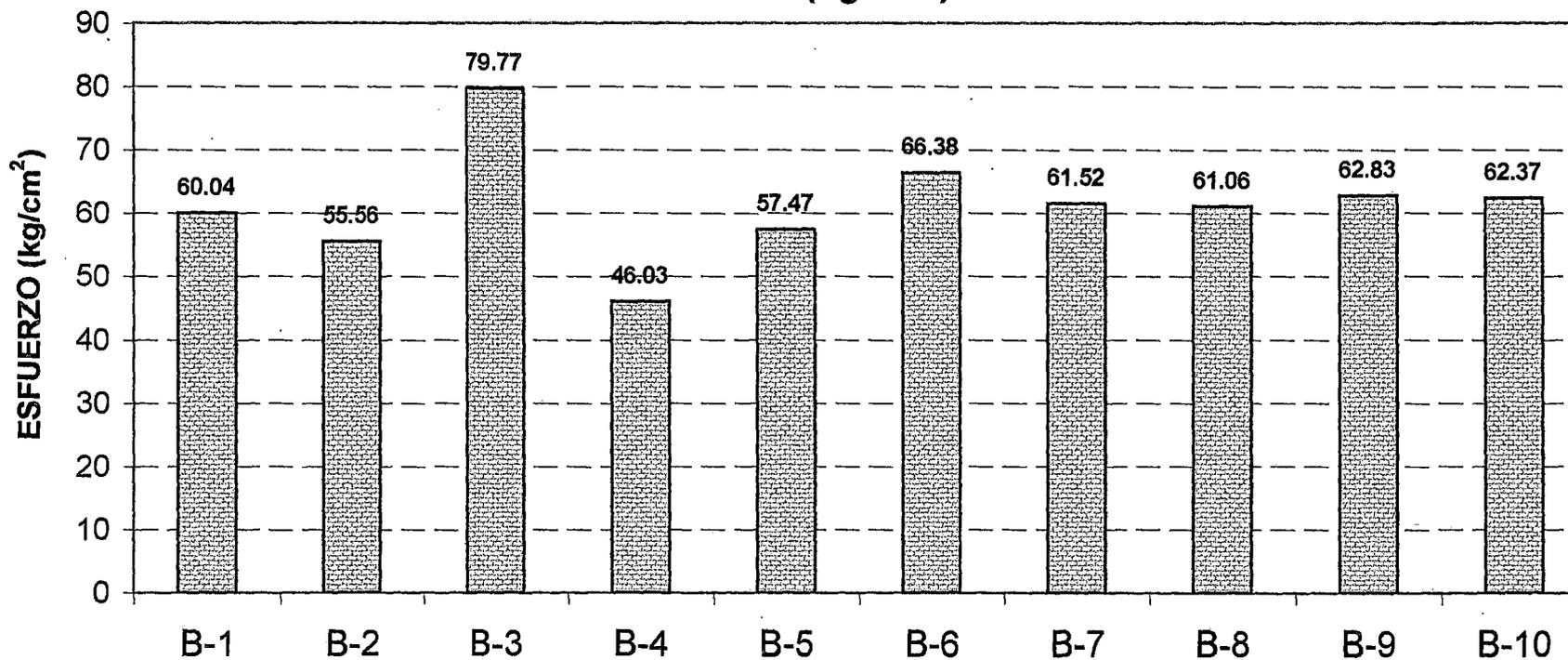
## CUADRO COMPARATIVO ENTRE LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO Y LIMITE DE CONTRACCION DE HUANCAYO Y PUCALLPA



	M-1(HUANCAYO)	M-2 (HUANCAYO)	M-1(50%) + M-2(50%) (HUANCAYO)	PUCALLPA
● LIMITE LIQUIDO %	32.80%	30.20%	31.00%	53.70%
■ LIMITE PLASTICO %	20.50%	18.60%	19.90%	27.00%
▲ LIMITE DE CONTRACCION %	17.20%	14.50%	15.90%	13.20%

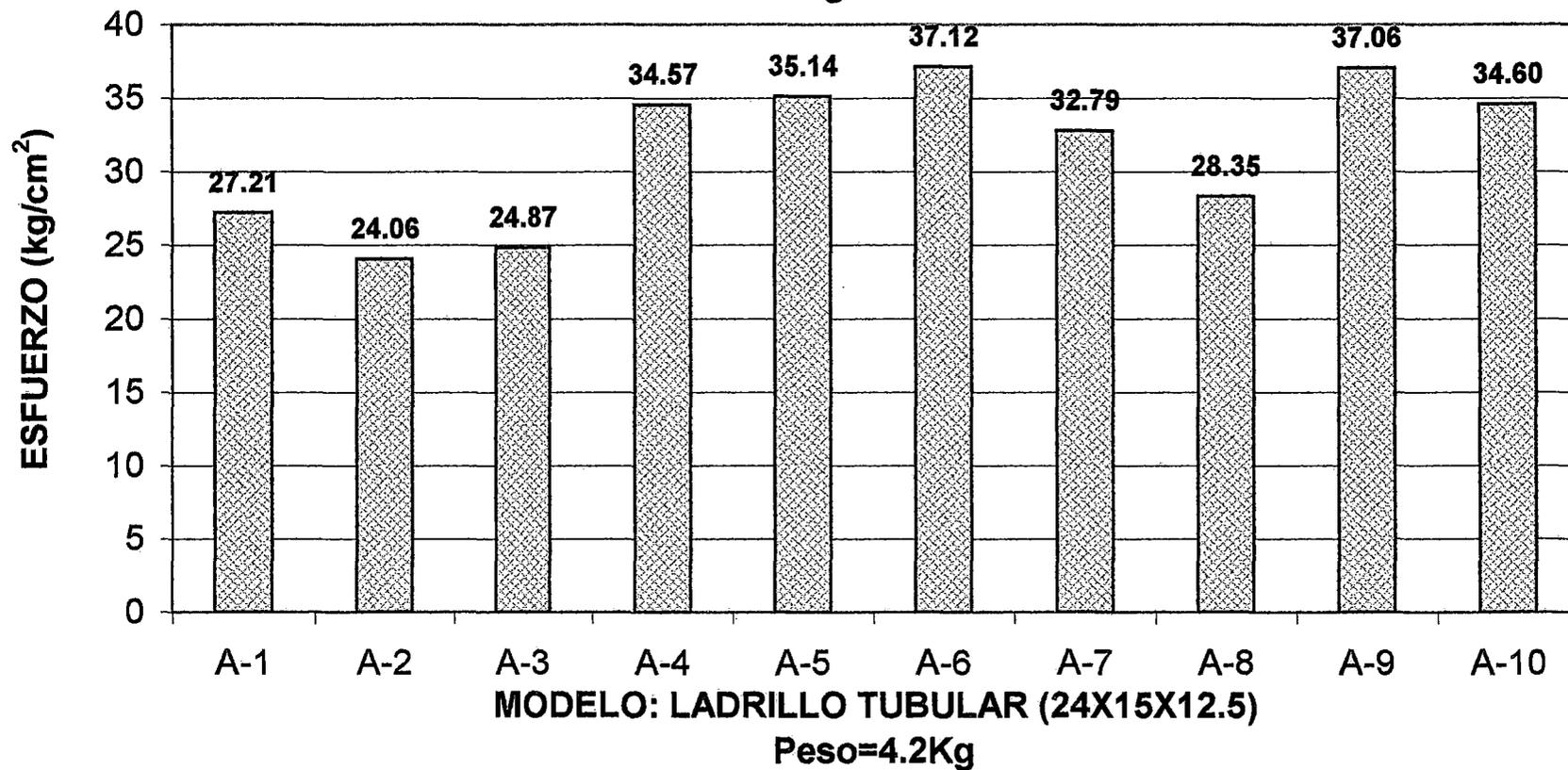
**MUESTRA**

**RESULTADOS A LA COMPRESION  
MUESTRAS LADRILLOS DE HUANCAYO  
ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)**



**MODELO: Macizo KK (23X12X8)  
PESO=31.51 Kg**

**RESISTENCIA A LA COMPRESION  
MUESTRAS DE LADRILLOS DE PUCALLPA  
ESFUERZO kg/cm<sup>2</sup>**



**ANEXO B:**  
**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

331.017



*indecopi*

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA DE LA  
COMPETENCIA Y DE LA PROTECCIÓN  
DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL

COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y COMERCIALES

# NORMA TECNICA PERUANA

PERU	ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA	ITINTEC
NORMA TECNICA NACIONAL	Ladrillos de Arcilla usados en Albañilería. Requisitos	331.017
		Octubre, 1978



1. NORMAS A CONSULTAR

- ITINTEC 331.018 Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Métodos de ensayo .
- ITINTEC 331.019 Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Muestreo y clasificación .
- ITINTEC 821.003 Sistema Internacional de Unidades y recomendaciones para el uso de sus múltiplos y algunas otras unidades.

2. OBJETO

2.1 La presente Norma establece las definiciones, clasificación, condiciones generales y requisitos que debe cumplir el ladrillo de arcilla , usado en albañilería.

3. DEFINICIONES

3.1 Materia Prima

3.1.1 Arcilla .- Es el agregado mineral terroso o pétreo que contiene esencialmente silicatos de aluminio hidratados. La arcilla es plástica cuando está suficientemente pulverizada y saturada, es rígida cuando está seca y es vidriosa cuando se quema a temperatura del orden de 1 000°C .

3.1.2 Esquisto arcilloso .- Es la arcilla estratificada en capas finas, sedimentadas y consolidadas, con un clivaje muy marcado paralelo a la estratificación.

3.1.3 Arcilla superficial .- Es la arcilla estratificada no consolidada que se presenta en la superficie.

3.2 Manufactura

3.2.1 Artesanal .- Es el ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano o con maquina elemental que en ciertos casos extruye, a baja presión, la pasta de arcilla. El procedimiento de moldaje exige que se use arena o agua para evitar que la arcilla se adhiera a los moldes dando un acabado característico al ladrillo. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad.

INSTITUTO DE INVESTIGACION Y NORMAS TECNICAS - INDUS-OPPI

3.2.2 Industrial .- Es el ladrillo fabricado con maquinaria que amasa, moldea y prensa o extruye la pasta de arcilla. El ladrillo producido industrialmente se caracteriza por su uniformidad.

### 3.3 Designación

Es la manera elegida para denominar al ladrillo de acuerdo a sus características.

3.3.1 El ladrillo se designará por su tipo (Ver 4.0) , por su sección (macizo, perforado o tubular, Ver 3,4) y por sus dimensiones (Ver 3.5) , largo (cm) x ancho (cm) y alto (cm) .

Ejemplo .- Un ladrillo sin huecos que cumple con los requisitos para Tipo III - macizo - 24 x 14 x 10" ; y si se usa se de canto "Tipo III macizo - 24 x 10 x 14" .

### 3.4 Ladrillo

Es la unidad de albañilería fabricada de arcilla moldeada, extruida o prensada en forma de prisma rectangular y quemada o cocida en un horno.

3.4.1 Ladrillo macizo .- Es el ladrillo en que cualquier sección paralela a la superficie de asiento tiene un área neta equivalente al 75 % o más de área bruta de la misma sección.

3.4.2 Ladrillo perforado .- Es el ladrillo en que cualquier sección paralela a la superficie de asiento tiene un área neta equivalente a menos de 75 % del área bruta de la misma sección.

3.4.3 Ladrillo tubular .- Es el ladrillo con huecos paralelos a la superficie de asiento.

### 3.5 Dimensiones y áreas

3.5.1 Dimensiones especificadas .- Son las dimensiones a las cuales debe conformarse el ladrillo de acuerdo a su designación.

3.5.2 Dimensiones .- Dimensiones reales que tiene el ladrillo.

3.5.3 Largo .- Es la mayor dimensión de la superficie de asiento del ladrillo.

3.5.4 Ancho .- Es la menor dimensión de la superficie de asiento del ladrillo.

3.5.5 Alto .- Es la dimensión perpendicular a la superficie de asiento del ladrillo.

3.5.6 Area bruta .- Es el área total de la superficie de asiento , obtenida de multiplicar su largo por su ancho.

3.5.7 Area neta .- Es el área bruta menos el área de los vacíos.

#### 4. CLASIFICACION

El ladrillo se clasificará en cinco tipos de acuerdo a sus propiedades (Ver tabla 1 y Tabla 2).

- 4.1 Tipo I .- Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- 4.2 Tipo II .- Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderadas.
- 4.3 Tipo III .- Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- 4.4 Tipo IV .- Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- 4.5 Tipo V .- Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

#### 5. CONDICIONES GENERALES

El ladrillo Tipo III, Tipo IV, y Tipo V deberá satisfacer las siguientes condiciones generales. Para el ladrillo Tipo I y Tipo II estas condiciones se considerarán como recomendaciones.

- 5.1 El ladrillo no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.
- 5.2 El ladrillo estará bien cocido, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. Al ser golpeado con un martillo u objeto similar producirá un sonido metálico.
- 5.3 El ladrillo no tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras o grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad y/o resistencia.
- 5.4 El ladrillo no tendrá excesiva porosidad, ni tendrá manchas o vetas blanquesinas de origen salitrosos o de otro tipo.

#### 6. REQUISITOS

- 6.1 Variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión y densidad .- El ladrillo ensayado mediante los procedimientos descritos en la Norma ITINTEC 331.018 (Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Métodos de ensayo), deberá cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 1.

TABLA 1.- REQUISITOS OBLIGATORIOS : Variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión y densidad

TIPO	VARIACION DE LA DIMENSION ( 1 ) (máxima en porcentaje)			ALABEO (2) (máximo en mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (mínima daN/cm <sup>2</sup> )	DENSIDAD (mínimo en g/cm <sup>3</sup> )
	NORMA TECNICA NACIONAL ITINTEC 331.018					
	Hasta 10 cm	Hasta 15 cm	Más de 15 cm			
I Alternati- vamente	+ 3 - 3	+ 6 - 6	+ 4 - 4	10	Sin límite	1,50
					60	Sin límite
II Alternati- vamente	+ 7 - 7	+ 6 - 6	+ 4 - 4	8	Sin límite	1,60
					70	1,55
III	+ 5 - 5	+ 4 - 4	+ 3 - 3	6	95	1,60
IV	+ 4 - 4	+ 3 - 3	+ 2 - 2	4	130	1,65
V	+ 3 - 3	+ 2 - 2	+ 1 - 1	2	180	1,70

NOTA 1.- La variación de la dimensión se aplica para todas y cada una de las dimensiones del ladrillo y está referida a las dimensiones especificadas.

NOTA 2.- El alabeo se aplica para concavidad o convexidad.

6.2 Absorción y coeficiente de saturación.- El ladrillo ensayado mediante el procedimiento descrito en la Norma ITINTEC 331.018 (Elementos de Arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Métodos de ensayo) deberá cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 2.

TABLA 2 .- REQUISITOS COMPLEMENTARIOS : Absorción y coeficiente de saturación .

TIPO	ABSORCION (máxima en porcentaje) (1)	COEFICIENTE DE SATURACION (máximo) (2)
	NORMA TECNICA NACIONAL	ITINTEC 331.013
I	Sin límite	Sin límite
II	Sin límite	Sin límite
III	25	0,90
IV	22	0,88
V	22	0,33

NOTA 1 .- El ensayo de absorción máxima sólo es exigible cuando el ladrillo estará en contacto directo con lluvia intensa, terreno o agua.

NOTA 2 .- El ensayo de coeficiente de saturación sólo es exigible para condición de intemperismo severo.

6.3 Durabilidad .- La Tabla 3 indica el tipo de ladrillo a emplearse según la condición de uso y la condición de intemperismo a que se encontrará sometida la construcción de albañilería.

TABLA TIPO 3 .- Tipo de ladrillo en función de condiciones de uso e intemperismo .

CONDICION DE USO	CONDICION DE INTEMPERISMO		
	BAJO	MODERADO	SEVERO
Para superficies que no están en contacto directo con lluvia intensa, terreno o agua	Cualquier Tipo	Tipos II, III IV y V	Tipos IV y V
Para superficie en contacto directo con lluvia intensa, terreno o agua	Tipos III, IV y V	Tipos IV y V	Ningún tipo

NOTA 1 .- La condición de intemperismo está asociada al índice de degradación. Este tiene un valor de 99 para las regiones de degradación baja, de 100 a 499 para las regiones de degradación moderada y de 500 o más para las regiones de degradación severa.

NOTA 2 .- La definición de índice de degradación se incluye en el apéndice A .

## ANTECEDENTES

- Proyecto de Investigación 3120  
"Investigación del ladrillo de arcilla fabricado en el Perú para la elaboración de la Norma Técnica Nacional".
- Proyecto de Norma Técnica, resultado de la Investigación .
- Normas Extranjeras ASTM (EE UU), ISO (Internacional) NF (Francesa) INDITECNOR (Chilena) INEN (Ecuatoriana) IRAM (Argentina) ABNT (Brasilera) UNIT (Uruguay) ICONTEC (Colombiana) BSI (Inglesa) SABS (Sud Africana) .

A P E N D I C E " A "

PROPIEDADES DEL LADRILLO DE ARCILLA

EN RELACION A SU UTILIZACION EN ALBANILERIA

Para la elaboración de la NORMA TECNICA NACIONAL PARA EL LADRILLO DE ARCILLA EN ALBAÑILERIA se ha tenido en cuenta, principalmente, aquellos requisitos del ladrillo que afectan el comportamiento, la calidad y las propiedades de las construcciones de albañilería. En este contexto es imprescindible tener en cuenta que si bien existe relación entre las propiedades del ladrillo y las de la albañilería, estas propiedades en ningún modo son idénticas, ya que se trata, en realidad, de dos materiales distintos.

Consecuentemente, se ha considerado necesario incluir en este Apéndice "A" una explicación sucinta acerca de la relación entre las propiedades de ambos materiales; en particular se analiza aquellas propiedades materia de la Norma, pero también se evalúan aquellas otras que, aunque no están normadas, puedan influir en la calidad de la albañilería y que por lo tanto, deberán formar parte de las especificaciones de construcción.

Los criterios que permitieron definir los requisitos y ensayos que debían incluirse en la Norma y aquellos que podían quedar sólo como recomendación, se establecieron en base a los resultados de la investigación y ensayo de ladrillos típicos producidos en 31 ladrilleras representativas ubicadas en 14 departamentos del Perú.

Adicionalmente, se consideró necesario incluir en la Norma sólo aquellas propiedades y ensayos, cuya medición es compatible con los recursos técnicos o facilidades de laboratorio con que se cuenta en las diferentes localidades del país. Esta decisión se refleja en los requisitos de clasificación para cada tipo.

#### A.1 GEOMETRIA ; VARIACION DE DIMENSIONES O ALABEO

En términos generales ningún ladrillo conforma perfectamente con sus dimensiones especificadas. Existen diferencias de largo, de ancho y alto así como deformaciones de la superficie asimilables a concavidades o convexidades. El efecto de estas imperfecciones geométricas en la construcción de albañilería se manifiesta en la necesidad de hacer juntas de mortero mayores que las convenientes. A mayores imperfecciones mayores espesores de juntas.

El mortero cumple en la albañilería dos funciones, la primera es separar los ladrillos de modo tal de absorber las irregularidades de estos y, la segunda, es pegar los ladrillos de modo tal que la albañilería no sea un conjunto de piezas sueltas, sino un todo. Para la albañilería de buena calidad se estima que un espesor de juntas de 10 mm a 12 mm es adecuado y suficiente. Cuando las imperfecciones del ladrillo exceden los valores indicados para el Tipo IV el espesor de la junta tiene que ser necesariamente mayor de 12 mm. Se considera que la resistencia de la albañilería disminuye aproximadamente en 15 % por cada incremento de 3 mm en el espesor de la junta de mortero.

En resumen, las imperfecciones geométricas del ladrillo inciden en la resistencia de la albañilería. A más y mayores imperfecciones menor resistencia de la albañilería.

Adicionalmente, resulta obvio que el aspecto de la albañilería se deteriora con imperfecciones crecientes en el ladrillo.

## A.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión de la albañilería ( $f'm$ ) es su propiedad más importante. En términos generales, define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro. Los principales componentes de la resistencia a la compresión de la albañilería son: la resistencia a la compresión del ladrillo ( $f'b$ ), la perfección geométrica del ladrillo, la calidad de mortero empleado para el asentado de ladrillo y la calidad de mano de obra empleada.

De todos los componentes anteriormente citados, los pertinentes a una norma de ladrillo son la resistencia a la compresión y la geometría del ladrillo. En el acápite 1 de este Apéndice "A" se ha explicado la influencia de la perfección geométrica del ladrillo, queda por precisar la relación de la resistencia a la compresión del ladrillo con la de la albañilería.

Se estima que la resistencia a la compresión de la albañilería, representada por la prueba a rotura de un prisma normalizado, es del 25 % al 50 % de la resistencia a la compresión del ladrillo. Los valores más bajos (25 %) corresponden a condiciones de construcción y calidad de mortero bajas y los más altos (50 %) representan el límite superior de la albañilería obtenible con un determinado ladrillo en condiciones óptimas. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que la forma de falla a compresión es diferente en la prueba del prisma de albañilería que en la prueba del ladrillo. En el primer caso la falla ocurre por una combinación de compresión axial y tracción lateral (causada por el escurrimiento del mortero de las juntas), mientras que en la prueba del ladrillo la falla ocurre por aplastamiento o corte.

Finalmente, para mantener la coherencia de la clasificación la Norma relaciona, para cada Tipo de ladrillo, la resistencia a la compresión con la perfección geométrica y con las otras propiedades exigibles. De este modo se asegura la normalización de un ladrillo que puede ser empleado en diseños más exigentes y en construcciones con un mejor control, en otras palabras con más eficiencia y economía.

## A.3 DENSIDAD

A partir de los ensayos realizados se ha establecido que existe una relación estrecha entre la densidad del ladrillo y sus otras propiedades. A mayor densidad mejores propiedades de resistencia y de perfección geométrica.

Consecuentemente, se ha decidido emplear en la Norma el valor de la densidad como un criterio que permite de una manera simple, mediante ensayos fáciles de efectuar prácticamente en cualquier lugar, evaluar la calidad de ladrillo con que se cuenta.

#### A.4 MODULO DE RUPTURA

Se ha dicho que la propiedad característica de la albañilería es su resistencia a la compresión. Cuando un prisma de albañilería es sometido a una carga de compresión la primera falla ocurre al rajarse verticalmente los ladrillos, como consecuencia de la tracción lateral ocasionada por la tendencia del mortero a fluir lateralmente y escapar de entre los mismos. Consecuentemente, al aumentar la resistencia a la tracción del ladrillo se aumenta también la resistencia a la compresión de la albañilería.

El módulo de ruptura es una medida aproximada de la resistencia a la tracción del ladrillo.

Esta propiedad no ha sido considerada como requisito para la clasificación del ladrillo en virtud de haberse establecido que su valor está relacionado con la resistencia a la compresión y en razón de que la información cuantitativa que ella proporciona acerca de la albañilería no puede establecerse.

Sin embargo, se recomienda la medición del módulo de ruptura cuando se trata de ladrillos tipo IV y tipo V ya que permitirá una mejor selección del ladrillo que se propone emplear.

A manera de referencia se indica a continuación el valor mínimo aproximado obtenible para cada Tipo de ladrillo :

<u>TIPO</u>	<u>MODULO DE RUPTURA (daN/cm<sup>2</sup>)</u>
I	6
II	7
III	8
IV	9
V	10

#### A.5 ABSORCION MAXIMA

La absorción máxima del ladrillo es considerada como una medida de su impermeabilidad. Los valores indicados como máximos en la Norma se aplican a condiciones de uso en que se requiera utilizar el ladrillo en contacto constante con agua o con el terreno, sin recubrimiento protector.

Tal es el caso de cisternas, jardineras y albañilería de ladrillo visto en zonas muy lluviosas.

#### A.6 COEFICIENTE DE SATURACION

El coeficiente de saturación es considerado como una medida de la durabilidad del ladrillo cuando se encuentra sometido a la acción de la intemperie.

El coeficiente de saturación es la relación que existe entre la absorción del ladrillo (cuando se le sumerge en agua un número de horas determinado) y la absorción máxima de ladrillo (medida luego de 5 horas de ebullición). A mayor coeficiente de saturación, mayor será la cantidad de agua que absorbe rápidamente el ladrillo y consecuentemente inferior su resistencia a la intemperie. Así un ladrillo con un coeficiente de saturación menor de 0,8 es poco absorbente y es utilizable para cualquier clima o condición de intemperismo, y un ladrillo con un coeficiente de saturación de 1 es muy absorbente y sólo es utilizable cuando se protege de la intemperie mediante recubrimiento adecuados.

Este criterio de resistencia al intemperismo ha sido incorporado en la Norma para asegurar la adecuada durabilidad de la construcción de albañilería cuando existen condiciones de uso e intemperismo particularmente exigentes.

#### A.7 INDICE DE DEGRADACION

El efecto de la exposición a la intemperie en los ladrillos tiene que ver con el "Índice de degradación" que equivale al producto de la cifra del promedio anual de días de ciclo de congelamiento y el promedio anual de precipitación invernal (en pulgadas), definidos de la siguiente forma:

Un día de ciclo de congelamiento es cualquier día en el cual la temperatura del aire pasa por encima o por debajo de 0°C. El número promedio de días de ciclo de congelamiento en un año puede ser considerado como igual a la diferencia entre el número medio de días durante los cuales la temperatura máxima fue de 0°C o menos.

La precipitación invernal es la suma, en pulgadas de la precipitación media mensual corregida que ocurre durante el período entre la primera helada temprana en el otoño y la fecha normal de la última helada temprana de la primavera. La precipitación invernal para cualquier período es igual a la precipitación total menos un décimo de la caída total de nieve, hielo o granizo. La precipitación para cualquier porción del mes se obtiene haciendo el prorrateo.

La región de degradación severa tiene un índice de degradación de 500 ó más. La región de degradación moderada tiene un índice de degradación de 100 ó 499. La región de degradación insignificante tiene índices de degradación de 99 ó menos.

Para evaluar las condiciones de intemperismo se seleccionaron las ciudades de Huancavelica y Puno y se utilizó la información disponible del SENAMHI de los últimos 5 años. Para estas ciudades se obtuvo un índice de degradación de 210 y 250 respectivamente, concluyéndose que en el país las áreas urbanas no se presentan en zonas con intemperismo severo. Sin embargo se ha dejado abierta en la Norma la posibilidad de que se requiera edificar en zonas con intemperismo severo empleando ladrillo.

### A.8 SUCCION

Está demostrado que con ladrillos que tienen una succión excesiva no se logra, usando métodos ordinarios de construcción, uniones adecuadas entre el mortero y el ladrillo. El mortero, debido a la rápida pérdida de parte del agua que es absorbida por el ladrillo, se deforma y endurece no logrando un contacto completo e íntimo con la cara del siguiente ladrillo. El resultado es una adhesión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua.

Se considera que para succiones mayores de 20 gramos por minuto en un área de 200 cm<sup>2</sup> es requisito indispensable que los ladrillos se saturen antes de su uso.

De las pruebas realizadas se ha obtenido los siguientes valores según los tipos de ladrillo :

<u>TIPO</u>	<u>SUCCION PROMEDIO (en gramos / 200 cm<sup>2</sup>)</u>
I	61
II	66
III	53
IV	No se obtuvo valores
V	38

Al obtenerse valores de succión promedio sustancialmente mayores que el límite indicado, se concluye que es indispensable que todo el ladrillo de arcilla se sature con agua inmediatamente antes de asentarlo la forma de efectuar esta operación dependerá de la retentividad del mortero a emplearse.

Esta propiedad no está normada como requisito ya que todo el ladrillo investigado excede el límite ; sin embargo se incluye la prueba de succión para aquellos ladrillos de arcilla que eventualmente puedan no requerir el tratamiento de saturado con agua.

### A.9 EFLORESCENCIA

En el contexto de la Norma, la eflorescencia es una medida del afloramiento y cristalización de las sales solubles contenidas en el ladrillo cuando éste es humedecido. La objeción principal a la eflorescencia es su efecto sobre la apariencia de la albañilería; sin embargo puede ocurrir si las sales que se cristalizan se encuentran en cantidad importante que la presión que estos cristales ejerzan al crecer causen rajaduras y disgregación de la albañilería. Esta posibilidad debe analizarse en el caso en que la muestra sometida al ensayo se calificada como "eflorescida".

No obstante que esta propiedad no está normada como requisito se recomienda realizarla en los casos en que se trate de acabados de ladrillo visto o cuando la albañilería se encontrará sometida a humedad intensa y constante .

A P E N D I C E " B "

EQUIVALENCIAS DE UNIDADES SI CON UNIDADES  
TRADICIONALES

Teniendo en cuenta que las unidades empleadas en la presente Norma estan conformes con la Norma Técnica ITINTEC 821.003 "Sistema Inter nacional de unidades y recomendaciones para el uso de sus múltiplos y algunas otras unidades" cuyo uso no esta generalizado por la exis tencia de unidades empleadas tradicionalmente en documentos de estu dio y equipos, se hace necesario la inclusión de la tabla de equiva lencias siguiente :

EQUIVALENCIAS DE UNIDADES SI CON UNIDADES  
 TRADICIONALES

Unidades SI	Otras Unidades del SI	Unidades Tradicionales
Pa (pascal)* N (Newton)*	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> 1 N = 1 kg m/s <sup>2</sup>	0,10 kgf/m <sup>2</sup> 0,10 kgf
100 Pa 10 000 Pa	1 N/dm <sup>2</sup> 1 N/cm <sup>2</sup>	0,10 kgf/dm <sup>2</sup> 0,10 kgf/cm <sup>2</sup>
1 000 000 Pa 1 MPa	1 daN/cm <sup>2</sup> = 10 N/cm <sup>2</sup> 1 000 000 Pa	1 kgf/cm <sup>2</sup>
1 MPa 0,1 MPa	100 N/cm <sup>2</sup> 10 N/cm <sup>2</sup>	10 kgf/cm <sup>2</sup> 1 kgf/cm <sup>2</sup>

\* Unidades Derivadas SI aprobadas

\* \* \* \* \*

# DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

MTC E110-1999

## 1. OBJETO

- 1.1 El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.
- 1.2 El valor observado o calculado deberá aproximarse al centésimo.

## 2. APARATOS

2.1 *Cápsula de evaporación.* Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente.

2.2 *Espátula.* Hoja flexible de 75 mm (3") de longitud y 20 mm (3/4") de ancho aproximadamente.

2.3 *Aparato del límite líquido (o de Casagrande).*

De operación manual. Es un aparato consistente en una laza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 1.

De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

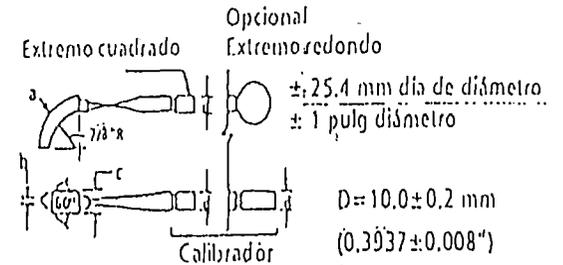
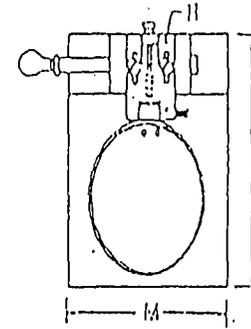
2.4 *Acanalador.* Conforme con las dimensiones críticas indicadas en las figuras 1 y 2.

2.5 *Calibrador.* Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de 10.00 ± 0.2 mm (0.394 ± 0.008") de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.

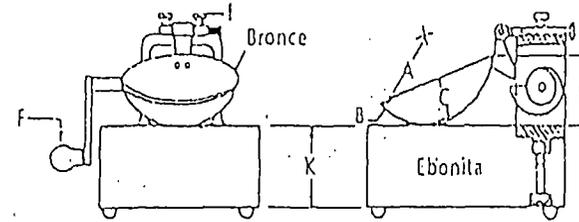
2.6 *Rocpiontas o Posn Filtras.* De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.

2.7 *Balanza.* Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.

2.8 *Estufa.* Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) para secar la muestra.



Ranurador de Casagrande



Tablas de medidas

Dimensiones	Aparato de Límite Líquido							Ranurador		
	Conjunto de la cazuela			Base				Extremo curvado		
Descripción	A	B	C	N	K	L	M	a	b	c
Métrico, mm	54	2.0	27	47	50	150	125	10.0	2.0	13.5
Tolerancia, mm	2	0.1	1	1.5	5	5	5	0.1	0.1	0.1
Inglés, pulg	2.13	.079	1.063	1.850	1.97	5.90	4.92	.394	.079	.531
Tolerancia, pulg	.08	.004	.04	.06	.2	.2	.2	.004	.004	.004

NOTA:

La platina "H" debe incluir un tornillo de seguridad (I).

Cuando se usan acanaladores podrá admitirse + 0.1 mm de tolerancia para "b".

Las palas para la base deberán ser de material resistente.

Las unidades métricas son las dimensiones requeridas; las inglesas son sólo aproximadas.

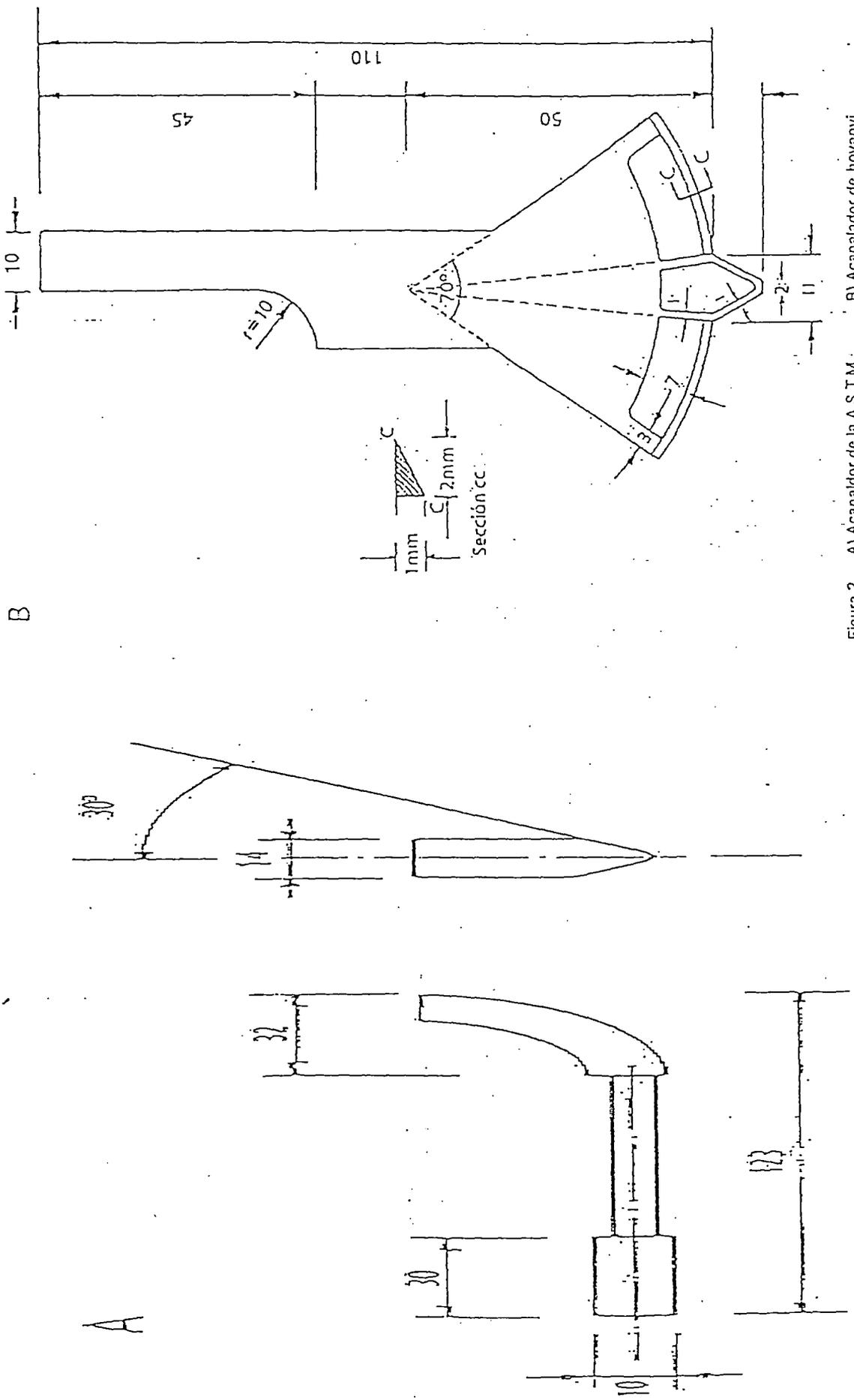


Figura 2. A) Acanalador de la A.S.T.M. B) Acanalador de hovanyí. METODO MANUAL.

### 3. MUESTRA

Tómese una muestra que pese aproximadamente 100 g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (N° 40).

### 4. AJUSTE DEL APARATO

4.1 Deberá inspeccionarse el aparato de límite líquido para verificar que se halle en buenas condiciones del trabajo. El pin que conecta la taza no debe estar tan gastado que tenga juego lateral, ni el tornillo que la conecta, hallarse tan gastado por el largo uso. Inspecciónese, además, el acanalador para verificar que las dimensiones límites son las indicadas en las figuras 1 y 2.

- Se considera desgaste excesivo, cuando el diámetro del punto de contacto sobre la base de la taza excede de 13 mm (0.5") o cuando cualquier punto sobre el borde de la misma se ha desgastado aproximadamente en la mitad del espesor original. Aun cuando se aprecie una ligera ranura en el centro de la taza, ésta no es objetable. Pero si la ranura se pronuncia antes de que aparezcan otros signos de desgaste, debe considerarse que está excesivamente gastada y deberá reemplazarse.
- Una base que esté excesivamente desgastada puede pulirse; pero hasta cuando la tolerancia mostrada en la Figura 1 no exceda de -2.5 mm (0.1") y la distancia entre la excéntrica de la taza y la base se mantenga dentro de la tolerancia especificada en la Figura 1.

4.2 Por medio del calibrador del mango del ranurador y la platina de ajuste H (Figura 1), ajústese la altura a la cual levanta la taza, de tal manera que el punto que hace contacto con la base al caer esté exactamente a 1 cm (0.394") sobre ésta. Asegúrese la platina de ajuste H, apretando los tornillos I con el calibrador, aún colocado, compruébese el ajuste girando la manija rápidamente varias veces. Si el ajuste es correcto, un sonido de roce se oír cuando la excéntrica golpea contra la taza, si se levanta del calibrador o no se oye ruido, hágase un nuevo ajuste.

### 5. PROCEDIMIENTO

5.1 Colóquese la muestra de suelo en la cápsula de evaporación y mézclase completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repelida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mézclase completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

- Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y durante un mayor tiempo, (1 hora aproximadamente).

5.2 Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre

colóquese una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sillio en que ésta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, exiliéndose el suelo hasta obtener la posición mostrada en la Figura 3 (con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible), teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. Nivélase el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparbéjese hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Regrésese el exceso de suelo a la cápsula de evaporación. Divídase el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas del adelanto hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hágase una ranura con el menor número de pasadas posible.



Figura 3. Diagrama ilustrativo del ensayo de límite líquido.

5.3 Elévese y golpéese la taza de bronce girando la manija F, a una velocidad de dos (2) revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

En lugar de fluir sobre la superficie de la taza algunos suelos tienden a deslizarse. Cuando esto ocurra, deberá a regarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el acanalador y se repelirá el aparte 5.3; si el suelo sigue deslizándose sobre la taza de bronce a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el límite líquido no se puede determinar.

5.4 Sáquese una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colóquese en un recipiente adecuado.

Pésese y anótese. Colóquese el suelo dentro del pesafiltro en el horno a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) hasta obtener peso constante y vuélvase a pesar tan pronto como se haya enfriado pero antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Anótese este peso, así como la pérdida de peso debida al secamiento y el peso del agua.

5.5 Transfiérase el suelo sobrante en la taza de bronce a la cápsula de porcelana. Lávese y séquese la taza de bronce y el ranurador, y ármese de nuevo el aparato del límite líquido para repelir el ensayo.

5.6 Replácese la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes.

## 6. CALCULOS

6.1 Calcúlese el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje del peso del suelo seco en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco en el horno}} \times 100$$

- Calcúlese el porcentaje de humedad, con aproximación a un entero.

6.2 Preparación de la curva de fluidez. Trácese una, "curva de fluidez" que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la taza de bronce, en un gráfico de papel semilogarítmico. Con el contenido de humedad como abscisa sobre la escala aritmética, y el número de golpes como ordenada sobre la escala logarítmica, la curva de flujo es una línea recta promedio, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados.

6.3 Límite líquido. Tómese el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo y aproxímese este valor a un número entero.

## MÉTODO MECÁNICO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO

### 7. MUESTRA

7.1 Tómese una muestra que pese aproximadamente 50 g como se explica en el numeral 3.1

### 8. PROCEDIMIENTO

8.1 El procedimiento será igual al descrito en los apartes 5.1 a 5.5, con excepción de que la muestra húmeda tomada de acuerdo con el numeral 5.4 se tomará sólo para el ensayo aceptado.

8.2 Deberán observarse por lo menos dos cierres de la ranura antes de que se acepte una de ellas para anotarla, con el fin de verificar que el número de golpes es verdaderamente característico del suelo que se está ensayando

8.3 Para lograr una precisión igual a la obtenida por el método normal de los tres (3) puntos se reducirá el número de golpes para cerrar la ranura de 22 a 20.

8.4 Se aceptarán cierres de la ranura que requieran de 15 a 40 golpes siempre y cuando que se toleren variaciones de  $\pm 5\%$  con el verdadero límite líquido.

## 9. CÁLCULOS

9.1 El contenido de humedad se calcula en la forma indicada en el aparte 6.1

## 10. LÍMITE LÍQUIDO

10.1 El límite líquido se determinará por uno de los siguientes métodos: mediante el nomograma (Figura 4); por medio del diagrama de la Figura 5; mediante regla de cálculo con una escala especial para "golpes" (Figura 6), o por cualquier otro método de cálculo que dé valores de límite líquido con la misma precisión. Se usa el método normal de los tres (3) puntos como ensayo de referencia para resolver cualquier duda.

10.2 La clave de la Figura 4 indica el modo de usar el nomograma. (Pendiente media).

10.3 El diagrama de la Figura 5 (Curva de fluidez múltiple), se usa dibujando sobre el mismo, un punto que represente el contenido de humedad vs. el número de golpes y trazando una línea por dicho punto y que sea paralela a la curva más cercana del diagrama. El límite líquido será el contenido de humedad correspondiente a la intersección de esta línea con la de 25 golpes.

## ENSAYOS DE COMPROBACIÓN

### 11. MÉTODOS QUE SE PUEDEN USAR

11.1 En caso de desacuerdos importantes y donde sea necesario hacer ensayos de comprobación, úsese el método mecánico anteriormente descrito. Los resultados de los ensayos de límite líquido son afectados:

- Por el tiempo requerido para hacerlo.
- Por el contenido de humedad con el cual se inicia el ensayo.
- Por la adición de suelo seco a la muestra preparada.

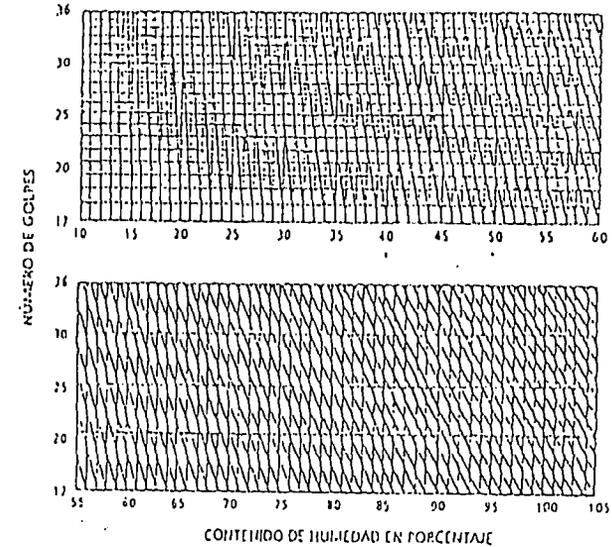
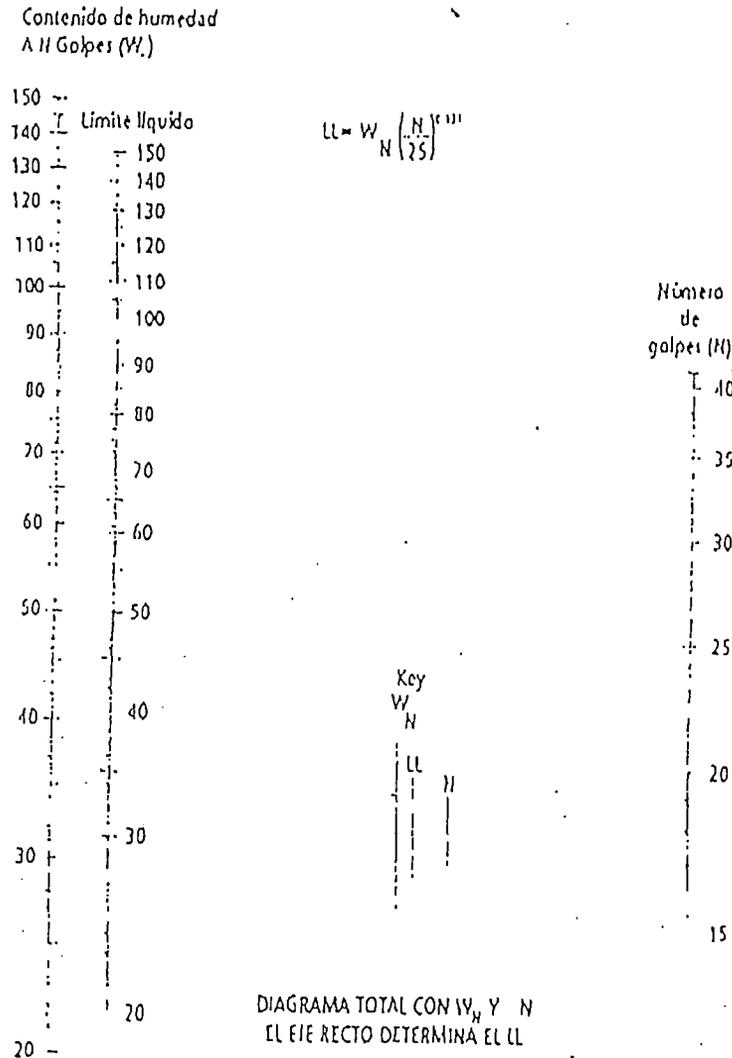


Figura 5. Diagrama efectuado por la Washington State Highway Department para el cálculo del límite líquido.

## 2. PROCEDIMIENTO

2.1 Al hacer el ensayo mecánico del límite líquido para propósitos de comprobación, usar las siguientes duraciones de tiempo:

- Mezcla de suelo con agua, 5-10 minutos, empleándose el periodo más largo para los suelos más plásticos.
- Manténgase en el humedecedor por 30 minutos.
- Remezclado antes de colocar el material en la taza de bronce: agregar 1 ml de agua y mezclar durante 1 minuto.
- Colocación de la taza de bronce, ensayo y pesada: 3 minutos.
- Lavado de la taza de bronce y ranurador, agregando agua y volviendo a mezclar: 3 minutos.

Figura 4. Nomograma desarrollado por la Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, U.S. Army, para determinar el límite líquido usando el método de la pendiente media.

12.2 No se debe reportar ningún ensayo que haya requerido más de 35 o menos de 15 golpes de la taza de bronce. En ningún caso debe agregarse material seco a la muestra húmeda en la taza, para disminuir la humedad o para aumentar la cantidad de muestra.

#### 14. REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T89
ASTM	D423

## LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

MTC E111-1999

### 1. OBJETO

1.1 Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

1.2 Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

### 2. APARATOS

2.1 *Espátula, de hoja flexible*, de unos 76.2 mm (3") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

2.2 *Cápsula para evaporación*, de porcelana o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.

2.3 *Balanza*, de 100 g de capacidad con aproximación a 0.01 g.

2.4 *Horno o Estufa*, termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).

2.5 Tamiz, de 425  $\mu$ m (N° 40).

2.6 Agua destilada.

2.7 Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.

2.8 Superficie lisa. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

### 3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

3.1 Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que paso por el tamiz de 425  $\mu$ m (N° 40), obtenidos de acuerdo con las normas MTC E106-1999 o (Preparación en seco y en húmedo de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas). Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de unos 6 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

• El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

3.2 Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la muestra que paso por el tamiz de 425  $\mu$ m (N° 40), obtenidos de acuerdo con la Norma MTC E110-1999

(determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

### 4. PROCEDIMIENTO

4.1 Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

4.2 Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

• El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo:

En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

4.3 La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 5 g de suelo, y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E108-1999.

4.4 Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 4.1, 4.2 y 4.3.

### 5. RESULTADOS

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con una cifra decimal y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

### 6. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$\text{I.P.} = \text{L.L.} - \text{L.P.}$$

• Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

• Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP.

## 7. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

Investigaciones realizadas han demostrado que los resultados se repiten muy bien para un mismo operador, con tal de que posea experiencia aceptable. La principal fuente de Incertidumbre radica en las diferencias en la apreciación del punto crítico por operadores diferentes.

Si los resultados obtenidos en las dos determinaciones del límite plástico dan una dispersión apreciable, el ensayo deberá repetirse. Como una guía práctica, cuando la diferencia entre las dos determinaciones resulte mayor o igual al 2%, repita de nuevo el procedimiento y promedie los dos valores cuya diferencia sea menor del 2%.

## 8. REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T90
ASTM	D424

## DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS

MTC E112-1999

### 1. OBJETO

Obtener datos, por medio de los cuales pueden calcularse las siguientes constantes de los suelos:

- a) límite de contracción,
- b) relación de contracción,
- c) cambio de volumen,
- d) contracción lineal,
- e) peso específico (aproximado).

### 2. USO Y SIGNIFICADO

2.1 Los factores de contracción cubiertos en este ensayo pueden determinarse únicamente en suelos básicamente finos (cohesivos), que presenten resistencia cuando se les seca en el horno.

2.2 Se supone normalmente que el término límite de contracción, expresado como un porcentaje del contenido de agua, representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo cohesivo dado, cuando se halle en su relación de vacíos más baja, obtenido ese valor por secamiento (generalmente en el horno). Así, el concepto del límite de contracción puede emplearse para evaluar el potencial de contracción, o sea la posibilidad de que se desarrollen grietas en obras que incluyan suelos cohesivos.

### 3. APARATOS

3.1 *Cápsula de evaporación*, de porcelana, de 115 mm (4 1/2") y de 150 mm (6") de diámetro, aproximadamente.

3.2 *Espátula*, de 76 mm (3") de longitud y con 20 mm (3/4") de ancho.

3.3 *Recipiente para contracción o cápsula*, de porcelana o de metal monel (aleación de níquel y cobre) con una base plana y de 45 mm (1 3/4") de diámetro y 12.7 mm (1/2") de altura.

3.4 *Regla*, de metal de 100 mm (4") o más de longitud.

3.5 *Recipiente de vidrio*, con 50 mm (2") de diámetro y 25 mm (1") de altura, con bordes lisos y nivelados.

3.6 *Placa de vidrio*, con tres patas metálicas salientes para sumergir la muestra de suelo en mercurio.

3.8 *Balanza*, con sensibilidad de 0.1 g.

3.9 *Mercurio*, suficiente para llenar el recipiente de vidrio, hasta que reboso.

3.10 *Horno o Estufa*, termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas constantes y uniformes hasta  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F), para secar la muestra.

3.11 Guantes de asbesto y caucho.

### 4. MUESTRA

4.1 Tomar una muestra que pese 30 g aprox., de una porción de material completamente mezclado, que pase el tamiz de 0.425 mm (No. 40), de acuerdo con los métodos descritos en la Norma MTC E106-1999.

### 5. PROCEDIMIENTO

5.1 La muestra se colocará y mezclará completamente con agua destilada en la vasija de evaporación de 115 mm de diámetro (4-1/2"), en forma suficiente para llenar completamente los vacíos del suelo y para hacerla lo suficientemente pastosa, de manera que sea fácilmente trabajable en la cápsula, evitando la formación de burbujas de aire. Para suelos friables, la cantidad de agua requerida para llegar a la consistencia deseada es igual o ligeramente mayor que el límite líquido; y para suelos plásticos, la cantidad de agua puede exceder en un 10% el límite líquido.

5.2 El interior de la cápsula para contracción se revestirá con una capa delgada de vaselina, o cualquier grasa pesada, para evitar la adhesión del suelo al recipiente.

5.3 Una cantidad de suelo húmedo igual o cercano a la tercera parte del volumen del recipiente de contracción será colocado en el centro de éste y se forzará a que fluya hacia los bordes siendo golpeado suavemente sobre una superficie firme, acolchonada por varias hojas de papel secante o un material similar. Una cantidad de suelo aproximadamente igual a la primera porción, será agregada y el recipiente será golpeado hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire incluido haya sido expulsado. Se agregará más suelo y se continuarán los golpes del recipiente hasta que éste se llene completamente y reboso por los lados. El exceso de suelo se quitará con la regla metálica y el suelo adherido a la superficie externa del recipiente se limpiará.

5.4 Cuando se haya llenado el recipiente, se enrasa, se limpia y se pesa inmediatamente, se anota como peso del recipiente y del suelo húmedo ( $W_1$ ). Se dejará secar la masa de suelo en el aire, a temperatura ambiente, hasta que el color de la misma cambie de oscuro a claro. Luego ésta será secada en el horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F), hasta alcanzar peso constante; se pesará anotándose como peso del recipiente y del suelo seco ( $W_2$ ).

Muestras que contengan materia orgánica o cuya constitución pueda alterarse a la temperatura especificada, se secarán a 60 °C (140 °F).

5.5 La capacidad del recipiente de contracción, en  $cm^3$ , la cual es también el volumen de la masa de suelo húmedo, se determinará llenando el recipiente con mercurio hasta rebosar eliminando el exceso, haciendo presión con la placa de vidrio sobre la parte superior del recipiente o cápsula, y midiendo el volumen de mercurio retenido en este, con la probeta graduada. Se anotará como volumen de la masa de suelo húmedo ( $V$ ).

5.6 El volumen de la masa de suelo seco será determinado de la siguiente manera:

- El recipiente de vidrio se llenará de mercurio hasta rebosar y el exceso de mercurio deberá removerse presionando firmemente la placa de vidrio con tres salientes sobre la parte superior del recipiente.

Cualquier porción de mercurio que se derrame, la cual puede quedar adherida a la parte externa del recipiente se limpiará cuidadosamente. El recipiente lleno de mercurio se colocará en la vasija de evaporación de 150 mm (6") y la probeta de suelo se colocará sobre la superficie del mercurio. Esta será forzada cuidadosamente para sumergirla en el mercurio por medio de la placa de vidrio con las tres salientes (Figura 1), presionándola firmemente sobre el recipiente.

- Es esencial que no quede aire atrapado bajo la probeta de suelo. El volumen de mercurio que ha sido desplazado se medirá en la probeta graduada y se anotará como el volumen de suelo seco ( $V_0$ ).

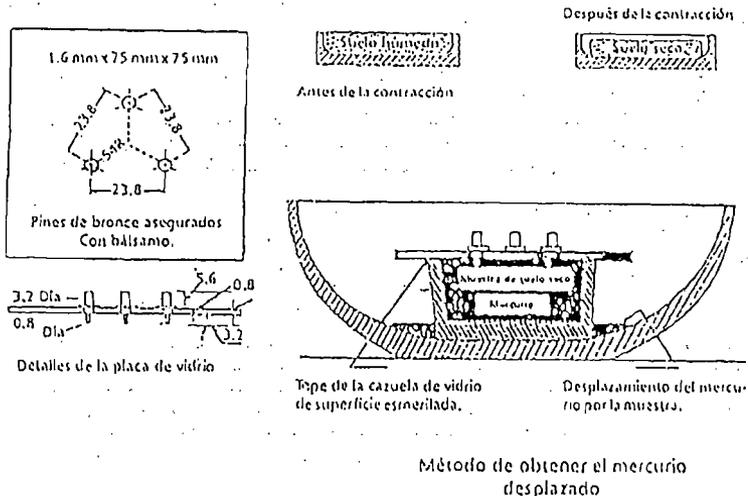


Figura 1. Aparato para determinar la contracción volumétrica.

5.7 Después de ser limpiado, se pesará el recipiente de contracción y se anotará su peso ( $W_3$ )

## 6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE AGUA

6.1 El contenido de agua del suelo en el momento en que éste fue colocado en el recipiente, expresado como un porcentaje del peso seco del suelo, se calculará de la siguiente forma:

$$w = 100 (W_1 - W_2) / (W_2 - W_3)$$

siendo:

- $w$  = Contenido de agua del suelo
- $W_1$  = Peso de la masa de suelo húmedo y el recipiente (g).
- $W_2$  = Peso de la masa de suelo seco y el recipiente (g).
- $W_3$  = Peso del recipiente (g).

También puede ser calculado el contenido de agua así:

$$w = 100 (W - W_0) / W_0$$

siendo:

- $W$  = Peso húmedo de la muestra de suelo ( $W = W_1 - W_3$ )
- $W_0$  = Peso de la muestra seca ( $W_0 = W_2 - W_3$ )

6.2 Se calculará el contenido de agua con una aproximación de 0.1 (en el porcentaje).

## 7. CÁLCULO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

7.1 El límite de contracción de un suelo se define como el contenido mínimo de agua, por debajo del cual una reducción de la cantidad de agua, no causará una disminución de volumen de la muestra de suelo, pero al cual un aumento en el contenido de agua causará un aumento en el volumen de la masa de suelo.

7.2 El límite de contracción (LC) será calculado de los datos obtenidos en la determinación de la contracción volumétrica, así:

$$LC = w - 100 (V - V_0) \times \gamma_w / W_0$$

siendo:

- LC = Límite de contracción (%)
- $w$  = Contenido de agua (%)
- $V$  = Volumen de la muestra de suelo húmedo ( $cm^3$ )
- $V_0$  = Volumen de la muestra de suelo secada al horno ( $cm^3$ )
- $W_0$  = Peso de la muestra seca ( $W_0 = W_2 - W_3$ ) (g)
- $\gamma_w$  = Peso unitario del agua ( $g/cm^3$ )

El límite de contracción se calculará con una aproximación de 0.01 en el porcentaje.

7.3 Método opcional. Cuando es conocido el peso específico real de los sólidos,  $G_s$ , y la relación de contracción,  $R$ , el límite de contracción puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$LC = \left[ \frac{1}{R' w} - \frac{1}{G_s} \right] \times 100$$

si  $R$  está expresado en  $g/cm^3$ ,  $w$  es igual a la unidad.

### 8. CÁLCULO DE LA RELACIÓN RAZON DE CONTRACCIÓN

8.1 La relación razón de contracción de un suelo es la relación entre un cambio de volumen dado, expresado como porcentaje del volumen seco, y el cambio correspondiente en su contenido de agua por encima del límite de contracción, (expresado como un porcentaje del peso secado en el horno).

8.2 La relación de contracción,  $R$ , se calculará de los datos obtenidos en la u determinación de la contracción volumétrica por medio de la siguiente fórmula:

$$R = (W_o / V_o) \times w'$$

El significado de cada término es igual al que tienen en la Sección 7.2. La relación de contracción se calculará con aproximación de 0.001.

### 9. CÁLCULO DEL CAMBIO VOLUMÉTRICO

9.1 El cambio volumétrico de un suelo, para un contenido de agua dado, es el cambio volumétrico expresado como porcentaje del volumen seco de la masa de suelo, cuando se reduce el contenido de agua, desde un porcentaje hasta el límite de contracción. Este contenido de agua dado, es usualmente tomado como la humedad equivalente del terreno.

9.2 El cambio volumétrico,  $V_s$  se calculará a partir de los datos obtenidos en la determinación de la contracción volumétrica por la siguiente fórmula:

$$V_s = (W_i - LC) R$$

siendo:

$W_i$  = contenido de agua dado, superior al límite de contracción.

Si se desea el cambio volumétrico de la muestra, a partir de la humedad equivalente u del terreno, la fórmula asume la siguiente forma:

$$Cf = (W_n - LC) R$$

siendo:

$Cf$  = Cambio volumétrico a partir de la humedad equivalente del terreno.  
 $W_n$  = Humedad equivalente del terreno.

- El cambio volumétrico deberá calcularse con una aproximación de 0.1 (en u porcentaje).

### 10. CÁLCULO DE LA CONTRACCIÓN LINEAL

10.1 La contracción lineal de un suelo para un contenido de agua dado, es la disminución en una sola dimensión de la muestra de suelo expresada como un porcentaje, de la dimensión original, cuando el contenido de humedad se reduce desde la humedad equivalente del terreno hasta el límite de contracción.

10.2 La contracción lineal,  $CL$ , será obtenida por medio de la siguiente fórmula:

$$CL = 100 \left[ 1 - \sqrt[3]{100 / (Cf + 100)} \right]$$

o por medio de la Figura 2, la cual representa esta relación.

- La contracción lineal se determinará con una aproximación al entero más cercano (en porcentaje).

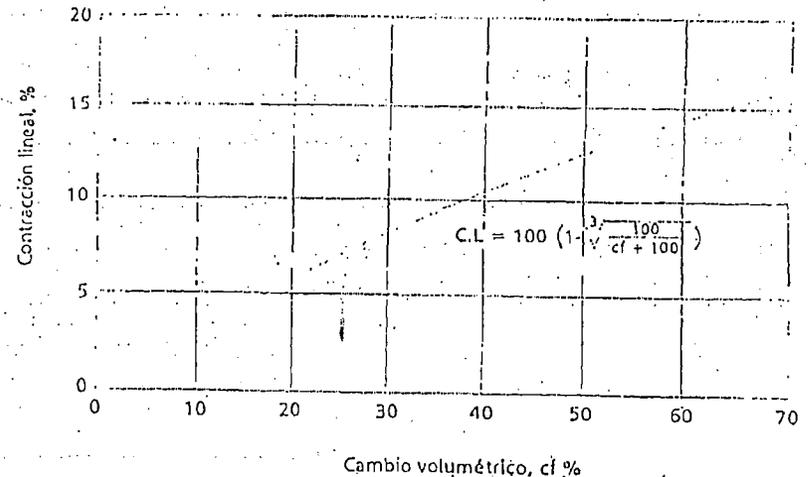


Figura 2. Curva para determinar la contracción lineal.

## 11. PESO ESPECÍFICO APROXIMADO

11.1 El peso específico de un suelo, es el peso del suelo secado en el horno, dividido por el volumen verdadero de las partículas del suelo.

11.2 El peso específico puede calcularse de los datos obtenidos en el ensayo de contracción volumétrica con la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{1}{1/R - LC/100}$$

## 12. OBSERVACIONES

12.1 Errores posibles. Los siguientes errores podrían causar una determinación imprecisa del límite de contracción:

- Muestra no representativa

El límite de contracción debe determinarse utilizando una porción de la misma muestra que se utilizó para determinar el contenido de humedad equivalente del terreno.

- Muestras preparadas incorrectamente

Las muestras deberán ser muy bien mezcladas con el agua y se debe permitir un período suficiente de curado antes de realizar el ensayo.

- Determinación errónea del contenido de humedad.
- Que la cápsula de contracción no esté lubricada en su parte interior. Si el suelo se adhiere a la cápsula, la muestra puede agrietarse durante el secado.
- Burbujas de aire contenidas en la muestra de suelo.
- Muestra de suelo secada demasiado rápido. Para prevenir que la muestra de suelo se agriete, debe ser secada muy lentamente, primero en un cuarto húmedo y luego a la temperatura de laboratorio, hasta que ocurra un cambio definido en el color; solamente en este momento se debe colocar en el horno.
- Burbujas de aire atrapadas bajo la muestra de suelo en el recipiente de vidrio cuando se sumerja en mercurio.
- Errores de cálculo

12.2 Precaución. El mercurio es una sustancia peligrosa que puede causar efectos nocivos en la salud si se inhala por mucho tiempo su vapor, o si se pone en contacto con la piel. Siempre que se use mercurio deberán adoptarse las siguientes precauciones:

- Mantenerlo en un recipiente de cristal sellado e irrompible.
- Trabajar siempre en un área bien ventilada.
- Evitar el contacto directo con el mercurio y usar guantes.
- Evitar el esparcimiento incontrolado de partículas, efectuando la parte del ensayo que requiera uso de mercurio en un recipiente grande que pueda recoger lo que se derrame durante el ensayo.
- Las partículas no controladas deben limpiarse tan completamente como sea posible.

## 13. REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T92
ASTM	D 427

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

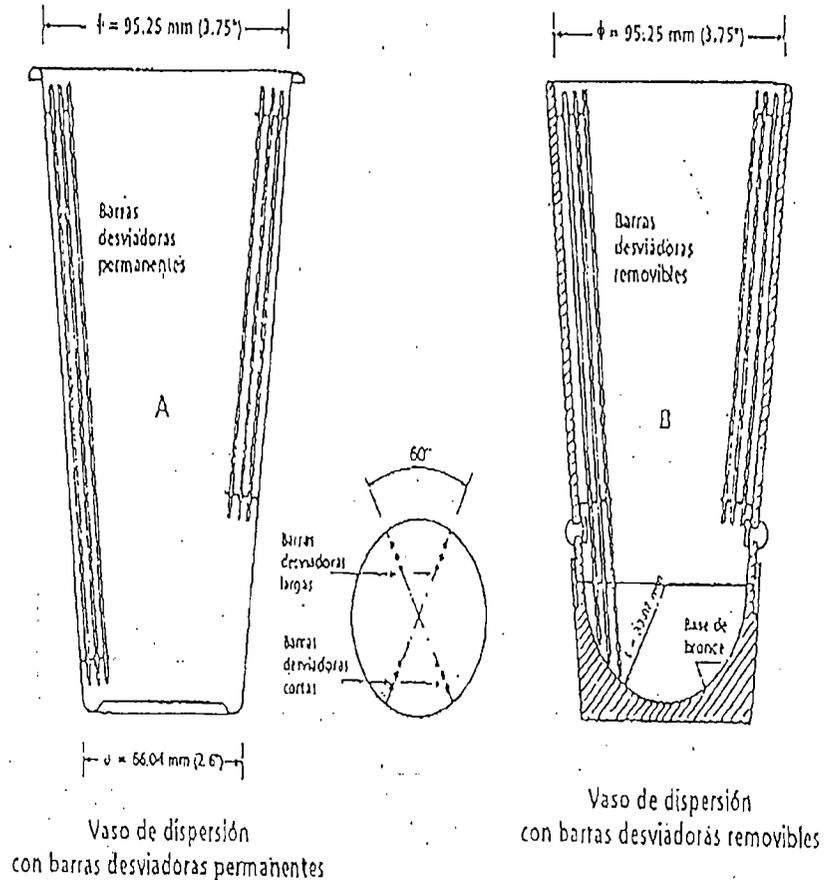
MTC E109-1999

1. OBJETO

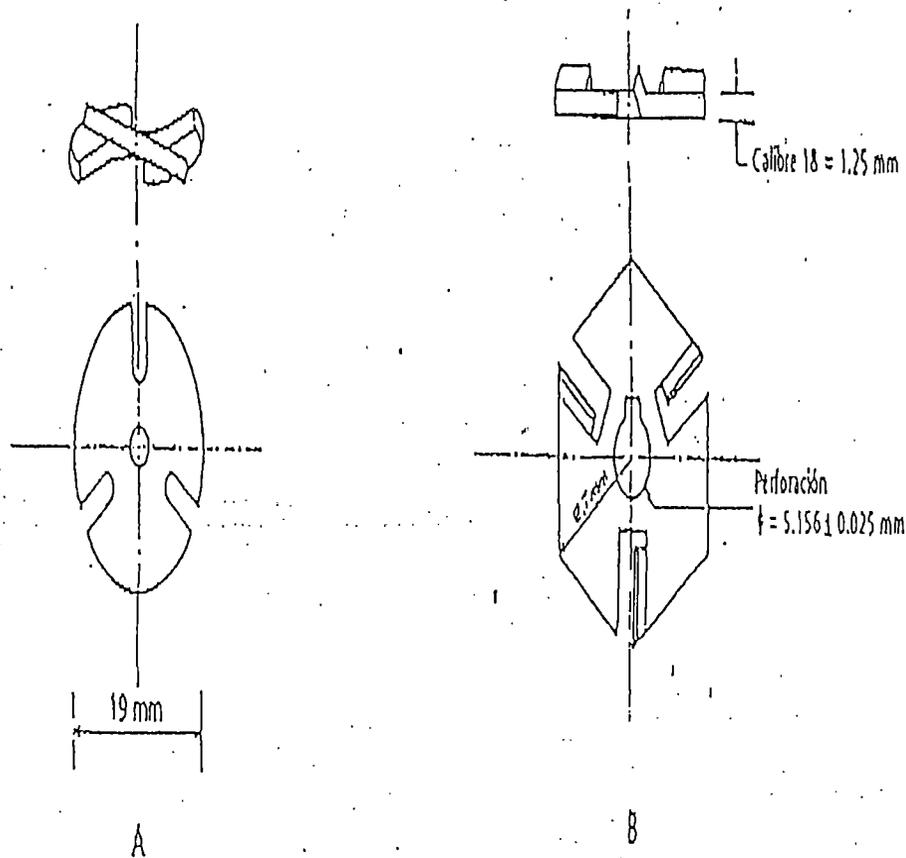
El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2.00 mm (N° 10). Para más precisión, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 75 µm (N° 200).

2. APARATOS

- 2.1 Tros (3) balanzas, de sensibilidades 0.0 1 g, 0, 1 g y 1 g.
- 2.2 Tamices, de 2.0 mm (N° 10) y de 75 µm (N° 200)
- 2.3 Tamizador mecánico.
- 2.4 Aparato agitador, mecánico o neumático, con su vaso (figuras 1 y 2).
- 2.5 Hidrómetro. Graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de peso específico que van de 0.995 a 1.030 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20 °C (68 °F). Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de -5 a +60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1.00 a 20 °C (68 °F) y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2.65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas (véase Figura 4).
- 2.6 Cilindro de vidrio para sedimentación, de unos 457 mm (18") de alto, y 63.5 mm (2.5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 ml a 20 °C (68 °F).
- 2.7 Termómetro de inmersión, con apreciación de 0.5 °C (0.9 °F).
- 2.8 Cronómetro o reloj.
- 2.9 Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- 2.10 Plancha de calentamiento.



Aparato agitador mecánico  
Batidora eléctrica, de eje vertical, que opere  
a no menos de 10.000 rpm, sin carga.



Detalle de las aspas agitadoras

Los tipos A o B pueden usarse indistintamente  
y deben estar trabajando de 1 a 2 cm por encima  
del fondo del vaso de dispersión.

2.11 Utensillos de uso general. Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras y un par de guantes de asbesto o caucho.

2.12 Agente dispersante. Una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución.

Las soluciones de esta sal deberán ser preparadas frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9 por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener la fecha de preparación marcada.

2.13 Agua. Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para el ensayo con hidrómetro deberá llevarse hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo; así, si el cilindro de sedimentación se va a colocar en baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que va a utilizarse se llevará a la temperatura de dicho baño. Si el cilindro de sedimentación se coloca a la temperatura ambiente del laboratorio, el agua deberá tener dicha temperatura. La temperatura normal de ensayo es la de 20 °C (68 °F). Sin embargo, variaciones de temperatura pequeñas, no implicarán el uso de las correcciones previstas.

### 3. CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO

3.1 El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro (véase Figura 4). Si se dispone de un hidrómetro tipo 151-H o 152-H, la profundidad efectiva puede ser obtenida de la Tabla E109-1. Si el hidrómetro disponible es de otro tipo, procédase a su calibración de acuerdo con los pasos siguientes:

3.2 Determinese el volumen del bulbo del hidrómetro. ( $V_0$ ). Este puede ser determinado utilizando uno de los métodos siguientes:

Midiendo el volumen de agua desplazada. Llénese con agua destilada o desmineralizada un cilindro graduado de 1000 ml de capacidad hasta aproximadamente 900 ml. Obsérvese y anótese la lectura del nivel del agua. El agua debe estar aproximadamente a 20 °C (68 °F). Introdúzcase el hidrómetro y anótese la nueva lectura. La diferencia entre estas dos lecturas es igual al volumen del bulbo más la parte del vástago que está sumergida. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es tan pequeño que puede ser despreciado para efectos prácticos.

Determinación del volumen a partir del peso del hidrómetro. Pésese el hidrómetro con una aproximación de 0.01 g. Debido a que el peso específico del hidrómetro es aproximadamente igual a la unidad, el peso del hidrómetro en gramos es equivalente a su volumen en centímetros cúbicos. Este volumen incluye el volumen del bulbo y del vástago. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es despreciable.

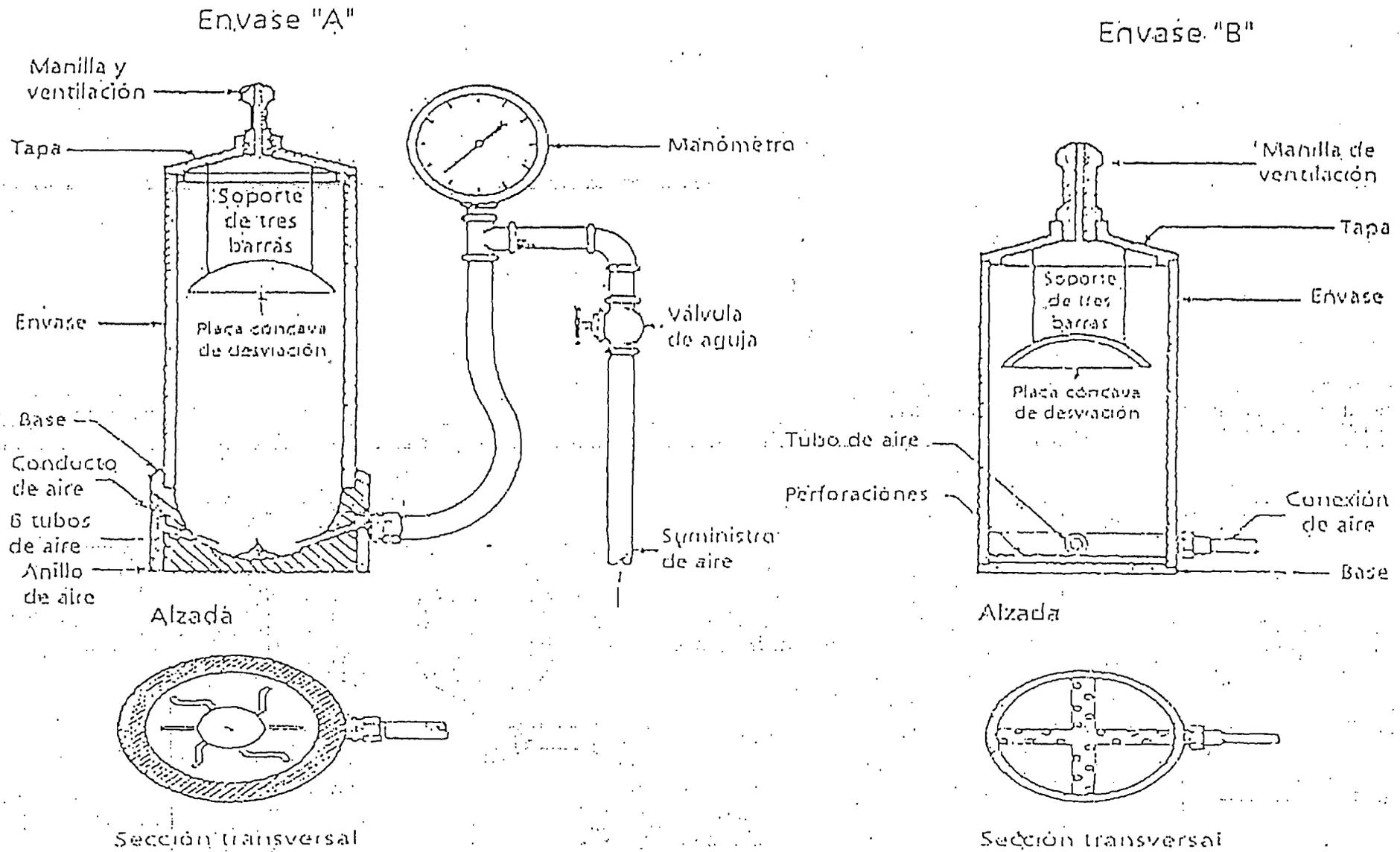


Figura 2. Agitador neumático.

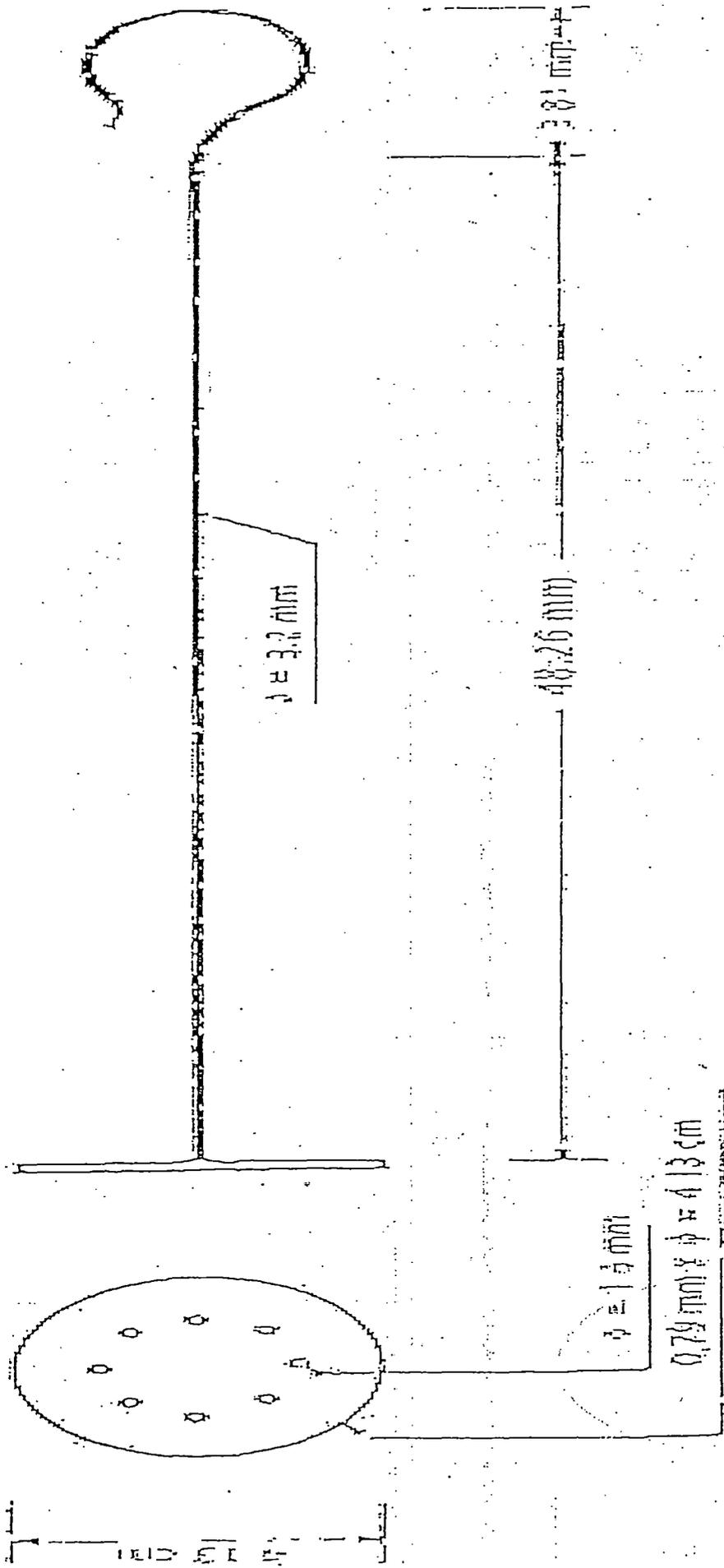


Figura 3. Agitador manual para el análisis por hidrómetro.

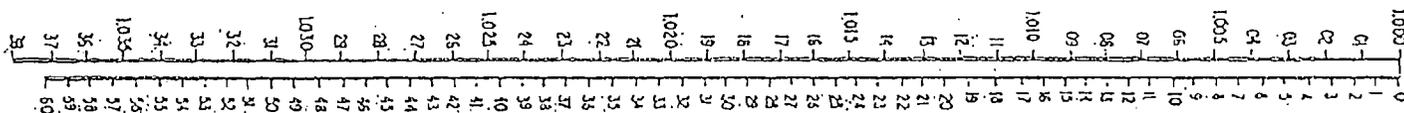
La escala de gravedad específica debe calibrarse para leer 1,000 a 20°C (68°F) y debe extenderse para una capacidad de lectura desde 0,995 hasta 1,038. La escala gramos por litro debe extenderse desde -5 gr/l, con respecto al cero (1,000 de gravedad específica) hasta 60 gr/l. El bulbo debe ser simétrico por encima y por debajo del diámetro medio y debe soplar dentro de un molde para garantizar uniformidad del producto.

- El diámetro del vástago puede variar para ajustar la longitud de la escala que se especifique pero debe ser de diámetro uniforme de extremo a extremo.

HIDRÓMETRO 151 H

ESCALA B

Graduación para leer directamente peso específico



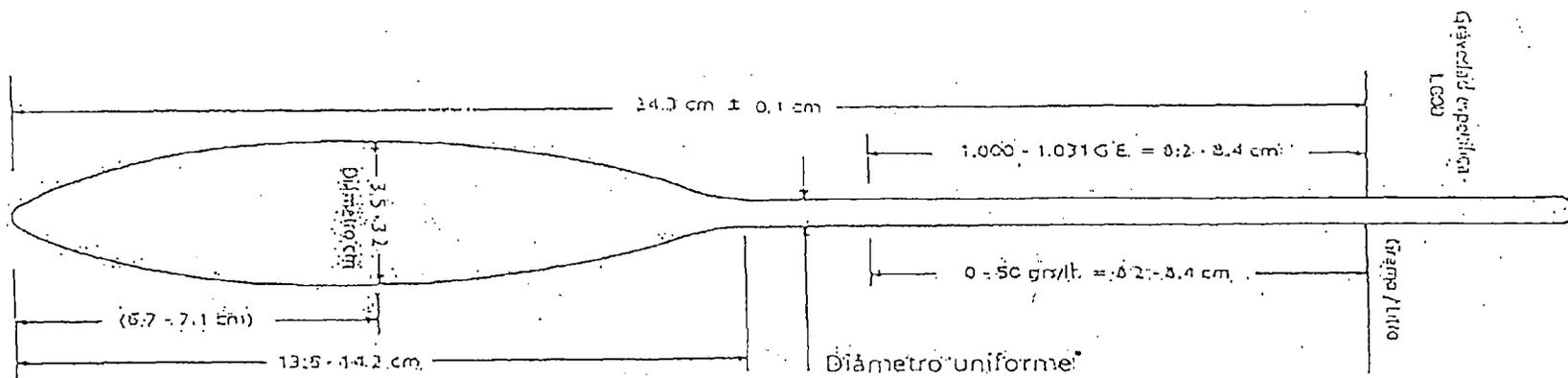
Graduación para leer en grs./lt

ESCALA A

HIDRÓMETRO 152 H

La exactitud de la escala debe ser de  $\pm$  una división de la misma. Distribuido uniformemente en toda su longitud.

- Hidrómetros provistos de escala "B" deben ser identificados como N° 151 H.
- Hidrómetros provistos de escala "A" deben ser identificados como N° 152 H.



HIDRÓMETRO

Figura 4. Hidrómetro.

Tabla E109-1  
Valores de la profundidad efectiva basados en hidrómetro y cilindro de sedimentación de dimensiones especificadas

Hidrómetro: 151. H		Hidrómetro: 152. H	
Lectura del hidrómetro R, Cm	Profundidad efectiva L (Cm)	Lectura del hidrómetro R, Cm	Profundidad efectiva L (Cm)
1.000	16.3	0	16.3
1.001	16.0	1	16.1
1.002	15.0	2	16.0
1.003	15.5	3	15.8
1.004	15.2	4	15.6
1.005	15.0	5	15.5
1.006	14.7	6	15.3
1.007	14.4	7	15.2
1.008	14.2	8	15.0
1.009	13.9	9	14.8
1.010	13.7	10	14.7
1.011	13.4	11	14.5
1.012	13.1	12	14.3
1.013	12.9	13	14.2
1.014	12.6	14	14.0
1.015	12.3	15	13.8
1.016	12.1	16	13.7
1.017	11.8	17	13.5
1.018	11.5	18	13.3
1.019	11.3	19	13.2
1.020	11.0	20	13.0
1.021	10.7	21	12.9
1.022	10.5	22	12.7
1.023	10.2	23	12.5
1.024	10.0	24	12.4
1.025	9.7	25	12.2
1.026	9.4	26	12.0
1.027	9.2	27	11.9
1.028	8.9	28	11.7
1.029	8.6	29	11.5
1.030	8.4	30	11.4
1.031	8.1		
1.032	7.8		
1.033	7.6		
1.034	7.3		
1.035	7.0		
1.036	6.8		
1.037	6.5		
1.038	6.2		

\* Lectura del hidrómetro corregida por Menisco.

3.3 Determinese el área A del cilindro graduado midiendo la distancia que existe entre dos marcas de graduación. El área A es igual al volumen incluido entre las dos graduaciones dividido entre la distancia medida.

3.4 Midase y anótese la distancia desde la marca de calibración inferior en el vástago del hidrómetro hasta cada una de las marcas de calibración principales (R).

3.5 Midase y anótese la distancia desde el cuello del bulbo hasta la marca de calibración inferior. La distancia H correspondiente a cada lectura R, es igual a la suma de las dos distancias medidas en los pasos 3.4 y 3.5.

3.6 Midase la distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo. La distancia h/2 localiza el centro del volumen de un bulbo simétrico. Si el bulbo utilizado no es simétrico, el centro del volumen se puede determinar con suficiente aproximación proyectando la forma del bulbo sobre una hoja de papel y localizando el centro de gravedad del área proyectada.

3.7 Determinense las profundidades efectivas L, correspondientes a cada una de las marcas de calibración principales R empleando la fórmula:

$$L = H_n + 1/2 \cdot (h - V_n / A)$$

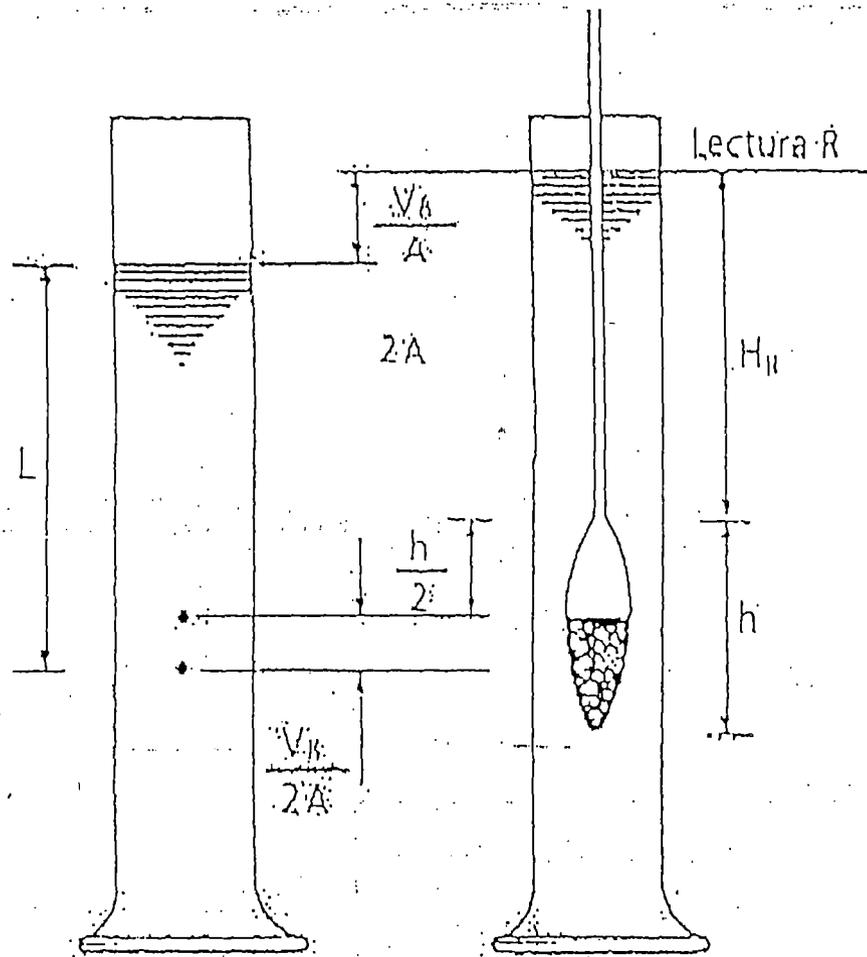
Siendo:

- L = Profundidades efectivas.
- H<sub>n</sub> = Distancias correspondientes a las lecturas R.
- h = Distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo.
- V<sub>n</sub> = Volumen del bulbo.
- A = Área del cilindro graduado.

3.8 Constrúyase una curva que exprese la relación entre R y L, como se muestra en la Figura 5. Esta relación es esencialmente una línea recta para los hidrómetros simétricos.

#### 4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

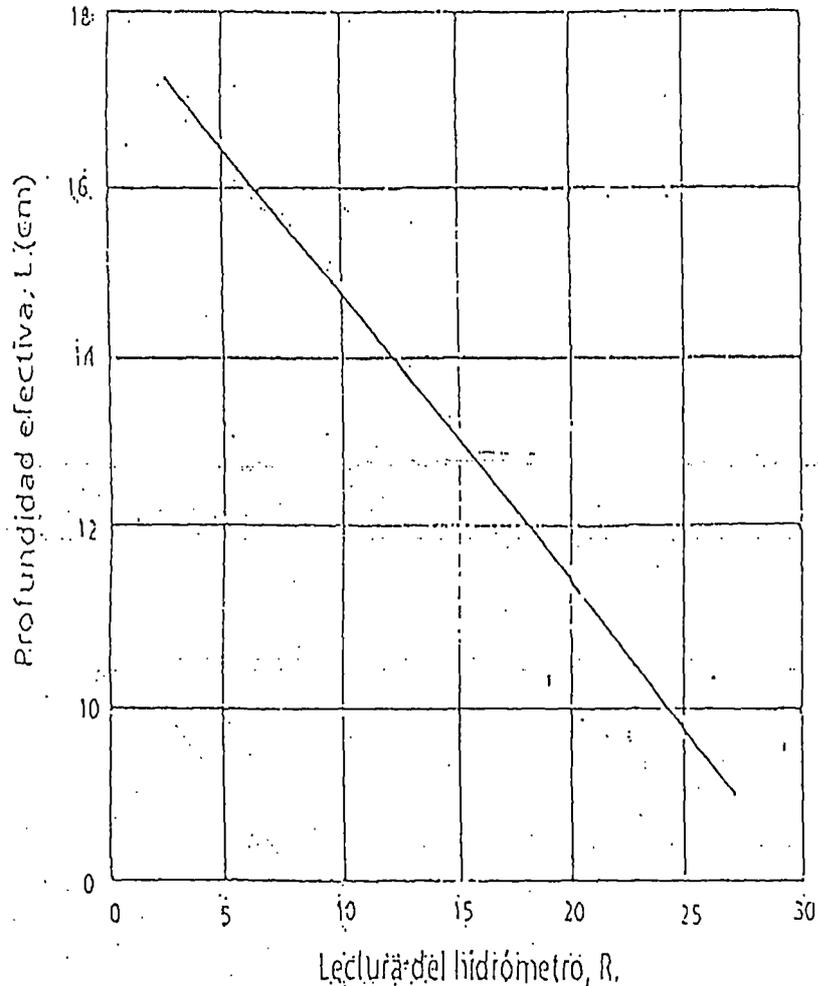
4.1 El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a 100 g y para limos y arcillas de 50 a 60 g. (peso seco). El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.



Nota:

- $A$  = Área interior del cilindro ( $\text{cm}^2$ )
- $V_B$  = Volumen del bulbo del hidrómetro (c.c.)
- $h$  = Altura del bulbo del hidrómetro (cm)
- $L$  = Profundidad efectiva o altura verdadera de la suspensión sobre el centro del hidrómetro (cm)
- $H_R$  = Distancia desde el cuello del hidrómetro hasta cada una de las marcas de calibración  $R$ .

$$L = H_R + \frac{h}{2} - \frac{V_B}{2A}$$



Curva típica de calibración de hidrómetro

Figura 5. Determinación de la profundidad efectiva de la suspensión sobre el centro del bulbo del hidrómetro.

4.2 El peso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = \frac{\text{Peso del Suelo Húmedo}}{1 + \frac{\text{Humedad (w)}}{100}}$$

Donde la humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada. (Norma MTC E128-1999).

## 5. PROCEDIMIENTO

El procedimiento consistirá de los siguientes pasos:

5.1 Anótese en el formato toda la información existente para identificar la muestra, como por ejemplo: obra, número de la muestra y otros datos pertinentes.

5.2 Determinese la corrección por defloculante y punto cero, Cd, y la corrección por menisco, Cm, a menos que ya sean conocidas (ver aparte 6.1 y 6.3).

Anótese toda esta información en el formato.

5.3 Determinese el peso específico de los sólidos, Gs (Norma MTC E128-1999).

5.4 Si el peso secado al horno se va a obtener al principio del ensayo, séquese la muestra al horno, déjese enfriar y pésese con una aproximación de 0.1 g. Anótese en el formato el valor obtenido. Colóquese la muestra en una cápsula de 250 ml u previamente identificada con un número, agréguese agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Colóquese el agente dispersante en este momento: 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (40 g/l).

Déjese la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial, y puede ser necesario oxidar la materia orgánica antes del ensayo. La oxidación puede ser llevada a cabo mezclando la muestra con una solución, al 30%, de peróxido de hidrógeno; esta solución oxidará toda la materia orgánica. Si el suelo contiene poca cantidad de materia orgánica, el tratamiento con peróxido de hidrógeno no es necesario.

5.5 Transfírase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión (figuras 1 y 2), lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada. Agréguese agua al vaso de dispersión si es necesario, hasta que la superficie de ésta quede de 50 a 80 mm por debajo de la boca del vaso; si el vaso contiene demasiada agua, ésta se derramará durante el mezclado. Colóquese el vaso de dispersión en el aparato agitador durante un minuto.

- Para lograr la dispersión se puede emplear también aire a presión en lugar del método mecánico del agitador. En este caso, se coloca un manómetro entre el vaso y la válvula de control, la cual se abre inicialmente para obtener una presión de 0.07 kg/cm<sup>2</sup> (1 psi). Se

transfiera la lechada de suelo-agua de la cazuela al vaso de dispersión, lavando con agua destilada el remanente de la cazuela, y rellenando si es necesario, con más agua destilada hasta el volumen de 250 ml. Se tapa el vaso y se abre la válvula de control hasta obtener una presión de 1.4 kg/cm<sup>2</sup> (20 psi). La dispersión se hará de acuerdo con la siguiente tabla:

Índice de plasticidad del suelo	Periodo de dispersión (min)
Menor del 5%	5
Del 6% a 20%	10
Mayor del 20%	15

Los suelos que contienen altos porcentajes de mica se dispersarán durante un (1) minuto.

5.6 Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 ml. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.

5.7 Un minuto antes de comenzar el ensayo, límbese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítese la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. Continúese agitando hasta completar un minuto volteando el cilindro hacia arriba y hacia abajo alternativamente. Algunas veces es necesario aflojar los sedimentos del fondo del cilindro, mediante un agitador de vidrio antes de proceder a agitar la lechada. Se deben ejecutar sesenta (60) giros durante ese minuto.

Alternativamente, la suspensión puede ser agitada antes de proceder al ensayo mediante un agitador manual, semejante al que se muestra en el esquema de la Figura 3. Moviendo dicho agitador hacia arriba y hacia abajo, a través de la suspensión, se consigue una distribución uniforme de las partículas de suelo. Este proceso evita también la acumulación de sedimentos en la base y en las paredes del cilindro graduado.

5.8 Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre una mesa.

Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introdúzcase lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.

5.9 Obsérvense y anótese las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extráigase cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro graduado con agua limpia. Si el hidrómetro se deja mucho tiempo en la suspensión, parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causando errores en las lecturas. Luego, introdúzcase nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1.440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Inmediatamente después de cada una de estas lecturas, extráigase el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y colóquese en el cilindro graduado con agua limpia.

5.10 Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colóquese un termómetro en la suspensión, mídase la temperatura y anótese en la

planilla de una aproximación de 0.5 °C (0.9 °F). Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados. Las variaciones en la temperatura deben ser minimizadas colocando el cilindro lejos de fuentes de calor tales como hornos, rayos de sol o ventanas abiertas. Una forma conveniente de controlar los efectos de la temperatura, es colocar el cilindro graduado que contiene la suspensión en un baño de agua.

5.11 Si el peso, de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lávese cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y determínese el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.

## 6. CORRECCIÓN DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO

6.1 Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro deberán ser corregidas por menisco, por temperatura, por defloculante y punto cero.

6.2 Corrección por menisco (Cm). Los hidrómetros se calibran para leer correctamente a la altura de la superficie del líquido. La suspensión de suelo no es transparente y no es posible leer directamente a la superficie del líquido; por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del menisco. La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado, y se determina introduciendo el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua. Valores corrientes de Cm son:

Hidrómetro tipo 151 H: Cm = 0,6 x 10<sup>-3</sup> g/cm<sup>3</sup>

Hidrómetro tipo 152 H: Cm = 1,0 g/litro.

6.3 Corrección por temperatura (Ct). A cada una de las lecturas de hidrómetro se debe aplicar también un factor de corrección por temperatura, el cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura. Obténgase el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando la Tabla E109-2 y anótese estos valores en su planilla.

6.4 Corrección por agente de dispersión y por desplazamiento del punto cero (Cd).

- Los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y se adhieren de tal forma que suelen precipitarse juntos. Por lo tanto, es necesario añadir a las muestras un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo. Los agentes defloculantes siguientes han sido utilizados satisfactoriamente para la mayoría de los suelos:

Tabla E109-2

Valores de Ct para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro

Temp. C	Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) x 10 <sup>3</sup>	Concentración (g/litro)
10	-1,3	-2,0
11	-1,2	-1,9
12	-1,1	-1,8
13	-1,0	-1,6
14	-0,9	-1,4
15	-0,8	-1,2
16	-0,6	-1,0
17	-0,5	-0,8
18	-0,3	-0,5
19	-0,2	-0,3
20	0,0	0,0
21	0,2	0,3
22	0,4	0,6
23	0,6	0,9
24	0,8	1,3
25	1,0	1,7
26	1,3	2,0
27	1,5	2,4
28	1,8	2,9
29	2,0	3,3
30	2,3	3,7

Peso específico del sólido en suspensión: G = 2.55

Para hidrómetro tipo 1 52-H busque Ct en la columna de la derecha (gr/Litro).

Para hidrómetro tipo 1 51-H busque Ct en la columna de la izquierda

$$[(gr / cm) \times 10^3]$$

Los valores tabulados fueron calculados por la expresión:

$$Ct = [\gamma_{w20} - \gamma_m - \alpha (T - 20)] \times 10^3 \text{ g/cm}^3$$

$$Ct = [\gamma_{w20} - \gamma_m - \alpha (T - 20)] \times \frac{2.65}{1.65} \times 10^3 \text{ g/L}$$

- T = Temperatura de la suspensión en OC
- $\gamma_{w20}$  = Peso unitario del agua a 20 °C
- $\gamma_w$  = Peso unitario del agua a T °C
- $\alpha$  = Coeficiente de dilatación volumétrica del hidrómetro ( $\alpha = 2,5 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ )

Agente defloculante	Fórmula
Hexametáfosfato de sodio amortiguado con carbonato de sodio (Calgán)	NaPO <sub>3</sub> ó (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>
Polifosfato de sodio	Na <sub>12</sub> P <sub>10</sub> O <sub>31</sub>
Tripolifosfato de sodio	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>
Tetrafosfato de sodio	Na <sub>4</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub>

- La adición de un agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado. Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base, que generalmente es 20 °C (68 °F), existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por este factor.
- La corrección por defloculante se determina generalmente en conjunto con la corrección por punto cero; por ello se les denomina "corrección por defloculante y punto cero".
- El procedimiento para determinar la corrección por defloculante y punto cero consistirá en los pasos siguientes:

Se selecciona un cilindro graduado de 1000 ml de capacidad y se llena con agua destilada o desmineralizada con una cantidad de defloculante igual a la que se empleará en el ensayo. Si en el ensayo no se va a utilizar defloculante, llénese el cilindro sólo con agua destilada o desmineralizada. En este caso la corrección será solamente por punto cero. Realícese, en la parte superior del menisco, la lectura del hidrómetro e introduzcase a continuación un termómetro para medir la temperatura de la solución. Calcúlese la corrección por defloculante y punto cero (Cd) mediante la fórmula:

$$-Cd = r' + Cm \pm Ct$$

donde:

- r' = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente
- Cm = Corrección por menisco
- Ct = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente.

## 7. CALCULOS

7.1 Lectura de hidrómetro corregida. Calcúlese las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco Cm, o sea:

$$R = R' + Cm$$

Anótese en la planilla los valores de R obtenidos.

7.2 Cálculo del diámetro de las partículas (D). Determinese el diámetro de las partículas correspondientes a cada lectura de hidrómetro empleando el nomograma de la Figura 6. En este nomograma, la escala (R) correspondiente a las profundidades efectivas (L) (véase Tabla E109-1), se elaborará empleando la curva de calibración correspondiente al hidrómetro que se va a emplear en el ensayo (Figura 5). La secuencia de los pasos a seguir para calcular el diámetro de las partículas (D) mediante el nomograma de la Figura 6, se indica esquemáticamente en la parte inferior derecha de dicha figura.

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se puede calcular también con la fórmula siguiente:

$$D(\text{mm}) = K \sqrt{(L / t)}$$

donde:

- L = Profundidad efectiva en cm
- t = Tiempo transcurrido en min.

$$K = \sqrt{\frac{30 \times \mu / g}{\tau_s - \tau_w}}$$

donde:

- g = Aceleración gravitacional = 980,7 cm/s<sup>2</sup>.
- $\mu$  = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises
- $\tau_s$  = Peso unitario de los sólidos del suelo en g/cm<sup>3</sup>.
- $\tau_w$  = Peso unitario del agua deslilada, a la temperatura T, en g/cm<sup>3</sup>.

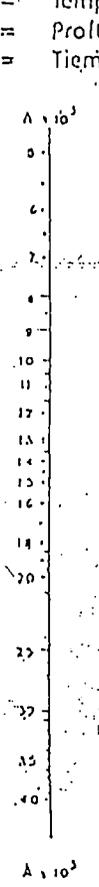
Los valores de K están tabulados en la Tabla 3, en función del peso específico y la temperatura.

- $\eta$  = Viscosidad del agua (gr · seg/cm<sup>2</sup>)
- $G_s$  = Peso específico de sólidos
- $\gamma_w$  = Peso unitario del agua (g/cm<sup>3</sup>)
- $V$  = Velocidad (cm/seg)
- $D$  = Diámetro de partículas (mm)
- $T$  = Temperatura \*
- $L$  = Profundidad efectiva (cm)
- $t$  = Tiempo (seg)

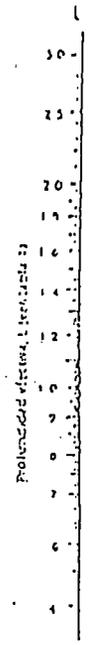
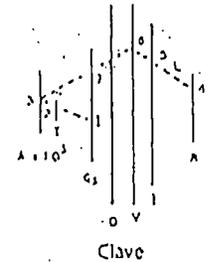
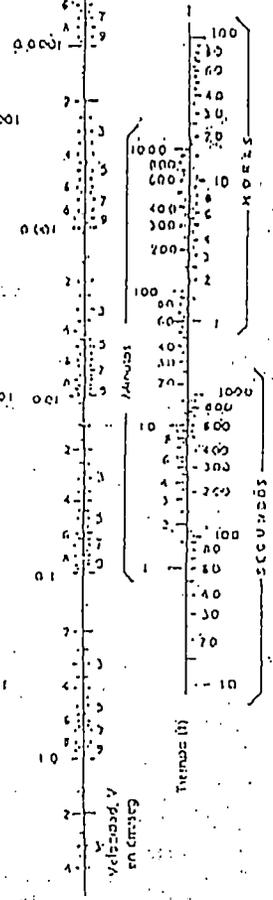
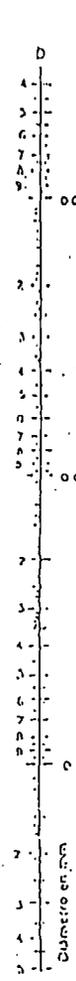
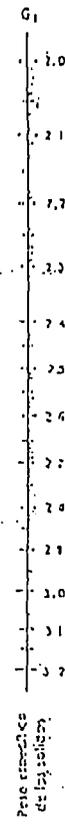
Ecuación de Stokes  
 $D = \sqrt{\frac{1800}{(G_s - G_w)\gamma_w}}$   
 Donde:

$$\Lambda = \frac{1800}{(G_s - G_w)\gamma_w}$$

$$V = \frac{L}{t}$$



(T) Temperatura  
 (R) pesos centígrafos



Nota:  
 Este nomograma es aplicable sólo a suspensiones en agua.

\* Temperatura promedio desde comienzo del ensayo, hasta el momento de observación de la lectura del hidrómetro.

Figura 6. Nomograma para el cálculo del diámetro de las partículas.

7.3 Cálculo de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico más fino que el correspondiente a una lectura de hidrómetro dada, utilice la fórmulas siguientes:

Para hidrómetros 151 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{100}{W_o} \times (R - Cd \pm Ct)$$

Para hidrómetros, 152 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{100 \times a}{W_o} \times (R - Cd \pm Ct)$$

donde:

- G<sub>s</sub> = Peso específico de los sólidos (Ensayo MTC E205-1999)
- W<sub>o</sub> = Peso de la muestra de suelo secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro.
- (R - Cd + Ct) = Lectura de hidrómetro corregida por menisco menos corrección por defloculante y punto cero, más (sumada algebraicamente) corrección por temperatura.
- a = Factor de corrección por peso específico (véase Tabla E109-4).

Adóntense todos los valores obtenidos en su planilla. El factor Ct puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar la lectura. Úsese la fórmula (R - Cd + Ct) dependiendo si Ct es positivo o negativo.

## 8. OBSERVACIONES

8.1 Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por hidrómetro.

- Suelo secado al horno antes del ensayo. Excepto para el caso de suelos inorgánicos de resistencia seca baja, el secado al horno puede causar cambios permanentes en el tamaño de las partículas.
- Agente dispersante no satisfactorio o en cantidad insuficiente. Siempre y cuando se vayan a ensayar suelos nuevos o no usuales, es necesario realizar tanteos para determinar el tipo y la cantidad de compuesto químico que producirá la dispersión y defloculación más efectivas.
- Dispersión incompleta del suelo en la suspensión. Agitación insuficiente de la suspensión en el cilindro al comienzo del ensayo.
- Demasiado suelo en suspensión. Los resultados del análisis hidrométrico serán afectados si el tamaño de la muestra excede las cantidades recomendadas.

Valores de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico

Tiempo (min)	2:45	2:60	2:55	2:60	2:65	2:70	2:75	2:80	2:85
10	.01659	.01631	.01604	.01583	.01555	.01532	.01510	.01488	.01468
11	.01636	.01608	.01582	.01557	.01533	.01511	.01489	.01468	.01448
12	.01613	.01586	.01560	.01535	.01512	.01490	.01468	.01448	.01428
13	.01591	.01565	.01539	.01515	.01492	.01470	.01449	.01428	.01409
14	.01571	.01544	.01519	.01495	.01474	.01451	.01430	.01410	.01391
15	.01551	.01525	.01500	.01476	.01454	.01432	.01412	.01392	.01373
16	.01530	.01505	.01481	.01457	.01435	.01414	.01394	.01374	.01356
17	.01511	.01486	.01462	.01439	.01417	.01396	.01376	.01356	.01338
18	.01492	.01467	.01443	.01421	.01399	.01378	.01359	.01339	.01321
19	.01474	.01449	.01425	.01403	.01382	.01361	.01342	.01323	.01305
20	.01456	.01431	.01408	.01386	.01365	.01344	.01325	.01307	.01289
21	.01438	.01414	.01391	.01369	.01348	.01328	.01309	.01291	.01273
22	.01421	.01397	.01374	.01353	.01332	.01312	.01294	.01276	.01258
23	.01404	.01381	.01358	.01337	.01317	.01297	.01279	.01261	.01243
24	.01388	.01365	.01342	.01321	.01301	.01282	.01264	.01246	.01229
25	.01372	.01349	.01327	.01306	.01286	.01267	.01249	.01232	.01215
26	.01357	.01334	.01312	.01291	.01272	.01253	.01235	.01218	.01201
27	.01342	.01319	.01297	.01277	.01258	.01239	.01221	.01204	.01188
28	.01327	.01304	.01283	.01264	.01244	.01225	.01208	.01191	.01175
29	.01312	.01290	.01269	.01249	.01230	.01212	.01195	.01178	.01162
30	.01298	.01276	.01256	.01236	.01217	.01199	.01182	.01165	.01149

Los valores tabulados fueron calculados por la expresión:

$$K = \sqrt{\frac{30 \mu}{980 (G - 1) \gamma_w}}$$

donde:

- μ = viscosidad dinámica del agua en Poises
- G = peso específico de las partículas de suelo.

Tabla E109-4

Valores del coeficiente de corrección para distintos pesos específicos de las partículas del suelo

Peso Específico	Coefficiente	Peso Específico	Coefficiente	Peso Específico	Coefficiente
2.45	1.05	2.60	1.01	2.75	0.98
2.50	1.03	2.65	1.00	2.80	0.97
2.55	1.02	2.70	0.99	2.85	0.96

Perturbación de la suspensión cuando se introduce o se remueve el hidrómetro. Tal perturbación es muy corriente que ocurra cuando el hidrómetro se extrae rápido después de una lectura.

El hidrómetro no está suficientemente limpio. La presencia de polvo o grasa en el vástago del hidrómetro puede impedir el desarrollo de un menisco uniforme.

Calentamiento no uniforme de la suspensión. Variación excesiva de la temperatura de la suspensión durante el ensayo.

Pérdida de material después del ensayo. Si el peso del suelo secado al horno se obtiene después del ensayo, toda la suspensión debe ser lavada cuidadosamente del cilindro.

#### 9. REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T88
ASTM	D 422

**ANEXO C:**

**FOTOS**

**PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO  
HUANCAYO**



Foto N° 2

Aquí se observa que la arcilla es extraída de la tierra de cultivo amasada y combinada con otro suelo de menos plasticidad y cubierta con plástico para conservar la humedad.

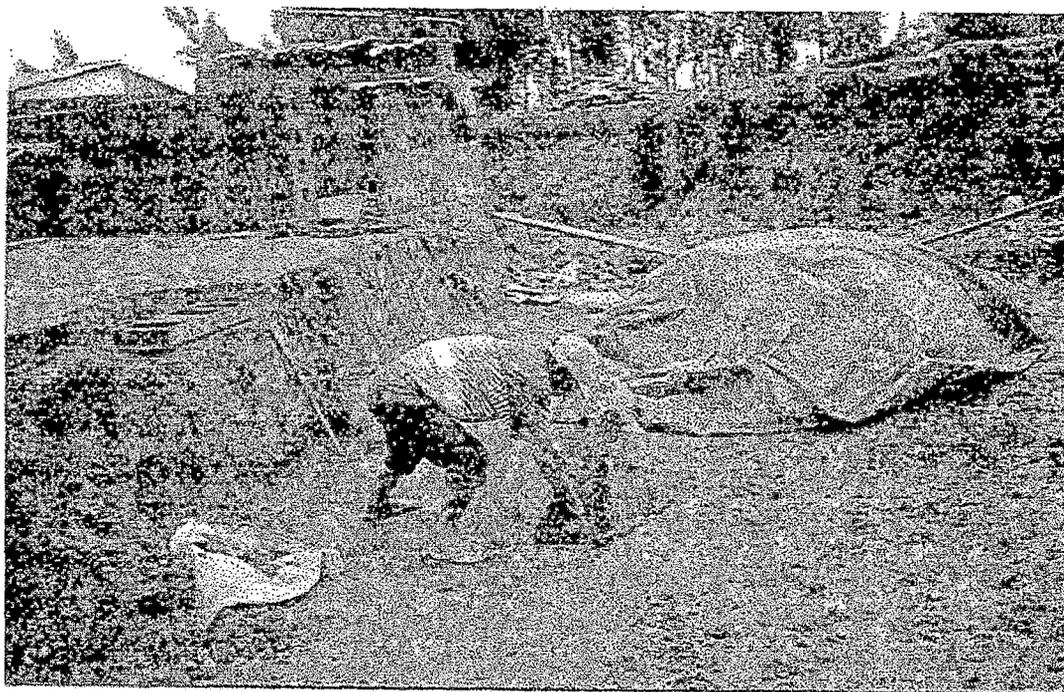


Foto N° 3

La masa (arcilla –suelo) combinada amasada es preparada para su respectivo moldeado.

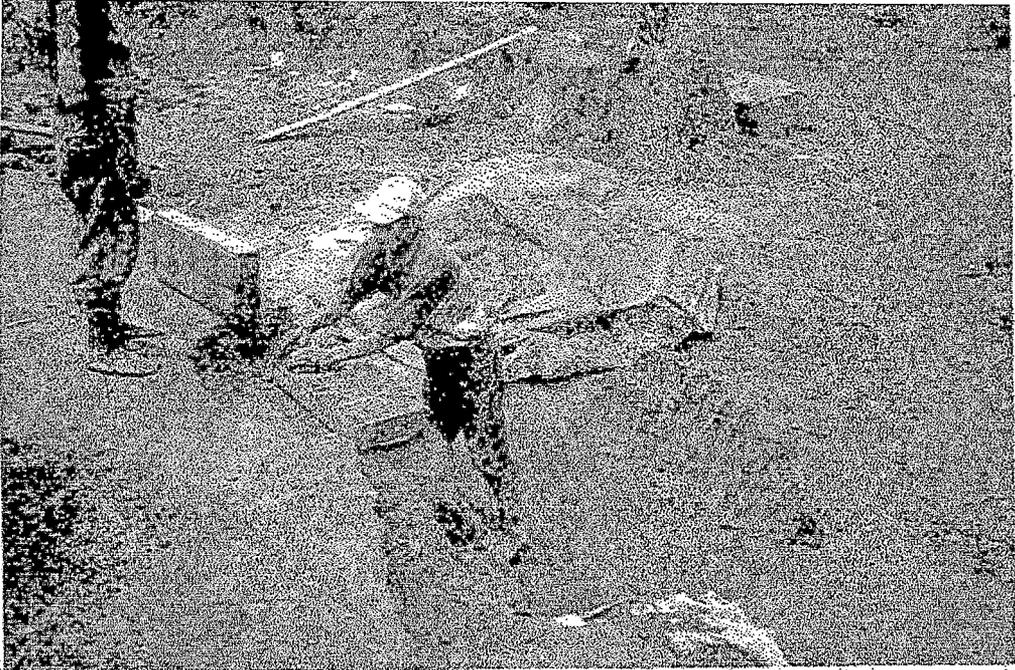


Foto N° 4

Aquí se observa el moldeado manual cada molde consta de 4 unidades.



Foto N° 5

Aquí se observa el desmoldado del ladrillo para su respectivo secado .

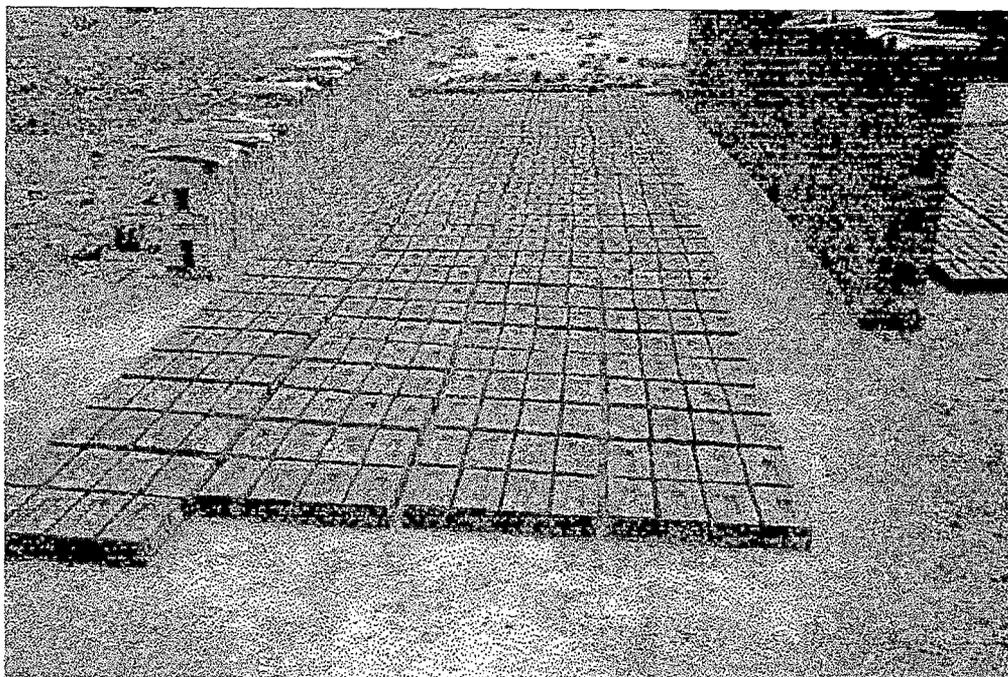


Foto N° 6

Aquí se puede ver en forma ordenada los ladrillos en fase de secado.



Foto N° 7

Podemos observar el horno abierto construido artesanal.



Foto N° 8

Aquí se observa los ductos por donde se introduce el material ha quemar para encender el horno.

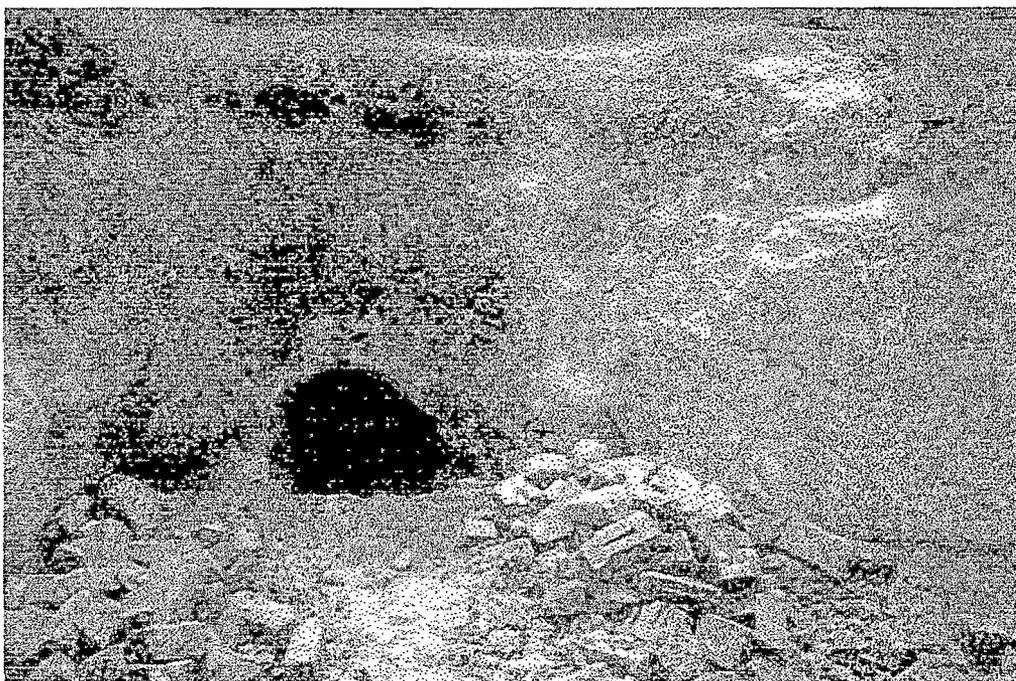


Foto N° 9

Aquí se observa el ducto por el cual entra una persona encargada de ordenar los ladrillos en el horno para su respectiva cocción.

**PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO  
PUCALLPA**



Foto N° 10

Aquí se observa la cantera de cerro cuya materia prima es utilizada para fabricar ladrillos cocidos.

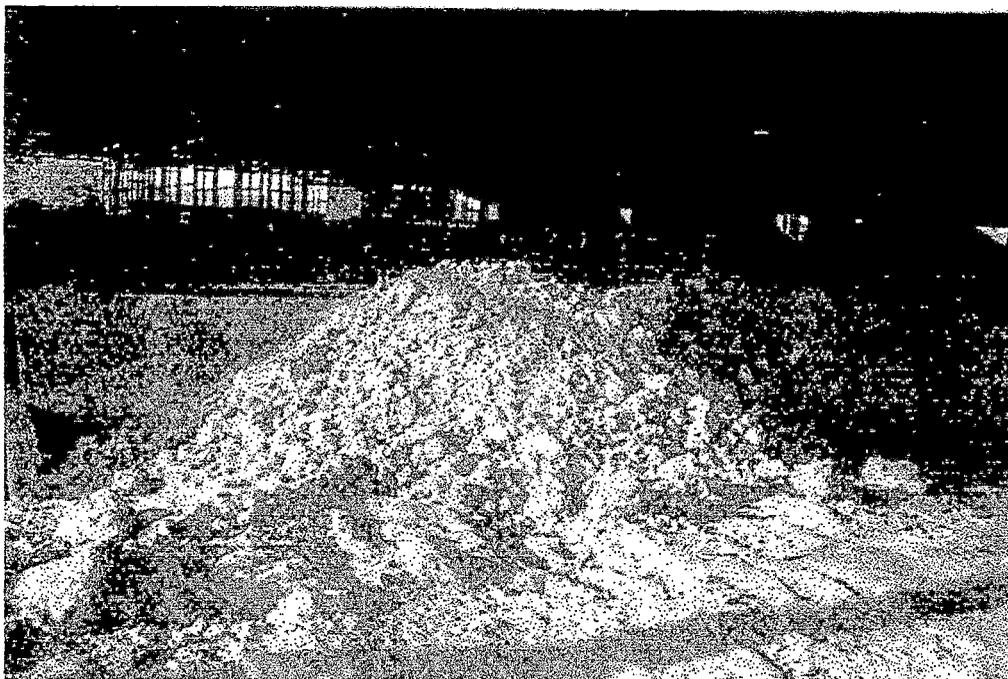


Foto N° 11

Se observa la materia prima (arcilla pura) ; esta no es combinada.



Foto N° 12

Aquí se observa la faja transportadora por la cual es llevada la arcilla pura a la mezcladora mecánica para su molienda y trituración.



Foto N° 13

Aquí se observa la faja transportadora la cual la arcilla molida y triturada es llevada para su dosificación y amasado respectivo.

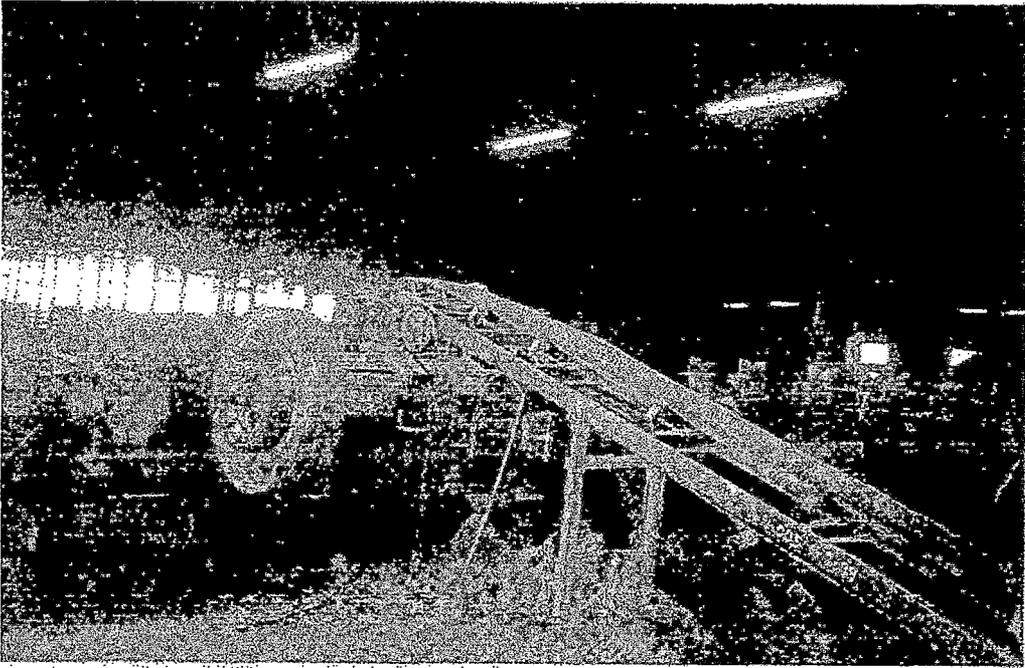


Foto N° 14

Aquí se observa la faja transportadora la arcilla debidamente amasada y dosificada es llevada a la maquina extrusora.

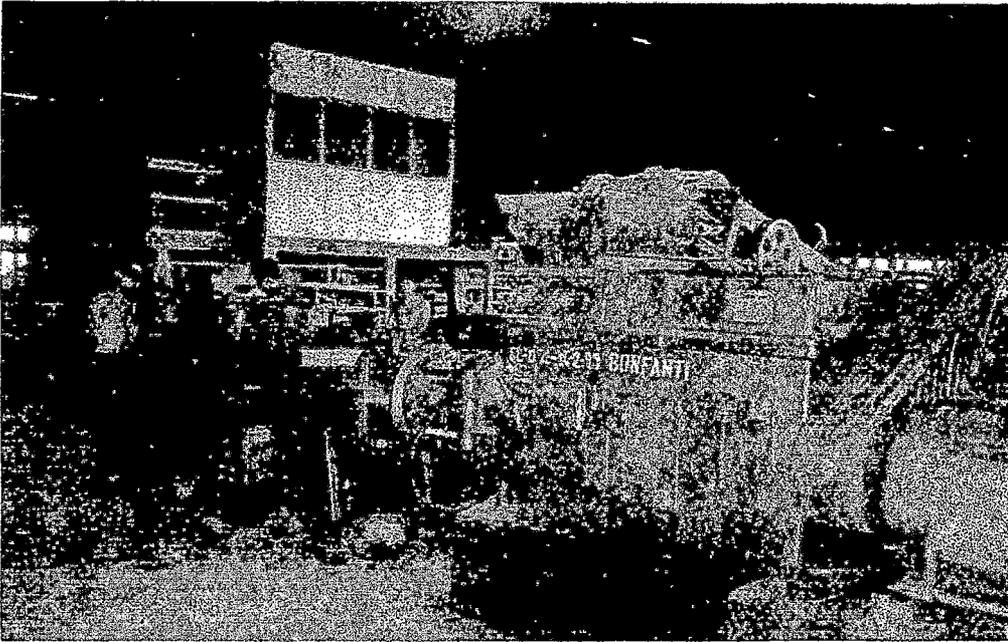


Foto N° 15

Aquí se observa la prensa extrusora. En la prensa, mediante vacío, se consigue eliminar en su mayoría el aire incorporado en la mezcla, obteniendo un producto de una gran compacidad, lo que es determinante en la calidad del ladrillo, la prensa descarga en forma continua una barra (chorizo) que es trozada mediante un cortador automático.

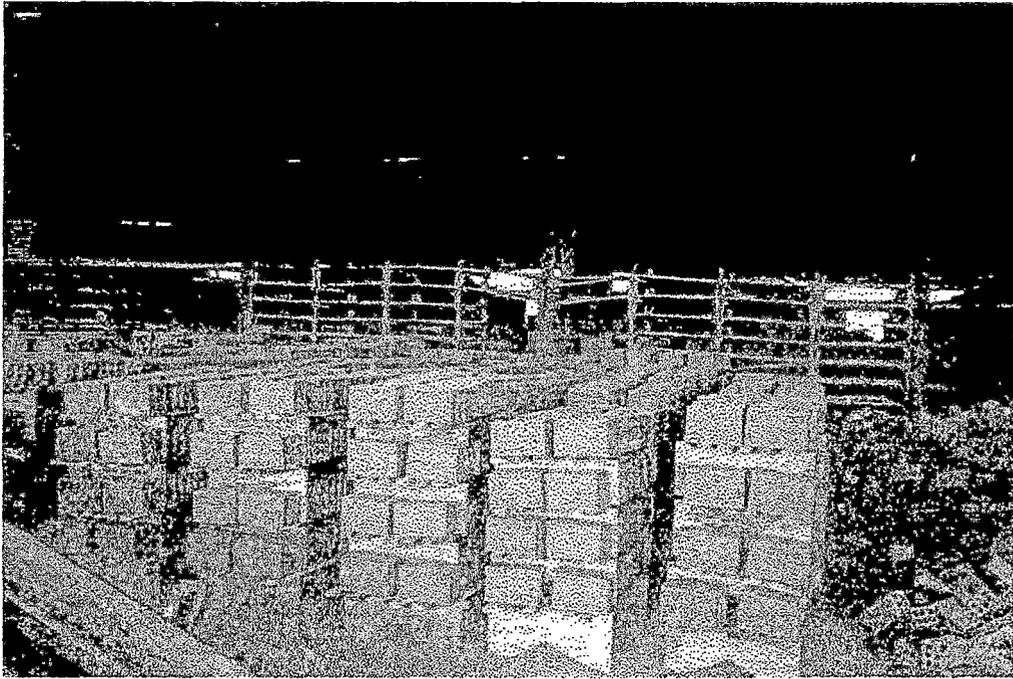


Foto N° 16

Aquí se observa los ladrillos debidamente separados uno del otro preparados en la fase de secado,



Foto N° 17

Aquí se observa el horno con cúpula cerrada. Este tipo de horno realiza una cocción mas uniforme, y deja menos desperdicios que el horno abierto.

# **BIBLIOGRAFÍA**

TITULO : LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS  
AUTOR : EMILIA GARCIA ROMERO-UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE (MADRID), MERCEDES SUAREZ  
BARRIOS – UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
EDICIÓN : -  
BIBLIOTECA : PERSONAL  
CONTENIDO : ESTRUCTURA, CLASIFICACION Y PROPIEDADES  
DE LAS ARCILLAS.

TITULO : LABORATORIO DE CERAMICOS  
AUTOR : BEATRIZ HERNÁNDEZ-CARLOS OSPINA-NELSON  
DURAN- GUSTAVO MONSALVE- JUAN MARTÍN  
CAICEDO  
EDICIÓN : CALI-ABRIL DE 1994  
BIBLIOTECA : PERSONAL  
CONTENIDO : SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA  
ADECUACION (MOLDEO, SECADO, COCCION)

TITULO : FABRICA KON-AIKEN LTDA.  
AUTOR : FABRICA KON-AIKEN LTDA –PUNTA ARENAS-  
MAGALLANES CHILE.  
EDICIÓN : MAGALLANES - CHILE  
BIBLIOTECA : PERSONAL  
CONTENIDO : FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO PROCESO  
INDUSTRIAL

TITULO : LAS ARCILLAS : EL BARRO NOBLE  
AUTOR : DRS. JOSE MANUEL DOMÍNGUEZ /ISAAC SCHIFTER  
EDICIÓN : MEXICO  
BIBLIOTECA : PERSONAL  
CONTENIDO : QUE SON LAS ARCILLAS- DEFINICIÓN- , ORIGEN GEOLÓGICO DE LOS SILICATOS

TITULO : USOS Y TRATAMIENTOS DE LA ARCILLA EN LA ANTIGÜEDAD.  
AUTOR : FERNANDO LOZANO GOMEZ.  
EDICIÓN : UNIVERSIDAD DE SEVILLA- ESPAÑA  
BIBLIOTECA : PERSONAL  
CONTENIDO : LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS -ARTESANAL, APLICACIONES MAS FRECUENTES DE LAS ARCILLAS

TITULO : TESIS "ESTUDIO DE LA ARCILLA Y SU UTILIZACIÓN COMO COMPONENTE IMPORTANTE EN LA FABRICACIÓN DEL LADRILLO COCIDO".  
AUTOR : MEDRANO SÁNCHEZ, EMILIO JOSE  
EDICIÓN : LIMA- PERU 1998  
BIBLIOTECA : FIC- UNI  
CONTENIDO : PARÁMETROS DE LAS ARCILLAS DE LAS FABRICAS REX- LARK- HUACHIPA

---

"Estudio de la Arcilla para la Fabricación del Ladrillo cocido en Huancayo y Pucallpa"  
Tesis Profesional  
Bachiller: David Alberto Maldonado Carrasco

TITULO : ESTUDIO SOBRE LA ARCILLA ARTESANAL DE  
LADRILLOS DSE ARCILLA COCIDA.  
AUTOR : ALIAGA MORALES, JULIO CESAR  
EDICIÓN : LIMA- PERU 1991  
BIBLIOTECA : FIC- UNI  
CONTENIDO : PROCESO DE LA FABRICACIÓNDEL LADRILLO.

TITULO : GEOTECNIA Y CIMIENTOS.  
AUTOR : JOSE ANTONIO JIMÉNEZ SALAS.  
EDICIÓN : EDITORIAL RUEDA MADRID.  
BIBLIOTECA : ING. M. SANCHO.  
CONTENIDO : PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y LAS ROCAS