

T-UES
1501
G934e
1992
E1.2

Universidad de El Salvador

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



Estudio Experimental de las Arcillas Negras de Pasaquina, para su Utilización como Material de Construcción

Trabajo de Graduación Presentado Por:

LUIS ALBERTO GUERRERO
EDMUNDO SALVADOR MAZARIEGO MORAN
MAURICIO ISAIAS VELASQUEZ PAZ

Para Optar al Título de:

15101937
15101937

INGENIERO CIVIL

Enero 1992

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

U.E.S BIBLIOTECA
INGENIERIA Y ARQUITECTURA



Inventario: 15101937

RECTOR :

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL :

LIC. MIGUEL ANGEL AZUCENA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO EN FUNCIONES :

ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO :

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :


ING. VICTOR MANUEL FIGUEROA MORAN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

COORDINACION DEL TRABAJO DE GRADUACION



COORDINADOR


ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA

ASESOR


ING. MARIO ASENCIO GUZMAN URBINA

ASESOR


ING. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a :

Nuestros asesores, quiénes nos orientaron en la realización de éste trabajo.

El personal del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil por su valiosa ayuda en el desarrollo de los ensayos. También a las Instituciones y personas como el Instituto de Investigaciones Geotécnicas, Ing. Noemí González de Salinas y al ceramista Fernando Avila que nos auxiliaron en los ensayos; a Luis A. Montes González, al Ing. Mauricio Hernández Cedillos por su hospitalidad, así como a todos los que hicieron posible la realización de éste trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

:

MARIA DEL PILAR GUERRERO ARAYA

JOSE LUIS ELIAS CHACON

Con mucho cariño y eterna
gratitud.

A MIS HERMANOS

:

VICTOR MANUEL

JAIME EDUARDO

SANTOS ISABEL

MARVIN ERIC

Con gratitud y cariño.

A MIS FAMILIARES

ESPECIALMENTE A

:

RAUL GUERRERO

CONCEPCION GUERRERO ARAYA

VICENTE GUERRERO ARAYA

Afectuosamente.

A MI NOVIA

:

Con mucho amor.

LUIS ALBERTO

DEDICATORIA

A MIS PADRES

:

JOSE OVIDIO MAZARIEGO ORTIZ

MARTA MORAN DE MAZARIEGO

Con eterna gratitud y cariño por
su abnegación y amor.

A MIS HERMANOS

:

JOSE OVIDIO Y

MARLON OMAR

Con cariño. por su comprensión.

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS :

Afectuosamente, por su apoyo.

EDMUNDO SALVADOR

DEDICATORIA

A MIS PADRES

:

MARTA DORILA PAZ DE VELASQUEZ

TERESO DE JESUS VELASQUEZ

Con mucho amor y cariño por su
comprensión.

A MIS HERMANOS, CUÑADOS, SOBRINOS Y DEMAS FAMILIARES .

Con mucho amor y cariño por su
apoyo y orientación.

A MIS AMIGOS

:

Con aprecio.

MAURICIO ISAIAS

R E S U M E N

El nivel de utilización de los recursos naturales de El Salvador para la industria de la construcción es múltiple. Sin embargo, las arcillas en nuestro medio han sido estudiadas en forma muy sintética pues, no se conocen a cabalidad todas las propiedades físico-químicas y mineralógicas que éstas tienen. Así, éste Trabajo de Graduación, reviste carácter investigativo con el objeto de determinar la propiedades físicas, químicas y mineralógicas de las arcillas negras de Pasaquina, para conocer y explicar su génesis, tipificarlas y conocer su comportamiento a fin de llegar a elaborar azulejo para su uso como decoración y enchape en la industria de la construcción.

El desarrollo del estudio, comprende cuatro fases principales que reflejan el estado actual de la investigación de las arcillas en general, particularmente las de Pasaquina para su uso en forma adecuada y económica. Estas fases son :

. Marco Geológico-Ingenieril

Destaca fundamentalmente los procesos de formación de éste tipo de arcilla, la mineralogía de los principales grupos de arcilla y las características que deben conocerse para poderlas clasificar.

. Reconocimiento del Area en Estudio e Identificación.
Clasificación y Tipificación Preliminar de Suelo

En el reconocimiento del área se accioia información sobre la vegetación, topografía, uso de la tierra y aspectos geomorfológicos de la zona. Para la clasificación preliminar del suelo se practicaron ensayos de campo como sacudimiento, contenido de materia orgánica, resistencia en estado seco, dispersión, tenacidad y brillantez al corte de la navaja, cuyos resultados juntos con la infraestructura existente en la zona sirvieron para ubicar los puntos de muestreo en los que se determinó la estratigrafía del banco de arcilla disponible. De éstos ensayos se determinó, que el suelo de esa zona es una arcilla inorgánica, de alta plasticidad con una extensión estimada de 36 Kilómetros cuadrados y espesor promedio de 1.5 metros y un volumen de arcilla disponible de 54 millones de metros cúbicos aproximadamente.

. Ensayos de Laboratorio en la Arcillas Negras de Pasaquina para su Tipificación.

A partir del análisis de muestras alteradas en el laboratorio y basados en los ensayos de las Normas de la ASTM, se investigaron las propiedades físicas, índices y químicas de éstas arcillas negras, a fin de llegar a tipificarlas. De acuerdo a los ensayos practicados se

obtuvieron los siguientes parámetros e índices :

Contenido de Humedad (W_0), Relaciones Gravimétricas y Volumétricas, Gravedad Específica (G_s), Análisis Granulométrico por medio del método del Hidrómetro, Límites de Consistencia y Análisis químico mediante el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, de los cuales se obtuvo una gravedad específica (G_s) de 2.66, índice de plasticidad (I_P) de 64% y un contenido de óxido de hierro (Fe_2O_3) de 12.58% y en el análisis granulométrico un contenido de partículas coloidales ($< 1 \mu$) de 19%, valores que al compararlos con los de arcillas típicas se concluyó que las arcillas negras de Pasaquina son del tipo Illitas.

Elaboración del Azulejo y Calidad

Basados principalmente en las propiedades de estas arcillas negras, así como la trabajabilidad, temperatura de fundido, la mezcla óptima y la presión de prensado se elaboró el Azulejo en el molde que para el caso es de once centímetros de lado. Así, la mezcla usada es 80% de arcilla, 20% de Feldespato de Potasio y 8% de agua en peso de sus componentes, la temperatura de quema ($1180^\circ C$), y la presión aplicada en el prensado de 250.0 Kg/cm^2 .

Los resultados obtenidos de los ensayos practicados a los Azulejos en la mezcla sobrepasan los requeridos por la Norma 026-A.07 de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México, ya que el módulo de ruptura para la mezcla óptima es de 258.55 Kg/cm², la absorción de 5.14% y las requeridas por las Normas son 100.0 Kg/cm² y 15% respectivamente.

En base a los resultados obtenidos en ésta investigación se concluye que las arcillas negras de Pasaquina pueden utilizarse como materia prima en la elaboración de Azulejos y por la capacidad del banco de arcilla e factible su explotación a nivel industrial.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
RESUMEN	
SIMBOLOGIA DE TERMINOS Y UNIDADES USADAS	i
INTRODUCCION	iii

CAPITULO I

MARCO GEOLOGICO-INGENIERIL.

1.1 GENERALIDADES	2
1.2 ORIGEN DE LAS ARCILLAS	5
1.3 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS NEGRAS	9
1.4 MINERALOGIA DE LAS ARCILLAS NEGRAS	14
1.5 CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS	20V

CAPITULO II

RECONOCIMIENTO DEL AREA EN ESTUDIO E IDENTIFICACION, CLASIFICACION Y TIPIFICACION PRELIMINAR DEL SUELO.

2.1 INTRODUCCION	26
2.2 RECONOCIMIENTO DEL AREA Y DESCRIPCION DEL SITIO EN ESTUDIO	27
2.3 IDENTIFICACION DE LOS SUELOS Y PRUEBAS PRELIMINARES DE CAMPO	34
2.4 RESULTADO DE LOS ANALISIS DE CAMPO	39

CONTENIDO.	PAGINA
2.5 ASPECTOS GEOTECNICOS GENERALES DE LOS SUELOS EN LA ZONA EN ESTUDIO	45
2.6 DETERMINACION DE LOS BANCOS Y OBTENCION DE MUESTRAS DE LABORATORIO	47
2.7 RECONOCIMIENTO DEL SUELO A TRAVES DE MUESTREOS : ESTRATIGRAFIA Y CLASIFICACION	50
2.7.1 INTRODUCCION	50
2.7.2 TRABAJO DE CAMPO	50
2.7.3 CONTENIDO DE HUMEDAD	51
2.7.4 CLASIFICACION Y ESTRATIGRAFIA	51

CAPITULO III

ENSAYOS DE LABORATORIO EN LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA PARA SU TIPIFICACION

3.1 INTRODUCCION	67
3.2 PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARCILLAS	68
3.3 PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS	78
3.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO	112
3.5 ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA	122
3.6 CONCLUSIONES	126

CAPITULO IV

ELABORACION DE AZULEJOS QUE TIENEN COMO
BASE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

4.1 INTRODUCCION	129
4.2 MOLDE PARA ELABORAR EL AZULEJO	130
4.3 PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA ELABORACION DE AZULEJOS	131
4.4 AGREGADOS QUE MEJORAN LAS PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS	143
4.5 DOSIFICACION DE LA MEZCLA	143
4.6 TABLAS Y GRAFICAS ELABORADAS A PARTIR DEL ESTUDIO DE LOS ESPECIMENES DE PRUEBA	145
4.7 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ELABORACION DE LAS UNIDADES	161
4.7.1 ANALISIS DE LAS GRAFICAS DE ENCOGIMIENTO LINEAL (e_L) VRS. CONTENIDO DE HUMEDAD (w_0)	162
4.7.2 ANALISIS DE LAS GRAFICAS DE PERDIDA DE PESO (P_p) VRS. CONTENIDO DE HUMEDAD (w_0)	163
4.7.3 ANALISIS DE LAS GRAFICAS DE PESO SECO UNITARIO (P.S.U.) VRS. CONTENIDO DE HUMEDAD (w_0)	164
4.7.4 RESULTADOS DE LOS EXAMENES VISUALES DE LOS ESPECIMENES ELABORADOS	165
4.8 COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LAS UNIDADES A BASE DE ARCILLA NEGRA CON LAS NORMAS DE LA SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS DE MEXICO (NORMA 026-A.07)	167
4.8.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS AZULEJOS	172
4.9 COSTO ESTIMADO PARA LA FABRICACION DE LOS AZULEJOS	173
4.10 CONCLUSIONES	175

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	179
5.2 RECOMENDACIONES	182
5.3 TRABAJOS QUE SE DEBEN CONTINUAR	184
BIBLIOGRAFIA	185
ANEXOS	188
ANEXO No.1 : ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA REALIZADO POR EL C.I.G.	
ANEXO No.2 : PROCEDIMIENTO ILUSTRADO CON FOTOGRAFIAS EN LA ELABORACION DEL AZULEJO	
GLOSARIO DE TERMINOS USADOS	206

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PAGINA
1.1 PODER REFRACTARIO	24
1.2 CONTENIDO DE ALUMINA MAS OXIDO DE TITANIO ...	24
1.3 PODER DE AGLUTINACION	24
1.4 CONTENIDO DE OXIDO COLORANTE	24
1.5 PLASTICIDAD	24
1.6A GRANULOMETRIA FRACCION FINA	24
1.6B GRANULOMETRIA FRACCION GRUESA	24
2.1 TIEMPO DE SUSPENSION DE LOS SUELOS	38
2.2 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO (PRUEBAS CUALITATIVAS)	44
2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD	51
2.4 SONDEO No.1	52
2.5 SONDEO No.2	53
2.6 SONDEO No.3	53
2.7 SONDEO No.4	54
2.8 SONDEO No.5	54
2.9 DESCRIPCION DE LOS LIMITES, CONTENIDO DE HUMEDAD Y CLASIFICACION PARA LOS DIFERENTES SONDEOS	55
- ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	73
- ENSAYO : RELACION DE VACIOS, POROSIDAD, GRADO DE SATURACION, PESO VOLUMETRICO SECO Y DE LA MASA DE SUELO	74
- ENSAYO : GRAVEDAD ESPECIFICA	77

3.1	CLASIFICACION ASTM DE LOS SUELOS	78
-	ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO PUNTO No.1 ..	81
-	ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO PUNTO No.2 ..	83
-	ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO PUNTO No.3 ..	85
-	ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO PUNTO No.4 ..	87
-	ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO PUNTO No.5 ..	89
-	ENSAYO : LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO PUNTO No.1	95
-	ENSAYO : LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO PUNTO No.2	96
-	ENSAYO : LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO PUNTO No.3	100
-	ENSAYO : LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO PUNTO No.4	101
-	ENSAYO : LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO PUNTO No.5	103
-	ENSAYO : LIMITE DE CONTRACCION	109
3.2	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS RELACIONES GRAVIMETRICAS Y VOLUMETRICAS	110
3.3	RESULTADO DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA	111
3.4	VALORES DE GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs) DE LOS PUNTOS MUESTREADOS	116
3.5	VALORES DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS MINERALES DEL SUELOS (PARA SUELOS TIPICOS) ..	116
3.6	CLASIFICACION DE LOS SUELOS FINOS SEGUN EN TAMANO DE LAS PARTICULAS	117
3.7	VALORES TIPICOS DE LIMITE LIQUIDO	119
3.8	VALORES TIPICOS DE INDICE DE PLASTICIDAD DE LAS ARCILLAS DE ACUERDO A SU COMPOSICION .	121
3.9	PUNTO ENSAYADOS EN EL C.I.G.	123
3.10	RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS	124
4.0	DOSIFICACION DE MEZCLAS	144

4.1	RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO. PERDIDA DE PESO Y ENCOGIMIENTO LINEAL PARA 100% ARCILLA. CON CARGA 10.000 KGS.	146
4.2	RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO. PERDIDA DE PESO Y ENCOGIMIENTO LINEAL PARA 100% ARCILLA. CON CARGA 12.500 KGS.	147
4.3	RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO. PERDIDA DE PESO Y ENCOGIMIENTO LINEAL PARA 100% ARCILLA. CON CARGA 15.000 KGS.	148
4.4	RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO. PERDIDA DE PESO Y ENCOGIMIENTO LINEAL PARA 80% ARCILLA Y 20% DE FELDESPATO DE POTASIO. CON CARGA 10.000 KGS.	149
4.5	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECANICAS DE LOS AZULEJOS	171
4.6	COSTO DE MATERIA PRIMA	174

INDICE DE GRAFICAS

CONTENIDO	PAGINA
CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO No.1	82
CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO No.2	84
CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO No.3	86
CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO No.4	88
CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO No.5	90
SÚPERPOSICION DE CURVA GRANULOMETRICA	91
PESO SECO UNITARIO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD. CON CARGA DE 10.000 KG	150
PESO SECO UNITARIO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD. CON CARGA DE 12.500 KGS	151
PESO SECO UNITARIO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD. CON CARGA DE 15.000 KGS	152
PERDIDA DE PESO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD. CON CARGA DE 10.000 KGS	153
PERDIDA DE PESO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD. CON CARGA DE 12.500 KGS	154
PERDIDA DE PESO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD. CON CARGA DE 15.000 KGS	155
ENGOGIMIENTO LINEAL VRS CONTENIDO DE HUMEDAD CON CARGA DE 10.000 KGS	156
ENGOGIMIENTO LINEAL VRS CONTENIDO DE HUMEDAD CON CARGA DE 12.500 KGS	157
ENGOGIMIENTO LINEAL VRS CONTENIDO DE HUMEDAD CON CARGA DE 15.000 KGS	158

PESO SECO UNITARIO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD
PARA 80% ARCILLA Y 20% DE FELDESPATO DE POTASIO.
CON CARGA 10.000 KGS. 159

PERDIDA DE PESO VRS CONTENIDO DE HUMEDAD PARA
80% ARCILLA Y 20% DE FELDESPATO DE POTASIO.
CON CARGA 10.000 KGS. 150

ENCIGIMIENTO LINEAL VRS CONTENIDO DE HUMEDAD
PARA 80% ARCILLA Y 20% DE FELDESPATO DE POTASIO.
CON CARGA 10.000 KGS. 160-A

SIMBOLOGIA DE TERMINOS Y UNIDADES USADAS

- Abs. : Absorción (%).
- b : Ancho del espécimen usado en la determinación del módulo de ruptura (centímetros).
- d : Espesor promedio del espécimen usado en la determinación del módulo de ruptura.
- e : Relación de vacíos (adimensional).
- e_L : Encogimiento lineal (%).
- G_s : Gravedad específica (adimensional).
- G_w : Grado de saturación (%).
- I_p : Índice de plasticidad (%).
- K : Factor de conversión para temperatura usado en la determinación de la gravedad específica (adimensional).
- L : Distancia entre apoyos para la determinación del módulo de ruptura (centímetros).
- L_c : Límite de contracción (%).
- L_L : Límite líquido (%).
- L_p : Límite de plasticidad (%).
- n : Porosidad (%).
- P : Carga aplicada a los especímenes (Kg).
- PH : Acidez o alcalinidad (adimensional).
- P_e : Pérdida de peso (%).
- S : Módulo de ruptura a la flexión (Kg/cm²).
- T : Temperatura (°C).
- t : Tiempo de Quemado (horas).

μ : Micra (0.001 milímetro).
 V_a : Volumen de la fase gaseosa de la muestra (cm^3).
 V_m : Volumen total de la muestra de suelo (cm^3).
 V_s : Volumen de la fase sólida de la muestra (cm^3).
 V_v : Volumen de los vacíos de la Muestra de suelos (cm^3).
 V_w : Volumen de la fase líquida contenida en la muestra (cm^3).
 w : Contenido de Humedad Natural (%).
 W : Carga máxima aplicada al espécimen en la determinación del módulo de ruptura (Kg).
 W_a : Peso de la fase gaseosa de la muestra (gramos).
 W_d : Peso saturado superficialmente seco (gramos).
 W_m : Peso total de la muestra de suelo (gramos).
 W_s : Peso de la fase sólida de la muestra de suelo (gramos).
 W_w : Peso de la fase líquida de la muestra (gramos).
 W_o : Peso del Suelo Seco (gramos).
 W_1 : Peso del Matraz con Agua y Suelo (gramos).
 W_2 : Peso del Matraz con Agua a Capacidad Total (gramos).
 T_d : Peso Volumétrico Seco (gr/cm^3).
 T_m : Peso Volumétrico de la Masa (gr/cm^3).
 T_s : Peso de los Sólidos (gr/cm^3).
 T_w : Peso Específico del Agua a 4°C (gr/cm^3).

Para conocer detalladamente las características y condiciones in-situ del material, que influyen en su

materia prima.

requisitos que la industria de la cerámica establecen a su regiones similares a las de Pasaguina, así como los acerca del origen y características de las arcillas de otras Esta investigación se inició recopilando información

alcance de los sectores populares de la sociedad salvadoreña. unidades buscando así, disminuir su costo y ponerlo al usarla como materia prima en la elaboración de dichas Pasaguina, en el Departamento de La Unión, con el objeto de pretende contribuir, investigando los bancos de arcilla de En este sentido, el presente Trabajo de Graduación

razón por la cual los convierte en artículos suntuarios.

Salvador es un país netamente importador de estos productos. con una buena decoración y alta resistencia. No obstante, El civiles que requieren de pisos y enchapes (recubrimientos) alto costo de adquisición, principalmente en aquellas obras tado una creciente demanda en los últimos años, a pesar de su construcción (Azulejo, Ladrillo de piso, etc.), ha experimentado En El Salvador, el uso de materiales cerámicos en la

I N T R O D U C C I O N

comportamiento, fué necesario realizar una visita de reconocimiento a la zona, para observar la vegetación, morfología, infraestructura y principalmente practicar algunos ensayos preliminares de campo al material.

En base a todo lo observado, se ubicaron los posibles puntos de muestreo para los ensayos de laboratorio. Definidos así, éstos puntos, se procedió al muestreo, con la ayuda del equipo de Penetración Estándar (SPT), con el fin de conocer aproximadamente el volumen de material disponible y obtener muestras que se utilizaron en los ensayos de laboratorio, que en definitiva tipificaron las arcillas, siendo éstos de vital importancia para predecir el comportamiento del material durante el proceso de elaboración de las unidades constructivas.

Determinadas las propiedades físicas e índices en el laboratorio y la composición química del material, se procedió a la elaboración de especímenes de prueba con los cuales se ensayó la arcilla para diferentes cantidades de agua de mezcla, temperatura de quemado, presión aplicada, así como especímenes que contenían agregado (Feldespatos de Potasio).

Con los resultados de éstas pruebas se elaboraron gráficas que permitieron determinar la mezcla, carga y temperatura óptima para fabricar unidades tipo Azulejo, que fueron ensayadas a la flexión, absorción y sanidad de acuerdo a las Normas de la ASTM.

Puede decirse, de acuerdo a los resultados que la arcilla negra de Pasaquina del Departamento de La Unión, es un material que se encuentra en suficiente cantidad para ser explotado en la fabricación de materiales cerámicos usados en la construcción de obras civiles.

CAPITULO I

MARCO GEOLOGICO-INGENIERIL

C A P I T U L O I

MARCO GEOLOGICO-INGENIERIL

1.1 GENERALIDADES.

Las arcillas negras ocupan el 6% del área total del país, se encuentran generalmente en áreas de topografía plana con pendiente aproximada del 1%. Las capas superficiales oscuras y grises en el subsuelo suelen tener, corrientemente, de 30 a 90 cms. de espesor. A pesar de éste color negro el contenido de materia orgánica es generalmente bajo, tanto en las capas superficiales como en las más profundas del perfil. /12

Estas arcillas son compactas, plásticas, pegajosas y de permeabilidad muy lenta, al secarse se agrietan en bloques muy grandes y duros formándose grietas superficiales y otras poco profundas. Cuando el suelo se humedece de nuevo, al final de la estación seca, el proceso se revierte y ocurre la expansión.

Debido a que las arcillas negras se contraen y se agrietan al secarse, algunos de los materiales de la superficie caen o son arrastrados por la lluvia a las hendiduras

rellenándolas parcialmente; cuando el suelo vuelve a dilatarse al mojarse, no puede ocupar de nuevo las grietas que se formaron en la primera contracción, y parte del suelo se ve sometido a una presión ascendente que ocasiona, con frecuencia, un microrelieve característico constituido por pequeños salientes y depresiones poco profundas.

La contracción y dilatación de las arcillas negras ocasionan una lenta remoción de toda la masa del suelo a lo largo de las hendiduras.

Como consecuencia de la caída en las grietas de los materiales de la superficie, todo el suelo hasta cierta profundidad, va removiéndose gradualmente. Se dice entonces, que estas arcillas negras son auto-retráctidas.

La capacidad de contracción y agrietamiento cuando se secan, al volver a dilatarse lentamente cuando se mojan y decantarse progresivamente, es característica de las arcillas negras y a ello se debe en gran medida sus propiedades específicas.

Las presiones debidas a las fuerzas de expansión provocan el deslizamiento de una parte del suelo sobre otra que produce superficies acanaladas y lisas.

La roca dura subyacente se encuentra a una profundidad de 1 a 2 metros, razón por la que se secan rápidamente al cesar la lluvia quedando prácticamente áridas por largo

tiempo y muy mojadas que no pueden cultivarse, en la estación lluviosa. Debido a la topografía del terreno, el drenaje superficial es lento y el drenaje interno es nulo debido al tamaño de las partículas que lo constituyen ($< 2 \mu$). /12

En general, los suelos en estudio poseen una capacidad de producción agrícola de moderada a baja debido a las características ya citadas, que a pesar de encontrarse en terrenos casi planos y de poca disección sus condiciones físicas no se adaptan para el aprovechamiento agrícola intensivo.

La mayoría de éstos suelos es apropiado solamente para : pasto nativo no mejorado, morro, espino blanco, zacate, hierba y bosque bajo. Hay pequeñas áreas dispersas que son apropiadas para cultivos como el maicillo, y algunas áreas de arcilla negra enterradas bajo unos pocos centímetros de ceniza volcánica reciente. que son apropiadas para arroz, sus rendimientos son relativamente bajos y el manejo es difícil.

1.2 ORIGEN DE LAS ARCILLAS NEGRAS /3

El origen y las características específicas de las arcillas negras, están estrechamente relacionadas con la contracción y la expansión de la masa de suelo y con la continua transformación de los materiales del suelo. Estos fenómenos son debido a una textura pesada, a un predominio de las arcillas negras dilatables de la fracción fina y marcadas relaciones del grado de humedad.

El origen de las arcillas negras está regido por los factores que favorecen la formación de arcilla de tipo expansible y por las condiciones que permiten un humedecimiento y desecación sucesivas.

Las arcillas negras expansibles pueden formarse por dos procesos:

- 1- Existir en el material original de partida del suelo.
- 2- Formarse por síntesis, durante el proceso de meteorización de la roca.

La primera posibilidad está limitada a los sedimentos lacustres depositados en los medios alcalinos e intensamente magnésicos. La estabilidad de éstas arcillas depende no obstante, de que no haya una lixiviación o de un aporte constante de tierras alcalinas de origen exterior. Si la sedimentación va seguida de un medio ácido, tiende a establecerse un nuevo equilibrio por la transformación de montmorillonita en illita y caolinita.

Las arcillas negras pueden también originarse de rocas madres ácidas cuya falta de bases es compensada por tierras alcalinas aportadas por infiltraciones desde las tierras altas adyacentes. Pueden también originarse de una gran variedad de materiales de partida y bajo condiciones climatológicas muy diversas, constituyendo un notable ejemplo de cómo los factores de formación del suelo pueden compensarse mutuamente y de cómo diferentes combinaciones de factores ambientales pueden conducir a un mismo producto final.

La segunda posibilidad respecto a los minerales de arcilla formado por la meteorización de rocas in-situ, la síntesis de los minerales expansibles de este tipo es favorecida por un nivel adecuado de tierras alcalinas en la zona de meteorización. El magnesio desempeña una función en la síntesis de la montmorillonita, mientras que el calcio mantiene un nivel favorable de PH para su formación. Las tierras alcalinas son proporcionadas por la meteorización de las rocas básicas, por ejemplo, las que tienen un contenido elevado en diagclasas, minerales ferromagnésicos y carbono cálsico o magnésico o bien por enriquecimiento secundario debido a las aguas de inundaciones o de infiltración en las llanuras y depresiones. La síntesis de la arcilla negra puede ocurrir sólo cuando esos elementos, una vez liberados, permanecen durante un período de tiempo suficiente en la zona de meteorización. La retención de estos elementos móviles aumenta cuando las condiciones climatológicas, aun permitiendo una meteorización intermitente, no dan lugar a

una rápida lixiviación. De éste modo suele formarse la arcilla negra en climas alternativamente secos y húmedos. El movimiento descendentes de los compuestos solubles, ya sea dedibo a la descomposición de los silicatos y carbonatos, o procedente del exterior, es también entorpecido por la lenta permeabilidad y por el deficiente drenaje interno de los materiales de textura pesada.

De lo expuesto, se deduce que la arcilla negra se forma en medios adecuadamente provistos de magnesio y calcio con un clima suficientemente cálido y húmedo para permitir la meteorización, aunque a veces lo suficientemente secos para producir amplias grietas. Estas condiciones suelen darse en lugares donde los suelo se desarrollan a partir de materiales básicos en climas con temperaturas altas, con un régimen de lluvias de medias a moderadas y con una estación seca marcada; por ejemplo en los climas templados tropicales o subtropicales donde los periodos secos y húmedos se alteran marcadamente. No obstante, pueden también desarrollarse con fuertes lluvias, cuando la lixiviación es menor por la impermeabilidad del material de partida y por intensa evaporación, como también, en las zonas áridas en que las fuertes lluvias de la estación húmeda están reemplazadas por aguas de inundación.

En consecuencia, los efectos de los fenómenos de contracción, dilatación y autorenovación de los suelos, desempeñan una función única e importante en el origen de las

arcillas negras. A ello se deben en gran parte : la penetración profunda e irregular de la materia orgánica en el suelo y por consiguiente, el espesor y el límite inferior frecuentemente ondulado del horizonte A; la forma y naturaleza de los suelos estructurales; la distribución y emplazamiento de las concreciones y cantos en la masa de suelo; la formación local de un microrelieve especial; la conservación de cierta fertilidad y de elevada saturación básica; la resistencia a la salinización de los horizontes superiores; la falta de horizontes bien definidos salvo en el horizonte A, y carencia de una importante migración arcillosa.

El color de las arcillas negras ha sido objeto de múltiples y detalladas investigaciones; pronto se supo que el color obscuro no se debía a la cantidad total de materia orgánica presente, puesto que las arcillas negras tienen un contenido de humus relativamente bajo. Según varios estudios, la coloración específica era debida a óxidos metálicos u otros constituyentes minerales, pero más recientemente se ha demostrado que el color negro se debe a la formación arcilla-materia orgánica. En realidad, la materia orgánica puede ser absorbida por la superficie arcillosa e incluso ligarse químicamente con ella: al respecto, las arcillas montmorilloníticas son más activas, siendo casi inerte la caolinita.

Los contenidos de sulfuro de hierro y óxido de manganeso, son factores que contribuyen considerablemente al color obscuro de éstas arcillas, y el espesor de la capa de color negro se debe a una homogeneización mecánica, a una acumulación en profundidad y a una percolación de materia orgánica.

En éstos suelos de textura pesada, el proceso de humidificación está muy limitado a las capas superficiales de suelo y el drenaje interno muy lento impide la migración de sustancias colorantes. Los factores que rigen la variación del color en las arcillas negras no se han aclarado satisfactoriamente, pero en general, los suelos con poco drenaje son más oscuros que los que permiten una eliminación adecuada de exceso de agua o que se desarrollan en climas más secos.

1.3 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS NEGRAS. /6

TEXTURA.

Son algunas veces suelos franco-limosos o francos, con contenidos de arcilla que van del 40% al 60%; pero pueden alcanzar el 80% o no pasar del 30%; éstos contenidos son válidos en estratos de por lo menos un metro de espesor. En algunos casos los porcentajes aumentan gradualmente con la profundidad mientras que en otros disminuye, éstas diferencias pueden ser debidas a las variaciones del material de partida más que a la formación del suelo.

La proporción de limo a arcilla negra es del 10% al 40% del total del suelo. La fracción arenosa es generalmente baja, sin que se encuentre arena de grano duro en casi ninguno de éstos suelos.

ACIDEZ O ALCALINIDAD : PH.

Los valores de PH de las capas superficiales de las arcillas negras varían usualmente entre 6.0 y 7.5 pero, cuando el contenido de carbonato cálcico (CaCO_3) es elevado, varían de 7.2 a 8.5; las capas superficiales pueden ser más ácidas, habiéndose registrado valores de PH de 5.0 a 5.8. Por lo general, el PH aumenta con la profundidad, al aumentar el carbonato cálcico y otras sales, y el de la parte inferior del suelo varía generalmente entre 7.8 a 8.6; cuando se observan síntomas de alcalinización, el PH puede ser de 9.0 a 9.5. Se han descrito en ocasiones perfiles con un PH neutro (7.0) en la superficie, que se hacen ligeramente ácidos en las capas inferiores hasta unos dos metros de profundidad.

El PH depende de la composición del material de partida, de las condiciones topográficas y climatológicas cuando los restantes factores ambientales son análogos. Las arcillas negras formadas de piedra caliza tienen PH más altos que los suelos situados sobre rocas ígneas. El PH disminuye cuando aumenta el régimen de lluvia. Las arcillas negras son frecuentemente más ácidas cuando están situadas en depresiones importantes sometidas a inundaciones estacionarias y a una subsiguiente lixiviación más intensa.

DENSIDAD APARENTE.

Las arcillas negras se caracterizan como muy densas si su densidad varía de 1.7 a 2.0, encontrándose siempre los valores de 1.8 en el perfil débilmente granular situado inmediatamente debajo de la superficie.

MATERIA ORGANICA.

El contenido de materia orgánica de las arcillas negras es relativamente bajo, encontrándose valores diversos según la región. La relación carbono/nitrógeno (C/N) varía con la profundidad normalmente entre 10.0 y 14.0, algunas veces llega a 16.0 en suelos que se anegan periódicamente en las zonas altas.

SALES.

Aunque la presencia de carbonato de calcio (CaCO_3) no es una característica absoluta de las arcillas negras, pero éste existe en muchos de dichos suelos en todas las regiones del mundo.

Las arcillas negras contienen frecuentemente cantidades importantes de sulfato cálcico (CaSO_3) y sulfato de magnesio (MgSO_4), la acumulación de éstas sales se ve favorecida por el clima árido que predomina durante la mayor parte del año. El sulfato cálcico puede encontrarse en capas concentradas o bien muy dividido.

MINERALOGIA.

En casi todas las zonas en donde se han estudiado las arcillas negras mineralógicamente, la montmorillonita y las arcillas de la capa mixta constituyen una capa importante de la formación arcillosa; además, desarrollan una gran capacidad de cambio catiónico, propiedades de dilatación, plasticidad y adherencia de éstos suelos.

En general, las arcillas negras parecen desarrollarse fácilmente de rocas ricas en anfíboles y piroxenos con mucha hornblenda y plagioclasa.

PLASTICIDAD.

Es la propiedad más notable de las arcillas que permite moldearse fácilmente. Las arcillas tienen una plasticidad muy variable. Las arcillas aglutinantes que poseen esta propiedad en grado máximo se llaman "arcillas grasas", mientras que las arenosas se llaman "arcillas pobres".

Se ha definido la plasticidad, como una propiedad de los sólidos en virtud de la cual estos conservan su forma permanente bajo la acción de pequeños esfuerzos cortantes, pero se deforman, se labran o se moldean con facilidad al aplicarles esfuerzos que sobrepasen a los descritos.

VITRIFICACION.

El período de vitrificación se divide en tres fases :

- 1- Vitrificación incipiente, en que solo se forma suficiente vidrio para aglutinar los granos.
- 2- Vitrificación completa, en que los espacios intermedios se llenan con material fundido, pero la masa conserva su forma.
- 3- Fusión, en que el cuerpo se ablanda hasta el punto de que no sostiene su propio peso.

Los productos cerámicos se cuecen en hornos para producir en ellos las propiedades físicas adecuadas para los diferentes usos a que se destinan, y la cocción debe producir un estado comprendido entre las dos primeras fases citadas o bién la segunda de ellas; pero si el producto ha llegado a la fusión se califica de sobrecocido.

CAMBIO DE BASE.

Es una propiedad que muestran los minerales arcillosos en grado variable. Por cambio de base se entiende, la capacidad de los materiales arcillosos para cambiar alguno o algunos de sus cationes por otros mediante el frotamiento de una solución acuosa que contenga el segundo catión. La estructura de arcilla no cambia.

RESISTENCIA.

En las arcillas secas y en las cocidas se determina la resistencia a la tracción, a la flexión y a la compresión. Los productos cocidos, especialmente las piezas para la construcción, suelen probarse a la compresión. La resistencia en seco de las arcillas es importante, porque casi todos los productos de fabricación con arcilla se manejan en estado seco. La resistencia de las arcillas cocidas depende del uso al que haya de someterse el producto.

1.4 MINERALOGIA DE LAS ARCILLAS NEGRAS.

Las rocas ígneas y metamórficas, mineralógicamente, están constituidas principalmente por feldespatos ricos en sílice, que mediante procesos de meteorización llegan a constituirse en arcilla. cuya base son silicatos de aluminio hidratados, silicatos de magnesio y hierro, u otros metales también hidratados; los átomos de éstos minerales están dispuestos en dos tipos de láminas: la silícica y la aluminica.

LAMINA SILICICA.

Presenta un átomo de silicio rodeada de cuatro oxigenos dispuestos en forma de tetraedro. Se agrupa en unidades hexagonales, un átomo de oxígeno sirve de nexa

Esta estructura se repite indefinidamente. los hexágonos constituyen una reticula laminar.

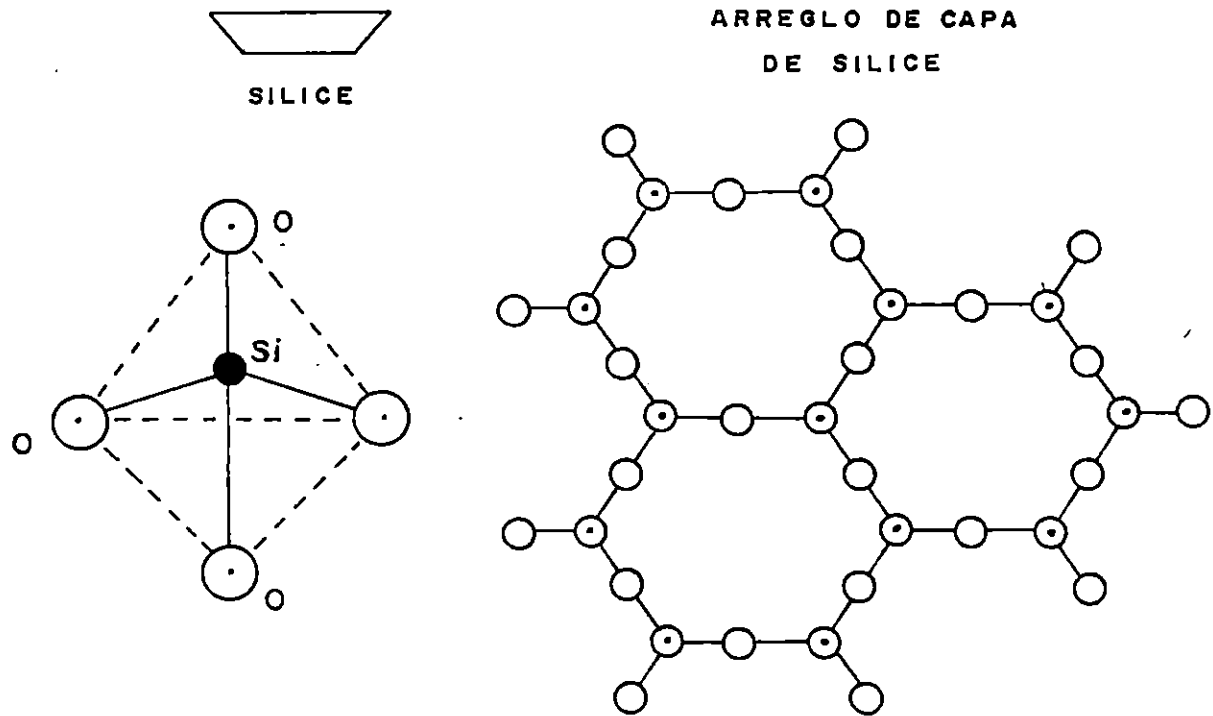
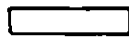
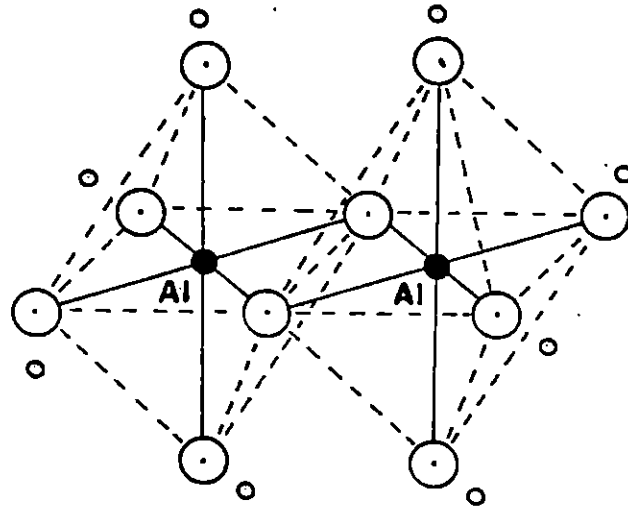


FIGURA 1.4.1 ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE LA LAMINA SILICICA.

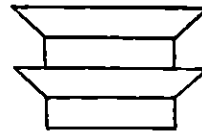
LAMINA ALUMINICA.

Está formada por reticula de octaedros dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor como se indica en la figura 1.4.2. También el nexo es el oxígeno, entre cada dos octaedros vecinos para constituir la reticula. 5/

ALUMINA



ALUMINA



CAOLINITA

FIGURA 1.4.2 - ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE LA LAMINA ALUMINICA.

Los grupos típicos de minerales componentes más importantes de las arcillas son : Caolín, Hidrómicas, Montmorillonitas, Illitas y las Paligorskitas.

CAOLINITAS. ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)

Es el principal mineral de los caolines y arcillas caolínicas. Componente accesorio o secundario casi en

Se caracterizan por su alto contenido de potasio; contienen grupos de minerales arcillosos que forman parte principal de todas las arcillas poliméticas: estos son: Hidromoskovita, Hidroboliota e Hidrotiogota. La Cerisita (mineral difícil de obtener) es de gran utilidad en la industria cerámica debido a su poder refractario, se utiliza en el fundente solo de cerámica de gran calidad como: Porcelana, Losa Sanitaria y Azulejo. La temperatura de fusión es de 1200 °C - 1400 °C. 5/ y 6/

HIDROMICAS

La Galvasita es una variante hidratada de caolinita con dos moléculas más de agua, las que pierde al calentarse a 50 °C. Aparece en las arcillas con menos frecuencia.

La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (absorción). Por tanto, en presencia de agua las arcillas caolínicas son relativamente estables, la temperatura de fusión es 1750 °C - 1785 °C, el contenido teórico de aluminio (Al₂O₃) es 39.5%. 6/

todas las arcillas poliméticas. Está formada por una lámina silícica y otra aluminica que se superponen indefinidamente.

Formadas por una lámina aluminica entre dos silícicas superpuestas indefinidamente. En éste caso la unión entre retículas del mineral es débil, por lo que las moléculas del agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en volumen de los cristales, lo que se traduce macrofísicamente en una expansión. Las arcillas montmorilloníticas, especialmente en presencia de agua, tienen fuerte tendencia a la inestabilidad en su composición.

* Las montmorillonitas son minerales arcillosos que se caracterizan por ser una transición de sílice a alúmina y de ésta a hierro, magnesio y otros elementos: tienen una gran capacidad de intercambio iónico, son absorbentes de gran calidad y a menudo capaces de hincharse considerablemente. El complejo absorbente de los minerales montmorilloníticos frecuentemente incluye sodio, calcio y magnesio en diferentes proporciones (%).

En cerámica éstas arcillas se usan para dar plasticidad al fundente o para disminuir su temperatura de aglutinación. Debido a la gran variedad del contenido de minerales de las montmorillonitas la temperatura de fusión varía entre 900 °C y 1200 °C. 6/

En la serie de minerales montmorilloníticos, la beidelita es un mineral con elevado contenido de alúmina. posee la principal característica de las bentonitas, se encuentra poco frecuente y tienen una gran capacidad de intercambio iónico.

Las bentonitas son del grupo de las arcillas montmorilloníticas originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico.

ILLITAS. $[(OH)_4 K^*_Y(Si_x - Y Al_Y) (Al_4 Fe_4 Mg_4 Mg_4 O_{20})] 5/$

Están estructuradas análogamente a las montmorillonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansividad es menor que la de las montmorillonitas y en general, las arcillas illíticas se comportan mecánicamente en forma más favorable.

* Para la Constante Y. generalmente : $Y = 1.5$

PALIGORSKITAS

Forma parte de algunas arcillas, en un silicatoseudolamina; su composición principal es magnesio, aluminio, a veces hierro y hasta 2% de potasio eventualmente. Tiene forma aplanada como filtro o papel.

MINERALES AUTOGENOS NO ARCILLOSOS

Están presentes en las arcillas en contenidos variables. Son carbonatos, óxidos e hidróxidos de hierro, manganeso, aluminio, diversas modificaciones de sílice, pirita, sustancias orgánicas (carbón, humus) y en las arcillas de zonas áridas son sulfatos y cloratos, a veces solubles en agua.

La composición química de las arcillas es muy variable, depende del contenido de minerales arcillosos, detritos y minerales autógenos. La mayoría de las arcillas son poliminerálicas. Las monominerálicas son de gran importancia en la industria de la cerámica en general. Las más frecuentes son las caolínicas y las más raras las montmorilloníticas.

1.5 CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS

Las clasificaciones modernas de las arcillas se fundamentan en la composición mineral, la estructura de la red cristalina y el comportamiento que presentan de acuerdo al

cristalina y el comportamiento que presentan de acuerdo al interés del investigador. Sin embargo, clasificaciones basadas en la composición mineral y en las propiedades físicas y químicas han sido usadas a pesar de ser incompletas, ya que no abarcan todos los tipos de depósitos de arcilla, ni describen efectos tecnológicos de los minerales del tamaño de las arcillas, la posible asociación con alúmina hidratada y con el sílice relativamente solubles, y sobre el efecto de la materia orgánica asociada (bacterias vivas, etc.).

Una clasificación moderna debería tener en cuenta por lo menos las siguientes características :

1- El tipo de mineral arcilloso : por ejemplo, caolinita, montmorillonita, illitas, etc. y los presentes en cantidades secundarias.

Distribución mineral por tamaño de partícula : por lo general, con el nombre del mineral se identifica automáticamente la forma de los cristales, si tienen forma de placa, listón o fibra.

2- La capacidad de intercambiar iones. Propiedad muy importante en el grupo de las montmorillonitas para fines tecnológicos por la posible reactividad con cationes orgánicos.

3- Los iones cambiables, en las arcillas in-situ son importantes cuando la capacidad de cambio de base es elevada.

- 4- Predominio de un mineral de red cristalina dilatatable o no dilatatable.
- 5- Existencia de electrolitos y soluciones asociadas al yacimiento de arcilla.
- 6- Que estén presentes minerales accesorios o "impurezas" minerales: dimensiones, homogeneidad de la mezcla y su capacidad de intercambiar iones.
- 7- Que contenga materia orgánica y forma en que se presenta : tamaño, individualidad de la partículas, absorción sobre la unidad cristalina de la arcilla o dentro de ella y la acción coloidal protectora.
- 8- Presencia o ausencia de bacterias u otros organismos vivos: el PH y otras propiedades de una yacimiento de arcilla pueden variar mucho en poco tiempo cuando hay proliferación de bacterias.
- 9- Contenido de alúmina hidratada y sílice, que son relativamente solubles en el agua del suelo o en los ácidos o alcalis diluidos.
- 10- Estructura y textura del depósito de arcilla, como laminación, orientación de las partículas minerales y otros caracteres macroscópicos.

Una de las funciones de la clasificación es organizar la descripción y la información en una forma tan concisa que una

sola palabra o una expresión corta transmite mucha información. Pero debido al enfoque de éste estudio es necesario considerar también otra clasificación de las arcillas, que tengan en cuenta los caracteres necesarios para identificar las arcillas como materia prima en la fabricación de unidades de cerámica y de otro tipo usadas en la industria de las construcciones.

La industria de la cerámica en general determina seis condiciones a su materia prima, principalmente arcilla : poder refractario, contenido de alúmina más óxido de titanio, poder de aglutinación, contenido de óxido colorante, plasticidad y granulometría. Para cada una de éstas exigencias hay una clasificación de las arcillas, ver Cuadros No 1.1 al No. 1.6B. 7/

CUADRO No. 1.1
PODER REFRACTARIO

PODER DE REFRACCION	T °C	FUSIBILIDAD
REFRACTARIA	> 1500	-
REFRACTARIAS	1350 - 1500	POCO FUSIBLE
	< 1350	FUSIBLE

CUADRO No. 1.3
PODER DE AGLUTINACION

	T °C
BAJA	< 1100
MEDIA	1100 - 1300
ALTA	> 1300

CUADRO No. 1.5
PLASTICIDAD

PLASTICIDAD	INDICE PLASTICO %
ALTA PLASTICIDAD	> 25
MEDIA PLASTICIDAD	15 - 25
MODERADA PLASTICIDAD	7 - 15
POCA PLASTICIDAD	< 7
SIN PLASTICIDAD	NO PLASTICO

CUADRO No. 1.2
CONTENIDO DE ALUMINA MAS OXIDO DE TITANIO

HUY BASICAS	> 40
BASICAS	30 - 40
SEMI-ACIDAS	15 - 30
ACIDAS	< 15

CUADRO No. 1.4
CONTENIDO DE OXIDOS COLORANTES
(Fe₂O₃ y TiO₂)

CONTENIDO	%
BAJO	< 1
MEDIANO	1 - 5
ALTO	> 5

CUADRO No. 1.6 A
GRANULOMETRIA

FRACCION FINA	PARTICULAS < 1 µ %
GRAN DISPERSIDAD	> 60
DISPERSAS	60 - 20
POCO DISPERSAS	< 20

CUADRO No. 1.6 B

FRACCION GRUESA	PARTICULAS > 0.5 mm %
POCO CONTENIDO	< 1
MEDIO CONTENIDO	1 - 5
GRAN CONTENIDO	> 5

CAPITULO II

RECONOCIMIENTO DEL AREA EN ESTUDIO E
IDENTIFICACION, CLASIFICACION Y TIPIFICACION
PRELIMINAR DEL SUELO

CAPITULO II

RECONOCIMIENTO DEL AREA EN ESTUDIO E IDENTIFICACION, CLASIFICACION Y TIPIFICACION PRELIMINAR DEL SUELO.

2.1 INTRODUCCION

Para estudiar la explotación del suelo como material de construcción en una área, debe hacerse, tomando en cuenta los aspectos ambientales, sociales, de infraestructura existente.

El estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales que se han de utilizar, implica conocer la vegetación, morfología, geología del área, uso y tenencia de la tierra, y las propiedades propiamente dichas; para ello es necesario considerar dos tipos de ensayos: Preliminares o de Campo y de Laboratorio.

Las pruebas de campo se realizan para conocer de manera aproximada las características propias del material y predecir aproximadamente cómo se comportará éste en los ensayos de laboratorio. Entre las pruebas de campo que se hacen están: Sacudimiento, Resistencia en Estado Seco, Dispersión, Tenacidad, Olor y Brillo.

Las pruebas de laboratorio se realizan para obtener en forma definitiva las propiedades de los suelos que previamente fueron seleccionados.

2.2 RECONOCIMIENTO DEL AREA Y DESCRIPCION DEL SITIO EN ESTUDIO.

El área en estudio que contiene arcillas negras para el caso, tiene una extensión de 36.0 Kilómetros cuadrados (11/). Está situada en la zona oriental del país y comprende la parte central del Departamento de La Unión. Jurisdicción de Pasaquina.

En esta área se encuentra una combinación de suelos principalmente arcillosos que en color varían de negros a rojizos y espesores de poco a moderadamente profundos.

En las partes más planas hay suelos negros arcillosos y cohesivos. Típicamente, los suelos superficiales hasta una profundidad de 60 a 90 centímetros son arcillas negras, compactas, plásticas, pegajosas y de permeabilidad muy lenta; al secarse se agrietan en bloques muy grandes y duros formando figuras geométricas casi definidas como hexágonos y pentágonos típicas para toda la zona, siendo la dimensión promedio de 90.0 centímetros de diámetro. Los subsuelos son arcillas plásticas de color gris oscuro a claro y usualmente moteado. La roca dura se encuentra a una profundidad de 1.0 a 2.0 metros: la mayoría son áreas pedregosas.

En zonas muy reducidas hay un suelo superficial más franco y apto para ser cultivado. En las áreas alomadas y adyacentes a cerros y montañas hay suelos arcillorocosos y rocosos color rojo. Estos suelos tienen horizontes

superficiales francoarcillosos, pedregosos de color café obscuro, sobre subsuelos o arcillas pedregosas, plásticas y de estructuras en bloques de rocas con un grado de intemperismo avanzado.

El área descrita está localizada en las planicies, la temperatura media varía alrededor de 26 °C, generalmente es en Diciembre y Enero cuando se registran las temperaturas más bajas. La precipitación promedio anual es de 1800 milímetros, repartida entre los meses que comprenden la estación lluviosa, Mayo a Octubre. 4/

VEGETACION -

La vegetación original en el área fué probablemente bosques semi-húmedos caducifolios en las tierras alomadas y montañosas con suelos permeables y de morrales y chaparrales, en las tierras planas a ligeramente onduladas con suelos impermeables y pesados.

Actualmente la vegetación natural está compuesta por espino blanco, carbón blanco, nacascal, morros, huiscanal, piña silvestre, zacate y malas hierbas. No existen las áreas de bosques bien desarrollados.

TOPOGRAFIA

El terreno presenta pendientes de moderadas a muy fuertes en forma aislada, separada por planicies.

La altitud sobre el nivel del mar de ésta área es de 20.0 a 300.0 metros (11/) y el relieve local tiene fluctuaciones de decenas de metros.

La periferia del área estudiada se extiende en dirección Oeste una cadena montañosa que alcanza las mayores alturas llegando hasta los 500.0 metros y al Sur se extienden las planicies más bajas, valles antiguos (actualmente se encuentran disectados en el área de interés), también se encuentran grandes extensiones en forma de planicies casi a nivel o en pendientes cóncavas que predominantemente varían de 0% a 2%.

En la región de Pasaquina se extienden dos suelos con diferencias bien marcadas, en las partes altas los suelos de color rojizo, donde se encuentra casi superficial la roca en un estado avanzado de meteorización, índice del buen drenaje; en las partes bajas y planas se encuentran los suelos oscuros, cuyo drenaje interno y superficial es pobre, por consiguiente impide el lavado del suelo. Podría hablarse de un tercer suelo que se encuentra en una zona de transición: es decir, en el pie de monte, que viene siendo el producto de una combinación de suelos rojos de la altura y suelos negros de las planicies bajas.

Los ríos que atraviesan las planicies de Pasaquina son las vías de arrastre del material parental de las arcillas negras y cuyo flujo se presenta en la dirección Nor-Este a Sur-Oeste; lo anterior se fundamenta, en que las partes altas de las cuencas de éstos ríos presentan fuertes pendientes y

una acelerada erosión, los suelos en éstos sectores de las cuencas han sido afectados en su profundidad por las corrientes de agua. 8/

La topografía del terreno ha influido considerablemente en la modificación del suelo en cuanto a su color, profundidad del perfil, grado de erosión, humedad y vegetación que sustenta.

SUELOS

Son arcillosos de color negro a gris obscuro, muy plásticos, muy pegajosos y de permeabilidad muy lenta. En la estación lluviosa son muy húmedos y cohesivos, en la estación seca son suelos áridos y agrietados. Usualmente son suelos formados de lahares con capas inferiores de tobas o conglomerados poco fracturados, relativamente antiguos del Plioceno (4/), encontrándose superficialmente e intruido en forma dispersa cuarzo y basalto con alto grado de meteorización.

GEOMORFOLOGIA

La Geomorfología del suelo contempla dos aspectos en la formación de éste. En el primer aspecto intervienen los agentes formadores de suelo y en el segundo se considera la mecánica de cómo éstos agentes interactúan con los materiales parentales; los procesos pedogenéticos. Entre los agentes que contribuyen a la formación de las arcillas están :

1) Roca Madre

Son suelos sedimentarios, provienen de rocas daren-
tales que se encuentran en las cuencas del río Pasau-
na, Agua Caliente, Siramá y otros riachuelos que
disecionan el área que las contiene. Existen en esta
zona grandes yacimientos de materiales ácidos tales como
tobas ríolíticas y basaltos (47) que comprenden áreas de
suelos esqueléticos o someros, esto se debe a la lenta
descomposición de la roca y a la acelerada erosión.

ii) Clima

La precipitación [lujia] y la temperatura participan
directa o indirectamente en el modelado de la corteza
terrestre, a causa tanto de acciones mecánicas como
químicas; debido a que el agua es el principal disolven-
te de la naturaleza. En ese sentido, es esta la respon-
sable en gran medida de la descomposición de la roca.

La temperatura es causante de la dilatación y con-
tracción de la roca, y produce el resquebrajamiento de
la misma (metamorfismo). Los elementos del clima que
aquí se citan son los que mayor presencia tienen en la
zona oriental del país, por lo que a ellos se deben en
gran medida la formación de los suelos de la región.

La influencia humana ha modificado moderadamente la actividad pedogenética de los factores formadores y a su acción perturbadora se le ha considerado como otro factor. Esta labor se manifiesta ostensiblemente por los estragos de la erosión, por la desmedida tala o quema de bosques.

Una serie de complejos fenómenos pedogenéticos interviene en la descomposición o intemperización mineralógica dentro del cuerpo parental nombrados como procesos formadores. Los que más contribuyen a la formación de las arcillas negras de Pasauquina son la calcificación y la salinización. 8/

Calcificación: Es el proceso de lixiviación imcompleta, o que favorece la acumulación de carbonatos de calcio de por lo menos dentro de una parte del perfil.

Salinización.

El área en estudio se encuentra aladaña con los manglares al norte del golfo de Fonseca, por lo que el cloruro de sodio (NaCl) podría estar contribuyendo a la meteorización de las rocas y suelos existentes en el lugar a través de las evaporitas que se forman en la zona circunvecina identificable.

El cloruro de sodio es una sal muy soluble lo que facilita el lavado por el agua de drenaje superficial, pero por tratarse de una región semi-árida el proceso cobra mayor importancia.

USO DE LA TIERRA

Por su textura y baja permeabilidad éstos campos son de difícil laboreo y rendimiento agrícola bajo. En la actualidad, la mayor parte son destinados para ganadería y vegetación permanente (zacates y bosques bajos). La agricultura intensiva; como maíz, maicillo y arroz, está limitada a las pequeñas áreas de suelos superficiales menos pesados.

Las arcillas negras actualmente son usadas por el hombre para la elaboración de teja y ladrillo (empíricamente).

TENENCIA DE LA TIERRA.

En su mayoría son propietarios individuales de parcelas, no cooperativistas (minifundios), ni entidades públicas o estatales con fines de explotación de éste suelo.

El área donde se encuentran los suelos arcillosos no ha sido afectada por el decreto de la Reforma Agraria, ya que no existen propietarios con extensiones de terrenos que excedan las doscientas cuarenta y cinco hectáreas como lo establece el artículo 105 de la Constitución Política de

1983. Esta deducción está ratificada según datos obtenidos de mapas catastrales y fichas de registro proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional, de donde se tomó una muestra representativa de 8.3 kilómetros a lo largo de la carretera Panamericana (tramo comprendido entre los kilómetros 192.7 y 201.0), y una franja de 2.5 kilómetros de ancho. encontrándose en ésta muestra un total de 160 parcelas las que suman un área de 2,080.0 hectáreas siendo la de menor extensión de 0.4 hectáreas y la mayor de 154.2 hectáreas.

2.3 IDENTIFICACION DE LOS SUELOS Y PRUEBAS PRELIMINARES DE CAMPO

SACUDIMIENTO O REACCION AL AGUA

Este ensayo se emplea para identificar los suelos de grano fino. Para su procedimiento se toma una porción de suelo húmedo agitándolo horizontalmente sobre la palma de la mano golpeándolo vigorosamente contra la otra mano varias veces.

Al ensayar el material debe hacerse una distinción entre la forma cómo el suelo libera el agua, así :

- i) Cuando la liberación de agua es rápida, indica falta de plasticidad como sucede con los limos inorgánicos, polvo de roca o arena fina.
- ii) Una liberación lenta, indica la presencia de un limo o arcilla limosa ligeramente plástica.

- iii) Cuando no hay liberación de agua, indica la presencia de una arcilla o material orgánico.

CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Este ensayo consiste en presenciar el contenido de materia orgánica del suelo, tomando como base el color y olor característico de la materia orgánica en descomposición y en la presencia de restos vegetales, como hojas, raíces, etc.

Para detectar más fácilmente el olor, se calienta una muestra de suelo húmedo, comprobándose así, por el olor del vapor desprendido, si es o no un suelo orgánico.

Por medio de investigaciones se ha comprobado que cantidades por pequeñas que sean, de materia orgánica pueden tener influencia importante en las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

En su mayoría, los suelos orgánicos son más débiles y compresibles que los suelos que poseen la misma composición mineral pero que carecen de materia orgánica. La presencia de una cantidad apreciable de materia orgánica, se detecta generalmente por el color del suelo que puede ser de gris obscuro a negro.

También, se puede detectar procediendo así :

- i) Hechar en un bote de vidrio incoloro, suelo hasta llegar a la mitad de su capacidad.

- ii) Añadir al suelo dos cucharadas de sal común.
- iii) Llenar con agua y tapar herméticamente, agitar el bote con su contenido por dos minutos y dejar reposar.

Si se observa mucho material vegetal flotando en el frasco o si el agua se torna amarillenta, esto indica la presencia de materia orgánica.

RESISTENCIA EN ESTADO SECO

Este ensayo se hace para determinar la resistencia de un suelo en estado seco, midiéndose de ésta manera la cohesión de dicho suelo.

Se procede como sigue : Se deja secar una porción húmeda (20.0 gramos) de muestra de suelo, cuidando no dejar partículas gruesas al formarla.

Se ensaya su resistencia en seco, desmenuzando entre los dedos el grumo que se ha formado; como resultado, se puede obtener una resistencia ligera, media y alta; y que clasifican el suelo como sigue :

- i) Si la resistencia del suelo seco es ligera, indica que es un limo inorgánico (M), polvo de roca o arena limosa.
- ii) Si la resistencia en seco es media, se tiene una arcilla inorgánica de plasticidad media o baja (CL).

Para pulverizar la muestra de suelo hay que hacer una presión bastante grande.

iii) Si la resistencia en seco es alta, se tiene una arcilla inorgánica altamente plástica (CH). En éste caso la muestra puede romperse sin llegar a pulverizarse haciendo una presión muy grande.

DISPERSION

Este ensayo es útil para hacer la distinción entre limos y arcillas y hacer una estimación aproximada de las cantidades relativas de arena, limo y arcilla que existen en el suelo.

Para hacer éste ensayo se procede así :

En un tubo de ensayo o en un bote de vidrio incoloro, se dispersa una pequeña cantidad de suelo en agua y se deja reposar. Se notará que las partículas más grandes caen primero, mientras que las más finas permanecen suspendidas por un tiempo mayor.

Por observaciones realizadas se ha podido comprobar lo siguiente :

CUADRO No. 2.1 TIEMPO DE SUSPENSION DE LOS SUELOS

TIPO DE SUELO	TIEMPO DE ASENT. (segundos)	OBSERVACION
Arena	30 a 60	Tubo de ensayo o bote de vidrio incoloro
Limos	15 a 60	Idem
Arcillas	Varias horas en suspensión o varios días	Se reduce el tiempo si se combina con grumos.

TENACIDAD

La plasticidad es una propiedad física de los suelos constituidos por granos finos que al humedecerse adquieren una consistencia masosa.

El procedimiento a seguir para hacer éste ensayo es el siguiente : Se prepara una porción húmeda de suelo, cuidando de quitar las partículas gruesas; se coloca dicho suelo en una superficie lisa y plana y se rueda con la palma de la mano hasta formar cilindros de aproximadamente 1/8 de pulgada (3 mm) de diámetro, repitiendo éste proceso hasta que la pérdida de humedad haga que el cilindro se desmenuce al rodarlo.

Se dice que un suelo es plástico, si con el se pueden hacer cilindros fácilmente sin llegar a desmenuzarlo.

En base a lo anterior, se puede clasificar el suelo de la siguiente manera :

- i) Cuando al arcilla es de alta plasticidad se puede formar un cilindro tenaz que puede ser remodelado en una masa por debajo del límite plástico y deformarse presionándolo fuertemente con las manos, sin que se desmenuce.
- ii) Se pueden formar cilindros de moderada tenacidad, pero se desmenuzan tan pronto como se alcance el límite plástico (L_p). Entonces el suelo se dice que es de plasticidad media.
- iii) Se pueden formar cilindros débiles que no pueden ser amasados por debajo del límite plástico. Entonces se dice que el suelo es de baja plasticidad.

BRILLANTEZ AL CORTE DE LA NAVAJA

Este ensayo se efectúa de la siguiente manera : Se toma una muestra de suelo seco o ligeramente húmedo y se frota con la hoja de una navaja; si se obtiene una superficie brillante, el suelo es una arcilla muy plástica; si la superficie obtenida es mate, indica la presencia de limo, arena o de una arcilla de baja plasticidad.

2.4 RESULTADO DE LOS ANALISIS DE CAMPO

Las muestras para los ensayos preliminares de campo, se obtuvieron en las cercanías del municipio de Pasaquina, Departamento de La Unión en los bancos de arcilla localizados en el cantón El Algodón, caserío El Carahual; cantón San

Felipe; kilómetro 200.0 carretera panamericana; cantón Siramá y caserío El Lagartero. así. se consideraron dos zonas como a continuación se describen :

ZONA I

Puntos : Cantón El Algodón Caserío El Carahual
Cantón San Felipe
Kilómetro 200.0 Carretera Panamericana (CA-1)
Cantón Siramá

De ésta zona se extrajeron muestras superficiales, las cuales proporcionaron resultados similares como se detalla a continuación :

1. Resistencia en Estado Seco.

Muy alta, pues al presionarla fuertemente con los dedos no fué posible fraccionarla.

2. Sacudimiento.

No fué notoria la liberación de agua contenida en la muestra al realizar ésta prueba.

3. Dispersión.

En ésta prueba no se observó arena ni limos pues los granos permanecieron en suspensión un lapso de dos horas.

4. Tenacidad.

Se encontró que ésta es alta pues se logró hacer cilindros que alcanzaron diámetros de hasta 1 milímetro sin mostrar fisuramiento.

5. Olor, Color y Contaminación.

A pesar de su color negro no presenta olor característico de materia orgánica en descomposición aún al calentar dicho suelo.

6. Materia Orgánica.

Al agitar la muestra dentro de un bote con agua y sal, el agua no se tornó amarillenta ni se observó material vegetal flotando.

7. Brillantez.

Al frotar una muestra con la hoja de una navaja, mostró una superficie brillante.

Los resultados obtenidos indican que el suelo de éstos puntos son arcillas inorgánicas, de alta plasticidad y gran cohesión.

ZONA II

Punto : Caserío El Lagartero.

En el banco situado en ésta zona se tomaron muestras a una profundidad de dos metros que proporcionaron los siguientes resultados :

1. Resistencia en Estado Seco.

Modérada, pues al presionarla con los dedos se desmoronó súbitamente dispersándose en fragmentos de aproximadamente de 4.0 milímetros.

2. Sacudimiento.

Con ésta prueba la liberación de agua hacia la superficie (exudación) fué lenta.

3. Dispersión.

En éste ensayo se pudo observar que una parte de material se asentó en un lapso de treinta minutos (limos) y la otra parte que permaneció en suspensión se asentó aproximadamente en un lapso de cuarenta y cinco minutos.

4. Tenacidad.

Se encontró que ésta es media ya que se logró hacer cilindros que alcanzaron los tres milímetros de diámetros sin mostrar fisuras.

5. Olor, Color y Contaminación.

No se encontró olor ni color característico que indique la existencia de materia en descomposición aún al calentar la muestra.

6. Materia Orgánica.

En éste ensayo al agitar la muestra dentro de un bote con agua y sal, el agua no se tornó amarillenta ni se observó material vegetal flotando.

7. Brillantez.

Cuando fué frotada la muestra con la hoja de una navaja, presentó una superficie poco brillante.

De acuerdo con los resultados obtenidos preliminarmente en éste material se deduce que el suelo de éste banco es una arcilla limosa inorgánica de plasticidad y cohesión media.

CUADRO N.º 2.2
RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO.
(PRUEBAS CUALITATIVAS)

PROFUNDIDAD	SUPERFICIAL 0.5 MTS.				2.0 MTS.
ENSAYO	CASERIO EL CARAHUAL	CANTON SAN FELIPE	KM 200.0 CARRETERA PANAMERICANA	CANTÓN SIRAMA	CASERIO EL LAGARTERO
RESISTENCIA EN ESTADO SECO	Muy Alta.				Moderada.
SACUDIMIENTO O REACCION AL AGUA	No se observó Liberación de Agua.				Liberó Agua lentamente.
DISPERSION	No se observó Arena, ni Limos y tardó dos horas en asentarse.				Tardó entre 30 minutos y 45 minutos en asentarse.
TENACIDAD	Alta, ya se hicieron cilindros hasta de un milimetro de diámetro.				Media, ya se hicieron cilindros hasta de 3 milímetros.
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA	No se presentó Materia Orgánica en descomposición.				No presentó Materia Orgánica en descomposición.
BRILLANTEZ AL CORTE DE LA NAVAJA	Brillante.				Poco Brillante.
CLASIFICACION PRELIMINAR	Arcillas Inorgánicas de alta elasticidad y gran Cohesión.				Arcilla Limosa Inorgánica de plasticidad y cohesión media.

2.5 ASPECTOS GEOTECNICOS GENERALES DE LOS SUELOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Los rasgos morfológicos del relieve salvadoreño son :

La planicie aluvial costera y los valles; la cadena costera, la meseta central, la fosa interior y las cordilleras fronterizas; encontrándose el área en estudio en la planicie aluvial costera oriental presentando un declive del 1% al 2% hacia el cauce del río Goascorán, extendiéndose desde la parte baja del río Pasaquina a la parte baja del río Siramá, su máxima anchura la alcanza a la altura del caserío El Nance siendo el promedio de ésta de 6.0 kilómetros.

SISMICIDAD Y TECTONISMO

El Salvador se encuentra dividido a lo largo de su territorio por cinco ejes tectónicos encontrándose el área en estudio entre el dos y el tres (Figura 2.5.1) siendo ésta franja la más prominente, con dislocaciones tectónicas y un vulcanismo individual joven todavía activo; a pesar de encontrarse en esta franja el área de las arcillas negras de Pasaquina no presenta ninguna falla tectónica, sin embargo, las hay al Norte de esta zona, y con mayor presencia al Oeste (4/) según el mapa de regionalización sísmica de El Salvador, esta área se encuentra en la zona de intensidad grado siete en la escala de Mercalli modificada, donde se desarrollan aceleraciones de 68.1 centímetros por segundo cuadrado. /8

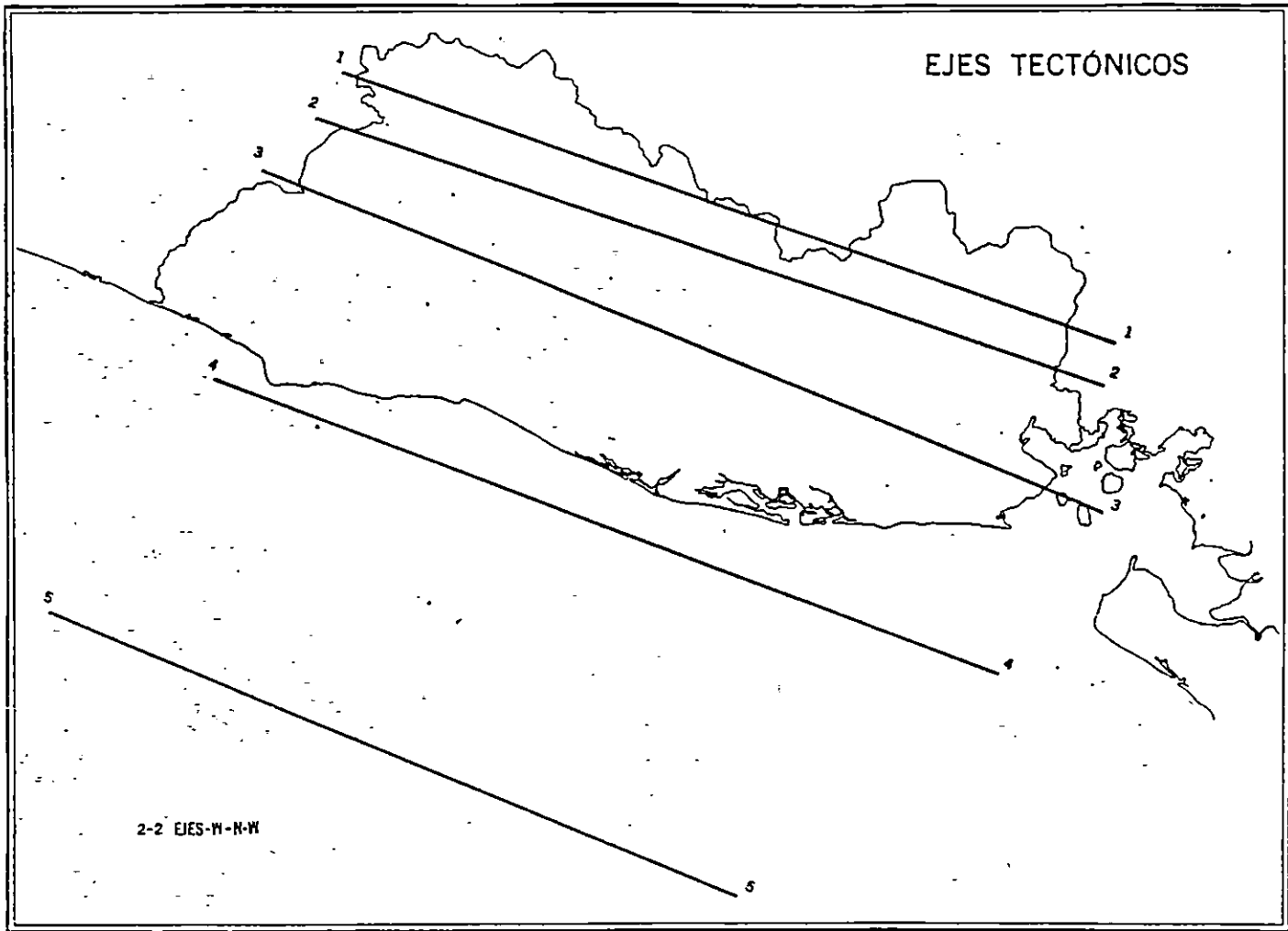


FIGURA No. 2.5.1 EJES TECTONICOS DE EL SALVADOR

MATERIALES ROCOSOS

Debido a que la roca es el material parental de todo suelo y la arcilla, es conveniente conocer el tipo de roca que se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Goascorán, siendo las más comunes las lavas andesíticas y basálticas, y las riolitas andesíticas (4/). De la estratigrafía de la zona se conoce muy poco; sin embargo, estudios realizados indican que el espesor del suelo varía de 0.0 a 6.0 metros subyacido.

2.6 DETERMINACION DE BANCOS Y OBTENCION DE MUESTRAS DE LABORATORIO.

Para determinar los bancos definitivos de los cuales se tomará el material para fabricar las unidades constructivas se hará en base a los siguientes criterios :

- 1- Infraestructura existente.
- 2- Características del material.
- 3- Estratificación y Buzamiento.
- 4- Cantidad de materia prima disponible.

Sin embargo, para determinar los puntos en donde se practicará la prueba de penetración estándar y los ensayos de laboratorios se tomarán en cuenta dos criterios : Resultados preliminares de campo e infraestructura existente.

Debido a que los resultados obtenidos de las pruebas

preliminares de campo realizadas en distintos puntos del área proporcionan características similares. El criterio predominante para la ubicación de los puntos fué el de Infraestructura existente, considerando también una distribución lineal entre los puntos para obtener una mejor representación estratigráfica como se muestra en el mapa de ubicación de la figura 2.6.1.

2.7 RECONOCIMIENTO DEL SUELO A TRAVES DE MUESTREOS :- ESTRATIGRAFIA Y CLASIFICACION.

2.7.1 INTRODUCCION

Los resultados obtenidos de las investigaciones del subsuelo realizadas en la Jurisdicción de Pasaquina a lo largo de la carretera panamericana entre los kilómetros 197 y 202, en el Caserío El Talpetate y la parte baja del Cerro El Chamuscado, pretende conocer las características del suelo y los diferentes estratos con el fin de establecer el volumen de arcilla disponible en la zona. Para esto se realizaron cinco perforaciones del tipo Penetración Estándar distribuidos según se muestra en el plano de ubicación figura 2.6.1.

2.7.2 TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron cinco sondeos exploratorios, con equipo de penetración motorizado marca ACKER, modelo AMC-2, con el objeto de obtener muestras representativas y continuas para su clasificación, determinación del contenido de humedad y resistencia presentada por el suelo a la penetración de una cuchara muestrera de 1½ pulgada (38.1 milímetros) de diámetro interno, hincado con un martillo de 140 libras (63.5 kilogramos) contándose el número de golpes necesarios para penetrar un pie (30.5 centímetros) según lo establece la Norma ASTM D-1586 "Prueba de Penetración Estándar y Muestreo de

2.7.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

Los contenidos de humedad varían entre 19.7% y 56.2%, encontrándose los valores máximos, mínimos y promedios en cada sondeo según se detalla a continuación :

CUADRO No. 2.3 CONTENIDOS DE HUMEDAD

SONDEO No.	CONTENIDO DE HUMEDAD MAX. (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD MIN. (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD PROM. (%)
1	41.39	23.54	32.15
2	56.17	19.11	32.72
3	26.12	23.56	24.84
4	32.27	19.70	26.04
5	37.91	30.44	34.24

2.7.4 CLASIFICACION Y ESTRATIGRAFIA

El suelo del sitio en estudio, define dos estratos, uno superficial de arcilla de alta plasticidad (CH) y otro inferior de roca.

El análisis del material arcilloso está basado en cinco puntos muestreados, cuyos resultados se presentan a continuación :

CARACTERISTICAS DE PLASTICIDAD DE LOS ESTRATOS SEGUN PROFUNDIDAD				
PROFUND. (MTS)	LIMITE LIQUIDO L _L (%)	LIMITE PLASTICO L _P (%)	INDICE PLASTICO I _P (%)	CLASIFICACION S.U.C.S
0.0-1.0	72.5-78.5	31.8-32.4	40.1-46.8	Arcilla franca (CH) de alta plasticidad con grs oscuro
1.0-1.5	44.20	39.40	4.80	Limo arcilloso (ML) de media plasticidad color café claro
2 1.5	-	-	-	Roca Dura

CUADRO No. 2.4 SONDEO No. 1

UBICACION : CARRETERA PANAMERICANA

KM. 201.5 CARRETERA A EL AMATILLO.

CUADRO No. 2.5 SONDEO No. 2

UBICACION : CARRETERA PANAMERICANA

KM. 200.0 CARRETERA A EL AMATILLO.

CARACTERISTICAS DE PLASTICIDAD DE LOS ESTRATOS SEGUN PROFUNDIDAD				
PROFUND. (MTS)	LIMITE LIQUIDO. LL (%)	LIMITE PLASTICO LP (%)	INDICE PLASTICO IP (%)	CLASIFICACION S.U.C.S
0.0-1.0	93.0-93.4	29.5-38.4	55.0-63.5	Arcilla franca (CH) de alta plasticidad color gris oscuro
≥1.0	-	-	-	Roca dura

CUADRO No. 2.6 SONDEO No. 3

UBICACION : CARRETERA PANAMERICANA

KM. 197.5 CARRETERA A EL AMATILLO.

CARACTERISTICAS DE PLASTICIDAD DE LOS ESTRATOS SEGUN PROFUNDIDAD				
PROFUND. (MTS)	LIMITE LIQUIDO LL (%)	LIMITE PLASTICO LP (%)	INDICE PLASTICO IP (%)	CLASIFICACION S.U.C.S
0.0-1.0	78.50	28.30	50.20	Arcilla franca (CH) de alta plasticidad color gris oscuro
≥1.0	-	-	-	Roca dura

CUADRO No. 2.7 SONDEO No. 4

UBICACION : CERRO EL CHAMUSCADO

PASAGUINA

CARACTERISTICAS DE PLASTICIDAD DE LOS ESTRATOS SEGUN PROFUNDIDAD				
PROFUND. (MTS)	LIMITE LIQUIDO L _L (%)	LIMITE PLASTICO L _P (%)	INDICE PLASTICO I _P (%)	CLASIFICACION S.U.C.S
0.0-1.0	59.50	29.45	30.05	Arcilla franca (CH) de alta elasticidad color gris oscuro
≥ 1.0	48.50	19.80	28.70	Roca dura

CUADRO No. 2.8 SONDEO No. 5

UBICACION : CANTON TALPETATE PASAGUINA

CARACTERISTICAS DE PLASTICIDAD DE LOS ESTRATOS SEGUN PROFUNDIDAD				
PROFUND. (MTS)	LIMITE LIQUIDO L _L (%)	LIMITE PLASTICO L _P (%)	INDICE PLASTICO I _P (%)	CLASIFICACION S.U.C.S
0.0-1.0	60.25-84.3	25.9-34.3	34.35-43.0	Arcilla franca (CH) de alta plasticidad color gris oscuro
≥ 3.0	-	-	-	Roca dura

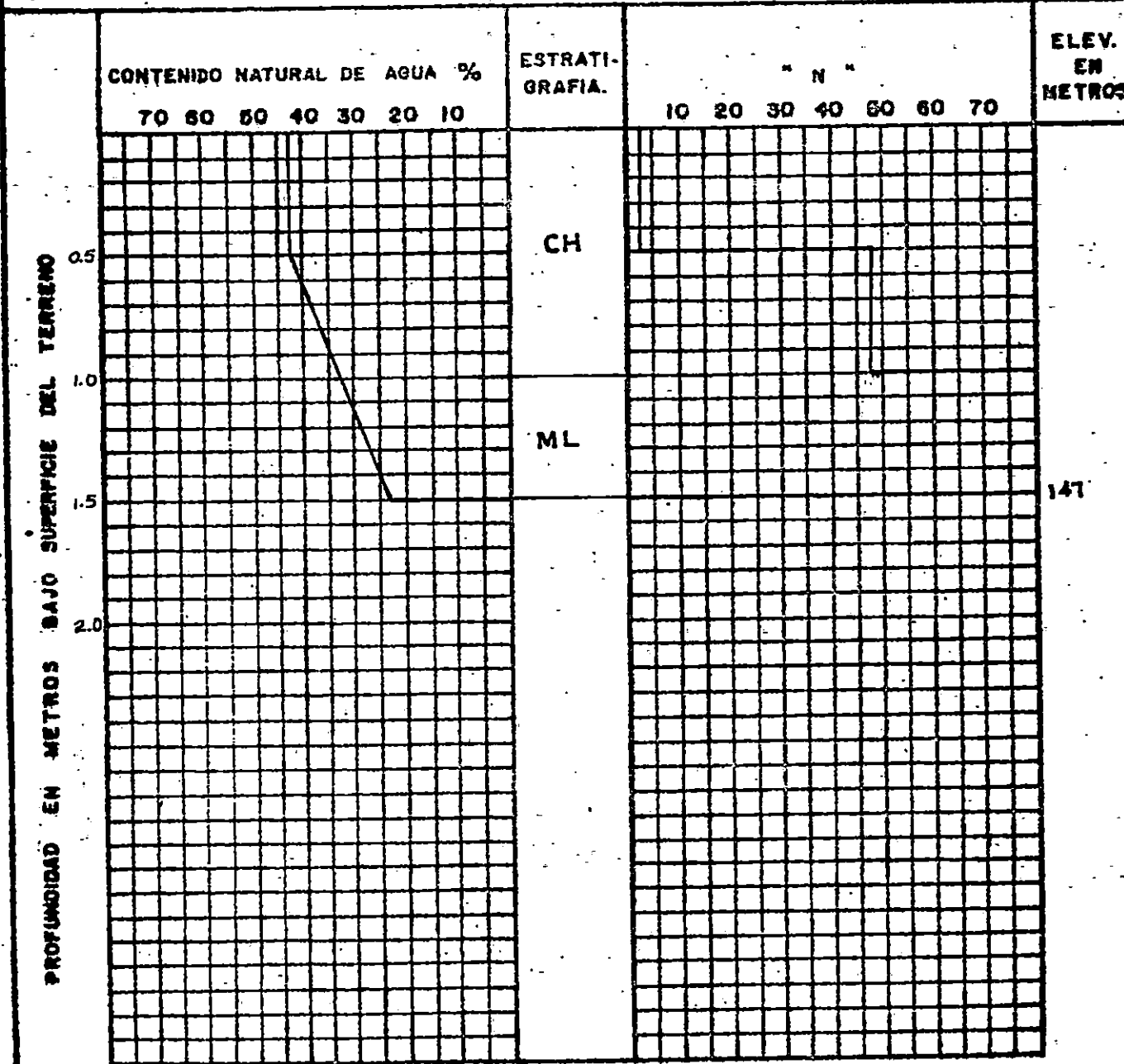
CUADRO No. 2.9
DESCRIPCION DE LOS LIMITES, CONTENIDO DE HUMEDAD Y CLASIFICACION PARA LOS DIFERENTES SONDEOS.

SONDEO	PROFUNDIDAD (NTS)	LIMITE LIQUIDO (LL%)	LIMITE PLASTICO (LP%)	INDICE PLASTICO (Ip%)	HUMEDAD NATURAL (%)			CLASIFICACION (S.U.C.S.)
					W _{MAX}	W _{MIN}	W _{PROM}	
1- Carretera Panamericana Km 201.5 a El Amatillo	0.0 - 1.0	72.5-78.50	31.75-32.40	40.10-46.75	41.40	23.50	32.40	Arcilla Franca (CH) de alta plasticidad, color gris oscuro.
	1.0 - 1.5	44.70	39.40	5.30				Limo Arcilloso (ML) de media plasticidad, color café claro.
2- Carretera Panamericana Km 200.0 a El Amatillo	0.0 - 1.0	93.00-93.50	29.50	63.50-64.00	56.20	19.10	32.70	Arcilla Franca (CH) de alta plasticidad, color gris oscuro.
3- Carretera Panamericana Km 197.5 a El Amatillo	0.0 - 1.0	78.60	28.30	50.30	26.10	23.60	24.80	Arcilla Franca (CH) de alta plasticidad, color gris oscuro.
4- Cerro El Chamuscado Pasaquina	0.0 - 0.5	59.50	29.45	30.05	32.40	19.70	26.00	Arcilla Franca (CH) de alta plasticidad, color gris oscuro.
	0.5 - 1.0	48.40	19.80	28.60				Arcilla Inorgánica (CL) de mediana plasticidad, color gris claro.
5- Cantón Talpetate Pasaquina	0.0 - 3.0	60.25-84.30	25.90-35.30	34.35-56.10	37.90	30.40	34.20	Arcilla Franca (CH) de alta plasticidad, color gris oscuro.
6- Carretera Panamericana Km 194.5 a El Amatillo	Superficial	79.50	36.55	42.95	16.23			Arcilla Orgánica (OH) de media plasticidad, color rojo.
7- Carretera Ruta Militar Km 184.5	Superficial	51.70	39.66	12.04	14.31			Arcilla Orgánica (OH) de media plasticidad, color rojo claro.

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Obra: TRABAJO DE GRADUACION Estructura: _____
 Localización: Km 20.5 CA-1 Sondoo No. 1 Elev. Baseal: _____
 Fecha Inicio: 28/JUNIO/1991 Registró: _____ Operador: _____ Revisó: _____
 Herramientas de Avance: PENETRACION NORMAL peso Golpeador: 140 LBS.
 Herramientas de Muestreo: CUSHABA PARTIDA Peso Borrador: _____



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Obra: TRABAJO DE GRADUACION

Estructura: —

Localización: Km. 200.0 CA-1

Sondeo N° 2 Elev. Brocal: —

Fecha: 28 JUNIO 1991

Registro: — Operador: — Revisó: —

Herramientas de Avance: PENETRACION NORMAL

Peso Golpeador: 140 LBS.

Herramientas de Muestreo: CUCHARA PARTIDA

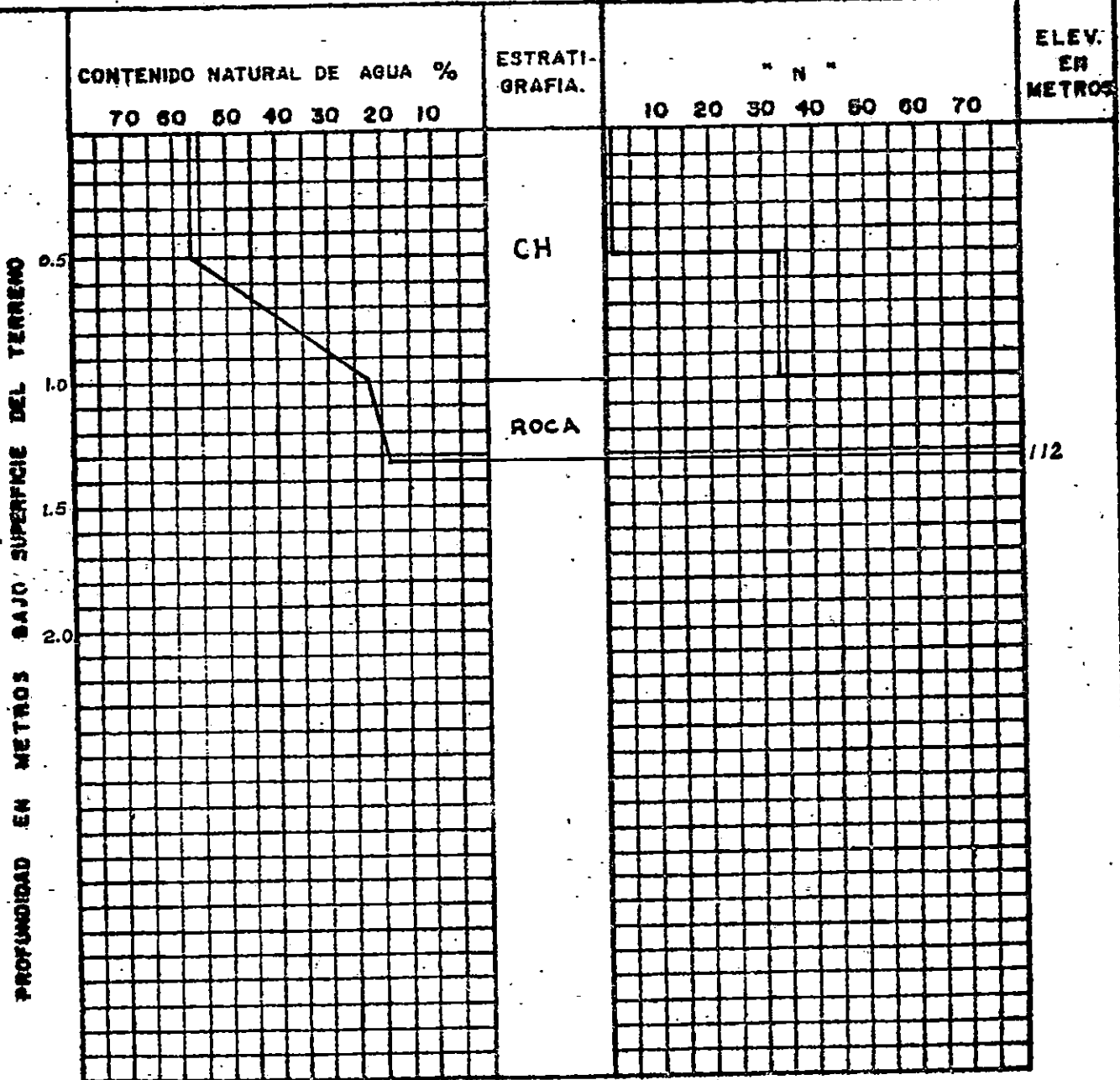
Peso Barretón: —

PROF. EN MTS.	RESISTENCIA A LA PENETRACION				HUMEDAD %	CLASIFICACION :
	20 cm	15 cm	15 cm	"N"		
0.50	1	0	1	1	56.17	ARCILLA FRANCA (CH), COLOR GRIS OSCURO DE ALTA PLASTICIDAD. ROCA DURA.
1.00	2	5	27	32	22.87	
1.36	55	57	—	57	19.11	

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Obra: TRABAJO DE GRADUACION Estructura: _____
 Localización: Km 200.0 CA-1 Sonda No. 2 Elev. Baseal: _____
 Fecha Inicial: 28/JUNIO/1991 Registró: _____ Operador: _____ Revisó: _____
 Herramientas de Avance: PENETRACION NORMAL peso Golpeador: 140 LBS.
 Herramientas de Muestreo: CUCHARA PARTIDA peso Barreón: _____



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Obra: TRABAJO DE GRADUACION. Estructura: _____
 Localización: Km 197.5 CA-1 Sondéo No. 3 Elev. Baseal: _____
 Fecha Inicial: 28/JUNIO/1991 Registró: _____ Operador: _____ Revistó: _____
 Herramientas de Avance: PENETRACION NORMAL. peso Golpeador: 140 LBS.
 Herramientas de Muestreo: GUCHARA PARTIDA peso Barratón: _____

PROFUNDIDAD EN METROS BAJO SUPERFICIE DEL TERRENO	CONTENIDO NATURAL DE AGUA %							ESTRATI- GRAFIA.	" N "							ELEV. EN METROS	
	70	60	50	40	30	20	10		10	20	30	40	50	60	70		
0.5								CH									90
1.0								ROCA									
1.5																	
2.0																	

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Obra: TRABAJO DE GRADUACION Estructura: —

Localización: CERRO EL CHAMUSCADO Sondeo N° 4 Elev. Brocal: —

Fecha: 29 / JUNIO / 1991 Registro: — Operador: — Revisó: —

Herramientas de Avance: PENETRACION NORMAL Peso Golpeador: 140 LBS.

Herramientas de Muestreo: CUCHARA PARTIDA Peso Barretón: —

PROF. EN MTS.	RESISTENCIA A LA PENETRACION				HUMEDAD %	CLASIFICACION :
	20 cm	15 cm	15 cm	"N"		
0.5	2	2	2	6	32.40	ARCILLA FRANCA (CH), COLOR GRIS OSCURO DE ALTA PLASTICIDAD.
1.0	9	50	75	134	19.70	ROCA DURA.

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

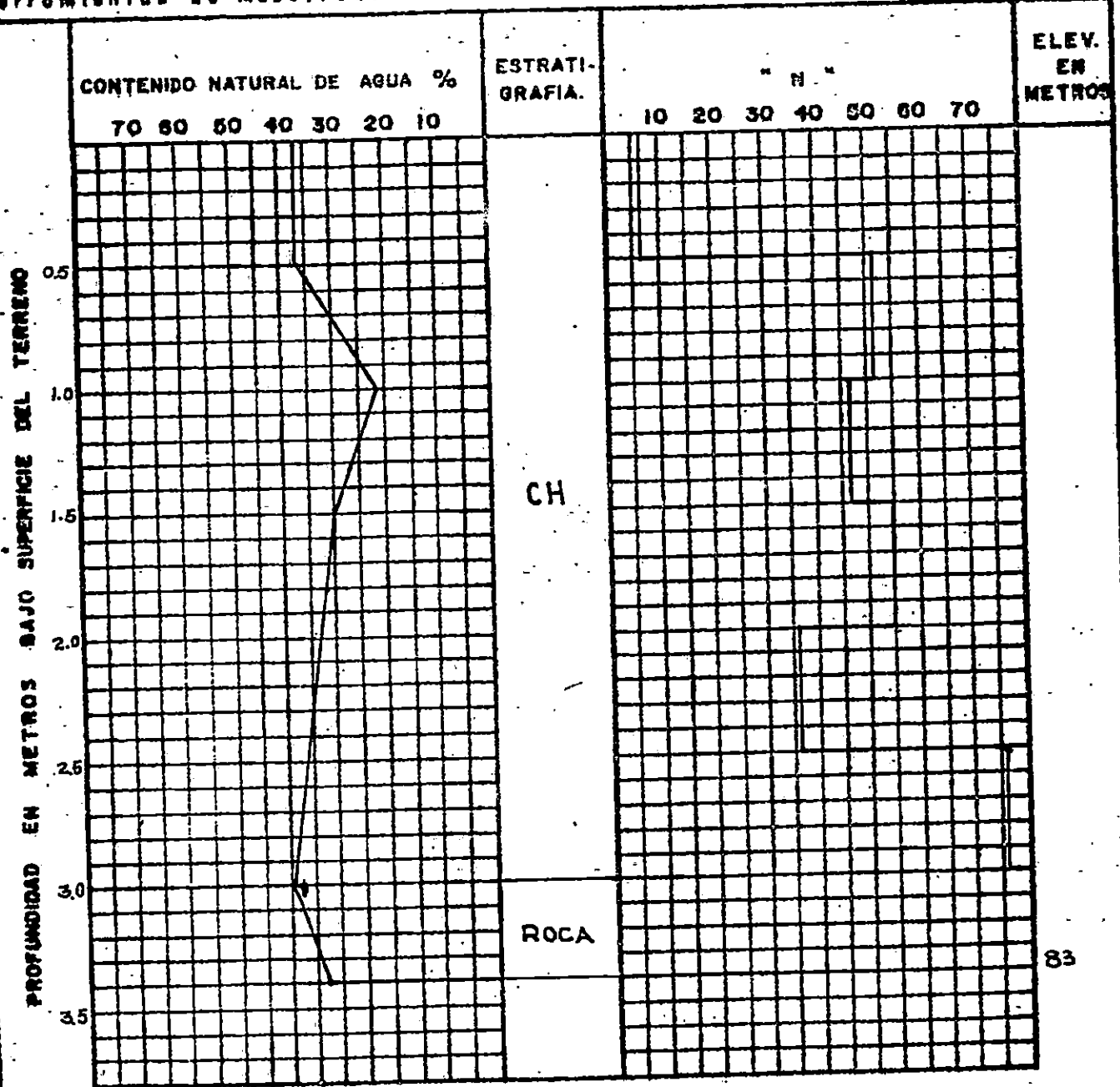
Obra: TRABAJO DE GRADUACION Estructura: _____
 Localización: CERRO EL CHAMUSCADO Sonda No. 4 Elev. Bracel: _____
 Fecha Inicio: 29/JUNIO/1991 Registró: _____ Operador: _____ Revisó: _____
 Herramientas de Avance: PENETRACION NORMAL peso Golpeador: 140 LBS.
 Herramientas de Muestreo: GUCHABA PARTIDA peso Barretón: _____

PROFUNDIDAD EN METROS BAJO SUPERFICIE DEL TERRENO	CONTENIDO NATURAL DE AGUA %							ESTRATI- GRAFIA.	" N "							ELEV. EN METROS
	70	60	50	40	30	20	10		10	20	30	40	50	60	70	
0.5								CH								134
1.0								CL								
1.5																
2.0																

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Obra: TRABAJO DE GRADUACION Estructura: _____
 Localización: CANTON TALPETATE Sondoo No. 5 Elev. Baseal: _____
 Fecha Inicial: 29/JUNIO/1991 Registró: _____ Operador: _____ Revisó: _____
 Herramientas de Avance: PENETRACION NORMAL peso Golpeador: 140 LBS.
 Herramientas de Muestreo: GUCHARA PARTIDA peso Barrolón: _____



CAPITULO III

**ENSAYOS DE LABORATORIO EN LAS ARCILLAS
NEGRAS DE PASAQUINA PARA SU TIPIFICACION**

CAPITULO III

ENSAYOS DE LABORATORIO EN LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA PARA SU TIPIFICACION.

3.1 INTRODUCCION

El presente capítulo constituye la tercera fase de la investigación efectuada en el área de Pasaguina, Departamento de La Unión y persigue tipificar la fracción fina de los suelos de esta área, a partir de la evaluación de sus propiedades físicas e índices, tales como : Contenido de Humedad Natural (w), Relación de Vacíos (e), Porosidad (n), Grado de Saturación (Sw), Peso Volumétrico Seco (τ_d), Peso Volumétrico de la Masa (τ_m), Gravedad Específica (Gs), Granulometría, Límite Líquido (Ll), Límite Plástico (Lp) y Límite de Contracción (Lc); además mediante análisis químicos se determinaron los porcentajes presentes de Dióxido de Silicio (SiO_2), Oxido Férrico (Fe_2O_3), Oxido de Aluminio (Al_2O_3), Oxido de Calcio (CaO), Oxido de Magnesio (MgO), Oxido de Sodio (Na_2O), Oxido de Potasio (K_2O), Oxido Mangánico (Mn_2O_3) y Dióxido de Titanio (TiO_2).

Para determinar estas propiedades se realizaron ensayos de laboratorio en muestras obtenidas mediante un equipo de penetración estándar (SPT) en diferentes puntos previamente establecidos (ver Figura 2.6.1) y a diferentes profundidades

hasta penetrar todo el estrato de arcilla. Las muestras recuperadas a través de éste equipo son de tipo alteradas, cualidad que no afecta los resultados que persigue el estudio, ya que el suelo en éste estado tendrá su aplicación con materia prima para elaborar las unidades constructivas.

Todos los ensayos se realizarán en base a los procedimientos establecidos por las Normas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM) que aparecen en cada ensayo.

3.2 PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARCILLAS. /2 Y /5

Los suelos en general tienen una estructura que es común a todos, las arcillas están conformadas igualmente, así, se identifican tres estados del suelo : Sólido, Líquido y Gaseoso (Figura 3.2.1). A partir de la cual, se estudian las propiedades físicas de los mismos.

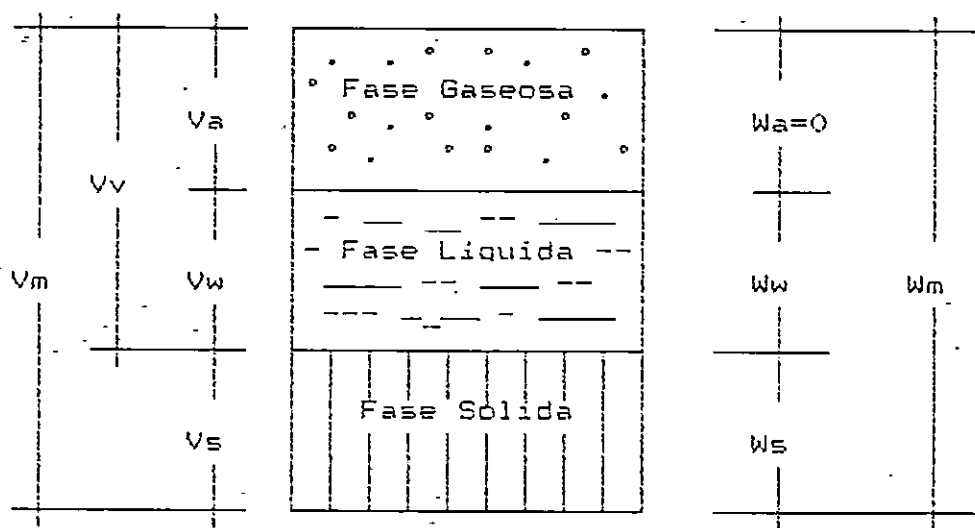


FIGURA 3.2.1. ESQUEMA DE UNA MUESTRA DE SUELO.

La figura 3.2.1 representa el esquema de una muestra de suelo, en el que aparecen las fases principales, así como los conceptos de uso más común con su respectivo símbolo.

El significado de los símbolos es el siguiente :

V_m : Volumen total de la muestra de suelo

V_s : Volumen de la fase sólida de la muestra

V_v : Volumen de los vacíos de la Muestra de suelos

V_w : Volumen de la fase líquida contenida en la muestra

V_a : Volumen de la fase gaseosa de la muestra

W_m : Peso total de la muestra de suelo

W_s : Peso de la fase sólida de la muestra de suelo

W_w : Peso de la fase líquida de la muestra

W_a : Peso de la fase gaseosa de la muestra

CONTENIDO DE HUMEDAD (w %).

Se define como la relación entre el peso del agua presente en una muestra de suelo y el peso de los sólidos de la misma, y se expresa en porcentaje de la forma siguiente :

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100;$$

Donde :

w (%) : Contenido de Humedad Natural

W_w : Peso del Agua

W_s : Peso del Suelo Seco

El peso del agua considerado corresponde al agua libre o física, siendo ésta la que se pierde a la temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ durante un periodo de 18 a 24 horas.

Este ensayo se practicó en todos los puntos muestreados a cada 0.5 mts. de profundidad, cuyos resultados se presentan en el ensayo de Contenido de Humedad.

RELACION DE VACIOS (e)

Se denomina a la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos en una muestra de suelo y se expresa de la forma siguiente :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde :

e : Relación de Vacíos

V_v : Volumen de Vacíos

V_s : Volumen de Sólidos

Esta propiedad permite juzgar cualitativamente el acomodo de las partículas en los suelos granulares y la deformabilidad en los suelos finos. Es función del tamaño y forma de las partículas de éstos.

POROSIDAD (n %)

Relaciona el volumen de vacíos del suelo con el volumen total que éste tiene. Se expresa como porcentaje así :

$$n (\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

Siendo :

n : Porosidad en porcentaje

V_v : Volumen de Vacíos

V_m : Volumen de la muestra

Esta propiedad se utiliza con los mismos propósitos que la Relación de Vacíos. Conocida la Relación de Vacíos la Porosidad se puede obtener con la siguiente expresión :

$$n (\%) = \frac{e}{e + 1} \times 100$$

GRADO DE SATURACION (Gw)

Se define como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de una muestra de suelos: mide el porcentaje de vacíos del suelo que están llenos de agua. Se determina por la relación siguiente :

$$Gw (\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 ; \quad \text{Donde :}$$

Gw : Grado de Saturación
Vw : Volumen de Agua
Vv : Volumen de Vacíos

PESO VOLUMETRICO SECO (τ_d)

Es la relación entre el peso del suelo seco de la muestra con respecto a su volumen total. Se obtiene así :

$$\tau_d = \frac{W_s}{V_m} ; \quad \text{Siendo :}$$

τ_d : Peso Volumétrico Seco
Ws : Peso del Suelo Seco
Vm : Volumen total de la muestra

PESO VOLUMETRICO DE LA MASA DE SUELO. - (τ_m)

Se define como la relación entre el peso de la muestra de suelo y su volumen. El peso de la muestra es igual al peso de los sólidos y del agua contenida en los intersticios.

$$\tau_m = \frac{W_m}{V_m} ;$$

Donde :

τ_m : Peso Volumétrico de la Masa

W_m : Peso Total de la Muestra

V_m : Volumen total de la muestra

Todas las relaciones gravimétricas y volumétricas antes mencionadas se determinaron en cada punto muestreado entre 0.5 mts. y 1.0 mts. de profundidad. Los resultados obtenidos de éstos ensayos se presentan en el cuadro respectivo que para ese fin convencionalmente se utiliza en el laboratorio, como sigue según se vayan determinando cada una de las propiedades descritas.

DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD.

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

REFERENCIA : ASTM D2216-71

SONDEO No.	UBICACION	PROFUNDIDAD (Mts)	RECIPIENTE No.	PESO SUELO HUMEDO Y TARA (Grs)	PESO SUELO SECO Y TARA (Grs)	PESO DE AGUA (Grs)	TARA (Grs)	PESO SUELO SECO (Grs)	% DE HUMEDAD	
1	CA - 1 Km 201.5	0.0 - 0.5	22	71.40	53.50	17.90	10.25	43.25	41.39	
		0.5 - 1.0	69	68.25	54.35	13.90	10.30	44.05	31.56	
		1.0 - 1.5	22	78.28	65.25	13.03	9.90	55.35	23.54	
2	CA - 1 Km 200	0.0 - 0.5	13	66.70	46.45	20.25	10.40	36.05	56.17	
		0.5 - 1.0	81	71.00	59.70	11.30	10.30	49.40	22.97	
		1.0 - 1.5	82	77.30	66.60	10.70	10.60	56.00	19.11	
3	CA - 1 Km 197.5	0.0 - 0.5	35	65.00	53.40	11.60	10.00	43.40	28.73	
		0.5 - 1.0	55	62.45	55.40	7.05	10.00	45.40	15.53	
4	CERRO EL CHAMUSCADO	0.0 - 0.5	52	74.60	58.85	15.75	10.20	48.65	32.37	
		0.5 - 1.0	33	73.00	62.60	10.40	9.80	52.80	19.70	
5	CANTON TALPETATE	0.0 - 0.5	15	68.65	52.70	15.95	9.60	43.10	37.01	
		0.5 - 1.0	76	73.90	62.10	11.80	9.50	52.60	22.43	
		1.0 - 1.5	19	72.25	57.70	14.55	9.90	47.80	30.44	
		1.5 - 2.0	77	76.00	59.80	16.20	10.40	49.40	32.79	
		2.0 - 2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		2.5 - 3.0	51	69.10	52.80	16.30	9.80	43.00	37.91	
		3.0 - 3.4	56	71.00	56.00	15.00	10.60	45.40	33.04	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA. PARA SU UTILIZACION COMO MATE- RIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE B.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. SUZMAN URBINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIERO MORAN NAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

ENSAYO : RELACION DE VACIOS, POROSIDAD, GRADO DE SATURACION, PESO VOLUMETRICO SECO Y DE LA MASA DE SUELO.

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

FECHA : 9 DE SEPTIEMBRE 1991

REFERENCIA : ASTM D2937-7

SONDED No.	1	2	3	4	5
UBICACION	CA-1 Km 201.5	CA-1 Km 200	CA-1 Km 197.5	CERRO CHAMUSCADO	CANTON TALPETATE
PESO DE TUBO MUESTRADOR	139.6	139.6	139.6	139.6	139.6
VOLUMEN DE TUBO MUESTRADOR	62.00	62.00	62.00	62.00	62.00
PESO MUESTRA + TUBO	250.60	249.50	260.90	258.60	250.70
PESO MUESTRA, M_m	111.00	109.90	121.30	119.00	111.10
VOLUMEN MUESTRA, V_m	59.50	56.50	60.00	60.50	58.50
CONTENIDO HUMEDAD MUESTRA, w	26.28	21.91	17.54	21.30	24.34
PESO SECO DE SOLIDOS, M_s	97.90	90.15	103.20	98.10	89.35
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS, G_s	2.59	2.63	2.66	2.64	2.62
VOLUMEN DE SOLIDOS, V_s	33.94	34.28	38.80	37.16	34.10
VOLUMEN DE VACIOS, V_v	25.56	22.22	21.20	23.34	24.40
PESO DEL AGUA, M_w	23.10	19.75	18.10	20.90	21.75
VOLUMEN DEL AGUA, V_w	23.10	19.75	18.10	20.90	21.75
VOLUMEN DEL AIRE, V_a	2.46	2.47	3.10	2.44	2.65
POROSIDAD, $n(\%)$	42.96	39.33	35.34	38.58	41.70
RELACION DE VACIOS, e	0.75	0.65	0.55	0.63	0.72
PESO ESPECIFICO DE SOLIDOS, s	2.59	2.63	2.66	2.64	2.62
PESO VOLUMETRICO SECO, d	1.48	1.60	1.72	1.62	1.53
PESO VOLUMET. DE MASA DE SUELO, m	1.87	1.95	2.02	1.97	1.90
GRADO DE SATURACION, G_w	90.37	88.87	85.37	89.54	89.15

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA. PARA SU UTILIZACION COMO MATE- RIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URBINA ING. ROSELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)

Se define como el peso volumétrico del material dividido entre el peso volumétrico del agua destilada a la presión atmosférica y a 4°C. Si se considera solamente los granos de suelo, la gravedad específica se obtiene así :

$$G_s = \frac{T_s}{T_{\text{agua a } 4^\circ\text{C}}} = \frac{W_s}{T_w V_s} ; \text{ Siendo :}$$

G_s : Gravedad Específica

T_s : Peso de los Sólidos

T_w : Peso Especifico del
Agua a 4°C

W_s : Peso de los Sólidos

V_s : Volumen de los Sólidos

Por razones de procedimiento que establece la ASTM en éste ensayo, la Gravedad Específica se calcula con la siguiente expresión :

$$G_s = \frac{W_o K}{W_2 + W_o - W_1} ; \text{ Donde :}$$

G_s : Gravedad Específica

W_o : Peso del Suelo Seco

W₁ : Peso del Matraz con
Agua y Suelo

W₂ : Peso del Matraz con Agua
a Capacidad Total

K. : Factor de Conversión para
Temperatura

Su valor se utiliza para calcular la Relación de Vacíos: se emplea en el análisis granulométrico por medio del Hidrómetro, es útil para predecir el peso unitario del suelo seco y el peso volumétrico de la muestra.

La Gravedad Específica de la mayoría de las partículas minerales constituyentes de un suelo varían entre límites estrechos de 2.6 a 2.9.

La Gravedad Específica de los minerales de arcilla que constituyen la fracción coloidal de un suelo puede variar entre 2.8 y 2.9. Sin embargo, en algunas arcillas volcánicas suelen encontrarse valores más bajos entre 2.2 y 2.6. Así pues, es normal que en un suelo, los minerales de la fracción muy fina y coloidal tengan Gravedad Específica mayor que los minerales de la fracción más gruesa; no obstante, en la mayoría de los casos prácticos basta determinar el valor promedio de la Gravedad Específica de la materia sólida.

La Gravedad Específica se determinó en cada punto muestreado a una profundidad entre 0.5 mts. y 1.0 mts. obteniéndose los resultados que se dan a conocer en el cuadro respectivo del ensayo de Gravedad Específica.

DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA



ENSAYO : GRAVEDAD ESPECIFICA

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

FECHA : 14 DE AGOSTO DE 1991

REFERENCIA : ASTM D-954

SONDEO No.	1	2	3	4	5
UBICACION	CA-1 Km 201.5	CA-1 Km 200	CA-1 Km 197.5	CERRO CHAMUSCADO	CANTON TALPETATE
PROFUNDIDAD (mts)	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0
MATRAZ No.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
CAPACIDAD DEL MATRAZ (cm ³)	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
PESO DEL MATRAZ (grs)	266.30	313.20	265.75	269.30	265.50
PESO MATRAZ + SUELO SECO (grs)	361.65	421.10	356.70	368.30	353.10
PESO SUELO SECO W ₀ (grs)	95.35	107.90	90.95	99.00	87.60
PESO MATRAZ + AGUA + SUELO W ₁ (grs)	721.50	730.10	720.00	724.50	717.20
PESO MATRAZ + AGUA A CAPACIDAD TOTAL W ₂ (grs)	662.92	663.14	663.14	662.92	662.92
TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	30.00	28.00	28.00	30.00	30.00
GRAVEDAD ESPECIFICA A TEMPERATURA DE ENSAYO (Gs)	2.59	2.63	2.66	2.64	2.62

DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA Y FACTOR DE CONVERSION "K" PARA VARIAS TEMPERATURAS					
TEMP. °C	DENSIDAD RELATIVA	FACTOR K	TEMP. °C	DENSIDAD RELATIVA	FACTOR K
19	0.9984347	1.002	25	0.9970770	0.9989
20	0.9982343	1.000	26	0.9960156	0.9986
21	0.9980233	0.9998	27	0.9965451	0.9983
22	0.9978019	0.9996	28	0.9962652	0.9980
23	0.9975702	0.9993	29	0.9959761	0.9977
24	0.9973286	0.9991	30	0.9956780	0.9974

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE O.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROGELIO E. GODINEZ O.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

3.3 PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS. /2 Y /13

GRANULOMETRIA

Según el tamaño de los grános, los suelos se clasifican en Arenas, Limos y Arcillas, la ASTM clasifica las partículas de los suelos de acuerdo al siguiente cuadro :

CUADRO 3.1

CLASIFICACION ASTM DE LOS SUELOS

SUELO	TAMAÑO (mm)
Arena Gruesa	2.00 - 0.25
Arena Fina	0.25 - 0.05
Limo	0.05 - 0.005
Arcilla	Menores de 0.005
Arcilla Coloidal	Menores de 0.001 (1 u)

El análisis granulométrico del suelo, tiene como propósito determinar la proporción en tamaño de las partículas sólidas que contiene el suelo y el porcentaje en peso que representa cada porción de un mismo tamaño. Este se obtiene relacionando el peso del material menor que define el diámetro con el peso total de la muestra analizada.

El tamaño y la forma de las partículas principalmente las finas, tienen considerable importancia en la explicación

de la plasticidad y compresibilidad de las arcillas . Se ha probado que los suelos constituidos de granos aciculares y planos son plásticos y compresibles.

El estudio granulométrico de los suelos gruesos se realiza con técnicas diferentes a las que se usan para analizar los suelos finos; así :

a) Suelo Grueso

El examen granulométrico se hace con el análisis mecánico, por medio de mallas de diferentes aberturas realizando el cribado para separar cada tamaño de partículas.

b) Suelo Fino

El examen de los suelos finos se hace por medio del método hidrométrico, usando un densímetro, a fin de determinar "microscópicamente" el menor tamaño de las partículas finas.

La representación más usual del análisis granulométrico es la gráfica; se elaboran curvas cuyas formas geométricas se interpretan en base al siguiente criterio :

La curva granulométrica es continua, tendida con una inclinación de 0° a 40° . Su pendiente indica si en el suelo existe una distribución uniforme o no de las partículas que lo constituyen, si ésta curva es casi horizontal, las partículas del suelo tienen todos los

diámetros posibles entre los extremos máximos y mínimos, si la curva es vertical sólo existe un diámetro del tamaño de la partícula. Si estas características de la curva se cumplen, se consideran suelos bien graduados.

METODO DEL HIDROMETRO

Este metodo es usado para determinar la granulometría de los suelos finos que pasa la malla No. 200, conocidos como limos y arcillas.

En esta prueba se utiliza el Hidrómetro o Densímetro, dispositivo que permite determinar el peso volumétrico del liquido en el cual éste se sumerge. La prueba se efectúa sedimentando una suspensión de suelo fino en agua destilada y midiendo la variación del peso volumétrico de la suspensión con respecto al tiempo a medida que se asientan los granos del suelo.

Con el análisis hidrométrico se obtienen los datos necesarios para determinar el diámetro máximo de las partículas de suelo en suspensión y el peso de ellas, se calcula el diámetro de una esfera equivalente que cae dentro del agua con una velocidad igual a la del grano del suelo: o sea, el diámetro atribuido al grano del suelo es el obtenido suponiendo una esfera que cae dentro del agua con una velocidad igual a la del grano, aún cuando la forma de éste no sea necesariamente esférica.

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO, USANDO EL METODO DEL HIDROMETRO

LOCALIZACION DEL PROYECTO : Km 201.5 CARRETERA-PANAMERICANA

MUESTRA : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PERFORACION : 1

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA : 0.50 - 1.00 M.

HIDROMETRO-No. : 152 H

Gs DE LOS SOLIDOS : 2.59

CONSTANTE : $\alpha = 1.01$ (SEGUN J. BOWLES)

DEFLOCULANTE : NaPO3

CANTIDAD : 4% EN 125 ML

PESO DEL SUELO Ws : 50 Grs

CORRECCION DE CERO : 3.0

CORRECCION DEL MENISCO : 1.0

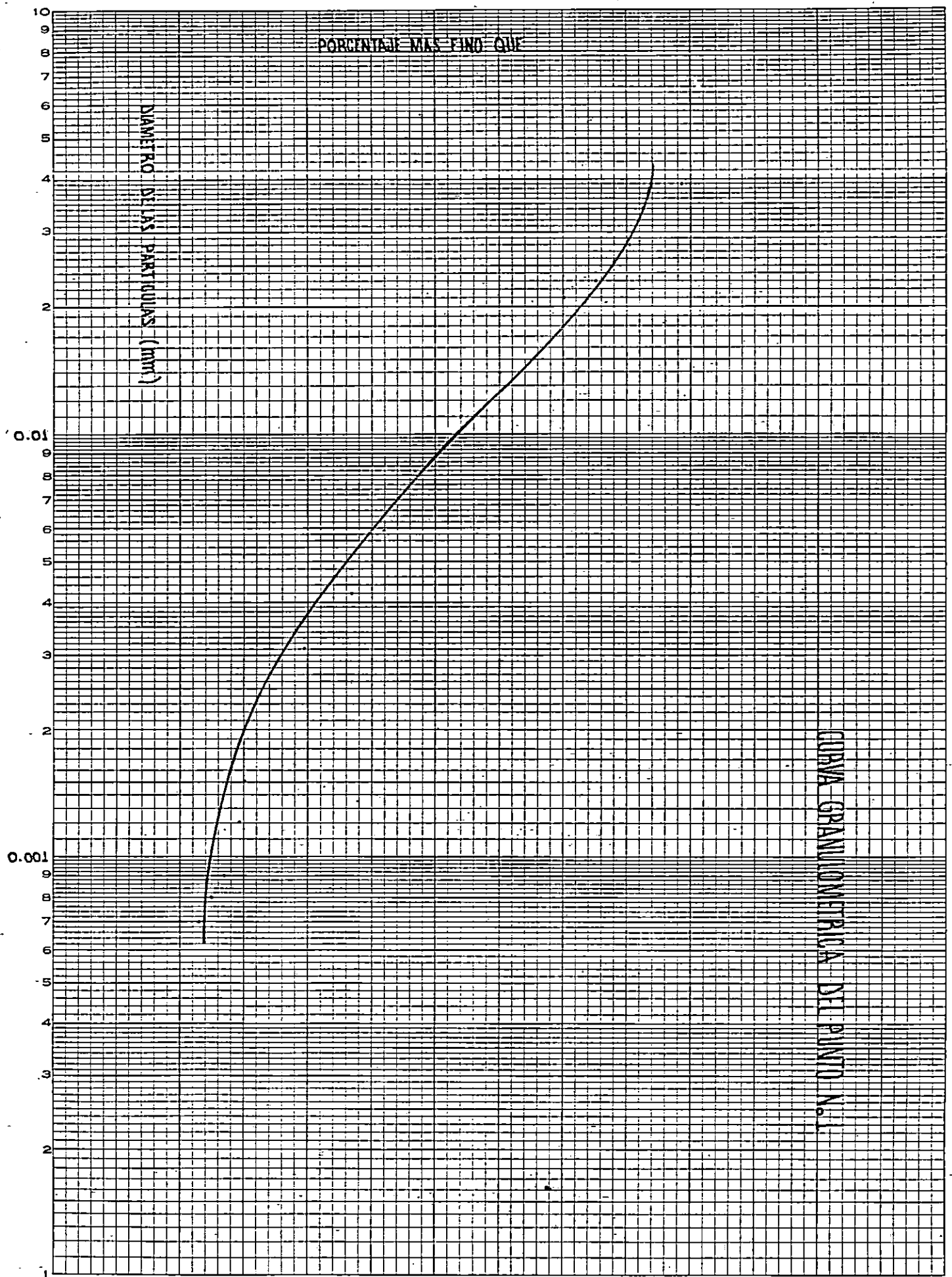
REFERENCIA : ASTM D421-58 y D422-63

FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO T (min)	TEMPERATURA 'C	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO. Rr	LECT. CORREG. DEL HIDROMETRO. Rc.	PORCENTAJE MAS FINO	HIDROM. CORREG. POR MENISCO Rm	L DE LA TABLA 6-5	L/T	K DE LA TABLA 6-4	D (mm)
15/08/91	14:41:40	1	32	36	38.8	78.4	37.0	10.2	10.2	0.0122	0.039
15/08/91	14:42:40	2	32	32.5	34.8	70.3	33.5	10.8	5.4	0.0122	0.028
15/08/91	14:43:40	3	32	29.5	32.3	65.2	30.5	11.1	3.7	0.0122	0.023
15/08/91	14:44:40	4	32	27	29.8	60.2	28.0	11.7	2.93	0.0122	0.021
15/08/91	14:49:40	9	32	22	24.8	50.1	23.0	12.5	1.389	0.0122	0.014
15/08/91	14:56:40	16	32	19	21.8	44.0	20.0	13.0	0.813	0.0122	0.011
15/08/91	15:10:40	30	32	15.5	18.3	37.0	16.5	13.6	0.453	0.0122	0.0082
15/08/91	15:40:40	60	32.5	12.5	15.9	32.1	13.5	14.1	0.235	0.01215	0.0059
15/08/91	16:40:40	120	32.5	10	13.4	27.1	11.0	14.5	0.121	0.01215	0.0042
15/08/91	18:40:40	240	31	8	9.7	19.6	9.0	14.8	0.062	0.0123	0.0031
16/08/91	08:40:40	1080	27	6	5.0	10.1	7.0	15.2	0.0141	0.0128	0.0015
16/08/91	18:40:40	1680	31	3	4.7	9.5	4.0	15.6	0.0093	0.0123	0.0012
17/08/91	09:40:40	2580	28.5	3.8	3.58	7.2	4.8	15.5	0.0060	0.01255	0.0009
18/08/91	09:40:40	4020	28.5	2.8	2.58	5.2	3.8	15.6	0.0039	0.01255	0.0008
19/08/91	09:40:40	5460	27	2.2	1.20	2.4	3.2	15.8	0.0029	0.0128	0.0007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECHIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUSHAN URBINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DIETZSEN CORPORATION
MADE IN U.S.A.

NO. 310-1310 DIETZSEN GRAPH PAPER
SEMI-LOGARITHMIC
3 CYCLES X 10 DIVISIONS PER INCH



CURVA GRANULOMETRICA DE PINTO N. 1

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASABUINA

ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO, USANDO EL METODO DEL HIDROMETRO

LOCALIZACION DEL PROYECTO : Km 200 CARRETERA PANAMERICANA

MUESTRA : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PERFORACION : 2

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA : 0.50 - 1.00 Ml.

HIDROMETRO No. : 152 H

Gs DE LOS SOLIDOS : 2.63

CONSTANTE : a = 1.00 (SEGUN J. ROWLES)

DEFLOCULANTE : NaPO3

CANTIDAD : 42 EN 125 Ml

PESO DEL SUELO Ws : 50 Grs

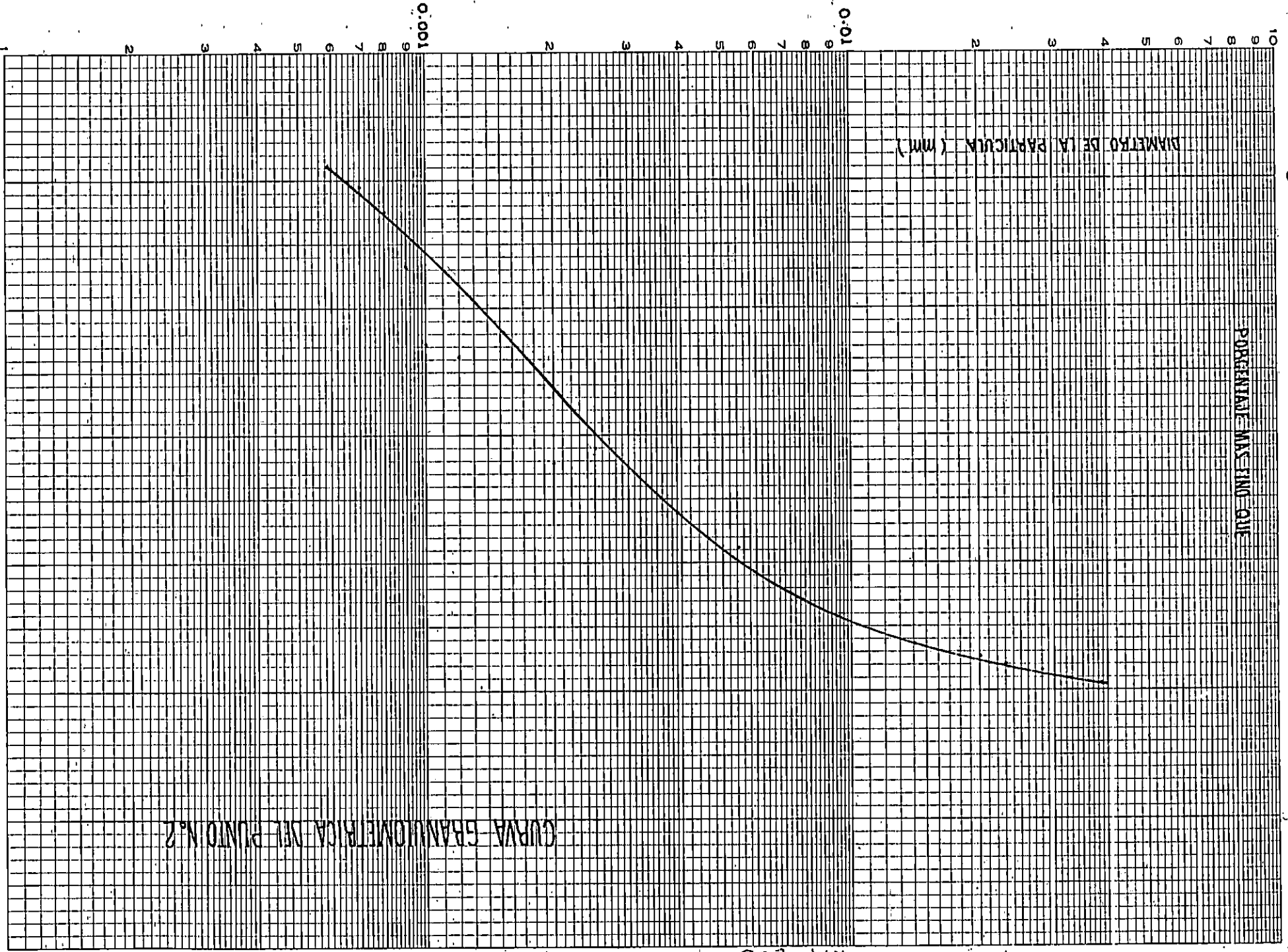
CORRECCION DE CERO : 3.0

CORRECCION DEL MENISCO : 1.0

REFERENCIA : ASTM D421-58 y D422-63

FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO T (min)	TEMPERATURA °C	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO. Ro	LECT. CORREG. DEL HIDROMETRO. Rc.	PORCENTAJE MAS FINO	HIDROM. CORREG. POR MENISCO Ra	L DE LA TABLA 6-5	L/T	K DE LA TABLA 6-4	D (mm)
15/08/91	08:26:00	1	28.0	40.0	39.5	79.0	41.0	9.6	9.50	0.0125	0.039
15/08/91	08:27:00	2	28.0	39.0	38.5	77.0	40.0	9.7	4.85	0.0125	0.028
15/08/91	08:28:00	3	28.0	38.5	38.0	76.0	39.5	9.8	3.27	0.0125	0.023
15/08/91	08:29:00	4	28.0	38.0	37.5	75.0	39.0	9.9	2.48	0.0125	0.020
15/08/91	08:33:00	8	28.0	37.0	36.5	73.0	38.0	10.1	1.28	0.0125	0.014
15/08/91	08:41:00	16	28.5	35.0	34.78	69.6	36.0	10.4	0.65	0.01245	0.010
15/08/91	08:55:00	30	28.5	33.0	32.78	65.6	34.0	10.7	0.357	0.01245	0.0074
15/08/91	09:25:00	60	28.5	29.0	28.78	57.6	30.0	11.4	0.190	0.0124	0.0054
15/08/91	10:25:00	120	29.0	26.0	26.05	52.1	27.0	11.9	0.099	0.0124	0.0039
15/08/91	13:25:00	300	29.0	21.0	21.05	42.1	22.0	12.7	0.042	0.0124	0.0025
15/08/91	16:25:00	480	33.0	18.0	22.10	44.2	19.0	13.2	0.028	0.0120	0.0020
16/08/91	09:25:00	1500	27.5	14.5	13.76	27.5	15.5	13.7	0.0092	0.0126	0.0012
16/08/91	18:25:00	2040	32.0	10.0	12.80	25.6	11.0	14.5	0.0071	0.0121	0.0010
17/08/91	09:28:00	2943	28.0	7.0	6.70	13.4	8.2	15.0	0.0051	0.0125	0.0009
18/08/91	09:25:00	4280	28.0	3.0	2.50	5.0	4.0	15.6	0.0036	0.0125	0.0008
19/08/91	08:25:00	5760	25.0	2.2	0.50	1.0	3.2	15.8	0.0027	0.0130	0.0007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASABUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE B.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URBINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ



CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO N.2

mm 200

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO, USANDO EL METODO DEL HIDROMETRO

LOCALIZACION DEL PROYECTO : Km 197.5 CARRETERA PANAMERICANA

MUESTRA : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PERFORACION : 3

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA : 0.50 - 1.00 Ml.

HIDROMETRO No. : 152 H

Gs DE LOS SOLIDOS : 2.66

CONSTANTE : a = 1.00 (SEGUN J. 80

DEFLOCULANTE : NaPO3

CANTIDAD : 42 EN 125 Ml

PESO DEL SUELO Ws : 50 Grs

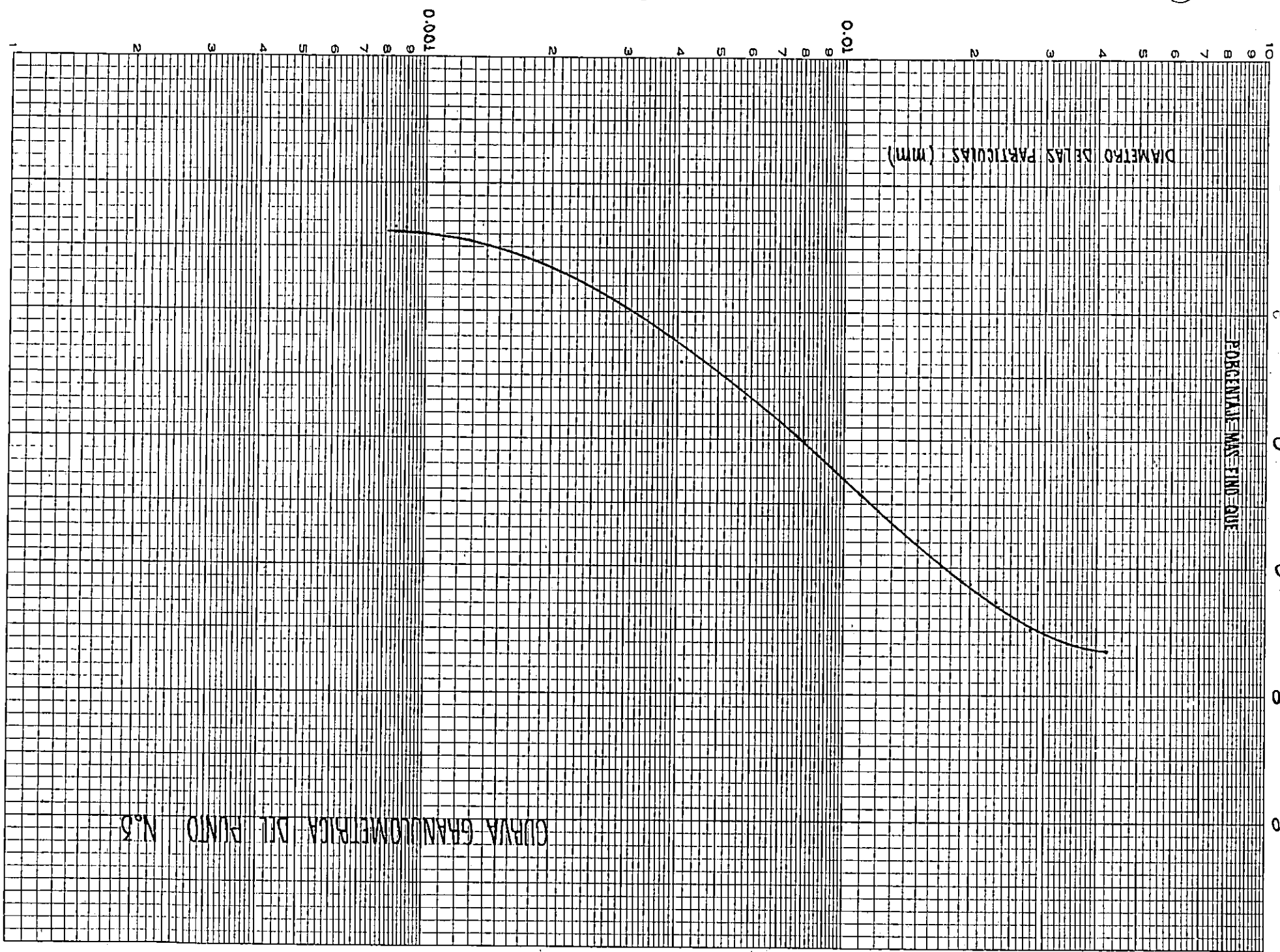
CORRECCION DE CERO : 3.0

CORRECCION DEL MENISCO : 1.0

REFERENCIA : ASTM D421-58 y D422-63

FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO T (min)	TEMPERATURA °C	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO, R _c	LECT. CORREG. DEL HIDROMETRO, R _c	PORCENTAJE MAS FINO	HIDROM. CORREG. POR MENISCO R _a	L DE LA TABLA 6-3	L/T	K DE LA TABLA 6-4	D (mm)
19/08/91	11:21:55	1	30.0	37.0	37.0	75.6	30.8	10.10	10.10	0.0122	0.039
19/08/91	11:22:55	2	30.0	34.0	34.3	79.6	35.0	10.50	5.25	0.0122	0.028
19/08/91	11:23:55	3	30.0	32.0	32.8	65.6	33.0	10.90	3.55	0.0122	0.023
19/08/91	11:24:55	4	30.0	30.5	31.3	62.6	31.5	11.15	2.79	0.0122	0.020
19/08/91	11:28:55	8	30.0	27.0	27.8	55.6	28.0	11.70	1.453	0.0122	0.015
19/08/91	11:36:55	16	30.0	23.2	24.0	48.0	24.2	12.35	0.773	0.0122	0.011
19/08/91	11:50:55	30	30.0	19.5	20.0	40.0	20.5	12.95	0.432	0.0122	0.0080
19/08/91	12:20:55	60	30.0	16.0	16.8	33.6	17.0	13.50	0.225	0.0122	0.0058
19/08/91	13:22:55	122	31.0	12.2	13.9	27.8	13.2	14.16	0.116	0.0121	0.0041
19/08/91	16:20:55	300	32.0	8.2	11.0	22.0	9.2	14.78	0.049	0.0120	0.0027
19/08/91	18:20:55	420	30.0	8.2	9.0	18.0	9.2	14.78	0.035	0.0122	0.0023
20/08/91	08:20:55	1260	25.0	7.8	5.9	11.8	8.8	14.34	0.012	0.0129	0.0014
20/08/91	18:20:55	1860	27.5	5.1	4.4	8.8	6.1	15.29	0.0082	0.0125	0.0011
21/08/91	08:33:55	2713	25.0	5.4	3.7	7.4	6.4	15.26	0.0056	0.0129	0.0009
21/08/91	18:20:55	3300	29.0	3.4	3.5	7.0	4.4	15.56	0.0047	0.0123	0.0009
22/08/91	09:20:55	4200	25.0	2.8	1.1	2.0	3.8	15.64	0.0037	0.0129	0.0008

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROSELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. NAZARIEGO MGRAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ



CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO N.º 5

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO, USANDO EL METODO DEL HIDROMETRO

LOCALIZACION DEL PROYECTO : CERRO EL CHANUSCADO

MUESTRA : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PERFORACION : 4

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA : 0.50 - 1.00 Mt.

HIDROMETRO No. : 152 H

Gs DE LOS SOLIDOS : 2.64

CONSTANTE : $\alpha = 1.00$ (SEGUN J. 30

DEFLOCULANTE : NaPO3

CANTIDAD : 4% EN 125 ml

--- PESO DEL SUELO M_s : 50 Grs

CORRECCION DE CERO : 3.0

CORRECCION DEL MENISCO : 1.0

REFERENCIA : ASTM D421-58 y D422-63

FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)	TEMPERATURA °C	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO, R_o	LECT. CORREG. DEL HIDROMETRO, R_c	PORCENTAJE MAS FINO	HIDROM. CORREG. POR MENISCO R_a	L DE LA TABLA 6-5	L/T	X DE LA TABLA 6-4	D (mm)
14/08/91	10:47:35	1	29.0	40.1	40.15	90.3	41.1	9.53	9.58	0.0123	0.033
14/08/91	10:48:35	2	29.0	38.2	38.25	76.5	39.2	9.86	4.93	0.0123	0.027
14/08/91	10:49:35	3	29.0	37.1	37.15	74.3	38.1	10.08	3.36	0.0123	0.023
14/08/91	10:50:35	4	29.0	36.0	36.05	72.1	37.0	10.20	2.55	0.0123	0.020
14/08/91	10:54:35	8	29.0	34.0	34.05	68.1	35.0	10.50	1.313	0.0123	0.014
14/08/91	11:02:35	16	29.5	31.5	31.92	63.8	32.5	11.00	0.688	0.01225	0.010
14/08/91	11:16:35	30	30.0	29.0	29.80	59.6	30.0	11.40	0.360	0.0122	0.0075
14/08/91	11:46:35	60	30.0	26.0	26.80	53.6	27.0	11.90	0.1983	0.0122	0.0054
14/08/91	12:46:35	120	30.0	21.0	22.80	45.6	23.0	12.50	0.1042	0.0122	0.0039
14/08/91	14:46:35	240	32.0	18.0	20.80	41.6	19.0	13.20	0.0551	0.0120	0.0028
14/08/91	18:46:35	480	30.0	16.0	16.80	33.6	17.0	13.50	0.0281	0.0122	0.0020
15/08/91	07:46:35	760	26.0	14.0	12.65	25.3	15.0	13.80	0.0144	0.0127	0.0015
15/08/91	18:48:40	1622	31.0	11.0	12.70	25.4	12.0	14.30	0.0088	0.0121	0.0011
16/08/91	08:46:35	2640	27.0	10.5	9.50	19.0	11.5	14.40	0.0058	0.0126	0.0010
16/08/91	18:46:35	3060	31.0	8.2	9.90	19.8	9.2	14.78	0.0048	0.0121	0.0008
17/08/91	09:46:35	3760	28.5	8.2	7.98	16.0	9.2	14.78	0.0037	0.01235	0.0008
18/08/91	09:46:35	5400	28.5	7.0	6.98	13.6	8.0	15.00	0.0028	0.01235	0.0007

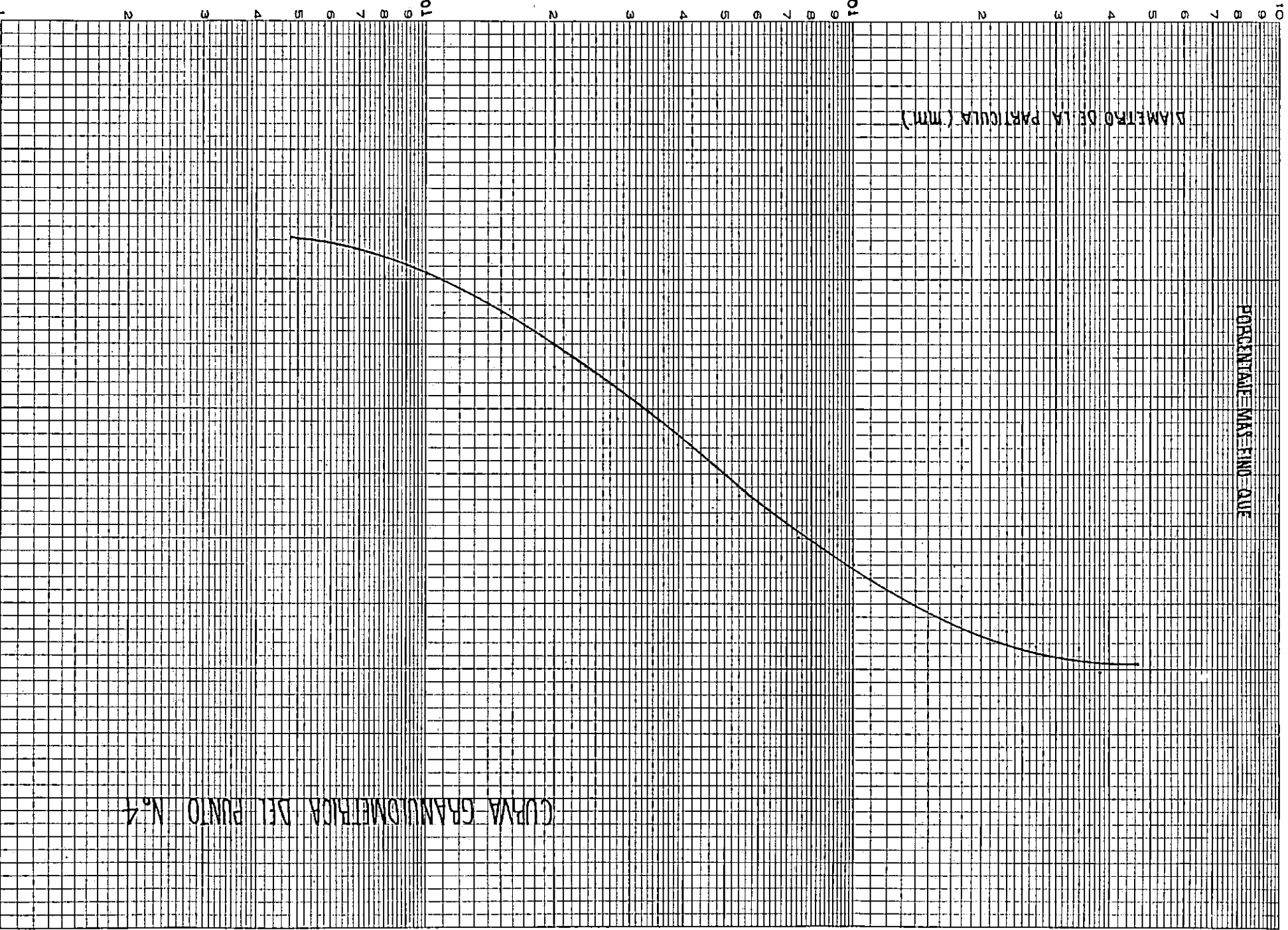
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE N. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ING. ROBELIO E. GODINEZ G.	MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

0.0
20
40
60
80
100

DIAMETRO DE LA PARTICULA (mm)

PORCENTAJE MAS FINO QUE

CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO N.º 4



DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : ANALISIS GRANULOMETRICO, USANDO EL METODO DEL HIDROMETRO

LOCALIZACION DEL PROYECTO : CANTON EL TALPETATE

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA : 0.50 - 1.00 Mt.

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PERFORACION : 5

HIDROMETRO No. : 152 H

Gs DE LOS SOLIDOS : 2.62

CONSTANTE : $a = 1.01$ (SEGUN J. POWLES)

DEFLOCULANTE : NaPO3

CANTIDAD : 4% EN 125 ml

PESO DEL SUELO W_s : 50 Grs

CORRECCION DE CERO : 3.0

CORRECCION DEL MENISCO : 1.0

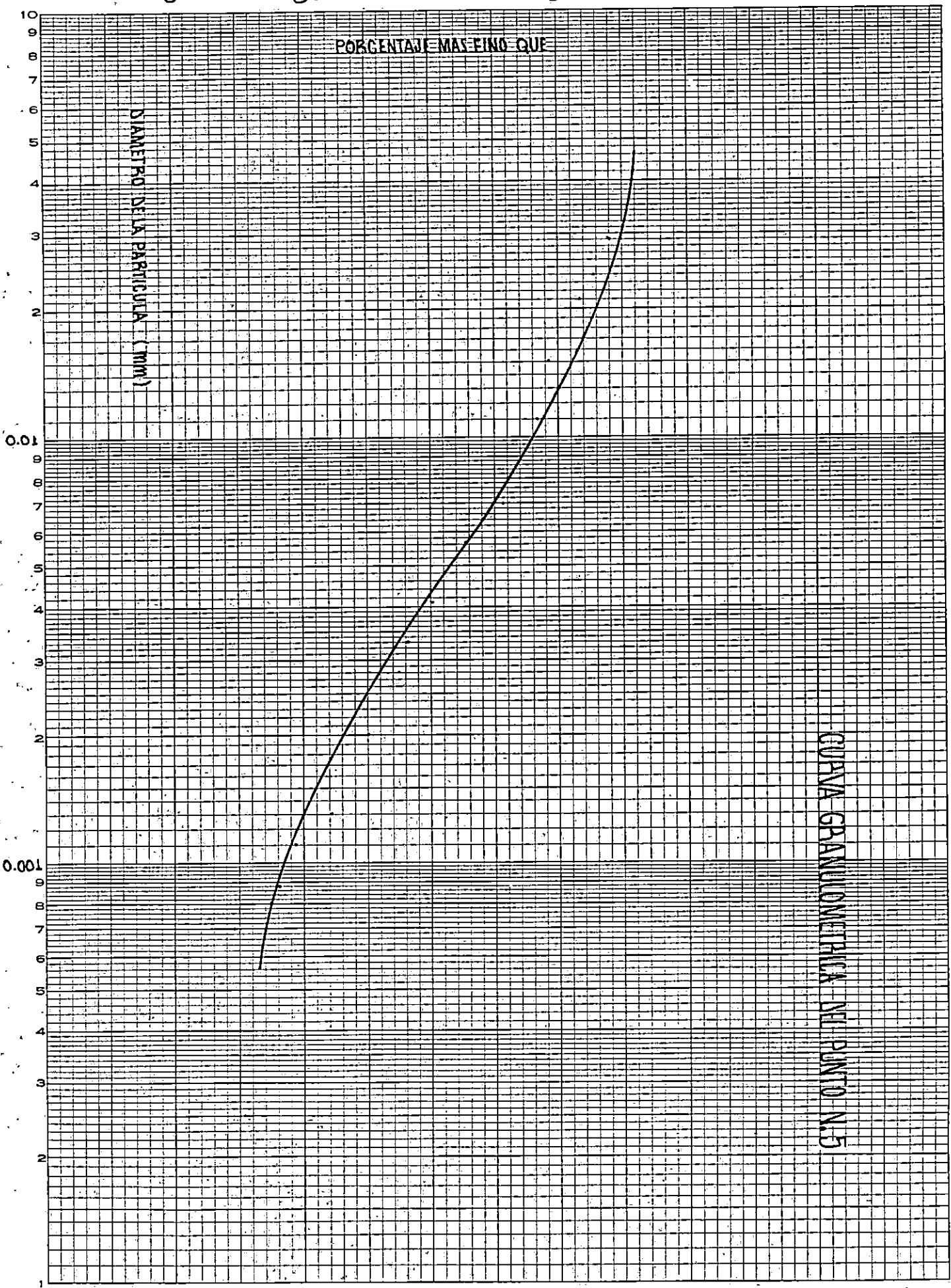
REFERENCIA : ASTM D421-58 y D422-63

FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO T (min)	TEMPERATURA °C	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO. R_o	LECT. CORREG. DEL HIDROMETRO. R_c	PORCENTAJE MAS FINO	HIDROM. CORREG. POR MENISCO R_m	L DE LA TABLA 6-5	L/T	K DE LA TABLA 6-4	D (%)
21/08/91	09:24:40	1	28.5	35.2	35.42	71.5	36.2	10.38	10.36	0.01245	0.040
21/08/91	09:25:40	2	28.5	33.5	33.72	68.1	34.5	10.60	5.30	0.01245	0.027
21/08/91	09:26:40	3	28.5	32.2	32.42	65.5	33.2	10.86	3.62	0.01245	0.024
21/08/91	09:27:40	4	28.5	31.2	31.42	63.5	32.2	11.06	2.765	0.01245	0.021
21/08/91	09:31:40	8	29.0	28.8	28.85	58.3	29.8	11.42	1.428	0.0124	0.015
21/08/91	09:39:40	16	29.0	28.0	28.05	56.7	29.0	11.50	0.719	0.0124	0.011
21/08/91	09:55:40	32	29.0	25.3	25.35	51.2	26.3	11.97	0.374	0.0124	0.0076
21/08/91	10:23:40	60	29.0	22.5	22.55	45.6	23.5	12.45	0.208	0.0124	0.0057
21/08/91	11:23:40	120	29.0	19.8	19.85	40.1	20.8	12.92	0.108	0.0124	0.0041
21/08/91	12:27:40	184	29.0	18.9	18.95	36.5	19.0	13.20	0.0717	0.0124	0.0033
21/08/91	13:40:40	257	31.0	16.0	17.70	35.8	17.0	13.50	0.0525	0.0122	0.0028
21/08/91	18:23:40	540	29.0	14.8	14.85	30.0	15.8	13.72	0.0254	0.0124	0.0020
22/08/91	09:23:40	1440	25.0	12.7	11.90	22.2	13.7	14.06	0.0098	0.0130	0.0013
22/08/91	18:23:40	19980	30.5	8.0	9.22	18.6	9.0	14.80	0.0075	0.01215	0.0011
23/08/91	09:39:40	2896	25.5	9.5	7.95	16.1	10.5	14.60	0.0050	0.0129	0.0009
23/08/91	18:39:40	3436	30.0	6.5	7.30	14.7	7.5	15.10	0.0044	0.0123	0.0008
24/08/91	09:47:40	4344	26.0	6.0	4.65	9.4	7.0	15.20	0.0035	0.0128	0.0008

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROGELIO E. GONZALEZ G.	EDMUNDO G. MAZARIEGO MORGAN MAURICIO I. VELAZQUEZ FAZ

DIETZGEN CORPORATION
MADE IN U.S.A.

NO. 240-L310 DIETZGEN GRAPH PAPER
SEMI-LOGARITHMIC
3 CYCLES X 10 DIVISIONS PER INCH



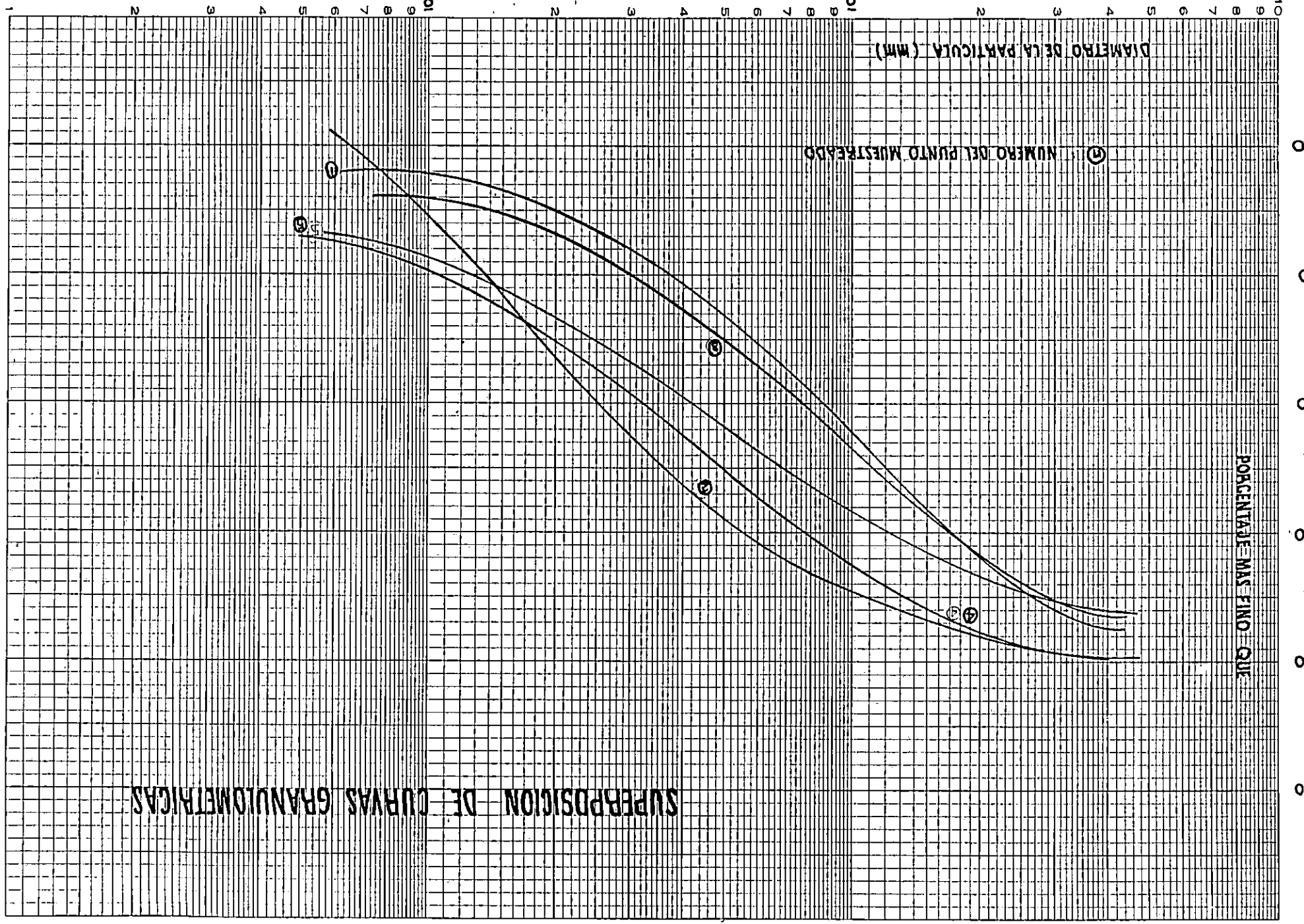
CURVA GRANULOMETRICA DEL PUNTO N.5

SUPERPOSICION DE CURVAS GRANULOMETRICAS

DIAMETRO DE LA PARTICULA (MM)

NUMERO DEL PUNTO MUESTREADO

PORCENTAJE MAS FINO QUE



10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
0.001 0.01 1

2

3

4

5

6

7

8

9

0.001

2

3

4

5

6

7

8

9

0.01

2

3

4

5

6

7

8

9

10

LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG.

La plasticidad es la propiedad de los suelos finos de deformarse sin perder el volumen, ni agrietarse o desmoronarse y se modifica con el contenido de agua: la magnitud de deformación no es directamente proporcional al esfuerzo que recibe, permaneciendo deformado el suelo al desaparecer el esfuerzo.

Al estudiar la plasticidad de las arcillas para ser usadas en alfarería, Atterberg propuso estados de consistencia o firmeza que pueden presentar los suelos finos (Arcillas y Limos) al variar el contenido de agua. En función de la plasticidad, definió cuatro fases o estados por los que pasa el suelo al disminuir el contenido de agua, éstos son : Estado Sólido, Estado Semi-Sólido, Estado Plástico, Estado Líquido.

La variación cualitativa de la consistencia del suelo con el contenido de agua, se presenta en la figura 3.3.1, en ella también se ha dibujado cualitativamente la relación entre el contenido de agua y la resistencia del suelo, resistencia que puede ser a las deformaciones o a los esfuerzos cortantes.

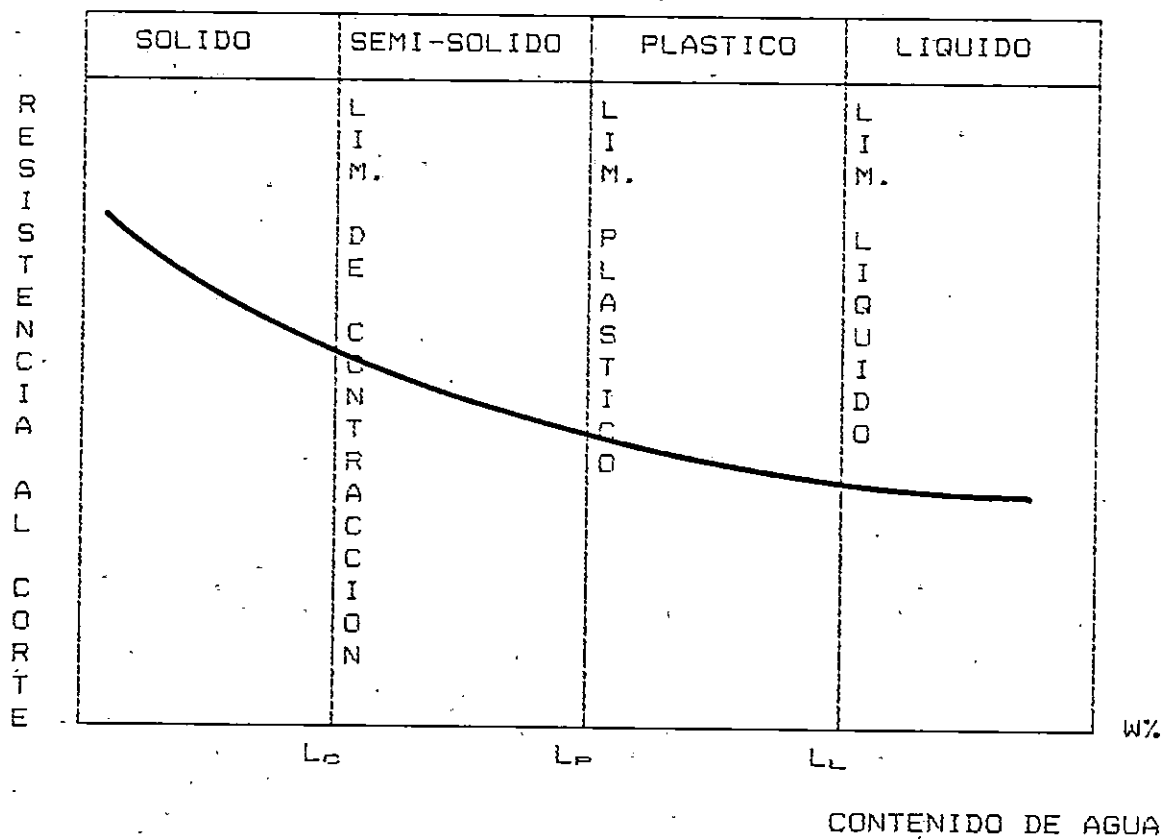


FIGURA 3.3.1
ESTADOS DE CONSISTENCIA. /1

Para precisar el contenido de agua que marca el lindero entre los estados de consistencia o de plasticidad, se han establecido contenidos de agua que marcan las fronteras entre éstos cuatro estados, esos contenidos de agua se conocen como "Límites de Consistencia".

LIMITE LIQUIDO

Indica la cantidad de agua necesaria para que el suelo remoldeado tenga una resistencia al corte mínimo, por consiguiente, un límite líquido alto indica que al suelo se

le debe agregar una gran cantidad de agua para degradar su resistencia hasta la mínima; dado que la resistencia al corte depende del área en contacto de los granos. un límite líquido alto muestra que se necesita mucha agua para separar unos granos de otros y por consiguiente el suelo es muy fino y tenaz para rebajar su resistencia.

LIMITE PLASTICO

Indica la cantidad de agua que marca el lindero entre el estado Plástico y el Semi-Sólido; además, señala la cantidad de agua necesaria que debe agregarse al suelo a fin de que sea trabajable; y el índice de plasticidad es el rango en que el suelo es fácilmente laborable. Así, un índice plástico pequeño lo tiene un material que varía con facilidad del estado Líquido al estado Plástico.

Los resultados de laboratorio obtenido se presentan a continuación :

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

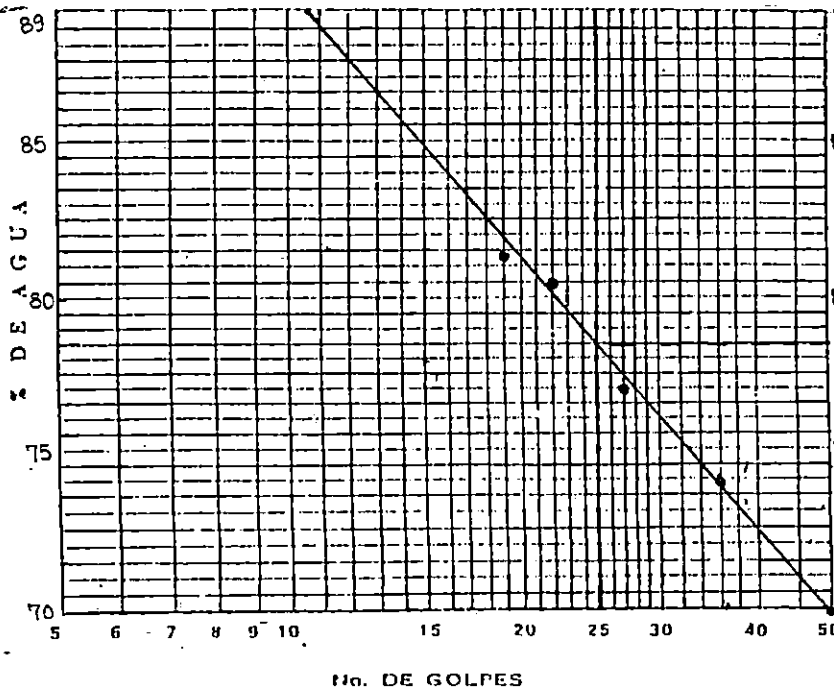
ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

URICACION : Km. 201.5 CARRETERA PANAMERICANA. (PUNTO No. 1)

MUESTRA No. : 1 MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.0 - 0.5 (mts) REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	50	36	27	22	19	12	-	-	-
Recipiente No.	81	77	91	94	82	83	43	72	36
Peso Suelo humedo y Tara	34.30	34.35	33.85	34.85	34.15	37.05	15.35	15.90	17.80
Peso Suelo seco y Tara	29.30	29.25	28.85	29.32	28.90	30.10	14.05	14.95	16.75
Tara	22.15	22.35	22.35	22.45	22.45	22.35	10.35	11.70	13.35
Peso de agua	5.00	5.10	5.00	5.53	5.25	6.95	1.30	0.95	1.05
Peso de suelo seco	7.15	6.90	6.50	6.87	6.45	7.75	3.70	3.25	3.40
Contenido de agua %	69.90	73.90	76.90	80.50	81.40	89.70	35.14	29.23	30.88



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE O.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 - ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	ERMUNDO S. NAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : Km. 201.5 CARRETERA PANAMERICANA. (PUNTO No. 1)

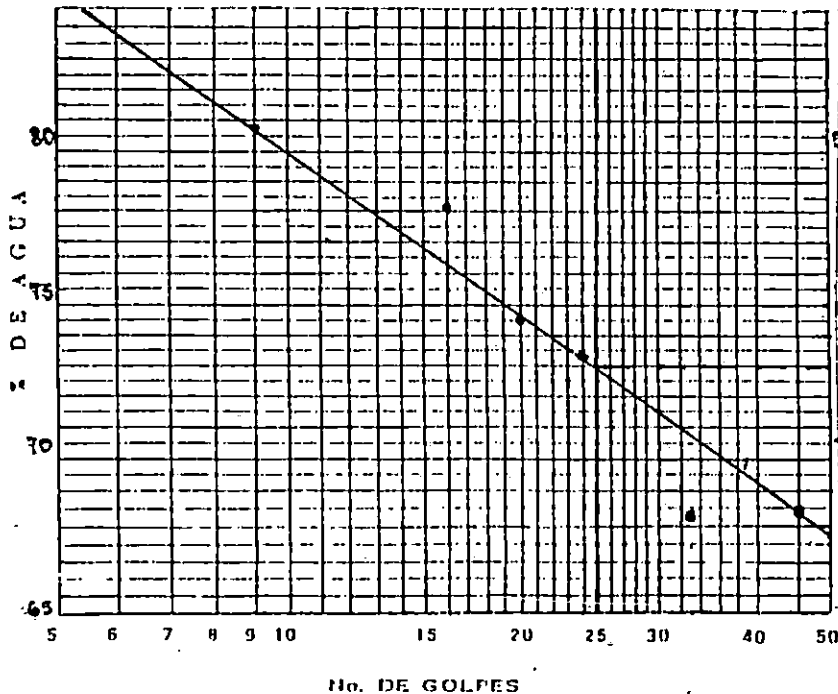
MUESTRA No. : 2

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.5 - 1.0 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	45	33	24	20	16	9	-	-	-
Reciente No.	91	83	77	94	82	8	43	36	72
Peso Suelo humedo y Tara	32.93	34.55	32.45	35.35	35.45	34.60	14.95	18.50	15.20
Peso Suelo seco y Tara	28.65	29.60	28.13	29.80	29.75	29.15	13.80	17.30	14.25
Tara	22.35	22.30	22.25	22.30	22.40	22.36	10.20	13.25	11.30
Peso de agua	4.28	4.95	4.30	5.55	5.70	5.45	1.15	1.20	0.95
Peso de suelo seco	6.30	7.30	5.90	7.50	7.35	6.79	3.60	4.05	2.95
Contenido de agua %	67.90	67.80	72.80	74.00	77.60	80.27	31.94	29.63	32.20



LIMITES %	
Líquido	72.50
Plástico	32.40
INDICES	
Plasticidad	40.10
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE N. LANDAVERDE O.	DESARROLLO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MGRAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : Km. 201.5 CARRETERA PANAMERICANA. (PUNTO No. 1)

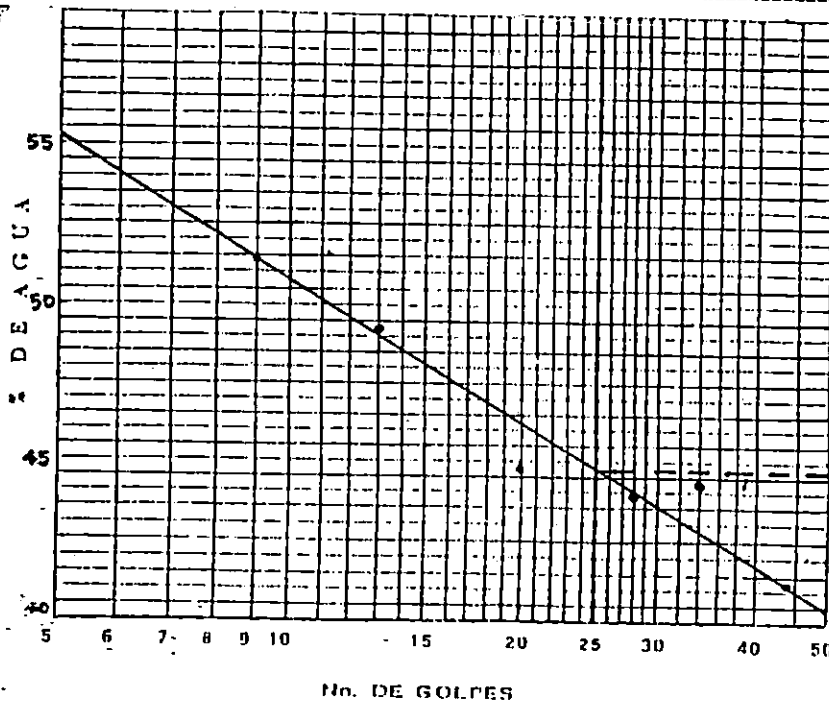
MUESTRA No. : 3

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 1.0 - 1.5 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	44	34	28	20	13	9	-	-	-
Recipiente No.	81	77	83	82	94	91	12	2-T	7
Peso Suelo húmedo y Tara	36.55	34.40	34.80	35.60	33.80	38.05	24.80	23.35	24.05
Peso Suelo seco y Tara	32.40	30.70	31.00	31.50	30.00	32.70	23.15	21.95	22.80
Tara	22.35	22.35	22.35	22.35	22.30	22.30	19.10	18.30	19.60
Peso de agua	4.15	3.70	3.80	4.10	3.80	5.35	1.65	1.40	1.25
Peso de suelo seco	10.05	8.35	8.65	9.15	7.70	10.40	4.05	3.65	3.20
Contenido de agua %	41.30	44.30	43.90	44.80	49.35	51.40	40.70	38.40	39.10



LIMITES %	
Líquido	44.70
Plástico	39.40
INDICES	
Plasticidad	5.30
Clasificación	ML

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE H. LANDAVERDE B.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROBELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. NAZARIEGO MORGAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : Km. 200 CARRETERA PANAMERICANA. (PUNTO No. 2)

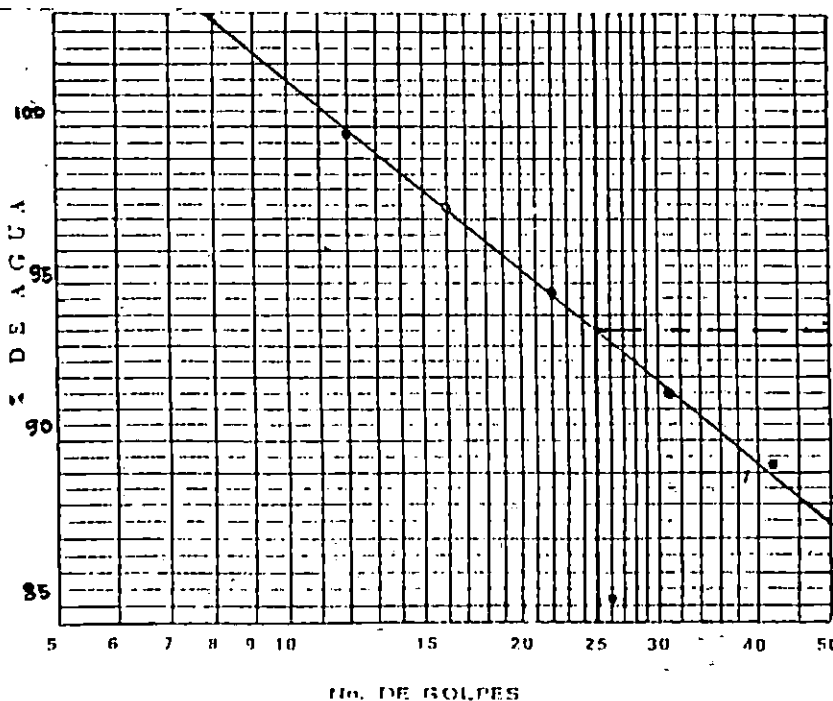
MUESTRA No. : 2

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.5 - 1.0 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	42	31	26	22	16	12	-	-	-
Recipiente No.	3	5-5	5-6	5-8	5	5-11	12	7	21
Peso Suelo humedo y Tara	37.33	41.55	43.95	29.90	34.86	33.30	22.18	22.95	21.20
Peso Suelo seco y Tara	31.25	36.00	37.78	24.20	27.20	26.35	21.50	22.15	20.50
Tara	24.40	29.90	30.50	18.15	19.30	19.35	19.05	19.55	18.15
Peso de agua	6.08	5.55	6.17	5.70	7.66	6.95	0.68	0.90	0.70
Peso de suelo seco	6.85	6.10	7.28	6.05	7.90	7.00	2.45	2.60	2.35
Contenido de agua %	88.76	91.00	84.75	94.21	96.96	99.29	27.80	30.80	29.80



LIMITES %	
Líquido	93.00
Plástico	29.50
INDICES	
Plasticidad	63.50
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE H. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : Km. 200 CARRETERA PANAMERICANA. (PUNTO No. 2)

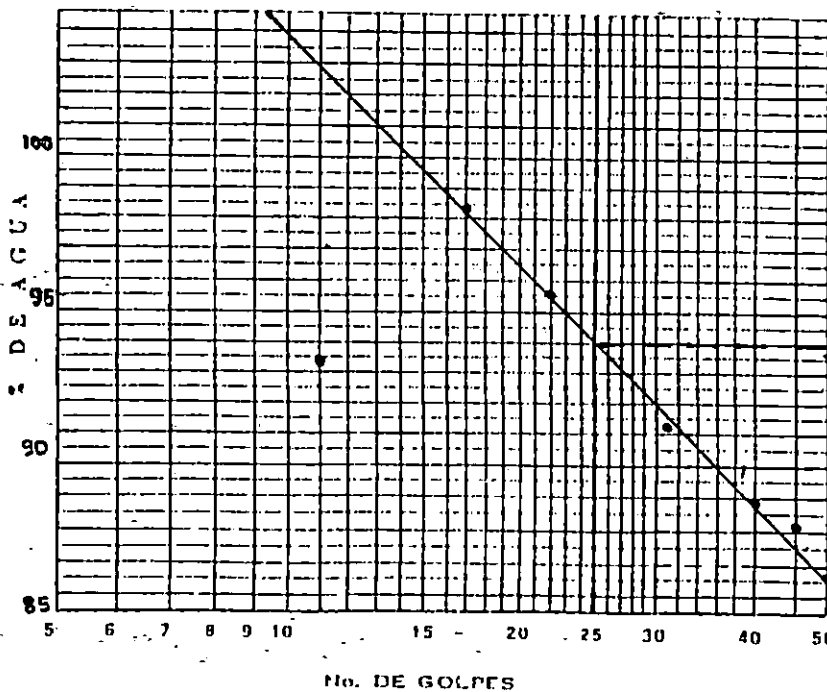
MUESTRA No. : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.0 - 0.5 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	45	41	31	22	17	11	-	-	-
Recipiente No.	77	94	81	82	83	91	36	43	72
Peso Suelo húmedo y Tara	35.35	36.65	33.95	33.82	35.15	34.70	15.85	13.35	15.90
Peso Suelo seco y Tara	29.30	29.96	28.35	28.28	28.82	28.75	15.10	12.50	14.80
Tara	22.40	22.35	22.18	22.45	22.35	22.35	13.30	10.30	11.65
Peso de agua	6.05	6.69	5.60	5.54	6.33	5.95	0.75	0.85	1.10
Peso de suelo seco	6.90	7.61	6.17	5.83	6.47	6.40	1.80	2.20	3.15
Contenido de agua %	87.70	87.91	90.76	95.03	97.84	92.97	41.70	38.60	34.90



LIMITES %	
Líquido	93.50
Plástico	29.50
INDICES	
Plasticidad	64.00
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	PROYECTO : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE O.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. NAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : Km. 197.5 CARRETERA PANAMERICANA. (PUNTO No. 3)

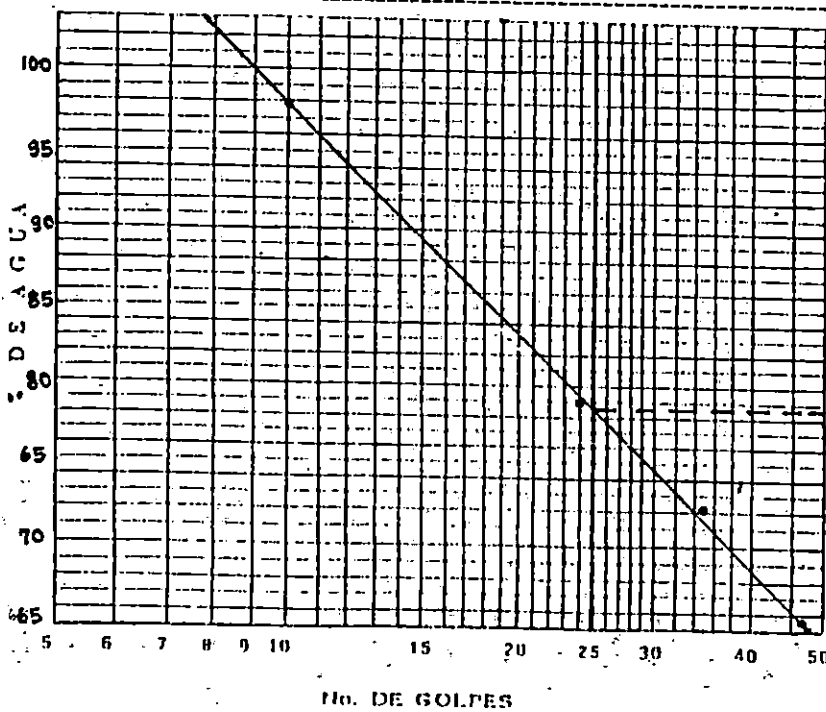
MUESTRA No. : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDECENCIA : 0.0 - 0.5 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	46	35	29	24	19	10	-	-	-
Reciente No.	1	2	4	5-1	5-3	5-4	7	72	35
Peso Suelo humedo y Tara	44.30	45.95	41.40	40.70	45.80	43.06	25.15	16.25	20.60
Peso Suelo seco y Tara	38.70	39.70	38.98	35.80	38.00	36.40	23.70	15.25	18.95
Tara	30.65	31.05	30.40	29.60	30.45	29.60	19.60	11.65	13.22
Peso de agua	5.60	6.25	2.42	4.90	7.80	6.66	1.45	1.00	1.65
Peso de suelo seco	8.05	8.65	8.58	6.20	7.55	6.80	4.10	3.60	5.73
Contenido de agua %	69.60	72.30	28.20	79.00	103.30	97.90	35.40	27.80	28.80



L I M I T E S %	
Líquido	78.60
Plástico	28.30
I N D I C E S	
Plasticidad	50.30
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECHIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URSINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : CERRO EL CHAMUSCADO, (PUNTO No. 4)

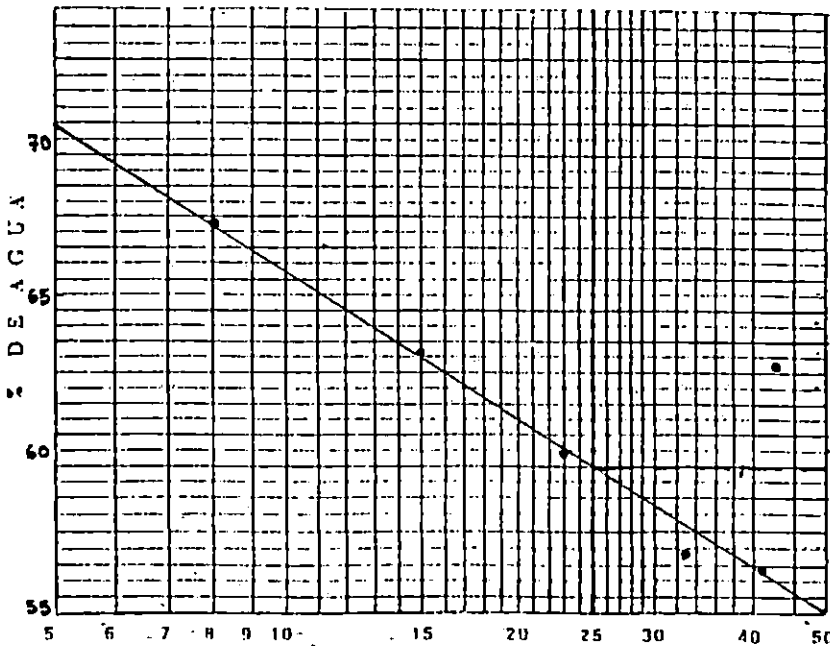
MUESTRA No. : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.0 - 0.5 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	43	41	33	23	15	8	-	-	-
Receptor No.	77	81	83	82	91	94	N	12	7
Peso Suelo humedo y Tara	39.05	36.35	33.75	38.15	36.85	36.25	33.80	22.40	25.00
Peso Suelo seco y Tara	32.60	31.23	29.60	32.25	31.20	30.60	33.00	21.60	23.75
Tara	22.30	22.15	22.30	22.40	22.25	22.20	29.95	19.10	19.60
Peso de agua	6.45	5.12	4.15	5.90	5.65	5.65	0.80	0.80	1.25
Peso de suelo seco	10.30	9.08	7.30	9.85	8.95	8.40	3.05	2.50	4.15
Contenido de agua %	62.62	56.39	56.85	59.90	63.13	67.26	26.23	32.00	30.12



LIMITES %	
Líquido	59.50
Plástico	29.45
INDICES	
Plasticidad	30.05
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URBINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. NAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : CERRO EL CHAMUSCADO. (PUNTO No. 4)

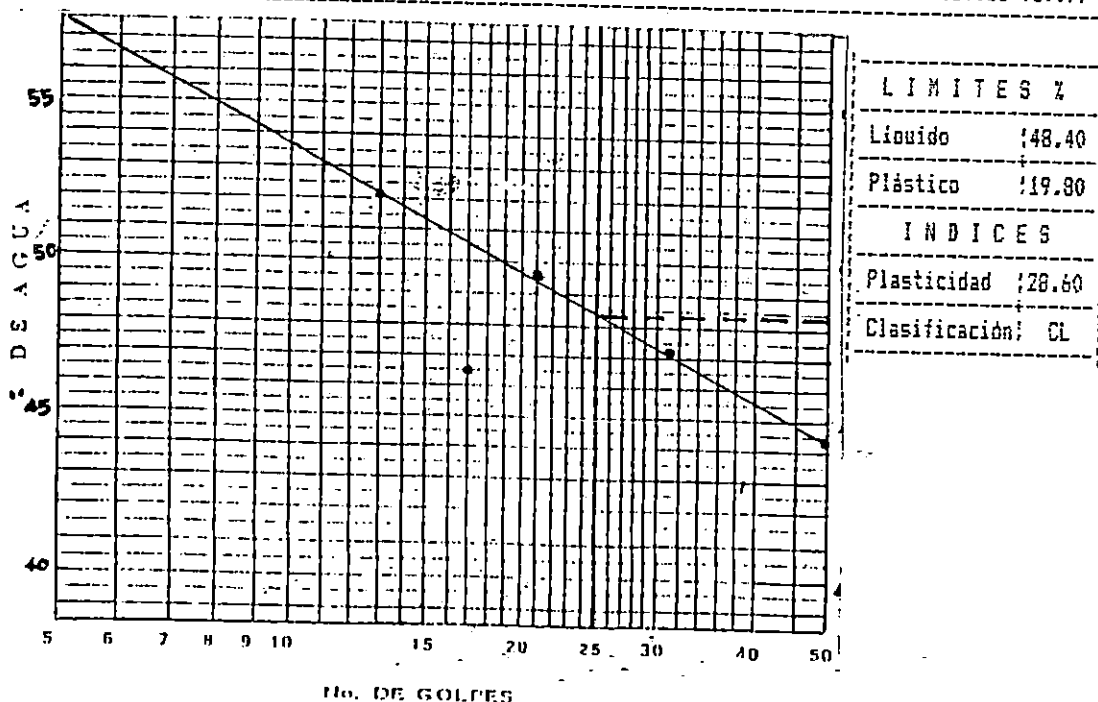
MUESTRA No. : 2

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.5 - 1.0 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	50	31	21	17	13	-	-	-	-
Recipiente No.	2	1	5-3	4	5-1	-	12	27	43
Peso Suelo humedo y Tara	47.95	45.25	48.32	47.20	47.50	-	25.25	24.55	15.57
Peso Suelo seco y Tara	42.75	40.60	42.50	41.85	41.40	-	24.05	23.50	14.70
Tara	31.05	30.75	30.80	30.35	29.70	-	19.15	18.20	10.30
Peso de agua	5.20	4.65	5.82	5.35	6.10	-	1.20	1.05	0.87
Peso de suelo seco	11.70	9.85	11.70	11.50	11.70	-	4.90	5.30	4.40
Contenido de agua %	44.40	47.20	49.70	46.50	52.10	-	24.50	19.81	19.77



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE /90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URBINA ING. ROGELIO E. GONZALEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : CANTON TALPETATE. (PUNTO No. 5)

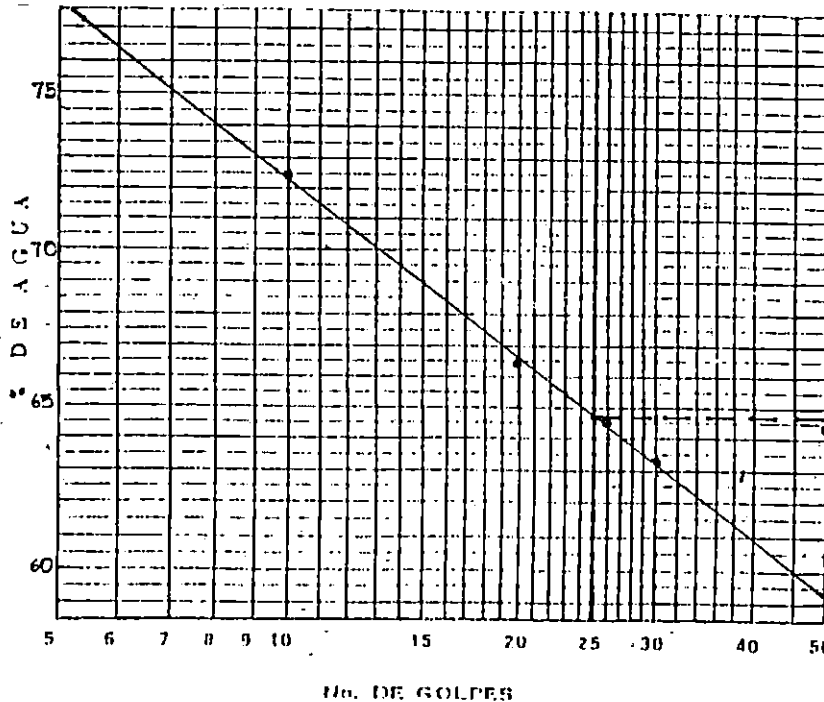
MUESTRA No. : 1

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.0 - 0.5 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	50	30	26	20	10	-	-	-	-
Recipiente No.	77	81	82	91	83	-	5-5	3	5-4
Peso Suelo humedo y Tara	35.00	33.80	37.80	36.55	36.10	-	35.40	28.90	33.80
Peso Suelo seco y Tara	30.10	29.30	31.80	30.90	30.30	-	34.19	28.00	32.82
Tara	22.50	22.20	22.50	22.40	22.30	-	29.80	24.45	29.65
Peso de agua	4.90	4.50	6.00	5.65	5.80	-	1.21	0.90	0.98
Peso de suelo seco	7.60	7.10	9.30	8.50	8.00	-	4.39	3.55	3.17
Contenido de agua %	64.47	63.38	64.52	66.47	72.50	-	27.60	25.35	30.90



L I M I T E S %	
Líquido	64.70
Plástico	28.00
I N D I C E S	
Plasticidad	36.70
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URBINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. NAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : CANTON TALPETATE. (PUNTO No. 5)

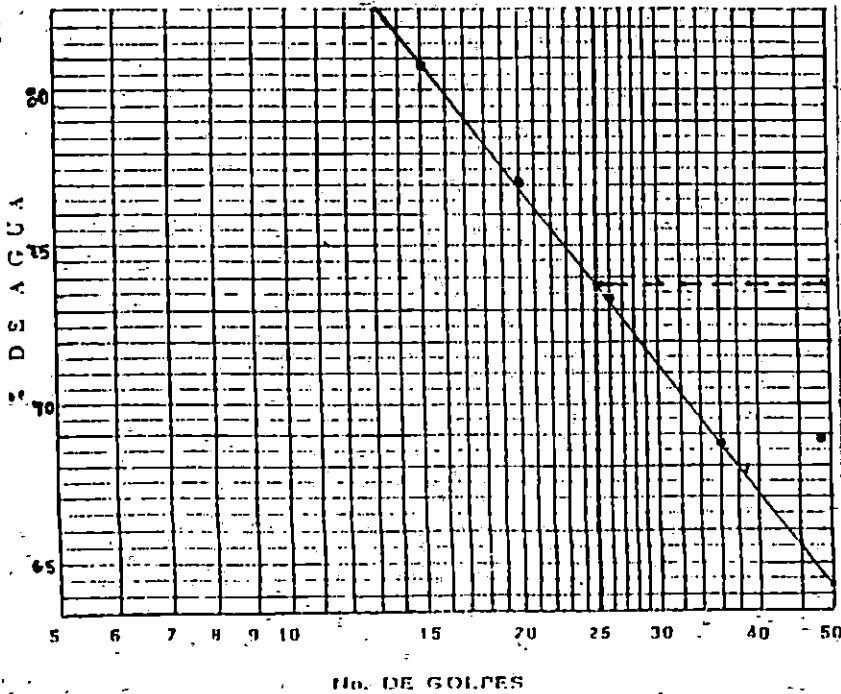
MUESTRA No. : 2

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 0.5 - 1.0 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
	48	36	26	20	15	-	-	-	-
Reciente No.	2	4	5-3	1	5-1		27	5-8	5-11
Peso Suelo húmedo y Tara	43.30	43.75	45.22	42.65	46.42		22.80	22.65	21.90
Peso Suelo seco y Tara	38.30	38.31	39.05	37.40	38.90		21.72	21.60	21.30
Tara	31.05	30.40	30.65	30.60	29.60		18.20	18.20	19.40
Peso de agua	5.00	5.44	6.17	5.25	7.52		1.08	1.05	0.60
Peso de suelo seco	7.25	7.91	8.40	6.80	9.30		3.52	3.40	1.90
Contenido de agua %	68.97	68.90	73.45	77.21	80.86		30.68	30.88	31.58



LÍMITES %	
Líquido	73.80
Plástico	31.00
INDICES	
Plasticidad	42.80
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE B.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URBINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. HAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : CANTON TALPETATE. (PUNTO No. 5)

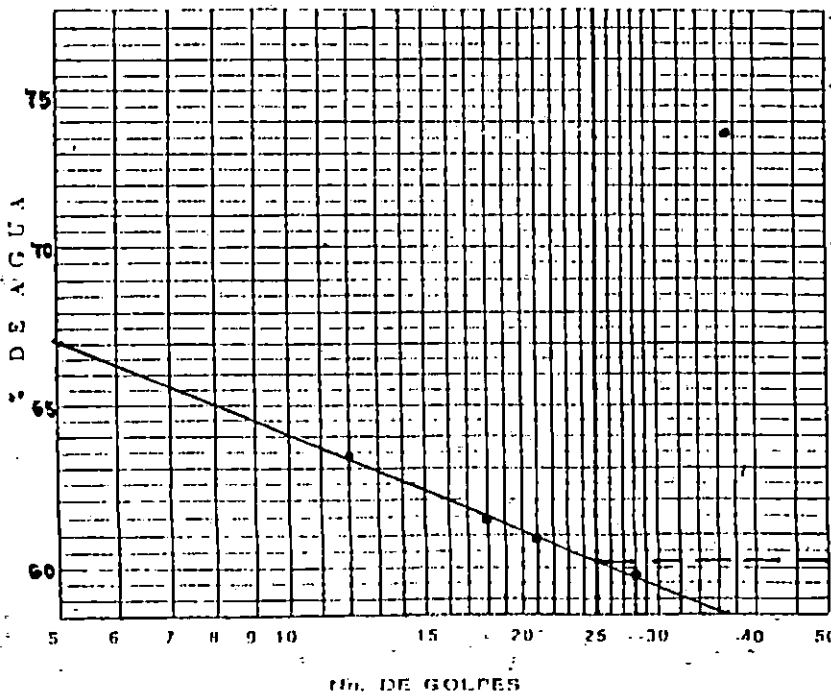
MUESTRA No. : 3

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 1.0 - 1.5 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Recipiente No.	37	28	21	18	12	-	-	-	-
Peso Suelo humedo y Tara	42.70	33.10	33.10	33.68	35.05	-	18.30	16.30	29.10
Peso Suelo seco y Tara	33.00	27.50	27.95	27.75	28.80	-	17.25	15.60	27.70
Tara	19.83	18.15	19.50	18.10	18.95	-	13.20	11.45	22.30
Peso de agua	9.70	5.60	5.15	5.93	6.25	-	1.05	0.70	1.40
Peso de suelo seco	13.17	9.35	8.45	9.65	9.85	-	4.05	4.15	5.40
Contenido de agua %	73.85	59.90	60.95	61.45	63.45	-	25.90	16.90	25.90



LIMITES %	
Líquido	60.25
Plástico	25.90
INDICES	
Plasticidad	34.35
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA. PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URBINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. HAZARIEGO HORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : LIMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : CANTON TALPETATE. - (PUNTO No. 5)

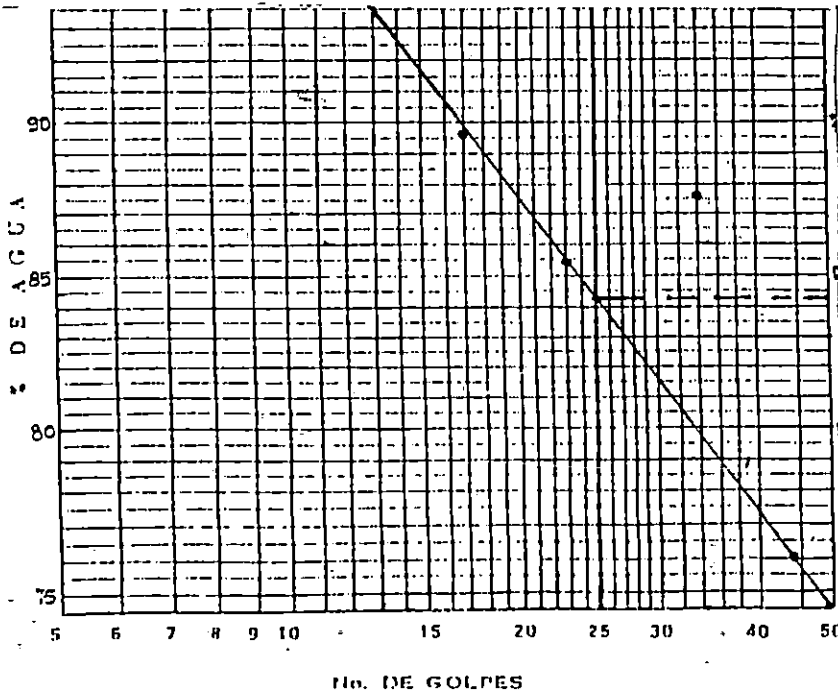
MUESTRA No. : 4

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 1.5 - 2.0 (mts)

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
	44	34	23	17	13	-	-	-	-
Recipiente No.	77	82	81	83	91	-	43	2	5-3
Peso Suelo humedo y Tara	35.35	36.95	36.85	36.90	37.12	-	12.80	34.20	34.52
Peso Suelo seco y Tara	29.80	30.20	30.10	30.00	30.00	-	12.40	33.50	33.60
Tara	22.50	22.50	22.20	22.30	22.40	-	10.15	30.88	30.50
Peso de agua	5.55	6.75	6.75	6.90	7.12	-	0.40	0.70	0.92
Peso de suelo seco	7.30	7.70	7.90	7.70	7.60	-	2.25	2.62	3.10
Contenido de agua %	76.03	87.66	85.44	89.61	93.68	-	17.80	26.70	29.70



LIMITES %	
Liquido	84.30
Plástico	28.20
INDICES	
Plasticidad	56.10
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE M. LANDAVERDE G.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROBELIO E. GODINEZ G.	EDUARDO S. NAZARIEGO MORAN HAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA

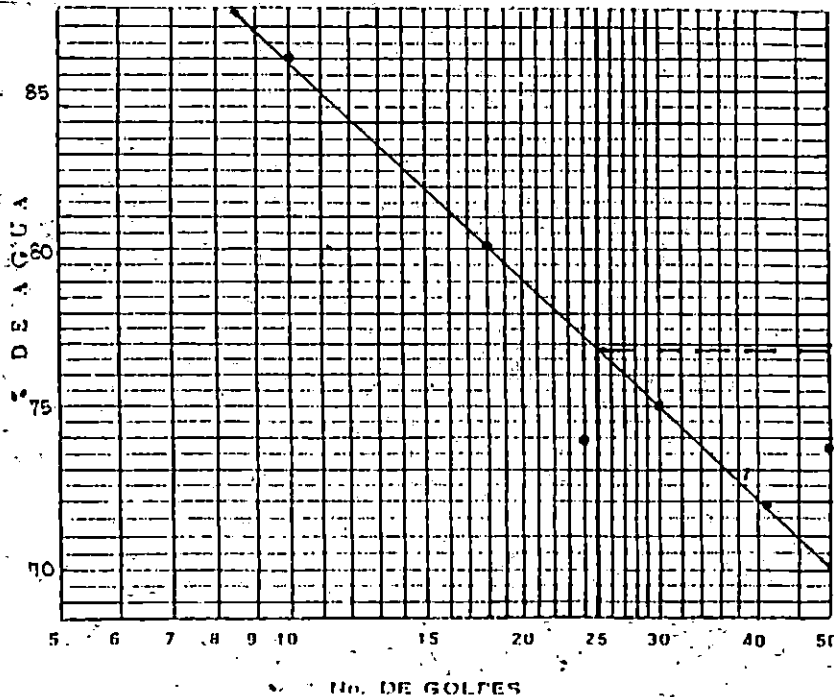
ENSAYO : LÍMITES DE CONSISTENCIA E INDICES

UBICACION : CANTON TALPETATE. (PUNTO No. 5)

MUESTRA No. : 5 MATERIAL : ARCILLA NEGRA

PROCEDENCIA : 2.5 - 3.0 (mts) REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

Ensayo No.	LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3
No. de Golpes	50	41	30	24	18	10	-	-	-
Reciente No.	82	81	77	83	91	94	43	5	5-1T
Peso Suelo humedo y Tara	34.15	34.95	35.45	35.10	36.00	37.10	13.80	24.30	24.26
Peso Suelo seco y Tara	29.25	29.70	29.90	29.70	29.95	30.35	12.82	23.00	23.10
Tara	22.60	22.40	22.50	22.40	22.40	22.50	10.38	19.30	19.30
Peso de agua	4.90	5.25	5.55	5.40	6.05	6.75	0.98	1.30	1.16
Peso de suelo seco	6.65	7.30	7.40	7.30	7.55	7.85	2.44	3.70	3.80
Contenido de agua %	73.70	71.90	75.00	73.97	80.10	86.00	40.20	35.10	30.53



L I M I T E S %	
Líquido	73.90
Plástico	35.30
I N D I C E S	
Plasticidad	41.60
Clasificación	CH

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAGUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE N. LANDAVERDE O.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROBELIO E. GODINEZ G.	EDUARDO S. NAZARIEGO MORAN NAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

LIMITE DE CONTRACCION

Se define como el contenido de humedad bajo el cual no es posible producir cambios adicionales en el volumen del suelo por pérdida adicional del agua contenida en los poros.

Este parámetro dá una indicación de cuánto incremento en la humedad puede presentarse antes de que se produzca un apreciable cambio volumétrico y si tal incremento volumétrico ocurre, obtener una indicación de la cantidad de ese cambio.

El límite de contracción tiene una gran importancia en la producción de unidades por vía húmeda, pues se usan cantidades de agua de mezcla mayor a éste límite; en ese sentido es necesario conocer dicho límite, ya que alcanzado, la pieza puede ser sometida a un secado más rápido, mientras que para la fabricación por el método de Prensado en Polvo, el límite de contracción no tiene ninguna importancia, debido a que las cantidades de agua de mezcla usadas en éste método, son mucho menores que las del límite de contracción.

DETERMINACION DE PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

ENSAYO : LIMITE DE CONTRACCION

MATERIAL : ARCILLA NEGRA

FECHA : 06 DE AGOSTO DE 1991

REFERENCIA : ASTM D423-66 Y D424-59

SONDEO No.	1	2	3	4	5
USICACION	CA-1 Km 201.5	CA-1 Km 200	CA-1 Km 197.5	CERRO CHAMUSCADO	CANTON TALPETATE
PROFUNDIDAD (mts)	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0
PESO DE SUELO HUMEDO + TARA (grs)	37.74	32.90	32.90	36.50	33.75
PESO DE SUELO SECO + TARA (grs)	26.85	33.17	24.80	29.10	23.60
TARA (grs)	13.92	13.95	12.10	14.69	14.05
PESO DE SUELO SECO, Ws (grs)	11.66	9.22	10.92	12.17	9.55
PESO DE AGUA, Ww (grs)	10.89	9.73	9.88	9.64	10.15
CONTENIDO DE HUMEDAD, W%	93.38	105.50	90.45	79.26	106.28
VOLUMEN DE SUELO HUMEDO, Vo (cm ³)	13.54	13.41	13.84	13.76	13.73
VOLUMEN DE SUELO SECO, Vf (cm ³)	4.13	4.78	5.28	5.61	4.57
LIMITE DE CONTRACCION, Lc%	12.70	11.90	12.06	12.29	10.36

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECHIA	TRABAJO DE GRADUACION : ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA, PARA SU UTILIZACION COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	COORDINADOR : ING. JOSE N. LANDAVERDE Q.	DESARROLLADO POR : LUIS ALBERTO GUERRERO
	NOVIEMBRE/90 A ENERO/92	ASESORES : ING. MARIO A. GUZMAN URRINA ING. ROGELIO E. GODINEZ G.	EDMUNDO S. MAZARIEGO MORAN MAURICIO I. VELASQUEZ PAZ

CUADRO No. 3.2
RESUMEN DE RESULTADOS DE RELACIONES GRAVIMETRICAS Y VOLUMETRICAS

PUNTO No.	LOCALIZACION	RELACION DE VACIOS	POROSIDAD	GRADO DE SATURACION	PESO VOLUME-TRICO SECO	PESO VOL. SATURADO	GRAVEDAD ESPECIFICA	DIAMETRO DE PARTICULAS (mm)
		e	n (%)	G _w (%)	d (gr/cm ³)	sat(gr/cm ³)	G _s	
1	Km 201.5 CARRETERA PANAMERICANA	0.75	42.96	90.38	1.48	1.87	2.59	0.0007-0.039
2	Km 200 CARRETERA PANAMERICANA	0.65	39.33	88.89	1.60	1.95	2.63	0.0007-0.039
3	Km 197.5 CARRETERA PANAMERICANA	0.55	35.33	85.78	1.72	2.02	2.66	0.0008-0.039
4	CERRO EL CHAMUSCADO	0.63	38.68	89.32	1.62	1.97	2.64	0.0007-0.038
5	CANTON TALPETATE	0.71	41.71	89.14	1.53	1.90	2.62	0.0008-0.040

CUADRO No. 3.3
RESUMEN DE RESULTADOS DE LIMITES DE CONSISTENCIA

PUNTO No.	LOCALIZACION	PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	LIMITE DE CONTRACCION	CONTENIDO DE HUMEDAD	CLASIFICACION
1	Km 201.5 CARRETERA PANAMERICANA	0.0 - 0.5	78.50	31.75	46.75	12.7	41.40	CH
		0.5 - 1.0	72.50	32.40	40.10		31.60	CH
		1.0 - 1.5	44.70	39.40	5.30		23.50	ML
2	Km 200 CARR. PANAMERICANA	0.0 - 0.5	93.50	29.50	64.00	11.90	56.20	CH
		0.5 - 1.0	93.00	29.50	63.50		22.90	CH
3	Km 197.5 CARR. PANAMERICANA	0.0 - 0.5	78.60	28.30	50.30	12.06	26.70	CH
4	CERRO "EL CHAMUSCADO"	0.0 - 0.5	59.50	29.45	30.05	12.29	32.40	CH
		0.5 - 1.0	48.40	19.80	28.60		19.70	CL
5	CANTON TALPETATE	0.0 - 0.5	64.70	28.00	36.70	10.36	37.00	CH
		0.5 - 1.0	73.80	31.00	42.80		22.43	CH
		1.0 - 1.5	60.25	25.90	34.35		30.44	CH
		1.5 - 2.0	84.30	28.20	56.10		32.79	CH
		2.0 - 2.5	*	*	*		*	*
		2.5 - 3.0	76.90	35.30	41.60		37.91	CH

* No se obtuvo muestra.

3.4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

El análisis de los resultados del laboratorio se harán ocupando los cuadros resumen No. 3.2 y No. 3.3 que contienen todos los parámetros determinados para la tipificación de las Arcillas Negras de Pasaquina.

RELACIONES GRAVIMETRICAS Y VOLUMETRICAS.

RELACION DE VACIOS Y POROSIDAD.

El rango de valores de éstos parámetros en los cinco puntos muestreados está comprendido entre 0.55-0.75 y 42.96%-35.33%; y los valores promedios son 0.66 y 39.60% para la relación de vacíos y la porosidad respectivamente. Puede notarse que en los puntos No. 1 y No. 5 la relación de vacíos "e" son muy similares entre sí. 0.75 y 0.71 respectivamente; también, las porosidades "n" son casi las mismas 42.96% y 41.71% respectivamente; dichos valores son los máximos obtenidos y relativamente iguales; observándose que en éstos puntos, el volumen de vacíos es el 75% del volumen de sólidos y el 42.96% del volumen de la muestra.

En los puntos No.2 y No.4 se presentan otros valores semejantes, de 0.65 y 0.63 para "e" con 39.33% y 38.68% para "n", indicando ésto que el volumen de vacíos ocupa el 65% del volumen de los sólidos y un 39.33% del volumen de la muestra.

En el punto No.3 se obtuvo el mínimo valor de "e" y "n" para los cinco puntos muestrados siendo de 0.55 y 35.33% respectivamente. De estos valores puede decirse que el volumen de vacíos es el 55% del volumen de sólidos y el 35.33% del volumen de la muestra.

De los resultados obtenidos se llega a que el suelo en el punto No. 1 es el más susceptible a modificar su volumen por tener un mayor volumen de vacíos, que puede verse disminuido por preconsolidación, aplicación de carga o desecación si se encuentra saturado; en ese sentido, el suelo en el punto No.3 presenta condiciones más favorables para la estabilidad de su volumen, ya que tiene el menor volumen de vacíos (menos porcentaje) con relación a todos los puntos muestrados.

GRADO DE SATURACION

Para éste ensayo se obtuvieron valores entre 85.78% -90.38%, resultando su valor promedio de 88.70 %.

Este parámetro, presentó valores similares en todos los puntos muestrados a excepción del punto No.3, donde se obtuvo el menor valor (85.78%) por lo que la media es un dato representativo de los puntos muestrados y en base a ella puede afirmarse que el 88.70% del volumen de poros es ocupado por el agua y el 11.30% por aire y gases disueltos en la masa de suelo; esto se debe a que en los depósitos de arcilla siempre existe aire atrapado y pequeñas cantidades de materia

orgánica en descomposición que generan gases, por eso no se obtuvo ningún grado de saturación igual al 100%.

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

El comportamiento de este parámetro en los primeros cuatro puntos muestran una tendencia de disminución del contenido de agua con la profundidad. Esto indica que se está en presencia de un suelo constituido por granos fino y de permeabilidad baja. El comportamiento antes mencionado pudo ser el mismo para el punto No.5 pero debido a la dificultad de extracción de la cuchara partida del equipo de penetración estándar (SPT), fué necesario agregar agua al agujero, lo que alteró el estado natural de humedad del suelo (Ver cuadro No. 3.3).

El valor máximo de humedad natural obtenido para este ensayo es de 56.20 % en el punto No.2, a una profundidad de 0.0 - 0.5 mts. y el mínimo es de 19.70 % en el punto No.4 a una profundidad de 0.5 - 1.0 mts.

Los resultados de contenido de humedad natural no tienen carácter constante ya que pueden variar con el régimen de lluvia que haya imperado antes de la ejecución del ensayo. En este caso el suelo se encontraba superficialmente inundado; debido a esto, los valores de contenido de humedad obtenidos en todos los puntos a una profundidad de 0.0 mts a 0.5 mts son los máximos para cada punto.

Los valores de contenido de humedad de todos los puntos se encuentran por debajo de los valores de límites líquidos obtenidos. Esto indica que las arcillas negras poseen una resistencia al corte superior a los 25.0 Kg/cm² en estado natural. También, como los valores de límite de contracción son menores que los de contenidos de humedad, puede afirmarse que dicho suelo experimentará una considerable disminución en su volumen al someterlo al proceso de secado.

GRAVEDAD ESPECIFICA, PESO VOLUMETRICO SECO Y PESO VOLUMETRICO DE LA MASA DE SUELO.

De los ensayos practicados para gravedad específica en las arcillas negras, se determinó un rango entre 2.59 a 2.66 siendo el valor promedio de 2.63. El valor máximo de gravedad específica se obtuvo en el punto No.3, donde la relación de vacíos es mínima; así también en este punto se obtienen los valores máximos de peso volumétrico seco y de la masa de suelo. Como es de esperar el valor mínimo de gravedad específica se determinó en el punto No.1 donde la relación de vacíos es máxima y los pesos volumétricos seco y de la masa del suelo son mínimos.

En todos los puntos muestreados se obtuvieron valores de gravedad específica mayores de dos (2) lo que significa que las Arcillas Negras de Pasaquina son inorgánicas.

Con el fin de establecer qué tipo de arcilla es la Arcilla Negra de Pasaquina, a continuación se presenta una

comparación de los valores de gravedad específica obtenidos en todos los puntos muestreados con valores y rangos de gravedad específica de otros suelos típicos.

Cuadro No. 3.4
Valores de Gravedad Específica Gs de los puntos muestreados en éste estudio.

PUNTO No.	Gs
1	2.59
2	2.63
3	2.66
4	2.64
5	2.62

Cuadro No. 3.5 /9
Valores de gravedad Específica Gs de los Minerales del Suelo. (Para Suelos Típicos).

MINERAL	Gs
Calcita	2.72
Dolomita	2.85
Micas	2.70 - 3.20
Caolinita	2.60 - 2.66
Illita	2.60 - 2.84
Montmorillonita	2.75 - 2.72

Al comparar los valores de los cuadros No. 3.4 y No. 3.5 se puede observar que todos los valores de gravedad específica (Gs) determinados en los diferentes puntos a excepción del No.1 se encuentran dentro del intervalo de gravedad específica de las caolinitas y las illitas.

GRANULOMETRIA

El análisis granulométrico se fundamenta en el cuadro No. 3.6 elaborado a partir de las curvas granulométricas de cada punto. Dicho cuadro presenta los porcentajes menores de los diferentes diámetros de las partículas de suelo que servirán para clasificar la arcilla negra según la ASTM D421-58 y D432-63.

CUADRO No. 3.6

CLASIFICACION DE LOS SUELOS FINOS
SEGUN EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.

PUNTO No.	(%)ARCILLA COLOIDAL $\phi < 0.001$ (mm)	(%)ARCILLA $\phi < 0.005$ (mm)	(%) $\phi < 0.05$ (mm)	(%)LIMO $\phi 0.05-0.005$ (mm)
1	5	26	74	48
2	12	58	80	22
3	8	30	74	44
4	19	50	80	30
5	17	43	72	29

En el cuadro No. 3.6, se puede observar : que el punto No.4 tiene el mayor porcentaje de arcilla coloidal (19%) y el menor porcentaje de ésta arcilla (5%) se encuentra en el punto No.1. En cuanto al contenido de arcilla el mayor porcentaje (58%) lo tiene el punto No.2, y el menor (26%) el punto No.1. Para los limos el mayor porcentaje (48%) lo posee el punto No.1 y el menor (22%) el punto No.2.

La temperatura de fusión de ellas es influenciada por el tamaño de las partículas. Un suelo con la misma composición química, pero con mayor porcentaje de granos finos alcanzará una temperatura de fusión menor, que otro de granos más gruesos. En base a éste criterio, la arcilla del punto No.2 alcanzará una temperatura de fusión más baja por poseer el mayor porcentaje de arcilla y el menor porcentaje de limo.

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO.

El comportamiento mostrado por los resultados de este ensayo define una tendencia a disminuir el valor del Limite Líquido con la profundidad en los primeros cuatro puntos, no obstante, el punto No.5 que tiene el mayor espesor del estrato de arcilla (3.0 mts.), este parámetro alterna valores bajos y altos en una forma sucesiva con la profundidad (ver Cuadro No. 3.3).

Los resultados obtenidos del Limite Líquido están en completa concordancia con los valores porcentuales de arcilla determinados en el análisis granulométrico, ya que en el punto No.2 se encontró el valor máximo de Limite Líquido (93.5%) y es en este punto donde la granulometría proporciona el máximo porcentaje de arcilla (58%). Al correlacionar los parámetros de límite líquido y granulometría de los demás puntos del cuadro No. 3.3 con los del cuadro No. 3.6 se mantiene dicha concordancia.

Dado que la resistencia al corte depende del área de contacto entre los granos, el límite líquido encontrado en el punto No. 2 indica que se necesita agregar 93.5% del peso seco en agua para separar unos granos de otros y bajar su resistencia al corte a 25.0 grs/cm² -aproximadamente.

Al comparar los resultados del límite líquido obtenidos en el laboratorio para las Arcillas Negras de Pasaquina,

mostrados en el Cuadro No. 3.3 con los valores típicos de arcillas tabulados en el Cuadro No. 3.7, puede observarse que los resultados del estudio se encuentran entre el rango de las caolinitas de $L_L = 59\%$ con hierro de ión intercambiable y las illitas de $L_L = 95\%$ con magnesio de ión intercambiable. Sin embargo, los valores de límite líquido obtenidos se encuentran más cerca del límite superior de dicho rango.

CUADRO 3.7 /9

VALORES TÍPICOS DE LÍMITE LÍQUIDO.

MINERAL	ION	LÍMITE LÍQUIDO L_L (%)
MONTMORILONITA	Na	710
	K	660
	Ca	510
	Mg	410
	Fe	290
ILLITA	Na	120
	K	120
	Ca	100
	Mg	95
	Fe	110
CAOLINITA	Na	53
	K	49
	Ca	38
	Mg	54
	Fe	59

LIMITE PLASTICO

Este límite indica la mínima humedad que debe poseer la arcilla para poderse manejar y moldear al utilizarse en la elaboración de distintas unidades por la vía húmeda. De lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que al elaborar unidades por vía húmeda con la arcilla de los diferentes puntos y una humedad igual o mayor al límite plástico, éstas experimentarán sus mayores contracciones en el secado, debido a que los valores de límite plástico en todos los puntos son considerablemente mayores que los límites de contracción (Ver Cuadro No. 3.3).

Este parámetro no será utilizado para establecer comparaciones con valores de arcillas típicas, ya que no se define como un valor exacto, porque puede disminuir o aumentar con pequeños cambios en su procedimiento.

INDICE DE PLASTICIDAD

Este indicador presenta un comportamiento similar al del límite líquido; es decir, define una tendencia a disminuir con la profundidad en los primeros cuatro puntos, excepto en el punto No.5 donde alterna valores bajos y altos sucesivamente con la profundidad (ver Cuadro No. 3.3).

Los valores obtenidos de éste indicador varían de 30.05% a 64.0%. Estos resultados son favorables, pues las distintas unidades demandan diferente consistencia para su elaboración.

De acuerdo al Cuadro No. 1.5 (Página 24), ésta arcilla es de alta plasticidad, pues los valores de índice plástico para las diferentes profundidades para todos los puntos muestreados son mayores que 25% como se establece en dicho cuadro.

Al comparar los resultados obtenidos de éste indicador para las arcillas negras mostrados en el Cuadro No 3.3, con los valores típicos de arcillas tabulados en el Cuadro 3.8, puede observarse que los datos de índice plástico son similares a los presentados por las illitas.

CUADRO 3.8 /9

VALORES TÍPICOS DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LAS
ARCILLAS DE ACUERDO A SU COMPOSICIÓN.

ARCILLA.	ION	ÍNDICE PLÁSTICO I _p (%)
MONTMORILONITA	Na	656
	K	562
	Ca	429
	Mg	350
	Fe	215
ILLITA	Na	67
	K	60
	Ca	55
	Mg	49
	Fe	61
CAOLINITA	Na	21
	K	20
	Ca	11
	Mg	23
	Fe	22

LIMITE DE CONTRACCION

En la evaluación de este parámetro se obtuvieron resultados en un rango cuya variación es del 2.34% con un máximo de 12.70% y un mínimo de 10.36%, obteniéndose un promedio de 11.86%, el cual es representativo de todos los puntos muestreados. Este valor indica el porcentaje de agua que tendría el suelo saturado al secarse y llegar a un volumen en el cual las fuerzas de tensión capilar ya no pueden deformarlo, pues estas son las responsables de las contracciones en la arcilla.

El límite de contracción tiene importancia relevante en la elaboración de las unidades, pues alcanzado este contenido de humedad por secado, las piezas pueden ser quemadas sin correr riesgo de agrietamiento por contracciones violentas y/o ampollado.

3.5 ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

Los ensayos químicos fueron realizados en el laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geotécnicas del Ministerio de Obras Públicas, mediante el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, analizando las muestras alteradas de los puntos realizados con el método SPT de acuerdo a la Norma ASTM D1586 "Prueba de Penetración Estándar y Muestreo de Suelo con Cuchara Partida", como se muestra en el Cuadro No. 3.9 siguiente.

CUADRO No. 3.9

PUNTOS ENSAYADOS EN EL C.I.G.

PUNTO No.	PROFUNDIDAD (MTS)
1	0.50 - 1.00
2	0.50 - 1.00
5	0.50 - 1.00
5	1.50 - 2.00
6	0.50 - 1.00

Al observar los resultados de éste análisis en todos los puntos del Cuadro No. 3.10 puede notarse que los porcentajes de los diferentes óxidos determinados presentan valores semejantes, a excepción del punto No.6 (Arcilla Roja) que tiene los mayores porcentajes de óxido de aluminio (13.32%) y óxido de hierro (14.07%). Es de notar también, que el punto No.6 tiene los mayores porcentajes de óxidos básicos y óxidos neutros; también el mayor porcentaje de óxidos ácidos. lo contiene el punto No.5 a una profundidad de 0.5 a 1.0 mts.

CUADRO 3.10

* RESULTADO DE LOS ANALISIS QUIMICOS.

COMPOSICION % P/P	PUNTO No.				
	1 0.5-1.0	2 0.5-1.0	5 0.5-1.0	5 1.5-2.0	6 0.5-1.0
SiO ₂	46.44	47.09	51.35	44.88	45.29
Al ₂ O ₃	7.65	8.31	8.82	9.53	13.32
Fe ₂ O ₃	12.41	12.58	10.98	8.31	14.07
CaO	0.09	0.11	0.20	0.15	0.03
MgO	1.76	2.15	1.78	2.88	2.48
Na ₂ O	1.20	1.35	2.91	2.74	0.90
K ₂ O	0.79	0.48	0.79	1.20	0.94
Mn ₂ O ₃	0.36	0.80	0.52	0.20	0.95
TiO ₂	0.82	1.13	1.20	0.95	1.26
OXIDOS BASICOS	16.61	17.47	17.18	15.48	19.37
OXIDOS NEUTROS	7.65	8.31	8.82	9.53	13.32
OXIDOS ACIDOS	47.26	48.22	52.55	45.83	46.55

* Según anexo No. 1

Laboratorio de Geoquímica, Centro de Investigaciones Geotécnicas.

Debido al alto contenido de óxido de hierro y al bajo contenido de óxido de aluminio, puede decirse que las Arcillas Negras de Pasaquina vitrificarán entre una temperatura de 1100°C a 1200°C y fundirán entre 1200°C a 1300°C. Estos rangos se encuentran bastante cercanos, lo que

significa una desventaja, pues los elementos elaborados experimentarán deformaciones en la temperatura de vitrificación lo cual no es deseable, ya que en éste punto, las unidades desarrollan sus características óptimas. Por eso, debe controlarse cuidadosamente la temperatura de la última fase del quemado, o sea la temperatura de vitrificación.

En base a los Cuadros No. 1.1, No. 1.3 (Página 24) y a los rangos de temperatura de vitrificación y fusión antes citados, éstas arcillas poseen poder medio de aglutinación y baja fusibilidad.

Al comparar el contenido de alúmina más óxido de titanio de los puntos analizados en el Cuadro No. 3.10 con los valores del Cuadro No. 1.3, las Arcillas Negras pueden clasificarse como "Acidas". También comparando el contenido de óxido de hierro más óxido de titanio de éstas arcillas con lo datos del Cuadro No 1.4, se clasifican con un alto contenido de óxido colorante.

3.6 CONCLUSIONES

Las Arcillas Negras de Pasaquina del Departamento de La Unión, poseen características que se enmarcan definitivamente en las cualidades de las Arcillas del gran grupo de los minerales Illíticos, esto se fundamenta en base a los siguientes resultados :

- 1- La Gravedad Específica de las Arcillas Negras de Pasaquina se encuentran dentro del rango de valores de Gravedad Específica de las Arcillas Illitas.
- 2- Los valores de Limite Líquido de las Arcillas Negras de Pasaquina se hayan próximos a los valores de Limite Líquido de las Arcillas Illitas.
- 3- Los resultados obtenidos de las Arcillas Negras de Pasaquina se ubican dentro del rango de valores del Indice Plástico de las Arcillas Illitas.
- 4- Las Arcillas Negras de Pasaquina al entrar en contacto con el agua, su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, cualidad que poseen solamente las Arcillas Illitas.
- 5- Las Arcillas Illitas son las únicas que contienen en su fórmula estructural el elemento hierro (Fe) y las Arcillas Negras de Pasaquina en los resultados de los análisis químicos muestran un alto contenido de Oxido

Férrico. Esto conlleva a decir, que éstas arcillas se pueden tipificar como una arcilla del gran grupo Illita.

Finalmente puede afirmarse que las Arcillas Negras de Pasaquina, pueden tipificarse como una arcilla Illita, de alta plasticidad, ácida, de alto contenido de óxido colorante, de baja fusibilidad y de alto poder de aglutinación.

CAPITULO IV

ELABORACION DE AZULEJOS QUE TIENEN COMO
BASE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA

CAPITULO IV

ELABORACION DE AZULEJOS QUE TIENEN COMO BASE LAS ARCILLAS NEGRAS DE PASAQUINA.

4.1 INTRODUCCION

La importancia de este capítulo estriba principalmente en presentar y analizar los resultados obtenidos de la investigación como producto del trabajo de laboratorio. También, definir la metodología utilizada, así como los procedimientos experimentales y establecer las variables consideradas en la fabricación de los azulejos.

Para la manufactura de este tipo de unidades se pueden seguir tres métodos : 1) Prensado en polvo, 2) Extrucción y 3) El manual o artesanal. El método seguido en este estudio es el Prensado en polvo y para una mejor comprensión se describe su procedimiento, el cual se ha dividido en cuatro fases que se desarrollarán en el transcurso del capítulo.

Como en toda investigación, se involucran variables independientes y dependientes que se seleccionan según los objetivos que se persigan. En este caso, se han considerado cuatro variables independientes : Temperatura, Presión Aplicada, Agua de Mezcla y Tipo de Mezcla, las cuales se conjugan para dar origen a los diferentes resultados de las

variables dependientes como son : Absorción y Resistencia Mecánica: que en definitiva determinarán la calidad del producto (azulejo).

4.2 MOLDE PARA ELABORAR AZULEJOS

Para el diseño del molde, es muy importante conocer el método usado en el proceso de fabricación y las contracciones que durante la fase de quemado sufrirá la mezcla que constituirá el azulejo.

Las dimensiones del molde dependen principalmente del tamaño deseado de la unidad y de las contracciones del material usado. Por ejemplo, si se desea un azulejo cuadrado de once centímetros de lado (11x11 cm²) y la contracción lineal que sufre el material es de 4.50% para la humedad óptima, el molde deberá tener las siguientes dimensiones :

$$e_L = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 ; \text{ Donde :}$$

e_L : Encogimiento Lineal (%)

L_i : Longitud del Molde.

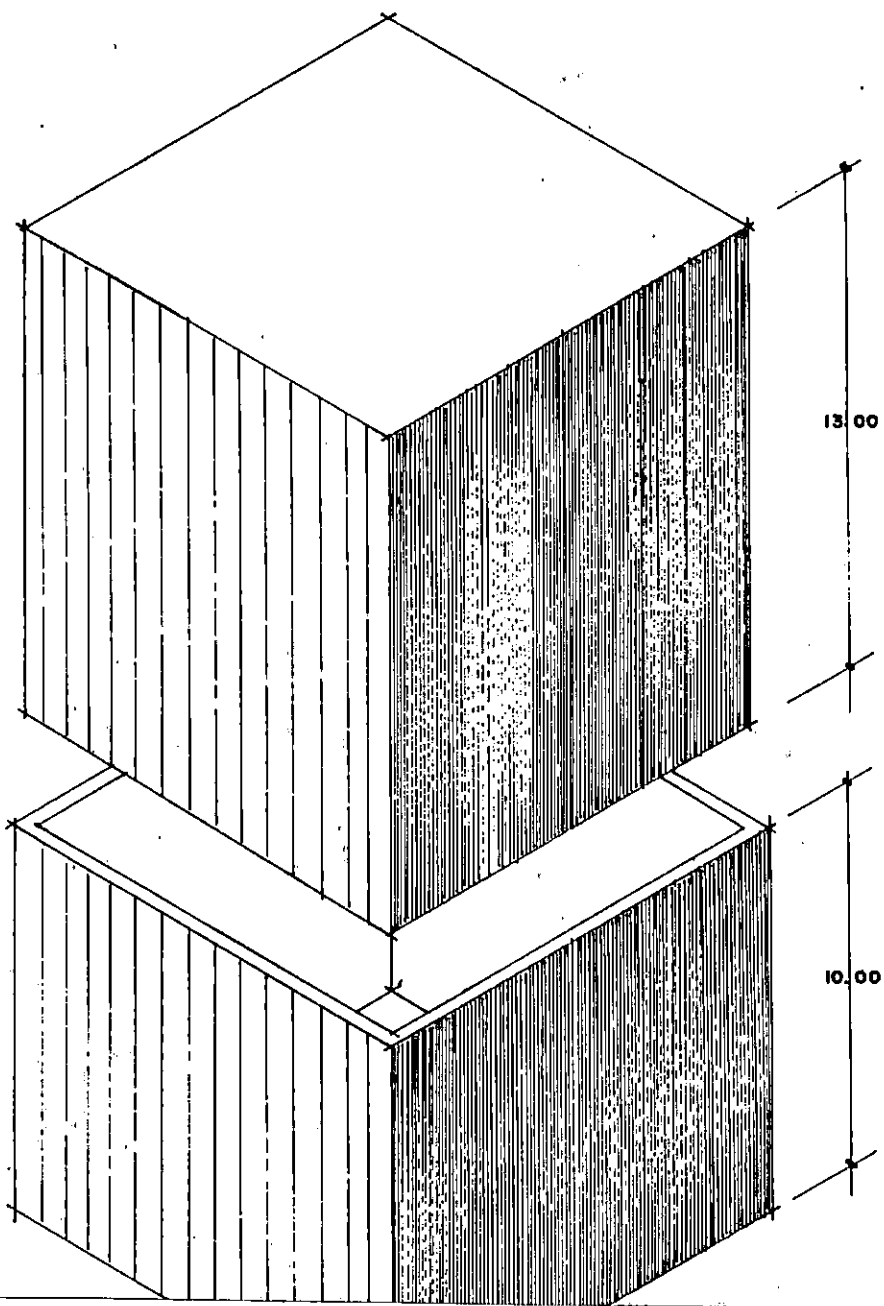
L_f : Longitud del Azulejo.

Despejando L_i , se tendrá que :

$$L_i = \frac{L_f}{1 - \frac{e_L}{100}} = \frac{11.0}{1 - \frac{4.5}{100}} \approx 11.52 \text{ cms.}$$

entonces, el molde tendrá 11.52 Cms. por lado.

M O L D E



El método de producción influirá en el material para la fabricación del molde, así por ejemplo, si el método usado es el prensado en polvo, las arcillas serán comprimidas a alta presión (250.0 Kg/cm²) y el molde tendrá que ser lo suficientemente rígido (resistente) para soportar la presión inducida sin experimentar deformaciones, en todas direcciones.

4.3 PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA ELABORACION DE AZULEJOS.

El método usado para la elaboración de azulejos es el conocido como "Prensado en Polvo", el cual puede resumirse en cuatro fases : Preparación de la arcilla, Prensado del Polvo, Cocción de las Unidades y Aplicación del Barniz de acabado. Estas fases se describen detalladamente, así como los cuidados que cada una de ella requiere para evitar problemas que puedan afectar el desarrollo del proceso y la calidad de las unidades elaboradas.

1- Preparación de la Arcilla.

Las arcillas requieren preparación y proceso antes que puedan usarse en la elaboración de unidades.

El material tal como viene del banco de explotación, es sometido a secado en un horno durante 24 horas a una temperatura de 110 °C ± 5 °C para eliminar la humedad natural que posee, inmediatamente

es triturado por un molino de disco para desintegrar los grumos y disminuir el tamaño de los granos, y así obtener una muestra de polvo fino. Luego esta muestra es tamizada para obtener lo que pasa la malla No. 200.

El material que pasa la malla No. 200 es sometido nuevamente a secado en un horno durante otras 24 horas a la misma temperatura ($110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), con el fin de eliminar el agua absorbida del medio ambiente durante la trituración y el tamizado.

Después de las 48 horas, el material obtenido está apto para ser mezclado con la cantidad óptima de agua y otros materiales que mejoren el comportamiento de la mezcla, para el caso feldespato de potasio.

El agua se agrega con una probeta graduada para suministrar cantidades controladas, teniendo cuidado de realizar esta operación lentamente y así, evitar la formación de grumos. Inmediatamente, se amasa dentro de bolsas plásticas con la ayuda de un rodillo rígido para obtener una mezcla homogénea, dejándola reposar durante 24 horas con el objeto de lograr una mayor humidificación de las partículas de arcilla.

De esta manera el material se encuentra listo para ser prensado.

2- Prensado del Polvo.

Esta fase se inicia llenando el molde con la mezcla previamente preparada. luego se engrasa para que la mezcla ocupe el volumen total del molde. seguidamente se coloca el pistón y la camisa para transmitir la carga a la masa de arcilla, teniendo el cuidado de mantener la verticalidad del pistón durante se esté aplicando la presión, a fin de lograr un espesor uniforme en todo el espécimen.

De esta manera. todo el conjunto está listo para ser sometido a la carga establecida (250.0 Kq/cm²). para lo cual en este caso la carga se aplicó con la máquina Universal (Tinius Olsen), y con este equipo se comprobó que los resultados obtenidos no dependen de la velocidad de aplicación de la carga.

La extracción del espécimen. después del prensado, debe hacerse con la debida precaución para conservar su integridad.

3- Cocción de las Unidades.

En cualquier proceso de cocción se hace preciso conocer la temperatura del horno, el grado de calor que éste genera y el tiempo de cocido.

El grado de calor en el horno es muy importante, pero no siempre es posible abrir el horno para

comprobar el progreso de la quema, resulta indispensable dotar a los hornos de algunos instrumentos indicadores y reguladores de la temperatura.

Existen tres métodos de verificarla : 1) mediante un termómetro llamado pirometro, que brinda una lectura directa de la temperatura; 2) uso de mezclas fusibles, denominadas pirométricas que se ablandan cuando alcanzan determinado grado de calor y 3) mediante pequeñas muestras que se retiran periódicamente del horno durante la quema.

Las arcillas negras de Pasaquina poseen un punto de vitrificación y fusión bastante cercano entre sí (1180 °C, 1250 °C respectivamente), lo que exige un estricto control y cuidadosa regulación de la temperatura de quemado. Por tal razón, para la cocción de las unidades barnizadas se usaran simultaneamente pirometros y conos pirométricos.

Por la importancia que tiene ésta fase en el proceso de elaboración de los azulejos se considera necesario ejecutarla en dos etapas como se detalla a continuación :

i) Secado

Esta etapa consiste en eliminar el agua de mezcla que se encuentra presente en el espécimen después del prensado. Dicha eliminación debe hacerse lentamente, para evitar el enconchamiento y el agrietado, y completamente para prevenir explosiones en el quemado.

En ésta etapa, por lo general requiere de un tiempo de 24 a 48 horas, debido a que los incrementos de temperatura deben ser pequeños (por ejemplo 40 °C) hasta alcanzar los 110 °C, lo cual garantiza la eliminación total del agua de mezcla.

ii) Quemado

El objetivo de ésta etapa es dotar de las propiedades físicas y mecánicas a las unidades que resulten de todo el proceso, mediante la aplicación de calor hasta alcanzar el punto de vitrificación, el cual proporciona las propiedades óptimas antes mencionadas.

La etapa de quemado puede realizarse mediante los siguientes pasos :

a) Colocación de las unidades en el horno

La correcta colocación de las unidades en el horno es un aspecto importante para el quemado uniforme y conservar la geometría de las unidades, para ello, deben colocarse de tal manera que los especímenes queden completamente apoyados y evitando el contacto de una unidad con otra.

b) Control de Temperatura y tiempo de Quema

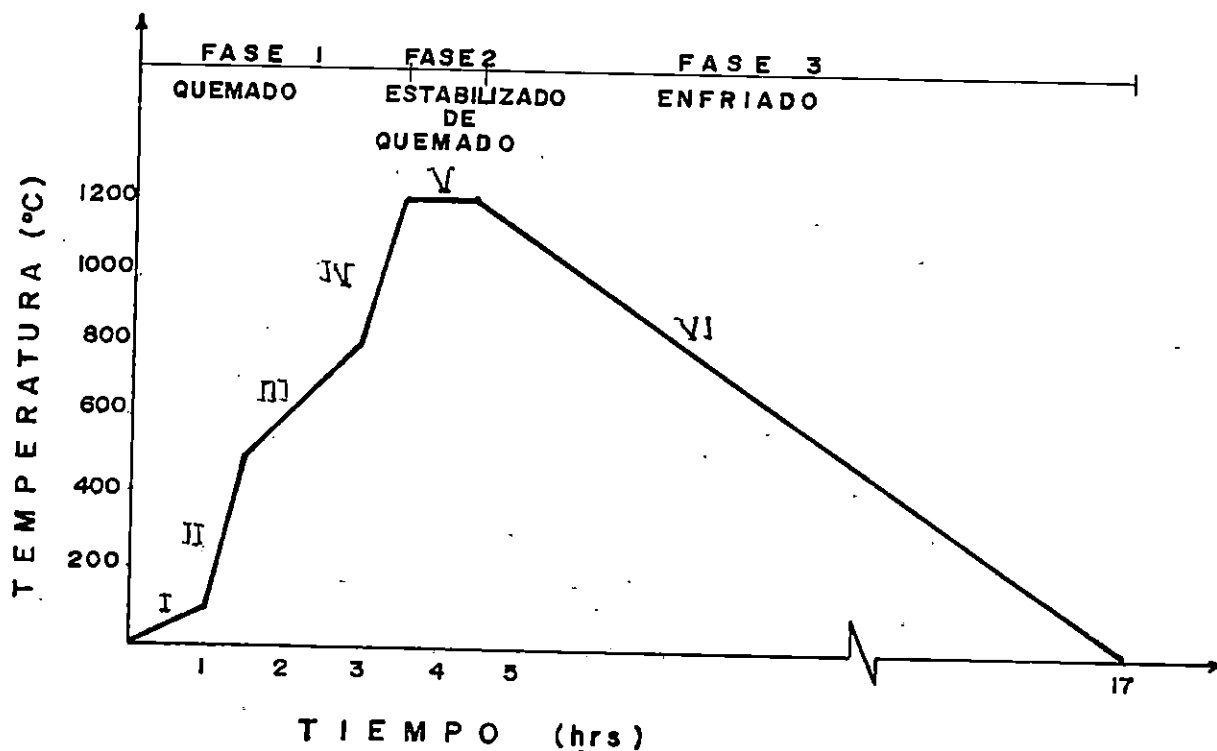
Para obtener piezas con excelentes propiedades es necesario llevar un control estricto de la temperatura y el tiempo de quema.

El control exacto de la temperatura se realiza tomando lecturas directas del pirómetro colocado en los hornos eléctricos o en su defecto mediante un cono pirométrico que lo hace en forma indirecta, y consiste en una pirámide pequeña y delgada de arcilla la cual se deforma cuando llega a una temperatura determinada (por ejemplo 1180 °C).

Debido a que el quemado es la fase que induce a los mayores costos del proceso de

fabricación, es necesario reducir el tiempo de quema al mínimo posible sin poner en peligro las propiedades físicas y mecánicas de las unidades terminadas. En ese sentido, se propone una gráfica para el control de la temperatura y el tiempo de quema como se muestra a continuación.

GRAFICA 4.1
TEMPERATURA VRS TIEMPO DE QUEMA.



Esta gráfica no constituye una representación genérica de la temperatura y tiempo de quema, ya que puede ser modificada según el tipo de arcilla, unidad (especímenes) y el tamaño del horno que se usa para la quema.

Como puede observarse, la gráfica presenta diferentes pendientes, lo cual se explica por las siguientes razones :

Tramo (I °C) : 0 °C a 100 °C

La pendiente es mínima (1%) con el fin de eliminar lentamente la pequeña cantidad de agua absorbida por las unidades a través del medio ambiente y así evitar pequeñas fisuras y leves enconchamientos.

Tramo (II °C) : 100 °C a 500 °C

Con una pendiente de 8.0%, la temperatura se incrementa rápidamente sin correr riesgos de fisuras y enconchamientos, pues a éste nivel de temperatura, las unidades carecen de agua libre.

Tramo (III °C) : 500 °C a 800 °C

En la curva, existe una disminución considerable de la pendiente (2%) con respecto al tramo anterior. Esto se debe a

mayor uniformidad en la vitrificación.
 en la unidad (especímenes), para lograr
 permita establecer el equilibrio térmico
 considerable (por ejemplo 1 hora) tal que
 ésta se mantiene constante en un tiempo
 Una vez alcanzada la máxima temperatura,
 Tramo (V . C) : 1180 °C Constante

temperatura máxima de cocción (1180 °C).
 rápidos de temperatura hasta alcanzar la
 facultad de someterse a incrementos
 el agua químicamente ligada, tiene la
 La arcilla, libre de gases generados por
 Tramo (IV . C) : 800 °C a 1180 °C

de temperatura.
 conservar esta pendiente en ese intervalo
 500 °C y 800 °C, siendo necesario
 generación de gases se produce entre los
 de temperatura (por ejemplo 100 °C). Dicha
 lográndose esto con incrementos pequeños
 gases deben ser evacuados lentamente,
 unidades: y para evitar el ampolillado, los
 lo cual genera gases en el interior de las
 químicamente ligada a ella a los 500 °C,
 que la arcilla comienza a liberar el agua

Tramo (VI °C) : 1180 °C hasta alcanzar
la Temperatura del Medio
Ambiente

Al finalizar el tiempo de máxima temperatura, el horno se apaga, debiendo permanecer cerrado hasta restablecer la temperatura ambiente durante un periodo de 12 horas.

4- Aplicación del Barniz

El barniz es el material de acabado y decorado que se agrega a la superficie que estará visible del cuerpo del azulejo; generalmente, está constituido por sílice, caolín, cal y algunos óxidos de sodio, plomo y potasio que después del quemado constituyen una capa vítrea, lustrosa o mate y de cualquier color, cuya función es impermeabilizar y mejorar la resistencia al desgaste, facilitar su limpieza y decorar.

En la producción no industrial (artesanal) de azulejos se usan principalmente dos métodos en la aplicación del barniz. Estos son :

a) Aplicación a Pincel

En éste método, el barniz se aplica con un pincel plano, como si se diera una mano de pintura; la

pincelada debe ser rápida y ligeramente una encima de la otra. generalmente se deben aplicar varias capas con un lapso de tiempo de secado para obtener el espesor deseado. Este método tiene la ventaja de requerir una pequeña cantidad de barniz, pero resulta verdaderamente difícil aplicar una capa uniforme.

b) Aplicación Pulverizada

Este método se hace tanto a mano o usando equipo automático. Para el barnizado se ocupan pistolas especiales, compresores y equipo de protección adecuado (mascarillas, lentes) para la persona que lo ejecuta. Su principal ventaja es que proporciona un recubrimiento de espesor uniforme.

Defectos del Barnizado

La industria requiere un máximo de uniformidad del barniz de una pieza a otra, en toda la larga serie de piezas producidas. Una mala aplicación y cocción del barniz, afecta el color y textura de los azulejos; obteniéndose piezas no uniformes en cuanto a estas características, por lo tanto, la aplicación y cocción del barniz requiere de un estricto control.

Entre los principales defectos que se observaron como resultado del barnizado estan :

i) Agrietado

Consiste en pequeñas grietas en el barniz. puede aparecer en el periodo de enfriado y es producido cuando las dos partes (barniz y pieza) se contraen a diferentes velocidades. lo cual ocasiona tensiones y por consiguiente el agrietado del barniz.

Para evitar el agrietamiento es necesario hacer que el cuerpo se contraiga a igual velocidad que el barniz. esto se logra con una cocción adecuada.

ii) Ampollado

Resulta cuando la cocción se suspende demasiado pronto. El ampollado se presenta con mayor frecuencia donde es más grueso el barniz. éste defecto se corrige con una cocción a una temperatura más alta o un tiempo de quemado mayor.

iii) Punteado

Es una variedad del ampollado, ya que los microagujeros son del tamaño de un alfiler y se evita con una temperatura más alta.

iv) Superficie Rasposa

Es cuando la pieza presenta una superficie como de lija y es debido a la falta de barniz.

4.4 AGREGADOS QUE MEJORAN LAS PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS.

Con el propósito de mejorar la textura y eliminar las fallas en los especímenes, se optó por formular mezclas combinando material aplástico con propiedades de fusibilidad similares al óxido de hierro (Fe_2O_3), por ser este el principal fundente que poseen las arcillas negras de Pasaquina. El material utilizado para mejorar las propiedades de la arcilla fue el Feldespato de Potasio, ensayando diferentes proporciones (ver Cuadro 4.1), pues dicho material se encuentra en el mercado nacional en abundancia y a un precio que no encarece el costo por unidad producida.

4.5 DOSIFICACION DE LA MEZCLA.

Por lo general, las arcillas para ser usadas como materia prima en la elaboración de azulejos, requieren de la inclusión de agregados que contribuyan a eliminar las deficiencias que éstas presentan en el proceso de elaboración, así como en el producto terminado.

Dado que las deficiencias presentadas por las arcillas negras de Pasaquina es el exceso de plasticidad y el poco contenido de óxidos fundentes a la temperatura de $1.200^{\circ}C$ fue

silica y feldespato de potasio; estas mezclas superaron los problemas de agrietamiento en el secado pero no contribuyen a la sinterización. luego se fueron eliminando la sílica y la dolomita, comprobándose que el feldespato de potasio por sí sólo contribuye a una mejor sinterización. Por lo que se ensayaron las siguientes mezclas :

CUADRO No 4.0
DOSIFICACIONES DE MEZCLAS.

ARCILLA (%)	FELDESPATO DE POTASIO (%)	CONTENIDO DE AGUA (ML)
80	20	4
80	20	6
80	20	8
80	20	10
80	20	12

Debido a que el 20% de feldespato de potasio cumplió con el objetivo buscado; es decir, evitó el agrietado en el secado y contribuyó a la sinterización en el quemado, por ésto no fue necesario continuar experimentando otras mezclas; además ésta dosificación es satisfactoria, pues uno de los propósitos principales del estudio es utilizar al máximo la arcilla negra como materia prima en la elaboración de azulejos.

4.6 TABLAS Y GRAFICAS ELABORADAS A PARTIR DEL ESTUDIO DE LOS ESPECIMENES DE PRUEBA

C U A D R O N o. 4 . 1 .
 RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO (τ_D), PERDIDA DE PESO (P_P) Y ENCOGIMIENTO LINEAL (e_L).
 PARA 100% ARCILLA.

C A R G A : 1 0 0 0 0 K G S .

W (%)	T = 800 °C			T = 900 °C			T = 1000 °C		
	τ_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)	τ_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)	τ_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)
4	1.63	16.80	3.93	1.66	15.65	4.42	1.69	15.35	5.05
6	1.68	18.15	4.33	1.71	17.93	4.65	1.74	16.60	5.34
8	1.73	19.77	4.26	1.75	19.35	5.26	1.78	17.68	5.86
10	1.83	21.30	4.85	1.81	20.45	5.25	1.84	18.93	6.46
12	1.88	22.55	5.19	1.88	21.70	5.78	1.92	19.82	6.30

CUADRO No. 4.2
 RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO (τ_D), PERDIDA DE PESO (P_P) Y ENCOGIMIENTO LINEAL (e_L).
 PARA 100% ARCILLA.

CARGA : 12500 KGS.

W (%)	T = 800 °C			T = 900 °C			T = 1000 °C		
	τ_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)	τ_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)	τ_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)
4	1.66	16.56	3.81	1.69	16.25	4.17	1.70	15.05	4.87
6	1.70	18.10	4.22	1.70	17.65	4.69	1.72	16.45	4.80
8	1.75	19.62	4.16	1.77	19.05	4.88	1.77	17.90	5.50
10	1.83	21.15	4.84	1.85	20.48	5.61	1.85	19.33	5.71
12	1.90	22.55	5.40	1.92	21.85	5.66	1.94	20.45	6.08

CUADRO No. 4.3
 RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO (T_D), PERDIDA DE PESO (P_P) Y ENCOGIMIENTO LINEAL (e_L).
 PARA 100% ARCILLA.

CARGA : 15000 KGS.

W (%)	T = 800 °C			T = 900 °C			T = 1000 °C		
	T_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)	T_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)	T_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)
4	1.68	15.95	3.65	1.71	15.74	4.04	1.73	15.10	4.49
6	1.72	17.40	3.91	1.74	17.10	4.35	1.79	16.48	4.70
8	1.79	19.00	4.44	1.81	18.75	4.66	1.84	17.73	5.95
10	1.85	20.50	4.09	1.89	20.33	4.98	1.90	19.23	5.50
12	1.96	22.20	5.08	1.97	21.91	5.30	2.01	20.81	5.72

CUADRO No. 4.4
 RESULTADOS DE PESO SECO UNITARIO (τ_D), PERDIDA DE PESO (P_P) Y ENCOGIMIENTO LINEAL (e_L).
 PARA 80% ARCILLA Y 20% FELDESPATO DE POTASIO.

CARGA : 10000 KGS.

T = 1000 °C			
W (%)	τ_D (grs/cm ³)	P_P (%)	e_L (%)
4	1.61	12.80	2.05
6	1.66	14.40	2.40
8	1.73	15.50	2.85
10	1.82	16.70	3.35
12	1.92	18.20	3.51

PS.U. (Grs)
Cm³

GRAFICAS : PESO SECO UNITARIO (P.S.U.) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (W_o %)

CARGA = P=10000 Kg.

1.95

1.90

1.85

1.80

1.75

1.70

1.65

T=1000 °C

T=900 °C

T=800 °C

150

4

5

6

7

8

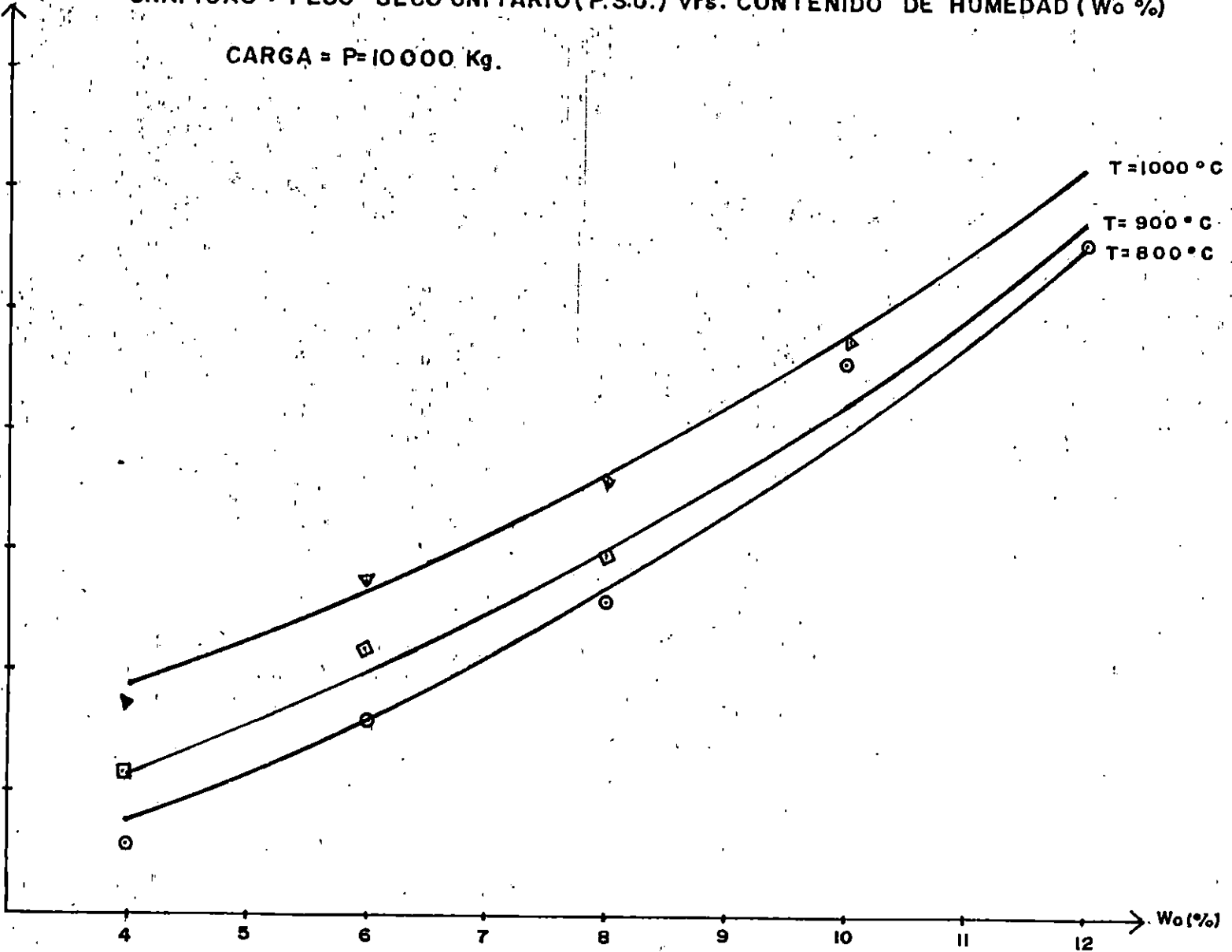
9

10

11

12

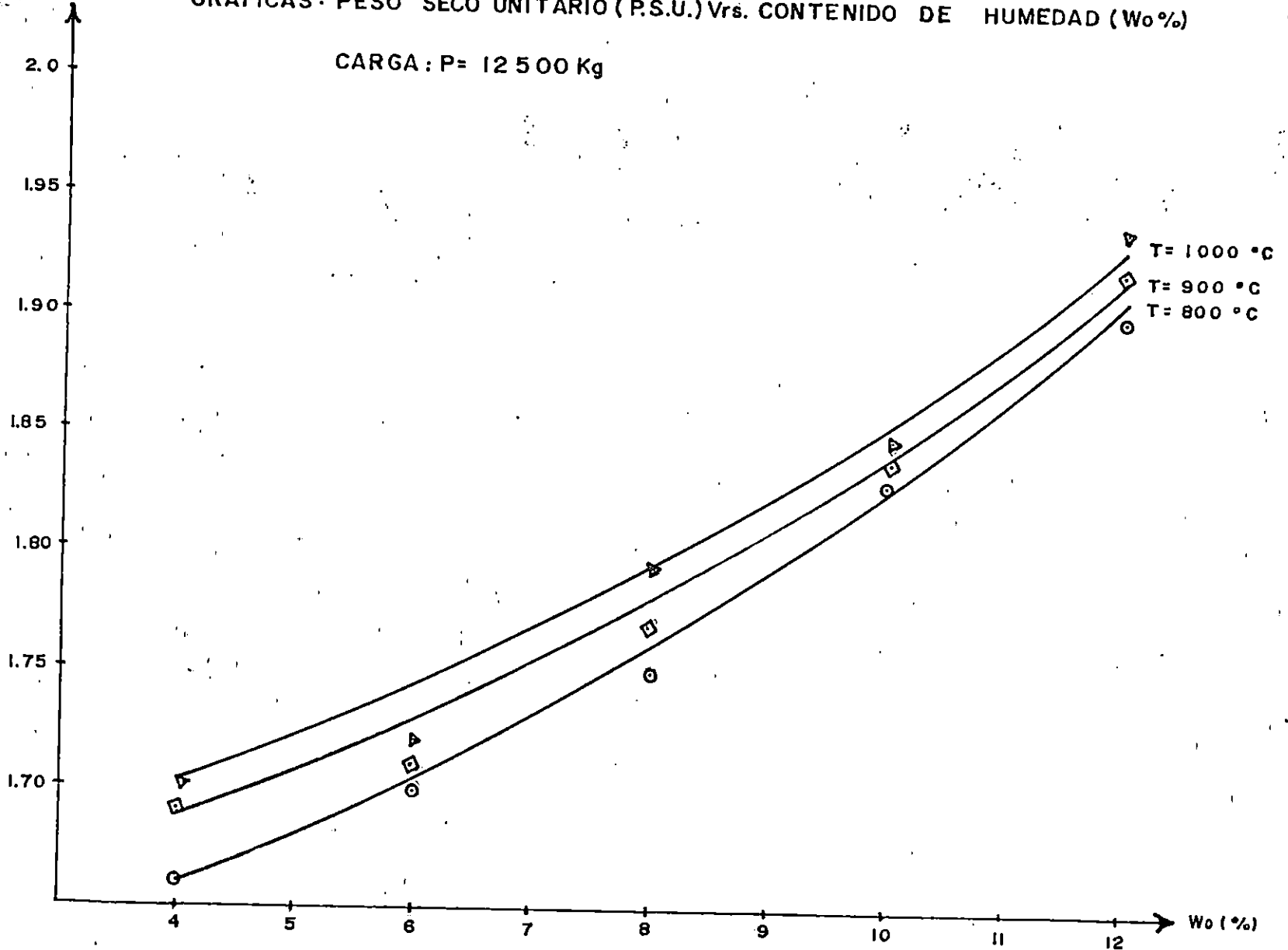
W_o (%)



PS.U. $\frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$

GRAFICAS: PESO SECO UNITARIO (P.S.U.) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD ($W_o\%$)

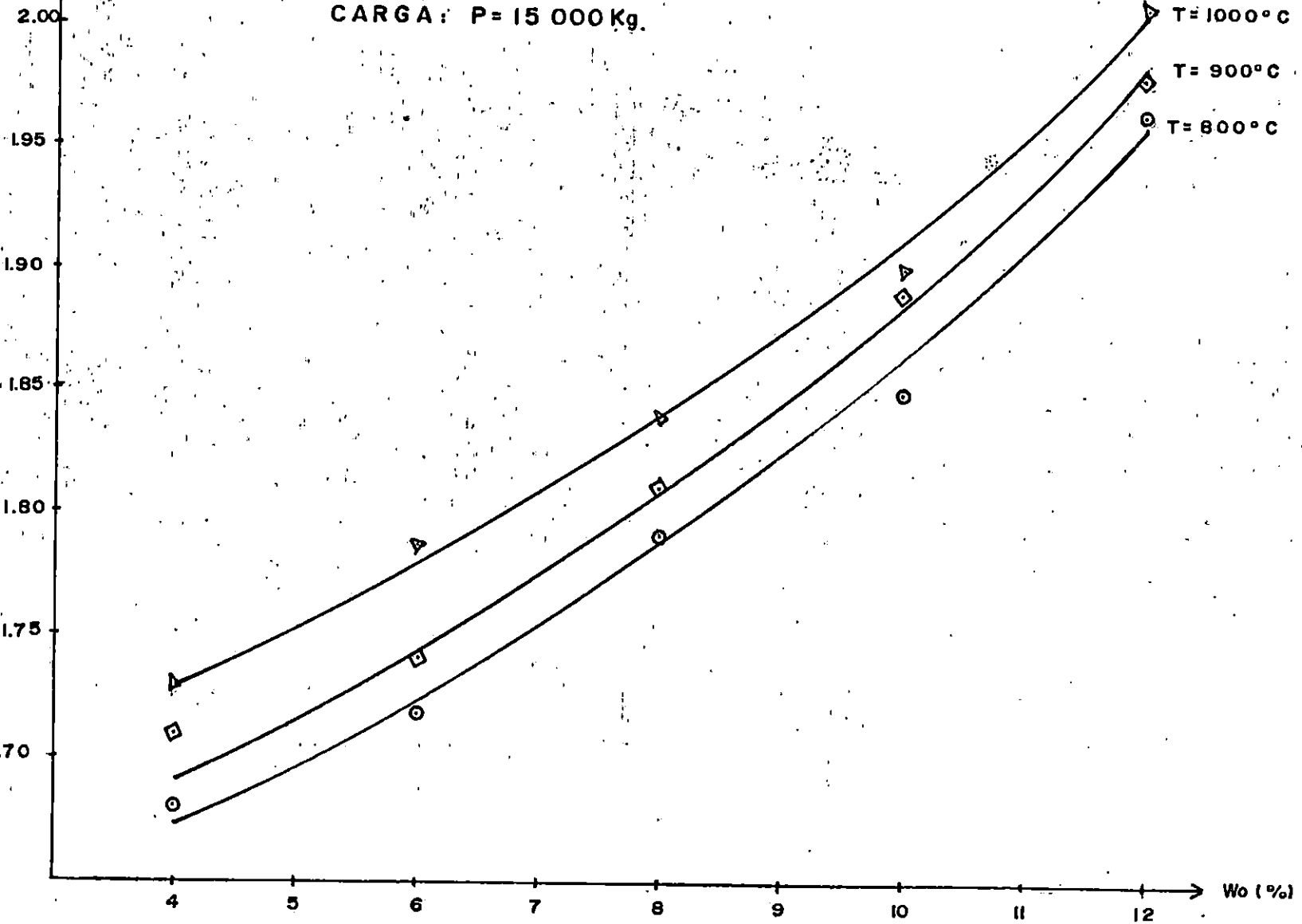
CARGA: P= 12 500 Kg



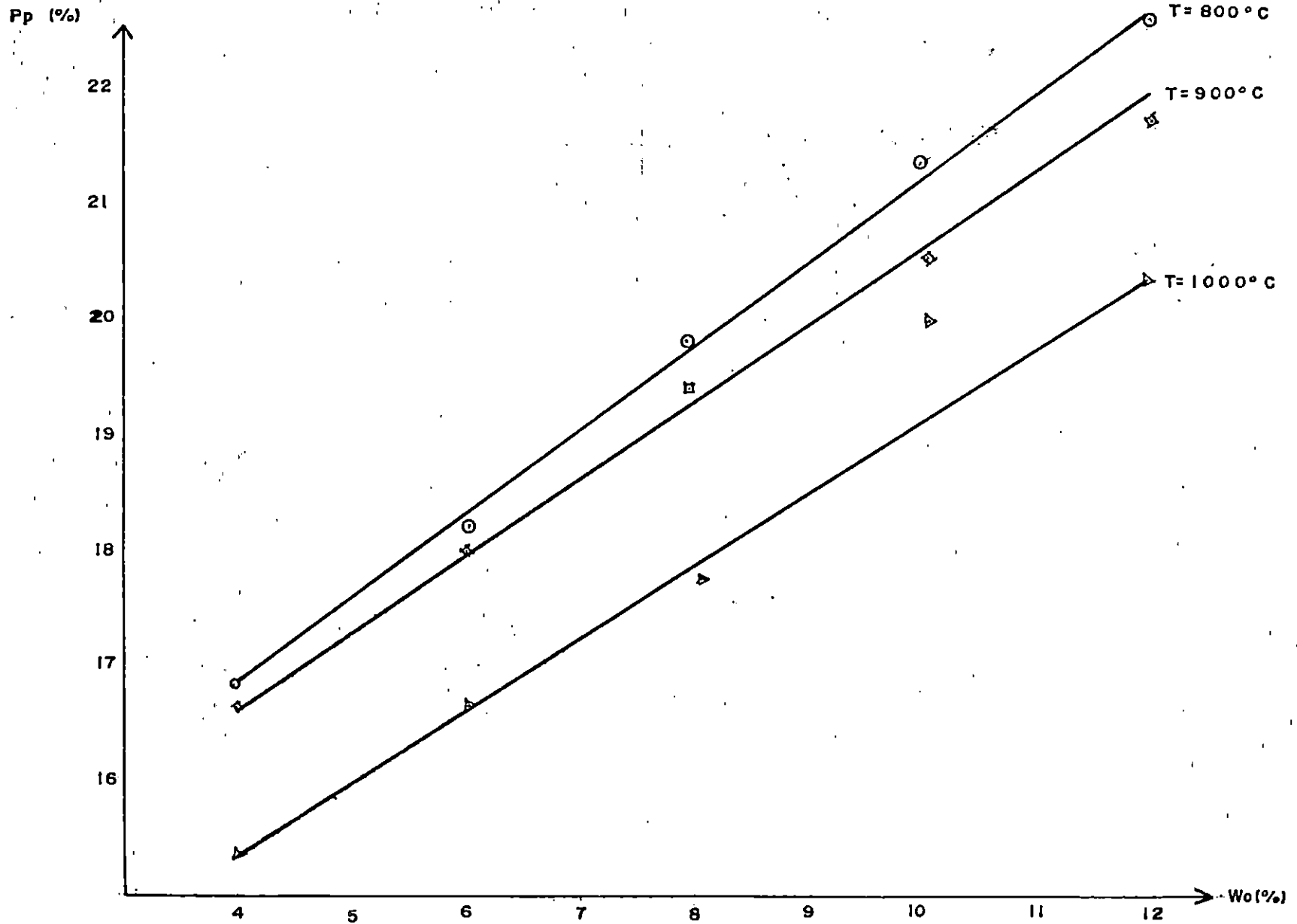
P.S.U. $\frac{\text{Grs}}{\text{Cm}^3}$

GRAFICAS: PESO SECO UNITARIO (P.S.U.) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (W_o %)

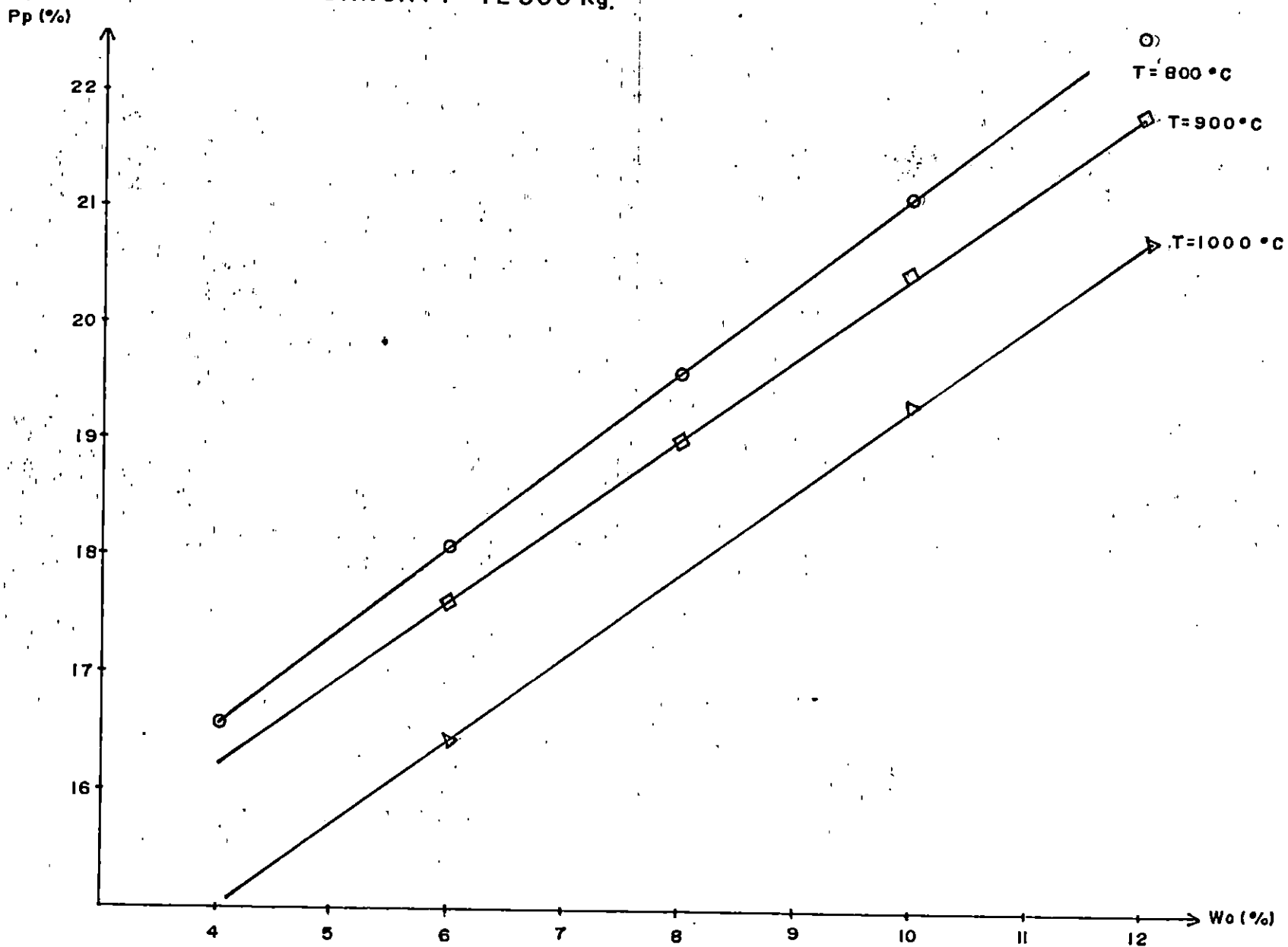
CARGA: P = 15 000 Kg.



GRAFICAS : PERDIDA DE PESO (Pp) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (Wo %)
 CARGA , P = 10000 Kg.

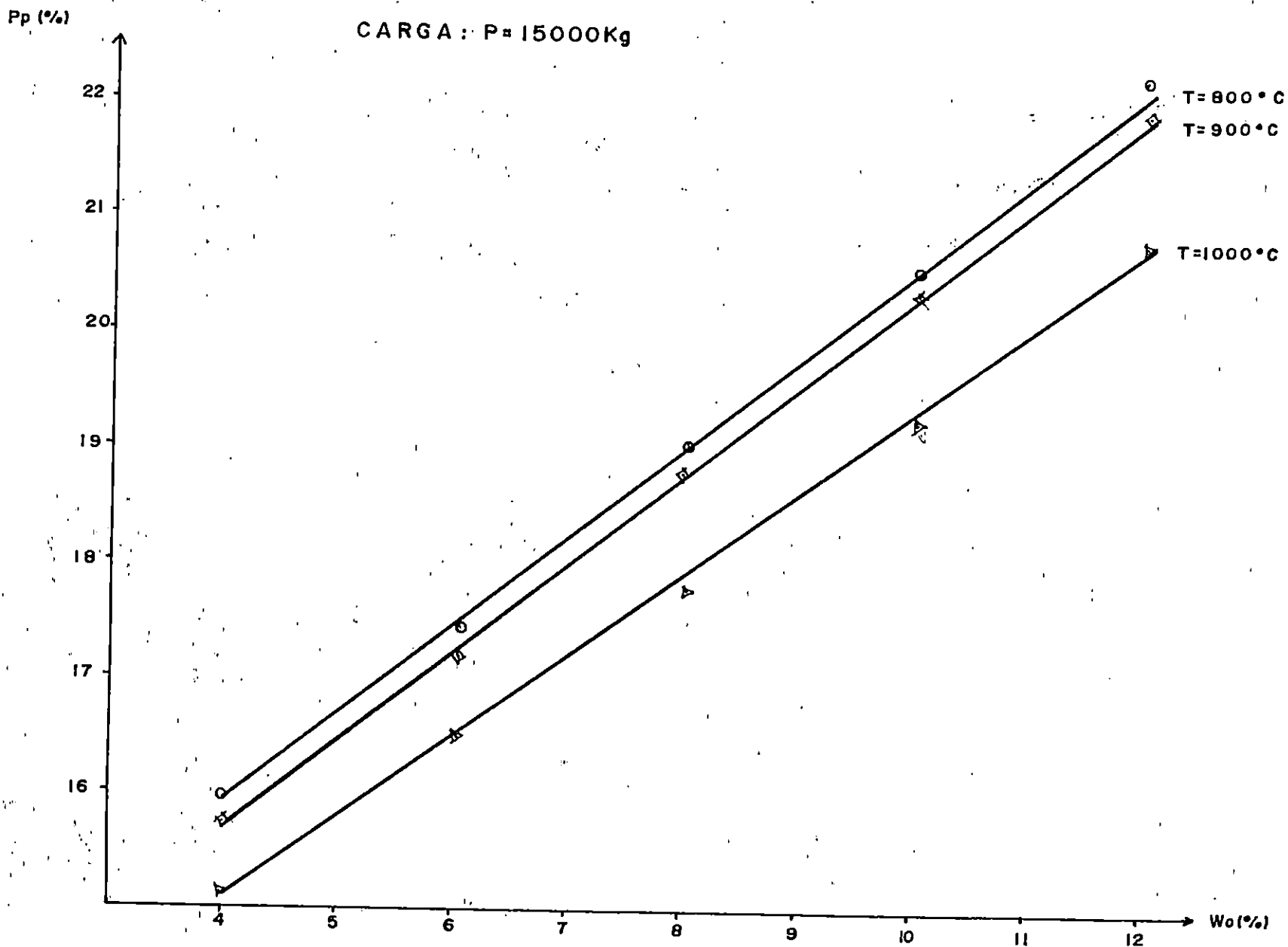


GRAFICAS: PERDIDA DE PESO (P_p %) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (W_o)
CARGA: $P = 12\ 500$ Kg.



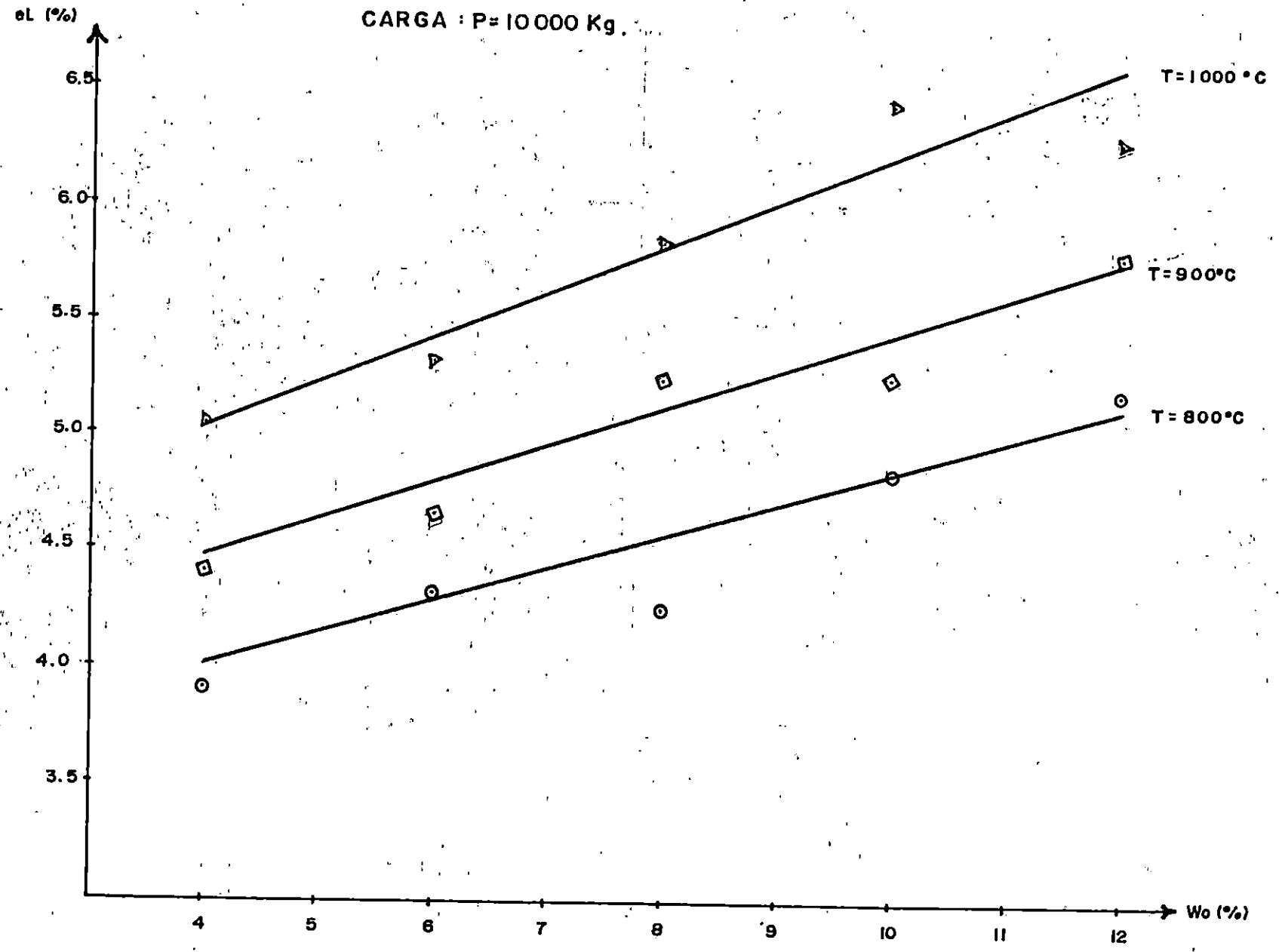
GRAFICAS : PERDIDA DE PESO (Pp %) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (Wo %)

CARGA : P = 15000Kg



GRAFICAS : ENCOGIMIENTO LINEAL (eL) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (Wo %)

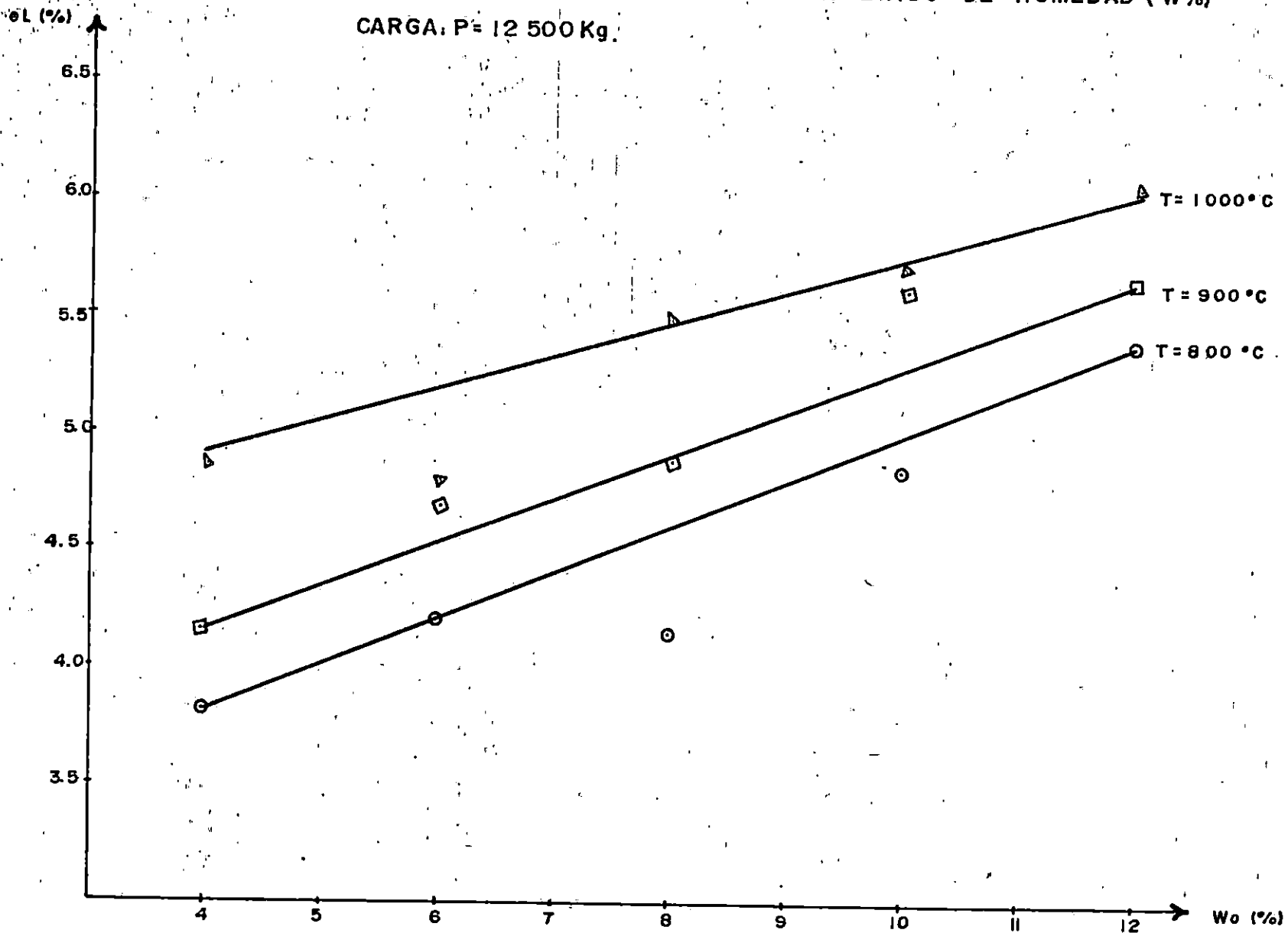
CARGA : P=10000 Kg.



156

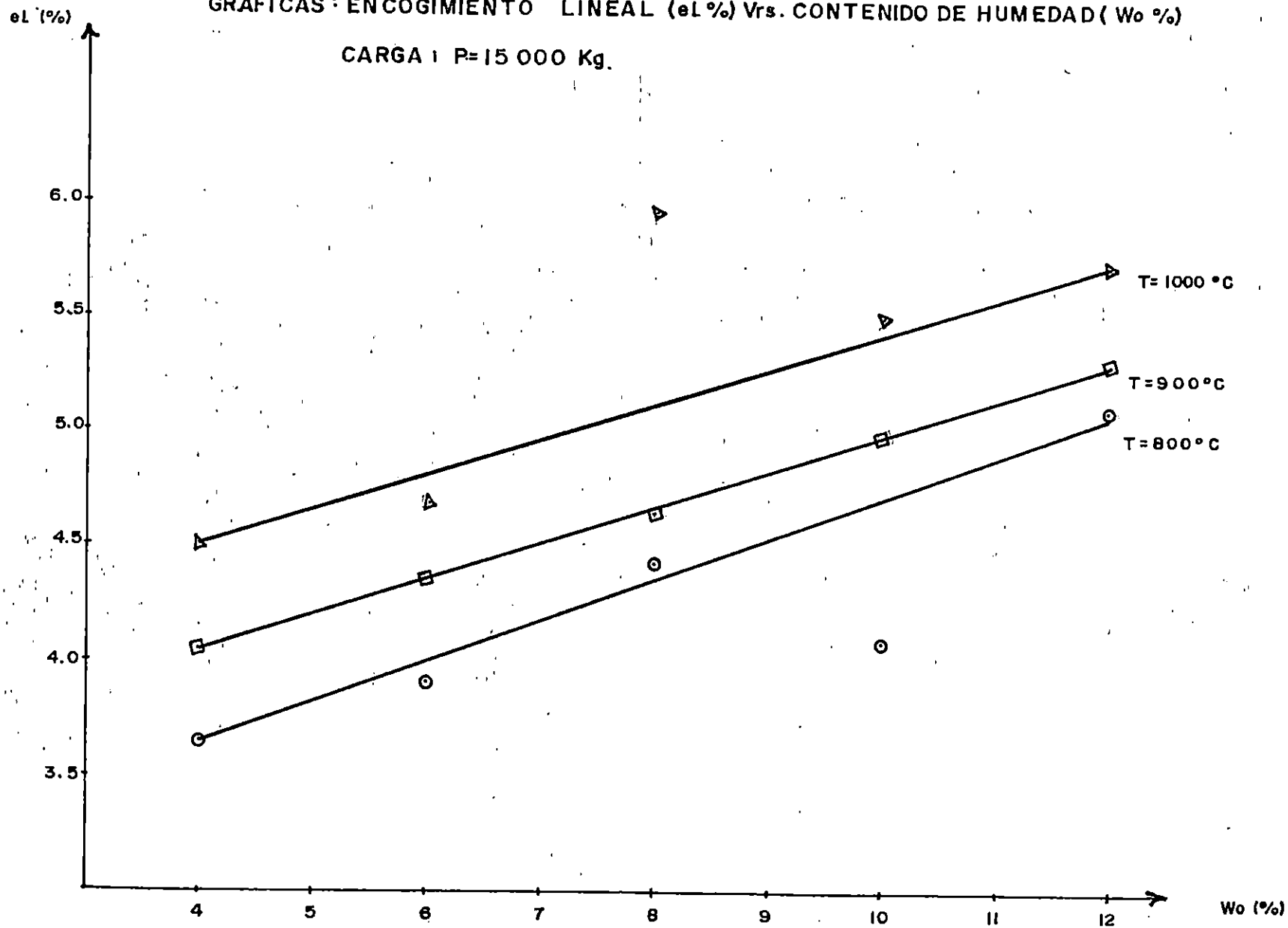
GRAFICAS : ENCOGIMIENTO LINEAL (eL)% Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)

CARGA: P= 12 500 Kg.

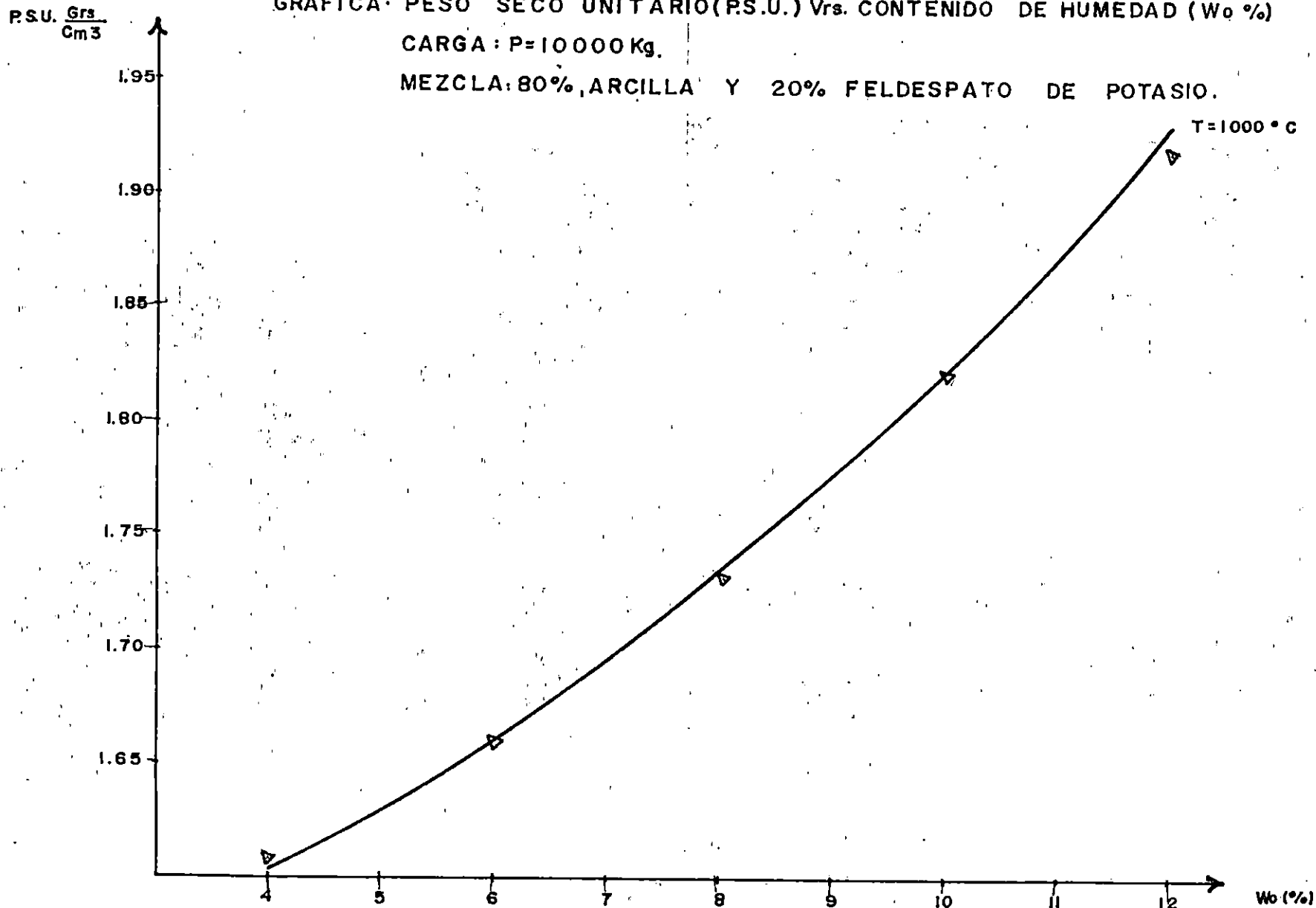


GRAFICAS: ENCOGIMIENTO LINEAL (eL %) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (Wo %)

CARGA: P=15 000 Kg.



GRAFICA: PESO SECO UNITARIO (P.S.U.) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (W_0 %)
CARGA: $P=10000$ Kg.
MEZCLA: 80% ARCILLA Y 20% FELDESPATO DE POTASIO.



160

Pp(%)

GRAFICA: PERDIDA DE PESO (Pp%) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (Wo%)

CARGA: P = 10 000 Kg.

MEZCLA: 80% ARCILLA Y 20% FELDESPATO DE POTASIO

19

18

17

16

15

14

13

T=1000°C

4

5

6

7

8

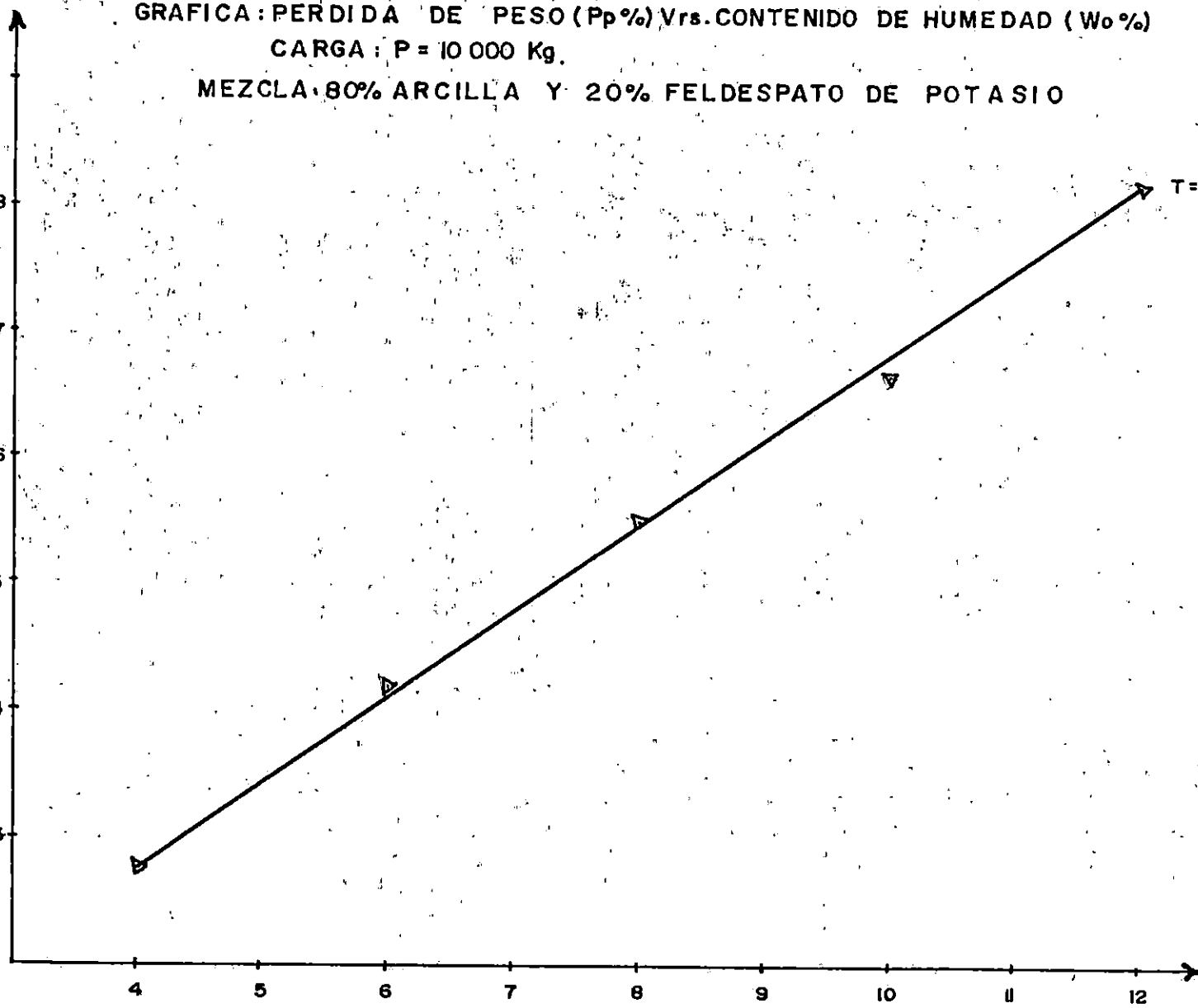
9

10

11

12

Wo(%)



GRAFICA ENCOGIMIENTO LINEAL (eL%) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (Wo%)

CARGA : P = 10000 Kg

MEZCLA : 80% ARCILLA Y 20% FELDESPATO DE POTASIO

eL (%)

4.5

4.0

3.5

3.0

2.5

2.0

T = 1000 °C

4

5

6

7

8

9

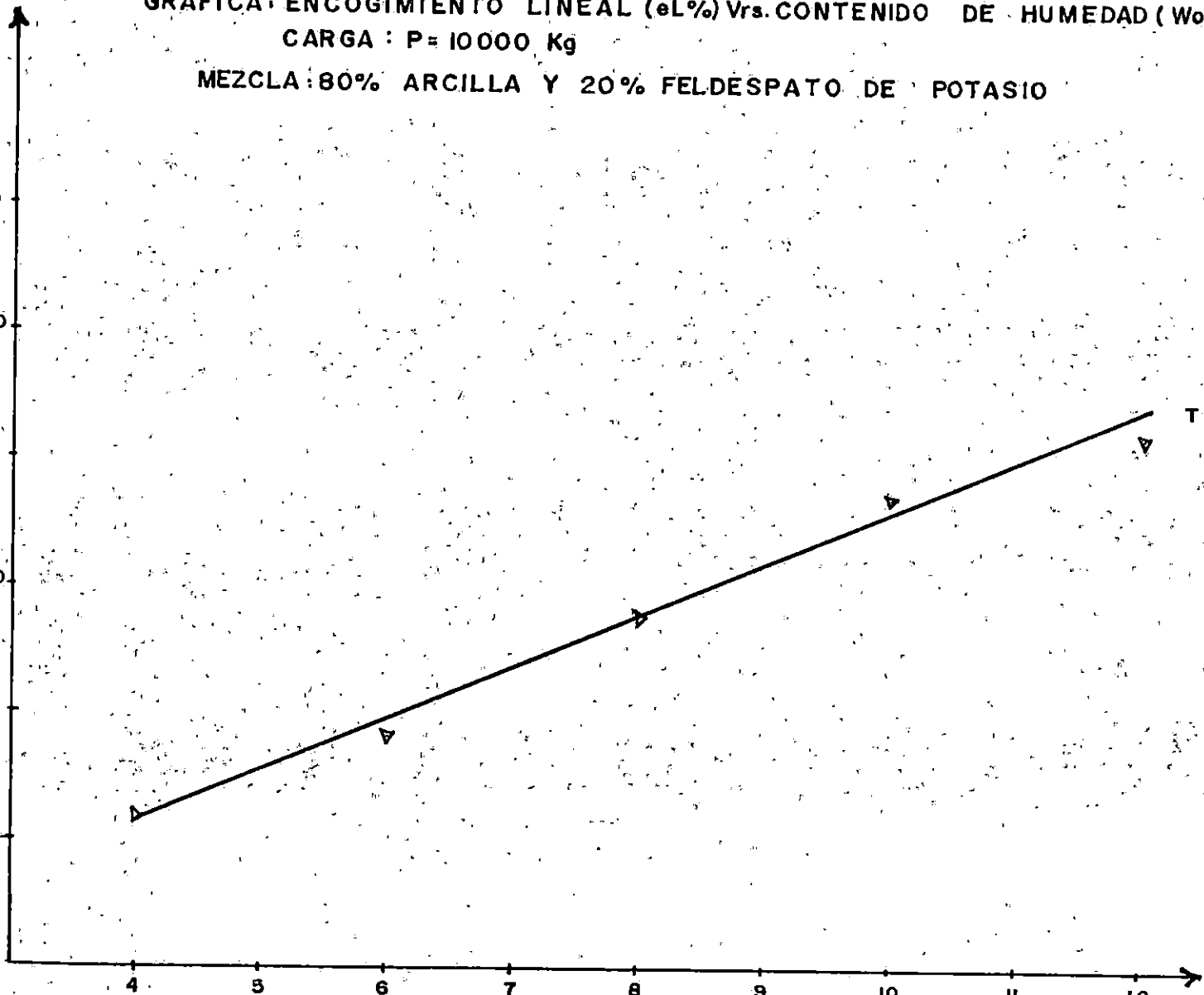
10

11

12

Wo (%)

160 A



4.7 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ELABORACION DE LAS UNIDADES : AZULEJOS.

Los análisis se fundamentan en las tablas y gráficas presentadas, y en el examen visual realizado a los especímenes de prueba después de quemado, para lo cual se correlacionan seis variables, tres independientes: carga, agua de mezcla y temperatura; y tres dependientes : encogimiento lineal, pérdida de peso y peso seco unitario.

El objeto de elaborar la gráficas es conocer el comportamiento que presentan las variables dependientes ya que de éstas depende la calidad del azulejo.

Dado que se necesitan azulejos con dimensiones establecidas, es necesario conocer el encogimiento lineal de la arcilla para dar las dimensiones que deberá tener el molde y obtener el azulejo con el tamaño deseado.

La curva de pérdida de peso proporciona la información necesaria para detectar si existen materiales dentro de la mezcla que calcinen en la etapa de quemado, lo cual no es deseable, pues disminuye la calidad del azulejo.

Las curvas de peso específico, sirven para determinar la mezcla óptima con que se deben elaborar los azulejos.

4.7.1 ANALISIS DE LAS GRAFICAS DE ENCOGIMIENTO

LINEAL (e) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD.

La tendencia mostrada en general por estas graficas definen lineas rectas, incrementando el encogimiento en proporcion directa con la humedad, esto se debe a la pérdida de agua que contenía la unidad antes del quemado. Se observa además, que manteniendo constante el contenido de humedad y la carga, el encogimiento [lineal] aumenta al aumentar la temperatura debido a la sinterización de las partículas que constituyen el material.

Si se mantiene constante el porcentaje de contenido de humedad y la temperatura, el encogimiento [lineal] disminuye al aumentar la carga, ya que una mayor carga proporciona un mayor confinamiento del espécimen.

De las graficas, puede observarse que el valor mínimo de encogimiento es 3.65% y corresponde a la carga de 15,000 Kg., 4% de humedad y una temperatura de 800°C. El valor máximo es de 6.52%, para una carga de 10,000 Kg., 12% de humedad y 1000°C de temperatura.

4.7.2 ANALISIS DE LAS GRAFICAS DE PERDIDA DE PESO (P_p) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD (W_0).

Estas gráficas presentan una tendencia similar a la mostrada por las gráficas de encogimiento lineal Vrs. pérdida de peso, es decir, a mayor contenido de humedad mayor pérdida de peso; pues, si es mayor la cantidad de agua de mezcla, mayor será el peso perdido por la eliminación del agua; también se observa, que al mantener constante contenido de agua y la carga, se presenta una pequeña disminución en la pérdida de peso al aumentar la temperatura de 900°C. a 1000°C.

Al variar la carga, manteniendo constante la temperatura y la humedad, el porcentaje de pérdida de peso no sufre ninguna variación, es decir, ésta variable no depende de la carga ya que para producir un incremento o una disminución del peso debe existir una ganancia o una pérdida, respectivamente de la masa del espécimen.

El valor mínimo de pérdida de peso es 14.75% para un contenido de humedad del 4% y 1000°C. de temperatura. Su valor máximo es 23.45%, correspondiente al 12% de humedad y 800°C. de temperatura.

4.7.3 ANALISIS DE LAS GRAFICAS DE PESO SECO UNITARIO (P.S.U.) Vrs. CONTENIDO DE HUMEDAD. (Wo).

Al observar éstas gráficas se puede apreciar su comportamiento curvilíneo: se incrementa el peso seco unitario al aumentar el contenido de humedad, esto es a causa de que el agua desempeña el papel de lubricante entre las placas que conforman la arcilla, lo que permite un contacto muy cercano entre ellas, facilitando el proceso de sinterización. Además, manteniendo constante el agua de mezcla y la carga, al incrementar la temperatura ocurre un pequeño incremento en el peso seco unitario por ser ésta la responsable de la vitrificación. El comportamiento creciente del peso seco unitario se mantendrá hasta alcanzar el punto de vitrificación.

La carga, es la variable responsable del confinamiento de las partículas de arcilla, contribuyendo al proceso de sinterización.

El menor de los valores de peso seco unitario de todas las gráficas es 1.65 Grs/Cms³ y se obtiene en la carga de 10.000 Kgs, en un contenido de humedad del 4% y temperatura de 800°C. Su máximo valor es 2.03 Grs/Cms³ para 15.000 Kgs, de carga, 12% de humedad y 1000°C, de temperatura.

4.7.4 RESULTADOS DE LOS EXAMENES VISUALES DE LOS ESPECIMENES ELABORADOS.

Este literal constituye la historia de los resultados de las inspecciones visuales realizadas a los especímenes de prueba después de la etapa de quemado: esto es posible si se lleva un registro elaborado durante todo ese período de investigación, el cual contempla las fallas (cuarteo, agrietamiento, ampollado y fisuras), color, textura, desprendimiento de material y los resultados satisfactorios que se obtuvieron.

En las primeras dos quemas la temperatura a que se llevaron los especímenes fue de 800°C., obteniéndose resultados desfavorables, ya que se presentaron cuarteo, agrietamiento y ampollas en los especímenes, siendo más severas en las unidades que tenían contenido de humedad mayores al 6%. Estas fallas se debieron a la falta de secado y a la ausencia del control de la temperatura.

El color presentado por las unidades a esa temperatura fue rojo, aumentando la tonalidad al aumentar el agua de mezcla. Este color se debe al alto contenido de óxido de hierro ($Fe_2 O_3$).

Al aumentar el contenido de agua de mezcla, la textura en la superficie de las unidades se hace más rugosa debido a que al aumentar el agua, la cantidad de grumos en la mezcla es mayor. Dicho comportamiento se mantiene hasta una humedad

De todas las características antes mencionadas, el color, la textura y el desprendimiento de material se mantuvieron su comportamiento para los siguientes especímenes quemados. Sin embargo, el cuarteo y el ampolillado desaparecieron completamente al incluir la etapa de secado, la cual comprendía un período de 24 horas a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. quedando solamente los problemas de agrietamiento y fisuramiento en los especímenes con contenido de humedad mayor al 6%. Con el fin de eliminar estas fallas, el secado se incrementó a 48 horas, distribuidas en 24 horas a una temperatura de 40°C . y luego aumentando hasta 110°C . para las últimas 24 horas. Este largo proceso de secado disminuyó considerablemente el agrietamiento y el fisuramiento pero, no logró erradicarlos en su totalidad.

En resumen los resultados de las primeras dos quemas fueron desfavorables a causa del poco conocimiento del horno y de la reacción de la arcilla en presencia del calor. Incrementar la temperatura.

aumenta al disminuir el agua de la mezcla y disminuye al material al frotar la pieza con el dedo, es decir, éste del 15%. Lo contrario ocurre con el desprendimiento del

4.8 COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LAS UNIDADES LAS A BASE DE ARCILLA NEGRA CON LAS REQUERIDAS POR LAS NORMAS DE LA SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS DE MEXICO (NORMA 026-A.07)

La comparación se hará en base a tres requisitos físicos importantes que determinan la calidad de los azulejos : módulo de ruptura a la flexión (S), absorción en agua fría (Abs) y características de sanidad.

A continuación se presenta el procedimiento de cada ensayo practicado en nueve unidades y los resultados obtenidos están tabulados en el cuadro No. 4.5 .

MODULO DE RUPTURA (S)

Este ensayo sirve para determinar en forma indirecta el esfuerzo máximo a tensión que es capaz de soportar el azulejo.

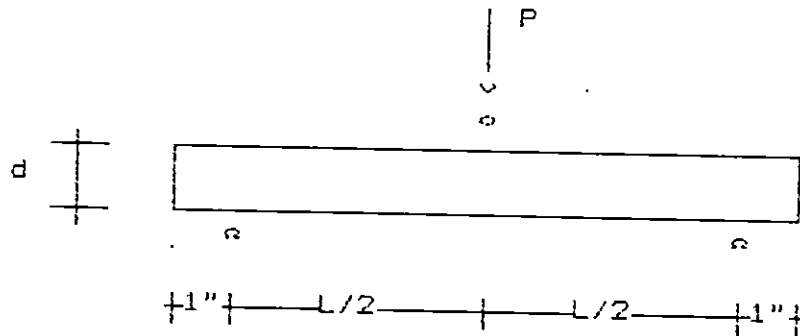
Metodología.

- 1°) Se preparan cinco unidades secas y enfriadas.
- 2°) Se apoya el espécimen de tal forma que se aplique la carga en el sentido de su altura, con un claro igual a su longitud menos una pulgada, aplicando la carga en el centro del claro.

3°) La carga se aplica por medio de una barra lisa de diámetro igual a $\frac{1}{4}$ de pulgada y un largo igual al espécimen.

4°) La velocidad de carga no debe exceder de 2000 Lbs/min.

5°) El módulo de ruptura se determina así :



$$S = \frac{3 W L}{2 b d^2}$$

Donde :

S : Módulo de Ruptura

W : Carga Máxima

b : Ancho promedio

d : Espesor promedio

L : Distancia entre apoyos

P : Carga Aplicada

ABSORCIÓN

Este ensayo proporciona el máximo contenido de agua que el azulejo puede absorber.

Metodología

- 1°) Se seleccionan cinco muestras representativas que no presenten grietas.
- 2°) Se sumergen en agua fría durante 24 horas.
- 3°) Las unidades se retiran del agua, secándolas con un paño húmedo y se pesan antes de cinco minutos.
- 4°) La absorción se determina así :

$$\text{Abs}(\%) = \left(\frac{W_s - W_d}{W_d} \right) \times 100 \quad \text{Donde :}$$

W_s : Peso saturado
superficialmente
seco.

W_d : Peso Seco.

SANIDAD.

Permite conocer la facilidad o dificultad que estas unidades presentan a su limpieza.

Metodología

- 1°) Se traza una línea sobre la cara expuesta del azulejo con tinta negra o azul negra.
- 2°) Se deja secar la tinta aplicada durante cinco minutos.
- 3°) La línea trazada se borra con un paño húmedo.
- 4°) El azulejo cumple esta prueba si no se observa ninguna mancha desde una distancia de 1.5 metros.

REQUERIMIENTOS

Según la Norma 026-A.07 de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México, los requisitos que deben cumplir los azulejos en esta prueba son :

Módulo de Ruptura (S) = 100.0 Kg/cm²

Absorción (Abs) = 15 %

Sanidad = No se deben observar manchas al observar el azulejo a una distancia de 1.5 metros.

CUADRO No. 4 . 5
 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECANICAS A LOS AZULEJOS

VARIABLES					RESULTADOS		
ESPECIMEN No.	TEMPERATURA °C	PRESION Kg/cm ²	CONTENIDO DE HUMEDAD WZ	MEZCLA %	MODULO DE RUPTURA (S)Kg/cm ²	ABSORCION %	SANIDAD
1	1180	250	8	80-20	258.55	5.14	No se nota la mancha de tinta azul negro después de la limpieza.
2	1180	250	8	80-20	225.44	6.12	"
3	1180	250	8	80-20	247.32	5.95	"
4	1180	250	6	100	193.95	13.15	"
5	1180	250	6	100	165.46	14.12	"
6	1180	250	6	100	152.61	14.21	"
7	1140	250	6	100	84.41	14.82	"
8	1140	250	6	100	81.15	14.21	"
9	1140	250	6	100	77.23	13.27	"

ARCILLA NEGRA
 Y FELDEPATO DE
 POTASIO

 ARCILLA NEGRA PURA

4.8.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS AZULEJOS.

Los resultados obtenidos de los azulejos en estas pruebas permiten detectar las ventajas que ofrece el uso de Feldespato de Potasio en la elaboración de las unidades, ya que las muestras elaboradas con esta mezcla presentaron un módulo de ruptura entre 225.44 Kg/cm² a 258.55 Kg/cm² y absorción de 5.14% a 6.12%, mientras que las muestras elaboradas con el 100% de arcilla proporcionan un módulo de ruptura entre 77.23 Kg/cm² a 193.95 Kg/cm² y 13.15% a 14.82% de absorción. De éstos resultados se determina que los azulejos fabricados con Feldespato de Potasio poseen mejor calidad que los frabricados con el 100% de arcilla.

En cuanto al ensayo de sanidad, todos los azulejos presentaron las mismas características debido a que ésta depende del vidriado utilizado en las unidades.

Al comparar los resultados obtenidos de módulo de ruptura, absorción y sanidad de las pruebas con los requerimientos establecidos por las Normas de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México puede observarse que los azulejos elaborados con arcilla negra de Pasaquina superan olgadamente los requisitos de calidad especificados por dicha Norma, lo cual garantiza un buen comportamiento en la construcción.

4.9 COSTO ESTIMADO PARA LA FABRICACION DEL AZULEJO

Este Trabajo de Graduación, no contempla en sus alcances un estudio económico de los costos de producción de los azulejos; sin embargo, se dará una idea sobre la distribución de costos en que se incurre al fabricar este tipo de unidades. En este sentido, se hará considerando dos grandes rubros : costos de inversión y costos de operación.

Costos de Inversión : Entre éstos costos se pueden considerar la compra del banco de arcilla, infraestructura de la planta productora y compra de maquinaria y equipo. La magnitud de éstos costos dependerán en gran medida del nivel de producción de que se desee dotar a la planta productora, considerando que el costo que obtendrá mayor inversión es el que corresponde a la compra de maquinaria y equipo.

Costos de Operación : Entre éstos se han considerado el consumo de energía, mano de obra y materia prima que se utilizará como agregado (Feldespato de Potasio, Barnices y Agua) en la producción de dichas unidades. La energía se considera como el costo de mayor magnitud en la producción.

En resumen puede decirse, que los costos aproximados de materia prima son considerablemente bajos y para una mejor apreciación, se presenta la siguiente tabla :

CUADRO No. 4.6
COSTOS DE MATERIA PRIMA

MATERIA PRIMA	COSTO/UNIDAD (Centavos)
Arcilla Negra	1.0
Feldespatato de Potasio	3.0
Barniz	10.0
TOTAL	14.0

4.10 CONCLUSIONES

- 1.- El encogimiento lineal presentado por todos los especímenes de prueba elaborados es satisfactorio, pues los valores obtenidos son similares a los que normalmente presenta éste tipo de arcilla (< 9%).
- 2.- El agua de mezcla y la temperatura de quemado son las variables que más influyen en el encogimiento. Sin embargo, la carga lo afecta en menor proporción, pero siempre su aplicación es favorable, ya que lo reduce.
- 3.- Sin un secado previo de las unidades, el quemado directo produce enconchamiento, cuarteo y ampollado.
- 4.- Por las mismas condiciones en la elaboración de especímenes con arcilla pura y arcilla con Feldespato de Potasio, se requiere un tratamiento largo y cuidadoso en el secado para las primeras (ya que éste se hace progresivamente) y una mayor temperatura en el quemado para alcanzar el punto de vitrificación.
- 5.- El Feldespato de Potasio como agregado en la mezcla, disminuye considerablemente el encogimiento en la etapa de secado y contribuye para la vitrificación en el quemado.

unidades.

exigidas por las especificaciones para esta clase de que superan oigadamente las exigencias mínimas proporciona valores de módulo de ruptura y absorción con la mezcla óptima a una temperatura de 1180 °C.

10.- Los resultados obtenidos en los azulejos elaborados

barñiz.

al entrar en contacto la arcilla con el agua del provoca enconchamiento y agrietamiento instantáneos

9.- La aplicación del barñiz a las unidades en crudo

la periferia de los azulejos.

uniforme ocasiona agrietamientos. principalmente en 8.- Al presar las unidades en el molde la presión no

prueba no alcanzaron el punto de vitrificación.

mantiene, lo cual implica que los especímenes de aumento de la temperatura al alcanzar los 1000 °C se

7.- La tendencia creciente del peso seco unitario con el

unidades es 23.45%.

agua es del 22% y la pérdida de peso máxima en las lo cual implica que la pérdida de peso total por

es del 10% y el porcentaje de agua libre es del 12%. pues, la pérdida promedio de peso por agua química

las arcillas es bajo y su efecto puede despreciarse que el porcentaje de materia orgánica presente en

6.- Por la pérdida de peso de las unidades se concluye

11.- Al comparar los valores de módulo de ruptura y absorción de los azulejos, elaborados con la mezcla óptima y los obtenidos con 100% arcilla, se observa que éstos últimos presentan valores inferiores de módulo de ruptura y superiores en absorción (ver Cuadro No. 4.5), no obstante también superan los requerimientos de las Normas.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Considerando :

El bajo rendimiento agrícola que éstas arcillas poseen, se hace necesario su utilización en otras áreas de la producción, siendo la industria de la construcción una vía factible y apropiada para su explotación.

La capacidad del banco de arcilla, las características del material y la infraestructura existente en la zona, ofrecen las condiciones necesarias para la explotación en gran escala de la arcilla como materia prima.

En base a las consideraciones anteriores se concluye lo siguiente :

- 1.- El color oscuro de las arcillas negras de Pasaquina se debe al contenido de sulfuros de hierros y óxidos de manganeso principalmente: la topografía de la zona y el tamaño de las partículas de arcilla que impiden la lixiviación de éstos componentes. Por lo que, si hay materia orgánica no influye en la coloración de la arcilla.

- 2.- Es necesario realizar un trabajo de campo detallado, para determinar condiciones en que se encuentra el material en la zona, las que deben explicar su génesis y comportamiento.
- 3.- Los resultados obtenidos en la Prueba de Penetración Estandar, confirman que el espesor del estrato de las arcillas negras de pasaquina es de 1.5 metros aproximadamente, lo cual concuerda con la teoría investigada acerca de otras arcillas similares.
- 4.- Las arcillas negras de Pasaguina, de acuerdo a los ensayos de laboratorio usando las Normas ASTM y según el programa de pruebas para tipificarlas y explicar su génesis, se determinó que éstas arcillas son de tipo Illitas debido a su alta plasticidad, gravedad específica, porcentaje coloidal, contenido de óxido de hierro, alto contenido de óxido colorante, acidez, poder de aglutinación y baja fusibilidad.
- 5.- Debido principalmente a la alta plasticidad de las arcillas negras de Pasaguina, su utilización debe hacerse agregando Feldespato de Potasio para permitir su trabajabilidad y obtener las mejores características en la elaboración de los azulejos. Para el caso la mezcla que da éstos resultados, está constituida de 80% de arcilla negra, 20% de

Feldespato de Potasio (material de agregado) y 8%, en peso de los componentes, del agua de mezcla.

- 6.- La temperatura de quemado para la mezcla óptima (80%, 20%, 8%) antes mencionada es de 1180 °C, siendo ésta temperatura la que permite alcanzar el punto de vitrificación.
- 7.- El uso de arcilla en un 100% en la fabricación de azulejos, requiere de una cantidad de agua de mezcla del 6%, en peso de arcilla y una temperatura de quemado de 1225 °C para alcanzar la vitrificación.
- 8.- La aplicación del barniz debe hacerse después de haber sometido el cuerpo del azulejo a la temperatura de vitrificación. El espesor mínimo del recubrimiento de barniz aplicado, en forma manual, se obtiene dando al menos cuatro capas de barniz (manos) y esperando entre cada aplicación un tiempo considerable para que el barniz seque para luego, quemar el cuerpo y el barniz a una temperatura de 1030 °C.
- 9.- Los azulejos elaborados con arcilla pura y con Feldespato de Potasio a una temperatura de 1180 °C, superan considerablemente los requerimientos establecidos por las Normas 026-A.07 de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México, en

cuanto a modulo de ruptura, absorción y sanidad. De lo anterior se concluye que los azulejos pueden ser elaborados con arcilla pura.

5.2 RECOMENDACIONES

- 1.- Dotar al Laboratorio de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, de maquinaria y equipo que facilite el desarrollo de este tipo de estudios.
- 2.- Este tipo de estudios debe desarrollarse en forma conjunta con la Escuela de Ingeniería Química, a fin de conocer en forma amplia las propiedades químicas de la materia prima objeto.
- 3.- La mezcla óptima a usar en la fabricación de azulejo debe ser : 80% de arcilla negra, 20% de Feldespato de Potasio y 8% de agua de mezcla en peso de sus componentes, y debe ser quemada a una temperatura de 1180 °C durante un tiempo de quema de una hora a ésta temperatura para obtener la vitrificación.
- 4.- Para el tipo de barniz utilizado (comercial) en el vidriado, la temperatura óptima de fusión debe ser 1030 °C.
- 5.- El proceso de cocción de azulejos debe hacerse en tres etapas : secado, quemado del cuerpo y quemado del barniz.

6.- Es necesario completar ésta investigación en lo siguiente :

- i) Realizar un estudio económico del proceso de fabricación de azulejos con ésta arcilla, para determinar su factibilidad de producción.
- ii) Ampliar la investigación de éstas arcillas en la elaboración de otras unidades tales como galletas, bloqués, tejas, tubos, etc.
- iii) Realizar un estudio mineralógico para conocer con exactitud el grupo a que pertenecen las arcillas negras de Pasaquina.
- iv) Diseñar un molde que transmita uniformemente la presión aplicada en toda la superficie del azulejo: así como que proporcione el bocelado en las aristas de la cara expuesta, el grabado de un anclaje mecánico y que facilite la extracción de la unidad.
- v) Estudiar otros agregados que mejoren la trabajabilidad y las características deseadas de las arcillas negras.

5.3 TRABAJOS QUE SE DEBEN CONTINUAR

1. Realizar un estudio que permita inventariar todos los bancos de arcilla existentes en el País.
2. Estudiar la materia prima que se encuentra en el territorio nacional y que pueda ser utilizada para la fabricación de esmaltes.
3. Diseñar un equipo para la humidificación de las arcillas que impida la formación de grumos y que controle la cantidad de agua de mezcla a agregar.
4. Diseñar una maquinaria que realice el prensado de los azulejos en forma ágil.
5. Realizar los estudios de factibilidad para la implementación de una planta de fabricación de azulejos que tenga como base arcilla del lugar.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

- 1/ Alegria Zelaya, N. y Zamora Millan, F. (1975).
Instructivo de laboratorio para Geotecnia.
Impreso en la Universidad Autónoma de México.
Primera Parte.
- 2/ Bowles, Joseph E. (1981). Manual de Laboratorio de
Suelos en Ingeniería Civil. Editorial Mc Graw-Hill.
Segunda Edición. México.
- 3/ Dudal, R. (1967). Suelos Arcillosos Oscuros de las
Regiones Tropicales y Subtropicales. Impreso por la FAO.
Primera Edición. Italia.
- 4/ Instituto Geográfico Nacional "Ing. Pablo Arnoldo
Guzmán". (1979). Atlas de El Salvador. Impreso en
los Talleres Litográficos del I.G.N.. Tercera
Edición. El Salvador.
- 5/ Juárez Badillo-Rico Rodríguez. (1974). Mecánica de los
Suelos. Tomo I. Editorial Limusa. Segunda Edición.
México.
- 6/ Kirk, Raymond E.-Othmer, Donald F.. (1961).- Enciclopedia
Tecnología Química. Tomo II. Editorial Uthea. Primera
Edición en Español. México.

- 7/ Laguna Morales, Jorge. (1986). Folleto de la Cátedra de Geología. Impreso en la Universidad Rodrigo Facio. Costa Rica.
- 8/ Ministerio de Cultura y Comunicaciones. (1986). Geografía de El Salvador. Impreso en los Talleres Litográficos del Ministerio de Cultura y Comunicaciones. El Salvador.
- 9/ Morán Castro, Sergio. (1983). Iniciación a la Geotecnia. Universidad de Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología. Costa Rica.
- 10/ Norton, F. H.. (1973). Cerámica para el Artista Alfare-ro. Compañía Editorial Continental S.A.. Novena Edición en Español. México.
- 11/ Quiros, B. A. y Clinton Bourne, W.. (1960). Mapa de Levantamiento General de Suelos de El Salvador. Impreso por Lud Dreikorn. Primera Edición. El Salvador. Cuadrante 2656 IV. Santa Rosa de Lima.
- 12/ Rico N., Miguel Angel. (1974). Las Nuevas Clasificaciones y los Suelos de El Salvador. Editorial Universitaria. UES. Primera Edición. El Salvador.
- 13/ Tchebotarioff, Gregory P.. (1967). Mecánica de Suelos Cimientos y Estructuras de Tierra. Editorial Mc Graw-Hill, Book Company, Inc.. Impreso en España por Talleres Gráficos Montaña. Madrid.

ANEXOS

ANEXO No. 1

ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS NEGRAS
DE PASAQUINA REALIZADO POR EL C.I.G.

CIG

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

CALLE A LA CHACRA, COSTADO OTE. TALLERES "EL CORO"

3 de octubre de 1991.

1-910010-012

Ing. Víctor Manuel Figueroa Morán
Director de la Escuela de Ingeniería
Civil de la Universidad de El Salvador
Presente

Por medio de la presente le remito el informe con los resultados de unos ensayos químicos practicados a muestras de arcilla negra, procedente del Municipio de Pasaquina, Departamento de La Unión.

Sin otro particular, le saludo atentamente.



Geólogo Carlos E. Aguilar
Subdirector

mesder.-

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LABORATORIO DE QUIMICA

REPORTE DE ENSAYOS QUIMICOS:

MUESTRAS:

- 1.- Arcilla Negra de Pasaquina
Pto. Nº 1. 1.5-2mt. Golpes 122
- 2.- Arcilla Negra de Pasaquina
Pozo Nº 2 H:0.0-0.5mt. Km. 200
- 3.- Arcilla Negra de Pasaquina
Pozo Nº 5 H:0.0-0.5mt. Cantón Talpetales.
- 4.- Arcilla Negra de Pasaquina
Pto. Nº 5. H:1.50-2.0m. Cantón Talpetales
- 5.- Arcilla Negra de Pasaquina
Pozo Nº 6 H:00-0.5m.
Km. 94.5 Panamericana.

ENSAYOS

SOLICITADOS:

Determinación de:

Dióxido de silicio (SiO_2), óxido férrico (Fe_2O_3),
óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de calcio (CaO),

óxido de magnesio (MgO), óxido de sodio (Na_2O),
óxido de potasio (K_2O), óxido mangánico (Mn_2O_3)
y dióxido de titanio (TiO_2).

SOLICITADO POR: Ing. Victor Manuel Figueroa Morán, Director de
la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universi-
dad de El Salvador.

MÉTODOS DE

ANÁLISIS:

Espectrofotometría de absorción atómica.

Código de

Laboratorio:

1.- 91050

2.- 91051

3.- 91052

4.- 91053

5.- 91054

FECHA:


Octubre 01, de 1991.

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO:

COMPOSICION % P/P.	Nº MUESTRAS				
	91050	91051	91052	91053	91054
SiO ₂	46.44	47.09	51.35	44.88	45.29
Al ₂ O ₃	7.65	8.31	8.82	9.53	13.32
Fe ₂ O ₃	12.41	12.58	10.98	8.31	14.07
CaO	0.09	0.11	0.20	0.15	0.03
MgO	1.76	2.15	1.78	2.88	2.48
Na ₂ O	1.20	1.35	2.91	2.74	0.90
K ₂ O	0.79	0.48	0.79	1.20	0.94
Mn ₂ O ₃	0.36	0.80	0.52	0.20	0.95
TiO ₂	0.82	1.13	1.20	0.95	1.26

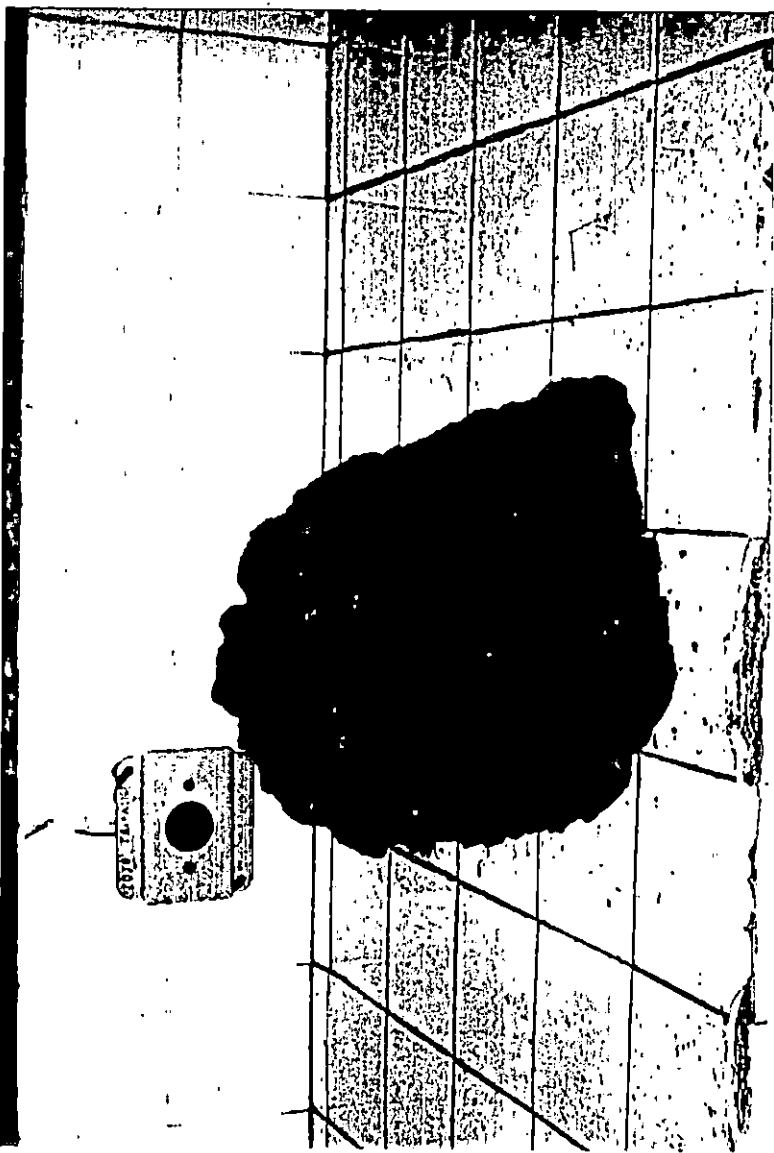
Atentamente,



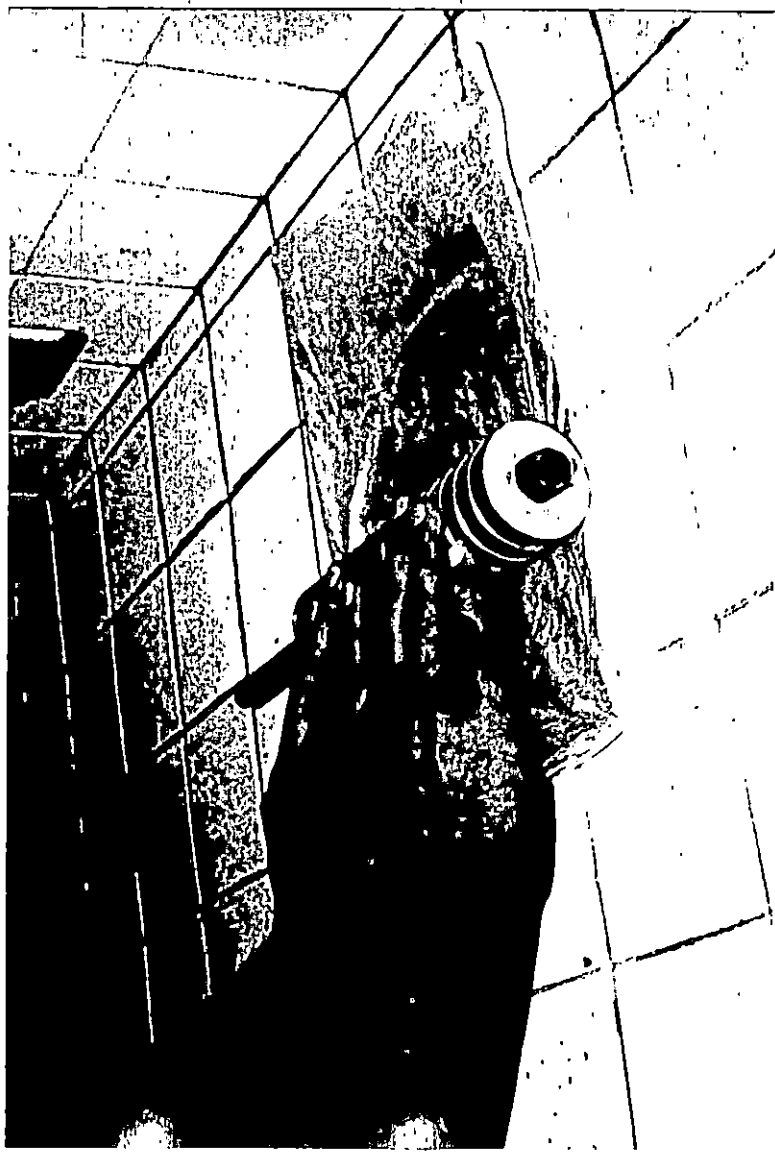

Ing. Daniel Antonio Hernández Flores
Jefe Departamento de Geología

ANEXO No. 2

PROCEDIMIENTO ILUSTRADO CON FOTOGRAFIA
EN LA ELABORACION DEL AZULEJO



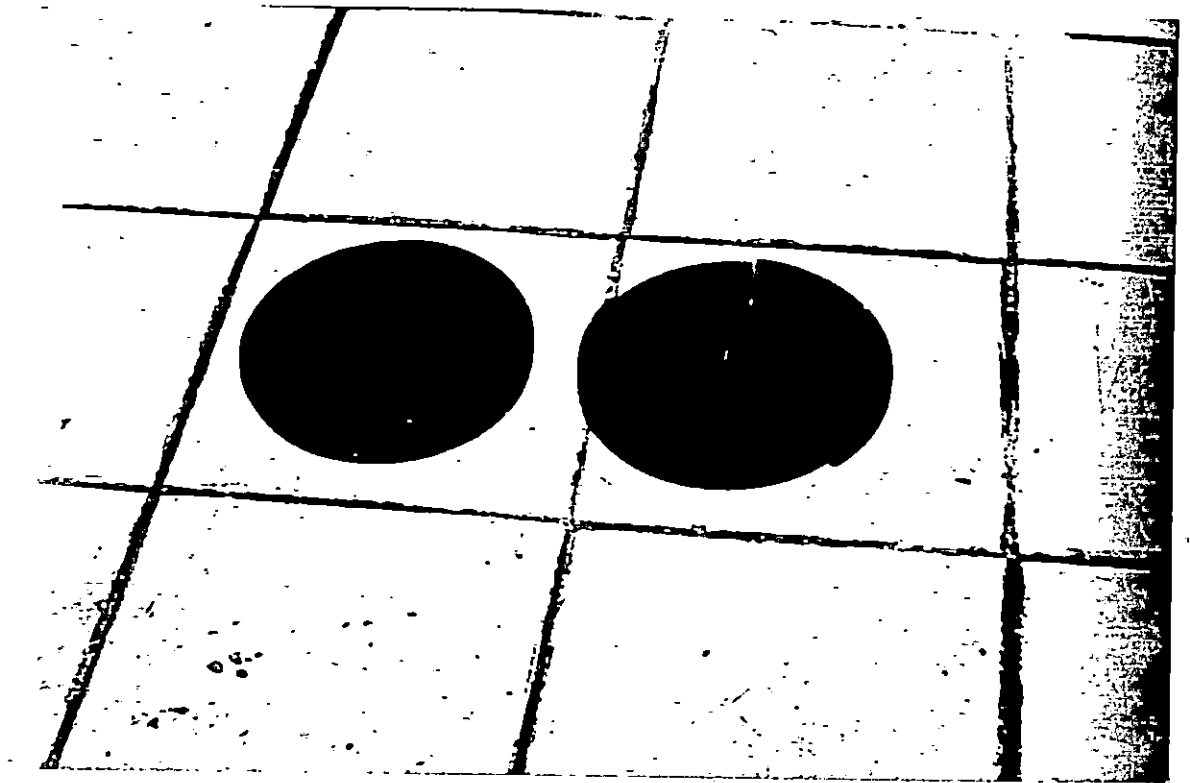
ARCILLA NEGRA DE PASAQUINA EN ESTADO NATURAL



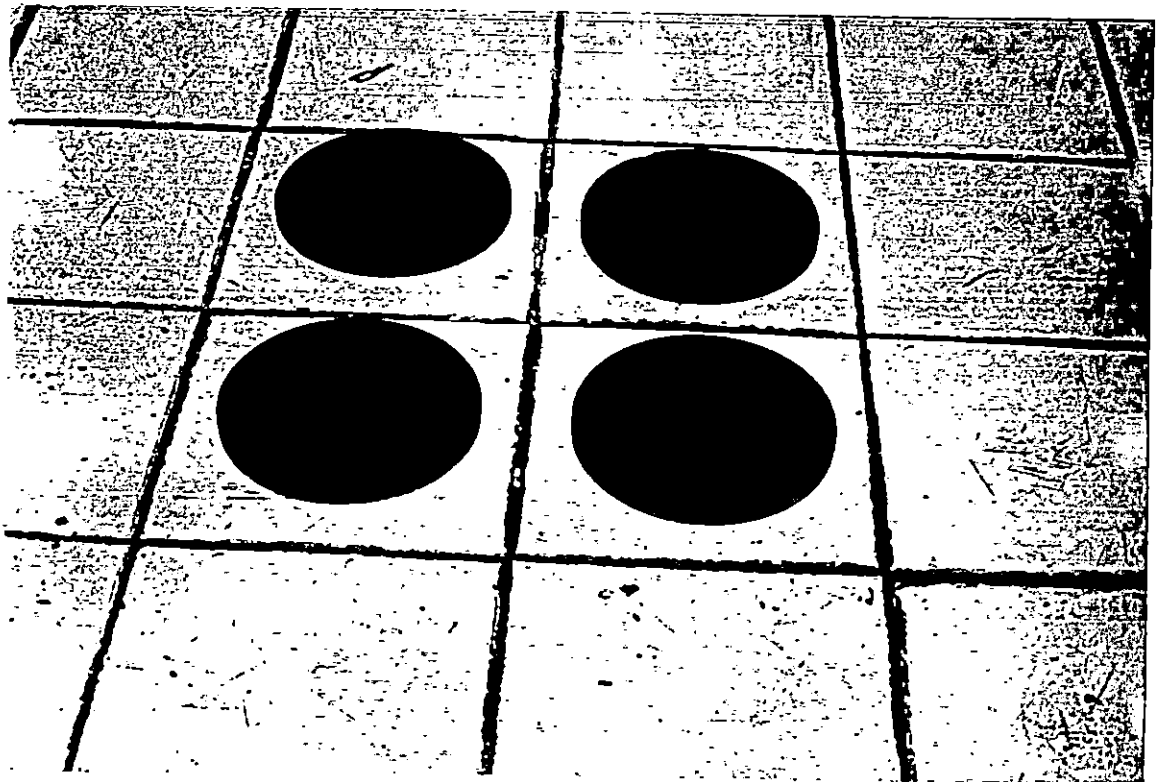
AMASADO DE LA ARCILLA CON RODILLO RIGIDO



MUFLA UTILIZADA PARA LA QUEMA DE ESPECIMENES
DE PRUEBA



FALLAS DE CUARTEO Y AGRIETADO EN ESPECIMENES DE PRUEBA

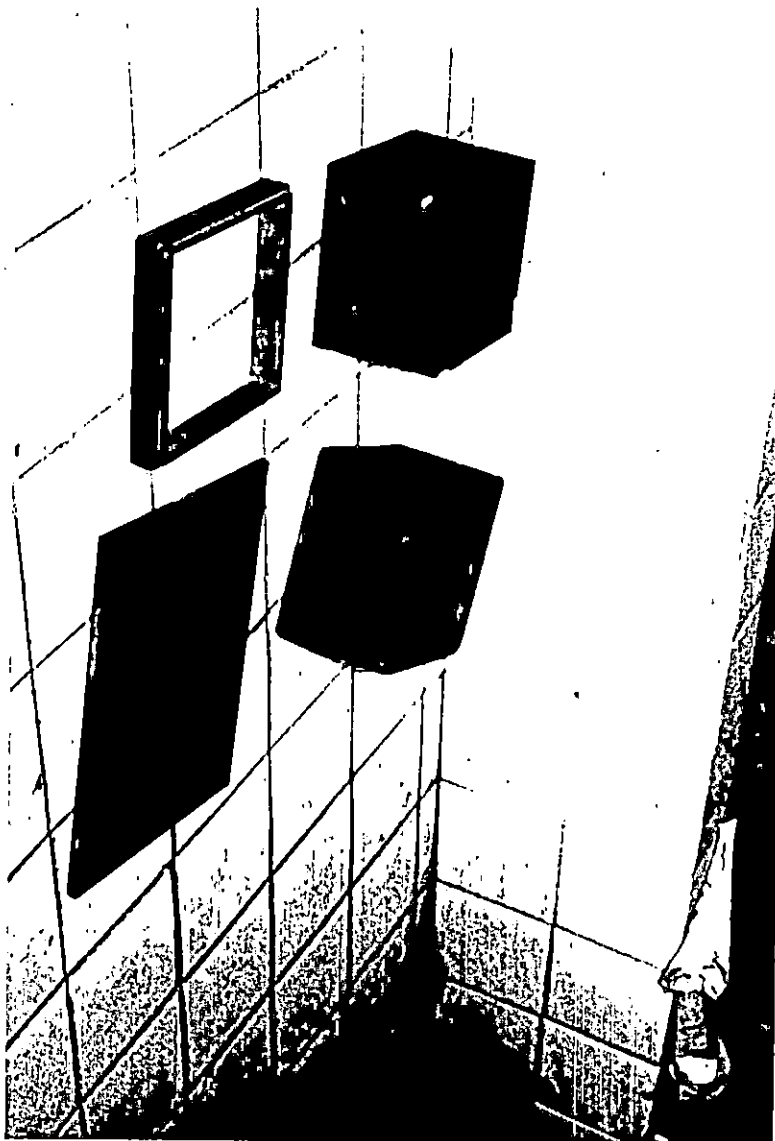


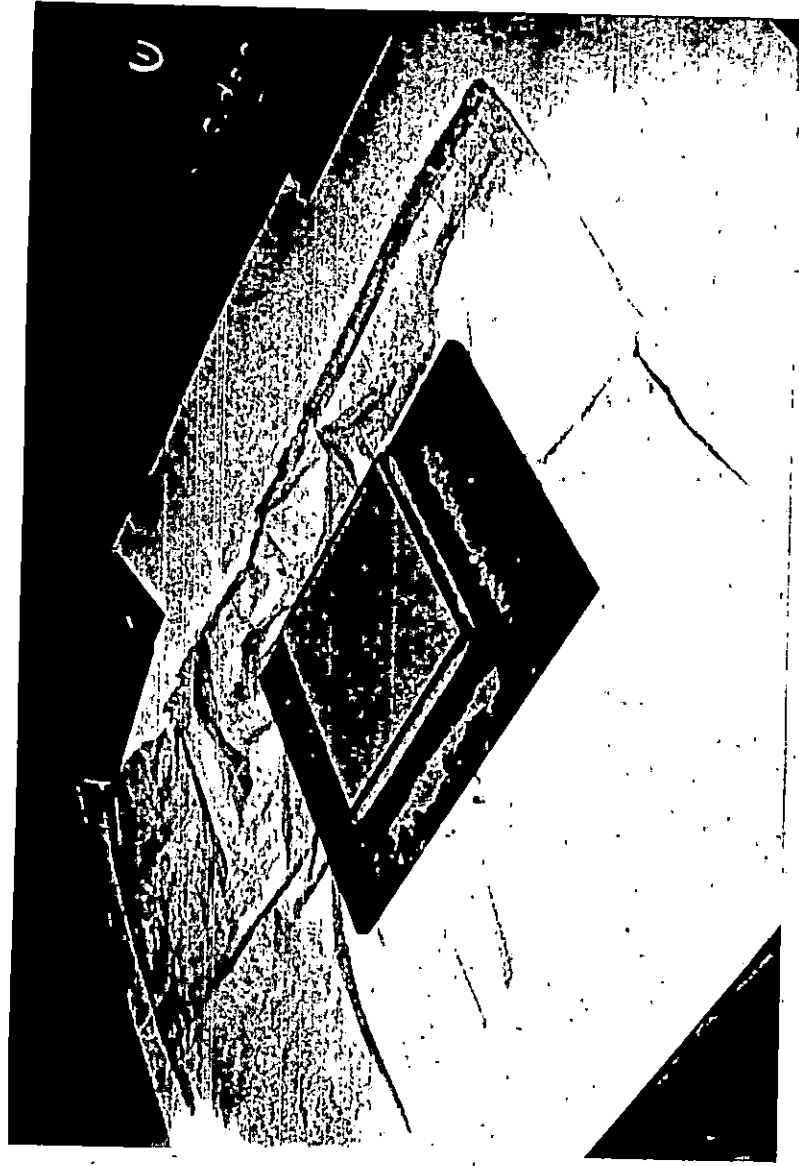
ESPECIMENES QUE CONTIENEN FELDSPATO QUEMADO A 1000 °C

ENFRASADO DEL MOLDE CON ARCILLA



MOLDE DE ACERO DE 14X11 CMS.



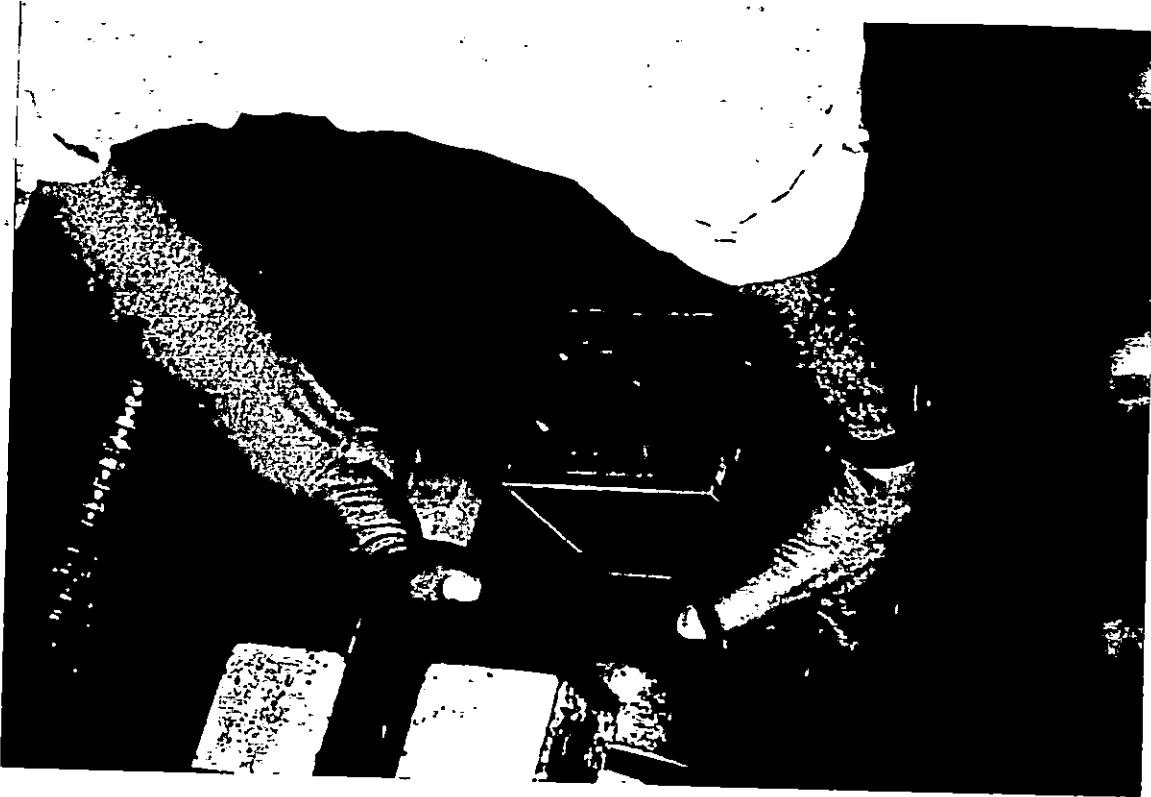


MOLDE ENRASADO

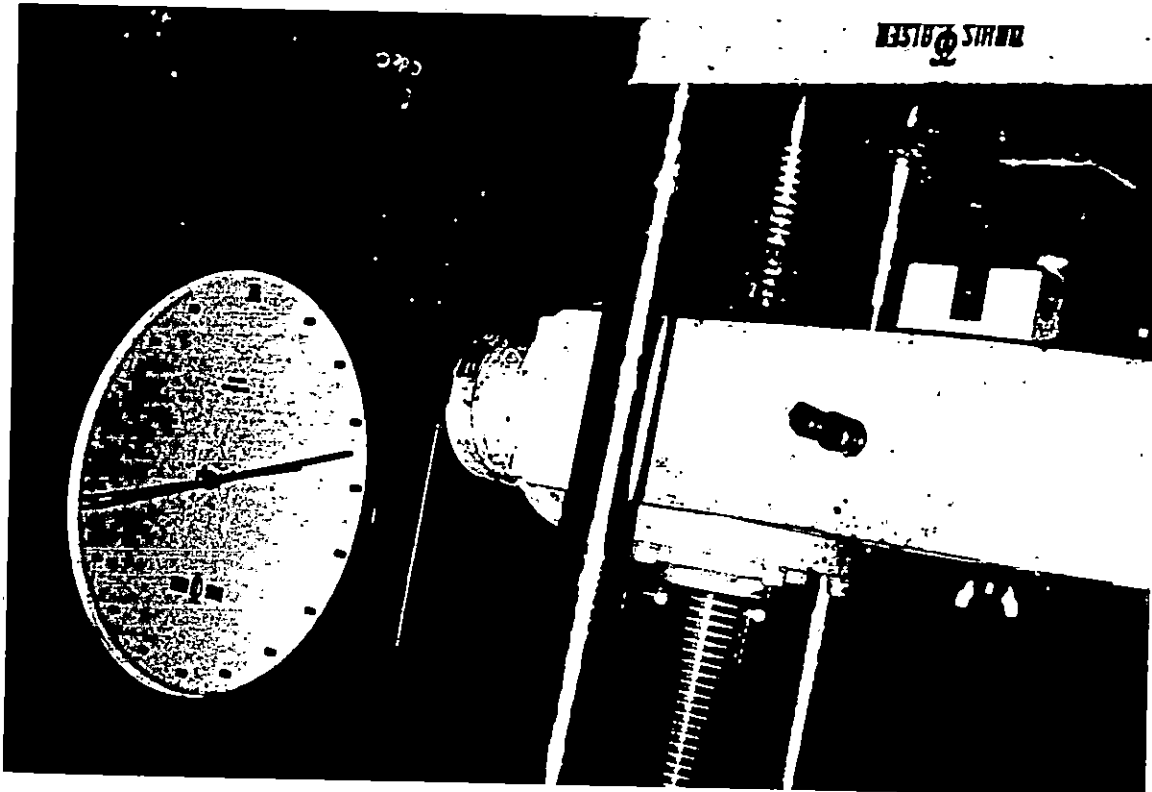


COLOCACION DEL PISTON QUE TRANSMITE LA CARGA

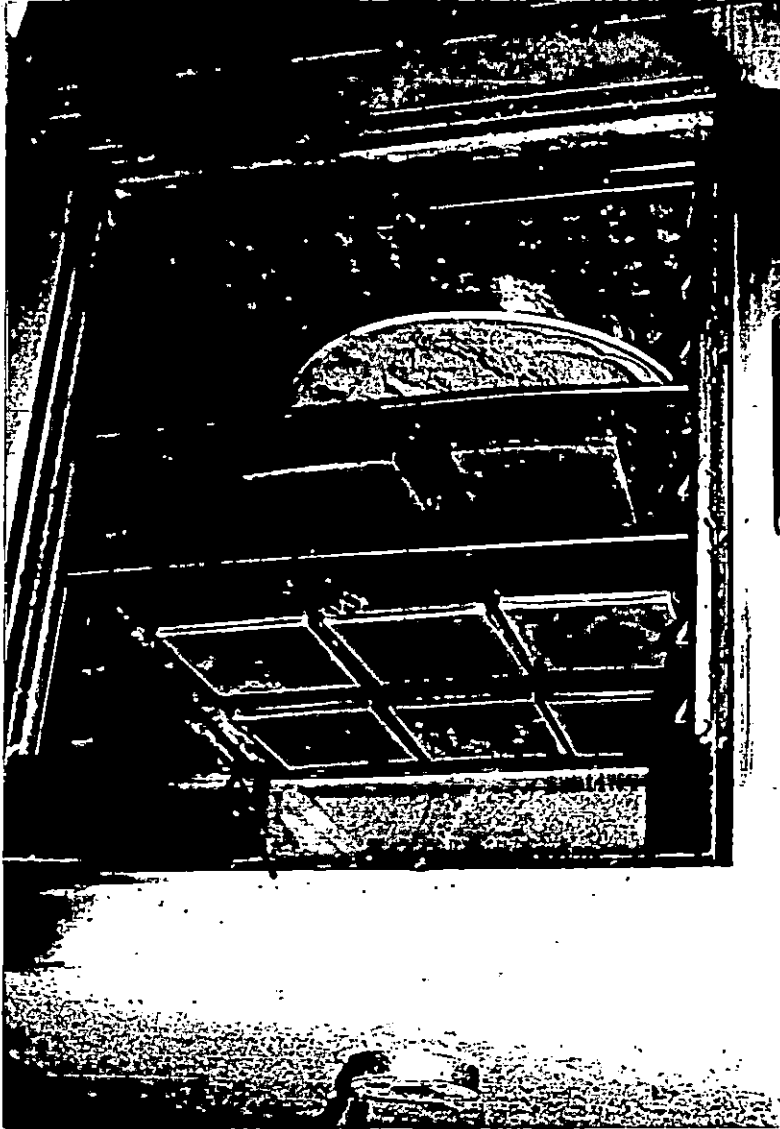
EXTRACCION DEL AZULEJO

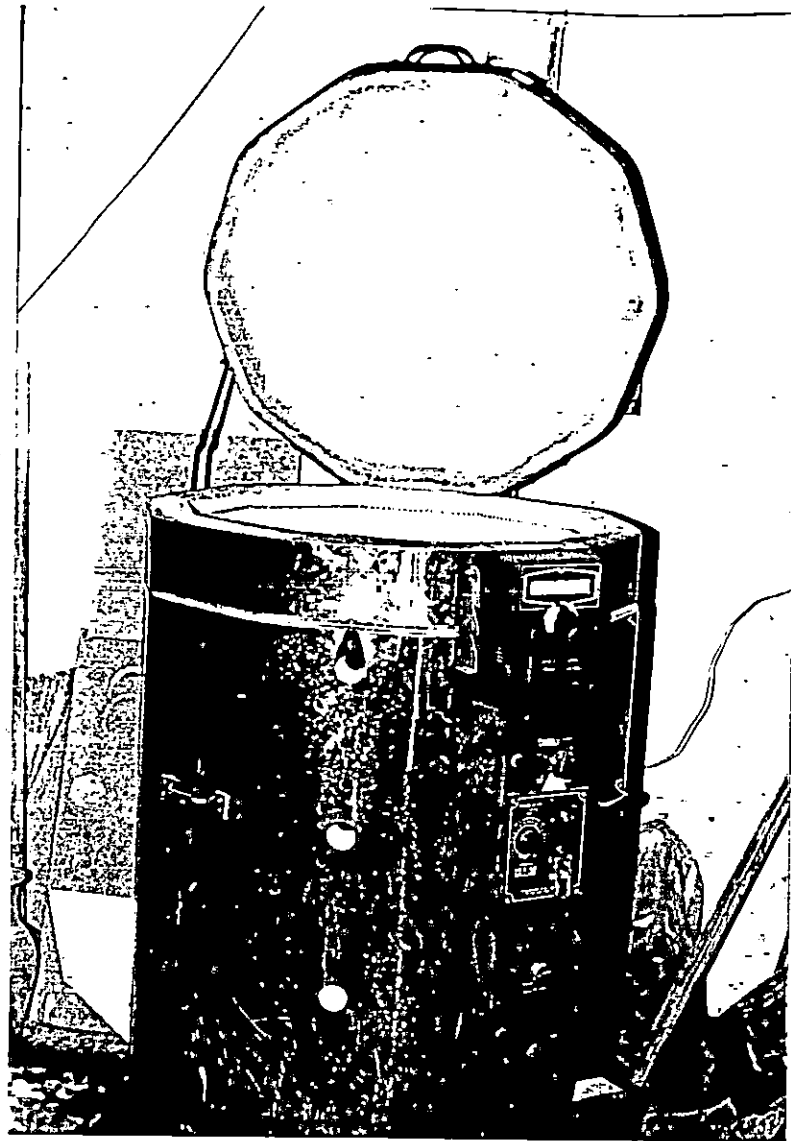


MAQUINA TINIUS HOLSSEN CARGANDO LA ARDILLA

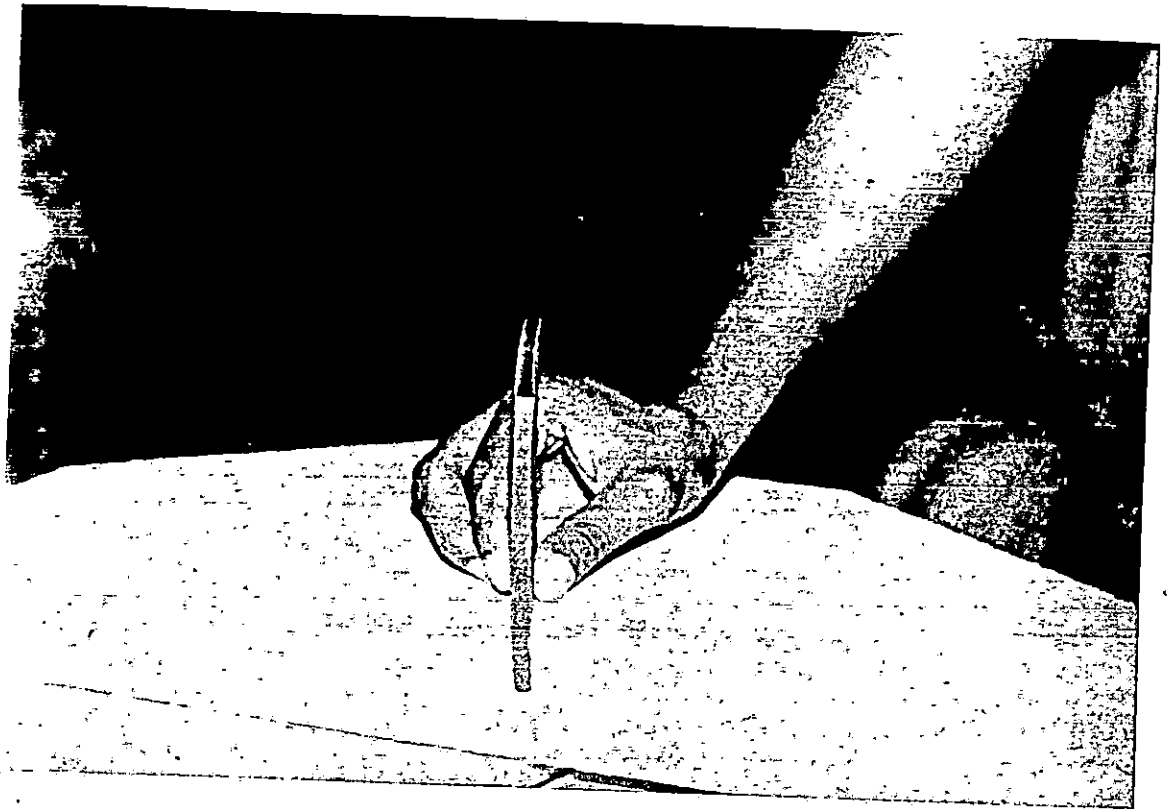


HORNO UTILIZADO PARA EL SECADO DE LA ARCILLA Y DE
LOS AZULEJOS





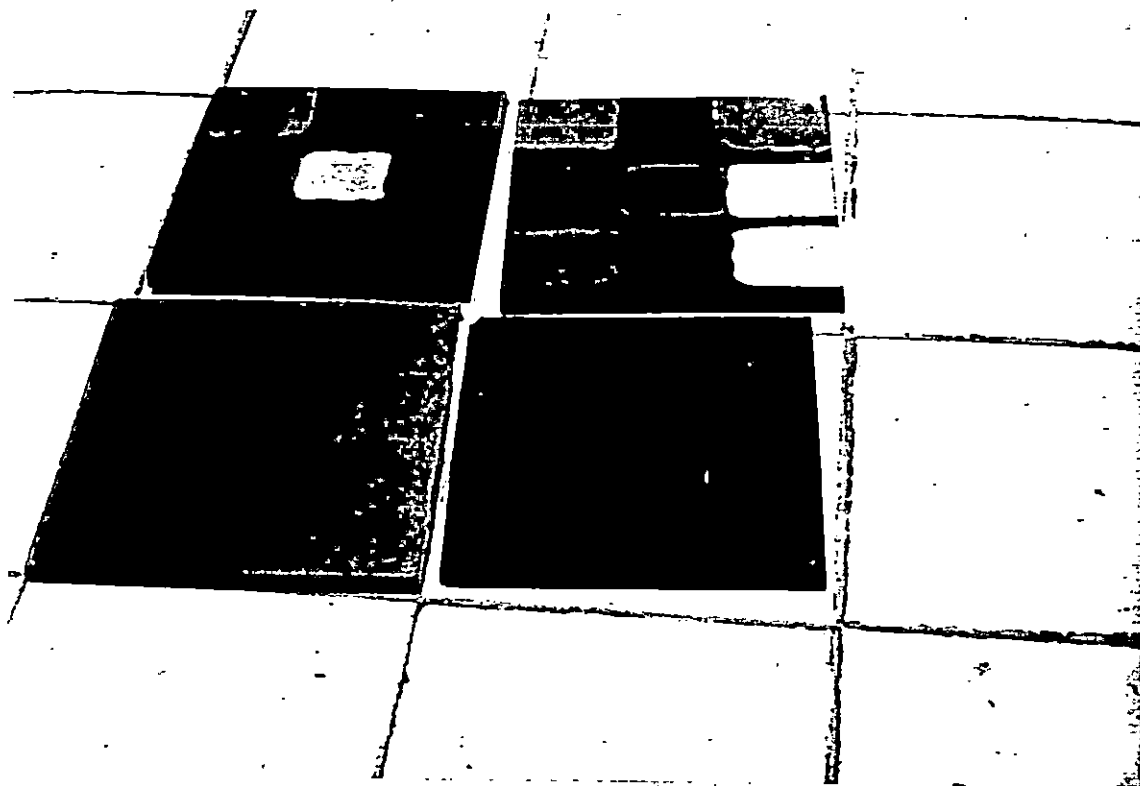
HORNO USADO PARA LA QUEMA DE LOS AZULEJOS



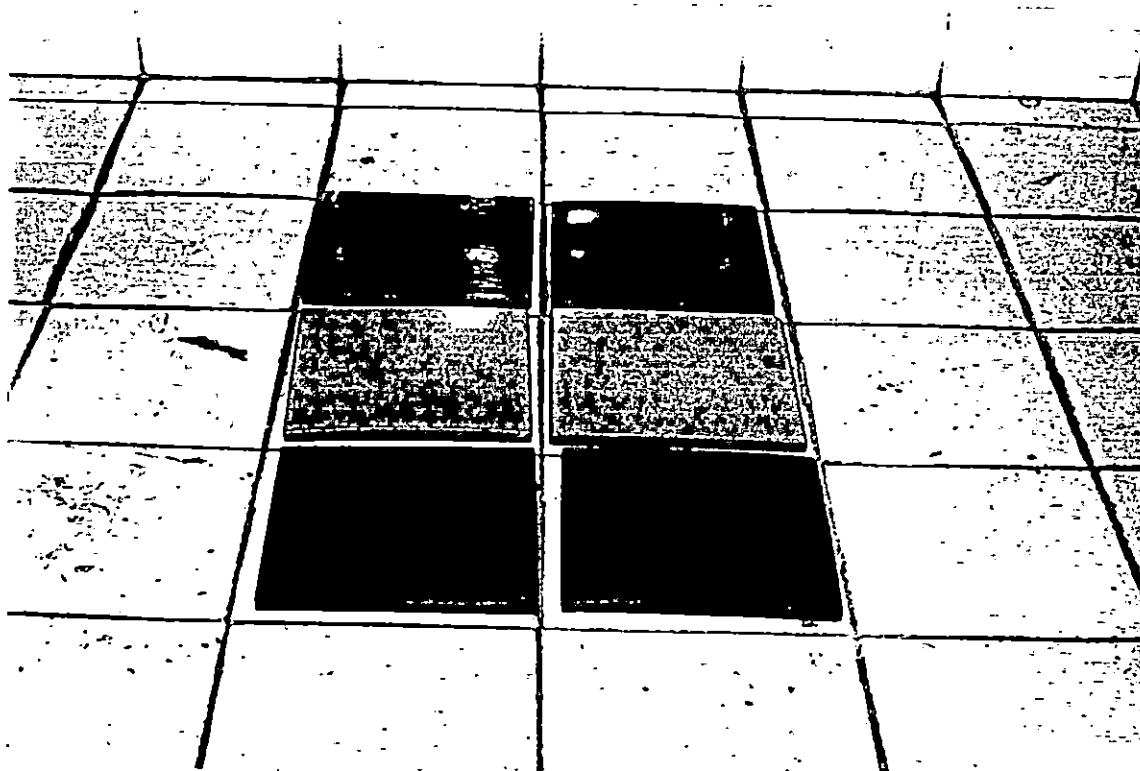
AZULEJO CON FALLA DE ENCONCHAMIENTO



APLICACION DEL BARNIZ MEDIANTE UN PINCEL PLANO



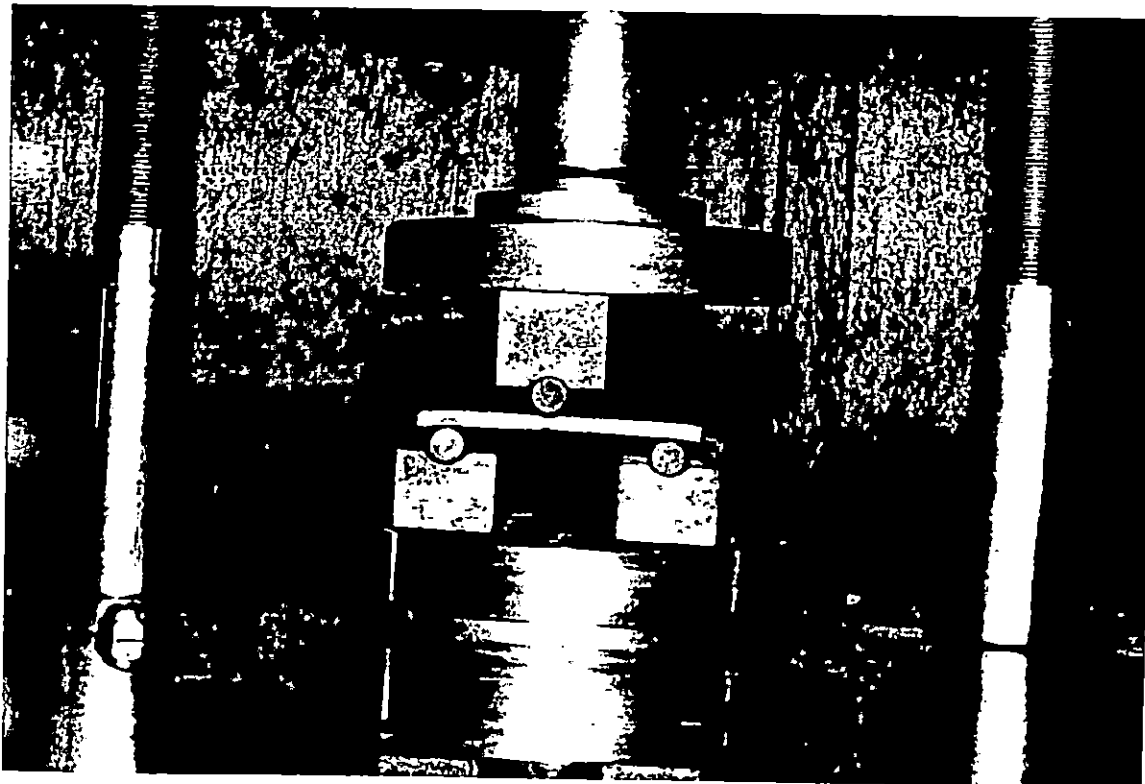
BARNICES ENSAYADOS



AZULEJOS ELABORADOS A BASE DE ARCILLA NEGRA
DE PASAQUINA



AUTORES DE ESTE TRABAJO DE GRADUACION QUE MUESTRAN
LOS AZULEJOS TERMINADOS



AZULEJO ENSAYADO POR EL METODO DE TRES APOYOS
PARA DETERMINAR EL MODULO DE RUPTURA

GLOSARIO

GLOSARIO DE TERMINOS USADOS

- AMASADO : Trabajar una pasta plástica para hacerla homogénea y para eliminar el agua.
- ANFIBOLES : Silicato de cadena tetraédrica doble.
- AUTO-RETRACTIDAS : Suelos que se homogenizan por sí solos.
- CARBONATO : (Mineral) Formado por la combinación del ión complejo $(CO_3)^{2-}$ con un ión positivo. Ej. común la calcita $CaCO_3$.
- COLOIDE : Cualquier material del sistema disperso, formado de partículas cuyo diámetro es inferior a una micra.
- CONCRECIONES : Acumulación de material mineral que se forma alrededor de un centro o un eje después de que un depósito sedimentario se ha sedimentado.
- DISECCION : Efecto de erosión hídrica definida por la escorrentía superficial durante la lluvia sobre la superficie del suelo.
Carcavamiento.
- DOLOMITA : Carbonato cálcico magnésico.
- ENCOGIMIENTO : Contracción de la arcilla o pasta al secarse o durante el proceso de cocción.

- ENCONCHAMIENTO : Perder la forma original al secar la pieza, o durante la cocción.
- FELDESPATOS : Silicatos minerales compuestos de tetraedros de silicio-oxigeno y aluminio-oxigeno unidos en una red tridimensional con iones positivos encajados en dos intersecciones de red de tetraedros cargados positivamente.
- FUNDENTE : Agregado que ayuda a la fusión.
- HORIZONTE A : Capa superficial del suelo que ha adquirido rasgos distintivos por los procesos de formación. Su color es de gris a negro debido a las cantidades variables de materia orgánica generalmente.
- HORNBLENDA : Silicato mineral ferromagnesiano que forma rocas, que tiene doble cadena de tetraedros de silicio-oxigeno. Una anfibola.
- HUMUS : Materia orgánica de máximo grado de descomposición química.
- INTEMPERISMO : Es el resultado de procesos mecánicos y químicos en o cerca de la superficie terrestre, cuando los minerales originales (primarios) se descomponen y se forman otros (secundarios).

- LAHARES : Lodo de origen volcánico.
- LIXIVIACION : Remover material soluble por lavados.
- MATERIAL PARENTAL: Material no alterado que da origen a otro.
- MEDIOS ALCALINOS : Característica del suelo en el que PH es menor que 6.0.
- MICRORELIEVE : Resultado del proceso efusivo del agua de escorrentía superficial que desarrolla el proceso mecánico erosión-transporte-sedimentación.
- OXIDO DE SILICIO : Se encuentra abundantemente en la naturaleza, como cuarzo.
- PERCOLACION : Separación de los sólidos en suspensión de una sustancia.
- PIRITA : Es un sulfuro mineral. Sulfuro de hierro. $Fe S_2$.
- PIROXENO : Son silicatos, de estructuras cristalinas: los tetraedros de SiO_4 están unidos con otros formando cadenas sencillas.
- REFRACTARIO : Material con un alto punto de fusión, empleado en hornos y accesorios de éste.

- ROCA IGNEA : Agregado de silicato minerales entrelazados. formados por el enfriamiento y solidificación del magma.
- ROCA METAMORFICA : "Roca que cambió de forma" cualquier roca que despues de su formación original sufrió cambios en su textura o composición por efecto del calor, la presión o fluidos quimicamente activos.
- SALINIZACION : Proceso de lixiviación de contenidos de sal del ambiente salino a suelos advacentes.
- SECAR : Eliminar la humedad (bajo 110°C).
- SEDIMENTACION : Proceso mediante el cual se asienta la materia orgánica y la mineral.
- SEDIMENTOS LACUSTRES : Suelo transportado que descansa en el fondo de los lagos y lagunas.
- TOBA : Roca formada de fragmentos piroclásticos compactados de espesores mas o menos gruesos, de tonos blancos a gris claro, son ditinquibles a simple vista. El equivalente no compactado es la ceniza.
- VITRIFICAR : Cristalizar las particulas de arcillas.