

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil



**“Diseño de Taludes en
Obras de Tajo Abierto”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES

Lima - Perú - 1990

A mis padres José y Nelly
por su fatigada labor en
hacer de mí, un hombre de
bien.

A Jully, Gina, Charo, Coco,
Ceci y Vero mis hermanos.

A Pepita mi dulce esposa
por su apoyo moral e
incondicional.

A mi hijito Andrés por
sus innumerables horas
de juego, que me ha
brindado para culminar
mi trabajo.

AGRADECIMIENTO

Quiero aprovechar estas líneas para brindar mi más profundo agradecimiento al Dr. Jorge Alva Hurtado por el asesoramiento prestado en la exitosa culminación de la presente tesis.

Asimismo un agradecimiento especial al Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres-CISMID por haberme permitido el empleo de los equipos y ambientes del Laboratorio Geotécnico.

Un agradecimiento al personal de campo de la Fábrica de Cemento Andino por su valiosa y desinteresadamente colaboración.

A la Srta. Mariza Pedemonte Inoñán por su eficiente trabajo de mecanografiado

Al Sr. Denys Parra Murrugarra por su colaboración en la realización de programas de cómputo de ensayos de laboratorio.

A todas las personas que de una u otra manera, han colaborado en la realización del trabajo.

SUMARIO

La Tesis "Diseño de Taludes de Obras a Tajo Abierto" desarrolla un plan de trabajo que permite conocer las posibilidades de que ocurran deslizamientos del terreno y proporcionar la alternativa geométrica del talud. De esta manera se obtendrá el máximo aprovechamiento del material de cantera sin poner en riesgo las obras de ingeniería civil próximas al talud. .

Para dar cumplimiento a lo mencionado se consideró un plan de trabajo de campo, ensayos de laboratorio e in-situ, trabajo de gabinete y análisis de estabilidad del talud.

La parte final consideró algunas recomendaciones de diseño del tajo.

**DISEÑO DE TALUDES EN OBRAS
DE TAJO ABIERTO**

INDICE

	Página
CAPITULO I Diseño de Taludes en Obras de Tajo Abierto	
Introducción	3
CAPITULO II Plan de Trabajo de Campo	7
2.1 Topografía	8
2.2 Geología del Area en Estudio	10
2.2.1 Geomorfología	10
2.2.2 Geología Regional	10
2.2.3 Geología Estructural	13
2.3 Aguas Subterráneas	13
2.4 Perforaciones	15
2.5 Muestreo de Suelos	16
CAPITULO III Ensayos de Laboratorio	25
3.1 Perfiles Estratigráficos	26
3.2 Ensayos de Clasificación	29
3.3 Ensayos de Resistencia Cortante	32
3.3.1 Ensayo de Compresión No-confinada	34
3.3.2 Ensayos de Corte Directo	35
3.3.2.1 Ensayos de Laboratorio	37
3.3.2.2 Ensayo In-Situ	38
3.3.3 Resistencia a la Compresión Triaxial	42
3.3.4 Parámetro de Resistencia al Esfuerzo Cortante	46
3.4 Análisis Químicos	47
CAPITULO IV Análisis de Estabilidad	59
4.1 Empleo de Abacos	61
4.2 Equilibrio Límite	66
4.2.1 Empleo de Programas de Cómputo	77
4.2.2 TSTAB-Método de Bishop Simplificado	83

4.2.3 TSLOPE-Método de Spencer	93
4.3 Factor Sísmico	97
CAPITULO V Recomendaciones de Diseño del Tajo	130
5.1 Tendido de Taludes	134
5.2 Banquetas	140
5.3 Obras de Drenaje	143
5.4 Sistema de Vigilancia	145
CAPITULO VI Conclusiones y Recomendaciones	162
Referencias	165
Anexo 1.- Registro de Sondaje	
Anexo 2.- Ensayos Estándar de Laboratorio	
Anexo 3.- Ensayo de Compresión No-Confinada	
Anexo 4.- Ensayo de Corte Directo en Laboratorio	
Anexo 5.- Ensayo de Corte Directo In-Situ	
Anexo 6.- Ensayo de Compresión Triaxial	
Anexo 7.- Hoja de Cálculo - Empleo de Abacos	
Anexo 8.- TSTAB Bishop Simplificado / $K=0.00$ / T-2	
Anexo 9.- TSTAB Bishop Simplificado / $K=0.15$ / T-2	
Anexo 10.- TSTAB - Bishop Simplificado / $K=0.0$ / T-1	
Anexo 11.- TSLOPE - Spencer / Mecanismo de Falla	
Anexo 12.- TSLOPE - Spencer / Nivel Freático	
Anexo 13.- Sistema de Vigilancia / Angulos Vert. y Horz.	

CAPITULO I

DISEÑO DE TALUDES EN OBRAS DE TAJO ABIERTO

INTRODUCCION

El presente trabajo de Tesis se realiza con el propósito de obtener el título profesional de ingeniero, en la especialidad de Ingeniería Civil.

La zona de trabajo está ubicada en Condorcocha, distrito de Leticia, provincia de Tarma, Departamento de Junín, a 3850 metros sobre el nivel del mar; específicamente en terrenos pertenecientes a la fábrica de Cemento Andino.

La Tesis titulada "Diseño de Taludes en Obras a Tajo Abierto" tiene por objeto el desarrollar un plan de trabajo que permita conocer las posibilidades de que ocurran deslizamientos y/o asentamientos de terreno, el comportamiento de las capas arcillosas por acción del agua de lluvia, o subterránea; el diseño de cortes de explotación; las medidas preventivas consiguientes y otros aspectos a considerar en la explotación de la cantera de material empleado en la fabricación de cemento en la zona de trabajo.

Los trabajos se iniciaron en el mes de Junio del año 1987. Se programó una exploración de campo que permitió visualizar la estratigrafía, si bien no muy exacta debido a la continua explotación en que se encuentra la cantera, sí que permita obtener un frente de trabajo que describa lo más exactamente posible los tipos de suelos que la conforman. Para dar cumplimiento a esta primera etapa se consideró un plan de trabajo de campo que involucrara la topografía, la geología, la determinación de aguas subterráneas, la definición de lugares de perforación o ejecución de trincheras y por último la toma de muestras que serían remitidas al laboratorio para su posterior análisis y determinación de características básicas, así como de parámetros de resistencia para el análisis de estabilidad.

El paso siguiente es definir una gama de ensayos, tanto de laboratorio como de campo, que permita determinar parámetros de resistencia con la finalidad de evaluar la estabilidad de taludes, mediante diferentes métodos, ya sean conservadores como rigurosos. Entre estos ensayos de laboratorio, se consideró la obtención de perfiles estratigráficos, ensayos de clasificación, ensayos de resistencia y análisis químico. Los ensayos de campo están referidos a los ensayos de corte directo in-situ, para lo cual se diseñó un equipo que se describe en este trabajo.

Posteriormente el trabajo contempla la alternativa de diseño más adecuada. El análisis de estabilidad se realizó mediante el empleo de ábacos y equilibrio límite, considerando el método Simplificado de Bishop y Spencer. Asimismo se ejecutó el análisis del talud considerando el factor sísmico.

Finalmente el trabajo plantea un diseño del tajo considerando en esta etapa el tendido de taludes, banquetas, obras de drenaje y monitoreo del talud.

Se presentan Conclusiones y Recomendaciones que permitan la continuidad del trabajo o alguna otra alternativa de solución, así también se presentan Anexos y Referencias utilizadas que complementarán el trabajo.

CAPITULO II

PLAN DE TRABAJO DE CAMPO

.

Las obras de ingeniería civil, tales como, puentes, pavimentos, edificaciones, presas y otras requieren de una programación de obras que permita lograr sus objetivos eficientemente. Los trabajos de campo no están exceptuados de este proceso. Por tal motivo este capítulo inicial, ha querido referirse al trabajo de campo que toda obra debe considerar, como una de las etapas de suma importancia en el desarrollo de las obras de ingeniería.

Este capítulo titulado "Plan de Trabajo de Campo" está dividido en cinco partes topografía, geología, aguas subterráneas, perforaciones y muestreo de suelos. El desarrollo de cada una de ellas se basa en los antecedentes bibliográficos referidos a la zona de trabajo, así como en las diversas informaciones recogidas en el campo.

2.1 Topografía

La topografía de la zona puede describirse como muy accidentada debido a su ubicación y la coincidencia con la Cordillera de los Andes. La materia prima empleada en la elaboración del cemento y la continua explotación de la cantera, origina un cambio constante en la topografía de la zona de trabajo (ver Foto 2.1).

El plano mostrado en la Figura 2.1 corresponde al levantamiento topográfico realizado en la zona, donde se aprecia parte de las instalaciones de la fábrica de Cemento Andino y la cantera de materia prima que viene siendo explotada. Nótese la chancadora y faja transportadora muy próximas a la cantera. También la cuadrícula nos permite obtener la orientación del plano, así como la ubicación de puntos importantes mediante coordenadas.

Los cortes transversales permiten obtener una idea clara de los perfiles transversales de la cantera. Tres de los cortes (A, B y C) corresponden a las trincheras de trabajo que se explican en la parte 2.3 de este capítulo. Las curvas de nivel, en la parte inferior del plano, se incrementan debido a la presencia del Cerro Palo, constituido por roca Caliza.

La ubicación de los silos, próximos a la cantera explotada, es un detalle a tener en cuenta a lo largo del desarrollo de esta tesis.

La Figura 2.2 muestra el corte 1-1 correspondiente al perfil transversal cuyo plano vertical pasa por el eje de la cantera en estudio. Se aprecia una vista frontal del talud a analizar. Asimismo los cortes A, B y C son mostrados en las Figuras 2.3, 2.4 y 2.5 respectivamente, las que corresponden a las trincheras. Las Figuras 2.3 y 2.5 muestran el perfil coincidente con las trincheras T-1 y T-3 que cruzan la faja transportadora del material chancado de caliza y el material de cancha respectivamente.

La Figura 2.4 muestra el perfil coincidente con la trinchera T-2, que es la más importante. El perfil indicado cruza a los silos, por lo que éste será de gran utilidad en los cálculos de estabilidad de taludes que se presentarán en el Capítulo IV.

En las tres figuras se puede apreciar la distribución de los materiales, tales como: travertino, intrusivo y caliza, predominantes en la zona, que y constituyen la materia prima en la fabricación del cemento.

2.2 Geología del Area en Estudio

2.2.1 Geomorfología

La zona en estudio se ubica en una Altiplanicie. Esta unidad geomorfológica tiene un ancho de 50 Km. y altura variable entre 3,800 y 4,500 m.s.n.m. Las cumbres forman la superficie Puna, que es donde específicamente se encuentra el área en estudio. Existe una pobre vegetación, clima frígido y mayores precipitaciones pluviales entre Noviembre y Abril.

El área tiene forma de penillanura con poca pendiente y rumbo Este-Oeste. Hacia el sur existe un macizo rocoso calcáreo del Grupo Pucará y hacia el norte un stock plutónico de granodiorita. El drenaje es dentrítico.

2.2.2 Geología Regional

La serie Mesozoica suprayace una serie calcárea del Triásico-Liásico e infrayace a los sedimentos Capas Rojas que llegan al Terciario Inferior-Medio. También se notan anticlinales donde aflora el Paleozoico.

Las primeras calizas mesozoicas indican un período de extensa sumersión marina con depositación sobre los esquistos del Grupo Excelsior y del Grupo Mitu. Desde el Triásico Superior hasta el Jurásico ocurrió sedimentación continua originando el Grupo Pucará. Luego ocurre un levantamiento que origina el Geoanticlinal del Marañón, produciendo dos cuencas. En la zona (cuenca occidental), desde el Cretáceo Inferior-Superior se acumulan sedimentos de arenisca que forman el Grupo Goyllarizquisga; y luego por hundimiento de la cuenca se depositan calcáreos de la Formación Chulec, Pariatambo y Celendín.

A comienzos del Cretáceo Superior ocurre la primera fase de la orogenia andina, produciéndose un levantamiento de la cuenca de sedimentación y la formación de plegamientos y fallamientos. Luego ocurre una erosión profunda de los macizos levantados, produciéndose las Capas Rojas.

En el área en estudio también existen sedimentos del Grupo Tarma, Mitu y Excelsior del Paleozoico Medio-Superior y un stock plutónico granodiorítico emplazado en el Terciario Medio-Superior.

Además, en el área existen dos depósitos cuaternarios importantes, formados probablemente durante la etapa de glaciación. El depósito cuaternario glacial se encuentra en el área de Condorcocha y el depósito cuaternario calcáreo se encuentra en el área de la fábrica de cemento y está siendo utilizado comercialmente para la fabricación de cemento.

El depósito calcáreo terroso fue formado en ambiente lagunar, recibiendo aportes de las calizas circundantes al depósito. Los aportes se realizaron por etapas, dando como resultado la maduración del depósito lagunar y su posterior colmatación. Este depósito se le conoce localmente como Shinca. En cada evento las partes más superficiales del depósito sufren un proceso de disolución química, dando como resultado la formación de tufos calcáreos y/o travertinos. En la profundidad solo se produjo la desintegración de los componentes calcáreos, dando lugar a la formación del depósito calcáreo terroso denominado creta.

El mapa geológico regional se presenta en un mapa a escala 1:25,000. Este mapa fue preparado por el Ing. J. Guzmán de Cemento Andino, en base al Mapa inédito de Francois Megard a la escala 1:100,000 del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

2.2.3 Geología Estructural

En la trinchera realizada en este estudio se han encontrado tres fracturas, que no han tenido desplazamiento visible. Estas fracturas tienen un ancho de 1 cm. y parecen haberse producido después de formado el depósito calcáreo, producto de la lenta emersión de los Andes en el Cuaternario.

Se han determinado regionalmente que la mayor parte de las deformaciones de la superficie de las altiplanicies han ocurrido durante las orogénias andinas Quechua e Incaica en el Terciario Medio-Superior, dando lugar a plegamientos y fallamiento inversos de rumbo NW-SE, en la dirección de los Andes.

2.3 Aguas Subterráneas

Debido a las grandes precipitaciones que ocurren y a la baja permeabilidad de los materiales que conforman la zona de estudio, se origina un lento drenaje del agua y consiguientemente abatimiento de la napa freática. La Foto 2.2 muestra la cantera, en cuya parte inferior se aprecia

la presencia de agua localizada de muy lento drenaje, tanto que las continuas lluvias impiden el drenaje en su totalidad.

Como parte del trabajo y sugerencia inmediata, se solucionó el problema mediante la colocación de drenes que corren bajo el eje longitudinal de la cantera, drenando las aguas hacia la parte sur-este de la cantera. Aliviando de esta manera el agua subterránea y superficial de la parte mas baja de la zona de trabajo. A consecuencia de las precipitaciones se puede apreciar frente a los silos y a media altura del talud, la presencia de vegetación en algunas zonas debido al agua proveniente de las lluvias que permanece a un nivel constante, como muestra la Foto 2.3. Este nivel de agua se incrementa cuando ocurren lluvias torrenciales. Es importante hacer notar que la presencia de agua es localizada y existe en la trinchera T-2 cuyo eje pasa por los silos de almacenamiento de cemento.

Se puede mencionar que el análisis de estabilidad de taludes correspondiente a la trinchera T-2, ha contemplado la localización de estos niveles de agua freática en forma conservadora, de tal manera de asegurar un análisis conservador.

2.4 Perforaciones

Con el objeto de determinar las características del subsuelo hasta la profundidad que alcanza el pie del talud, se realizaron tres trincheras con muestreo de material en el área en estudio. Las trincheras se ejecutaron manualmente con pico, pala, barreno y barretilla, permitiendo la eliminación de la superficie contaminada. Las secciones transversales de las trincheras T-1, T-2 y T-3 se aprecian en las Figuras 2.3, 2.4 y 2.5, respectivamente. La trinchera tiene una altura aproximada de 40 m. y una sección transversal con 0.50 m de ancho y de 0.40 a 0.45 m de fondo. Cada una de las trincheras va desde la corona hasta la base del talud por donde pasa el eje de la cantera. Las trincheras son discontinuas debido a que son cortadas por vías de acceso que llegan a los puntos más bajos de la cantera; esto origina la división en zonas a cada trinchera; a su vez cada zona está compuesta por diferentes estratos de los cuales se tomaron muestras para ser ensayadas en el laboratorio. La Foto 2.4 muestra el detalle de un tramo de la trinchera T-2 realizado en la cantera. Esta tiene una altura aproximada de 7.50 a 8.00 m, un ancho de 0.50 m y una profundidad de 0.40 a 0.45 m. Se puede apreciar la eliminación de la superficie contaminada dejando ver la correspondiente estratigrafía, para su posterior descripción, medición de estratos y muestreo.

Para el estudio de los materiales que conforman el talud se realizaron tres trincheras distribuidas en forma aproximadamente equidistante.

2.5 Muestreo de Suelos

Con el objeto de poder determinar las propiedades físicas de los materiales, se obtuvieron muestras en cada estrato diferente del material que conforma las tres trincheras.

Inicialmente fueron concluidos los trabajos de ejecución de trinchera y luego se procedió a la descripción y muestreo de los diferentes suelos. Las tres trincheras finalizadas permitieron un muestreo simultáneo que se inició en la corona del talud hacia el pie del mismo. Se tomaron medidas de las diferentes potencias de los estratos considerando medidas relativas, siendo la corona del talud la posición 0.0 m.

Según el avance de medición de estratos se muestrearon los diferentes suelos y se colocan los materiales en bolsas plásticas debidamente etiquetados. Así también se pudo lograr muestras cúbicas inalteradas en un

total de cinco, repartidas tres en la trinchera T-2 y una para cada trinchera restante.

Las muestras preparadas para realizar el ensayo de corte directo in-situ se detalla en el Capítulo III, en la parte correspondiente a ensayos de resistencia cortante.

Las muestras alteradas e inalteradas obtenidas en el campo fueron remitidas al Laboratorio Geotécnico del CISMID para el correspondiente análisis de ensayos estándar y ensayos especiales respectivamente. Dentro de los ensayos estándar se consideró ensayos de granulometría, análisis por densímetro, ensayos de límite líquido, ensayos de límite plástico, clasificación y contenido de humedad. En cuanto a ensayos especiales se realizaron Compresión Simple, Corte Directo y Ensayo Triaxial. Se ejecutaron ensayos de análisis químicos a determinadas muestras, considerándose la determinación del pH, sales solubles y contenido de carbonatos de calcio. Los resultados de todos los ensayos realizados a las muestras extraídas en el campo, se presentan en el Capítulo III.

El número total de muestras remitidas al laboratorio fue de 61, repartidas en 22 muestras extraídas de la trinchera T-1, 28 muestras extraídas de la trinchera T-2 y 11 muestras de la trinchera T-3.

FIG. 2.1.-LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE LA ZONA DE TRABAJO.

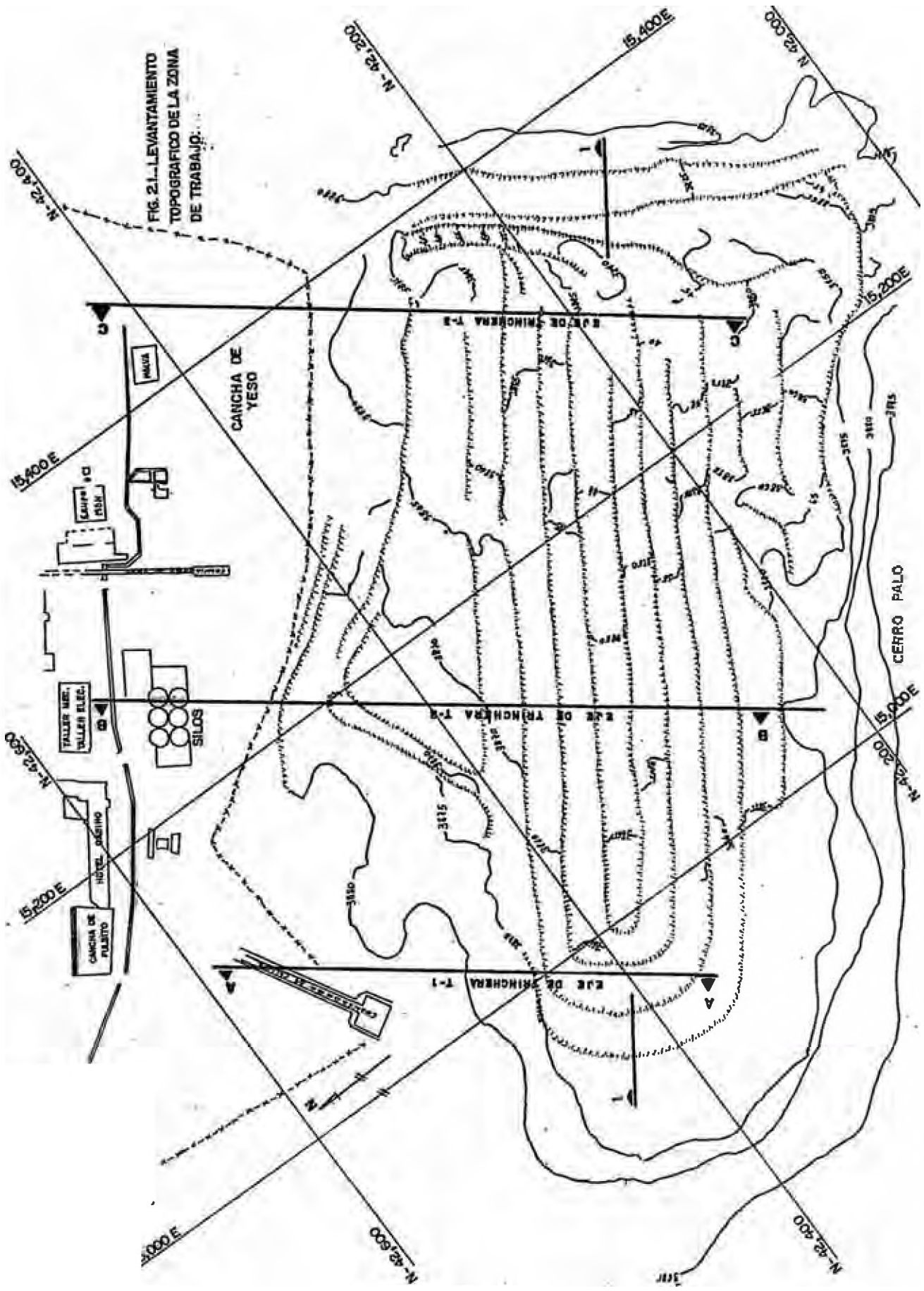


FIG.2.2 - CORTE 1-1 VISTA FRONTAL DEL TALUD

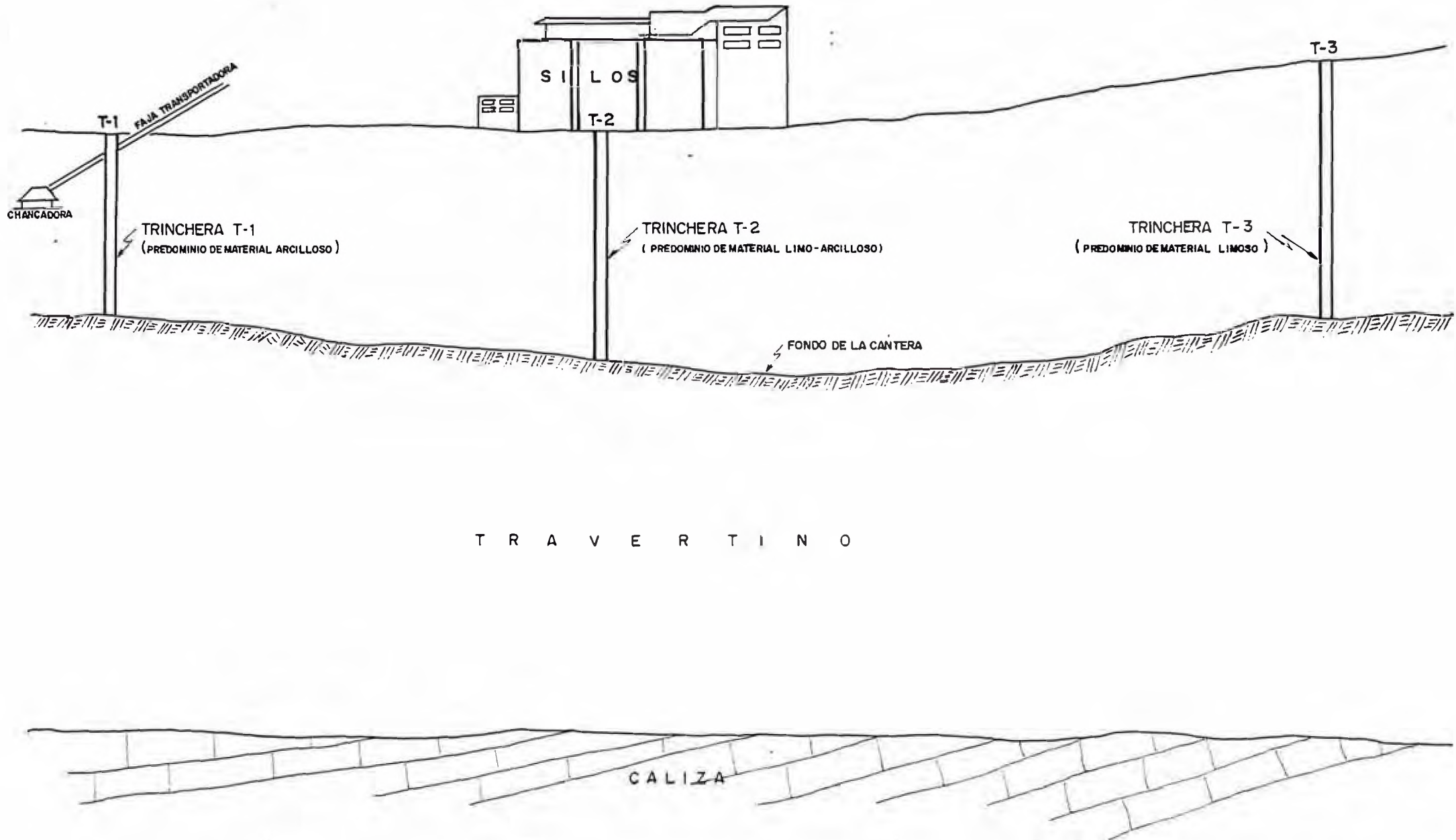


FIG. 2.3.- PERFIL TRANSVERSAL A CANIERA: 1-1 -

CORTE: A-A

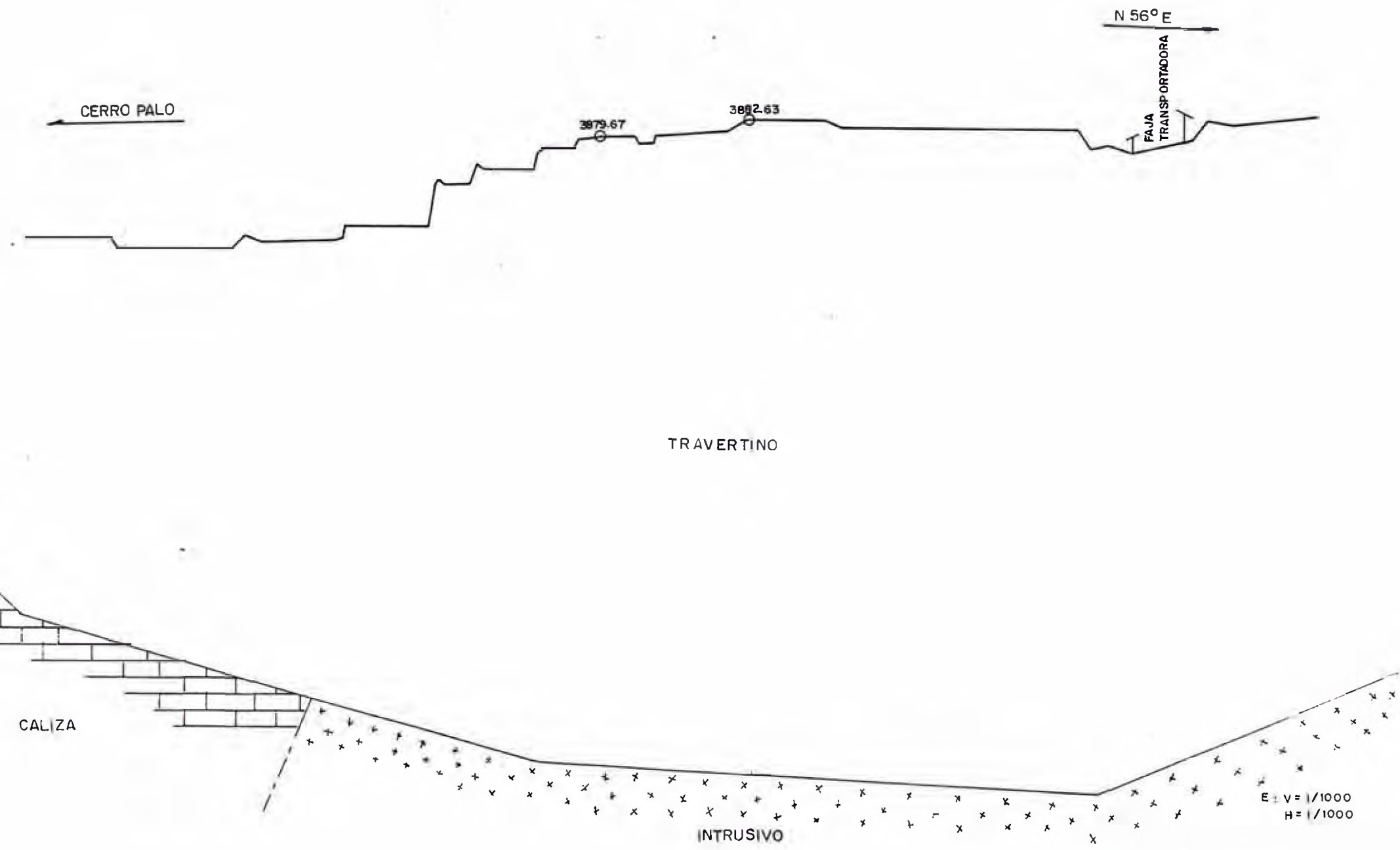


FIG. 2.4. PERFIL TRANSVERSAL A CANTERA : T-2

CORTE : B-B

N 56° E

SILLOS

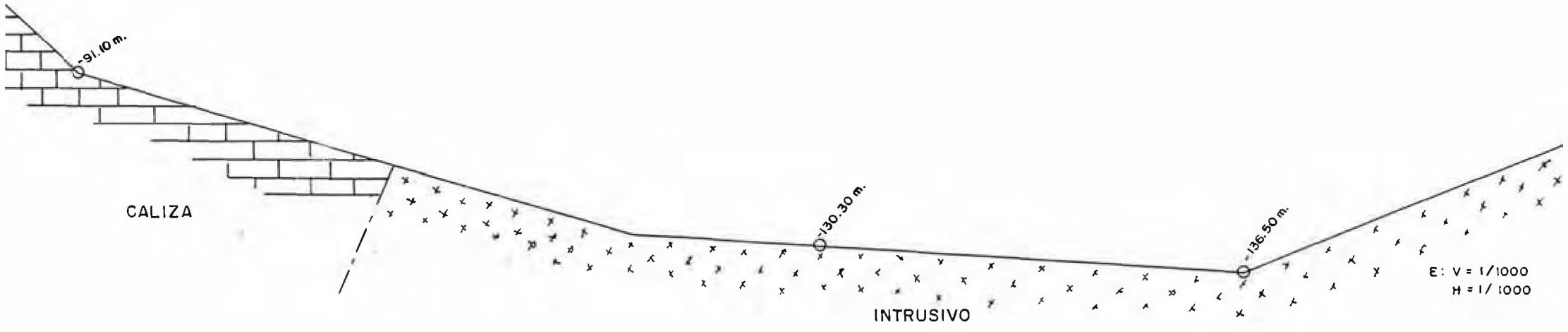
CERRO PALO

3857.18

3873.00

3885.08

TRAVERTINO



CALIZA

INTRUSIVO

E: V = 1/1000
H = 1/1000

FIG. 2.5. PERFIL TRANSVERSAL A CANTERA 1-3

CORTE : C - C

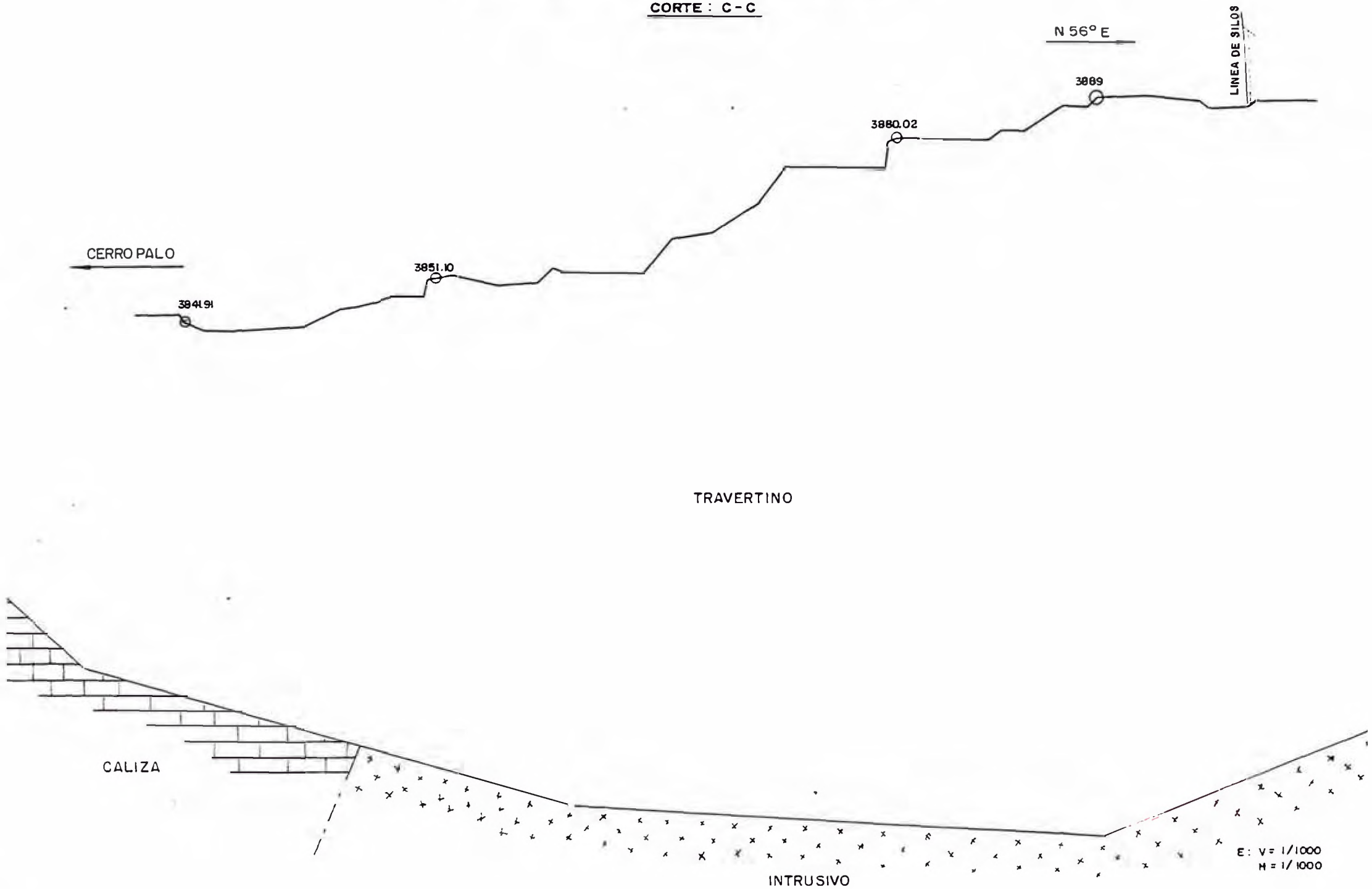




Foto. 2.1... VISTA DE LA FABRICA DE CEMENTO ANDINO Y LA CANTERA DE MATERIA PRIMA. NOTESE LA TOPOGRAFIA ACCIDENTADA DE LA ZONA DE TRABAJO. (Jun., 1987)



Foto. 2.2... SE APRECIA EL AGUA LOCALIZADA EN EL FONDO DE LA CANTERA (Jun., 1987)

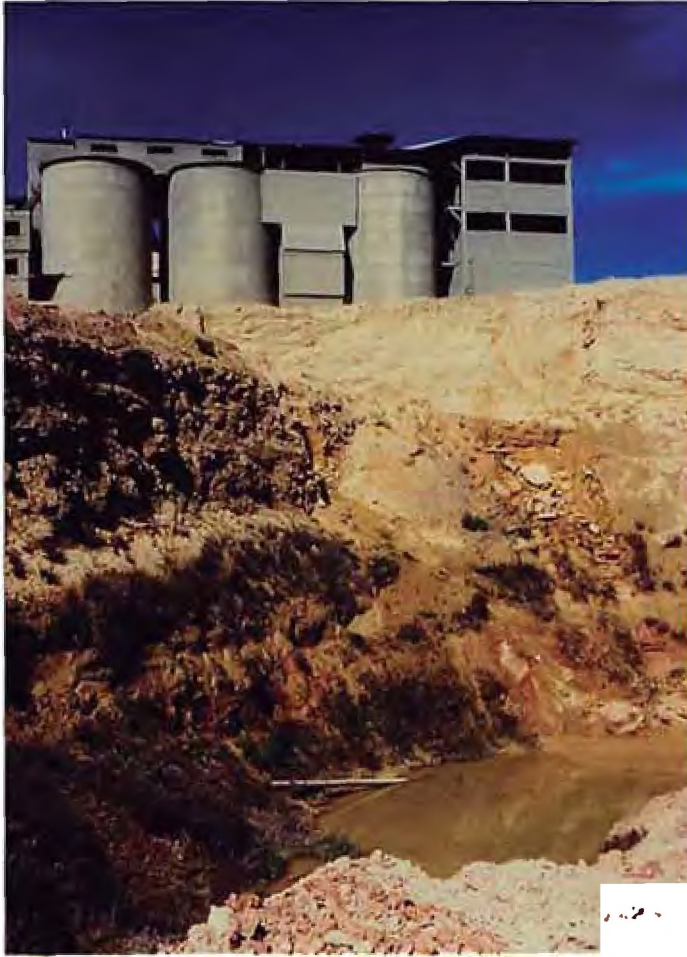


Foto. 2.3... NOTESE LA PRESENCIA DE VEGETACION Y AGUA QUE PERMANECE CON UN NIVEL CONSTANTE PRODUCTO DE LAS CONTINUAS LLUVIAS (Jun., 1987)



Foto. 2.4... PARTE DE UNA TRINCHERA TERMINADA Y LISTA PARA EL MUESTREO (Jun., 1987)

CAPITULO III

ENSAYOS DE LABORATORIO

El análisis de estabilidad de taludes requiere de la identificación de materiales y medida de su resistencia cortante y deformación, mediante ensayos de campo y de laboratorio; propiedades apropiadas, para poder ser usadas en el cálculo de fuerzas y desplazamientos.

El gran volumen de suelo que involucra una obra a tajo abierto, encierra una gran variedad de propiedades mecánicas. Un buen programa de trabajo de ensayos de campo y laboratorio permitirán que estas propiedades sean determinadas eficientemente.

El proceso de identificación de materiales debe permitir visualizar los perfiles estratigráficos de la zona y en base a éstos, definir los perfiles ingenieriles a usar en el análisis de estabilidad del talud, para ello se contó con una descripción de campo y toma de muestras para determinar la clasificación de los materiales mediante ensayos estándar realizados en el laboratorio.

Por otro lado, las propiedades de resistencia cortante de los materiales, se realizó mediante ensayos de corte directo in-situ y de laboratorio, permitiendo establecer una comparación entre los parámetros de resistencia cortante determinados por los dos métodos mencionados.

Un complemento importante en los ensayos de laboratorio es el conocer las características químicas de los materiales y para ello se adjunta los resultados de los análisis químicos realizados con algunas muestras.

3.1 Perfiles Estratigráficos

Las tres trincheras ejecutadas en el talud en estudio permitieron el muestreo del material y su posterior análisis en el laboratorio. Entre los ensayos

estándar, realizados a los materiales muestreados, tal como se mencionó en el capítulo anterior, se consideraron los de contenido de humedad, límites de consistencia y clasificación SUCS. El resumen de los resultados de estos ensayos estándar se presenta en el Anexo 2 de este trabajo.

Con la clasificación del material y una descripción visual se elaboró los perfiles estratigráficos para cada trinchera, los formatos de "Registros de Sondajes" presentados en el Anexo 1, permiten tener una idea de la distribución, descripción y potencia de los diferentes estratos de materiales que conforman cada una de las trincheras.

La información correspondiente a la trinchera T-1, muestra material de arcilla verdosa con presencia de óxido; material limoso amarillento y gris, no plástico, con fragmentos de limonita, que se encuentra de mediana a altamente cementado, material limo arcilloso de color rojizo con presencia de hidróxido de hierro y cuarzo; y por último presenta un material arenoso limoso de color beige, que se encuentra de mediana a altamente cementado y es no plástico. La altura total de esta sección transversal del talud alcanza aproximadamente unos 22 m. desde la corona hasta el pie del talud.

La información correspondiente a la trinchera T-2 muestra materiales semejantes a la trinchera T-1, como material areno limoso de baja plasticidad a no plástico pudiendo ser de color beige y amarillento, con presencia de óxidos y que se encuentra medianamente cementado; material limoso de baja plasticidad a no plástico, con presencia de travertino y que se encuentra medianamente cementado; un material limo arcilloso; y por último un material arcilloso. La altura total aproximada del talud en esta sección.

La información correspondiente a la trinchera T-3 es semejante a las dos anteriores, muestra suelos limosos no plásticos; y un material areno limoso no plástico y con presencia de limonita. La altura total aproximada del talud es de 21m.

Como característica particular se puede mencionar que los materiales de suelos correspondientes a las tres trincheras reaccionan en presencia del ácido clorhídrico. Se puede apreciar que la tendencia de materiales en la cantera es de suelos cuya clasificación, empleando el método SUCS, tienen símbolos tales como CL, ML, CL-ML y SM. Basado en la estratigrafía presentada en el Anexo 1 y en los trabajos de campo se resumen los perfiles estratigráficos agrupando a los materiales descritos en cada trinchera analizada; permitiendo además adoptar una

estratigrafía ingenieril, en donde se define la ubicación de las zonas en las cuales se tomarán muestras inalteradas y ensayarán muestras in-situ, para definir los parámetros de resistencia a utilizarse en el análisis de estabilidad.

La Figura 3.1 muestra la estratigrafía adoptada. Los resultados de ensayos de laboratorio que permiten la clasificación del material nos proporciona una idea de la estratigrafía en superficie. Se debe tener en cuenta que los análisis de laboratorio evalúan muestras de suelo fría y metódicamente basándose en normas universales de ensayos. Es por esto que el éxito de un buen trabajo de campo depende también de una buena descripción del material in-situ y de arriesgar una clasificación de campo, bosquejando una estratigrafía más profunda. Estos factores mencionados permiten concluir y adoptar una estratigrafía que se empleará en adelante para el análisis de estabilidad del talud.

3.2 Ensayos de Clasificación

En la etapa de investigación de laboratorio, se consideró aquellos ensayos estándar que permitieran definir algunas propiedades del suelo y específicamente su clasificación empleando el Sistema Unificado de

Clasificación de Suelos, llamado SUCS. Así también se realizaron ensayos para determinar el contenido de humedad de los suelos, y la determinación de los límites de consistencia.

Se realizaron 61 ensayos de granulometría, 4 análisis por sedimentación, 29 ensayos de límite líquido, 20 ensayos de límite plástico y 61 ensayos de contenido de humedad en el laboratorio geotécnico del CISMID. Los ensayos se realizaron de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Materials:

- Análisis del Tamaño de Partículas de Suelos (ASTM D-422).
- Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos (ASTM D-4318).
- Contenido de Humedad (ASTM D-2216).

Los cuadros "Ensayos Estándar de Laboratorio" que se presentan en el Anexo 2, resumen los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con las muestras provenientes de las trincheras ejecutadas en el campo. Los formatos del Anexo 2, presentan la identificación de las muestras ensayadas, los porcentajes acumulados que pasan cada tamiz, los límites de consistencia del suelo, la humedad natural y por último la clasificación SUCS. Cada formato permite presentar resultados de diez suelos.

Los resultados han sido agrupados por trinchera indicándose la identificación principal de la muestra. Así por ejemplo una muestra "13-E" corresponde a la trinchera "1", zona "3" y estrato "E" siguiendo siempre el sentido desde la corona al pie del talud. Así también se presenta la profundidad relativa de cada estrato.

La impresión de los resultados en los respectivos formatos, se realizó con ayuda de un programa de cómputo que permitió el ingreso de datos tales como pesos retenidos en cada malla, límites de consistencia de la muestra y el contenido de humedad, para que luego de un apropiado procesamiento se obtengan los porcentajes acumulados que pasan por cada malla y la correspondiente clasificación SUCS del material.

Se presenta además los resultados del análisis del Tamaño de Partículas mediante sedimentación. Para ello se seleccionaron cuatro muestras de suelos, dos provenientes de la trinchera T-2 y las otras dos muestras provenientes de las trincheras T-1 y T-3. Las profundidades de muestreo están indicadas en la parte final del Anexo 2, que corresponde al formato resumen del correspondiente ensayo de sedimentación.

3.3 Ensayos de Resistencia Cortante

Las características mecánicas de los suelos y ensayos in-situ, están tradicionalmente caracterizadas por la determinación de los parámetros de resistencia; el ángulo de fricción interna " ϕ " y la cohesión "c". Estos parámetros son medidos exclusivamente en el laboratorio sobre muestras inalteradas, mediante ensayos de corte directo o por ensayos de compresión triaxial. Para algunos requerimientos, en determinar rápidamente la resistencia al corte de un suelo, se puede aceptar ampliamente el ensayo para muestras de suelo cohesivo mediante el método de compresión no-confinada.

Como ya se observó, la presencia de los diferentes suelos que conforman la zona de trabajo corresponden a granulometría fina y están dotados de cohesión, permitiendo la operación de toma de muestras inalteradas sin disturbar el suelo. En muchos casos, a pesar de las precauciones tomadas no se puede tener certeza de la representatividad de la muestra, más aún cuando esta muestra se transporta de la obra al laboratorio, aumentando la perturbación. Para evitar el exceso de perturbación en la muestra y asegurar resultados de ensayos confiables, se puso especial cuidado en la toma de muestra empleando herramientas como cuchillo, espátula y barretilla que permitieron un tallado especial, para

luego proceder al parafinado de la muestra obtenida, con la finalidad de conservar las condiciones de humedad natural. Luego de parafinada la muestra se procedió a su empaquetadura para luego en cajas de madera protegidas con aserrín ser remitidas al laboratorio geotécnico del CISMID en Lima.

Los ensayos de laboratorio son generalmente largos y costosos, e incluso para estudios importantes se trata de limitar el número de éstos ensayos. Finalmente se dispone de datos relativamente aislados y fragmentarios, tendiéndose a propiciar la seguridad eligiendo los resultados más débiles, dejando de lado la estadística en la determinación de las características mecánicas, que implican un mayor número de datos.

Para la obtención de los parámetros de resistencia se programó una serie de ensayos realizados con diferentes muestras remitidas al laboratorio. Se realizaron 2 ensayos de compresión no-confinada, 5 ensayos de corte directo y 5 ensayos de compresión triaxial en el laboratorio. Los ensayos se realizaron de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Materials:

- Ensayo de Compresión No-confinada (ASTM D-2166).

Ensayo de Corte Directo (ASTM D-3080)

Ensayo Triaxial - sin medición de presión de poros (ASTM D-2850). Además, el ensayo Triaxial con medición de poros (Bishop y Henkel - 1962).

La Figura 3.2 presenta un esquema de la ubicación y zonificación de cada trinchera, indicándose los lugares donde se extrajeron muestras para los ensayos de laboratorio y donde se realizaron los ensayos in-situ.

3.3.1 Ensayo de Compresión No-Confinada

De los resultados de clasificación de suelos existentes en la zona de trabajo y de la estratigrafía ingenieril adoptada, se puede apreciar que se cuenta con la presencia de suelos cohesivos. Para evaluar la respectiva resistencia al corte con la finalidad de contar con parámetros de resistencia al corte no-drenados, se ensayaron mediante Compresión no-confinada a las muestras CD-1 y CD-5 pertenecientes a las trincheras T-1 y T-2 respectivamente. La clasificación SUCS para ambas muestras fue de CL, correspondiéndoles una descripción de arcillas de baja plasticidad tal como muestra la Fig. 3.2. También se muestra la profundidad de ensayo de las mismas. El símbolo para representar la resistencia a la compresión no-confinada es q_u , donde el cálculo se basa en el hecho que el esfuerzo principal

menor ϕ es cero y que el ángulo de fricción interna ϕ del suelo se supone cero. Esta condición $\phi=0$ es la misma que se obtendría del ensayo de Compresión Triaxial no consolidado no drenado en un suelo saturado.

El Anexo 3 presenta los resultados de ensayos realizados con las muestras antes mencionadas y de donde se puede obtener los valores presentados en el Cuadro 3.1, que resume los resultados del ensayo en mención.

Podemos apreciar que los valores de resistencia al corte de las muestras de suelo son de 2.57 y 2.45 Kg/cm² correspondientes a las muestras CD-1 y CD-5 respectivamente. Además, estos valores son alcanzados cuando la deformación vertical permanente expresada en porcentaje es de 1.81% para la muestra CD-1 y 1.55% para la muestra CD-5.

3.3.2 Ensayos de Corte Directo

El estado límite de equilibrio de un suelo involucra un deslizamiento a lo largo de una superficie de falla. En un elemento de esta superficie la resistencia al corte τ está en función creciente del esfuerzo normal σ y la envolvente de los círculos de Mohr que definen el estado de las deformaciones se conoce

como: curva intrínseca de Caquot. En un suelo esta curva es asimilable a una recta y el criterio de falla será:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (3.1)$$

conocida como la recta de Coulomb.

Podemos apreciar que la Fórmula 3.1, que representa la resistencia al corte de un suelo, depende de dos parámetros fundamentales: la cohesión c y el ángulo de fricción interna ϕ .

La relación más importante de la Mecánica de Suelos considerando la fase líquida es la que desarrolla una presión u , llamada presión intersticial, obteniendo:

$$\sigma = \bar{\sigma} + u \quad (3.2)$$

donde $\bar{\sigma}$ es el esfuerzo efectivo o intergranular, luego la ley de Coulomb puede escribirse como:

$$\tau_i = \bar{c} + \bar{\sigma} \operatorname{tg} \bar{\phi} \quad (3.3)$$

donde \bar{c} y $\bar{\phi}$ son la cohesión y el ángulo de fricción interna efectivos.

Los valores de las características de corte dependen del modo operatorio, según haya drenaje o nó, según la velocidad de corte o carga sea lenta o rápida, se pueden obtener valores completamente distintos. Por ello, para determinar la curva intrínseca, se adoptan convencionalmente los valores de los esfuerzos tangenciales que corresponden a los máximos (picos) de

las curvas esfuerzo-deformación o el valor asintótico, llamado resistencia "residual". Pero se puede obtener los valores de ϕ y de c que se deseen, fijando el porcentaje de deformación. Luego estos valores se reemplazan en las Ecuaciones 3.1 ó 3.3, según el caso, donde se aprecia que no dependen de la deformación. Se puede notar que, como se trata de fórmulas establecidas en la hipótesis de la plasticidad perfecta, o sea, de grandes deformaciones, se debería aplicar los valores de ϕ y de c correspondientes al valor residual. Pero, es aplicable, en la mayoría de los casos, a los valores picos.

Para determinar los parámetros drenados de la resistencia cortante del suelo, se realizaron ensayos de campo y de laboratorio; con el propósito de verificar los valores de los ensayos de laboratorio, se diseñó y construyó un equipo de campo para realizar ensayos de corte directo in-situ. En este capítulo se describe el equipo de campo utilizado y se comparan los valores de las resistencias cortantes obtenidas en ambos ensayos.

3.3.2.1 Ensayos de Laboratorio

Se realizaron cinco ensayos de corte directo con las distintas muestras obtenidas bajo condiciones de contenido de humedad natural y bajo condiciones

saturadas. El Anexo 4 presenta los resultados de los ensayos realizados y el Cuadro 3.2 resume los valores más importantes del ensayo de corte directo en laboratorio. Estos parámetros de resistencias obtenidos corresponden a los valores picos de esfuerzos tangenciales. Los valores de cohesión \bar{c} , de las arcillas se encuentran muy próximas cuando se ensayan en condiciones naturales. Los materiales limosos aumentan la cohesión cuando se ensayan bajo condiciones saturadas. Los valores altos y tan dispersos de $\bar{\phi}$ en las arcillas, puede deberse a la presencia de materiales cementantes que incrementan la resistencia al corte. Por otro lado los valores de $\bar{\phi}$ para los materiales limosos son en algunos casos bajos, tal vez por la presencia de material más fino que proporciona cierta plasticidad.

3.3.2.2 Ensayos In-Situ

Se ha visto que los parámetros de resistencia cortante utilizados en el análisis de estabilidad a largo plazo son del tipo consolidado drenado. La manera usual de determinarlos es mediante ensayos de laboratorio de corte directo o triaxiales en muestras inalteradas. La obtención y transporte al laboratorio puede producir

perturbaciones en las muestras, con la consecuencia de obtener resultados de ensayo de laboratorio que no reflejen las condiciones de campo.

Dadas las características especial del suelo del talud y con el propósito de verificar los resultados de los ensayos de corte directo en el laboratorio, se diseñó y construyó un equipo de campo para ejecutar ensayos de corte directo in-situ. A continuación se describe el equipo de campo y el procedimiento de ensayo, y se presenta una comparación de las resistencias cortantes drenadas obtenidas con dicho equipo y los resultados de los ensayos de corte directo en el laboratorio, ejecutados en muestras de distintas partes del talud.

Se realizaron cinco ensayos de corte directo in-situ en distintas partes del talud, para determinar los parámetros de resistencia cortante drenada del suelo. Los ensayos los realizó el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería. El equipo de ensayo se construyó de acuerdo a las características mostradas en la Figura 3.3; como se puede apreciar, los principales componentes del equipo son:

- Caja Metálica.- empleada para confinar la muestra y aplicar la carga horizontal y vertical, de dimensiones 0.30 x 0.30 x 0.30 m.

- Sistema de Transmisión de Carga.- sobrecarga apoyada sobre dos vigas de acero para transmitir la carga vertical (ver Foto 3.1 y Foto 3.2). Una placa y el terreno para transmitir la carga horizontal.
- Polines.- cilindros de acero de 2" de diámetro colocados entre dos planchas metálicas de 1" de espesor. Este sistema evita el desplazamiento del gato que transmite la carga vertical.
- Gatos Hidráulicos.- capaces de transmitir la carga vertical y horizontal al espécimen. Los gatos tienen una capacidad de 20 toneladas
- Extensómetros.- para medir desplazamientos verticales y horizontales desarrollados durante el ensayo (aproximación de 0.01 mm).

Se realizó la excavación del terreno y el tallado inicial de las muestras a ensayar, tal como se indica en la Figura 3.4. El tallado inicial se realizó empleando pala, pico y barreno, consiguiendo posteriormente las dimensiones de ensayo con espátulas, barretillas y cuchillos (ver Foto 3.3). Se monta luego la caja metálica de confinamiento y el resto del equipo sobre el espécimen de ensayo tal como se muestra en la Figura 3.5.

Teniendo la muestra y el equipo listos, se procede a la aplicación de las cargas vertical y horizontal mediante los gatos hidráulicos (ver Foto 3.4). Se aplica

la carga vertical en incrementos hasta alcanzar el esfuerzo vertical requerido, anotándose la deformación vertical alcanzada. Luego se aplica la carga horizontal en incrementos, registrando las deformaciones producidas, hasta notar un decremento de la carga horizontal, que indica falla. Se emplearon en el ensayo, esfuerzos verticales normales de 1, 2 y 4 Kg/cm². Se midieron esfuerzos tangenciales máximos de hasta 3.2 Kg/cm² en los ensayos. Los resultados de los ensayos de corte directo in-situ se presentan en el Anexo 5 y el resumen de resultados de ensayos in-situ son presentados en el Cuadro 3.3.

Algunas conclusiones que se pueden extraer de la comparación de los resultados de los ensayos de laboratorio y los ensayos in-situ de corte directo, son:

- Los parámetros de resistencia cortante drenada obtenidos de los ensayos de corte directo en el laboratorio son función del tipo de suelo, su composición química y su contenido de humedad durante el ensayo.
- Los parámetros de resistencia cortante drenada obtenidos del ensayo de corte directo in-situ presentan valores similares a los obtenidos en los ensayos de corte directo en el laboratorio. En promedio los valores del ángulo de fricción interna obtenidos en el laboratorio difieren en 3° y los valores de la

cohesión en laboratorio para las muestras de arcillas difieren en 0.2 Kg/cm^2 con los valores de campo.

- Los materiales más arcillosos presentan valores de resistencia drenada menores que los materiales limosos. Los materiales limosos contienen un porcentaje mayor de carbonatos.
- El equipo presentado para realizar ensayos de corte directo in-situ es relativamente sencillo de construir, tiene un costo bajo y necesita adicionalmente solo dos gatos hidráulicos.
- El procedimiento de preparación de especímenes y ejecución de ensayo es simple y rápido, descartándose en el ensayo la perturbación que puede sufrir la muestra inalterada de laboratorio durante su extracción y transporte.

3.3.3 Resistencia a la Compresión Triaxial

Una prueba común y versátil utilizada para determinar las propiedades esfuerzo-deformación del suelo, es la prueba triaxial. Tiene la característica de someter a la muestra a una presión de confinamiento en todas sus caras para luego incrementar el esfuerzo axial hasta que la muestra llegue a la rotura.

En el método correspondiente al ensayo triaxial, la falla es en general progresiva y se manifiesta en las zonas más débiles de la muestra. Las líneas de deslizamiento son en general planos que, al menos en un ensayo lento consolidado y con drenaje deberían teóricamente formar un ángulo con la horizontal de $\pi/4 + \bar{\varphi} / 2$ si el esfuerzo desviador es positivo y $\pi/4 - \bar{\varphi} / 2$ si es negativo. También puede la muestra tener una deformación diametral y no tener ninguna línea de deslizamiento.

El ensayo de compresión triaxial permite variar las condiciones de drenaje y velocidad de corte, comprobándose que los valores de las características mecánicas dependen del modo operatorio, como ocurre también en el ensayo de corte directo.

Al no existir valores intrínsecos de la cohesión y del ángulo de fricción interna, se define dos tipos de ensayo:

- El ensayo rápido no consolidado y no drenado (ensayo UU), en el cual la muestra se carga y se corta a gran velocidad sin permitir el drenaje.
- El ensayo lento consolidado y drenado (ensayo CD), en el cual se consolida al suelo bajo carga vertical (ensayo de corte directo) o bajo presiones hidrostáticas (ensayo triaxial). Luego se corta la

muestra a velocidad muy pequeña, permitiendo un drenaje perfecto, de tal manera que no se manifiesta la presión intersticial, obteniéndose las características de resistencia efectivas \bar{E}' y ϕ' .

El ensayo triaxial es mucho más evolucionado pues permite la medida de las presiones intersticiales. Podemos entonces reemplazar el ensayo CD por un tercer tipo de ensayo, el ensayo consolidado sin drenaje (ensayo CU), donde después de consolidarse corta la muestra rápidamente sin permitir el drenaje, midiendo las presiones intersticiales.

El Anexo 6 presenta la salida por computadora de los cinco ensayos de compresión triaxial realizado a las cinco muestras inalteradas. El tipo de ensayo aplicado fue el consolidado sin drenaje (CU), con medición de la presión de poros.

Para cada muestra se presenta la salida de los resultados correspondientes a tres especímenes, tabulando las características del espécimen como encabezamiento, seguido de diez columnas, correspondiendo las tres primeras a la toma de datos durante el ensayo y las otras siete al procesamiento de estos datos. A continuación se obtiene un conjunto de gráficas correspondientes a la muestra ensayada, como:

- ESFUERZO DESVIADOR vs. DEFORMACION AXIAL

en donde se considera que la ruptura corresponde a los máximos de la curva, llevando en ordenadas el esfuerzo desviador $\sigma_1 - \sigma_3$.

- SIGMA-1/SIGMA-3 vs. DEFORMACION AXIAL

gráfica que ciertos ingenieros prefieren utilizar $\sigma_1/\sigma_3 = f(\epsilon)$.

- PRESION DE POROS vs DEFORMACION AXIAL

algunas veces se adopta como criterio de falla el estado de esfuerzo que corresponde al máximo de la presión intersticial.

- DIAGRAMA P-Q

que muestra la trayectoria de esfuerzos, permitiendo la determinación de los parámetros de resistencia mediante la envolvente trazada utilizando los valores máximos de esfuerzos o los correspondientes a la resistencia residual.

- CIRCULO DE MOHR,

considerando la medición de presiones intersticiales, permitiendo el cálculo de los esfuerzos efectivos máximos y a los valores de esfuerzos efectivos para una deformación residual determinada.

Como se ha presentado en el perfil estratigráfico adoptado, existe presencia de material arenoso-limoso y hubo que realizar ensayos que permitieron el cálculo de c y ϕ . En arcillas donde la disipación de las presiones

intersticiales es lenta, un UU es adecuado para ciertos problemas como en estudios de cimentaciones más no en estabilidad de taludes, luego la utilización de los esfuerzos efectivos fue satisfactoria.

3.3.4 Parámetros de Resistencia al Esfuerzo Cortante

A partir de los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante realizados en el laboratorio e in-situ y ensayo de compresión triaxial, se determinó los parámetros de resistencia máximas y conservadores así como los parámetros ingenieriles que se usaron en el análisis de estabilidad.

El cuadro 3.4 presenta el resumen de los parámetros de resistencia obtenidos para los esfuerzos de corte máximos, tanto en el ensayo de corte directo como con el triaxial. Agrupando convenientemente, según clasificación SUCS, y graficando las envolventes en una sola gráfica tal como muestra la Figura 3.6 y Figura 3.7 se puede apreciar la tendencia del espectro que agrupa las envolventes de falla para el material arcilloso y el material limoso respectivamente. Finalmente el Cuadro 3.5 presenta el resumen de los valores de los parámetros de resistencia, a emplearse en el siguiente Capítulo IV, que realiza el análisis de estabilidad del talud.

3.4 Análisis Químico

La finalidad de realizar un análisis químico a las muestras extraídas fue de complementar el conocimiento de las características químicas de los materiales.

Se ejecutaron ensayos de análisis químicos a determinadas muestras, considerándose la determinación del pH, sales solubles y contenido de carbonatos de calcio.

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Materials:

- Sales solubles (ASTM D-1888)
- Potencial de hidrógeno de agua (ASTM D-1293)
- Determinación de Carbonatos

Los resultados de estos ensayos se presentan en la parte final del Anexo 2.

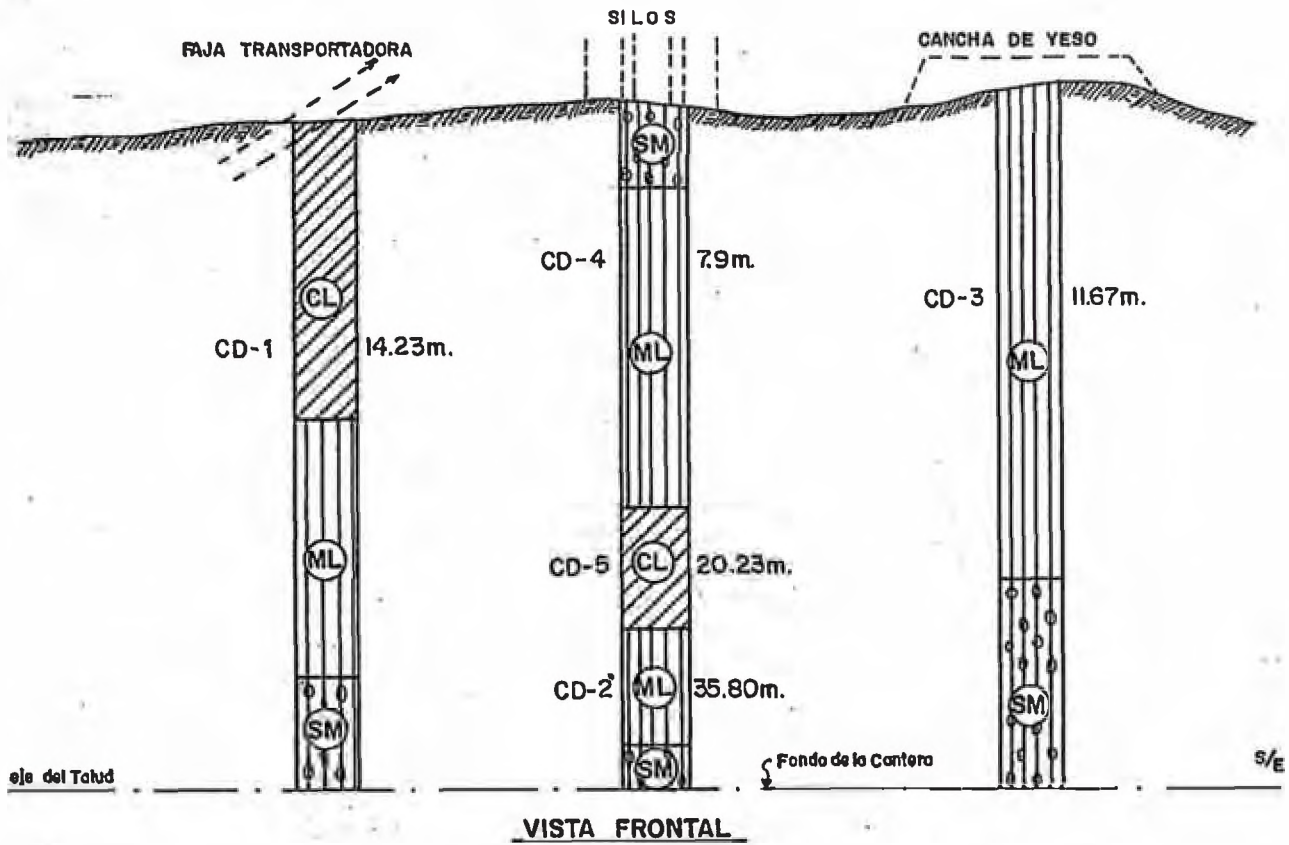


FIG. 3.1.- ESTRATIGRAFIA INGENIERIL ADOPTADA

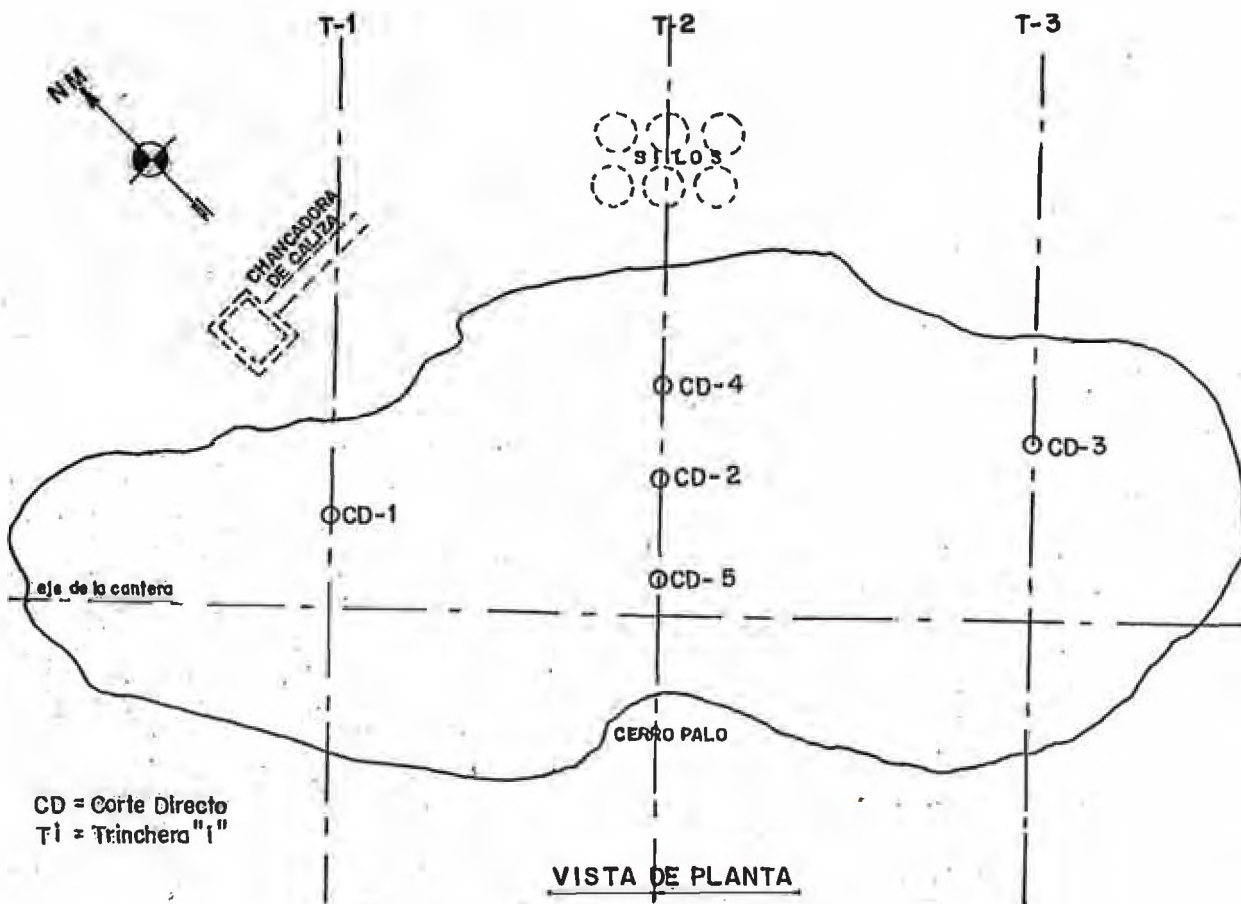
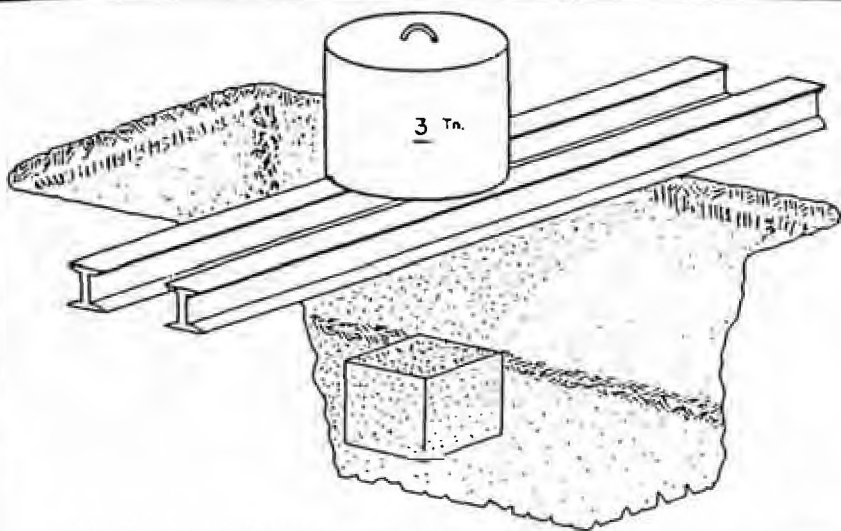
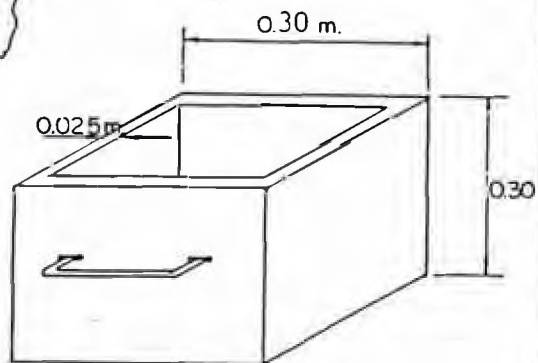


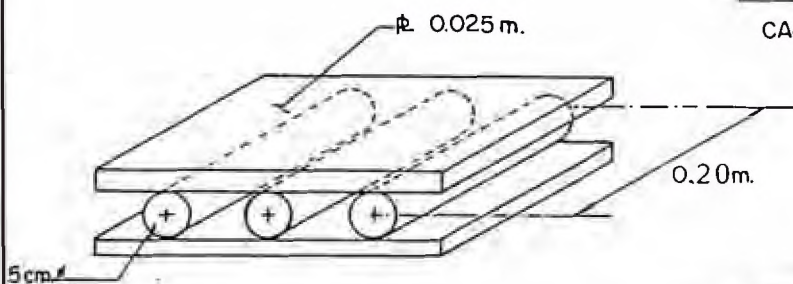
FIG. 3.2.- UBICACION DE EXTRACCION DE MUESTRAS Y ENSAYOS IN-SITU



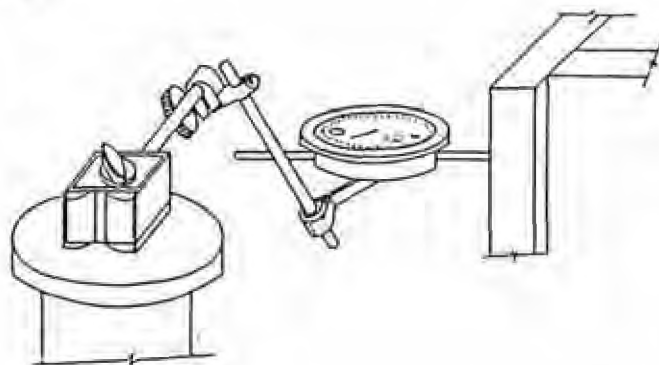
SISTEMA DE TRANSMISION DE CARGA AXIAL



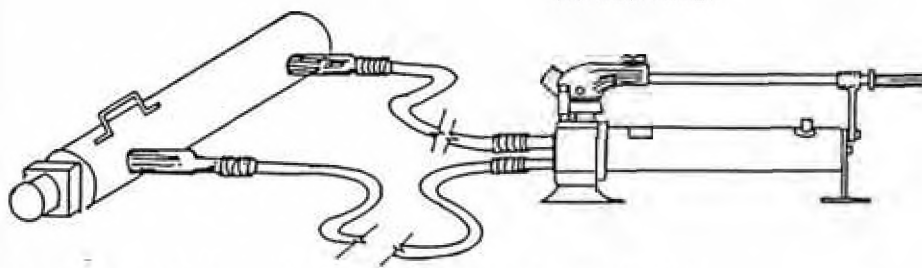
CAJA METALICA DE CONFINAMIENTO



POLINES DE TRASMISION DE CARGA AXIAL



EXTENS OMETROS DE DEFORMACION VERTICAL Y HORIZONTAL.



GATOS HIDRAULICOS DE 20 TONELADAS DE CAPACIDAD.

FIG. 3.3.- ESQUEMA DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO IN-SITU

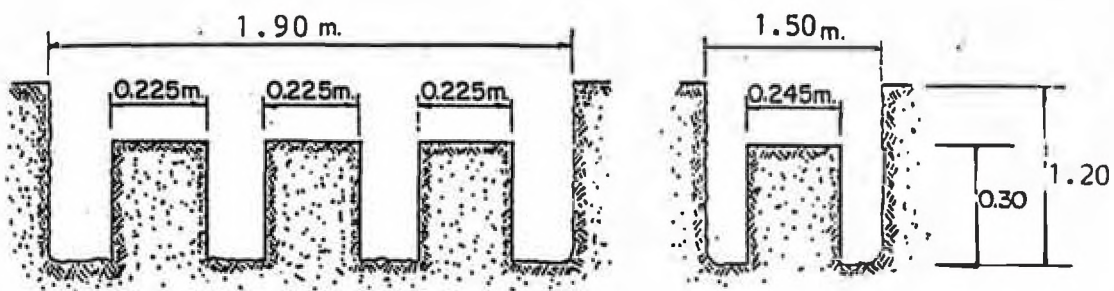


FIG. 3.4..ESQUEMA DEL TALLADO DE MUESTRAS A ENSAYAR

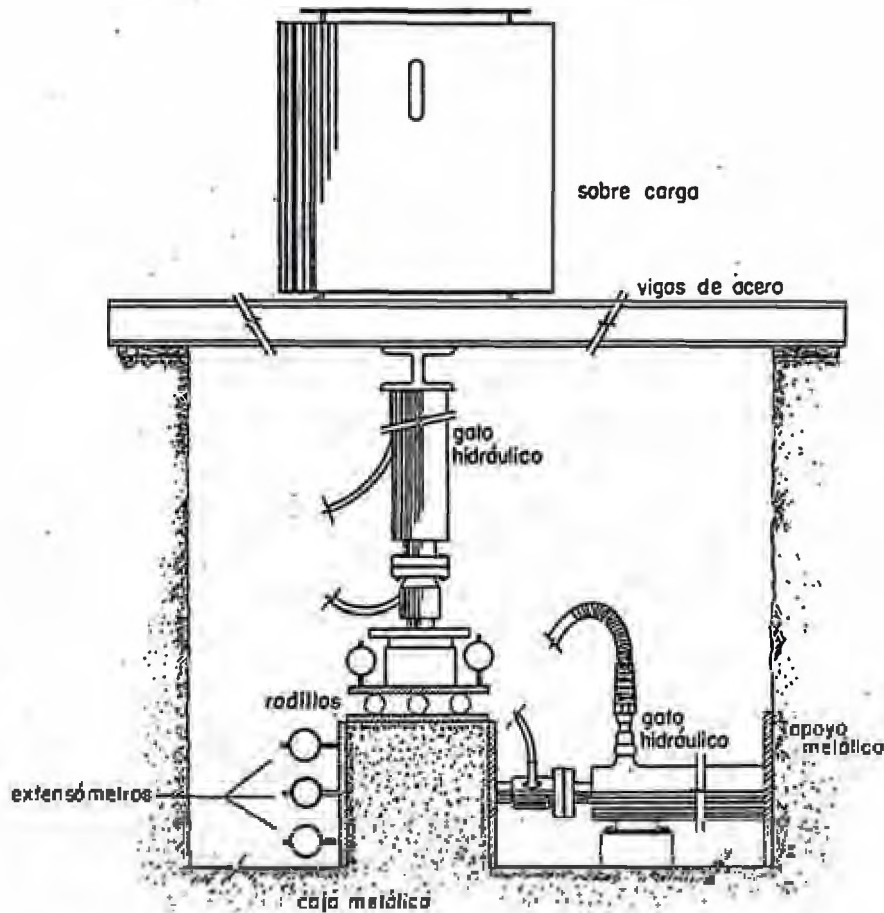
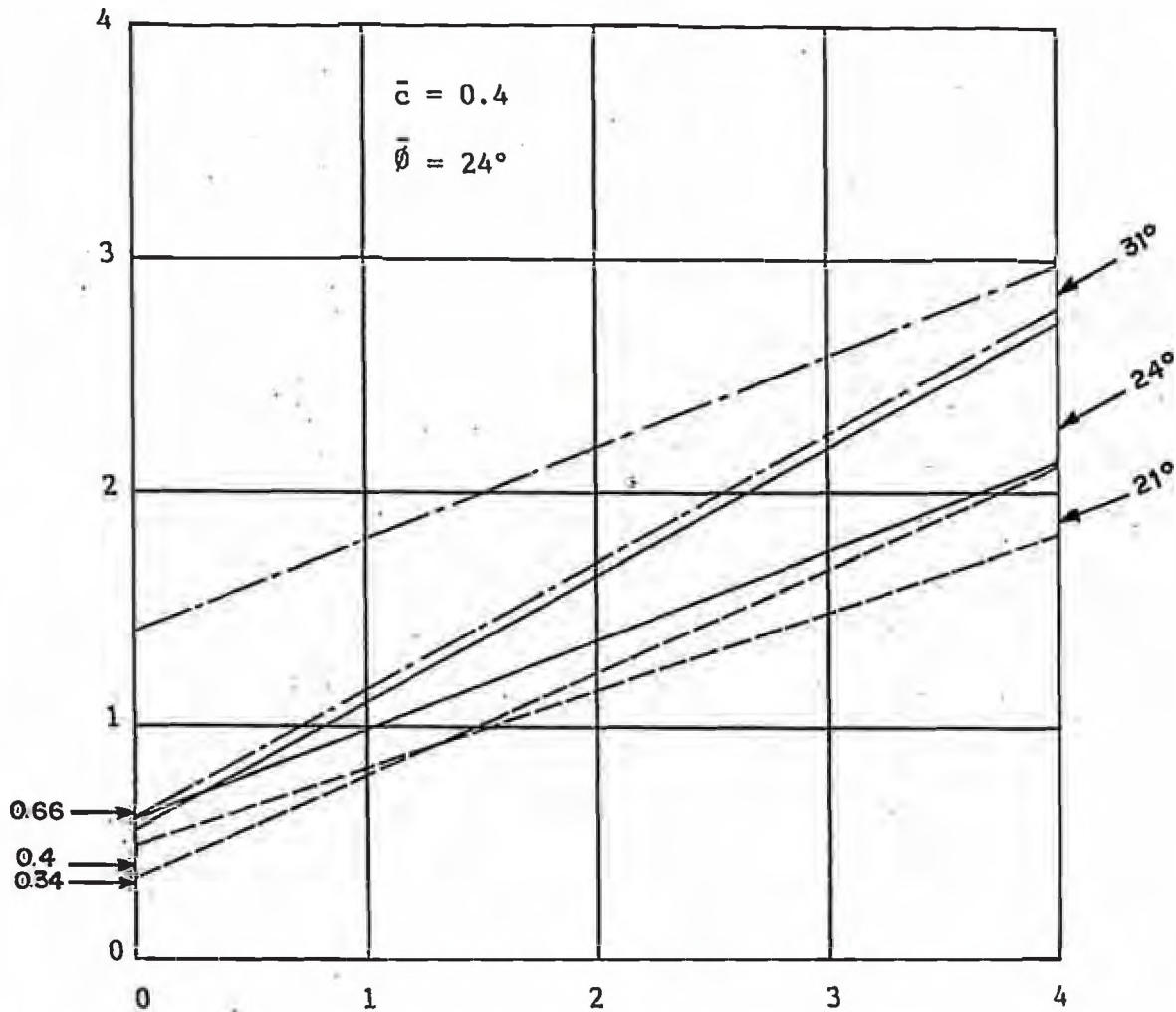


FIG. 3.5... PREPARACION DE MUESTRAS Y EJECUCION DE ENSAYOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO GEOTECNICO - CISMID.

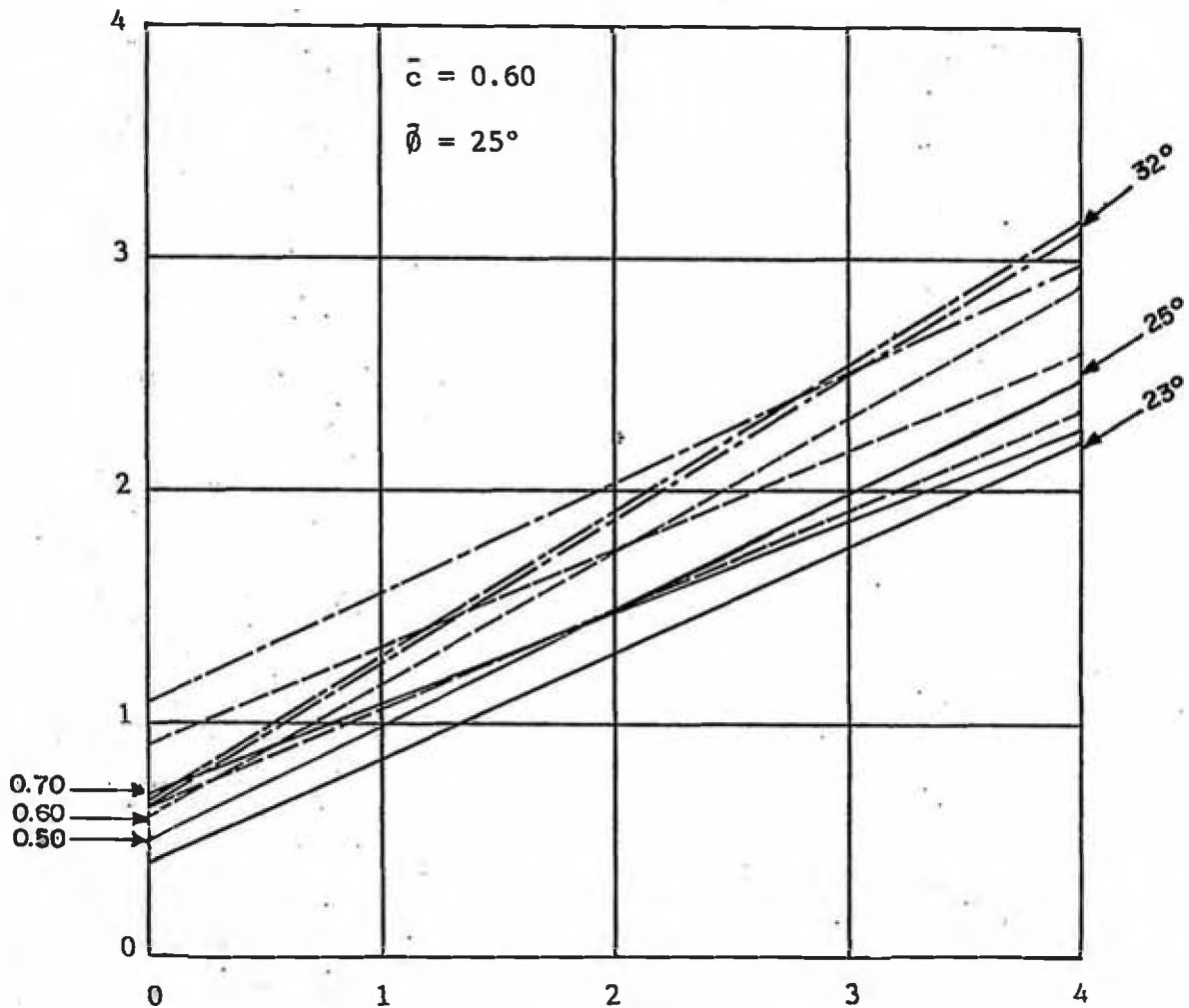


CLASIFICACION (SUCS) : CL

- ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN LABORATORIO
- ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN-SITU
- .-.-.- ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

FIG. 3.6.- ESPECTRO DE ENVOLVENTES DE FALLA PARA MATERIAL CL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO - CISMID.



CLASIFICACION (SUCS) : ML

- ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN LABORATORIO
- - - - - ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN-SITU
- · - · - ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

FIG. 3.7.- ESPECTRO DE ENVOLVENTES DE FALLA PARA MATERIAL ML

CUADRO 3.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESION NO-CONFINADA

CALICATA	T- 1	T- 2
MUESTRA	CD- 1	CD- 5
PROFUNDIDAD (m)	14. 23	20. 23
CLASIFICACION SUCS	CL	CL
ESTADO	NATURAL	NATURAL
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	19. 44	16. 25
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1. 71	1. 80
q_u máx (kg/cm²)	5. 14	5. 89
c (kg/cm²)	2. 570	2. 945

CUADRO 3.2.- RESULTADOS DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN LABORATORIO

CORTE DIRECTO	CLASIFIC. SUCS	HUMEDAD NATURAL (%)		DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	T máx. (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	Ø
		INICIAL	FINAL				
CD-1	CL	20.4	26.87	1.536	1.00	0.86	28.3
		20.4	27.6	1.534	2.00	1.60	
		20.4	20.4	1.536	4.00	2.16	
CD-2	ML	27.75	34.52	1.406	1.00	1.00	270
		27.75	34.52	1.441	2.00	1.64	
		27.78	34.97	1.433	4.00	2.56	
CD-3	ML	19.39	25.02	1.716	1.00	0.92	24.0
		19.39	25.36	1.738	2.00	1.72	
		19.39	23.83	1.731	4.00	2.56	
CD-4	ML	27.16	38.77	1.239	1.00	1.10	21.0
		27.16	38.81	1.152	2.00	1.64	
		27.16	38.5	1.890	4.00	2.24	
CD-5	CL	16.3	20.57	1.822	1.00	1.00	21.0
		16.28	19.76	1.812	2.00	1.56	
		16.25	19.39	1.814	4.00	1.60	

(N) : MUESTRAS ENSAYADAS BAJO CONDICIONES NATURALES
(S) : MUESTRAS ENSAYADAS BAJO CONDICIONES SATURADAS

CUADRO 3.3.- RESULTADOS DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN-SITU

CORTE DIRECTO	MUESTRA	CLASIFIC. SUCS	W %	τ (kg/cm ²)	τ máx. (kg/cm ²)	\bar{c} (kg/cm ²)	$\bar{\phi}^\circ$
CD - 1	11 - A	CL	22.36	1.00	0.65	0.493	18.5
				2.00	1.43		
				4.00	1.74		
CD- 2	24 - B	ML	25.77	1.00	0.99	0.638	22.5
				2.00	1.57		
				4.00	2.26		
CD- 3	34 - A	ML	19.77	1.00	0.99	0.611	29.5
				2.00	2.03		
				4.00	2.78		
CD- 4	21 - A	ML	24.12	1.00	1.39	0.913	22.5
				2.00	1.74		
				4.00	2.70		
CD - 5	23 - B	CL	22.61	1.00	0.81	0.335	24.5
				2.00	1.22		
				4.00	2.32		

CUADRO 3.4.- RESUMEN DE PARAMETROS DE RESISTENCIA

CALICATA	MUESTRA	PROF. (m.)	CLASIF.	ESTADO	ENSAYO DE CORTE DIRECTO				ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL		
					LABORATORIO		IN - SITU		ESFUERZO MAXIMO		
					\bar{c}	$\bar{\phi}$	C	ϕ	% E	\bar{c}	$\bar{\phi}$
T-1	CD - 1	14.23	CL	Nat.	0.55	28.3°	0.49	18.5°	0.8	1.25	21.0°
T-2	CD - 4	7.90	ML	Sat.	0.70	21.0°	0.91	22.5°	1.9	0.66	32.0°
	CD - 5	20.23	CL	Nat.	0.60	21.0°	0.34	24.5°	1.7	0.52	31.0°
	CD - 2	35.80	ML	Sat.	0.50	27.0°	0.64	22.5°	0.7	1.10	25.0°
T-3	CD - 3	11.00	ML	Nat.	0.40	24.0°	0.61	29.5°	0.6	0.61	31.4°

CUADRO 3.5.- PARAMETROS DE RESISTENCIA FINALES

CL	ML	OBSERVACIONES DE LOS VALORES
$\bar{c} = 0.4 *$ $\bar{\phi} = 24^\circ$	$\bar{c} = 0.60$ $\bar{\phi} = 25^\circ$	INGENIERILES ADOPTADOS
$\bar{c} = 0.66$ $\bar{\phi} = 31^\circ$	$\bar{c} = 0.7$ $\bar{\phi} = 32^\circ$	MAXIMAS
$\bar{c} = 0.34$ $\bar{\phi} = 21^\circ$	$\bar{c} = 0.5$ $\bar{\phi} = 23^\circ$	CONSERVADORES

* El valor de \bar{c} está dado en kg/cm^2 .



Foto. 3.1... VIGAS DE ACERO QUE SIRVEN DE APOYO A LA SOBRECARGA (Jun.,1988)



Foto. 3.2... COLOCACION DE LA SOBRECARGA EN LAS VIGAS DE ACERO (Jun.,1988)



Foto. 3.3.- ESPECIMEN TALLADO LISTO PARA MONTAR LA CAJA METALICA DE CONFINAMIENTO. (Jun., 1988)



Foto 3.4.- APLICACION DE CARGAS VERTICAL Y HORIZONTAL MEDIANTE GATO HIDRAULICO. (Jun., 1988)

CAPITULO IV

ANALISIS DE ESTABILIDAD

Este capítulo tiene por objeto presentar el análisis de la estabilidad de taludes para cada una de las tres secciones que conforman el trabajo, secciones denominadas como trincheras.

Para el análisis de estabilidad correspondiente a la trinchera T-2 se consideró el peso de los silos e instalaciones de la fábrica como una carga repartida que actúa en la parte superior del talud.

El análisis de estabilidad considera diferentes mecanismos de falla tentativos, variando la inclinación del talud así como la cota de fondo.

Los métodos empleados se basan en el cálculo del factor de seguridad al deslizamiento, cuando una fuerza horizontal igual al producto del coeficiente sísmico por el peso de la masa potencial de falla, actúa en adición a las fuerzas estáticas ya existentes.

Como un análisis preliminar de la estabilidad del talud se consideró el empleo de ábacos, permitiendo una aproximación de la geometría final del talud. Luego se realizó el análisis de estabilidad mediante el método de equilibrio límite en el que, se consideró los métodos de Bishop y Spencer. Finalmente el capítulo trata del factor sísmico empleado en el análisis de estabilidad de taludes

El trabajo del análisis de la estabilidad ha permitido determinar una gama de resultados donde se ha calculado los factores de seguridad para las diferentes geometrías del talud y entre ellas, permitir la búsqueda de la geometría óptima que permita el máximo volumen de explotación del material de la cantera, por ser ésto la materia prima en la elaboración de cemento, pero al mismo tiempo evitar el riesgo de falla de las estructuras que actúan como sobrecarga en la corona del talud.

4.1 Empleo de Abacos

La utilización de ábacos permite analizar la estabilidad de taludes rápidamente, aunque los ábacos suponen taludes simples y condiciones uniformes del suelo, se pueden utilizar para obtener respuestas aproximadas, para problemas más complejos si los taludes irregulares se modelan con taludes más simples y se utilizan valores promedio de peso unitario, cohesión y ángulo de fricción.

Para este primer análisis de estabilidad de taludes podemos considerar suelos uniformes y con un ángulo de fricción interna mayor que cero. Entre los pasos a seguir para el análisis, podemos considerar gráficos complementarios que proporcionan correcciones por carga adicionada en la cima del talud, por sumergencias e infiltración y por grietas de tensión.

La Figura 4.1 muestra el esquema de un talud típico analizable indicándose todos los valores que definen su geometría.

Se deberá localizar el círculo crítico ejerciendo juicio ingenieril. En la mayoría de condiciones para taludes simples en suelos uniformes con $\phi > 0$, el círculo crítico pasa por el pie del talud. Existen otros casos

como estratos débiles por debajo o por encima del pie de talud o si existe o no agua fuera del talud. Para el análisis de este talud se consideró que el círculo crítico pasa por el pie del talud.

La metodología del análisis global, es variar la geometría del talud y para cada variación determinar el factor de seguridad. Para una misma altura de talud se podrá aumentar el ángulo de inclinación, hasta determinar la geometría cuyo factor de seguridad es menor que la unidad sugiriendo de esta manera, una disminución de la altura y continuar con la misma metodología de análisis.

En cuanto a los parámetros de resistencia podemos mencionar que teniendo como guía el círculo estimado, se calculó los valores promedio de \bar{c} y $\bar{\phi}$. Esto se realizó calculando el promedio ponderado de la resistencia a lo largo del arco de falla. Finalmente los valores adoptados fueron de 5 Kg/cm² y 25° para la cohesión \bar{c} y ángulo de fricción interna $\bar{\phi}$, respectivamente.

De la Figura 4.2 se puede obtener factores de reducción correspondientes a carga adicionada (u_q), sumergencia (u_w) e infiltración ($u'w$). Adicionalmente existen ábacos para determinar los factores de reducción debido a grietas de tracción (u_t), con y sin presión

hidrostática en la grieta, pero no se consideró dicha reducción en el presente trabajo, debido a que el talud en estudio no presenta grietas de tracción.

Con la finalidad de efectuar un análisis conservador, se ha considerado una altura de agua dentro del talud debido al nivel freático, no así fuera de él, en que $H_w=0$.

Los valores de P_d y P_e se calcularon de las siguientes fórmulas:

$$P_d = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w}{\mu_q \cdot \mu_w \cdot \mu_t} \quad (4.1)$$

$$P_e = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H'_w}{\mu_q \cdot \mu'_w} \quad 4.2)$$

los factores han sido definidos previamente.

Si la sobrecarga se aplica rápidamente de modo que no hay suficiente tiempo para que los suelos se consideren bajo la sobrecarga, se puede considerar que $q=0$ y $\mu_q=1$ en la fórmula 4.2. Si no existe sobrecarga, $\mu_q=1$, y si no existe infiltración, $\mu'_w=1$.

Se debe calcular el parámetro adicional λ_{ϕ} mediante la fórmula:

$$\lambda_{c\phi} = \frac{P_e \operatorname{tg} \bar{\phi}}{c} \quad (4.3)$$

Para $c=0$, $\lambda_{c\phi}$ es infinito. En tal caso se debe omitir el cálculo de la fórmula 4.3.

De la Figura 4.3 presentada, se determina el valor del número de estabilidad, N_{cf} , que depende del ángulo del talud β , y el valor de $\lambda_{c\phi}$.

El factor de seguridad, F , se calculó mediante la fórmula:

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} \quad (4.4)$$

para $c > 0$, cuando $c=0$, $\lambda_{c\phi}$ es infinito y el factor de seguridad se calculará de la fórmula:

$$F = \frac{P_e}{P_d} b \operatorname{tg} \bar{\phi} \quad (4.5)$$

siendo, b , la relación del talud = $\operatorname{cotg} \beta$; los otros factores fueron definidos previamente.

Además se determinó la localización real del círculo crítico mediante el gráfico de la derecha de la Figura 4.3. El centro del círculo se localiza en X_0, Y_0 , y pasa a través del pie del talud.

Si el talud contiene más de una capa de suelo, puede ser necesario calcular el factor de seguridad para círculos a más de una profundidad. El siguiente criterio puede ser utilizado para determinar que posibilidades deben examinarse.

- Si una capa de suelo es más débil que la suprayacente, el círculo crítico se extenderá a la capa inferior; y un círculo por el pie o un círculo profundo en esta capa será crítico.
- Si una capa de suelo es más resistente que la suprayacente, el círculo crítico puede o no puede extenderse a la capa inferior, dependiendo de las resistencias relativas de las dos capas, ambas posibilidades deben examinarse.

El Anexo 7 presenta los cálculos realizados para las diferentes geometrías de la trinchera T-2, empleando la metodología explicada y el Cuadro 4.1 resume los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad mediante el empleo de ábacos. Se puede apreciar que la variación de la inclinación del talud es desde 15° hasta 55° y la altura decreciente, desde 100 m. hasta 40 m., siendo las características finales de geometría de $\beta = 50^\circ$ y $H = 40$ m para un factor de seguridad mayor que uno. Nótese que la altura mínima analizable es casi igual a la altura existente del talud correspondiente a la trinchera

T-2, por tal motivo no se continúa el análisis disminuyendo alturas. Además, las áreas explotables y disponibles al variar la geometría del talud, son directamente proporcionales a la altura del mismo.

Las Figuras 4.4 y 4.5 presentan las gráficas correspondientes a cuatro geometrías diferentes del talud de las alternativas de cálculo 3,5,7 y 11 del cuadro 4.1. Nótese en estos gráficos la ubicación del centro de los círculos que representan mecanismos de falla en el talud, si bien es cierto los factores de seguridad son muy próximos a la unidad, el nivel freático asumido propició un análisis conservador.

4.2 Equilibrio Límite

En el empleo de métodos de análisis de estabilidad de Taludes de Equilibrio Límite, se deben conocer las suposiciones utilizadas con la finalidad de lograr la determinación estática, así como cumplir con las condiciones particulares de equilibrio. Los criterios para elegir el mecanismo de falla, así como la determinación de los parámetros de resistencia y las presiones de poros que deben utilizarse en los diferentes análisis de estabilidad, se consideran de suma importancia.

El análisis de estabilidad de taludes utilizado, se fundamenta en el método de Equilibrio Límite de la superficie de falla.

Todos los métodos de Equilibrio Límite tienen cuatro características en común (Duncan y Wright, 1980).

1. Todos usan la siguiente definición del factor de seguridad.

$$F = \frac{S}{\tau} \quad \begin{array}{l} \text{Resistencia al corte del suelo} \\ \text{Esfuerzo de corte requerido para} \\ \text{el equilibrio.} \end{array} \quad (4.6)$$

2. Todos asumen que los parámetros de resistencia son independientes del comportamiento esfuerzo deformación.

3. Todos usan alguna o todas las ecuaciones de equilibrio para calcular los valores promedio de τ y σ_n sobre cada dovela, donde σ_n es el esfuerzo normal sobre la base de dovela.

σ_n es requerido para determinar la resistencia cortante usando la siguiente ecuación:

$$S = c + \sigma_n \operatorname{tg} \phi \quad (4.7)$$

donde c y ϕ son los parámetros de resistencia de Mohr Coulomb.

4. Desde que las fuerzas involucradas en los métodos de equilibrio son estáticamente indeterminadas, todos los métodos emplean suposiciones para equiparar el número de ecuaciones de equilibrio con el número de incógnitas en el problema.

Los métodos de estabilidad de taludes más comúnmente usados, dividen la masa comprendida sobre una superficie de deslizamiento en dovelas verticales. Esto es para adecuar las condiciones donde las propiedades del suelo y presiones de poros varían con la localización, a lo largo del talud. Las fuerzas que actúan en una dovela típica son mostradas en la Figura 4.6.

Como se estableció previamente, los métodos de equilibrio límite emplean suposiciones que hacen al problema estáticamente determinado. Lo más crítico de estas suposiciones típicas es la cantidad de fuerzas laterales, X y E . La Figura 4.7 muestra las suposiciones concernientes a las fuerzas laterales para algunos de los métodos más conocidos.

El Método Ordinario de Dovelas asume que la resultante de las fuerzas laterales que actúan en una dovela, actúa

paralelamente a la base de la dovela. Mediante la resolución de las fuerzas normales a la base de la dovela, las fuerzas laterales se eliminan y la siguiente ecuación resulta:

$$P = P' + U = W \cos \alpha \quad (4.8)$$

El momento equilibrante alrededor del centro de la superficie circular de deslizamiento, es la única condición de equilibrio satisfecha por este método. El valor de P dado en la Ecuación 4.8 es una aproximación, la cual gobierna a un valor conservador de F . En casos de taludes planos con alta presión, el error en el valor F puede ser tanto como 50%. En el análisis total de esfuerzos, el error es no más del 10%.

En el Método Simplificado de Bishop el efecto de fuerzas interdovelas es eliminada mediante la suposición que la componente vertical de las fuerzas interdovelas es cero. Las fuerzas en una dovela típica son mostradas en la Figura 4.8 y consisten de:

- a) El peso de la dovela, W
- b) La fuerza sísmica pseudo-estática, kW , en la cual k es el coeficiente sísmico.
- c) La fuerza de presión de poros, U ($\leq u.l$)
- d) La fuerza normal efectiva en la base, P'

e) La fuerza cortante móvil, $\frac{S}{F} (= \frac{\bar{c} \cdot l + P' \cdot \text{tg } \bar{\theta}}{F})$

f) La resultante de las fuerzas externas perpendiculares y paralelas en la parte superior de la dovela, N y M.

g) Las fuerzas laterales horizontal, E_i y E_{i+1}

Resolviendo el equilibrio de fuerzas en la dirección vertical, se van eliminando las fuerzas laterales, proporcionando:

$$W + N \cos \beta - M \sin \beta - U \cos \alpha - \frac{P' \cos \alpha - \bar{c} l + P' \text{tg } \bar{\theta}}{F} \sin \alpha = 0 \quad (4.9)$$

reordenando y resolviendo para P' :

$$P' = \frac{W + N \cos \beta - M \sin \beta - U \cos \alpha - \frac{\bar{c} l \sin \alpha}{F}}{\cos \alpha \left(1 + \frac{\text{tg } \bar{\theta} \text{tg } \alpha}{F} \right)} \quad (4.10)$$

Cada una de las fuerzas normales en la base de cada dovela es determinada, sobre todo el momento equilibrado proporciona una expresión implícita para el factor de seguridad:

$$F = \frac{R \sum \{ (\bar{c} l \cos \alpha + (W - U \cos \alpha + N \cos \beta - M \sin \beta) \text{tg } \bar{\theta}) / M_\alpha \}}{\sum (WR \sin \alpha + k W Y_k \pm N a_N - M a_M)} \quad (4.11)$$

donde Y_k , a_n , y a_m son los correspondientes brazos de momento y M_α esta dado por:

$$M_{\alpha} = \frac{\cos \alpha (1 + \operatorname{tg} \bar{\phi} \operatorname{tg} \alpha)}{F} \quad (4.12)$$

Whitman y Bailey (1967) puntualizan una extraña dificultad numérica con este método. Cuando es negativo existe la posibilidad que el denominador en la Ecuación 4.10 sería negativo, o ínfimo y cero. Cuando ésto ocurre, el momento resistente se resuelve a cero.

El Método de Spencer asume que las fuerzas interdovelas son paralelas (Spencer, 1967). Una dovela típica y el correspondiente polígono de fuerza son mostrados en la Figura 4.9. Las fuerzas en la dovela son:

- a) El peso de la dovela, W
- b) La fuerza pseudo-estática, kW , en la cual k es el coeficiente sísmico.
- c) La fuerza de presión de poros, U ($=u \cdot l$)
- d) La fuerza normal efectiva en la base, P'
- e) La fuerza cortante móvil $\frac{S}{F}$ ($= \frac{c \cdot l + P' \operatorname{tg} \bar{\phi}}{F}$)
- f) La resultante de las fuerzas exteriores perpendiculares y paralelas en la parte superior de la dovela, N y M respectivamente.
- g) La resultante de las fuerzas laterales paralela, Q

La fuerza sísmica pseudo-estática y las resultantes de las presiones de frontera no serán incluidas en la presente discusión; estas fuerzas son de magnitud y

dirección conocida, de tal manera que no contribuyen a la comprensión de la teoría, pero tienden a hacer extensas las ecuaciones.

La sumatoria de fuerzas, normal y tangencial en la base de cada dovela, proporciona dos ecuaciones de equilibrio de fuerzas y dos incógnitas, P' y Q :

$$P' + U - W \cos \alpha + Q \sin (\alpha - \theta) = 0 \quad (4.13)$$

$$\frac{\bar{e}l}{F} + \frac{P' \operatorname{tg} \bar{\theta}}{F} - W \sin \alpha - Q \cos (\alpha - \theta) = 0 \quad (4.14)$$

Resolviendo la ecuación 4.13 para P' y sustituyendo la expresión en la ecuación 4.14 y resolviendo la ecuación 4.14 para Q se tendrá:

$$Q = \frac{\frac{\bar{e}l}{F} + \frac{\operatorname{tg} \bar{\theta}}{F} (W \cos \alpha - U) - W \sin \alpha}{\cos (\alpha - \theta) \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \bar{\theta} \operatorname{tg} (\alpha - \theta)}{F} \right)} \quad (4.15)$$

Si las fuerzas externas en el terraplen están en equilibrio, la suma vectorial de las fuerzas interdovelas puede ser cero asegurando el equilibrio total de fuerzas. Desde que las fuerzas interdovelas son todas paralelas, este requerimiento se reduce a:

$$\sum Q = 0 \quad (4.16)$$

Además, la fuerza normal y el peso de cada dovela se asumen coincidentes en un punto de la superficie de deslizamiento con la misma coordenada X del centro de gravedad de la dovela. Para cada dovela que estará en momento equilibrado, la resultante (Q) de las fuerzas interdovelas deberá ser concurrente con las demás fuerzas que actúan en la dovela. En otras palabras, Q puede actuar a través del punto en la base de cada dovela, donde la normal y la fuerza debido al peso actúan con suficiente adecuación, hechas para considerar las fuerzas exteriores en la parte superior de la dovela o las fuerzas sísmicas pseudo-estática.

Si la suma de momentos de las fuerzas externas sobre un punto arbitrario de origen es cero, entonces la suma de momentos de las fuerzas interdovelas sobre este punto puede también ser cero:

$$\sum Q (y \cos \theta + x \sin \theta) = 0 \quad (4.17)$$

donde x e y son las coordenadas del punto en la base de la dovela donde las fuerzas actúan.

La satisfacción de las Ecuaciones 4.16 y 4.17 asegura que el equilibrio sea enteramente satisfecho para cada dovela. Una de las soluciones es encontrar, para estas dos ecuaciones, la línea de falla que puede ser calculada para cada dovela.

Una solución de las Ecuaciones 4.16 y 4.17 se obtiene simultáneamente variando F y θ hasta satisfacer las dos ecuaciones. Para los valores iniciales asumidos de F y θ , la ecuación puede originar un error por los valores de R_1 y R_2 respectivamente, que es:

$$\sum Q \cos \theta = R_1 \quad (4.18)$$

$$\sum Q (y \cos \theta + x \sin \theta) = R_2 \quad (4.19)$$

donde Q está basado en los valores asumidos de F y θ , y R_1 y R_2 son las fuerzas horizontales y los momentos desequilibradores respectivamente. Note que la Ecuación 4.16 ha sido modificada ligeramente para proporcionar la componente horizontal de las fuerzas interdovelas.

Por el método de Newton-Raphson para la convergencia, F y θ son variados hasta R_1 y R_2 dentro de límites aceptables. Este proceso se discute en detalle en la disertación de Wright (1969).

El Método de Morgenstern y Price como originalmente fuera formulado, en cierto modo una convergencia diferente a la solución del completo equilibrio de dovela (Morgenstern y Price, 1965). Mientras que Spencer considera el momento total en equilibrio, Morgenstern y Price ha considerado las ecuaciones de momento de dovelas individuales. Cada método satisface todas las condiciones de equilibrio pero el método de Spencer requiere cerca de la mitad del tiempo de cómputo. Por esta razón la versión del programa de cómputo TSLOPE del método de Morgenstern y Price es actualmente una extensión del método de Spencer para dejar las fuerzas laterales que no son necesariamente paralelas (Spencer, 1973). Morgenstern y Price asumen que la relación de las fuerzas laterales están dadas por:

$$\frac{X}{E} = \lambda f(x) \quad (4.20)$$

donde $f(x)$ representa un factor que define la variación de relación entre X y E . El parámetro λ es una variable de factor de escala determinada por el programa para satisfacer el equilibrio completo.

El método de Spencer asume que las fuerzas laterales están inclinadas en un ángulo θ con respecto a la horizontal:

$$\frac{X}{E} = \operatorname{tg} \theta \quad (4.21)$$

El ángulo θ está determinado en el proceso de cálculo. Para extender al método de Spencer que permite la fuerza laterales no paralelas se dá:

$$\frac{X}{E} = \operatorname{tg} \theta \cdot f(x) \quad (4.22)$$

donde $f(x)$ es como se describió previamente. Note que $f(x) = 1$ es equivalente al método de Spencer. El ángulo de cada fuerza lateral vienen dado por:

$$\delta_i = \operatorname{tg}^{-1} (\operatorname{tg} \theta \cdot f(x)) \quad (4.23)$$

Las fuerzas en una dovela típica y el polígono de fuerzas son mostradas en la Figura 4.10. Las fuerzas laterales son calculadas usando:

$$Z_R = Z_L \cdot \frac{\cos(\alpha - \delta_L) \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \delta_L)}{F}\right)}{\cos(\alpha - \delta_R) \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \delta_R)}{F}\right)} - Q \quad (4.24)$$

donde Q es calculada usando la Ecuación 4.15 en la cual está reemplazada por δ_R . La fuerza horizontal y el momento equilibrado son calculados y F y θ están variando hasta el balanceo dentro de los límites aceptables.

4.2.1 Empleo de Programas de Cómputo

El equilibrio límite de análisis de estabilidad de taludes, es la parte común de todos los análisis geotécnicos, pero existen muchas opciones que tanto el programador como el usuario debe hacer frente en el comportamiento de tales análisis. En tanto sea posible escribir un programa de cómputo, éste proporcionará al usuario todas las opciones que sean deseables y requeridas en la práctica, así el resultado del programa será bastante completo. De esta manera podemos escoger ejecutar dos programas individuales, cada cual relativamente fácil de usar, y los cuales ofrecen más opciones probables de ser requeridas en la práctica.

TSLOPE es usado para el análisis de superficie de falla circular y no-circular en el cual, el usuario especifica cada posible superficie de deslizamiento y las propiedades del suelo a lo largo de dicha superficie de deslizamiento. Múltiples superficies de deslizamiento pueden ser analizadas en un solo trabajo, sin repetir el ingreso de datos para el talud o para la aplicación de carga lineal y de presión, pero sí, el ingreso de datos deberá ser repetido para cada posible superficie de deslizamiento individual empleada en cada ejecución.

TSTAB es usado para el análisis de superficie de deslizamiento circular, donde la geometría y propiedades del suelo son tales, que es posible utilizar una búsqueda automática para el probable deslizamiento circular que tenga el mínimo factor de seguridad.

Uno u otro programa determinará el coeficiente sísmico crítico, que es el coeficiente sísmico que reduce el factor de seguridad a la unidad.

Normalmente será obvio qué programa es el más conveniente en una aplicación. Claramente TSLOPE puede ser usado para el análisis de superficie de deslizamiento no circulares. TSLOPE puede también ser usado si el análisis de esfuerzo total tendrá un comportamiento en el cual la resistencia no drenada varía con la resistencia cortante inicial, o la orientación de la posible superficie de deslizamiento.

Mientras se permita solo una búsqueda para el círculo con el mínimo Factor de Seguridad, el ingreso de datos llegará a ser más tedioso; también es conveniente que el usuario en algunas circunstancias considere algunos aspectos del problema sin el uso del computador, en el orden que mejor entienda las propiedades a usar. Del mismo modo, es posible escribir programas que realicen una búsqueda automática para superficie de

deslizamiento no circular, que tenga el mínimo factor de seguridad pero, en adición se tomará el ingreso de datos más complejo, esto deberá entenderse que la falla a lo largo de tal superficie no podrá ser cinemáticamente posible y así será deseable que el ingeniero estudie más cuidadosamente la geometría del problema.

En general TSTAB está diseñado para su uso en problemas que tienen geometría y propiedades de material, donde éstos son apropiados para automatizar la búsqueda del deslizamiento circular con el mínimo factor de seguridad y TSLOPE está diseñado para su uso en problemas más complejos.

Cada programa ofrece una elección del método para calcular el factor de seguridad. TSTAB usa tanto el Método Simplificado de Bishop como el Método de Spencer y TSLOPE usa el método de Spencer o el método de Morgenstern y Price. Como se ha discutido antes, existe un crecimiento notable en precisión con incrementada satisfacción yendo desde Bishop a Spencer y a Morgenstern y Price. Existe un salto marcado en el tiempo de cómputo yendo desde el Método simplificado de Bishop a los otros dos métodos, así para el análisis de superficie circular de deslizamiento uno debe normalmente usar TSTAB y el Método de Bishop Simplificado. La opción de usar el Método de Spencer en TSTAB es proporcionar ampliamente

conformidad a aquellos que usan el método en el cual el equilibrio se satisface enteramente. El método simplificado de Bishop puede extenderse a superficie de deslizamiento no circulares (Carter, 1971) pero generalmente se requiere el uso de métodos tal como el de Spencer o Morgenstern y Price que satisface enteramente el equilibrio. Como se mencionó en TSLOPE, estos métodos son idénticos, excepto que por el método de Morgenstern y Price el usuario debe especificar las inclinaciones relativas de fuerzas interdoveles. Desde que el usuario no conoce normalmente como especificar las inclinaciones relativas de las fuerzas interdoveles, se hace más razonable el empleo del Método de Spencer.

No obstante, el Método de Morgenstern y Price debe ser usado cuando el Método de Spencer abandona la convergencia o cuando el Método de Spencer origina una línea de rechazo irracional.

Los antecedentes teóricos para los tres métodos de análisis que son usados en TSLOPE y TSTAB fueron presentados anteriormente.

GUIA GENERAL EN EL USO DEL METODO DE EQUILIBRIO LIMITE EN EL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

Como guía general en el uso del método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad de taludes se puede mencionar que es conveniente que el usuario de cualquier programa de cómputo para el análisis de estabilidad de taludes esté enterado de la mecánica del método que usará, pero aún más importante que tenga una completa comprensión de los principios que envuelve la elección de la correcta geometría a analizar y en la especificación de las propiedades del suelo, así como las presiones de poros usadas en el análisis.

En la elección de la geometría se debe considerar que frecuentemente se presentan taludes que fallan en superficie de deslizamiento circular y es razonable analizar la estabilidad de taludes empleando estas superficies de falla. Sin embargo existen muchas circunstancias donde éste no es el caso. Una superficie de deslizamiento no circular puede ser más crítica que la superficie de deslizamiento circular, cuando:

Está presente una capa débil en la fundación. Esta capa débil puede ser una arcilla blanda (Leonards, 1982; Fredlund, 1981) o una arena licuable (Seed y Wilson, 1967).

- Existe una fuerte sobre consolidación, arcilla dura fisurada o fundación de lutita-arcillosa para una cortina o terraplén. Estos materiales tienden a tener un esfuerzo cortante anisotrópico alto, en el cual el esfuerzo puede ser tan pequeño como 20% a lo largo de las fisuras, en comparación de otras direcciones (Wright y Duncan, 1972; Duncan y Dunlop, 1969).
- Un núcleo de presa está inclinado y está significativamente débil como cascarón.

La heterogeneidad en una superficie de deslizamiento no circular es obvia para el ingeniero. Por esta razón, TSLOPE no contiene la característica de búsqueda automática para una superficie de deslizamiento crítica no circular.

En cuanto a los esfuerzos cortante y la presión de poros, podemos mencionar que el análisis de estabilidad de taludes puede ser desarrollado empleando tanto los esfuerzos totales como los esfuerzos efectivos. El uso de los esfuerzos totales en oposición al análisis de esfuerzos efectivos puede producir un amplio rango de factores de seguridad. En general, estas preguntas son más importantes que la elección del método usado para el análisis de estabilidad.

4.2.2 TSTAB - Método de Bishop Simplificado

Para realizar el análisis de estabilidad de taludes de las tres trincheras mencionadas empleando el método de Bishop Simplificado, se utilizó el programa de cómputo TSTAB el cual realiza el análisis de estabilidad mediante el método de equilibrio límite. Cuando se ingresa al TSTAB el usuario puede elegir entre dos procedimientos de análisis: Método de Spencer o Método de Bishop Simplificado. TSTAB es usado para el análisis de superficies de deslizamiento circular y tiene la capacidad de buscar automáticamente el círculo crítico. Además la presente versión de TSTAB contiene las siguientes características:

- Puede usar cualquiera de los métodos, Bishop Simplificado o Spencer.
- Puede analizar círculos específicos o buscar automáticamente un círculo crítico.
- Permite la aplicación de cargas lineales y presiones en el talud.
- Calcula automáticamente presiones en un talud sumergido desde el nivel de elevación del fluido.
- Realiza un análisis sísmico pseudo-estático buscando automáticamente el coeficiente sísmico crítico para los círculos especificados para el círculo crítico, o puede relocalizar el círculo crítico con iteración del coeficiente sísmico.

- Permite al usuario especificar la envolvente de resistencia al corte de Mohr-Coulomb cuando se emplea el Método de Spencer.
- Opción de especificar el perfil de la resistencia al corte no drenado con la profundidad.
- Permite la elección del cómputo automático de la presión de poros desde la superficie freática especificada o para una distribución de la presión de poros.
- Proporciona el gráfico de la geometría del talud, círculo especificado o crítico, y factores de seguridad para cada círculo analizado.

De los dos métodos que ofrece el programa de cómputo TSTAB, se eligió el método simplificado de Bishop por ser razonablemente preciso para muchos propósitos donde el talud analizado puede ser asumido que fallará a lo largo de una superficie de falla circular. El factor de seguridad está definido como la relación del momento resistente al momento actuante alrededor del centro del arco de falla. Inicialmente se debe contar con una sección transversal del talud dibujada, en la que se detallará la estratigrafía ingenieril adoptada y además la superficie piezométrica. Se elige un centro para un arco que pasa por la sección transversal. Este arco representa el mecanismo de falla el cual se está analizando. La zona de falla es analizada mediante una

serie de dovelas que puedan ser evaluadas individualmente tanto sus pesos propios como de sus características de resistencia.

A la versión original presentada por Alan Bishop en 1955, se ha adicionado una fuerza estática horizontal que simula los efectos sísmicos.

Para realizar el análisis de estabilidad de taludes empleando el método de Bishop Simplificado se requirió, como ya se indicó anteriormente, de la sección transversal a analizar. La Figura 4.11 presenta la sección transversal correspondiente a la trinchera T-2, en cuya corona se aprecian los silos que corresponden a la sobrecarga, la cual está afectando el talud correspondiente. También se puede apreciar la estratigrafía ingenieril y el perfil existente; en un cuadro que se presenta en la parte inferior de la figura se resume los valores promedios de las características de resistencia de cada estrato que conforma el perfil elegido. El análisis y las conclusiones de los parámetros de resistencia que se utilizarán en el cálculo de la estabilidad de taludes, se presentó en el capítulo anterior, adoptándose los valores promedios de resistencia.

El proceso de análisis de la estabilidad de taludes correspondiente a la sección de la trinchera T-2 se basó en la elección de una inclinación y altura del talud inicial tal como 15° y 100m respectivamente. Con estos dos valores iniciales el programa de cómputo TSTAB realizó una búsqueda automática del círculo que proporciona el menor factor de seguridad hasta un talud de 52 iteraciones, variando el centro del círculo y manteniéndose tangente a una profundidad determinada en función de la altura del talud. Para realizar un análisis más conservador, se consideró una altura de aguas externas del talud en 5 metros menos que la altura elegida del talud coincidente con el punto de tangencia del círculo analizado. Teniendo presente que en este caso el coeficiente sísmico k es igual a cero obtenemos diferentes factores de seguridad en cada iteración. Si el menor factor de seguridad correspondiente al análisis de la primera geometría es mayor que la unidad, se procede al aumento de 5° la inclinación del talud sin variar la altura. De esta manera se puede apreciar en la Figura 4.11 que la máxima inclinación que puede permitir un talud cuya altura es de 100 m es de 25° , geometría que le corresponde un factor de seguridad de 1.044. Esto indica que una inclinación de 30° proporciona un factor de seguridad menor que la unidad.

A continuación la altura es disminuída en 20 m y se realiza el análisis de estabilidad para una geometría de 30° de inclinación y 80m de altura del talud. El análisis continua así sucesivamente aumentando la inclinación y disminuyendo la altura del talud, hasta una altura final de 40m, que es aproximadamente la que existe actualmente en el campo.

Se debe recordar que se reduce el problema a proporcionar finalmente una solución basada fundamentalmente en la geometría del talud, pero además se debe considerar que se estaría vinculando directamente la materia prima de la fabricación del cemento y por ello se debe optimizar la explotación lo cual está vinculado a la geometría adoptada, mayor o menor inclinación y altura. Pero además intencionalmente se realiza el análisis preliminar a la trinchera T-2 porque si bien es cierto es ideal la máxima explotación del material de la cantera por ser la materia prima, pues no se debe dejar de lado el peligro en que se pondría a los silos de almacenamiento de cemento que se encuentran próximos a la cantera y en la corona del talud. Por ello el análisis ha involucrado a los silos como una sobrecarga que actúa en la corona del talud, realizándose una evaluación de las áreas explotables en función de cada geometría analizada.

El Anexo 8 presenta la salida de computadora correspondiente al análisis de estabilidad de taludes empleando el programa de cómputo TSTAB, Método de Bishop Simplificado y para la condición en que el coeficiente sísmico es $k = 0$. El Cuadro 4.2 presenta el resumen de la salida de resultados del análisis de estabilidad para las condiciones mencionadas.

Como se mencionó anteriormente, para las diferentes geometrías cuyos factores de seguridad son mayores que la unidad, se realizó un cálculo de área explotable y cuyo resumen se presenta también en la Figura 4.11. Nótese que la mayor área explotada se lograría con una geometría que tenga 35° de inclinación y 80m de altura de talud. Al considerar un $k = 0$ se puede decir que se está acotando el intervalo de variación de la geometría del talud con fines de explotación. La Figura 4.12 presenta las gráficas que considerando un factor de seguridad próximo a la unidad correlaciona la geometría del talud y el área que con ella se pudiera explotar. De la gráfica se puede apreciar que el área máxima explotable puede relacionarse a una geometría aproximada cuya inclinación del talud sería de 30° con una altura de 90m, permitiendo un área de explotación de aproximadamente $20,200 \text{ m}^2$. Al mismo tiempo las gráficas permiten determinar otras áreas de explotación que generarían algunas geometrías especiales del talud.

Teniendo en cuenta la metodología de análisis explicada se realizó el análisis de estabilidad para la trinchera T-2, pero esta vez considerando un coeficiente sísmico igual a 0.15, si bien es cierto es un valor alto, esto permitirá proporcionar otro acotamiento en la geometría del talud, de tal manera de concluir con una geometría del talud que involucre una determinada área de explotación para condiciones que se acercan más a la realidad.

La Figura 4.13 muestra la metodología de análisis empleada, incrementando el ángulo de inclinación y disminuyendo la altura del talud, hasta los 45m que es la altura aproximada existente en la zona. Los parámetros de resistencia empleados, así como las áreas explotables para diferentes geometrías del talud, también son presentados. Nótese que en este caso la geometría correspondiente a un ángulo de inclinación de 20° y una altura de talud de 65m, proporcionan la máxima área explotable.

El Anexo 9 presenta la salida de computadoras correspondiente al análisis de estabilidad de taludes para la condición en que el coeficiente sísmico k es igual a 0.15 y 0.00 correspondientes a la misma geometría y el Cuadro 4.3 el resumen de la salida de computadora.

La Figura 4.14 presenta las gráficas de las geometrías que proporcionan factores de seguridad cercanos a la unidad y sus correspondientes áreas explotables. En estas gráficas podemos observar que la máxima área explotable es de aproximadamente $13,800 \text{ m}^2$ y la proporciona la geometría cuya inclinación del talud es de 20° y la altura de 65m para un $k = 0.15$. En la Figura 4.15 se presenta las gráficas que relacionan la geometría del talud y el factor de seguridad correspondiente, para un rango de variación del coeficiente sísmico que va desde 0.00 a 0.15 . De este gráfico se puede elegir una geometría determinada y realizando una interpolación para la curva de coeficiente sísmico k , se puede encontrar el respectivo factor de seguridad. Nótese que la trayectoria de la curva que relaciona la geometría del talud corresponde a aquellas secciones que tienen factores de seguridad mayores que la unidad y un rango de variación del coeficiente sísmico.

Por otro lado, el Cuadro 4.4 presenta los valores de los coeficientes sísmicos críticos y los factores de seguridad para $k = 0$. Este cuadro puede considerarse como un caso particular de la Figura 4.15, la cual considera la geometría del talud correspondiente a la trinchera T-2 analizada con TSTAB. Asimismo el Cuadro 4.5 es un cuadro comparativo de factores de seguridad cuando se emplean parámetros de resistencia máximos, promedios ó

ingenieriles y conservadores empleados en el análisis de estabilidad y para geometría de talud cuyos factores de seguridad son mayores o iguales a la unidad. Este cuadro permite observar el rango de variación de los factores de seguridad.

Hasta esta etapa se consideró el análisis de la trinchera T-2 como la más crítica debido a que tiene una sobrecarga de 25 tn/m^2 correspondiente a los silos que se deben proteger.

Empleando parámetros de resistencia promedios ó ingenieriles y de acuerdo al análisis realizado se recomienda la excavación hasta tener una altura de 65m como máximo y una inclinación del talud igual a 20° .

Se indica la recomendación de altura y talud por ser ésta la sección óptima que proporciona un mayor volumen de explotación del material de cantera.

La Figura 4.16 presenta la recomendación para la trinchera T-2, resultado del análisis de estabilidad de taludes empleando el programa de cómputo TSTAB-Método de Bishop Modificado. Nótese que se presenta la gráfica F.S. vs k en la que se determina $k_c = 0.167$ y $FS = 1.499$. Puede observarse el nivel freático que para todo el análisis realizado se consideró en la interfase limo-

arcilla y además una altura de embalse de 5 m, condiciones severas asumidas.

Concluido el análisis de estabilidad correspondiente a la trinchera T-2 se procedió al análisis de las otras dos trincheras T-1 y T-3, teniendo presente las siguientes consideraciones:

- Se consideró la altura de los respectivos taludes constante e igual a 65m, con la finalidad de guardar cierta homogeneidad con respecto a la trinchera T-2 en el momento de explotación.
- La estratigrafía ingenieril adoptada corresponde a un solo tipo de material de gran potencia. Así la trinchera T-1 es un talud conformado por un material CL y la trinchera T-3 es un talud conformado por un material ML.
- En la metodología de análisis se mantuvo constante la altura del talud, variando solo la inclinación. Para este caso el área explotable es directamente proporcional al incremento del ángulo de inclinación del talud.
- Para el análisis de estabilidad empleando el programa de cómputo TSTAB se consideró la alternativa en que el mecanismo de falla es circular y pasa por un punto especificado, coincidente con el pie del talud.

El Anexo 10 presenta la salida de los datos procesados empleando el programa de cómputo TSTAB-Bishop Modificado proveniente de la evaluación de las trincheras T-2 y T-3. Para cada trinchera se consideró los coeficientes sísmicos de $k = 0.00$ y $k = 0.15$. Los Cuadros 4.6 y 4.7 presentan los resúmenes de valores correspondientes a las trincheras mencionadas. El Cuadro 4.6 de la trinchera T-1 considera como alternativa de solución un talud con 65m de altura y una inclinación de 20° esta geometría final se presenta en la Figura 4.17 con el mecanismo de falla circular que pasa por un punto. El Cuadro 4.7 de la trinchera T-3 considera como alternativa de solución un talud con 65m de altura y una inclinación de 30° cuya geometría final se presenta en la Figura 4.18 con mecanismo de falla circular. Cabe recordar que todo estos análisis realizados a las tres trincheras se realizaron empleando los parámetros de resistencia promedio o ingenieriles determinados anteriormente.

4.2.3 TSLOPE - Método de Spencer

Como se sabe el paso previo a este análisis, consistió en determinar tanto la altura como la inclinación del talud adecuados para ofrecer la respectiva seguridad a los silos de almacenamiento de

cemento, así como proporcionar la máxima área de explotación de la cantera de materia prima empleada en la fabricación del mismo. Como se mencionó, el análisis se realizó suponiendo un mecanismo de falla circular empleando el Método de Bishop Modificado que proporciona el programa TSTAB. No siempre es cierto que el mecanismo de falla sea circular y para ello el programa de cómputo TSLOPE es un programa de cómputo diseñado para calcular factores de seguridad para superficies circulares o no circulares, mediante los Métodos de Spencer o Morgenstern y Price. Cada superficie potencial de deslizamiento es definida por el usuario, así como las propiedades del suelo a lo largo de esa superficie de deslizamiento.

La presente versión de TSLOPE contiene las siguientes características:

- Permite la aplicación de cargas lineales y presiones en el talud.
- Calcula automáticamente las presiones en un talud sumergido desde la superficie de elevación del fluido.
- Realiza un análisis sísmico pseudo-estático con búsqueda del coeficiente sísmico crítico.
- Permite al usuario especificar la envolvente de resistencia cortante de Mohr-Coulomb.
- Permite al usuario considerar variación tanto en la resistencia cortante no drenada.

- Permite al usuario especificar múltiples superficies de deslizamiento con un juego de entrada de datos para la geometría del talud y superficies cargadas.
- Proporciona el gráfico de la geometría del talud y la superficie de deslizamiento especificada.

El análisis que viene a continuación y que corresponde a las superficies de deslizamiento no circulares considera constante la inclinación y altura del talud determinado mediante el programa TSTAB. El nivel freático se consideró entre la interfase del material limoso y el material arcilloso y el nivel de embalse a 5m sobre el pie del talud.

La Figura 4.19 esquematiza la metodología de análisis que consistió en evaluar diferentes mecanismos de falla no circulares denotadas como 1, 2, 3 y 4; además se aprecia las diferentes dovelas empleadas en el análisis de estabilidad. El coeficiente sísmico fue de 0.15 y los valores promedios e ingenieriles de los parámetros de resistencia son indicados en cuadro de la parte inferior de la figura. Además, se presenta los valores de los diferentes factores de seguridad que corresponden a los cuatro mecanismos de falla supuestos. El Anexo 11 presenta la salida de resultados, producto del procesamiento de datos empleando el programa de cómputo TSLOPE-Método de Spencer. El resumen de los

resultados es presentado en un cuadro en la parte superior de la Figura 4.19. Nótese que el factor de seguridad mínimo determinado es igual a 1.161, calculado para un coeficiente sísmico igual a 0.15 y para un mecanismo de falla mostrado como número 2.

Otra incidencia importante es el análisis de estabilidad de taludes deprimiendo la napa freática supuesta. La Figura 4.20 esquematiza la metodología de análisis empleada. Podemos apreciar las diferentes alternativas de niveles freáticos como a, b y c. Para estos casos de análisis se ha mantenido constante el mecanismo de falla número 2 determinado en el análisis anterior y que proporcionó el menor factor de seguridad. Los parámetros de resistencias empleados son los valores promedios ó ingenieriles ya mencionados en los análisis anteriores. Nótese que el factor de seguridad se incrementa cuando la napa freática se deprime. El Anexo 12 presenta la salida de computadora, producto del procesamiento de datos correspondientes a la variación de niveles freáticos empleando el programa de cómputo TSLOPE-Spencer.

4.3 Factor Sísmico

El método pseudo-estático considera la elección del factor o coeficiente sísmico a utilizar en el análisis de estabilidad de taludes. El coeficiente sísmico depende de la ubicación, condiciones de cimentación, importancia del proyecto, de un posible daño debido a la presencia del agua y del criterio y experiencia del diseñador. En los métodos pseudo-estáticos la fuerza de inercia y la presión de poros inducidos por el sismo son reemplazados por una fuerza estática horizontal que es proporcional al coeficiente sísmico.

Los métodos más comunes utilizados en el análisis sísmico de la estabilidad, son los métodos pseudo-estáticos de equilibrio límite. Estos métodos consideran que la acción sísmica puede reemplazarse por una fuerza horizontal proporcional al peso de la masa deslizante ($F = k.w$).

El coeficiente sísmico a utilizarse en el diseño está influenciado por los factores siguientes:

- a) Sismicidad de la zona
- b) Condiciones locales de la cimentación, cuanto mayor sea la densidad natural del subsuelo, menor será la amplificación sísmica.

- c) Período fundamental del talud, implícitamente considera la altura y propiedades de los materiales.
- d) Importancia de la estructura y riesgo de daños.

La acertada elección del coeficiente sísmico constituye uno de los mayores problemas así como su distribución a lo largo de la altura del talud. Existen metodologías y criterios para la selección del coeficiente sísmico.

El Método Empírico es empleado por la mayoría de los diseñadores adoptando un valor empírico de acuerdo a la sismicidad de la zona y al tipo de talud. Se considera que el coeficiente sísmico es uniforme en toda la altura del talud, variando éste entre 0.05 y 0.25 en la dirección horizontal y entre 0 y 0.5 del coeficiente sísmico horizontal en la dirección vertical. La presión sísmica del agua está considerada en la fuerza estática. Generalmente se supone que el coeficiente sísmico se reduce en un porcentaje cuando los embalses contienen poca agua o se encuentran vacíos; también es poco probable que un terremoto fuerte y una inundación extraordinaria ocurran simultáneamente.

El método de análisis de respuesta de cuerpo rígido asume que el terraplén actúa como un cuerpo rígido y que las aceleraciones serán uniformes e iguales en todo

instante a las aceleraciones del terreno. Si bien se puede considerar a los taludes de baja altura como un cuerpo rígido, lo cierto es que la mayoría de taludes no se comportan como una estructura rígida. Una condición severa es considerar que la magnitud del coeficiente sísmico a usar en el diseño sea igual a la máxima aceleración del terreno. Este valor ocurre una vez y cambia de dirección repetidas veces, por ello la deformación resultante debe ser pequeña (Seed, 1978). En el Japón se sugiere reducir el coeficiente sísmico de diseño a un 50 ó 70% de la máxima aceleración del terreno (Sasaki, Koga y Taniguchi, 1987).

El método de análisis de respuesta elástica es propuesta por algunos investigadores debido a las deficiencias en la adopción de valores empíricos y a la suposición del cuerpo rígido. En el caso de una presa, ésta es idealizada como una sección triangular, homogénea y linealmente elástica. Se asume que la relación ancho-altura es lo suficientemente grande como para despreciar las deformaciones por flexión, por lo que solo se considera la deformación por corte; además los diferentes niveles son horizontales y uniformes (Ambraseys, 1960 y Krishna, 1962).

Sarma (1973) propone un método para el análisis de estabilidad de taludes para cualquier superficie de falla, el cual está basado en los principios de equilibrio límite y el método de dovelas. Con este método se determina directamente el coeficiente sísmico crítico k_c , en el cual el factor de seguridad es igual a uno sobre una superficie de falla. Sarma sugiere el uso de la aceleración crítica como una medida de los factores de seguridad.

Otro método para analizar la estabilidad de un talud, es el propuesto por Sano, en el cual se considera que el ángulo de fricción interna disminuye durante un sismo de acuerdo a la siguiente relación:

$$\phi_k = \phi - \frac{tg^{-1} k}{\sqrt{2}} \quad (4.25)$$

donde:

ϕ_k = ángulo de fricción interna durante un sismo.

ϕ = ángulo de fricción interna en condiciones normales y

k = coeficiente sísmico (Okamoto, 1973).

Newmark (1965) es el primero que propone un procedimiento de evaluación de las deformaciones potenciales de una presa de tierra o de enrocado durante un sismo. El método consiste en determinar mediante la resistencia al corte disponible en la superficie de falla potencial, la máxima aceleración posible, que se puede

transmitir sin que se produzca una deformación permanente. Cuando la fuerza actuante, k_w excede a k_y se producirá la deformación plástica, y se seguirá deformando siempre que k sea superior a k_y . El paso final del método de Newmark consiste en la estimación de los desplazamientos permanentes resultantes de cada impulso de movimiento del terreno donde k sea mayor que k_y . Si el desplazamiento es de algunos centímetros el talud posee seguridad pero si el desplazamiento permanente estimado es de varios metros se dice que el talud no posee estabilidad.

En estas condiciones el factor de seguridad está dado por:

$$F.S. = \frac{\text{tg } \phi}{\text{tg } \theta} (1 - R_u \sec^2 \theta) \quad (4.26)$$

y el coeficiente de fluencia por:

$$k_y = (F.S. - 1) \text{ sen } \theta \quad (4.27)$$

donde:

ϕ = ángulo de fricción interna.

θ = ángulo del talud.

R_u = factor de presión de poros.

Makdisi y Seed (1977) proporcionaron un método simplificado para la estimación de deformaciones en presas de tierra, basado en el concepto original de deformaciones permanentes propuesto por Newmark, pero considerando un comportamiento elástico y una evaluación de respuesta dinámica. El método es ideal para presas entre 30 y 60m de altura, aunque puede ser aplicado a presas más altas.

Se asume que la falla ocurre en una superficie de falla definida y que el material se comporta elásticamente antes de la falla y tiene un comportamiento perfectamente plástico después de la fluencia. En primer lugar se determina la aceleración de fluencia $k_y g$, que es definida como la aceleración promedio para producir un deslizamiento potencial donde el factor de seguridad es igual a uno, lo que causaría una deformación permanente. Luego se calculan las aceleraciones inducidas en el terraplén usando el análisis de respuesta dinámica y finalmente se calculan los desplazamientos en la dirección del plano de falla.

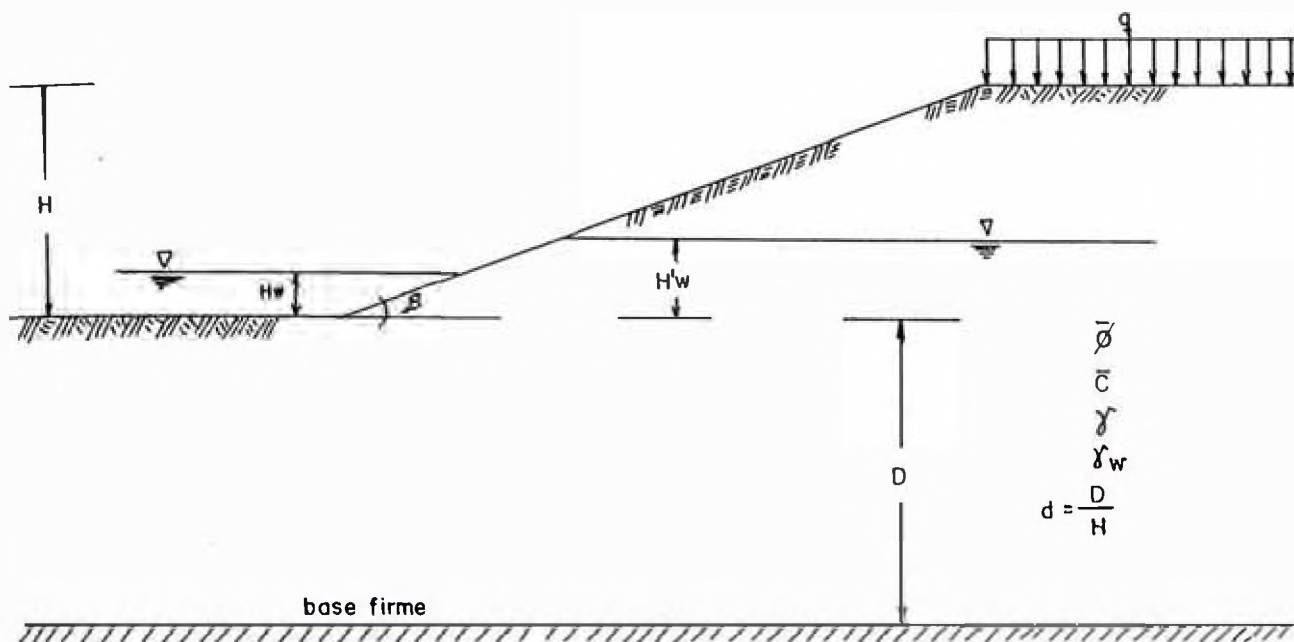
Si tenemos en cuenta el diseño de presas en el Perú se puede decir que no existen normas establecidas, por lo tanto los coeficientes utilizados varían de acuerdo al criterio y experiencia del diseñador. Con la finalidad de orientar el diseño por los métodos pseudo-estáticos se

presenta un Mapa de Zonificación del Coeficiente Sísmico en el Perú. Este se basa en la Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú (Alva Hurtado et al, 1984) y además se tuvo en consideración lo siguiente:

- (a) correlación entre intensidad y aceleración máxima de sismos.
- (b) Criterios empleados a nivel internacional.
- (c) Fórmulas que relacionan la aceleración máxima del terreno con la magnitud, distancia al hipocentro y condiciones locales de la cimentación (Blázquez, 1984; Idriss, 1985; Krishna, 1974).
- (d) Datos recopilados del diseño de presas peruanas.

La Figura 4.21 presenta el Mapa de los coeficientes sísmicos para presas de tierra que también pueden ser utilizados en el diseño sísmico de terraplenes en el análisis de estabilidad de taludes u otro tipo de estructuras de tierra, considerándose esta zonificación propuesta de carácter preliminar y sujeta a futura discusión. El mapa propuesto no exime al diseñador de la realización de estudios detallados de riesgo sísmico y determinación de coeficiente de diseño. La variedad de criterios y limitaciones que existen en la actualidad para seleccionar un adecuado coeficiente sísmico hace que los métodos pseudo-estáticos no sean utilizados, siendo reemplazados por métodos más sofisticados de respuesta

dinámica. No obstante los métodos pseudo-estáticos siguen en vigencia por su sencillez y rapidez en el diseño de taludes de mediana altura.

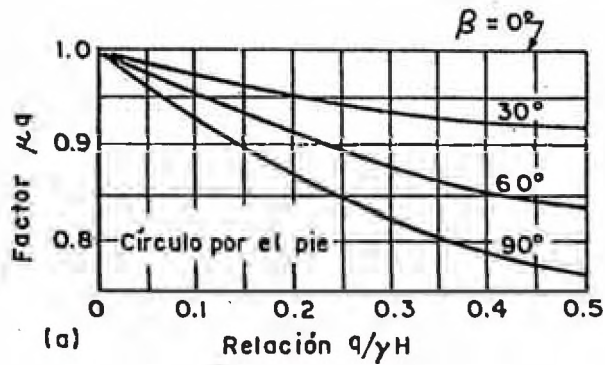


Donde :

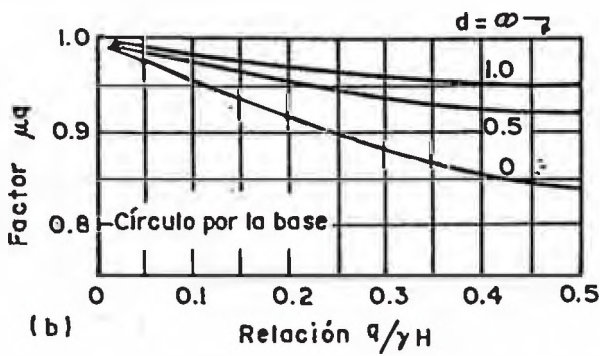
- D = Profundidad del pie del talud al punto mas inferior del círculo de folia
- H = Altura del talud
- γ = Peso unitario promedio del suelo
- q = Sobrecarga
- γ_w = Peso unitario del agua
- H_w = Altura del agua fuera del talud
- β = Angulo del talud
- $H'w$ = Altura del agua dentro del talud

FIG. 4.1.- ESQUEMA DE TALUD TIPICO ANALIZABLE

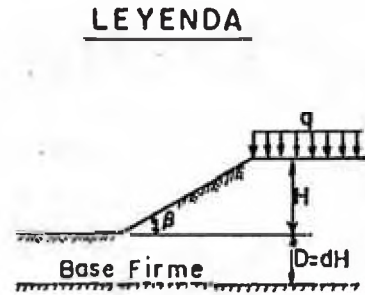
FACTORES DE REDUCCION POR CARGA ADICIONADA



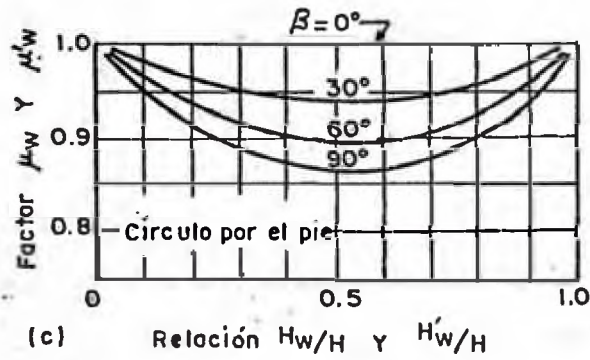
(a)



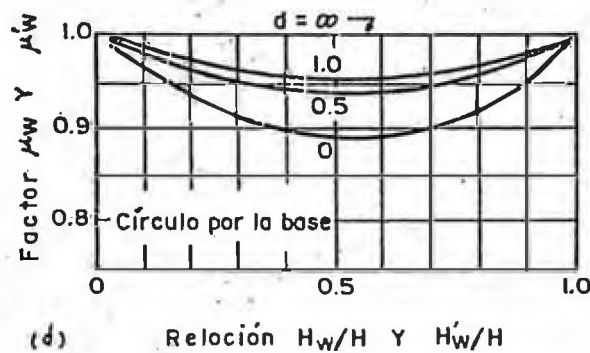
(b)



FACTORES DE REDUCCION POR SUMERGENCIA (μ_w) E INFILTRACION (μ'_w)



(c)



(d)

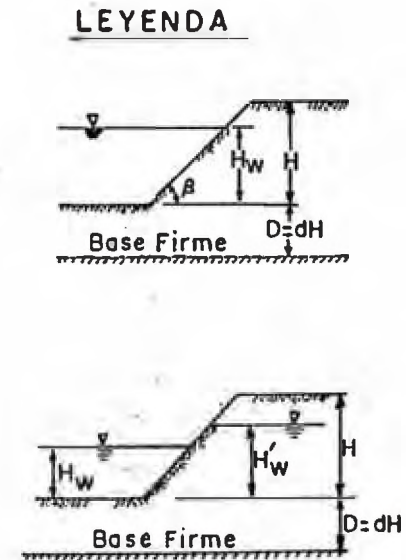
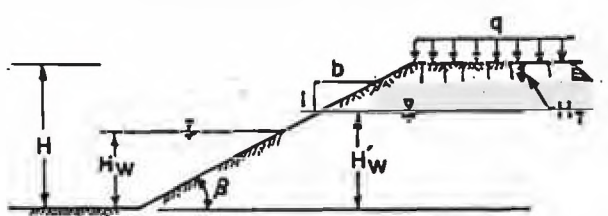
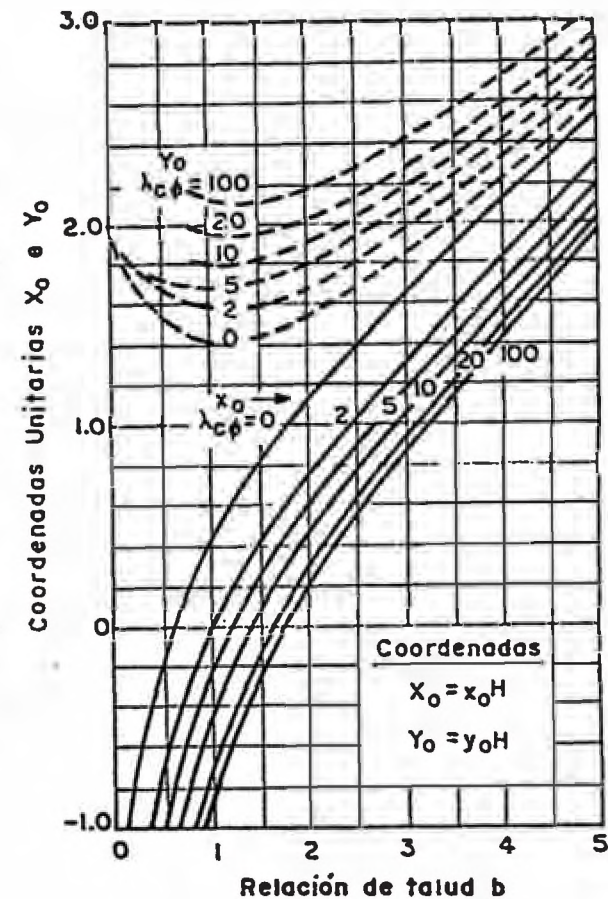
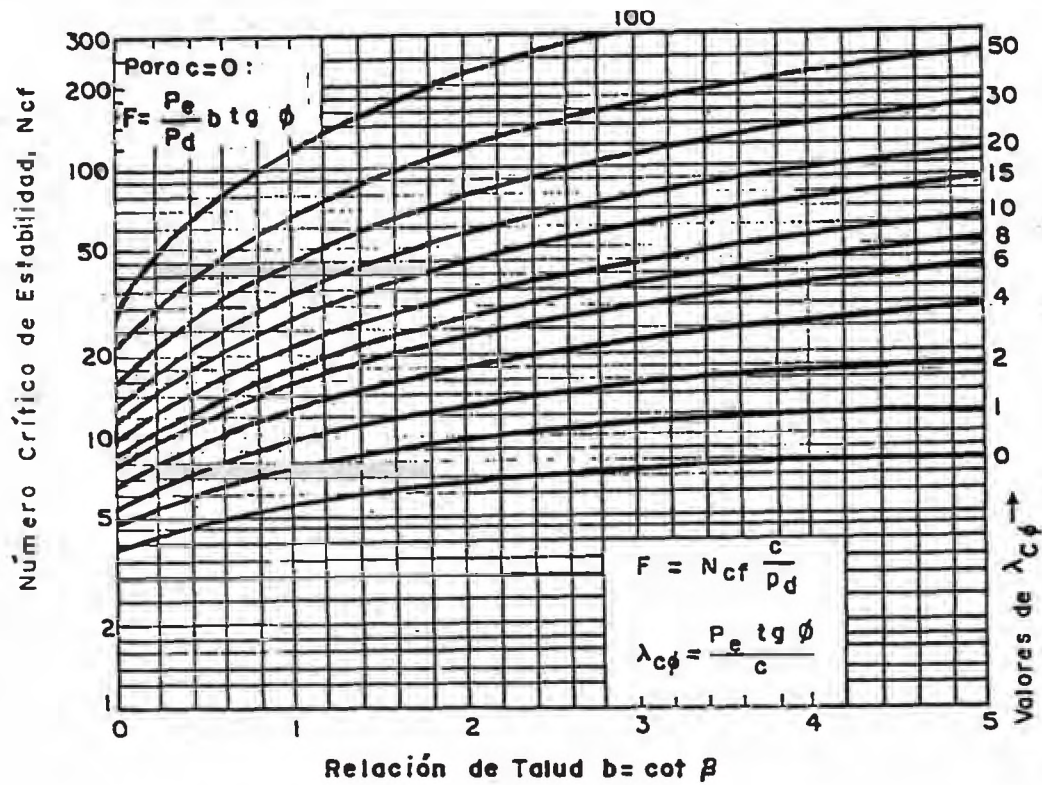


FIG.4.2.-FACTORES DE REDUCCION PARA LOS GRAFICOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES. SUELOS CON $\phi = 0$ Y $\phi > 0$ (Jan bu, 1968)



$$P_d = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w}{\mu_q \mu_w \mu_t}$$

$$P_e = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H'_w}{\mu_q \mu'_w}$$

(En la fórmula de P_e tomar $q=0$, $\mu_q=1$ para condición no consolidada)

FIG. 4.3. GRAFICOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA SUELOS CON $\phi > 0$ (Jan bu, 1968)

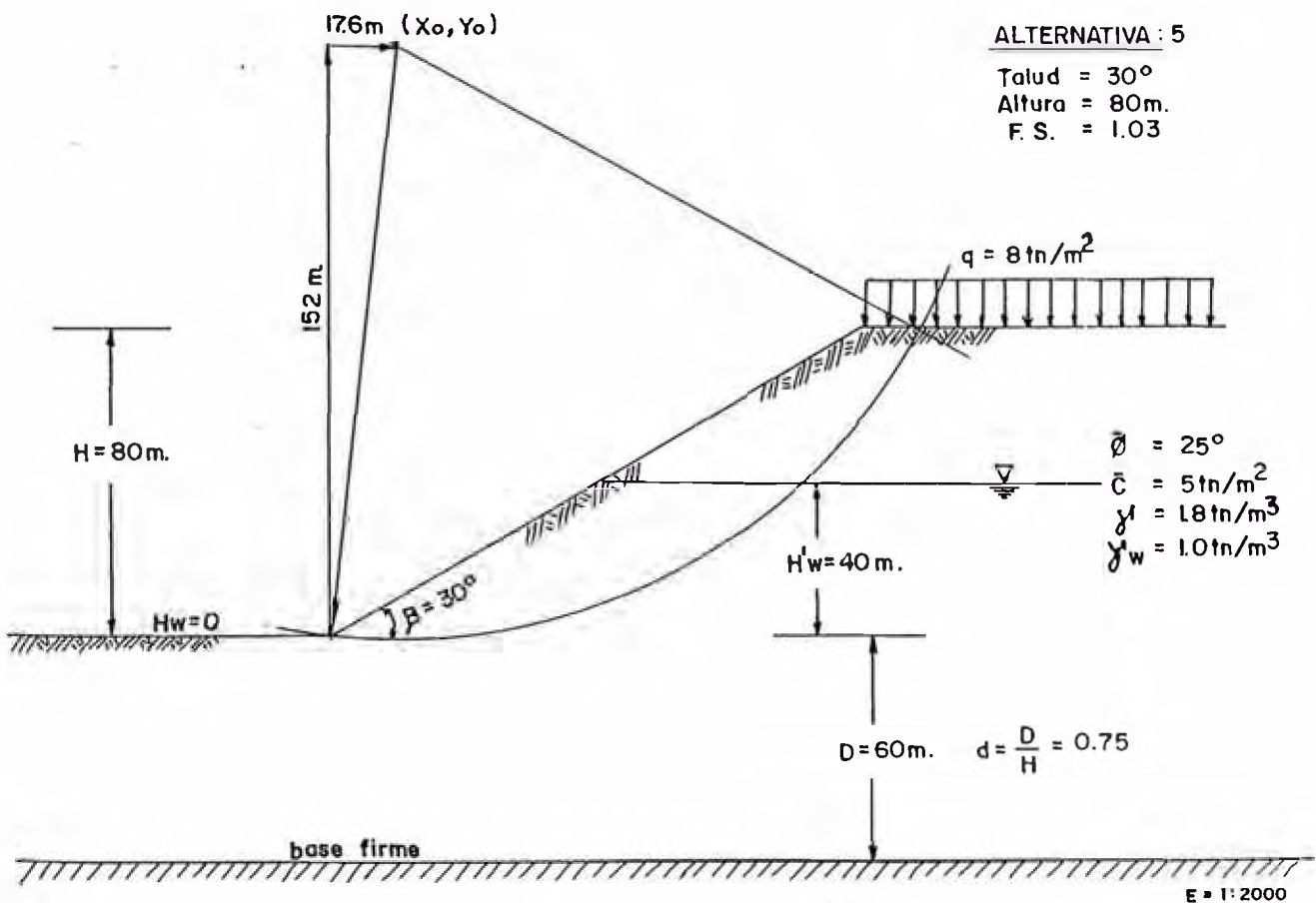
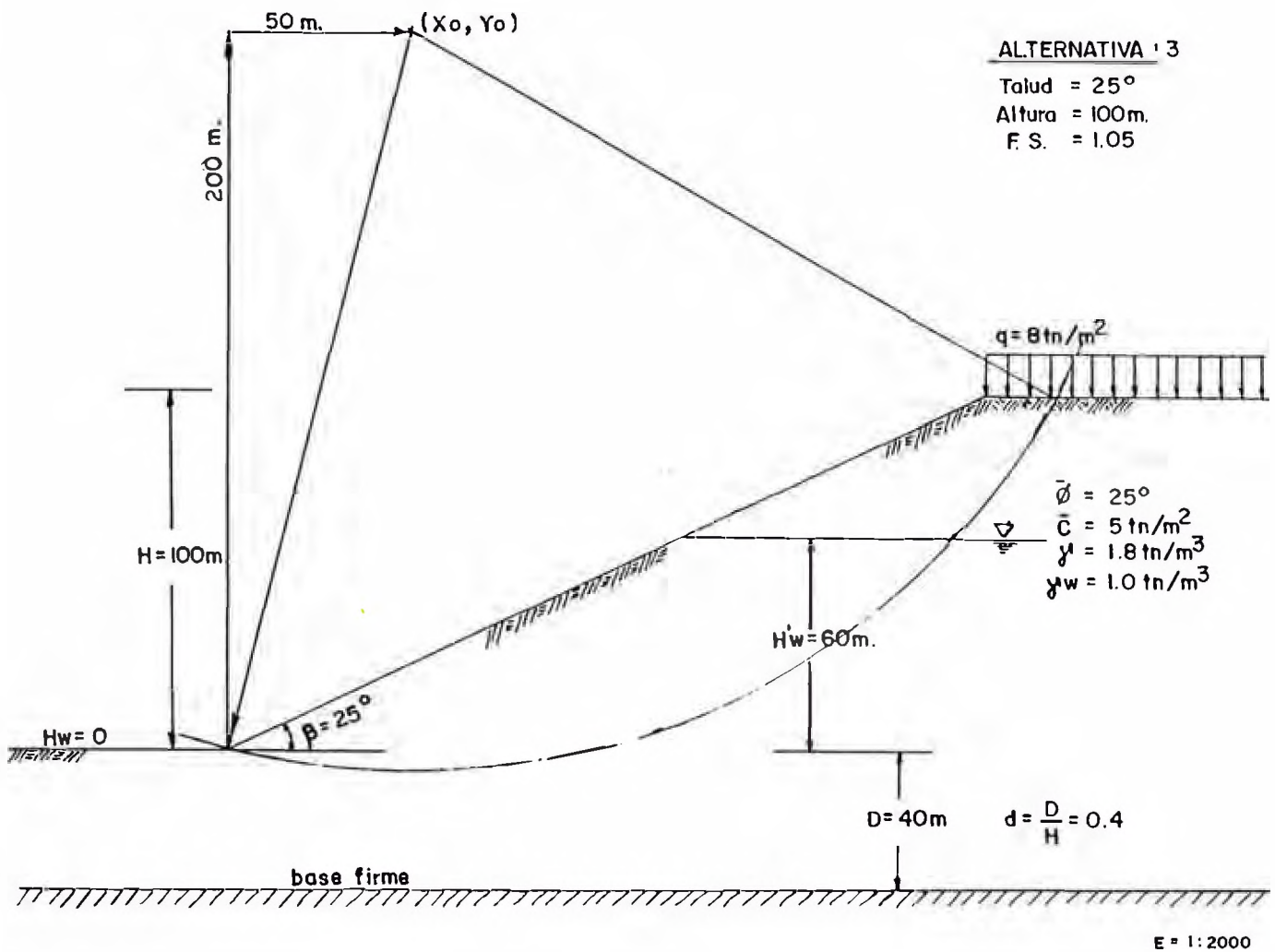
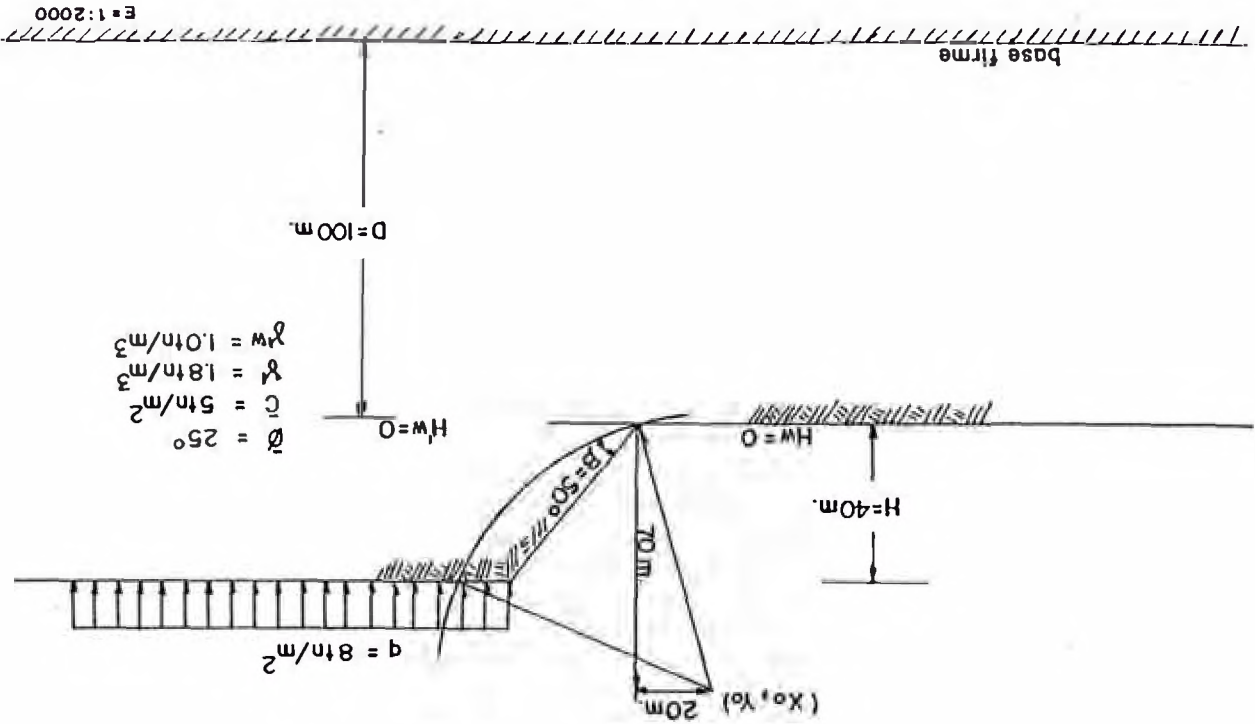
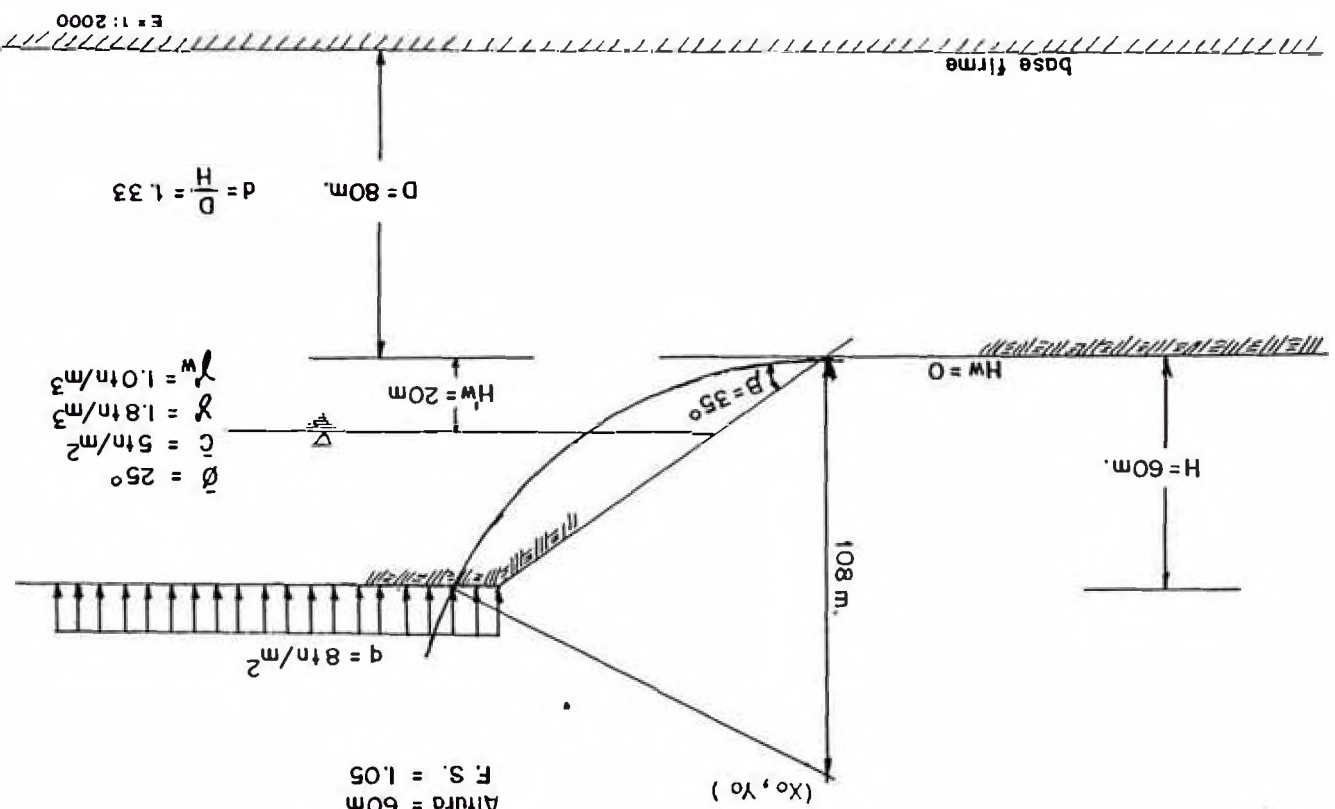


FIG. 4.4... GRAFICAS DE SOLUCION - EMPLEO DE ÁBACOS

FIG. 4.5.- GRAFICOS DE SOLUCION - METODO DE ABACOS

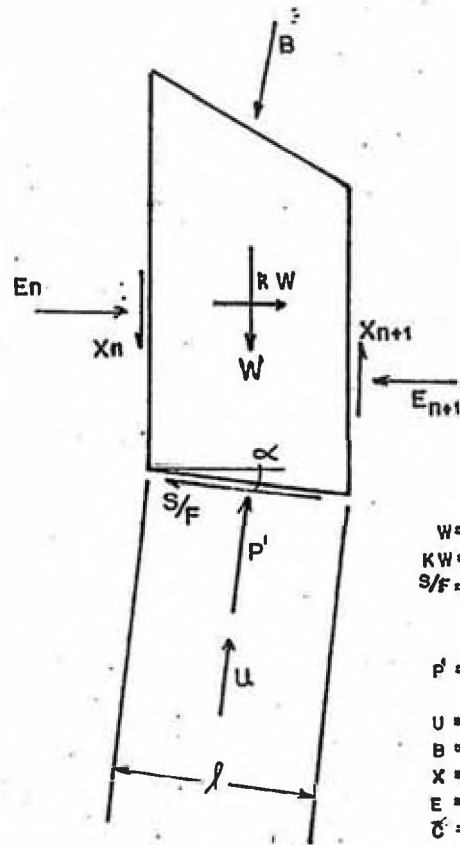
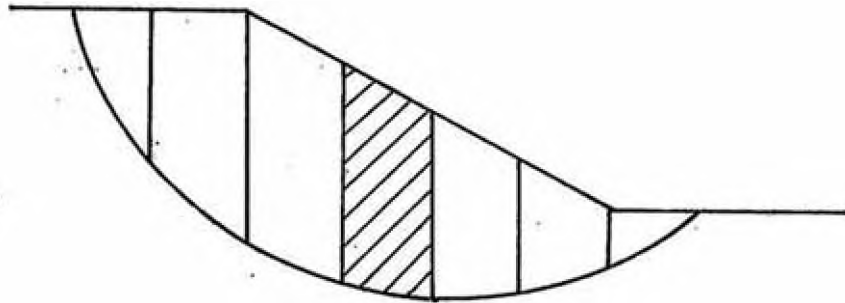


ALTERNATIVA : 11
 Toid = 50°
 Altura = 60m.
 F. S. = 1.05



ALTERNATIVA : 7
 Toid = 35°
 Altura = 60m.
 F. S. = 1.05

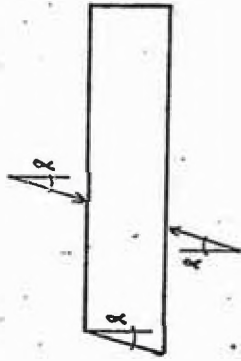
$D = 80m.$
 $d = \frac{H}{D} = 1.33$



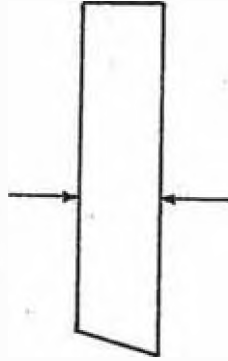
- W = PESO DE LA DOVELA
- KW = FUERZA SISMICA APLICADA EN EL CENTRO DE LA DOVELA
- S/F = FUERZA CORTANTE MOVIL EN LA BASE DE LA DOVELA

$$\left(\frac{\bar{\sigma} L + P' \tan \bar{\phi}}{F} \right)$$
- P' = FUERZA NORMAL EFECTIVA EN LA BASE
 $(= \sigma \times l)$
- U = FUERZA DE PRESION DE AGUA EN LA BASE
- B = FUERZA RESULTANTE A LA SUPERFICIE SUPERIOR
- X = FUERZA LATERAL VERTICAL
- E = FUERZA LATERAL HORIZONTAL
- \bar{c} = ESFUERZO DE COHESION EFECTIVA
- $\bar{\phi}$ = ESFUERZO DE ANGULO DE FRICCION EFECTIVO
- F = FACTOR DE SEGURIDAD

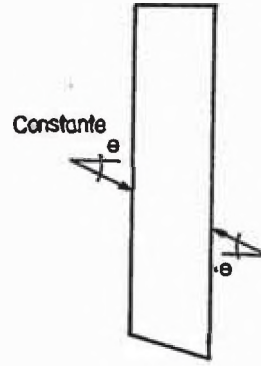
FIG.4.6.- FUERZAS ACTUANTES EN UNA DOVELA TIPICA



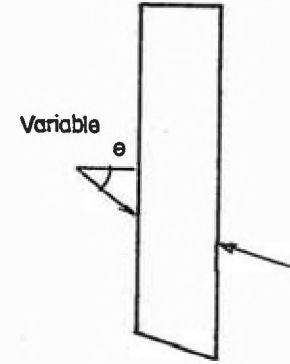
Método Ordinario de dovelas



Método Simplificado de Bishop



Método de Spencer



Método de Morgenstern y Price

FIG. 4.7.- DIFERENCIAS EN LAS SUPOSICIONES DE FUERZAS LATERALES ASUMIDAS EN METODOS COMUNES DE ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

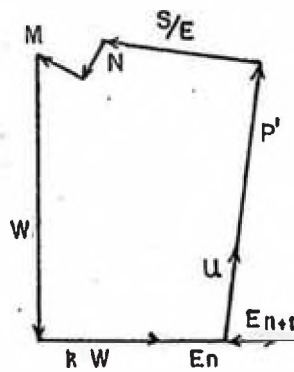
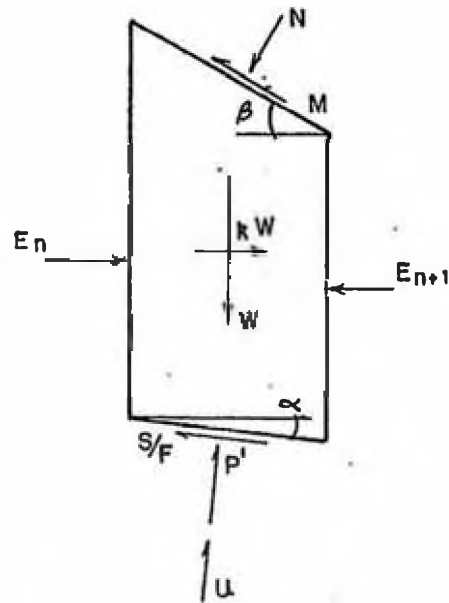
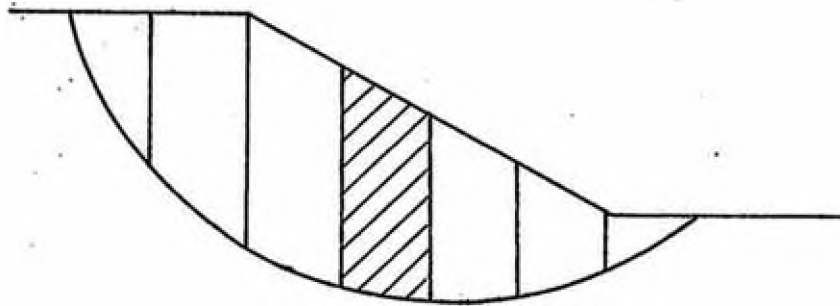


FIG. 4.8._ POLIGONO DE FUERZAS PARA EL METODO SIMPLIFICADO DE BISHOP

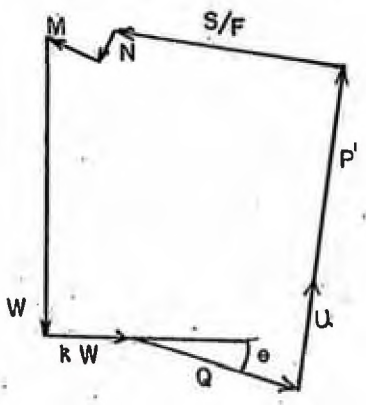
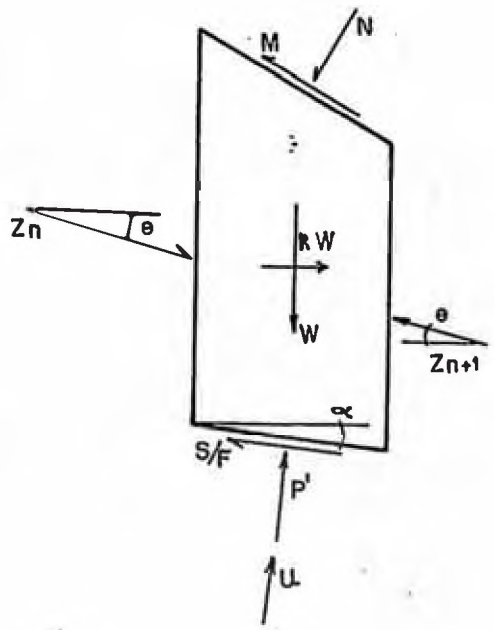
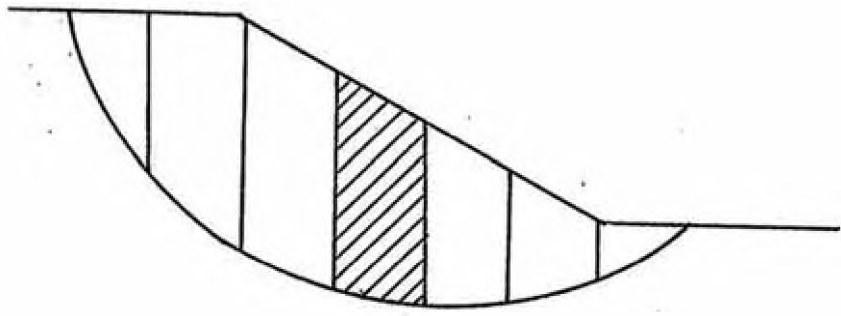


FIG.4.9.- POLIGONO DE FUERZAS PARA EL METODO DE SPENCER

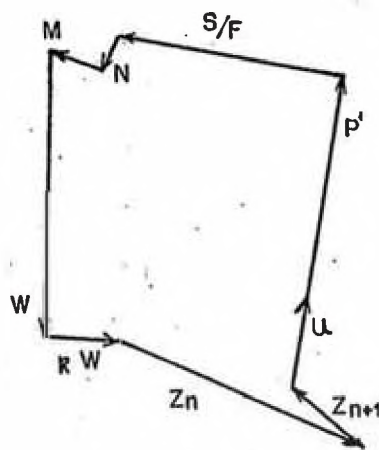
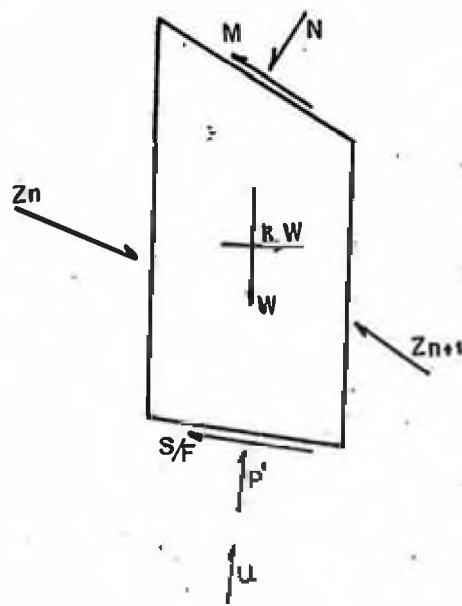
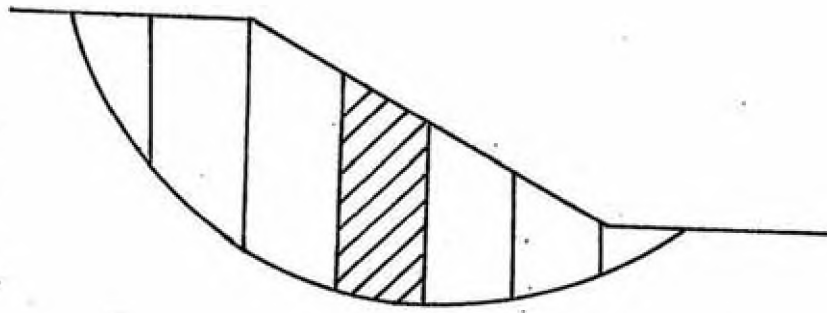
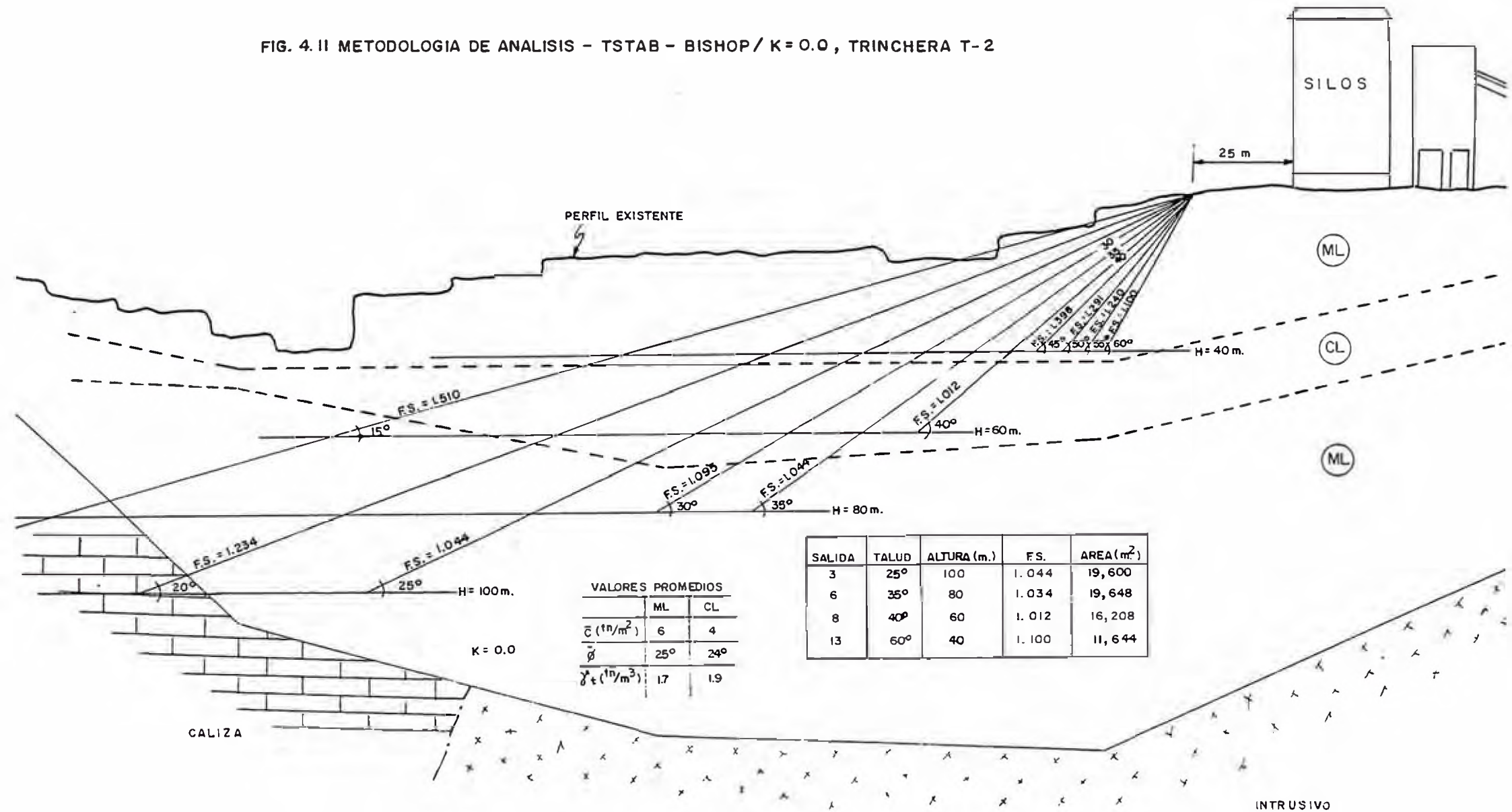


FIG.4.10.- POLIGONO DE FUERZAS PARA EL METODO MORGENSTERN Y PRICE

FIG. 4. II METODOLOGIA DE ANALISIS - TSTAB - BISHOP / K = 0.0 , TRINCHERA T-2



VALORES PROMEDIOS

	ML	CL
\bar{c} (tn/m^2)	6	4
$\bar{\phi}$	25°	24°
$\bar{\gamma}_t$ (tn/m^3)	1.7	1.9

SALIDA	TALUD	ALTURA (m.)	F.S.	AREA (m^2)
3	25°	100	1.044	19,600
6	35°	80	1.034	19,648
8	40°	60	1.012	16,208
13	60°	40	1.100	11,644

FIG. 4.12 AREA OPTIMA DE EXPLOTACION VARIANDO LA GEOMETRIA

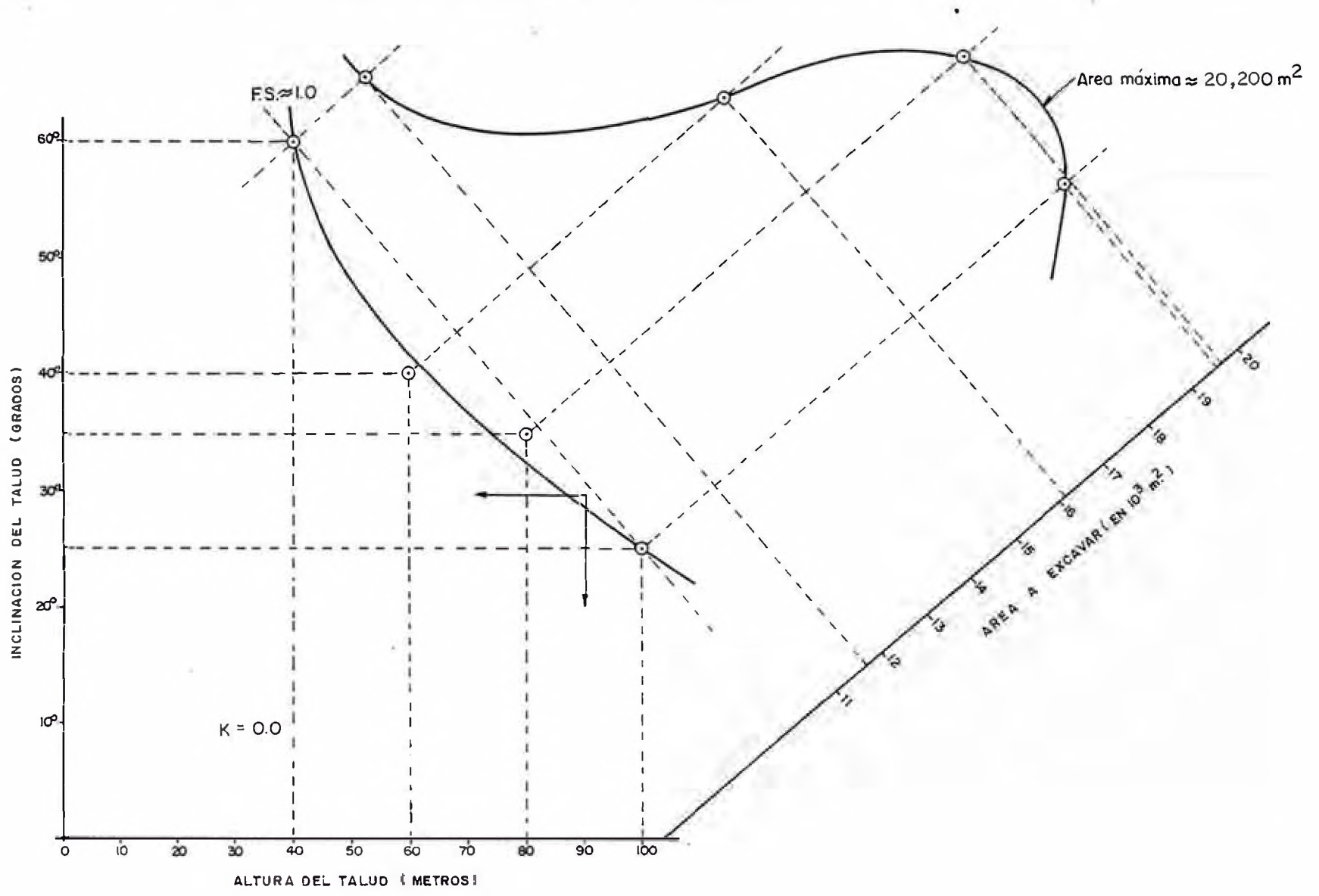


FIG. 4.13 METODOLOGIA DE ANALISIS - TSTAB - BISHOP / K = 0.15 , TRINCHERA T-2

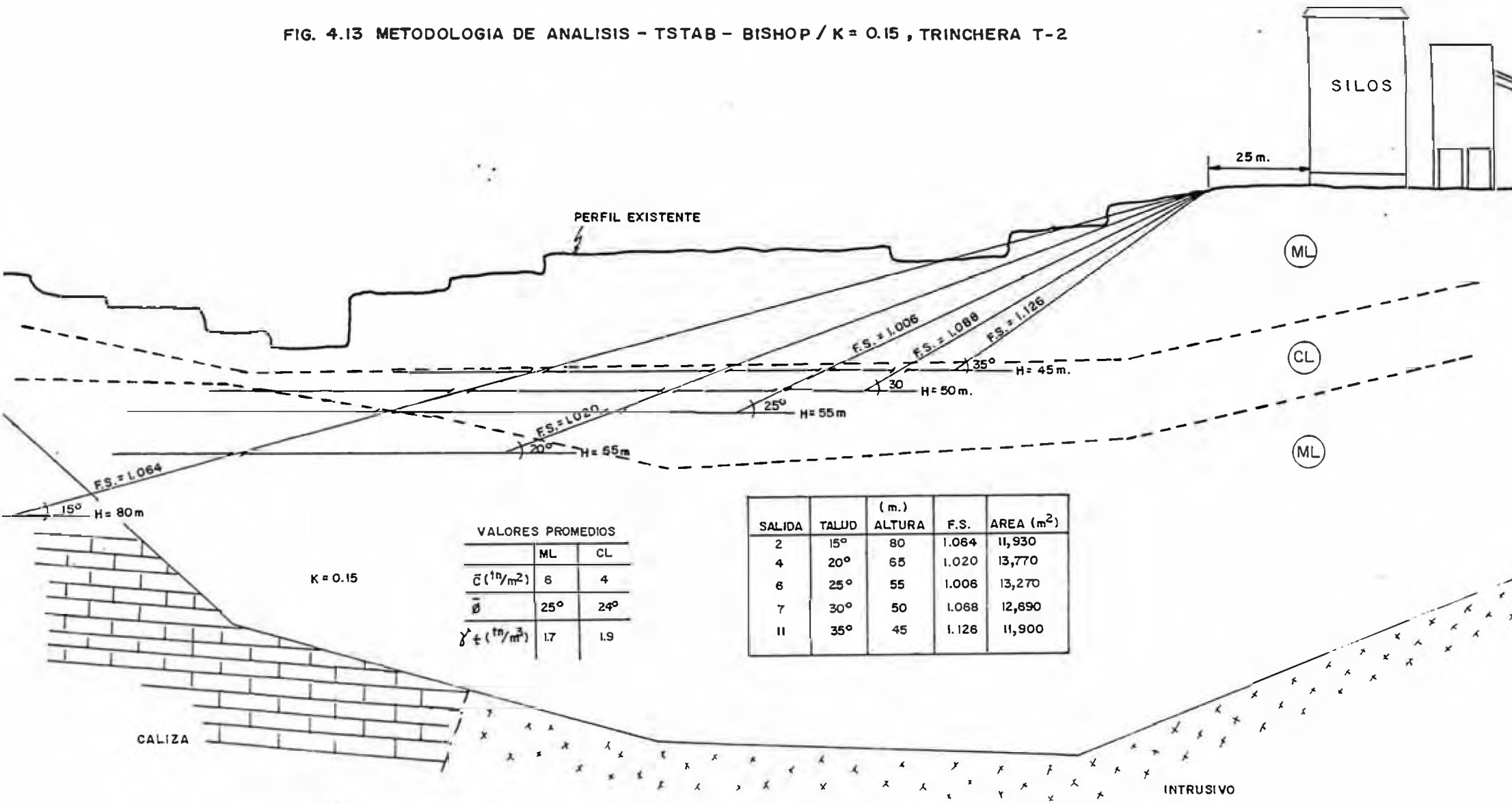


FIG. 4.14 AREA OPTIMA DE EXPLOTACION VARIANDO LA GEOMETRIA

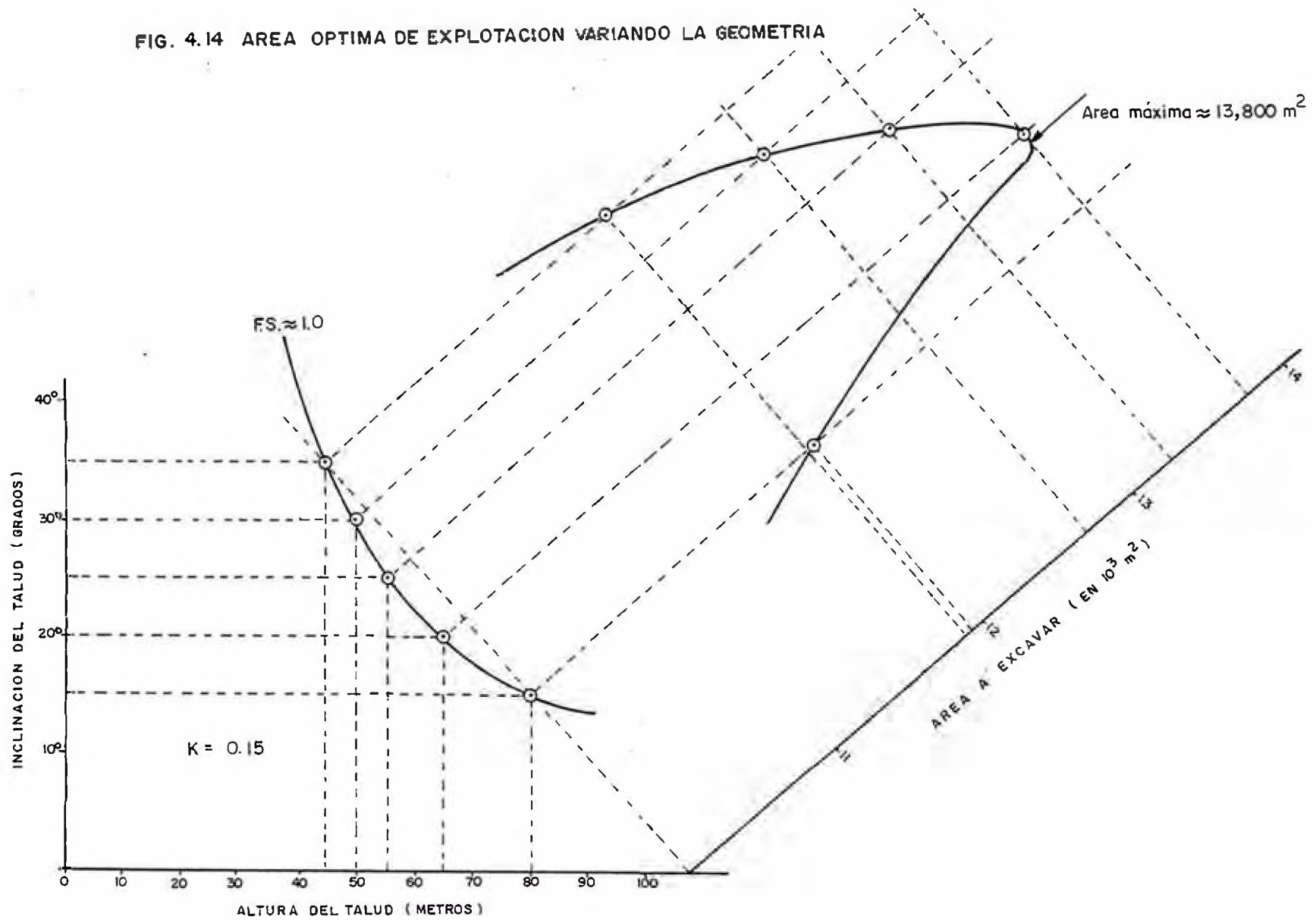


FIG. 4.15 GEOMETRIA DEL TALUD - COEFICIENTE SISMICO - FACTOR DE SEGURIDAD

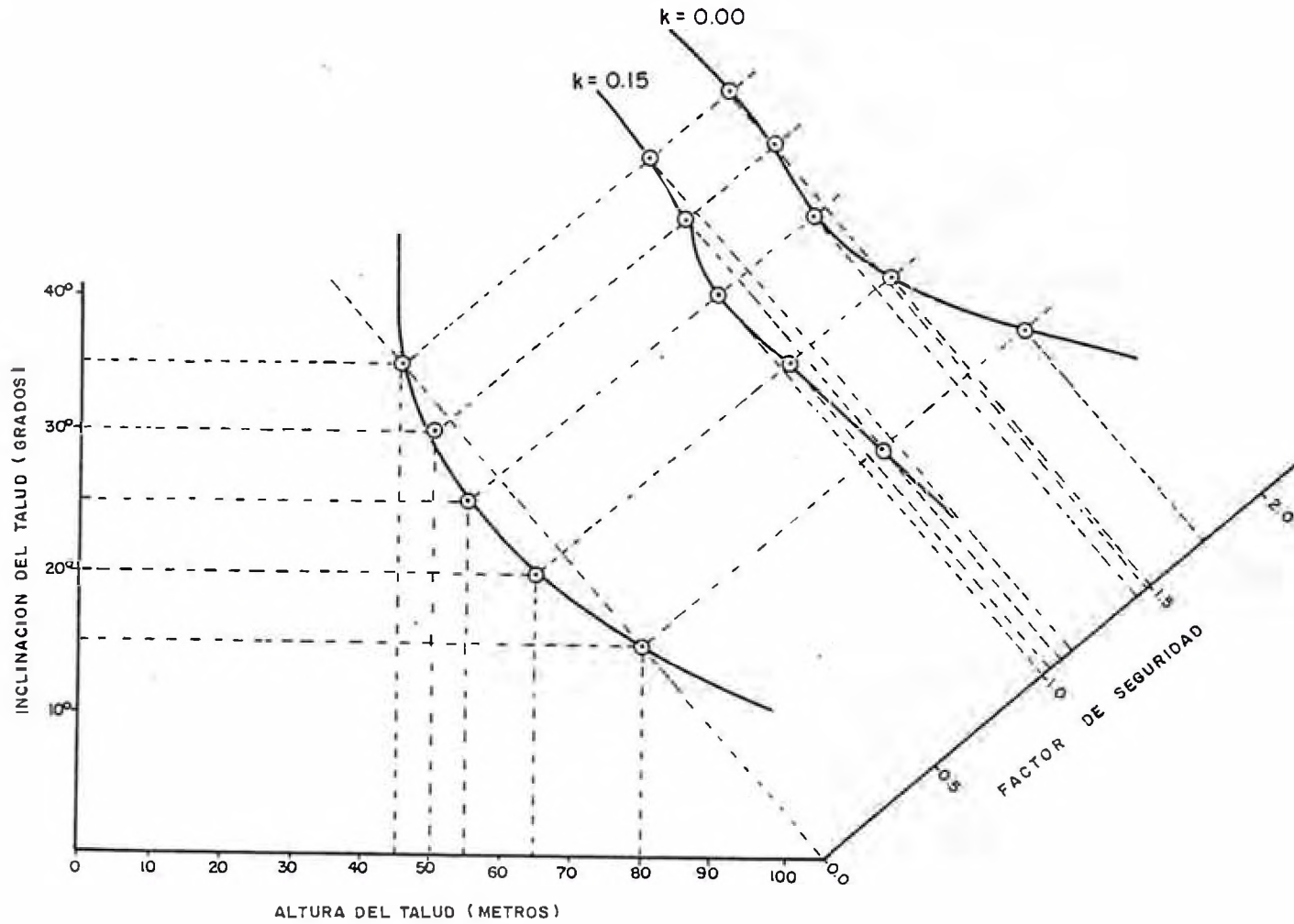


FIG. 4.16 RECOMENDACION FINAL PARA TRINCHERA T-2

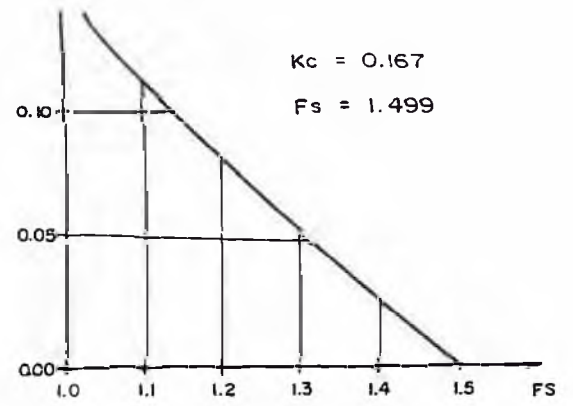
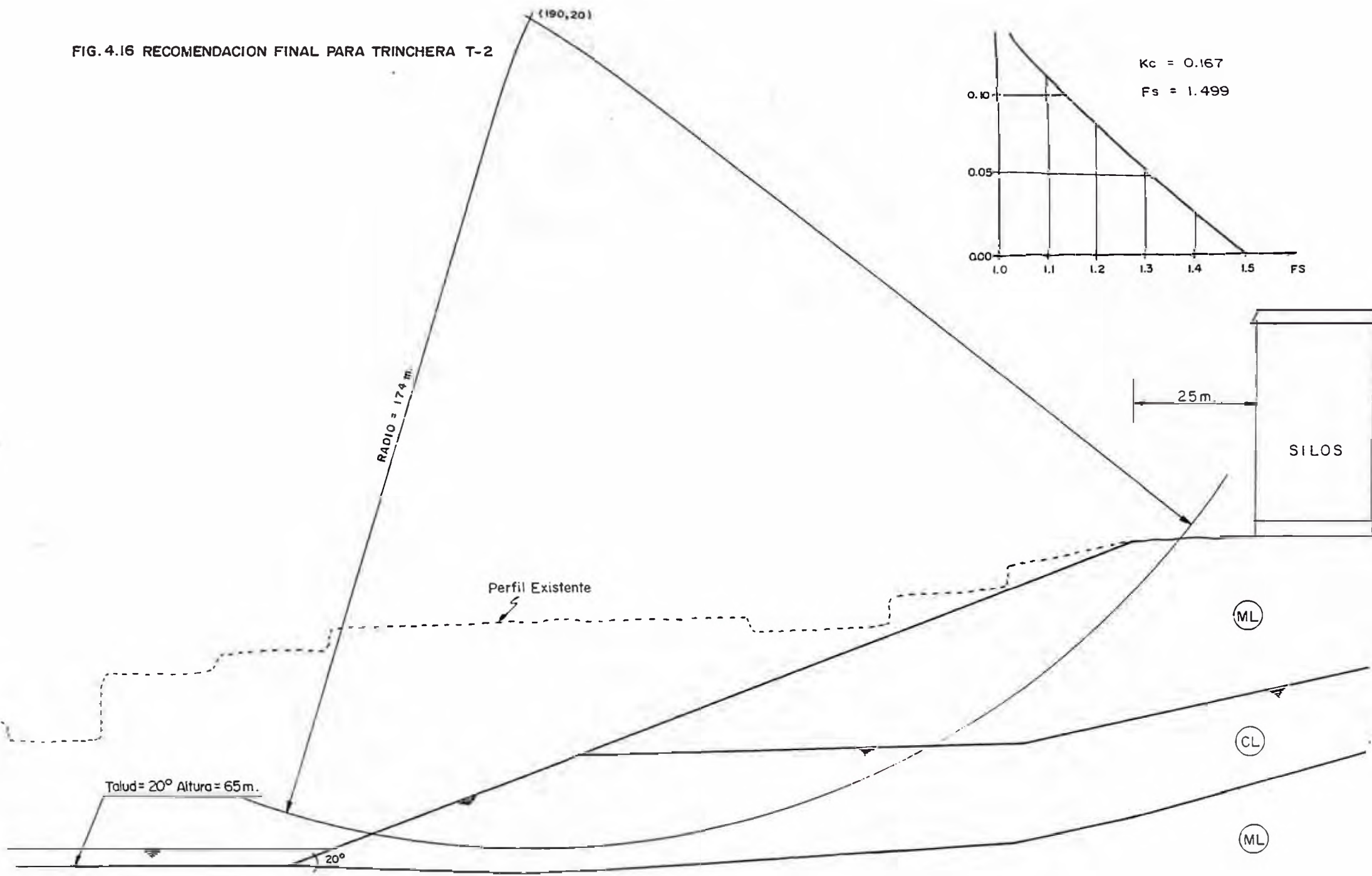


FIG. 4.17 RECOMENDACION FINAL PARA LA TRINCHERA T-1

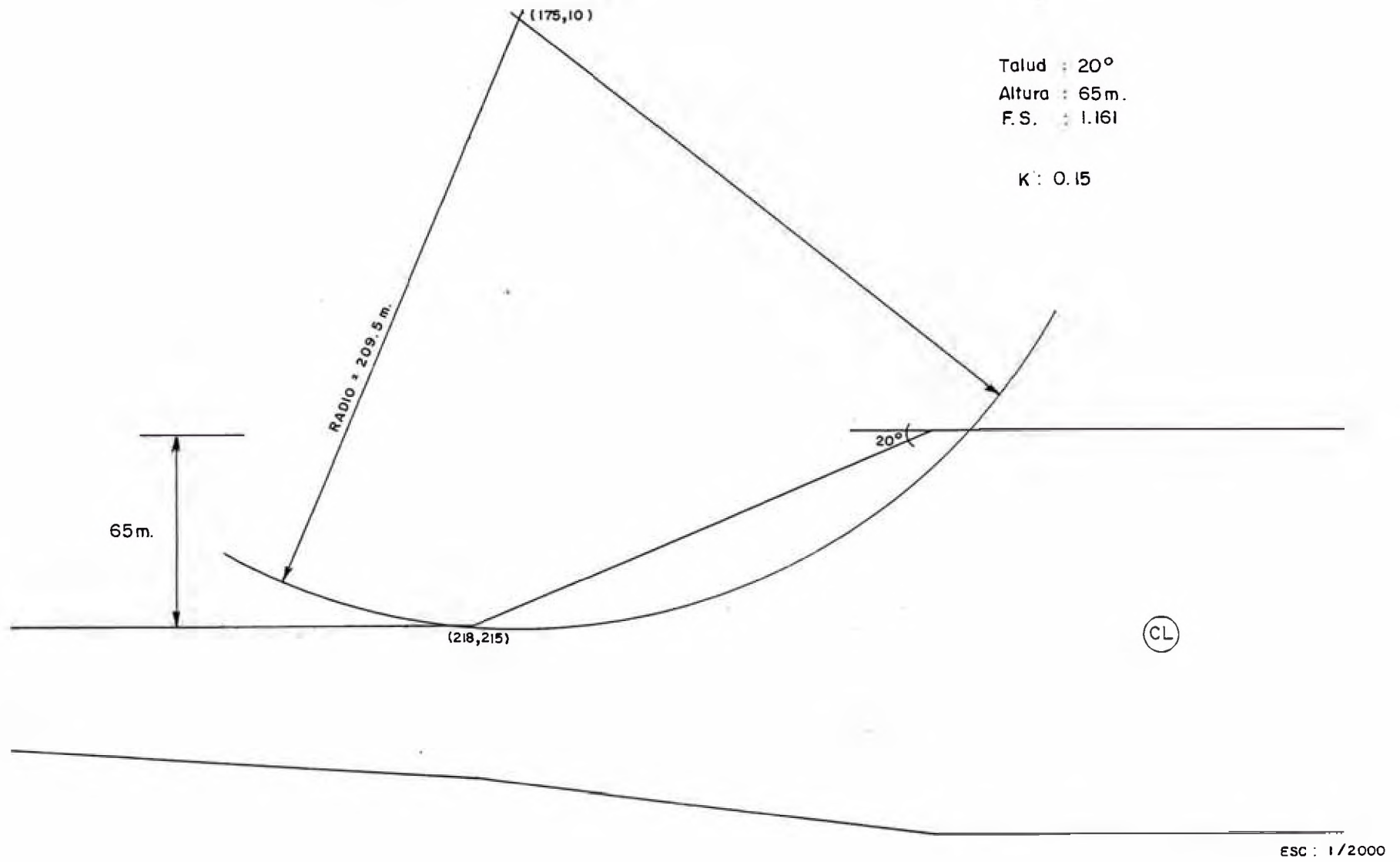


FIG. 4.18 RECOMENDACION FINAL PARA LA TRINCHERA T-3

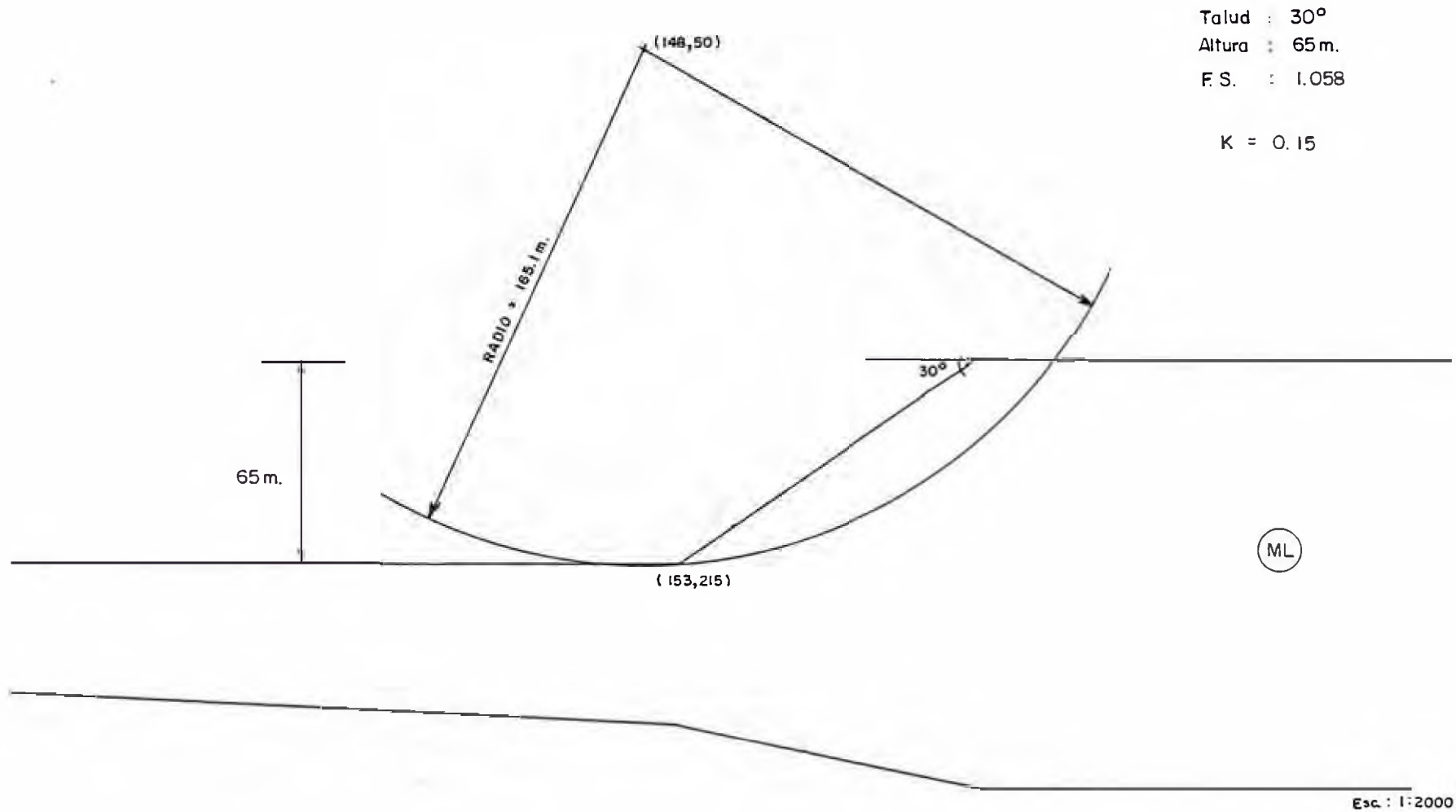


FIG. 4.19. METODOLOGIA DE ANALISIS-TSLOPE - SPENCER /K= 0.15 ,TRINCHERA T-2
MECANISMO DE FALLA NO CIRCULAR

MECANISMO DE FALLA	FACTOR DE SEGURIDAD
1	1.180
2	1.161
3	1.190
4	1.255

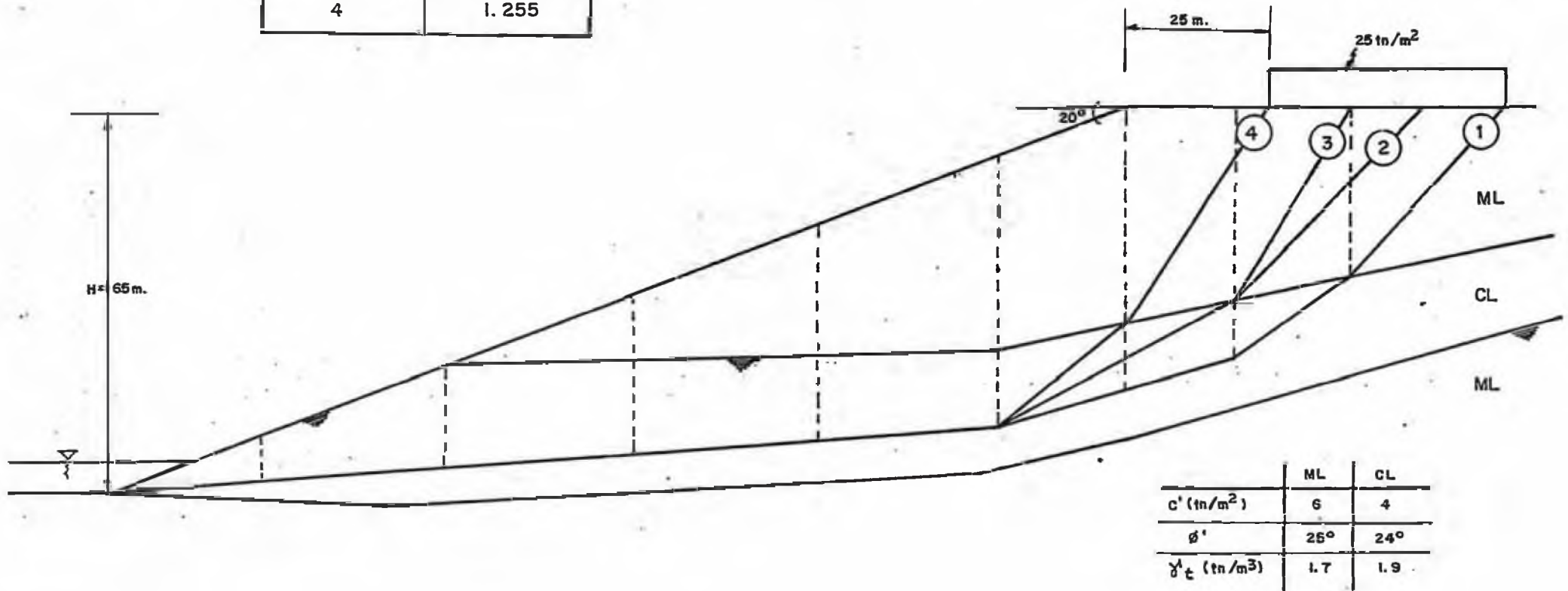
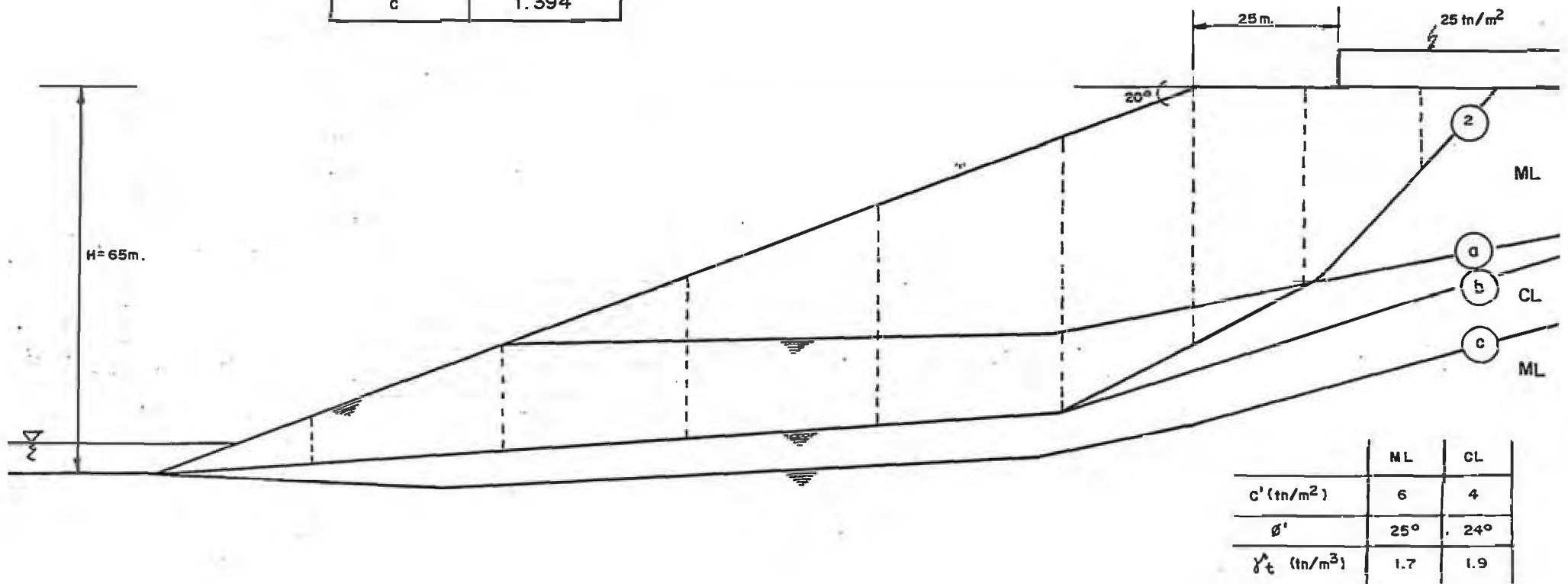


FIG. 4.20. METODOLOGIA DE ANALISIS - TSLOPE - SPENCER / $K = 0.15$, TRINCHERA T-2
INCIDENCIA DEL NIVEL FREATICO

NIVEL FREATICO	FACTOR DE SEGURIDAD
a	1.155
b	1.386
c	1.394



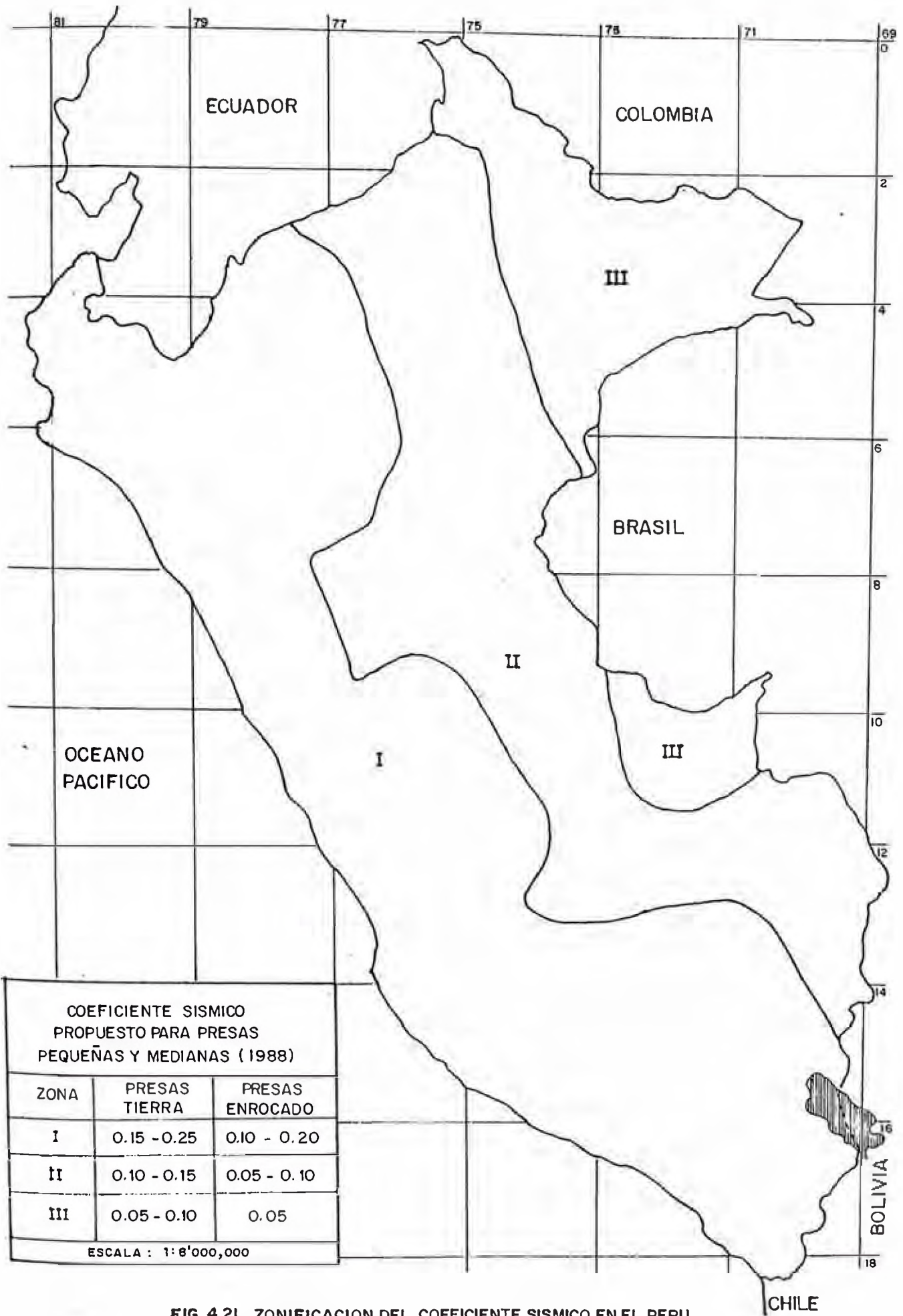


FIG. 4.21.- ZONIFICACION DEL COEFICIENTE SISMICO EN EL PERU

CUADRO 4.1.- RESULTADOS MEDIANTE EL EMPLEO DE ABACOS

ALTERN.	TALUD	ALTURA	F. S.	COORDENADAS UNITARIAS		COORD. CENTRO CRIT.	
				Xo	Yo	Xo	Yo
1	15°	100	1.37	1.41	2.43	141	243
2	20°		1.31	0.90	2.15	90	215
3	25°		1.05	0.50	2.00	50	200
4	30°		0.92	0.22	1.90	22	190
5	30°	80	1.03	0.22	1.90	17.6	152
6	35°		0.93	-0.10	1.85	-8	148
7	35°	60	1.05	0.00	1.80	0	108
8	40°		0.75	-0.20	1.80	-12	108
9	40°	40	1.21	-0.10	1.75	-4	70
10	45°		1.09	-0.38	1.75	-15.2	70
11	50°		1.03	-0.50	1.75	-20	70
12	55°		0.91	-0.80	1.75	-32	70

CUADRO 4.2 RESUMEN : PROGRAMA TSTAB - BISHOP /k = 0.0

SALIDA	TRINCHERA T-2		F. S.	CENTRO		RADIO	COE F. SISMICO
	TALUD	ALTURA (m.)		X	Y		
1	15°	100	1.510	315	- 35	260	0.00
2	20°		1.234	265	25	200	
3	25°		1.044	220	55	170	
4	30°		0.914	210	70	155	
5	30°	80	1.095	165	70	155	
6	35°		1.034	150	85	140	
7	40°		0.999	135	100	125	
8	40°	60	1.012	135	70	120	
9	45°		0.940	125	85	105	
10	45°	40	1.398	120	55	115	
11	50°		1.291	113	70	100	
12	55°		1.240	113	70	100	
13	60°		1.100	98	115	55	

CUADRO 4.3 RESUMEN : PROGRAMA TSTAB - BISHOP/k = 0.15

SALIDA	TRINCHERA T-2		K = 0.15				K = 0.00			
			F. S.	CENTRO		RADIO	F. S.	CENTRO		RADIO
	TALUD	ALTURA (m.)		X	Y			X	Y	
1	15°	100	0.853	330	- 20	245	1.398	330	- 20	245
2	15°	80	1.064	270	- 20	230	1.727	280	10	200
3	20°	80	0.901	240	30	180	1.337	240	40	170
4	20°	65	1.020	190	20	174	1.499	200	10	185
5	25°	65	0.897	180	50	145	1.273	180	50	145
6	25°	55	1.006	150	30	160	1.434	150	30	160
7	30°	50	1.088	130	40	140	1.492	130	40	140
8	30°	60	0.905	150	40	150	1.250	150	40	150
9	35°	55	0.900	135	60	125	1.199	135	60	125
10	35°	50	0.990	125	60	120	1.315	125	60	120
11	35°	45	1.126	120	60	115	1.490	120	60	115

CUADRO 4.4 RESUMEN DE Kc y F.S. SEGUN GEOMETRIA

TALUD	ALTURA (m.)	Kc	F. S.
15°	100	0.100	1.398
15°	80	0.178	1.727
20°	80	0.110	1.337
20°	65	0.167	1.499
25°	65	0.093	1.273
25°	55	0.150	1.434
30°	50	0.151	1.492
30°	60	0.095	1.250
35°	55	0.082	1.199
35°	50	0.150	1.315
35°	45	0.320	1.490

CUADRO 4.5 RESUMEN DE FACTORES DE SEGURIDAD SEGUN LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA

SALIDA	TALUD	ALTURA (m.)	FACTORES DE SEGURIDAD			
			MAXIMOS	PROMEDIOS	CONSERVADORES	
2	15°	80	1.382	1.064	1.000	
4	20°	65	1.413	1.020	1.000	
6	25°	55	1.391	1.006	1.000	
7	30°	50	1.470	1.088	1.000	
11	35°	45	1.496	1.126	1.000	
PARAMETROS DE RESISTENCIA		ML	\bar{C}	7	6	5
			$\bar{\phi}$	32°	25°	23°
		CL	\bar{C}	6.6	4	3.4
			$\bar{\phi}$	31°	24°	21°

CUADRO 4.6 RESUMEN : PROGRAMA TSTAB - BISHOP

SALIDA	TRINCHERA T-1		K = 0.00						K = 0.15					
	TALUD	ALTURA(m.)	F. S.	CENTRO		RADIO	PTO. FIJO		F. S.	CENTRO		RADIO	PTO. FIJO	
				X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	20°	65	1.650	175	20	199.7	218		1.161	175	10	209.5	218	215
2	25°		1.351	169	20	195.3	179	215	0.999	169	10	205.2	179	
3	30°		1.165	148	70	145.1	153		0.891	148	60	155.1	153	

CUADRO 4.7 RESUMEN : PROGRAMA TSTAB - BISHOP

SALIDA	TRINCHERA T-3		K = 0.00						K = 0.15					
	TALUD	ALTURA(m.)	F. S.	CENTRO		RADIO	PTO. FIJO		F. S.	CENTRO		RADIO	PTO. FIJO	
				X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	20°	65	1.903	165.0	40	182.8	218		1.337	165	30	192.4	218	215
2	25°		1.600	169.0	10	205.2	179	215	1.201	149	50	167.7	179	
3	30°		1.383	148.0	60	155.1	153		1.058	148	50	165.1	153	
4	35°		1.219	129.5	100	115.1	133		0.960	129.5	90	125	133	

CAPITULO V

RECOMENDACIONES DE DISEÑO DEL TAJO

El Propósito de este capítulo es prescribir procedimientos prácticos para el diseño de los taludes que conforman el tajo de la cantera. Los ingenieros dedicados a la explotación de canteras están familiarizados con técnicas que en muchos casos son empleadas; por lo tanto, el capítulo está principalmente relacionado con las preguntas "que hacer", para algo más extenso "por qué" y "como hacer".

Algunos de los alcances de capítulos anteriores fueron describir el análisis usado con la información proporcionada por la investigación, tanto para las propiedades de los materiales, como de la presencia de agua subterránea. Asimismo la estabilidad fue analizada

anteriormente y se proporcionó las características geométricas finales del talud, que brindaba la correspondiente seguridad a la estructura de los silos de almacenamiento del cemento, así como permitir la mayor explotación del material de cantera que es la materia prima en la fabricación del mismo. Este trabajo de diseño del tajo correlaciona implícitamente un análisis financiero, permitiéndose la optimización del diseño del talud de la cantera.

El diseño del tajo básicamente es la localización y el ángulo de los sub-taludes que conforman el tajo, pensándose que el diseño podrá modificarse debido a la experiencia del ingeniero o ensayos y análisis de verificación. El proceso requiere de una exploración previa, un análisis de investigación y un análisis financiero.

En el diseño del tajo el principal beneficio de los ángulos abruptos origina la reducción en la excavación superficial del diseño final. Los retrasos ocasionados por los desprendimientos superficiales debido al intemperismo severo y los adecuados trabajos de estabilidad y ejecución de los taludes, proporcionan un gran beneficio en el tajo final.

Se debe tener presente que el costo principal de los taludes empinados se eleva debido al incremento del costo originado por la inestabilidad del mismo.. Otros costos también pueden elevarse con el decrecimiento de la eficiencia de operación; siendo forzado a emplear menos trabajos de banquetas pero incrementándose el costo debido al empleo de accesos simples o dobles. También otros recursos de eficiencia considera perforaciones, voladura y carga con transporte del material. Por otro lado, existen limitaciones prácticas en el empleo de ángulos empinados.

En general, en la etapa de diseño del tajo, existen muchos factores que deben conjugarse para lograr el objetivo deseado. Los siguientes pasos deben, en lo posible, ser seguidos para cualquier tajo en el análisis de la estabilidad de las paredes que conforman el talud:

- a) Establecer las fronteras de los sectores de diseño.
- b) Determinar los requerimientos de diseño para cada sector, como por ejemplo, la localización de las rampas de acceso, las especificaciones de las banquetas de recojo de material, etc.
- c) Determinar el potencial de inestabilidad del tajo
- d) Identificar las variables de diseño, así como la altura y ángulos de la banqueta, etc.

- e) Verificar que los datos y análisis requeridos en la investigación sean incluidos en el trabajo.
- f) Determinar el ángulo máximo factible del talud.
- g) Análisis de estabilidad de los elementos que conforman la pared del tajo en diseño.
- h) Determinar los efectos de inestabilidad.
- i) Determinar el óptimo ángulo del talud total mediante un programa de Seguridad-Beneficio-Costo.
- j) Relacionar el ángulo óptimo del talud dentro del plan práctico del tajo.
- k) Planificar un campo de prueba para voladura perimetral.
- l) Diseñar un sistema de monitoreo.
- m) Diseñar un sistema de soporte mecánico si es necesario.
- n) Diseñar taludes de prueba.

En cierto modo, algunos de los puntos mencionados anteriormente ya se conocían al inicio de la presente tesis, debido a que la cantera se encuentra en explotación; esto nos lleva a considerar implícitamente estos puntos como por ejemplo: la zona y límites de explotación son conocidos, la dirección y sentido de la explotación es decir el "Cerro Palo", existen rampas de acceso a la cantera y otros.

Por otro lado, algunos de los pasos recomendados se han venido desarrollando a lo largo del presente trabajo como la determinación de las variables para el análisis de estabilidad del talud, la determinación del potencial explotable mediante la determinación de la geometría del talud, etc.

Los puntos que se tocarán a continuación en este capítulo involucran el tendido de taludes, información sobre la construcción de banquetas, obras de drenaje y monitoreo.

5.1 Tendido del Tajo

El objetivo final en la construcción del tajo es la explotación que proporcione la máxima economía de los recursos del material.

El diseño de la pared del tajo es la determinación de la geometría de los frentes de la cantera, como por ejemplo la localización y los ángulos que deberá tener las paredes del tajo. El diseño puede permitir modificaciones mediante ensayos y análisis de control. El proceso de diseño requiere información acerca de la explotación realizada en la zona, experiencia de campo, investigación de la

estabilidad de taludes y del análisis financiero vinculados a la obra. Cualquiera de las etapas de análisis, debe representar el mejor esfuerzo del plan ingenieril, basado en la información y el tiempo disponible para la ejecución. Los diseños pueden siempre ser mejorados con la disposición de más tiempo y/o información, modificación y continuos rediseños hasta el momento de la implementación.

El diseño de la pared del tajo es un proceso iterativo que debe reflejar los cambios de las condiciones en el proceso de explotación. Se debe recordar que partes de la información requerida debe incluir la información sobre la geología estructural, aguas subterráneas y propiedades mecánicas.

La geometría del tajo se conforma de varios sub-taludes que requieren de decisiones de diseños y análisis de estabilidad individual. La unidad básica del análisis del tajo es la banqueteta y está formada por un corte simple. Otros elementos son las bermas, los frentes de trabajo, taludes interrampas, talud provisional y pared final del tajo, tal como se verá mas adelante.

Se puede considerar que un límite del tendido del talud será de 72° cuando se asume un ángulo de banqueteta igual a 90° . Sin embargo no es necesario obtener una

banqueta de mas de 60° de tal manera que signifique que los ángulos de los taludes de cubierta estén limitados a 48° como se muestra en la Figura 5.1(a) que presenta una banqueta individual con un ángulo máximo de 60° . Por otro lado, la Figura 5.1(b) muestra la combinación de tres banquetas dentro de los cuales se intercalan bermas; las banquetas de 70° de inclinación proporciona el máximo ángulo de talud que se puede obtener, de 53° .

En el desarrollo de los taludes se podrá emplear soportes mecánicos, tales como anclaje, muros de contención y tratamientos superficiales como mallas metálicas, concreto lanzado o inyectado.

Los ángulos de cada talud y su tratamiento están mostrados en la Figura 5.2. Donde los taludes incluyen rampas, los ángulos de los sub-taludes están definidos mediante una línea que va desde el pie a la corona. La parte (a) está referida a un talud uniforme desde el pie a la corona; (b) cuando el talud incluye rampas; (c) para un talud cóncavo, y (d) para un talud convexo. En el caso (c) se deberá realizar un análisis de estabilidad de la parte superior más empinada del talud. En el caso (d) se deberá realizar un análisis de estabilidad de la parte baja más empinada del talud.

Los sectores de diseño pueden ser influenciados por las propiedades litológicas y estructurales del material, de la curvatura que presente la pared del tajo, de la distribución del material a explotar y de factores operacionales. Es común emplear el mismo ángulo de talud a lo largo de la pared o tajo, a no ser que se reconozca un sector de condiciones diferentes, para lo cual se deberá diseñar separadamente tal como muestra la Figura 5.3. La parte (a) muestra los posibles factores que gobiernan los sectores de diseño de talud, y la parte (b) muestra un tajo abierto dividido en varios sectores de diseño.

Muchas veces las diferentes geometrías hacen necesario tener más diseños de sectores. La principal característica como fallas o diques, frecuentemente requiere de una sección de diseño diferente.

Los casos de inestabilidad que pueden gobernar el ángulo crítico del talud influirán en sectores definidos. Estos modos están gobernados por las propiedades de los materiales. Las Figuras 5.4 a la 5.6 muestran los casos de inestabilidad que pueden ser usados con el propósito de definir los sectores.

Cuando el radio de curvatura horizontal de la pared es menor que aproximadamente el doble de la altura de la pared, el efecto de la estabilidad puede ser significativo, dependiendo del posible tipo de deslizamiento. Las marcadas curvaturas como suele suceder al final de la pared, pueden ser la base para diferenciar un sector de otro. Si la curvatura es la única diferencia entre varias secciones a lo largo de la pared del tajo, esta puede ser considerada como un sector de diseño y hacer modificaciones apropiadas a esas secciones donde el grado de curvatura es diferente.

Los efectos de profundidad puede también ocasionar cambios. La litología cambia según la profundidad. Las propiedades mecánicas pueden ser diferentes en zonas de intemperismo relacionadas con zonas de roca fresca a la profundidad. Las propiedades estructurales también pueden rotar o de otra manera variar con la profundidad. Estos cambios pueden requerir la delimitación de un sector de diseño con frontera horizontal. Es más práctico extender sectores con frontera vertical para el fondo del tajo final.

Los factores de operación pueden proporcionar la base para definir sectores de diseño, como la instalación de cualquier planta instalada en la corona del talud; la localización de la planta trituradora; cercanía de las

casas de alguna comunidad que puedan tener similar influencia. Los diferentes medios de transporte, como camiones, pueden requerir diferentes taludes de trabajo.

En resumen, la principal pregunta a ser contestada cuando se estabiliza los sectores diseñados son:

- ¿El sector será definido mediante el predominio estructural con respecto a la orientación del talud?.
- ¿El sector será definido mediante la resistencia del material donde es suficientemente débil y rendidor para controlar el diseño del talud?.
- ¿Es el requerimiento del sector tener una altura particular por el sistema de acarreo o superficie de instalación?.
- ¿El sector será definido por algunas condiciones de cargas localizadas?

Estas son algunas preguntas que se deberá tener presente al seleccionar los sectores que tendrán el mismo tendido del talud.

5.2 Banquetas

La banqueta, como se indicó, es la unidad básica de la conformación de la pared del tajo, que junto a la interrampa y al ángulo de éste, constituyen los determinantes básicos de un frente de trabajo. Los componentes de la geometría como ancho, altura y ángulo de la banqueta son mostrados en la Figura 5.7(a), y corresponden a la banqueta de corte simple.

Para el proceso constructivo de banquetas individuales, el ancho es de aproximadamente un tercio de la altura de la banqueta. El ángulo deberá brindar protección a la estructura aún cuando se realicen voladuras. El ángulo óptimo de la banqueta puede determinarse analizando el problema matemáticamente pero se considera mucho más importante que en la etapa de operación el ángulo se determine mediante la experiencia del profesional. El ángulo óptimo dependerá también de los efectos y costos del método empleado en la voladura y el costo extra de la excavación de los desperdicios para los ángulos más bajos. Se considera también el costo adicional producido por los frentes de trabajo demasiados empinados.

Es frecuente emplear dos o tres banquetas combinadas con bermas, para contener la presión de la estructura que ejerce sobre los ángulos de las cubiertas del talud. La geometría de la combinación banqueta y berma es mostrada en la Figura 5.7(b), se aprecia la combinación de dos o tres cortes para las banquetas intercalando bermas que usualmente son mayores que 0.6 m de ancho y pueden alcanzar hasta 3.0m. Las alturas de las bermas realizan un escalamiento difícil que requiere ser considerado en el diseño. Asimismo el mantenimiento de las bermas cuando se producen derrumbes que son impredecibles, ocasionan un retraso en el avance del trabajo.

En algunas rampas pueden aprovecharse alguna técnica desarrollada y empleada en carreteras.

La excavación de zanjas en el pie de la banqueta pueden ayudar a contener los derrumbes producidos en la pared del talud. El Cuadro 5.1 presenta las dimensiones apropiadas de las zanjas para varios ángulos y alturas de la banqueta. Con múltiples operaciones de banqueo, el ángulo del talud de trabajo será más bajo debido a la incorporación del ancho de las banquetas activas, tal como se muestra en la Figura 5.7(c). Este ancho es determinado

mediante consideraciones prácticas como la cantidad de material, los cortes, el radio de descarga de la pala, ancho del tractor y altura de la banqueta.

En un talud alto, el trabajo puede consistir en ejecutar varias y sucesivas banquetas, donde este será verificado mediante un análisis de estabilidad y optimización. El programa de costo-beneficio deberá incluir el efecto del costo en la eficiencia de operación del escarpado del talud.

La Figura 5.7(d) muestra la definición de los términos como corte o geometría esperada denotado con líneas punteadas, el corte interino que financieramente puede no ser importante como el diseño final debido a que no son tan altos o pueden no contener minerales.

Las rampas afectan el ángulo de las paredes del talud. Los ángulos relativos del escarpado son solo usados para la pared entre rampas, tal como se muestra en la Figura 5.7(e). El análisis de estabilidad debe analizar el ángulo total del talud como de la interrampa.

5.3 Obras de Drenaje

Se deberá conocer las condiciones del agua subterránea. Se tendrá que contar con información del nivel de agua y los flujos artesianos encontrados durante la exploración. Se deberá instalar piezómetros en una selección apropiada de las perforaciones para proporcionar, en un máximo período, registros de agua subterránea. Será bueno obtener una estadística de las precipitaciones de la estación de observación más próxima. De esta manera se podrá conocer de manera aproximada la variación del nivel freático. Con la información que se pueda recoger y con el estudio estructural realizado, se podrá definir la localización de zonas de alta permeabilidad. En algunos casos se tendrá que determinar y analizar la dirección de la permeabilidad en la masa de suelo, la línea de flujo y las presiones de agua; determinándose el drenaje interno así como las zonas de erosión en la superficie del talud.

Será necesario realizar observaciones para confirmar la presencia de cualquier agua subterránea en el talud. Si las observaciones piezométricas no son realizadas antes del deslizamiento, se podrá perforar orificios en tanto sea posible. Los piezómetros podrán localizarse para medir el nivel freático en la superficie de deslizamiento.

De ser posible se podrá realizar dos perforaciones verticales en el área de la corona cerca de cualquier grieta de tensión. Es ideal localizar perforaciones en distancia desde la cara del talud a $H/2$ y $H/4$, tal como se muestra en la Figura 5.8, donde H es la altura del talud. La apropiada profundidad deberá ser analizada pero usualmente excede a $H/2$. Si la longitud del deslizamiento excede a H , entonces se podrá efectuar dos líneas de dos perforaciones cada una con el objeto de encontrar el nivel de agua; se podrá realizar perforaciones en seco hasta encontrar el nivel mencionado. Esto puede ser hecho a profundidades de aproximadamente 23m. Luego dos pero preferiblemente tres piezómetros deberán ser instalados en cada perforación. La profundidad de estos piezómetros está basada en condiciones estructurales y de la posición del agua.

Si es necesario se puede instalar piezómetros en zonas no afectadas por algún deslizamiento de tal manera de obtener la distribución del agua subterránea con el mismo dominio estructural. Estos piezómetros podrán proporcionar el régimen de agua subterránea con el talud antes de producirse un deslizamiento. Un hueco piezométrico deberá localizarse en la corona del talud y en la línea central del deslizamiento a una distancia aproximada de $2H$ desde el frente del talud, tal como se muestra en la Figura 5.9. Dos

deberán colocarse en la corona del talud a una distancia desde el frente de H a cada lado de la zona de deslizamiento y H/2 detrás desde el frente del talud.

Se deberá comparar los registros de lluvias ocurridas con los registros anuales de cinco a diez años previos, para determinar si las condiciones climáticas han sido inusuales.

5.4 Sistema de Vigilancia

El diseño de las paredes del tajo podrá controlarse mediante un sistema de vigilancia, un examen visual de rutina con personal apropiado es considerando de importancia y podrá ser el primer paso de un programa de vigilancia. Asimismo la recolección de una determinada cantidad de datos podrá ser de mucho valor en el proceso.

La justificación del empleo de un sistema de vigilancia es proporcionar información, que se pueda relacionar con la estabilidad del talud diseñado. Las variaciones en la presión intersticial o cambios en la intensidad de eventos micro-sísmicos, indican cambios en las condiciones naturales del talud que no necesariamente indican una inestabilidad.

Los excesivos desplazamientos medidos pueden indicar el grado del problema en que se encuentra el talud evaluado.

Un sistema para vigilar la estabilidad de taludes puede consistir de tres partes:

- El proceso que mida deformaciones o algún otro efecto ocasionado en el talud,
- Un sistema de transmisión de datos y
- Un almacenamiento de datos con unidad de proceso.

Un sistema integrado puede recolectar información, transmitir esta información a un receptor y presentarlo inmediatamente en un gráfico de Movimiento vs Tiempo.

Las técnicas empleadas se simplifican con la medición de desplazamiento ya sea relativo o absoluto. Como quiera que el costo puede ser más elevado para un sistema semi-automático, se deberá emplear donde se requiere lecturas frecuentes. Se deberá realizar una inspección para precisar la ubicación de monumentación de hitos primarios y secundarios.

Los movimientos alrededor de un tajo abierto tienen un comportamiento singular. Si no ocurren desplazamientos significativos en la vecindad de un talud, éste es, por definición, estable. Los mayores movimientos son siempre precedidos por algunos menores, aunque la ocurrencia de los desplazamientos menores no necesariamente significa un riesgo de seria inestabilidad. En algunos casos pueden transcurrir meses y años entre el comienzo del desplazamiento y el desplazamiento final. Algunas veces puede ser cuestión de días y otras veces puede hasta no ocurrir.

Durante la operación de vigilancia, algunas secciones de las paredes pueden presentar signos elevados de inestabilidad. La información de algunas fallas estructurales críticas pueden indicar secciones de la pared del tajo que deberán observarse. La sección donde ocurre un deslizamiento frecuente puede justificar la instrumentación y el primer deslizamiento podrá representar una debilidad inherente en la sección, que puede gobernar los siguientes deslizamientos. La sección en la Figura 5.10 presenta una serie de deslizamientos en una sección de una pared que empieza a deslizarse en una altura de 26m y continúa desarrollando nuevos deslizamientos hasta el fondo del tajo a una profundidad de 84m.

Cuando las mediciones han tenido que realizarse en un período de tiempo en el que ha ocurrido un movimiento, la pregunta que surge frecuentemente es en cuanto a la magnitud del movimiento, que indica el desarrollo de la inestabilidad. Tres aspectos del comportamiento son aprovechables; un análisis de elementos finitos empleando las propiedades de deformación de la masa que proporcionará información sobre las deformaciones que no son de grandes movimientos esperados; la observación empírica de taludes inestables que proporcionan información de los tipos de movimientos que pueden ser relacionados a la inestabilidad. En tercer lugar las mediciones suplementarias, como la microsísmica, las presiones de poros y los esfuerzos internos, que pueden aclarar lo que sucede con el talud. Como una medida práctica, el desarrollo de grietas de tensión en la corona del talud debe ser mapeado y vigilado.

Cuando se inicia la inestabilidad, desarrollándose ésta en el talud, se debe establecer un intensivo sistema de vigilancia monitoreo en el área.

La frecuencia de las observaciones varían conforme a la relación del movimiento. Para casos críticos se recomienda una medida de deformación de aproximadamente 1.0

cm. de movimiento. Para aquellos casos que no son particularmente críticos, aproximadamente 2.0 cm es un valor adecuado.

Por ejemplo para una situación típica donde inmediatamente después de iniciado el movimiento, se ha observado durante cinco días, luego en un intervalo de cuatro semanas y luego en períodos adicionales con frecuencia de una por cada mes y finalmente una por seis meses. Si el material deslizado no es retirado, el equilibrio del material constituye un riesgo, luego se deberá continuar con la vigilancia hasta que se elimine cualquier riesgo. Las deformaciones, d , y las relaciones de deformación, d' , inmediatamente antes del mayor movimiento podrán ser evaluados cuando se vigila la futura inestabilidad. Dividiendo por la altura del talud H , para hacerlos adimensionales, las relaciones d/H y d'/H proporcionan una guía, en que son probables de ser movimientos críticos para los taludes restantes.

Las deformaciones ocurridas debido a las nuevas excavaciones del tajo, son de importante utilidad. Los más grandes movimientos ocurren en la superficie del talud. Las mediciones hechas, pueden ser usadas para determinar el módulo elástico promedio, E , de la masa, mediante el empleo de la Figura 5.11.

Estas observaciones deberán realizarse durante tiempo de excavación, que podrá ser en un período considerable. Solo en casos especiales de sustancial esfuerzo será justificable el costo, particularmente en el empleo de E, que se basa en la suposición de que la masa es proporcional a E. Se podrá hacer una extrapolación en el análisis de taludes muy altos para aquellos bloques inestables.

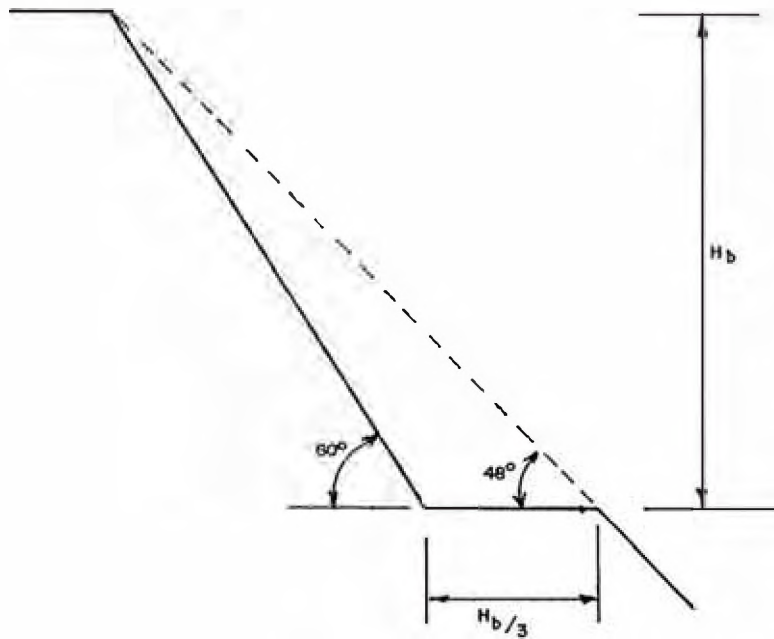
Los registros en éstos casos deberán realizarse rápidamente en intervalos adecuados para un período de dos o más meses. Se requiere de un tiempo prudencial para establecer la tendencia de la deformación. Siguiendo este criterio, el intervalo entre observación podrá ser incrementado a observaciones mensuales. El intervalo entre observaciones deberá ser menor, que permita al menos cuatro observaciones para cada altura de talud y antes que un nuevo corte incremente la altura.

En taludes conformados de más de un material, las mediciones de las deformaciones podrán ser hechas a cada material. Algunas observaciones pueden ser hechas con inclinómetros. El módulo de elasticidad para diferentes materiales podrá ser estimado empleando las mediciones de deformación y un modelo de elementos finitos. Con las mediciones hechas en perforaciones, la relación básica de

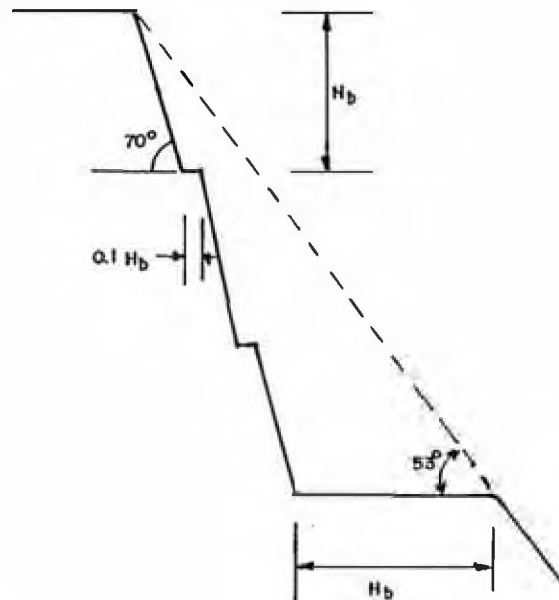
$E = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$ podrá usarse, donde $\Delta\sigma$ es el cambio de esfuerzos entre dos puntos en el modelo y $\Delta\varepsilon$ es el cambio en la deformación entre dos puntos medidos, que son igual a d/L , de es la diferencia de desplazamiento de los dos puntos y L es la distancia entre ellos.

En el presente trabajo de tesis se realizó un monitoreo desde Cerro Palo, en él se instaló una base b¹B^a y a partir de la cual se controló a varios puntos de referencia distribuidos en las instalaciones, tanto de la fábrica como de la cantera. La Figura 5.12 presenta la distribución de los mencionados puntos que fueron controlados mediante mediciones de ángulos tanto vertical como horizontal y por un período de cuatro meses a lo largo de un año.

Las mediciones se realizaron en los meses de enero, abril, agosto y diciembre del año 1988. El Anexo 13 presenta las diferentes lecturas realizadas en las fechas mencionadas.



(a) BANQUETA SIMPLE CON MAXIMO ANGULO DE 60°



(b) COMBINACION DE TRES BANQUETAS Y BERMA CON UN ANGULO DE 70°
Y EL ANGULO MAXIMO DEL TALUD OBTENIDO DE 53°

FIG. 5.1 INFLUENCIA DE LOS ANGULOS DEL TALUD DE LA BANQUETA
Y DEL TALUD TOTAL

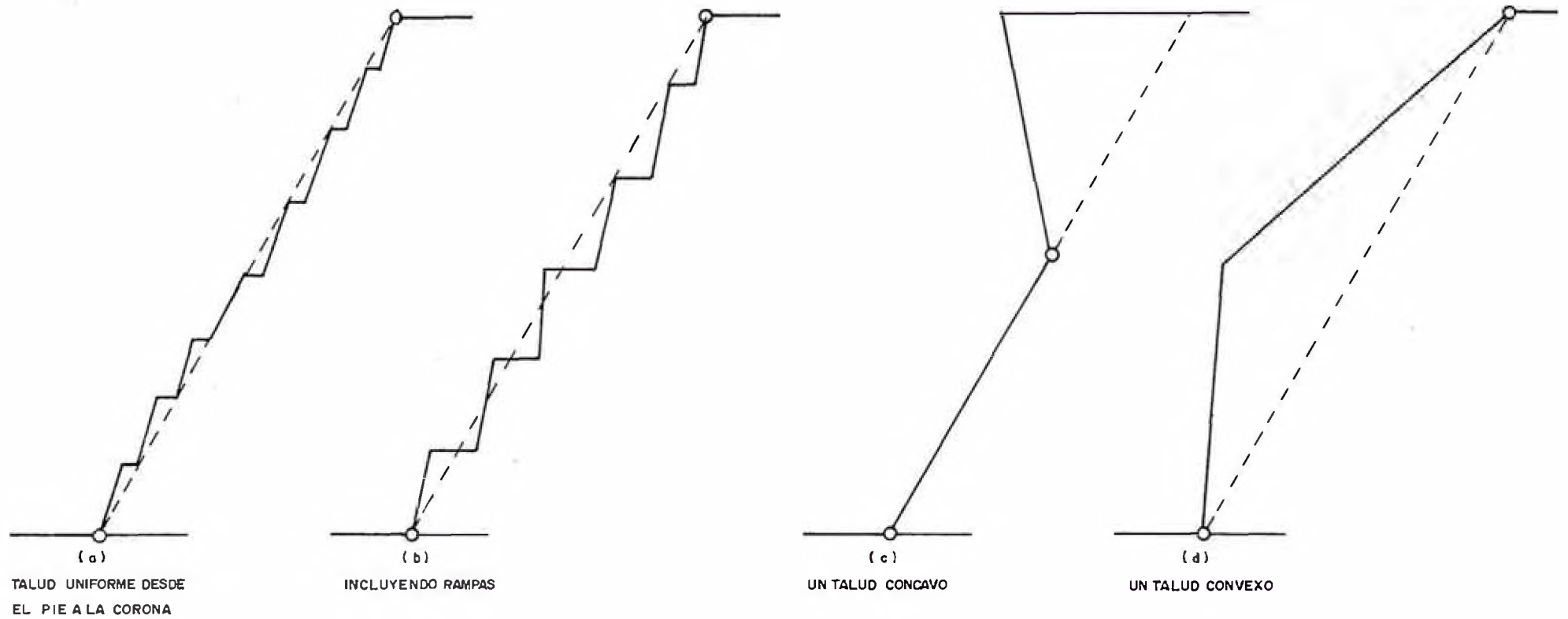


FIG. 5.2 ANGULOS DE TALUDES CON PROPOSITO DE UN PROGRAMA BENEFICIO - COSTO

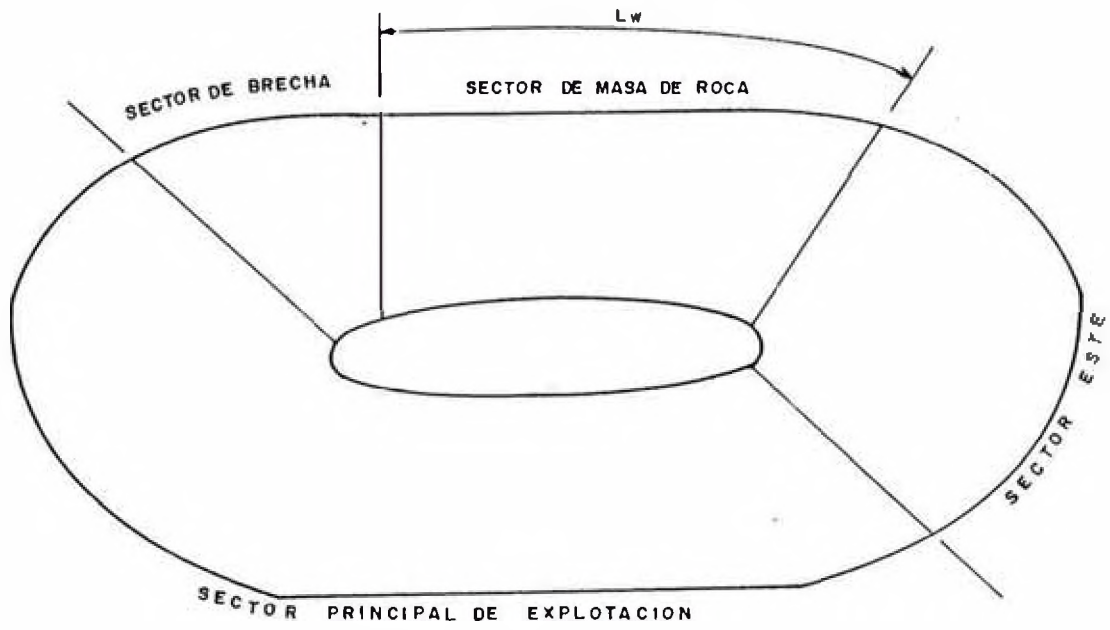


FIG. 5.3 (a) POSIBLES FACTORES QUE GOBIERNAN LOS SECTORES DE DISEÑO DEL TALUD

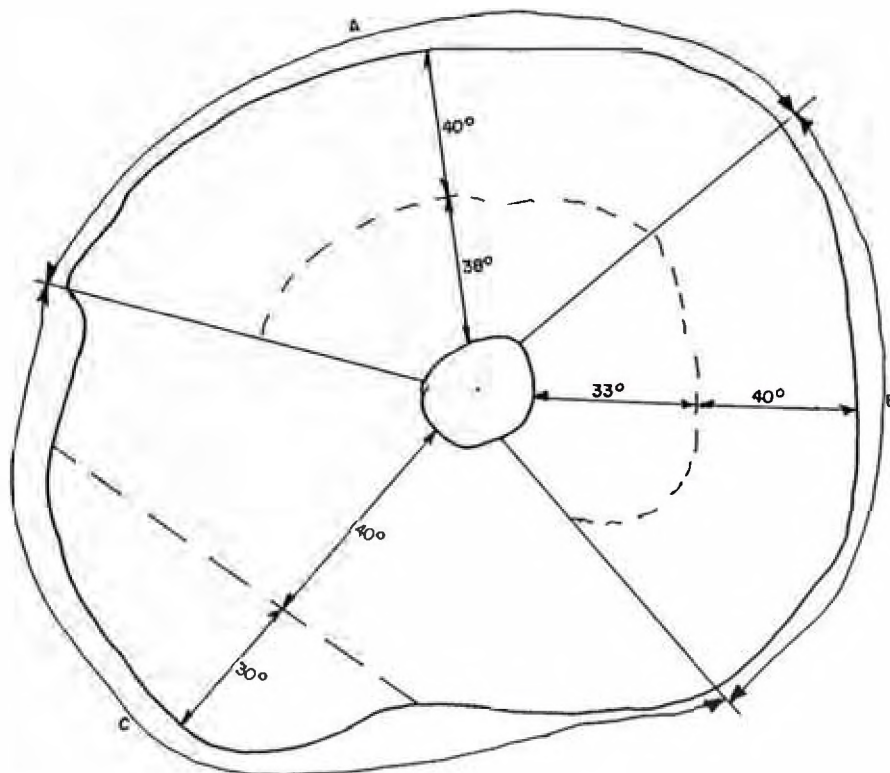
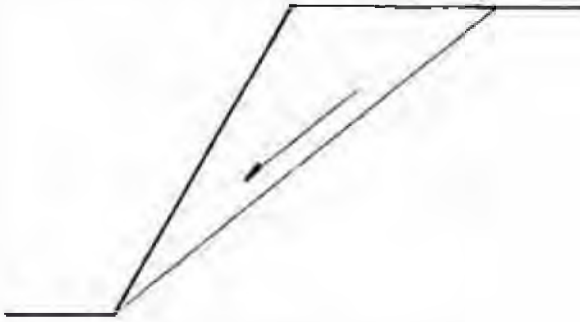
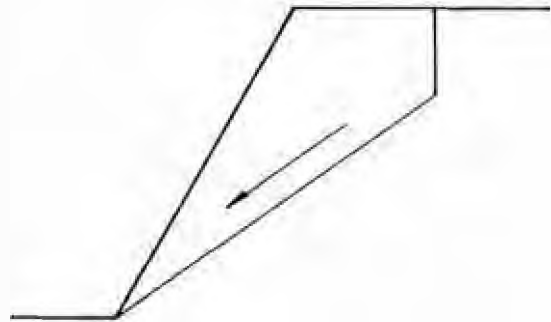


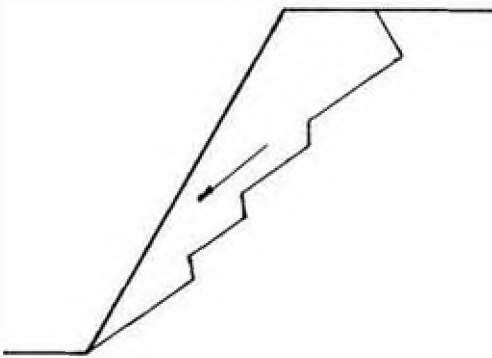
FIG. 5.3 (b) UN GRAN TAJO ABIERTO DIVIDIDO EN SECTORES DE DISEÑO



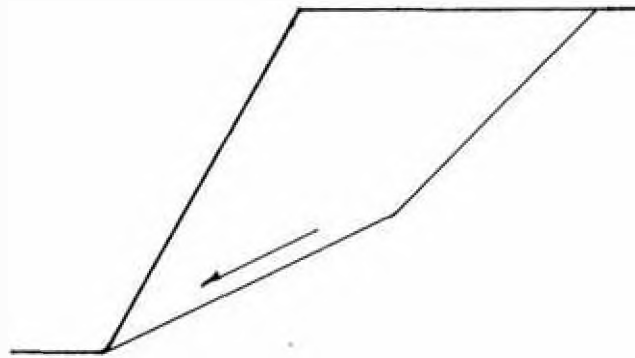
(a) UN PLANO DE DESLIZAMIENTO Y UN BLOQUE



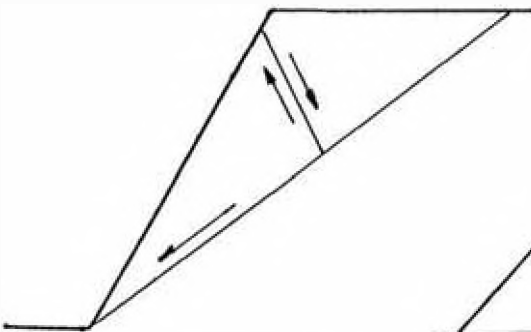
(b) UN PLANO DE DESLIZAMIENTO Y UNA GRIETA EN TENSION



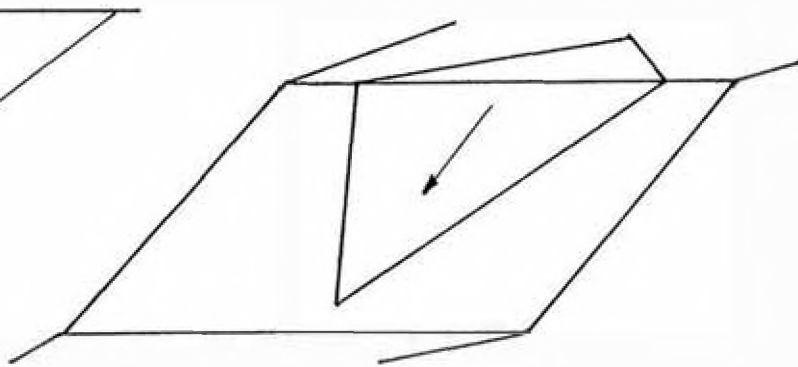
(c) UNA SERIE DE PEQUEÑOS PLANOS DE DESLIZAMIENTOS



(c) DOS PLANOS DE DESLIZAMIENTO

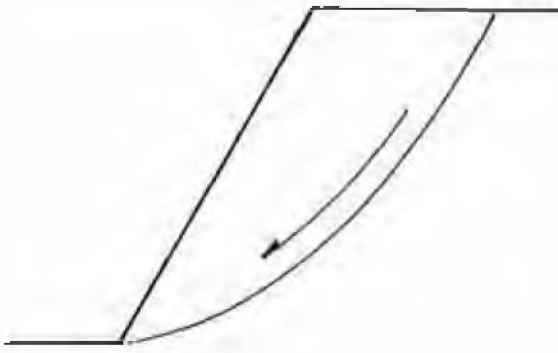


(e) UN PLANO SIMPLE DE DESLIZAMIENTO CON EL BLOQUE DE DESLIZAMIENTO

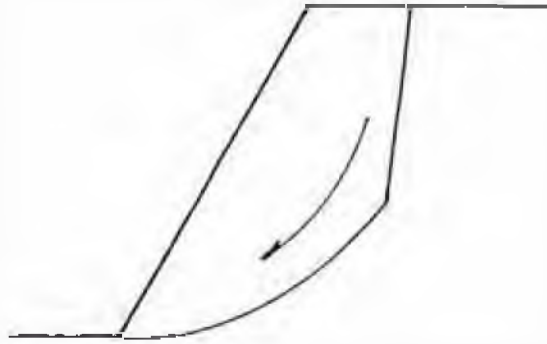


(d) DOS PLANOS OBLICUOS DE DESLIZAMIENTO Y CUÑA EN TRES DIMENSIONES

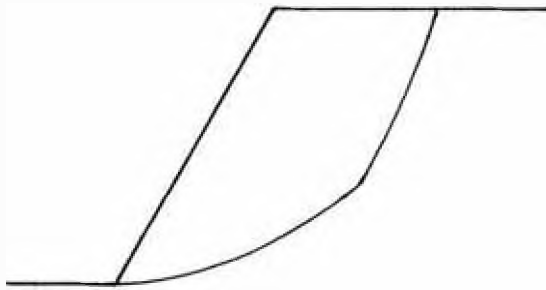
FIG. 5.4 MODOS DE DESLIZAMIENTO DEL PLANO DE CORTE SIMPLE Y MULTIBLOQUE



(a) MEDIANTE CORTE ROTACIONAL

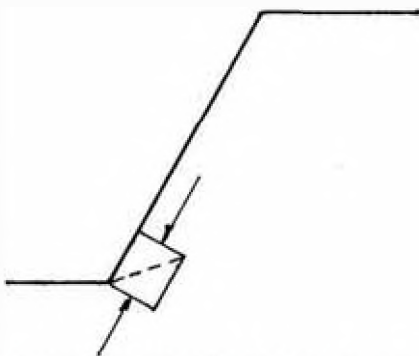


(b) CORTE ROTACIONAL Y PLANO DE DESLIZAMIENTO

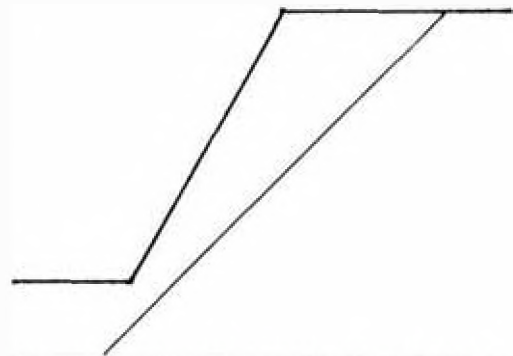


(c) IGUAL A (b)

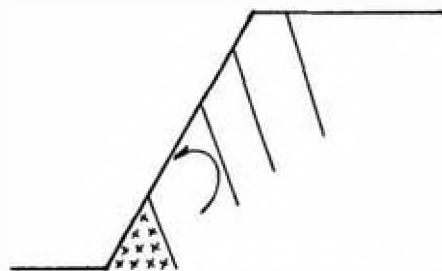
FIG. 5.5 MODO POTENCIAL DE INESTABILIDAD MEDIANTE CORTE ROTACIONAL



(a) TRITURACION O CORTE EN PIE DEL TALUD

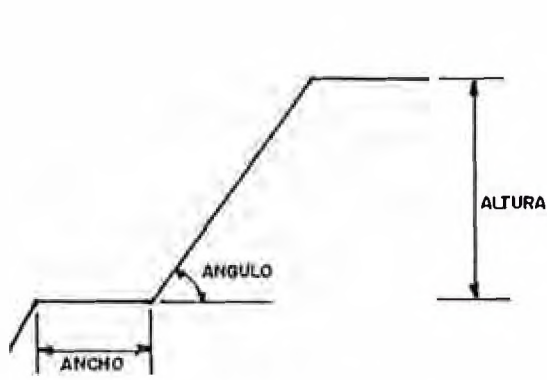


(b) POSIBLE COMBINACION CON UN PLANO DE CORTE

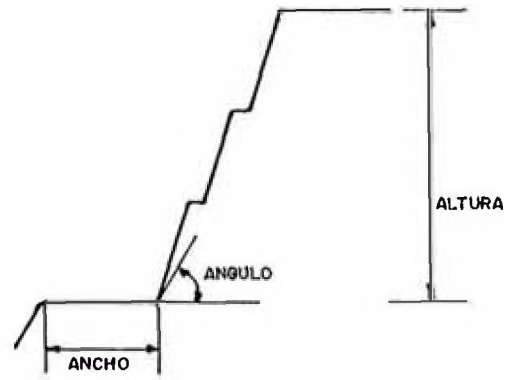


(c) MEDIANTE DERRUMBES DE PLACAS

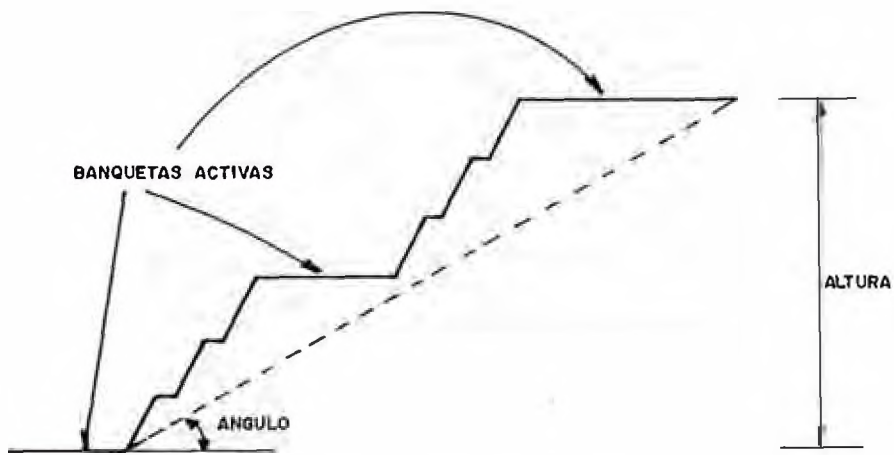
FIG. 5.6 INESTABILIDAD EN ROCA DEBIL



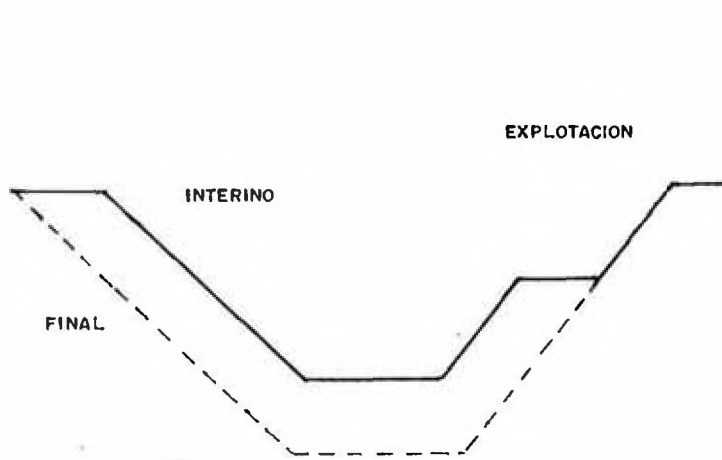
(a) BANQUETA (CORTE SIMPLE)



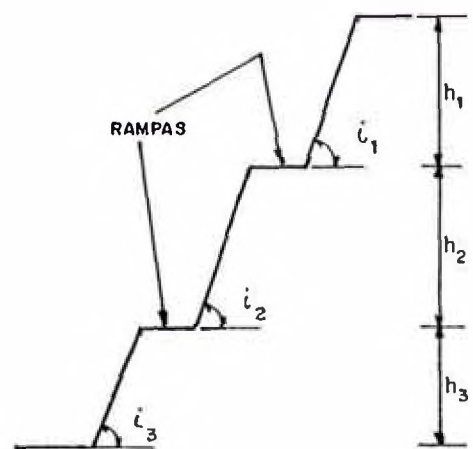
(b) BERMA (2 ó 3 CORTES COMBINADOS)



(c) TALUD DE TRABAJO (BANQUETAS ACTIVAS)



(d) CORTE DEL TALUD PROVISIONAL Y DEFINITIVO



(e) TALUD INTERRAMPA

FIG. 5.7 ALGUNOS TERMINOS QUE DESCRIBEN UN TALUD

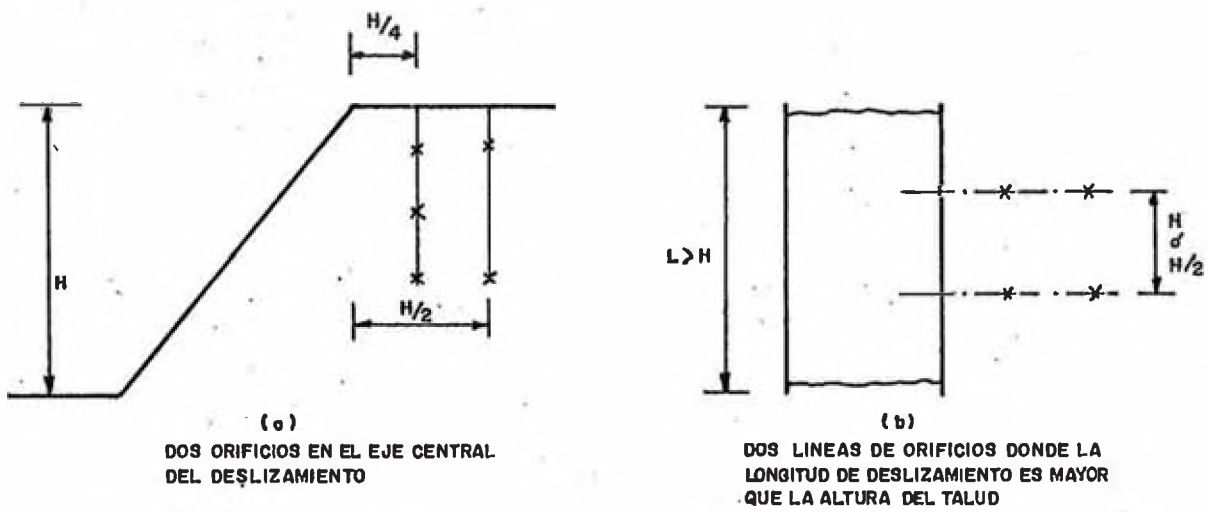


FIG. 5.8 UBICACION RECOMENDADA PARA PIEZOMETROS

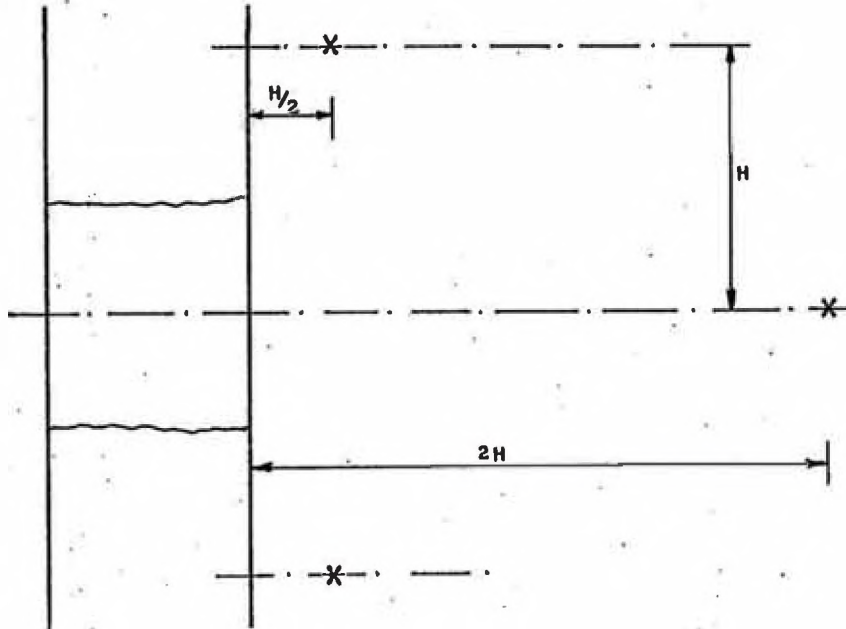


FIG. 5.9 UBICACION RECOMENDADA DE PIEZOMETROS NO AFECTADO POR EL DESLIZAMIENTO

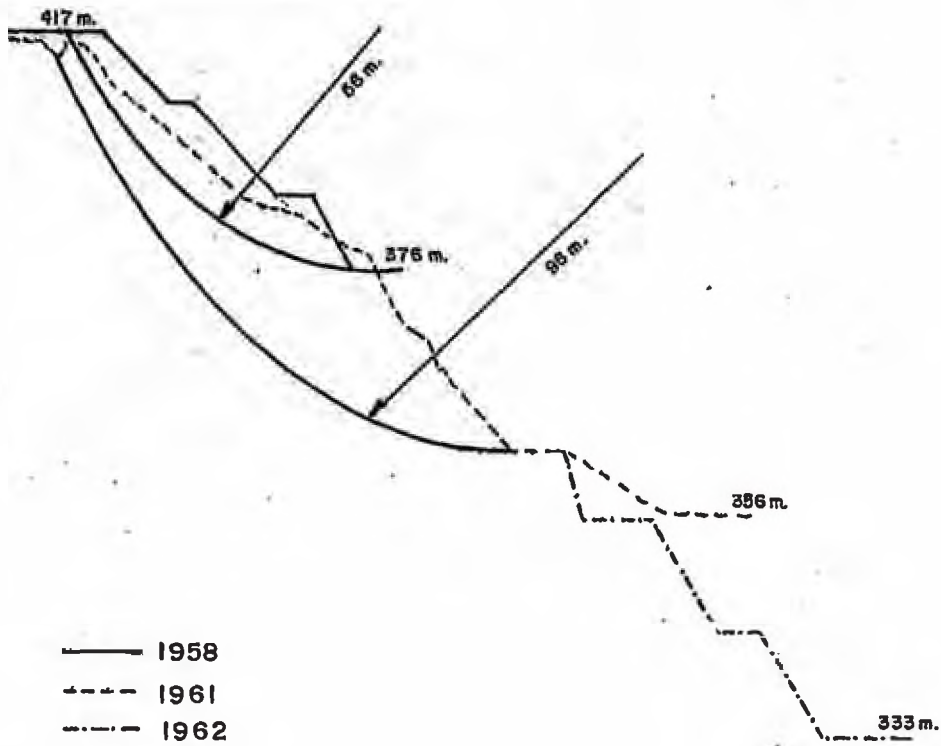


FIG. 5.10 SERIE DE DESLIZAMIENTO PROGRESIVO

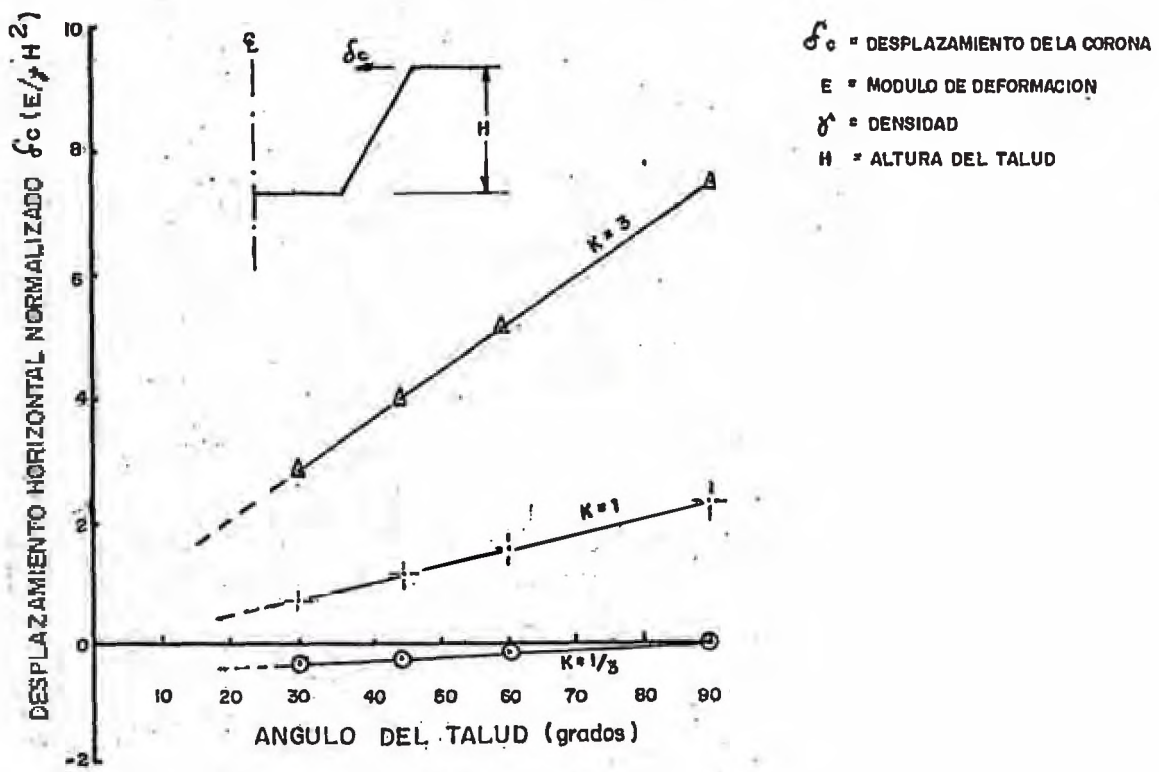


FIG. 5.11 DESPLAZAMIENTO DE LA CORONA

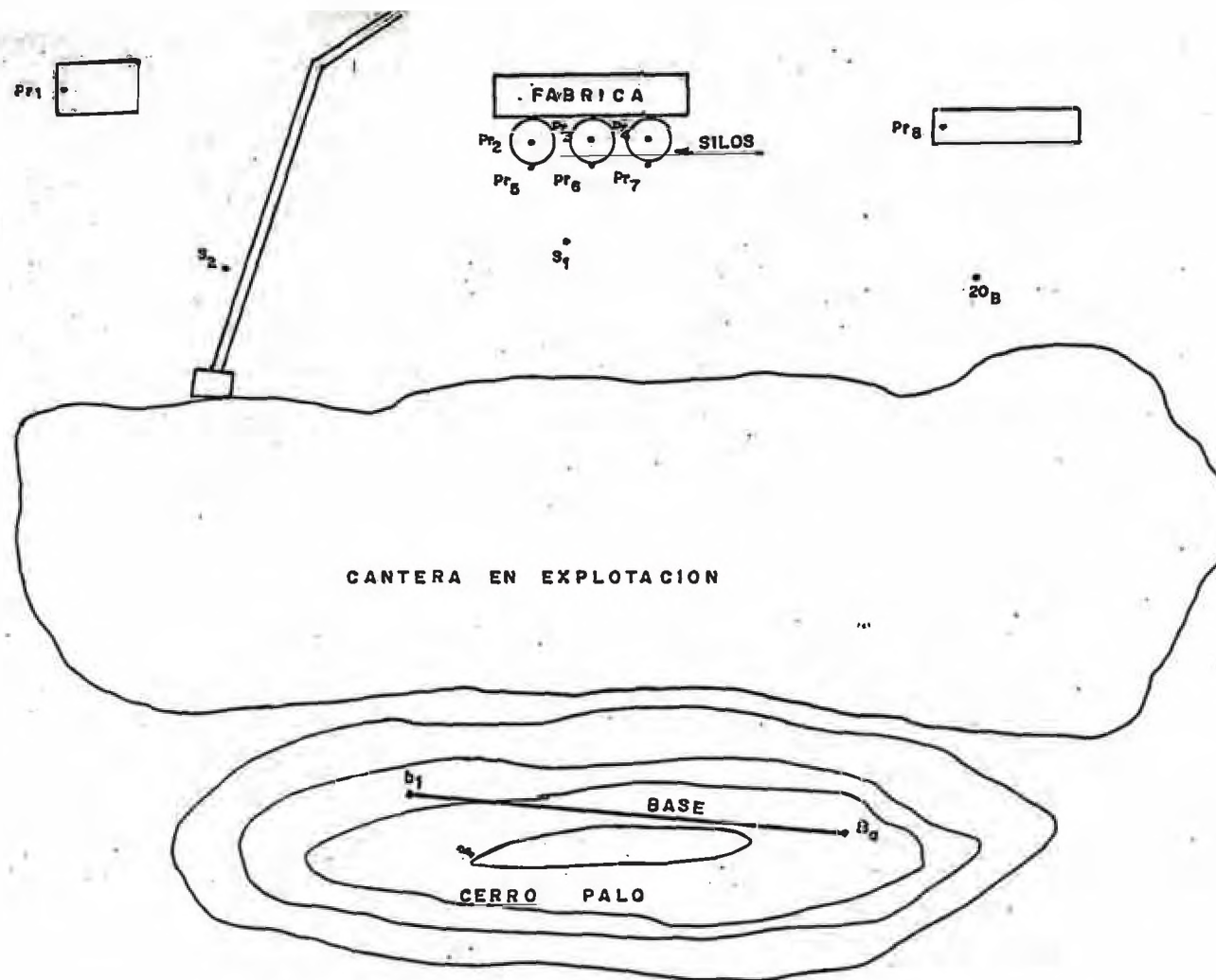
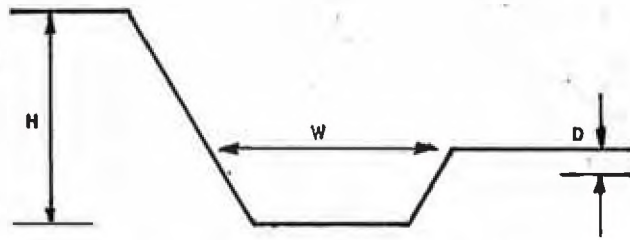


FIG. 5.12 PUNTOS OBSERVADOS EN EL MONITOREO

CUADRO 5.1 DIMENSIONES DE LA CUNETETA PARA CONTENER LOS DERRUMBES



TALUD	H (m)	W (m)	D (m)
CASI VERTICAL	5 - 9	3	0.9
	9 - 18	5	1.2
	+ + 18	6	1.2
0.25 : 1 y 0.3 : 1 (73° - 76°)	5 - 9	3	1.2
	9 - 18	5	1.8
	18 - 30	6	1.8
	+ 30	8	2.4
0.5 : 1 (63°)	5 - 9	3	1.2
	9 - 18	5	1.8
	18 - 30	6	1.8
	+ 30	8	2.4
0.75 : 1 (53°)	0 - 9	3	0.9
	9 - 18	5	1.2
	+ 18	5	1.8
1 : 1 (45°)	0 - 9	3	0.9
	9 - 18	3	1.5
	+ 18	5	1.8

Highway Research Record, Washington (1963)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Por uniformidad, se debe adoptar la altura del talud analizado de 65m y mantenerla igual en las zonas de las tres trincheras analizadas en el presente trabajo.
- El ángulo del talud, para la trinchera T-2, es de 20° con respecto a la horizontal. Para las trincheras T-1 y T-3 el ángulo del talud es de 20° y 30° respectivamente.
- Con las geometrías antes mencionadas se puede asegurar el máximo volumen de explotación sin poner en riesgo la estabilidad del talud si las estructuras de la corona.
- Se ha utilizado condiciones severas en el análisis de estabilidad, como un coeficiente sísmico de $k=0.15$ y un nivel freático que se localiza aproximadamente a 39.0m bajo el nivel de la corona del talud.

- Se permite variar el coeficiente sísmico y el nivel freático; consecuentemente variará el factor de seguridad para casos particulares. Asimismo se puede variar la geometría del talud y poder determinar algún otro resultado.
- La colocación de un dren longitudinal paralelo al eje de la cantera permite el drenaje de la zona de trabajo; las aguas son colectadas en el dren y evacuadas a la zona sureste de la cantera.
- Las condiciones de trabajo y diseño de la trinchera T-2 son válidas para las otras dos trincheras que no tienen sobrecarga.
- El trabajo contempla el análisis de mecanismo de falla circular y no circular que se combina con la variación del nivel freático y cuyos resultados son presentados en forma gráfica para cualquier análisis posterior.
- Los coeficientes sísmicos para presas de tierra también pueden ser utilizados en el análisis de estabilidad de taludes.
- Debido a las intensas lluvias que ocurren en la zona y a los materiales encontrados con poca permeabilidad, se recomienda el empleo de piezómetros para llevar el registro de niveles de agua.
- Se recomienda que el coeficiente sísmico adoptado, para un posterior análisis, sea determinado mediante un estudio de riesgo sísmico.

- Asimismo se recomienda la realización de perforaciones en el talud, que permitirán confirmar las condiciones de estratigrafía y resistencia cortante y definir de modo más preciso las condiciones del nivel freático.
- El aparato de corte directo diseñado especialmente para este trabajo produce buenos resultados para el tipo de material ensayado, los cuales han sido verificados mediante ensayos de laboratorio.
- Se recomienda el empleo de la ingeniería geotécnica en el diseño de tajo abierto, ya que producirá taludes más económicos y seguros.

REFERENCIAS

ALVA HURTADO J.E. (1985), "Estudio Geotécnico de la Cimentación del Nuevo Silo", Solicitado por Cemento Andino S.A., Lima-Perú.

ALVA HURTADO J.E. (1984), "Análisis de Estabilidad de Taludes", Seminario organizado por la Filial Ancash-Huaraz del Colegio de Ingenieros del Perú.

ALVA H. - GUTIERREZ J. - CHARIARSE V. (1988), "Comparación de la Resistencia Cortante Drenada de un suelo in-situ y en Laboratorios", VII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huaraz-Perú.

ASTM - Anual Book (1986), "Soil and Rock; Building Stonies", Standards Volume 04.08.

BADILLO J. - RODRIGUEZ R., (1981); "Mecánica de Suelos", Tomo I y II, México.

BISHOP A.W. HENKEL D.J. (1962), "La Medición de las Propiedades del Suelo en el Ensayo Triaxial", 2a. edición, Edward Arnolds Ltd. Londres.

BISHOP A.W. (1955), "The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes", Geotechnique, Vol. N.1. pp. 7.17.

BOWLES J. (1981) "Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil", Mc Graw-Hill Inc., USA.

CANMET (1979) "Pit Slope Manual", Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Quebec Canada.

CASSAN M. (1982), "Los Ensayos In-situ en la Mecánica del Suelo", Tomo I, Barcelona-España.

HUMALA AYBAR G. (1982), "Ensayo de Corte Directo In-situ en Lima", IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Chiclayo-Perú.

LAMBE W. (1972), "Ensayos de Suelos para Ingeniería", Editorial Limusa, México.

LAMBE W.T. - WHITMAN R.V. (1981), "Mecánica de Suelos" Editorial Limusa, México.

RICO R. - DEL CASTILLO, H. (1987), "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", México.

RUESTA R. - DIAZ C. - ALVA H. (1988), "El Coeficiente Sísmico en el Diseño de Presas de Tierra y de Enrocado", VII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huaraz-Perú.

SARMA S.K. (1973), "Stability Analysis of Embankments and Slopes" Geotechnique 23 N.3, pg. 423-433.

TAGA Engineering Software Services (1985) "TSLOPE and TSTAB - Slope Stability Analysis", Berkeley, California - USA.

TERZAGHI K. - PECK R. (1986), "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica", John Wiley & Sons, Inc. New York - USA.

ANEXO 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

SONDAJE : T-1
 FECHA : JUNIO-87
 OPERADOR : JWGL

TIPO DE SONDAJE : TRINCHERA
 PROFUNDIDAD N.F. : 27.50 mt

PROF. (mt)	LISTADO (mt)	MUESTRAS OBTENIDAS	PRUEBAS DE CAMPO		GRAFICA SOMBRADA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR							
			D.N. (gr/100)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N					
										0	10	20	30	40	50
4.84	1.27	12-B		14.1	[diagonal lines]	SM	material arenoso limoso de color beige. se encuentra medianamente cementado es un material no plastico reacciona con acido clorhidrico								
5.44		12-C		17.0											
5.84		12-D		22.0											
6.61	0.77	13-A		28.2	[diagonal lines]	ML	material limoso no plastico de color amarillento y con 61% de material que pasa el tamiz #200								
6.90	0.29	13-B		27.3	[diagonal lines]	CL	material arcilloso con LL=34.6 y LP=21.2 tiene 90% de material que pasa el tamiz #200								
7.37	0.47	13-C		40.1	[diagonal lines]	ML	material limoso de color gris no plastico y con 66% de material que pasa el tamiz #200 presenta fragmentos de limonita								
7.55	0.18	13-D		41.2	[diagonal lines]	CL-ML	material arcillo limoso con LL=27.0 LP=21.0 y 76% menor que #200								
7.92	0.37	13-E		21.7	[diagonal lines]	ML	material limoso con LL=26.9 LP=25.1 y un 71% de material que pasa el tamiz #200								
8.27	0.35	13-F		14.8	[diagonal lines]	SM	material arenoso limoso no plastico con 49% de material que pasa el ta- miz #200								



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

SONDAJE : T-2
 FECHA : JUNIO-87
 OPERADOR : JWGL

TIPO DE SONDAJE : TRINCHERA
 PROFUNDIDAD N.F. : 45.50 mt

PROF. (mt)	FUERZA ROTOR (mt)	MUESTRAS OBTENIDAS	PRUEBAS DE CAMPO		SOLUCION GRAFICA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR				
			D.N. (gr/cm ³)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES: /PIE	GRAFICA DE N		
								10	20	30	40	50
25.27	2.65	24-I		7.5	[Hatched Pattern]	SM	arena limosa de baja plasticidad LL=21.9 LP=19.5 y 43% pasa #200					
26.87		24-J		22.1		arena limosa no plastica 45% pasa el tamiz #200						
30.27	6.96	25-A		11.5	[Hatched Pattern]		material limoso no plastico con un 57% promedio pasa el tamiz #200					
33.83		25-B		11.6								



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

SONDAJE : T-3
FECHA : JUNIO-87
OPERADOR : JWGL

TIPO DE SONDAJE : TRINCHERA
PROFUNDIDAD N.F. : 48.50 mt

P. PROF. (mt)	S. PROF. (mt)	M. OBTENIDAS HUESTRAS	PRUEBAS DE CAMPO		S. GRAFICA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR						
			D. N. (gr/cm ³)	H. N. (%)				P. PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES: /PIE	GRAFICA DE N				
										0	10	20	30	40
2.30	5.59	31-A		7.8	[Hatched Pattern]	ML	material limoso no plastico con 52% de promedio de material que pasa el tamiz #200							
4.05		31-B		11.2										
4.56		31-C		20.6										
5.59		31-D		14.7										
14.39	10.20	32-A			[Hatched Pattern]		material de arena limosa no plastica presenta limonita y reacciona con acido clorhidrico							
14.74		33-A												
15.79		33-B												

ANEXO 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO



SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDOCCOCHA-TARMA
 FECHA : 87-07-11

ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

Muestra	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA MALLA DE PORCION DE MATERIAL MENOR DE 3"													
	Profundidad (m)	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº60	Nº140	Nº200
Pozo Nº	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1
Muestra	11-A	11-B	11-C	11-D	11-E	11-F	11-G	12-A	12-B	12-C				
Profundidad (m)	0.28	0.52	0.69	0.9	1.1	1.31	1.52	4.57	4.84	5.44				
LIMITES DE CONSISTENCIA														
L.L.	31.5	29.8	28.0	32.8	-	27.7	28.1	23.4	-	-				
L.P.	13.8	15.2	23.7	13.1	NP	23.7	23.7	17.2	NP	NP				
I.P.	17.7	14.6	4.4	19.8	NP	4.0	4.4	6.2	NP	NP				
L.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
HUMEDAD NATURAL (%)	20.7	21.4	20.2	23.5	17.5	19.9	31.2	16.1	14.1	17.0				
CLASIFICACION (SUCS)	CL	CL	ML	CL	ML	ML	ML	CL-ML	SM	SM				



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO



SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
FECHA : 87-07-11

ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

Pozo N°	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	
Muestra	12-D	13-A	13-B	13-C	13-D	13-E	13-F	13-G	14-A	14-B	
Profundidad (m)	5.84	6.61	6.9	7.37	7.55	7.92	8.27	9.56	12.76	15.56	
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA MALLA DE PORCION DE MATERIAL MENOR DE 3"	3"										
	2"										
	1 1/2"										
	1"										
	3/4"									100.0	
	3/8"									98.0	
	N° 4		100.0				100.0		100.0	100.0	97.0
	N° 10		97.0		100.0	100.0	98.0	100.0	99.0	97.0	95.0
	N° 20		86.0	100.0	92.0	99.0	92.0	93.0	89.0	88.0	88.0
	N° 40		75.0	97.0	81.0	95.0	84.0	79.0	77.0	76.0	78.0
	N° 60	100.0	72.0	96.0	78.0	95.0	82.0	75.0	75.0	72.0	75.0
	N° 140	76.0	63.0	92.0	68.0	85.0	73.0	58.0	64.0	62.0	62.0
	N° 200	46.0	61.0	90.0	66.0	76.0	71.0	49.0	61.0	59.0	56.0
LIMITES DE CONSISTENCIA	L.L.	-	-	34.6	-	27.0	26.9	-	-	-	
	L.P.	NP	NP	21.2	NP	21.0	23.1	NP	NP	NP	
	I.P.	NP	NP	13.4	NP	6.0	3.8	NP	NP	NP	
	L.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HUMEDAD NATURAL (%)	22.0	28.2	27.3	40.1	41.2	21.7	14.8	18.1	12.0	13.7	
CLASIFICACION (SUCS)	SM	ML	CL	ML	CL-ML	ML	SM	ML	ML	ML	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO



SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
FECHA : 87-07-11

ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

Pozo N°	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	
Muestra	21-A	21-B	22-A	22-B	22-C	22-D	23-A	23-B	23-C	24-A	
Profundidad (m)	3.7	6.1	10.45	15.75	18.05	19.55	19.9	20.22	20.82	21.02	
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA MALLA DE PORCION DE MATERIAL MENOR DE 3"	3"										
	2"										
	1 1/2"										
	1"	100.0									
	3/4"	96.0	100.0								
	3/8"	82.0	99.0								
	N°4	68.0	97.0		100.0		100.0		100.0		
	N°10	52.0	92.0	100.0	99.0	100.0	97.0	100.0	100.0	99.0	100.0
	N°20	39.0	81.0	88.0	94.0	94.0	91.0	96.0	98.0	94.0	98.0
	N°40	31.0	68.0	68.0	82.0	84.0	82.0	82.0	96.0	90.0	92.0
	N°60	26.0	60.0	64.0	78.0	81.0	80.0	78.0	95.0	88.0	90.0
	N°140	18.0	45.0	40.0	65.0	70.0	70.0	62.0	84.0	77.0	80.0
N°200	16.0	40.0	30.0	57.0	63.0	59.0	58.0	71.0	68.0	75.0	
LIMITES DE CONSISTENCIA	L.L.	25.4	30.1	-	-	22.9	25.5	-	30.3	28.6	29.7
	L.P.	NP	NP	NP	NP	17.2	23.1	NP	14.0	16.7	16.7
	I.P.	NP	NP	NP	NP	5.7	2.4	NP	16.3	11.9	13.0
	L.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HUMEDAD NATURAL (%)	0.0	0.0	12.8	0.0	25.1	25.5	10.9	18.8	17.6	14.9	
CLASIFICACION (SUCS)	SM	SM	SM	ML	CL-ML	ML	ML	CL	CL	CL	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO



SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 FECHA : 87-07-11

ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

Pozo N°	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	
Muestra	24-B	24-C	24-D	24-E	24-F	24-G	24-H	24-I	25-A	25-B	
Profundidad (m)	21.57	21.82	22.67	23.05	23.74	23.94	24.22	25.27	30.27	33.83	
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA MALLA DE PORCION DE MATERIAL MENOR DE 3"	3"										
	2"										
	1 1/2"										
	1"										
	3/4"							100.0			
	3/8"				100.0				82.0		
	N°4				99.0				77.0		
	N°10	100.0	100.0	100.0	96.0	100.0		100.0	67.0	100.0	100.0
	N°20	98.0	99.0	92.0	79.0	99.0	100.0	99.0	60.0	96.0	92.0
	N°40	88.0	96.0	78.0	64.0	96.0	97.0	95.0	54.0	81.0	79.0
	N°60	85.0	94.0	75.0	60.0	94.0	96.0	93.0	48.0	78.0	75.0
	N°140	70.0	85.0	62.0	48.0	78.0	87.0	83.0	46.0	64.0	63.0
N°200	58.0	77.0	53.0	42.0	67.0	69.0	78.0	43.0	55.0	59.0	
LIMITES DE CONSISTENCIA	L.L.	-	25.1	-	-	-	26.6	28.7	21.9	-	-
	L.P.	NP	22.2	NP	NP	NP	23.1	13.1	19.5	NP	NP
	I.P.	NP	2.9	NP	NP	NP	3.6	15.6	2.4	NP	NP
	L.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HUMEDAD NATURAL (%)	10.7	16.3	7.7	15.8	13.1	18.4	17.9	7.5	11.5	11.6	
CLASIFICACION (SUCS)	ML	ML	ML	SM	ML	ML	CL	SM	ML	ML	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO



SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 FECHA : 87-07-11

ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

Pozo N°	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2	T-2		
Muestra	25-C	25-D	25-E	26-A	26-B	27-A	27-B	27-C		
Profundidad (m)	35.71	35.94	36.17	37.07	38.11	38.71	40.31	40.74		
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA MALLA DE PORCION DE MATERIAL MENOR DE 3"	3"									
	2"									
	1 1/2"									
	1"									
	3/4"									
	3/8"								100.0	
	N° 4				100.0				99.0	
	N° 10	100.0	100.0	100.0	99.0	100.0	100.0	100.0	96.0	
	N° 20	93.0	98.0	96.0	88.0	90.0	92.0	94.0	79.0	
	N° 40	81.0	92.0	85.0	64.0	67.0	69.0	77.0	64.0	
	N° 60	78.0	89.0	82.0	57.0	61.0	62.0	72.0	60.0	
	N° 140	64.0	81.0	69.0	43.0	41.0	40.0	51.0	48.0	
N° 200	59.0	77.0	62.0	41.0	29.0	30.0	40.0	42.0		
LIMITES DE CONSISTENCIA	L.L.	-	25.2	-	-	-	-	-	-	
	L.P.	NP	22.2	NP	NP	NP	NP	NP	NP	
	I.P.	NP	3.0	NP	NP	NP	NP	NP	NP	
	L.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	
HUMEDAD NATURAL (%)	12.1	23.4	27.0	9.6	11.2	6.8	14.3	15.8		
CLASIFICACION (SUCS)	ML	ML	ML	SM	SM	SM	SM	SM		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO



SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 FECHA : 88-07-11

ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

Pozo N°	T-3	T-3	T-3	T-3	T-3	T-3	T-3	T-3	T-3	T-3	
Muestra	31-A	31-B	31-C	31-D	32-A	33-A	33-B	34-A	35-A	35-B	
Profundidad (m)	4.6	8.1	9.02	11.18	28.78	29.48	31.58	37.38	38.88	40.38	
PORCENTAJE ACUMIADO QUE PASA MALLA DE PORCION DE MATERIAL MENOR DE 3"	3"										
	2"										
	1 1/2"										
	1"								100.0		
	3/4"					100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
	3/8"					97.0	98.0	97.0	98.0	98.0	
	N°4				100.0	91.0	91.0	90.0	92.0	85.0	91.0
	N°10	100.0	100.0	100.0	99.0	80.0	79.0	76.0	84.0	75.0	79.0
	N°20	91.0	86.0	92.0	89.0	66.0	66.0	58.0	71.0	65.0	66.0
	N°40	76.0	72.0	79.0	71.0	54.0	54.0	47.0	59.0	56.0	54.0
	N°60	73.0	69.0	77.0	67.0	47.0	46.0	41.0	52.0	50.0	46.0
	N°140	60.0	57.0	68.0	56.0	35.0	32.0	29.0	40.0	38.0	32.0
N°200	52.0	52.0	62.0	52.0	32.0	29.0	27.0	36.0	34.0	29.0	
LIMITES DE CONSISTENCIA	L.L.	-	-	-	-	24.7	18.7	11.7	28.1	25.7	18.7
	L.P.	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	I.P.	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	L.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HUMEDAD NATURAL (%)	7.8	11.1	20.6	14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CLASIFICACION (SUCS)	ML	ML	ML	ML	SM	SM	SM	SM	SM	SM	



SOLICITADO : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA - TARMA
FECHA : 87-07-11

ANALISIS DEL TAMAÑO DE PARTICULAS
MEDIANTE SEDIMENTACION

POZO	MUESTRA	PROFUNDIDAD m	Ge	TAMAÑO DE PART. mm	ACUMULADO E SUSPENSION
T-1	11-A	0.28	2.575	0.07400	85.0
				0.03854	62.2
				0.02754	56.1
				0.01776	50.0
				0.01036	39.8
				0.00738	31.7
				0.00532	28.5
				0.00271	19.4
			0.00110	12.2	
T-2	23-B	20.22	2.631	0.07400	71.0
				0.03858	49.4
				0.02743	45.4
				0.01784	35.4
				0.01039	29.1
				0.00734	25.1
				0.00528	21.1
				0.00268	13.1
			0.00109	10.0	
T-2	25-A	30.27	2.777	0.07400	43.0
				0.03909	15.8
				0.02783	12.6
				0.01777	11.3
				0.01024	9.9
				0.00721	8.6
				0.00518	7.3
				0.00259	5.3
			0.00105	3.4	
T-3	31-B	8.1	2.631	0.07400	84.0
				0.03760	63.5
				0.02699	55.5
				0.01740	49.5
				0.01016	39.4
				0.00719	35.3
				0.00522	27.5
				0.00265	19.3
			0.00108	12.1	

SOLICITADO	• CEMENTO ANDINO	CALICATA	• T-2
PROYECTO	: ESTABILIDAD DE TALUDES	MUESTRA	: CD-3
LUGAR	: CONDORLOCHA - TARMA	PROF.(m)	: 20.23
FECHA	• 87-07-11	CLASIF.(SUCS)	: CL

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS QUIMICOS

DESCRIPCION	RESULTADOS
-----	-----
POTENCIAL DE HIDROGENO	7.6
SALES SOLUBLES	0.0592 %
DETERMINACION DE CARBONATOS	NEGATIVOS

Nota.- Los ensayos quimicos referidos en el presente documento, se realizaron en muestras secas y disgregada en mortero. Las mismas fueron ensayadas en triaxial estatico.

ANEXO 3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO - CISMID.

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROFUNDIDAD : 14.23
CLASIF. SUCS : CL
ESTADO : NATURAL
FECHA : 88-02-15

=====

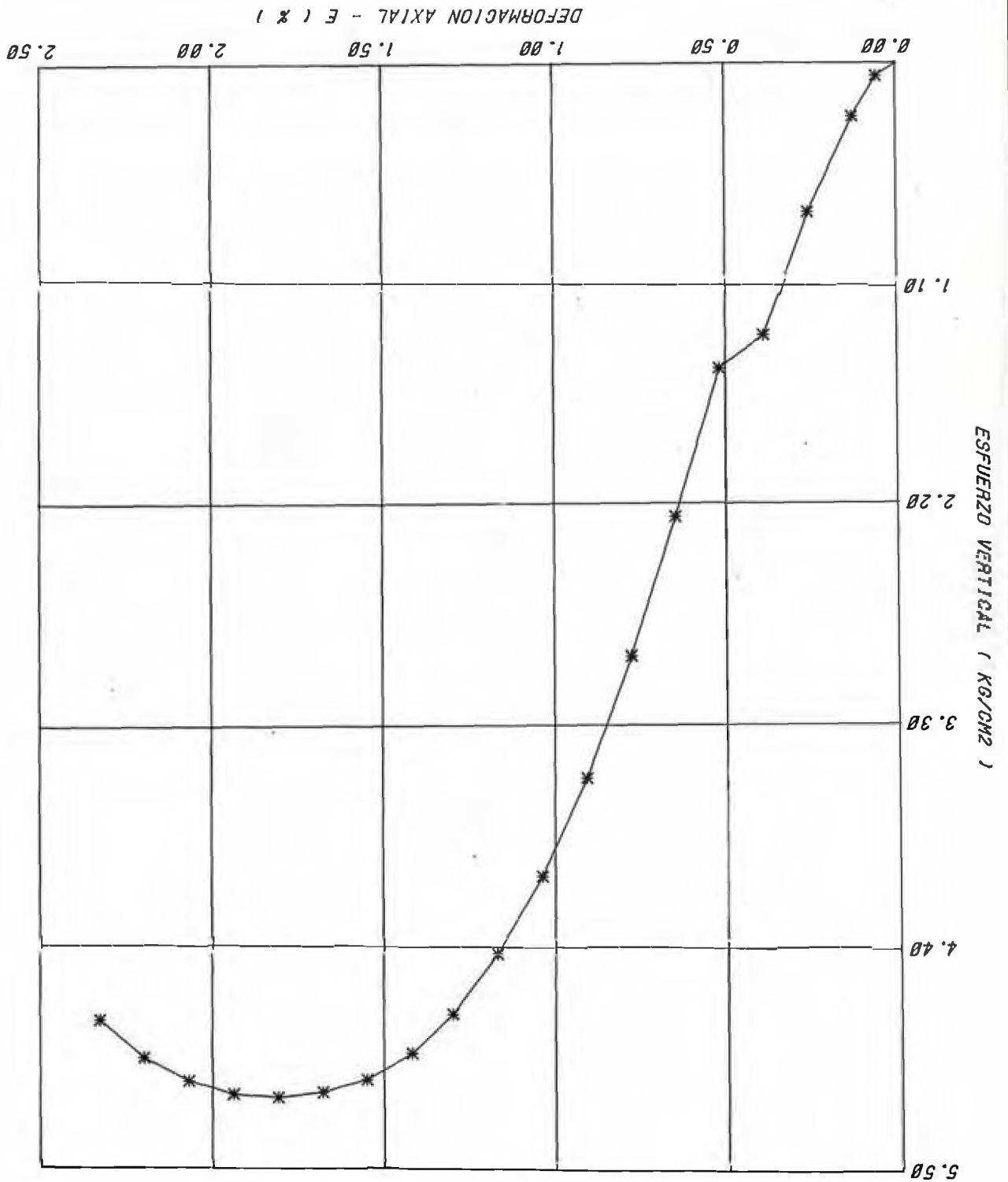
ESPECIMEN # 1

DIAMETRO INICIAL = 3.56 cm. CONT. DE HUMEDAD = 19.44 %
 ALTURA INICIAL = 7.72 cm. DENSIDAD SECA = 0.01 gr/cm³
 AREA INICIAL = 9.95 cm² VOLUMEN INICIAL = 76.84 cm³

CARGA TOTAL APLICADA (Kg)	DEFORMACION VERTICAL PERMANENTE (%)	AREA DE SECCION RECTA (cm ²)	ESFUERZO DESVIADOR APLICADO (Kg/cm ²)
0.68	0.06	9.96	0.07
2.73	0.13	9.97	0.27
7.52	0.26	9.98	0.75
13.67	0.39	9.99	1.37
15.33	0.52	10.01	1.53
22.74	0.65	10.02	2.27
29.69	0.78	10.03	2.96
35.80	0.91	10.05	3.56
40.76	1.04	10.06	4.05
44.68	1.17	10.07	4.44
47.70	1.30	10.08	4.73
49.74	1.42	10.10	4.93
51.12	1.55	10.11	5.06
51.81	1.68	10.12	5.12
52.11	1.81	10.14	5.14
51.99	1.94	10.15	5.12
51.41	2.07	10.16	5.06
50.28	2.20	10.18	4.94
48.45	2.33	10.19	4.75

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO GEOTECNICO - CISMID.
 ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES MUESTRA : CD-1
 UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA PROFUNDIDAD : 14.23
 FECHA : 88-02-15 ESTADO : NATURAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO - CISMID.

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-5
PROFUNDIDAD : 20.23
CLASIF. SUCS : CL
ESTADO : NATURAL
FECHA : 88-02-15

=====

ESPECIMEN # 1

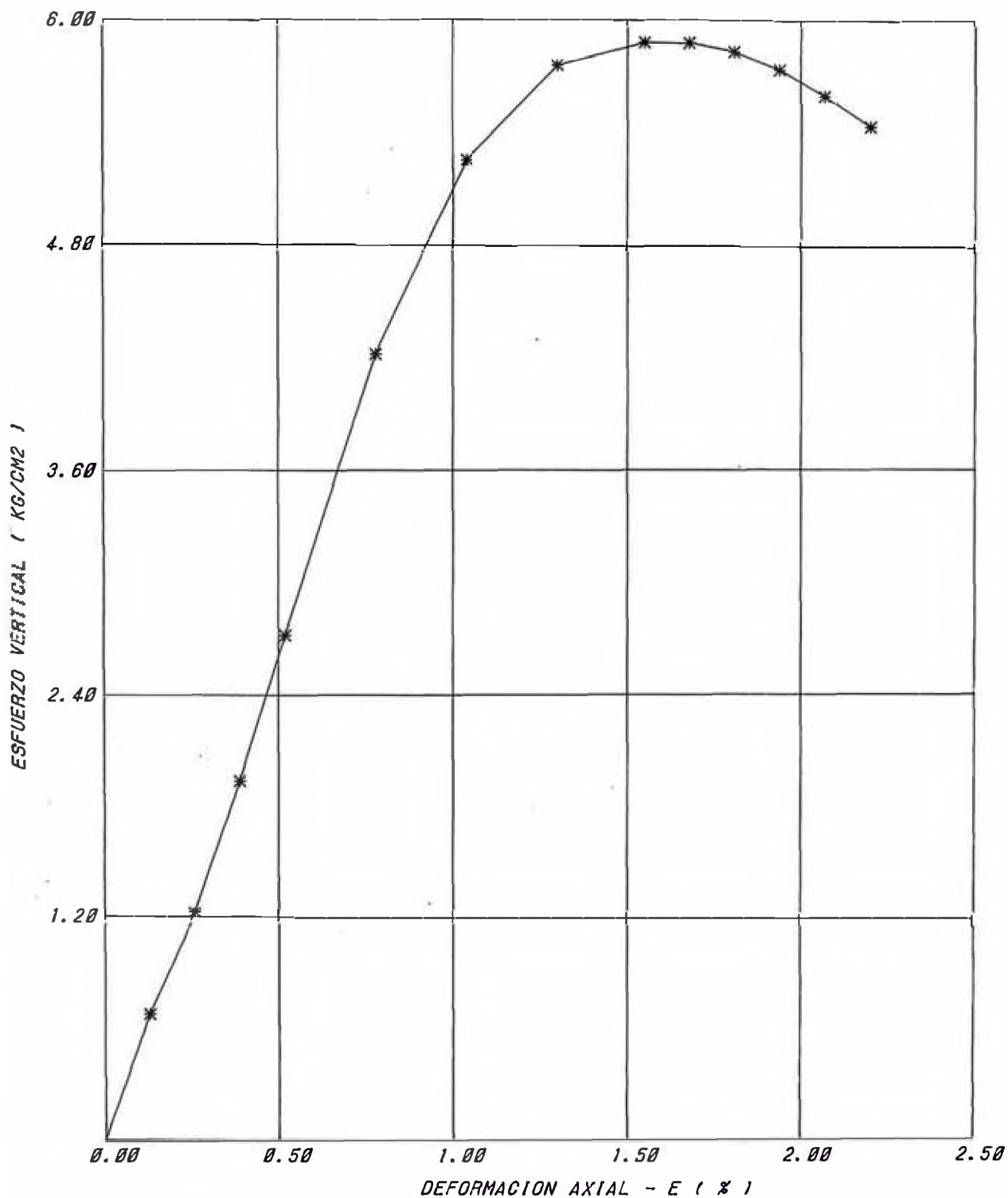
DIAMETRO INICIAL = 3.56 cm. CONT. DE HUMEDAD = 16.25 %
 ALTURA INICIAL = 7.72 cm. DENSIDAD SECA = 0.01 gr/cm³
 AREA INICIAL = 9.95 cm² VOLUMEN INICIAL = 76.84 cm³

CARGA TOTAL APLICADA (Kg)	DEFORMACION VERTICAL PERMANENTE (%)	AREA DE SECCION RECTA (cm ²)	ESFUERZO DESVIADOR APLICADO (Kg/cm ²)
6.78	0.13	9.97	0.68
12.26	0.26	9.98	1.23
19.39	0.39	9.99	1.94
27.24	0.52	10.01	2.72
42.36	0.78	10.03	4.22
52.89	1.04	10.06	5.26
58.11	1.30	10.08	5.76
59.51	1.55	10.11	5.89
59.53	1.68	10.12	5.88
59.14	1.81	10.14	5.83
58.24	1.94	10.15	5.74
56.88	2.07	10.16	5.60
55.29	2.20	10.18	5.43

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO - GISMID.

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES MUESTRA : CD-5
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA PROFUNDIDAD : 20.23
FECHA : 88-02-15 ESTADO : NATURAL



ANEXO 4

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROFUNDIDAD : 14.23
CLASIF. SUCS : CL
ESTADO : NATURAL
FECHA : 88-02-15

=====

ESPECIMEN # 1

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 1.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.80 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 20.40 % C.HUMEDAD FIN. = 26.87 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.02	0.16	0.16
0.21	0.27	0.27
0.74	0.42	0.42
1.44	0.52	0.52
2.19	0.59	0.59
2.81	0.64	0.64
3.54	0.74	0.74
4.23	0.83	0.83
4.99	0.89	0.89
5.75	0.90	0.90
6.61	0.91	0.91
7.50	0.92	0.92
8.34	0.90	0.90
8.84	0.90	0.90
11.06	0.89	0.89
13.25	0.90	0.90
15.34	0.91	0.91
17.86	0.92	0.92

ESPECIMEN # 2

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 2.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.81 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 20.40 % C.HUMEDAD FIN. = 27.60 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.02	0.17	0.09
0.05	0.34	0.17
0.26	0.61	0.31
0.74	0.85	0.43
1.24	1.00	0.50
1.69	1.20	0.60
2.18	1.35	0.68
2.46	1.55	0.78
3.08	1.65	0.83
3.94	1.67	0.84
4.94	1.71	0.86
5.86	1.69	0.85
6.79	1.65	0.83
7.36	1.59	0.80
9.51	1.55	0.78
12.08	1.47	0.74
14.19	1.57	0.79
16.27	1.58	0.79
18.21	1.58	0.79

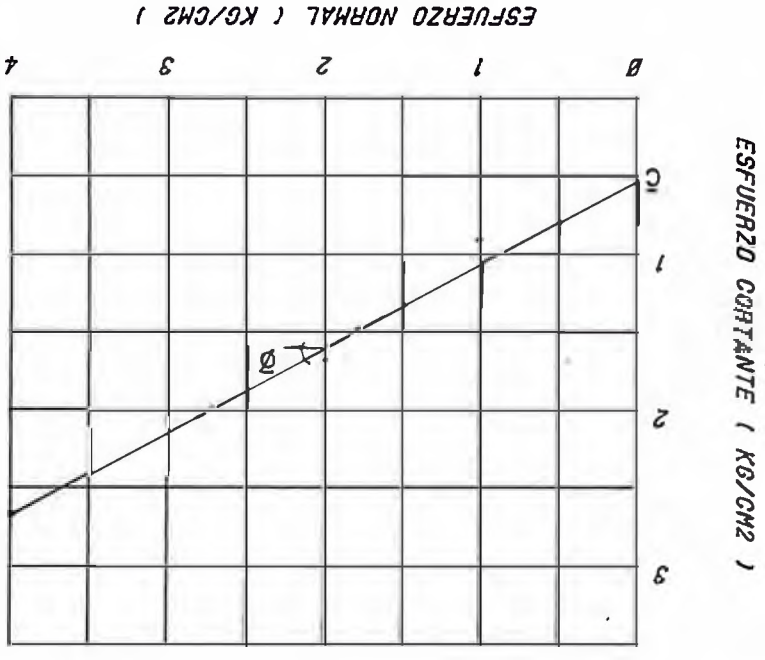
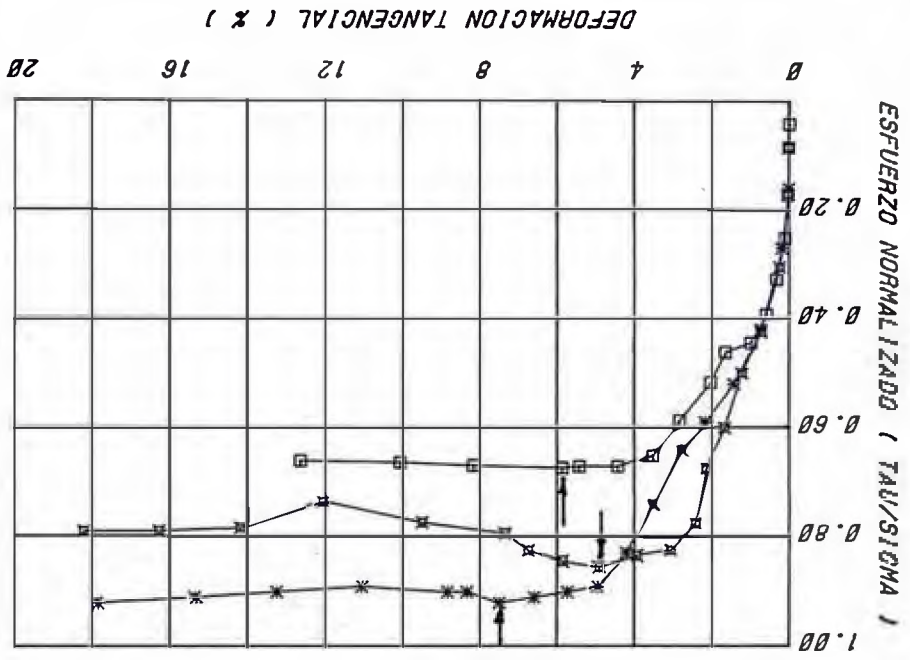
ESPECIMEN # 3

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 4.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.75 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 20.40 % C.HUMEDAD FIN. = 20.40 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.17	0.04
0.02	0.34	0.09
0.04	0.69	0.17
0.13	1.01	0.25
0.34	1.31	0.33
0.61	1.57	0.39
1.00	1.78	0.45
1.66	1.85	0.46
2.04	2.07	0.52
2.84	2.35	0.59
3.56	2.60	0.65
4.45	2.69	0.67
5.44	2.69	0.67
5.88	2.70	0.68
8.18	2.68	0.67
10.08	2.66	0.67
12.65	2.65	0.66

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 CALICATA : T-1
 MUESTRA : CD-1
 PROFUNDIDAD : 14.23
 ESTADO : NATURAL
 CLASIF. SUCS : CL
 FECHA : 88-02-15



ESP	L	cm	H	C. HUMEDAD		ESP. NOR
				Intolal final	gr/cm ³	
3	5.73	1.83	20.4	20.4	1.536	4
2	5.73	1.83	20.4	27.6	1.534	2
1	5.73	1.83	20.4	26.87	1.536	1

$\bar{c} = 28.30$
 $\bar{c} = 0.55 \text{ kg/cm}^2$

* 1
 □ 2
 ◇ 3

ESFUERZO COHESIVO (KG/CM2)

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROFUNDIDAD : 7.90
CLASIF. SUCS : SM
ESTADO : NATURAL
FECHA : 88-02-15

=====

ESPECIMEN # 1

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 1.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.58 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 27.16 % C.HUMEDAD FIN. = 38.77 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.14	0.14	0.14
0.29	0.24	0.24
0.61	0.47	0.47
1.01	0.66	0.66
1.58	0.81	0.81
2.17	0.95	0.95
2.76	1.04	1.04
3.54	1.08	1.08
4.44	1.07	1.07
5.36	1.06	1.06
6.60	1.06	1.06
7.46	0.98	0.98
8.39	0.98	0.98
8.96	0.97	0.97
11.71	0.91	0.91
13.63	0.85	0.85
15.61	0.85	0.85
17.91	0.85	0.85
19.80	0.85	0.85

ESPECIMEN # 2

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 2.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.44 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 27.16 % C.HUMEDAD FIN. = 38.81 %

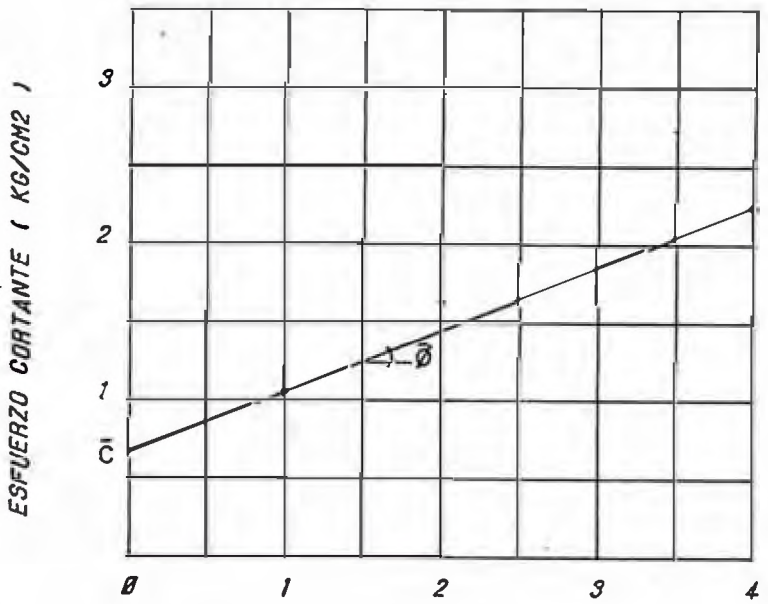
DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.19	0.10
0.09	0.37	0.19
0.35	0.64	0.32
0.69	0.85	0.43
1.04	1.04	0.52
1.50	1.22	0.61
2.03	1.38	0.69
2.54	1.53	0.77
3.36	1.63	0.82
4.30	1.63	0.82
5.16	1.60	0.80
6.25	1.55	0.78
7.11	1.57	0.79
7.59	1.55	0.78
9.60	1.57	0.79
11.94	1.54	0.77
14.16	1.55	0.78
16.66	1.52	0.76
18.51	1.52	0.76

ESPECIMEN # 3

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 4.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.37 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 27.16 % C.HUMEDAD FIN. = 38.50 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.17	0.04
0.02	0.36	0.09
0.09	0.68	0.17
0.36	0.93	0.23
0.61	1.17	0.29
1.01	1.41	0.35
1.36	1.61	0.40
1.46	1.77	0.44
2.51	1.81	0.45
3.48	1.84	0.46
4.34	1.85	0.46
5.29	1.82	0.46
5.91	1.84	0.46
6.26	1.86	0.47
8.41	2.04	0.51
10.63	2.13	0.53
12.15	2.16	0.54
14.95	2.21	0.55
16.87	2.20	0.55

ESP No	L cm	H cm	C. HUMEDAD		D. SECA gr/cm ³	ESF. NOR kg/cm ²
			Inlcial	final		
1	5.73	1.83	27.16	38.77	1.239	1
2	5.73	1.83	27.16	38.81	1.152	2
3	5.73	1.83	27.16	38.5	1.89	4



ESFUERZO NORMAL (KG/CM2)

$$\bar{\phi} = 21.0^\circ$$

$$\bar{c} = 0.70 \text{ kg/cm}^2$$

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-5
PROFUNDIDAD : 20.23
CLASIF. SUCS : CL
ESTADO : NATURAL
FECHA : 88-02-15

ESPECIMEN # 1

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 1.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.33 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 16.30 % C.HUMEDAD FIN. = 20.57 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.11	0.13	0.13
0.31	0.23	0.23
0.71	0.44	0.44
1.25	0.62	0.62
1.81	0.74	0.74
2.31	0.87	0.87
2.95	0.98	0.98
3.85	0.98	0.98
4.88	0.98	0.98
5.99	0.92	0.92
6.90	0.87	0.87
8.00	0.81	0.81
9.21	0.76	0.76
10.08	0.74	0.74
11.59	0.74	0.74
13.76	0.74	0.74
15.97	0.72	0.72
18.00	0.72	0.72
19.95	0.72	0.72
21.91	0.72	0.72

ESPECIMEN # 2

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 2.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.47 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 16.28 % C.HUMEDAD FIN. = 19.76 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.17	0.09
0.01	0.32	0.16
0.15	0.61	0.31
0.43	0.86	0.43
0.86	1.05	0.53
1.36	1.22	0.61
2.01	1.36	0.68
2.60	1.49	0.75
3.25	1.55	0.78
3.99	1.57	0.79
5.21	1.51	0.76
6.21	1.39	0.70
7.21	1.33	0.67
7.87	1.30	0.65
10.35	1.24	0.62
12.60	1.21	0.61
15.41	1.21	0.61
17.40	1.20	0.60
19.11	1.20	0.60
21.18	1.21	0.61

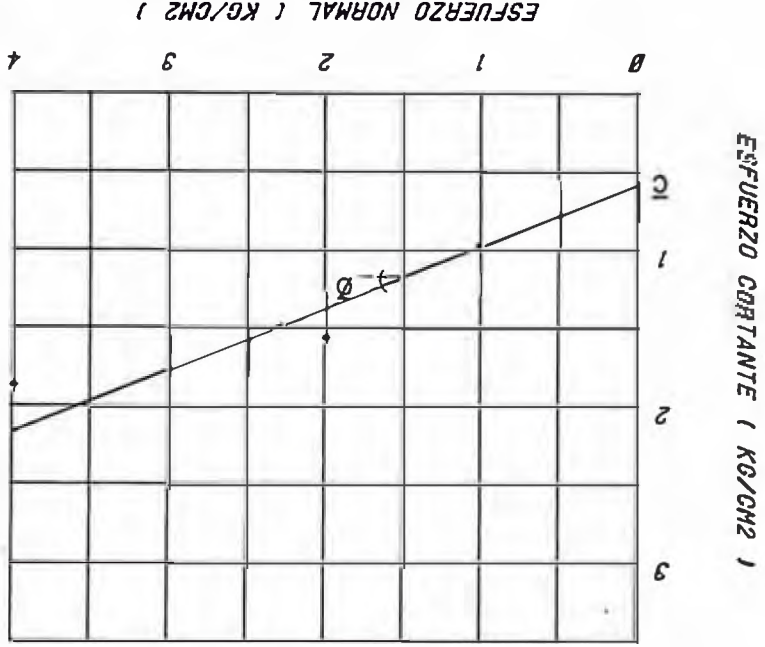
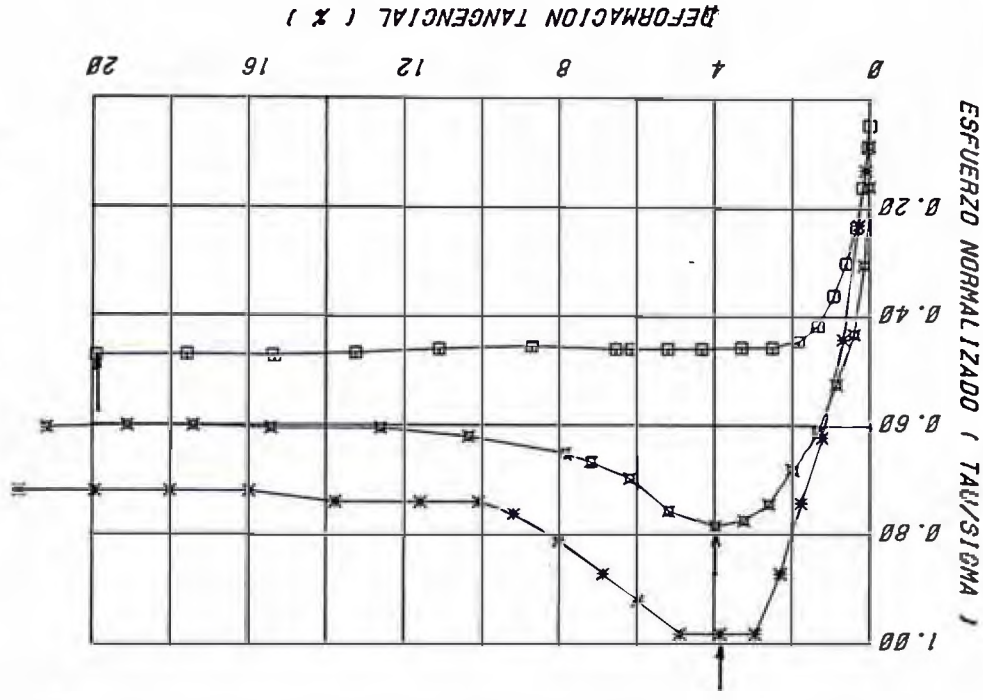
ESPECIMEN # 3

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 4.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.29 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 16.25 % C.HUMEDAD FIN. = 19.39 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.19	0.05
0.05	0.35	0.09
0.18	0.65	0.16
0.36	0.94	0.24
0.63	1.20	0.30
0.94	1.44	0.36
1.34	1.66	0.42
1.85	1.78	0.45
2.50	1.83	0.46
3.30	1.83	0.46
4.32	1.84	0.46
5.20	1.84	0.46
6.14	1.84	0.46
6.54	1.84	0.46
8.73	1.82	0.46
11.11	1.84	0.46
13.24	1.87	0.47
15.36	1.89	0.47
17.56	1.88	0.47
19.91	1.89	0.47

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 CALICATA : T-2
 MUESTRA : CD-5
 PROFUNDIDAD : 20.23
 ESTADO : NATURAL
 CLASIF. SUCS : CL
 FECHA : 88-02-15



ESP	L	H	C. HUMEDAD		D. SECA	ESP. NOR
			cm	cm		
1	5.73	1.83	16.3	20.57	1.822	1
2	5.73	1.83	16.28	19.76	1.812	2
3	5.73	1.83	16.25	19.39	1.814	4

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

SOLICITANTE · CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-2
PROFUNDIDAD : 35.80
CLASIF. SUCS : ML
ESTADO : NATURAL
FECHA : 88-02-15

ESPECIMEN # 1

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 1.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.10 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 27.75 % C.HUMEDAD FIN. = 34.52 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.05	0.17	0.17
0.18	0.29	0.29
0.64	0.46	0.46
1.09	0.67	0.67
1.76	0.75	0.75
2.33	0.89	0.89
2.91	0.95	0.95
3.66	0.97	0.97
4.45	0.99	0.99
5.31	0.99	0.99
6.36	0.95	0.95
7.33	0.92	0.92
8.35	0.91	0.91
8.73	0.91	0.91
10.86	0.91	0.91
13.23	0.91	0.91
15.17	0.91	0.91
17.10	0.91	0.91
19.76	0.91	0.91
20.54	0.91	0.91

ESPECIMEN # 2

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 2.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.12 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 27.75 % C.HUMEDAD FIN. = 34.52 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.17	0.09
0.01	0.32	0.16
0.14	0.58	0.29
0.45	0.82	0.41
0.81	1.02	0.51
1.30	1.21	0.61
1.77	1.37	0.69
2.36	1.50	0.75
3.14	1.59	0.80
3.62	1.63	0.82
4.76	1.51	0.76
5.71	1.49	0.75
6.61	1.48	0.74
7.06	1.49	0.75
9.24	1.49	0.75
11.65	1.48	0.74
13.74	1.48	0.74
15.82	1.48	0.74
18.26	1.48	0.74
19.93	1.48	0.74

ESPECIMEN # 3

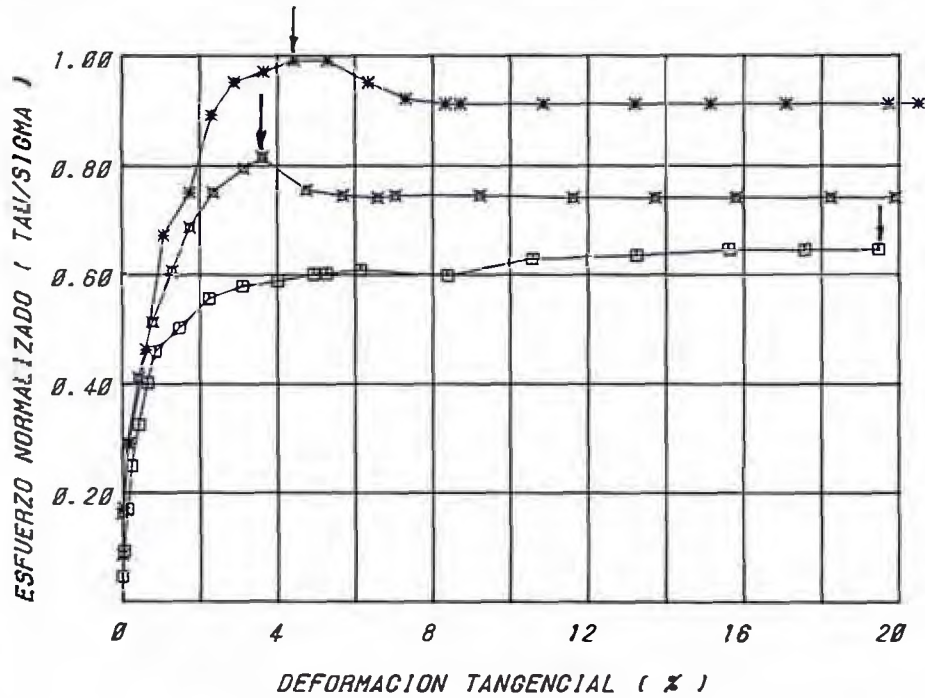
DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 4.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.09 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 27.78 % C.HUMEDAD FIN. = 34.97 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.18	0.05
0.04	0.37	0.09
0.14	0.67	0.17
0.26	0.99	0.25
0.44	1.30	0.33
0.66	1.61	0.40
0.89	1.83	0.46
1.51	2.00	0.50
2.26	2.22	0.56
3.13	2.31	0.58
4.03	2.35	0.59
4.94	2.40	0.60
5.29	2.41	0.60
6.16	2.43	0.61
8.41	2.39	0.60
10.61	2.51	0.63
13.26	2.54	0.64
15.66	2.58	0.65
17.58	2.58	0.65
19.51	2.58	0.65

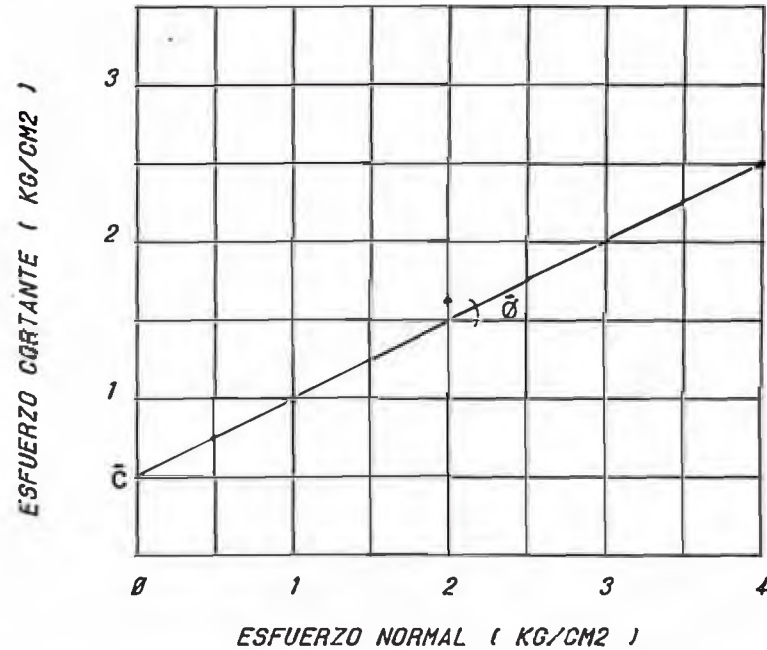
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 CALICATA : T-2
 MUESTRA : CD-2
 PROFUNDIDAD : 35.80
 ESTADO : NATURAL
 CLASIF. SUCS : ML
 FECHA : 88-02-15

ESP No	L cm	H cm	C. HUMEDAD		D. SECA gr/cm ³	ESF. NOR kg/cm ²
			inicial	final		
1	5.73	1.83	27.75	34.52	1.406	1
2	5.73	1.83	27.75	34.52	1.441	2
3	5.73	1.83	27.78	34.97	1.433	4



* 1 □ 2
 □ 3



$\bar{\phi} = 27.0^\circ$
 $\bar{C} = 0.50 \text{ kg/cm}^2$

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
UBICACION : CONDORCOCHA-TARMA

CALICATA : T-3
MUESTRA : CD-3
PROFUNDIDAD : 11
CLASIF. SUCS : ML
ESTADO : NATURAL
FECHA : 88-02-15

=====

ESPECIMEN # 1

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 1.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.65 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 19.39 % C.HUMEDAD FIN. = 25.02 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.06	0.15	0.15
0.19	0.27	0.27
0.51	0.53	0.53
0.94	0.65	0.65
1.49	0.78	0.78
2.25	0.83	0.83
3.01	0.85	0.85
3.91	0.85	0.85
4.81	0.85	0.85
5.66	0.85	0.85
6.54	0.85	0.85
7.41	0.85	0.85
8.26	0.85	0.85
8.79	0.84	0.84
10.93	0.82	0.82
13.21	0.78	0.78
15.41	0.75	0.75
17.50	0.73	0.73
18.20	0.72	0.72
20.45	0.72	0.72

ESPECIMEN # 2

DIAMETRO = 5.73 cm. ESFUERZO NORMAL = 2.00 Kg/cm²
 ALTURA = 1.83 cm. DENSIDAD SECA = 1.82 gr/cm³
 C.HUMEDAD INIC. = 19.39 % C.HUMEDAD FIN. = 25.36 %

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.03	0.16	0.08
0.05	0.24	0.12
0.23	0.63	0.32
0.54	0.88	0.44
0.86	1.09	0.55
1.36	1.26	0.63
1.86	1.44	0.72
2.36	1.46	0.73
3.14	1.47	0.74
3.75	1.51	0.76
4.49	1.57	0.79
5.50	1.59	0.80
6.26	1.57	0.79
6.94	1.55	0.78
9.40	1.53	0.77
12.01	1.46	0.73
14.48	1.38	0.69
16.45	1.37	0.69
17.82	1.36	0.68
19.65	1.36	0.68

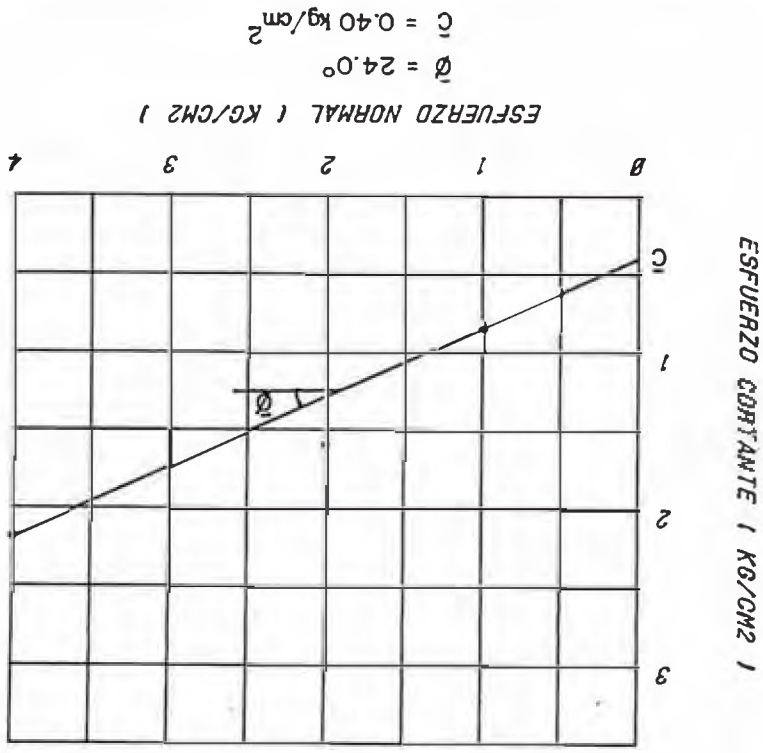
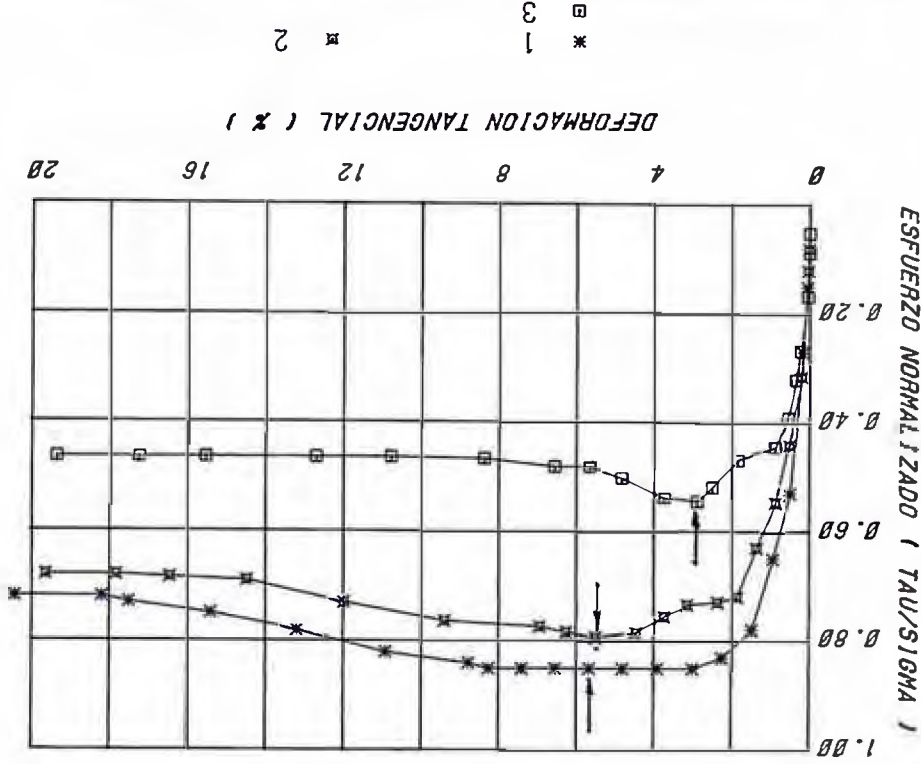
ESPECIMEN # 3

DIAMETRO	=	5.73	cm.	ESFUERZO NORMAL	=	4.00	Kg/cm ²
ALTURA	=	1.83	cm.	DENSIDAD SECA	=	1.66	gr/cm ³
C.HUMEDAD INIC.	=	19.39	%	C.HUMEDAD FIN.	=	23.83	%

DEF. TANGENCIAL (%)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO (TAU/SIGMA)
0.01	0.21	0.05
0.01	0.35	0.09
0.05	0.67	0.17
0.24	1.07	0.27
0.36	1.28	0.32
0.57	1.56	0.39
0.91	1.78	0.45
1.86	1.87	0.47
2.50	2.07	0.52
2.89	2.18	0.55
3.75	2.15	0.54
4.84	2.00	0.50
5.66	1.93	0.48
6.56	1.93	0.48
8.39	1.87	0.47
10.79	1.86	0.47
12.70	1.86	0.47
15.53	1.86	0.47
17.25	1.86	0.47
19.36	1.86	0.47

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCCHA-TARMA
 CALICATA : T-3
 MUESTRA : CD-3
 PROFUNDIDAD : 40.67
 ESTADO : NATURAL
 CLASIF. SUCS : ML
 FECHA : 88-02-15



ESF	L	H	C. HUMEDAD		ESF. NDR
			cm	gr/cm ³	
No	cm	cm	inicial	final	kg/cm ²
1	5.73	1.83	19.39	25.02	1.716
2	5.73	1.83	19.39	25.36	1.738
3	5.73	1.83	19.39	23.83	1.731

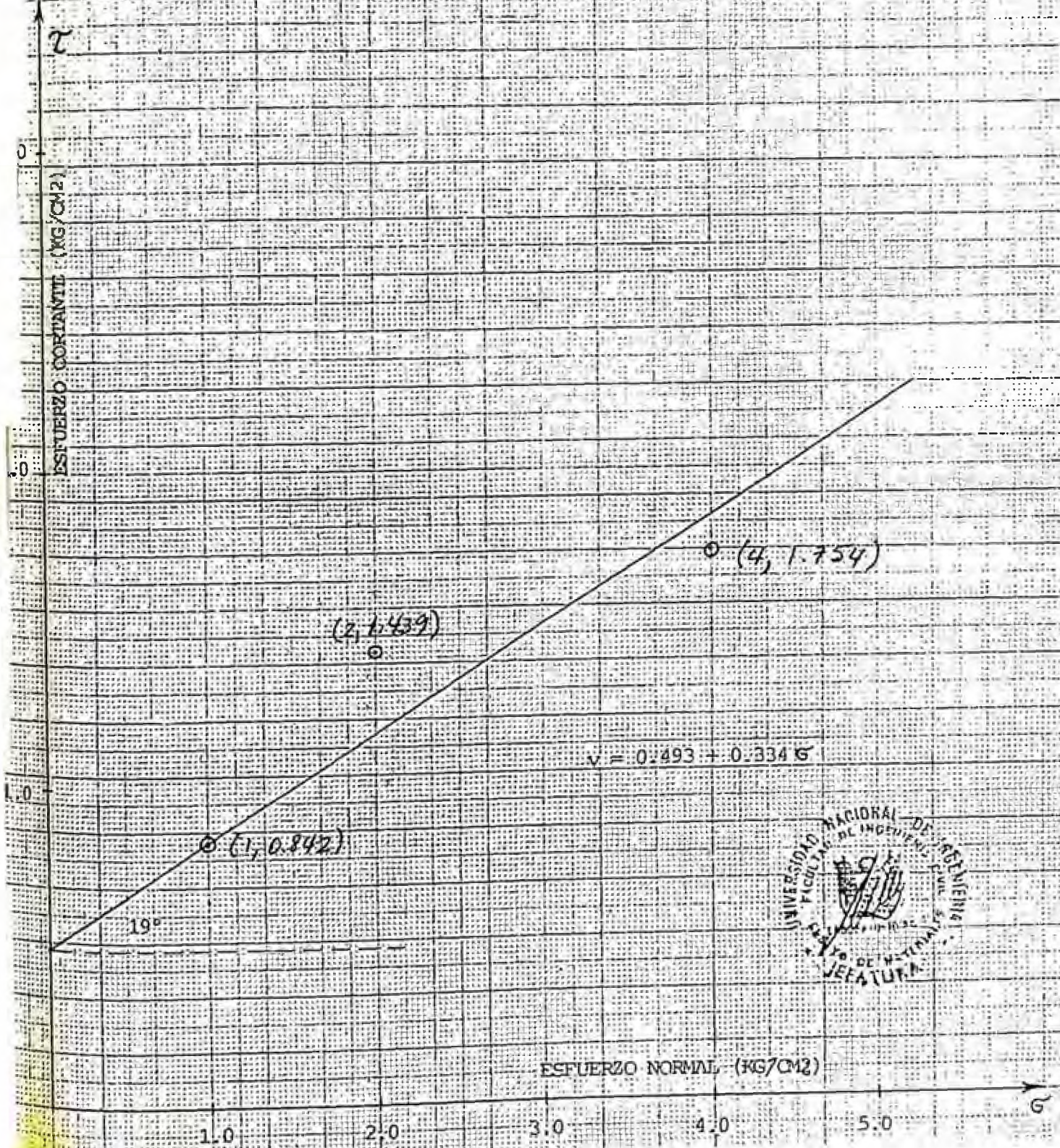
ANEXO 5

ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN SITU

LUGAR : FABRICA DE CEMENTO ANDINO (TARMA)

UBICACION: TRINCHERA CD-1

FECHA : DICIEMBRE DE 1987



ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN SITU

LUGAR : FABRICA DE CEMENTO ANDINO (TARMA)

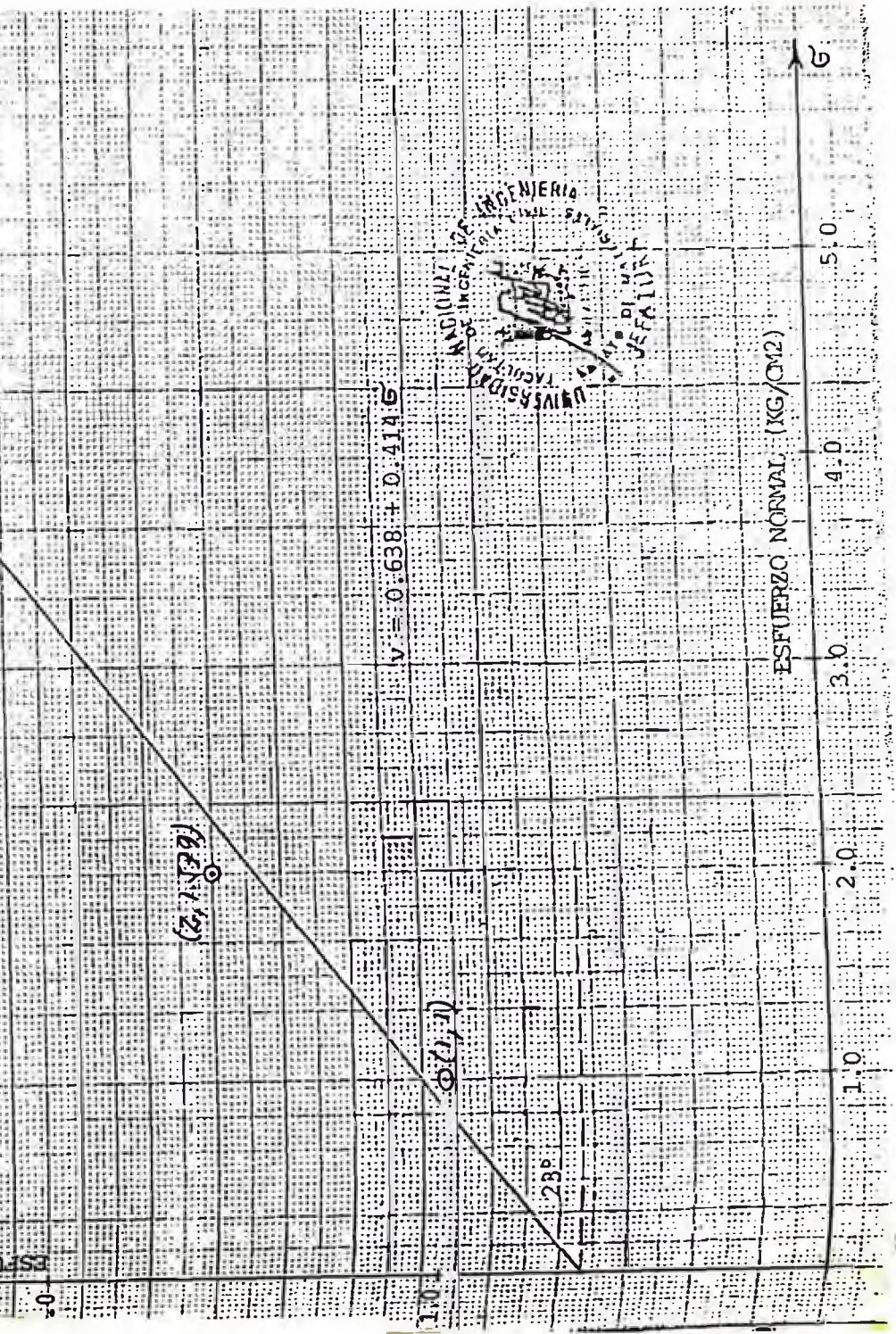
UBICACION : TRINCHERA CD-2

FECHA : DICIEMBRE DE 1987

2

ESFUERZO COMPRESIVO (KG/CM²)

○ (44.4, 281)

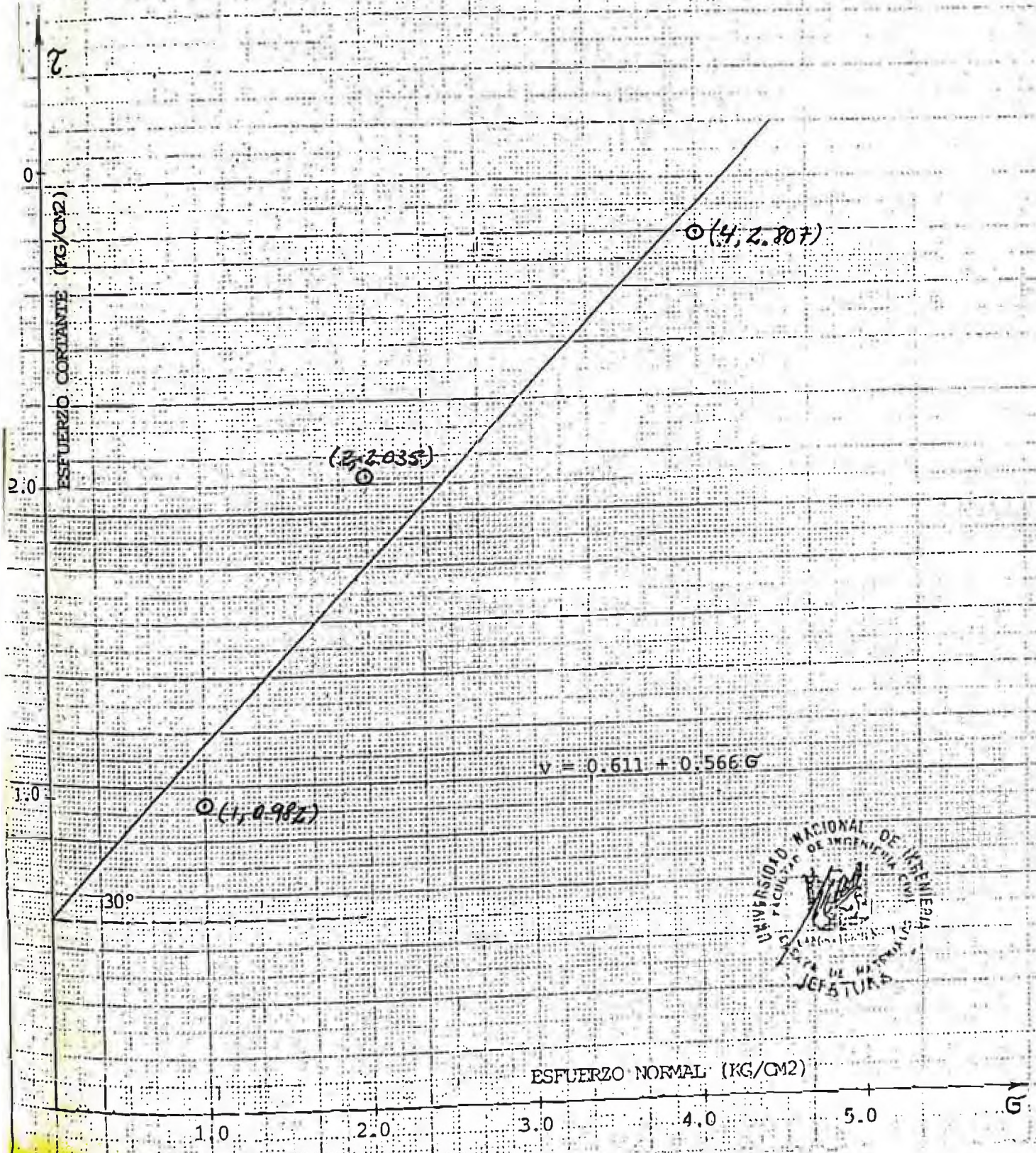


ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN SITU

LUGAR : FABRICA DE CEMENTO ANDINO (TARMA)

UBICACION : TRINCHERA CD-3

FECHA : DICIEMBRE DE 1987

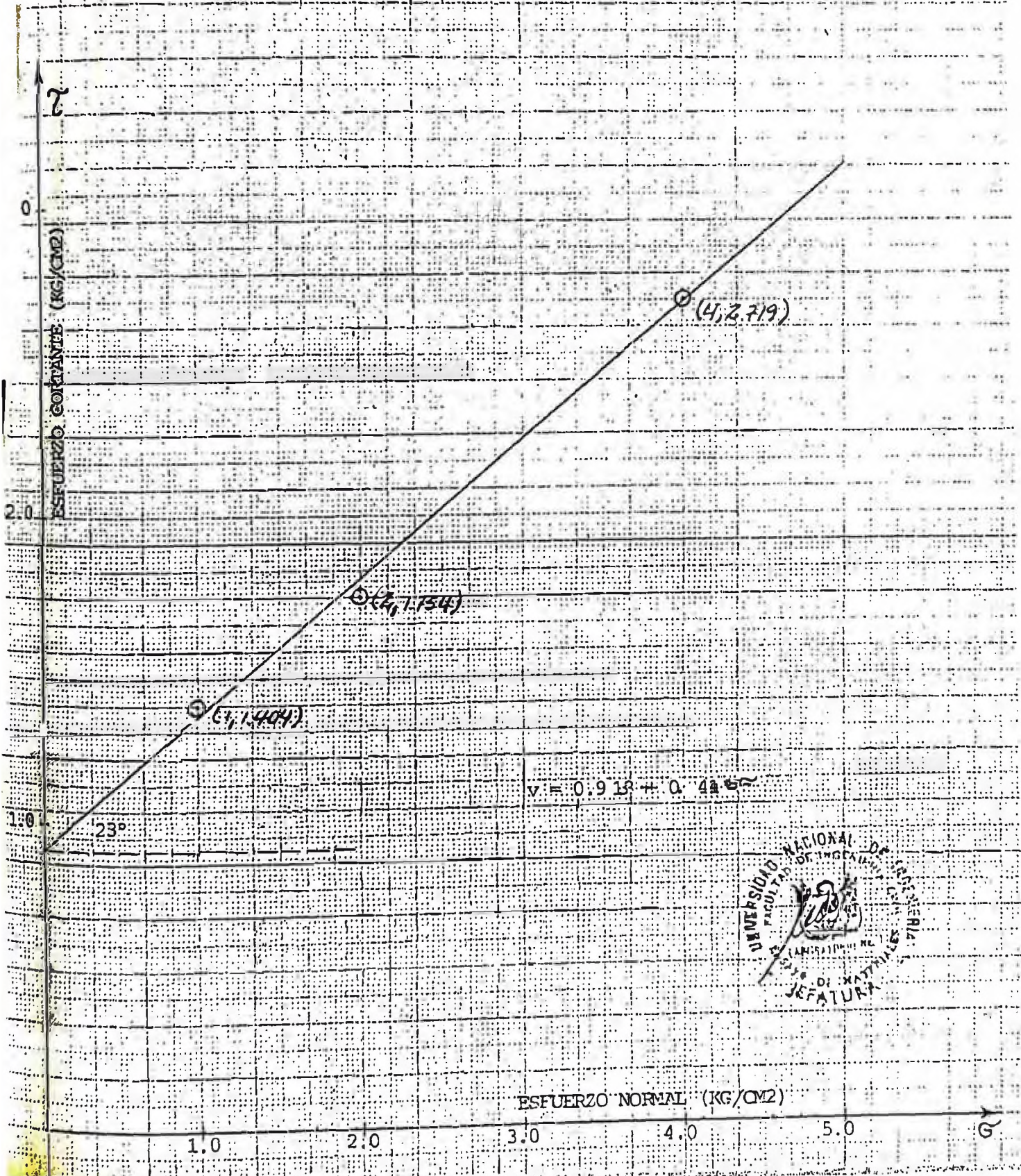


ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN SITU

LUGAR : FABRICA DE CEMENTO ANDINO (TARMA)

UBICACION: TRINCHERA CD-4

FECHA : DICIEMBRE DE 1987

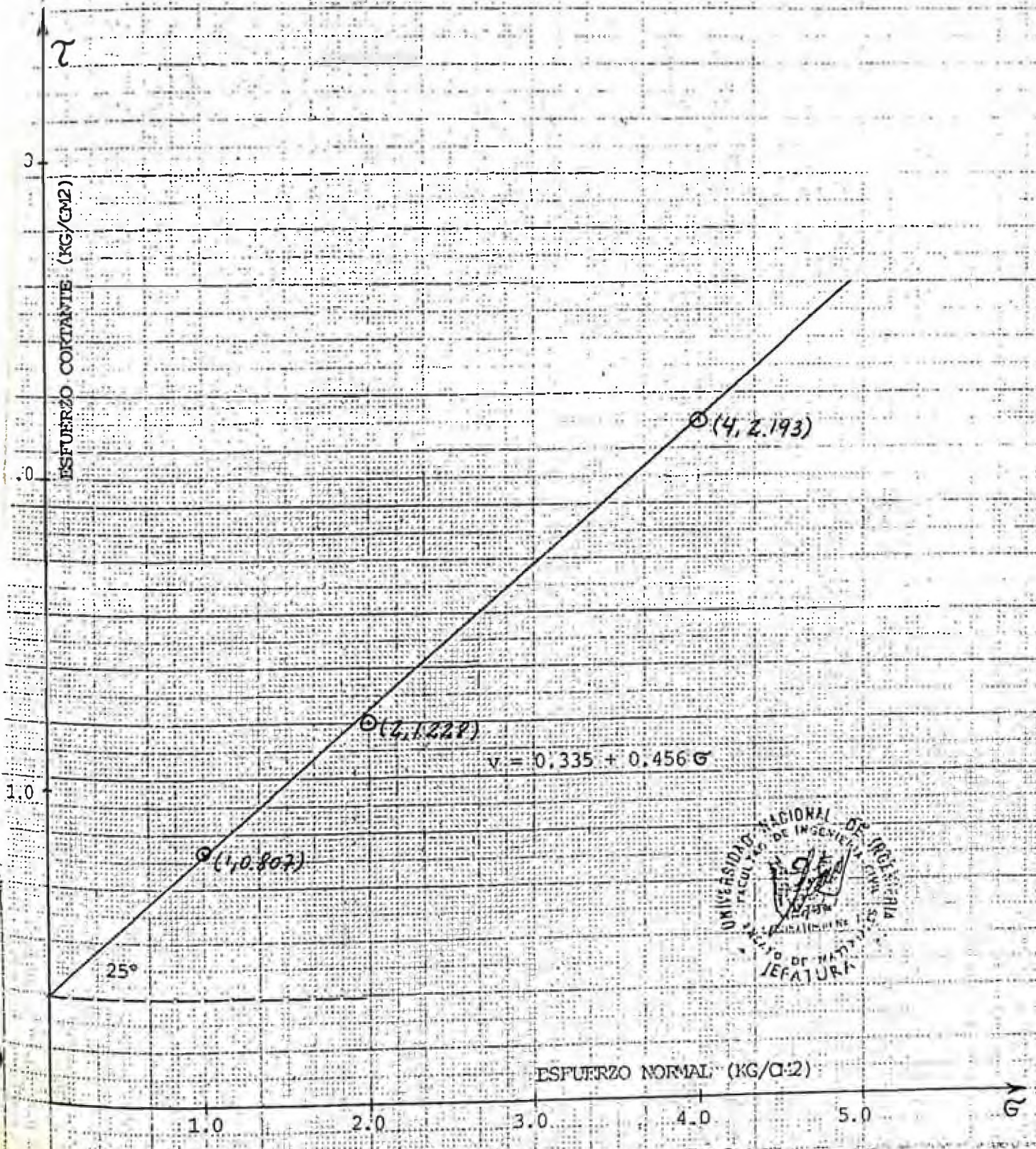


ENSAYO DE COFTE DIRECTO IN SITU

LUGAR : FABRICA DE CEMENTO ANDINO (TARMA)

UBICACION : TRINCHERA CD-5

FECHA : DICIEMBRE DE 1987



ANEXO 6

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROFUNDIDAD (m) : 14.23
CLASIFICACION (SUCS) : CL
ESTADO : INALTERADO
TIPO DE ENSAYO : CU CONSOLIDADO - NO DRENADO
VELOCIDAD DE CARGA : 0.2 mm/min
FECHA : 88-10-14

=====

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-1
 PROFUNDIDAD (m) : 14.23
 FECHA : 88-10-14

ESPECIMEN : E1
 DIAMETRO : 4.95 cm
 ALTURA : 10.04 cm
 DENSIDAD SECA : 1.80 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 13.01 %
 HUMEDAD FINAL : 21.03 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 2.50 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.93 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 0.57 Kg/cm²

DEF E%	ESF.DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	0.57	0.57	0.57	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	2.62	0.01	0.56	3.18	1.87	1.31	2.62	0.70	5.68
0.10	2.85	0.03	0.54	3.39	1.97	1.43	2.85	0.73	6.28
0.15	3.10	0.05	0.52	3.62	2.07	1.55	3.10	0.75	6.96
0.25	3.58	0.07	0.50	4.08	2.29	1.79	3.58	0.78	8.16
0.50	4.12	0.08	0.49	4.61	2.55	2.06	4.12	0.81	9.41
0.75	4.28	0.03	0.54	4.82	2.68	2.14	4.28	0.80	8.93
1.00	4.32	-0.08	0.65	4.97	2.81	2.16	4.32	0.77	7.65
1.25	4.32	-0.12	0.69	5.01	2.85	2.16	4.32	0.76	7.26
1.50	4.30	-0.15	0.72	5.02	2.87	2.15	4.30	0.75	6.97
1.75	4.25	-0.17	0.74	4.99	2.87	2.13	4.25	0.74	6.74
2.00	4.20	-0.19	0.76	4.96	2.86	2.10	4.20	0.73	6.53
2.50	4.03	-0.22	0.79	4.82	2.81	2.02	4.03	0.72	6.10
3.00	3.91	-0.23	0.80	4.71	2.76	1.96	3.91	0.71	5.89
3.50	3.79	-0.23	0.80	4.59	2.70	1.90	3.79	0.70	5.74
4.25	3.66	-0.23	0.80	4.46	2.63	1.83	3.66	0.70	5.58
4.70	3.61	-0.23	0.80	4.41	2.61	1.81	3.61	0.69	5.51
5.25	3.55	-0.23	0.80	4.35	2.58	1.78	3.55	0.69	5.44
5.50	3.52	-0.23	0.80	4.32	2.56	1.76	3.52	0.69	5.40
6.75	3.39	-0.23	0.80	4.19	2.50	1.70	3.39	0.68	5.24

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-1
 PROFUNDIDAD (m) : 14.23
 FECHA : 88-10-14

ESPECIMEN : E2
 DIAMETRO : 4.98 cm
 ALTURA : 10.05 cm
 DENSIDAD SECA : 1.81 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 12.70 %
 HUMEDAD FINAL : 19.04 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 3.50 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.91 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 1.59 Kg/cm²

DEF E%	ESF.DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	1.59	1.59	1.59	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	2.70	0.35	1.24	3.94	2.59	1.35	2.70	0.52	3.18
0.10	3.29	0.47	1.12	4.41	2.77	1.65	3.29	0.59	3.94
0.20	4.09	0.63	0.96	5.05	3.01	2.05	4.09	0.68	5.26
0.25	4.32	0.66	0.93	5.25	3.09	2.16	4.32	0.70	5.65
0.50	4.74	0.63	0.96	5.70	3.33	2.37	4.74	0.71	5.94
0.75	4.82	0.56	1.03	5.85	3.44	2.41	4.82	0.70	5.68
1.10	4.78	0.45	1.14	5.92	3.53	2.39	4.78	0.68	5.19
1.40	4.70	0.38	1.21	5.91	3.56	2.35	4.70	0.66	4.88
1.50	4.65	0.31	1.28	5.93	3.61	2.33	4.65	0.64	4.63
2.00	4.48	0.26	1.33	5.81	3.57	2.24	4.48	0.63	4.37
2.50	4.29	0.21	1.38	5.67	3.53	2.15	4.29	0.61	4.11
3.00	4.15	0.17	1.42	5.57	3.50	2.08	4.15	0.59	3.92
3.70	4.05	0.15	1.44	5.49	3.47	2.03	4.05	0.58	3.81
4.00	4.02	0.15	1.44	5.46	3.45	2.01	4.02	0.58	3.79
4.50	3.99	0.14	1.45	5.44	3.45	2.00	3.99	0.58	3.75
5.00	3.95	0.14	1.45	5.40	3.43	1.98	3.95	0.58	3.72
5.50	3.91	0.14	1.45	5.36	3.41	1.96	3.91	0.57	3.70

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-1
 PROFUNDIDAD (m) : 14.23
 FECHA : 88-10-14

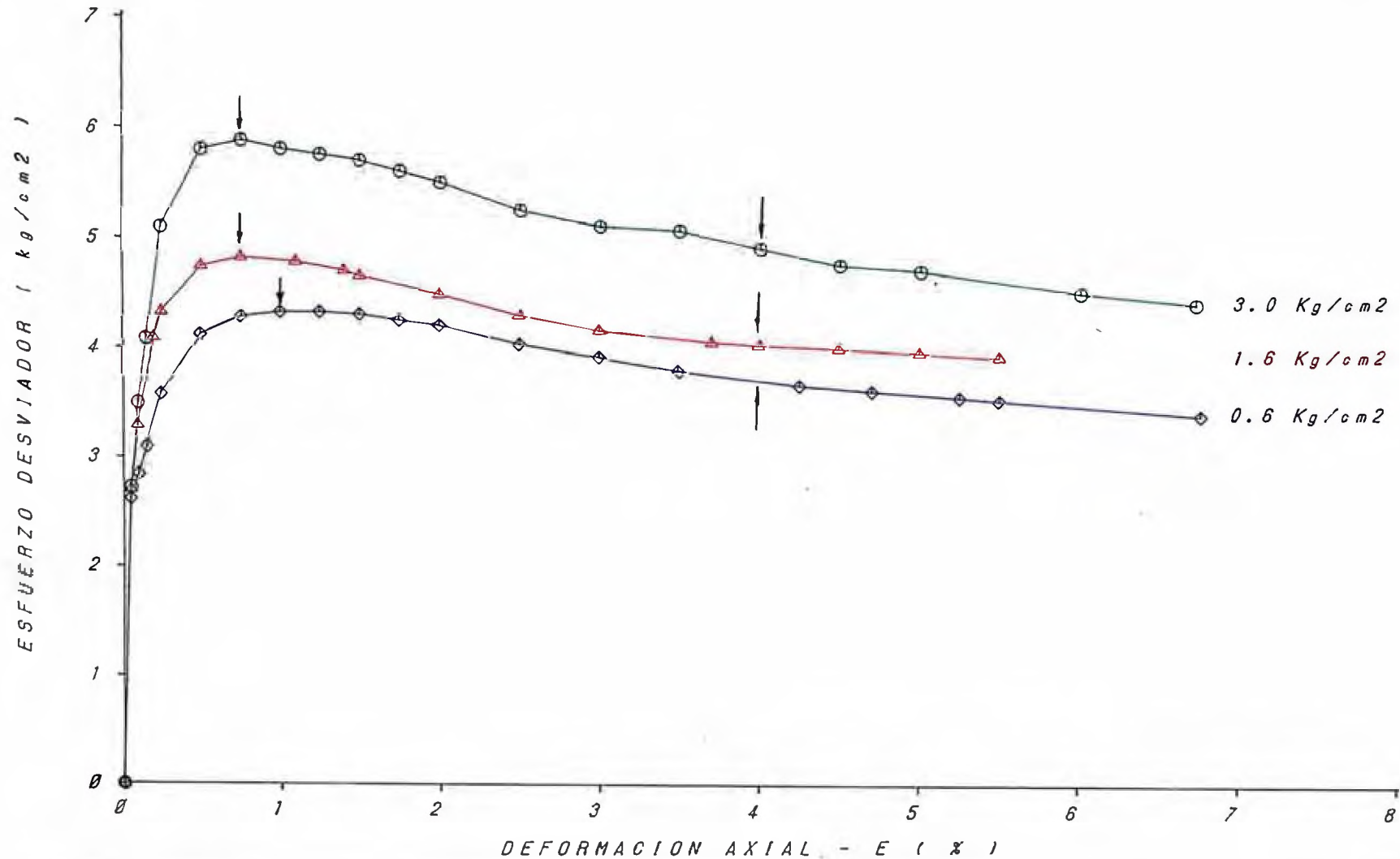
ESPECIMEN : E3
 DIAMETRO : 5.01 cm
 ALTURA : 10.00 cm
 DENSIDAD SECA : 1.75 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 18.62 %
 HUMEDAD FINAL : 21.20 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 5.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.96 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 3.04 Kg/cm²

DEF EX	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	3.04	3.04	3.04	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	2.73	0.34	2.70	5.43	4.07	1.37	2.73	0.34	2.01
0.10	3.50	0.58	2.46	5.96	4.21	1.75	3.50	0.42	2.42
0.15	4.08	0.70	2.34	6.42	4.38	2.04	4.08	0.47	2.74
0.25	5.10	0.78	2.26	7.36	4.81	2.55	5.10	0.53	3.26
0.50	5.80	1.02	2.02	7.82	4.92	2.90	5.80	0.59	3.87
0.75	5.88	1.04	2.00	7.88	4.94	2.94	5.88	0.60	3.94
1.00	5.80	1.00	2.04	7.84	4.94	2.90	5.80	0.59	3.84
1.25	5.75	0.94	2.10	7.85	4.98	2.88	5.75	0.58	3.74
1.50	5.70	0.89	2.15	7.85	5.00	2.85	5.70	0.57	3.65
1.75	5.60	0.85	2.19	7.79	4.99	2.80	5.60	0.56	3.56
2.00	5.50	0.82	2.22	7.72	4.97	2.75	5.50	0.55	3.48
2.50	5.25	0.77	2.27	7.52	4.90	2.63	5.25	0.54	3.31
3.00	5.10	0.75	2.29	7.39	4.84	2.55	5.10	0.53	3.23
3.50	5.06	0.73	2.31	7.37	4.84	2.53	5.06	0.52	3.19
4.00	4.90	0.73	2.31	7.21	4.76	2.45	4.90	0.51	3.12
4.50	4.75	0.72	2.32	7.07	4.70	2.38	4.75	0.51	3.05
5.00	4.70	0.72	2.32	7.02	4.67	2.35	4.70	0.50	3.03
6.00	4.50	0.73	2.31	6.81	4.56	2.25	4.50	0.49	2.95
6.72	4.40	0.77	2.27	6.67	4.47	2.20	4.40	0.49	2.94

ESFUERZO DESVIADOR vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-14

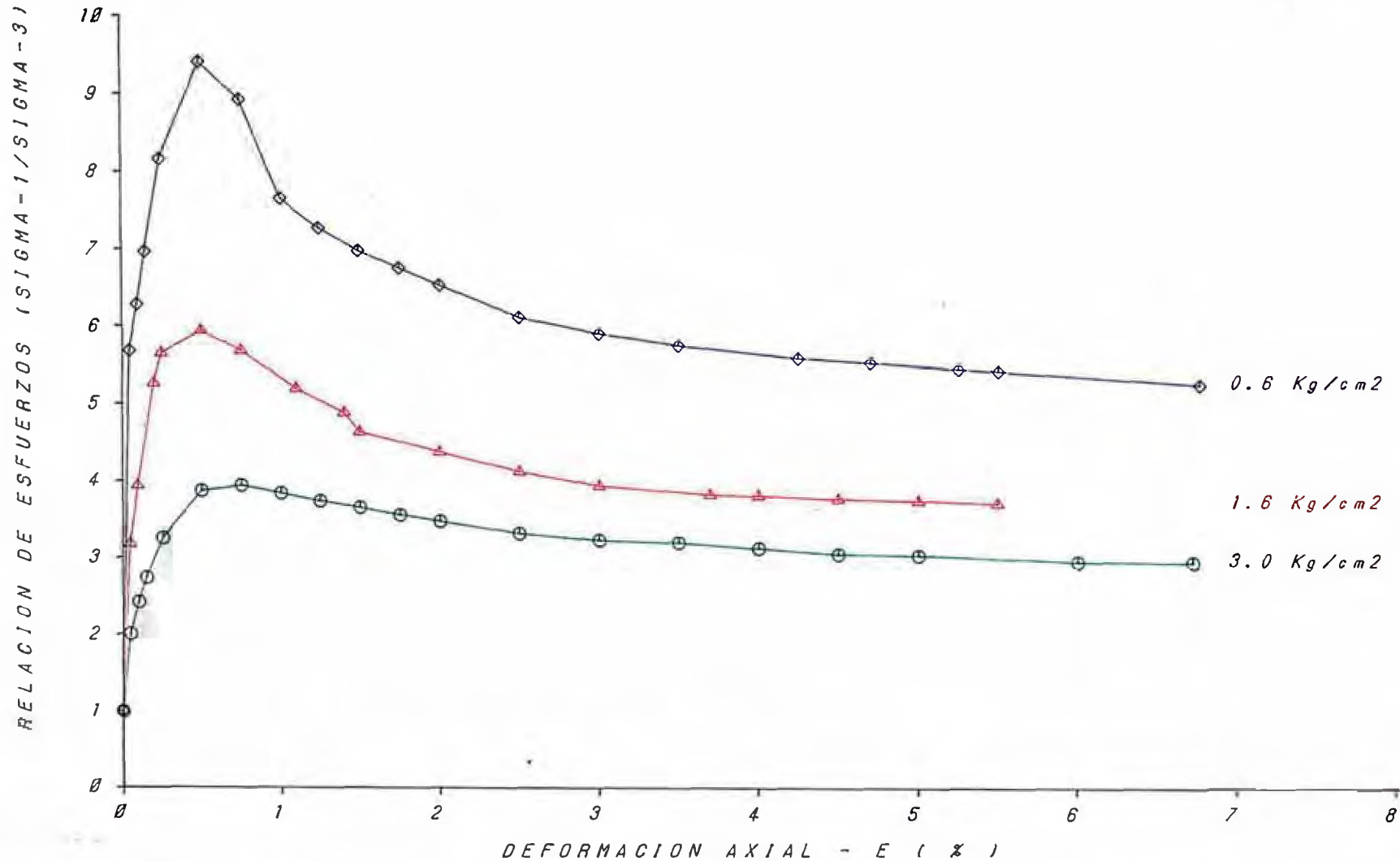
CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROF. (m) : 14.23
CLASIF. (SUCS) : CL



SIGMA-1/SIGMA-3 vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-14

CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROF. (m) : 14.23
CLASIF. (SUCS) : CL



PRESION DE POROS vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-14

CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROF. (m) : 14.23
CLASIF. (SUCS) : CL

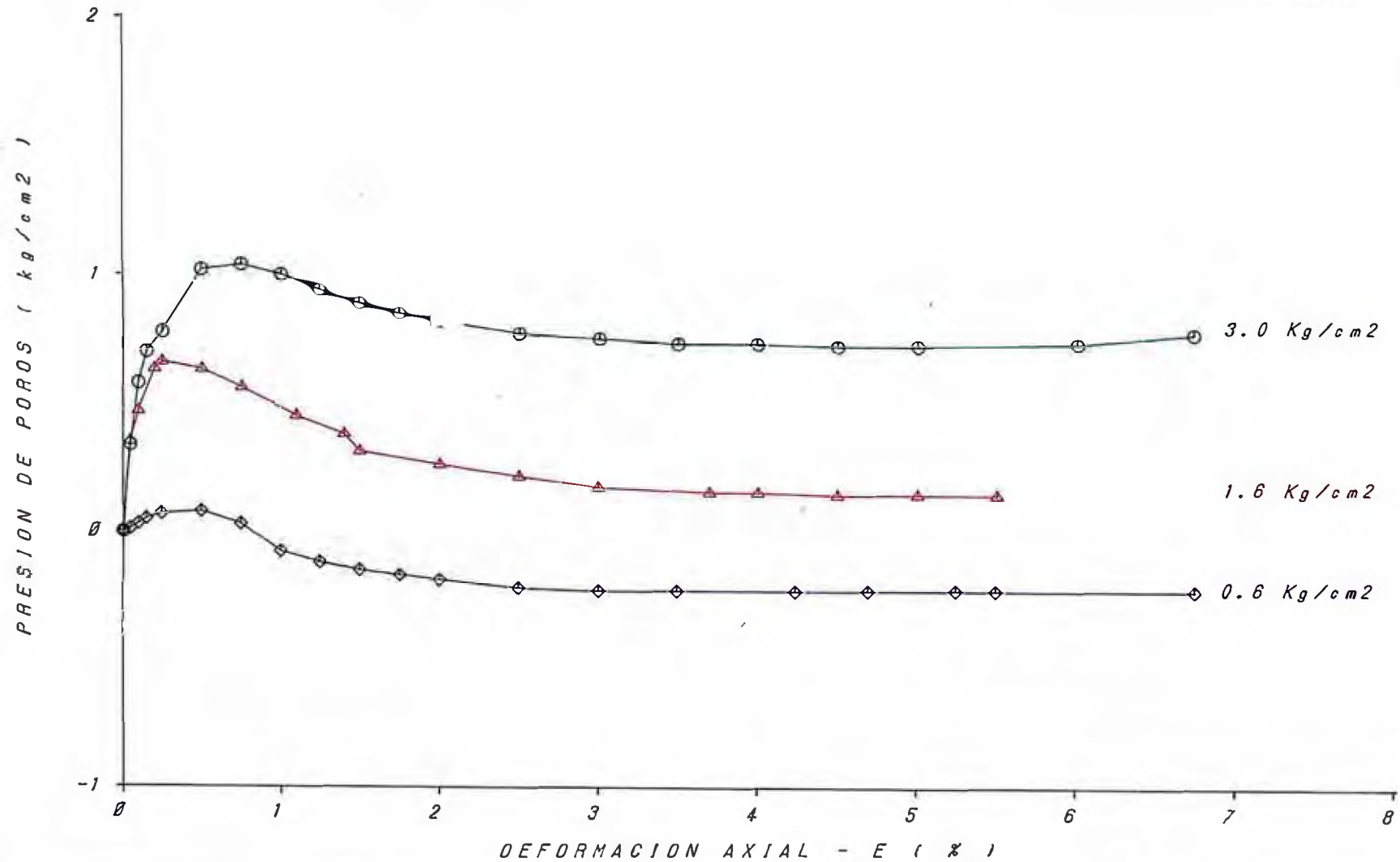
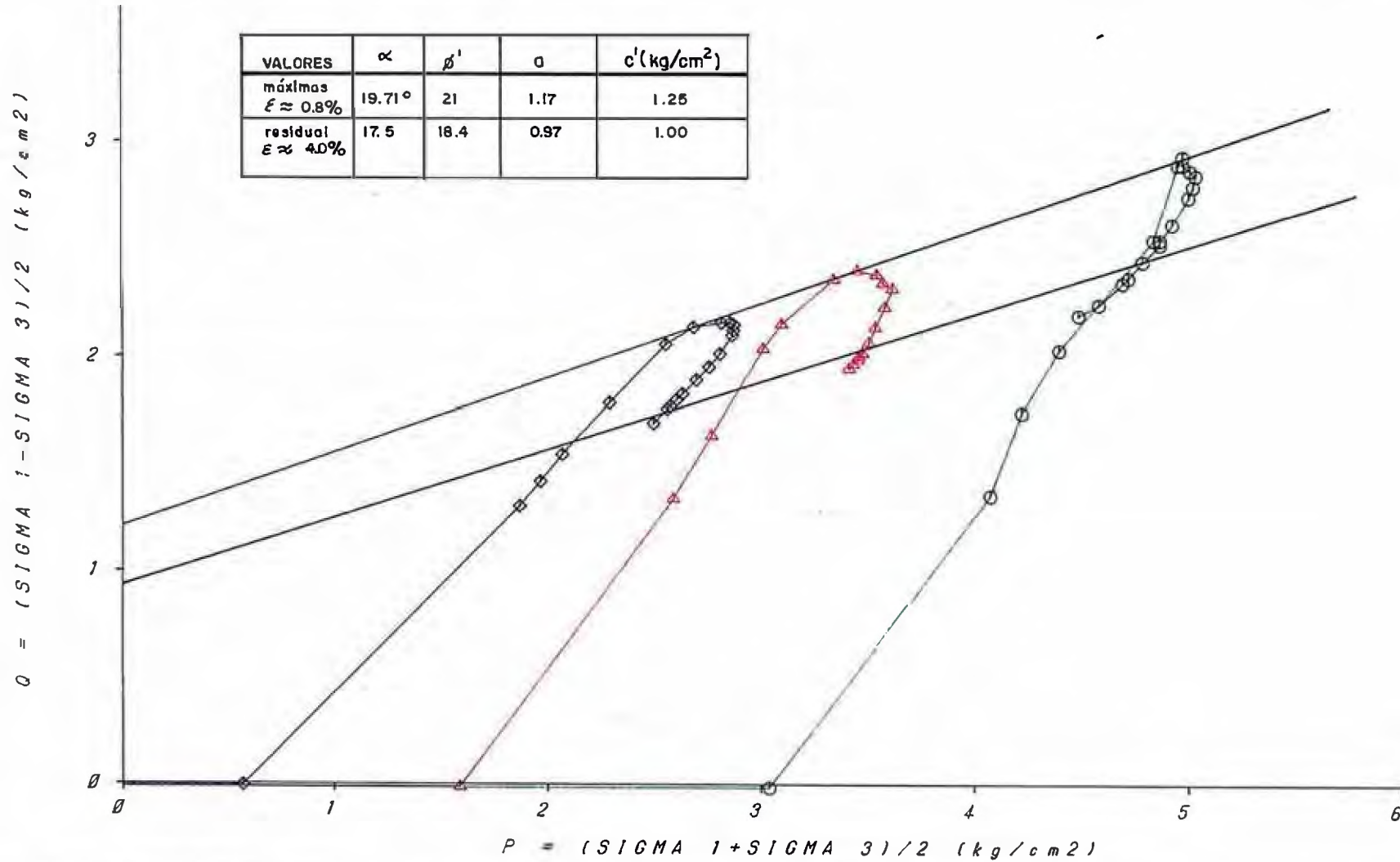


DIAGRAMA P - Q

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-14

CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROF. (m) : 14.23
CLASIF. (SUCS) : CL

VALORES	α	β'	a	c' (kg/cm ²)
máximas $\epsilon \approx 0.8\%$	19.71°	21	1.17	1.25
residual $\epsilon \approx 4.0\%$	17.5	18.4	0.97	1.00

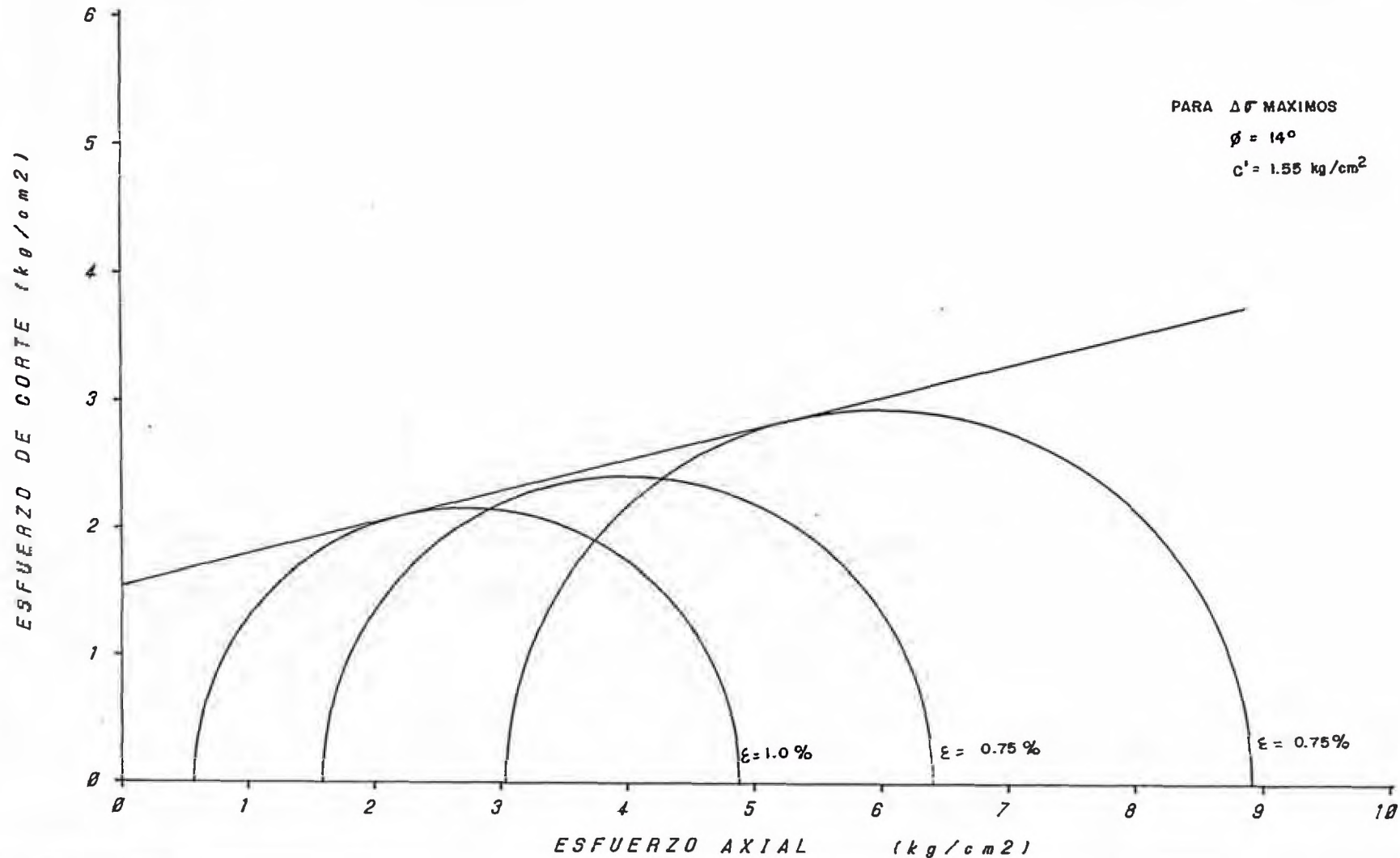


CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-14

CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROF. (m) : 14.23
CLASIF. (SUCS) : CL

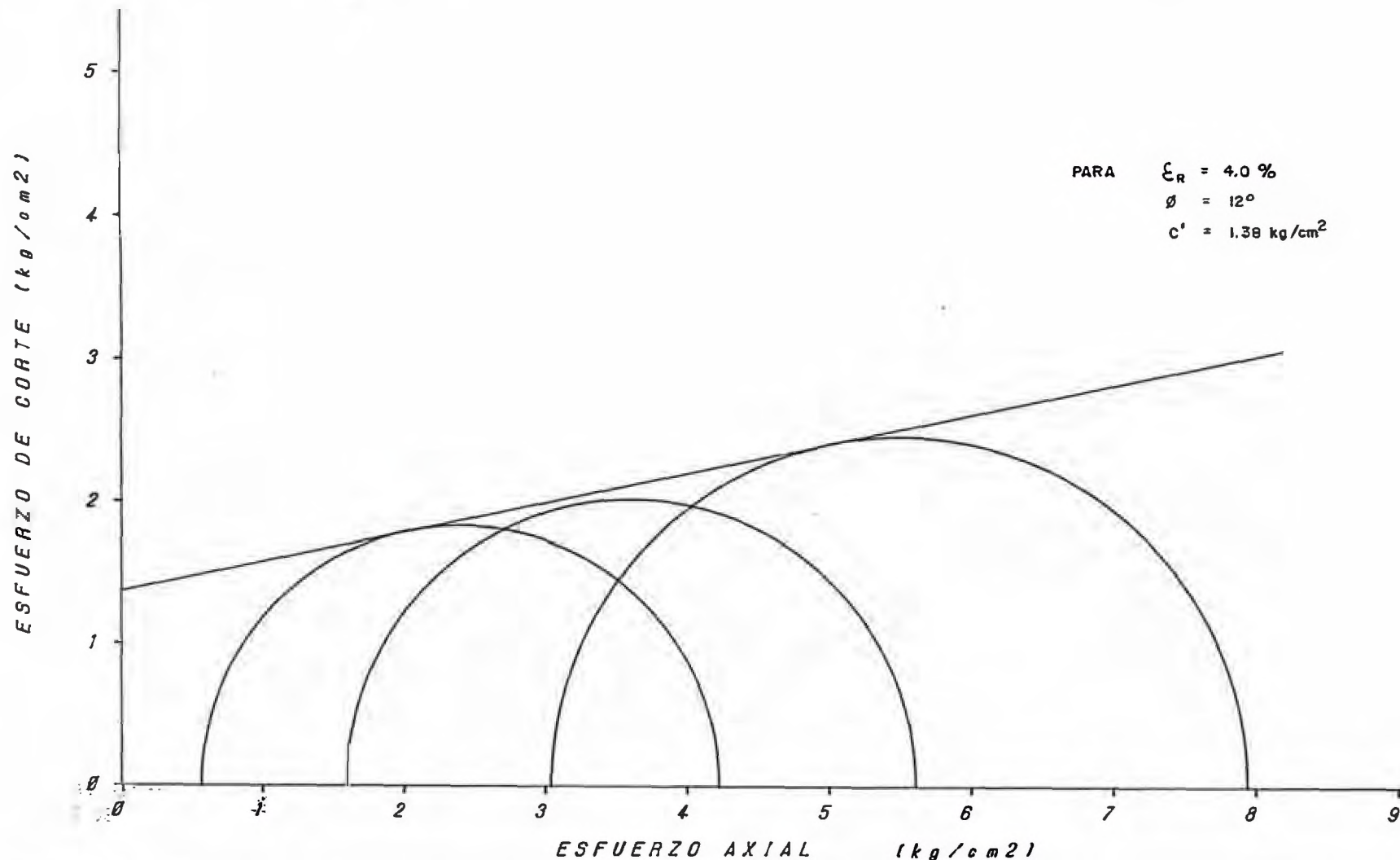
PARA $\Delta\sigma$ MAXIMOS
 $\phi = 14^\circ$
 $C' = 1.55 \text{ kg/cm}^2$



CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-14

CALICATA : T-1
MUESTRA : CD-1
PROF. (m) : 14.23
CLASIF. (SUCS) : CL



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROFUNDIDAD (m) : 7.90
CLASIFICACION (SUCS) : SM
ESTADO : INALTERADO
TIPO DE ENSAYO : CU CONSOLIDADO - NO DRENADO
VELOCIDAD DE CARGA : 0.2 mm/min
FECHA : 88-11-03

=====;

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-4
 PROFUNDIDAD (m) : 7.90
 FECHA : 88-11-03

ESPECIMEN : E1
 DIAMETRO : 4.95 cm
 ALTURA : 10.01 cm
 DENSIDAD SECA : 1.58 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 14.09 %
 HUMEDAD FINAL : 29.01 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 2.50 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.94 Kg/cm²
 ESF. EFACT. SIGMA3 INICIAL : 0.56 Kg/cm²

DEF E%	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	0.56	0.56	0.56	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.41	0.00	0.56	0.97	0.77	0.21	0.41	0.27	1.73
0.10	0.64	0.01	0.55	1.19	0.87	0.32	0.64	0.37	2.16
0.15	1.00	0.02	0.54	1.54	1.04	0.50	1.00	0.48	2.85
0.25	1.50	0.03	0.53	2.03	1.28	0.75	1.50	0.59	3.83
0.50	2.42	0.04	0.52	2.94	1.73	1.21	2.42	0.70	5.65
1.00	2.90	0.09	0.47	3.37	1.92	1.45	2.90	0.76	7.17
1.25	2.75	0.10	0.46	3.21	1.84	1.38	2.75	0.75	6.98
1.50	2.60	0.12	0.44	3.04	1.74	1.30	2.60	0.75	6.91
1.75	2.45	0.13	0.43	2.88	1.66	1.23	2.45	0.74	6.70
2.00	2.35	0.14	0.42	2.77	1.60	1.18	2.35	0.74	6.60
2.50	2.27	0.16	0.40	2.67	1.54	1.14	2.27	0.74	6.68
3.00	2.12	0.17	0.39	2.51	1.45	1.06	2.12	0.73	6.44
4.00	2.00	0.18	0.38	2.38	1.38	1.00	2.00	0.72	6.26

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-4
 PROFUNDIDAD (m) : 7.90
 FECHA : 88-11-03

ESPECIMEN : E2
 DIAMETRO : 4.94 cm
 ALTURA : 10.01 cm
 DENSIDAD SECA : 1.44 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 5.09 %
 HUMEDAD FINAL : 33.75 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 3.50 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.91 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA₃ INICIAL : 1.59 Kg/cm²

DEF E%	ESF.DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	1.59	1.59	1.59	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.60	0.01	1.58	2.18	1.88	0.30	0.60	0.16	1.38
0.10	1.25	0.02	1.57	2.82	2.20	0.63	1.25	0.28	1.80
0.15	1.85	0.03	1.56	3.41	2.49	0.93	1.85	0.37	2.19
0.25	2.50	0.04	1.55	4.05	2.80	1.25	2.50	0.45	2.61
0.50	4.00	0.09	1.50	5.50	3.50	2.00	4.00	0.57	3.67
0.75	5.10	0.13	1.46	6.56	4.01	2.55	5.10	0.64	4.49
1.00	6.20	0.18	1.41	7.61	4.51	3.10	6.20	0.69	5.40
1.25	6.72	0.20	1.39	8.11	4.75	3.36	6.72	0.71	5.83
1.50	6.75	0.23	1.36	8.11	4.74	3.38	6.75	0.71	5.96
1.75	6.70	0.25	1.34	8.04	4.69	3.35	6.70	0.71	6.00
2.00	6.50	0.27	1.32	7.82	4.57	3.25	6.50	0.71	5.92
2.50	6.00	0.32	1.27	7.27	4.27	3.00	6.00	0.70	5.72
3.00	5.86	0.36	1.23	7.09	4.16	2.93	5.86	0.70	5.76
3.50	5.65	0.40	1.19	6.84	4.02	2.83	5.65	0.70	5.75
4.00	5.50	0.44	1.15	6.65	3.90	2.75	5.50	0.71	5.78
4.50	5.37	0.48	1.11	6.48	3.80	2.69	5.37	0.71	5.84
5.00	5.07	0.52	1.07	6.14	3.61	2.54	5.07	0.70	5.74
5.50	4.91	0.55	1.04	5.95	3.50	2.46	4.91	0.70	5.72
6.00	4.72	0.57	1.02	5.74	3.38	2.36	4.72	0.70	5.63
7.00	4.68	0.58	1.01	5.69	3.35	2.34	4.68	0.70	5.63

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-4
 PROFUNDIDAD (m) : 7.90
 FECHA : 88-11-03

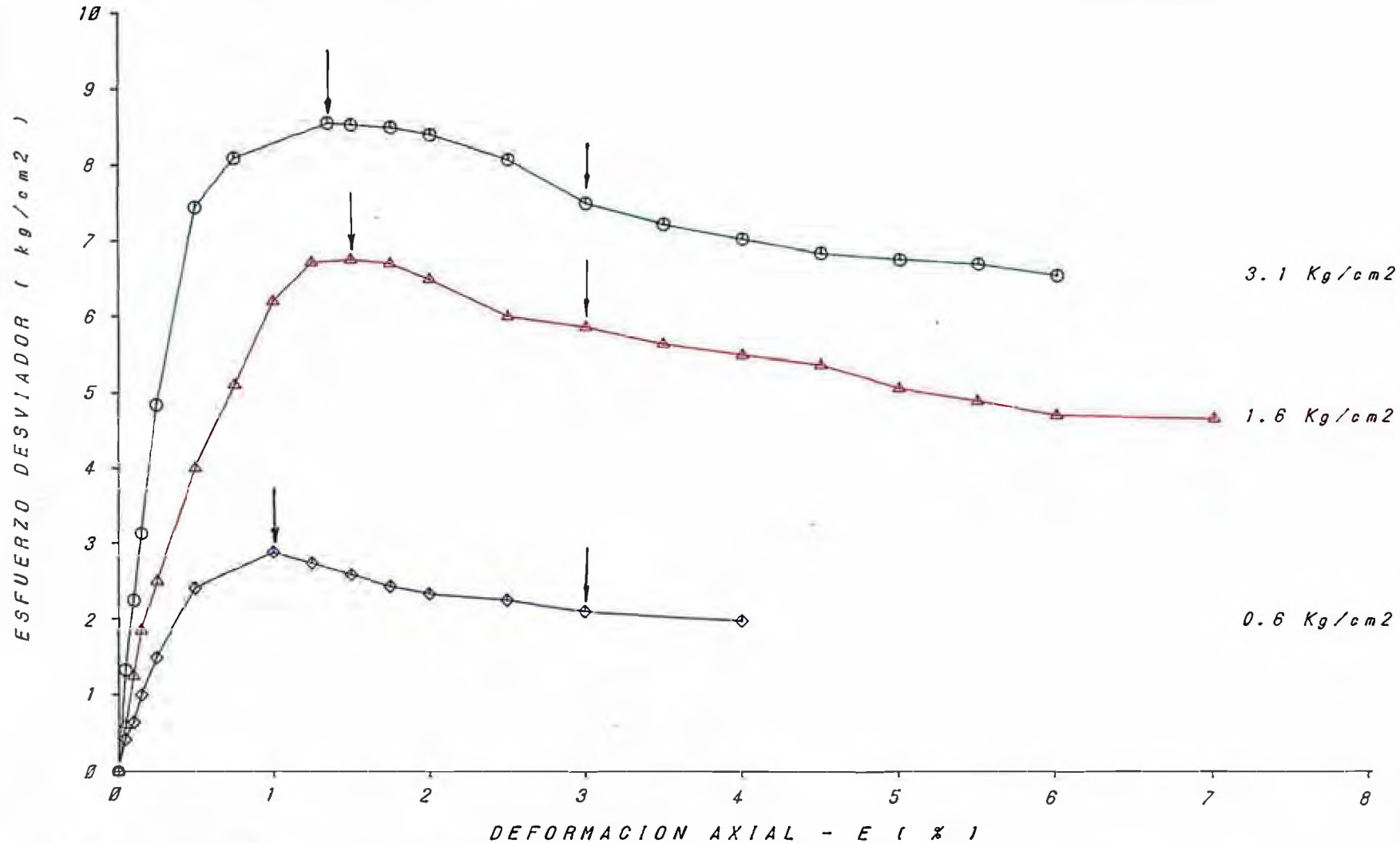
ESPECIMEN : E3
 DIAMETRO : 4.91 cm
 ALTURA : 9.94 cm
 DENSIDAD SECA : 1.37 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 7.88 %
 HUMEDAD FINAL : 34.32 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 5.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.94 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 3.06 Kg/cm²

DEF E%	ESF.DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	3.06	3.06	3.06	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	1.34	0.02	3.04	4.38	3.71	0.67	1.34	0.18	1.44
0.10	2.26	0.04	3.02	5.28	4.15	1.13	2.26	0.27	1.75
0.15	3.14	0.06	3.00	6.14	4.57	1.57	3.14	0.34	2.05
0.25	4.85	0.10	2.96	7.81	5.39	2.43	4.85	0.45	2.64
0.50	7.45	0.16	2.90	10.35	6.63	3.73	7.45	0.56	3.57
0.75	8.10	0.24	2.82	10.92	6.87	4.05	8.10	0.59	3.87
1.35	8.56	0.37	2.69	11.25	6.97	4.28	8.56	0.61	4.18
1.50	8.53	0.39	2.67	11.20	6.94	4.27	8.53	0.61	4.19
1.75	8.50	0.44	2.62	11.12	6.87	4.25	8.50	0.62	4.24
2.00	8.40	0.48	2.58	10.98	6.78	4.20	8.40	0.62	4.26
2.50	8.08	0.54	2.52	10.60	6.56	4.04	8.08	0.62	4.21
3.00	7.50	0.61	2.45	9.95	6.20	3.75	7.50	0.60	4.06
3.50	7.22	0.65	2.41	9.63	6.02	3.61	7.22	0.60	4.00
4.00	7.03	0.68	2.38	9.41	5.90	3.52	7.03	0.60	3.95
4.50	6.84	0.71	2.35	9.19	5.77	3.42	6.84	0.59	3.91
5.00	6.76	0.74	2.32	9.08	5.70	3.38	6.76	0.59	3.91
5.50	6.70	0.75	2.31	9.01	5.66	3.35	6.70	0.59	3.90
6.00	6.55	0.76	2.30	8.85	5.58	3.28	6.55	0.59	3.85

ESFUERZO DESVIADOR vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-11-03

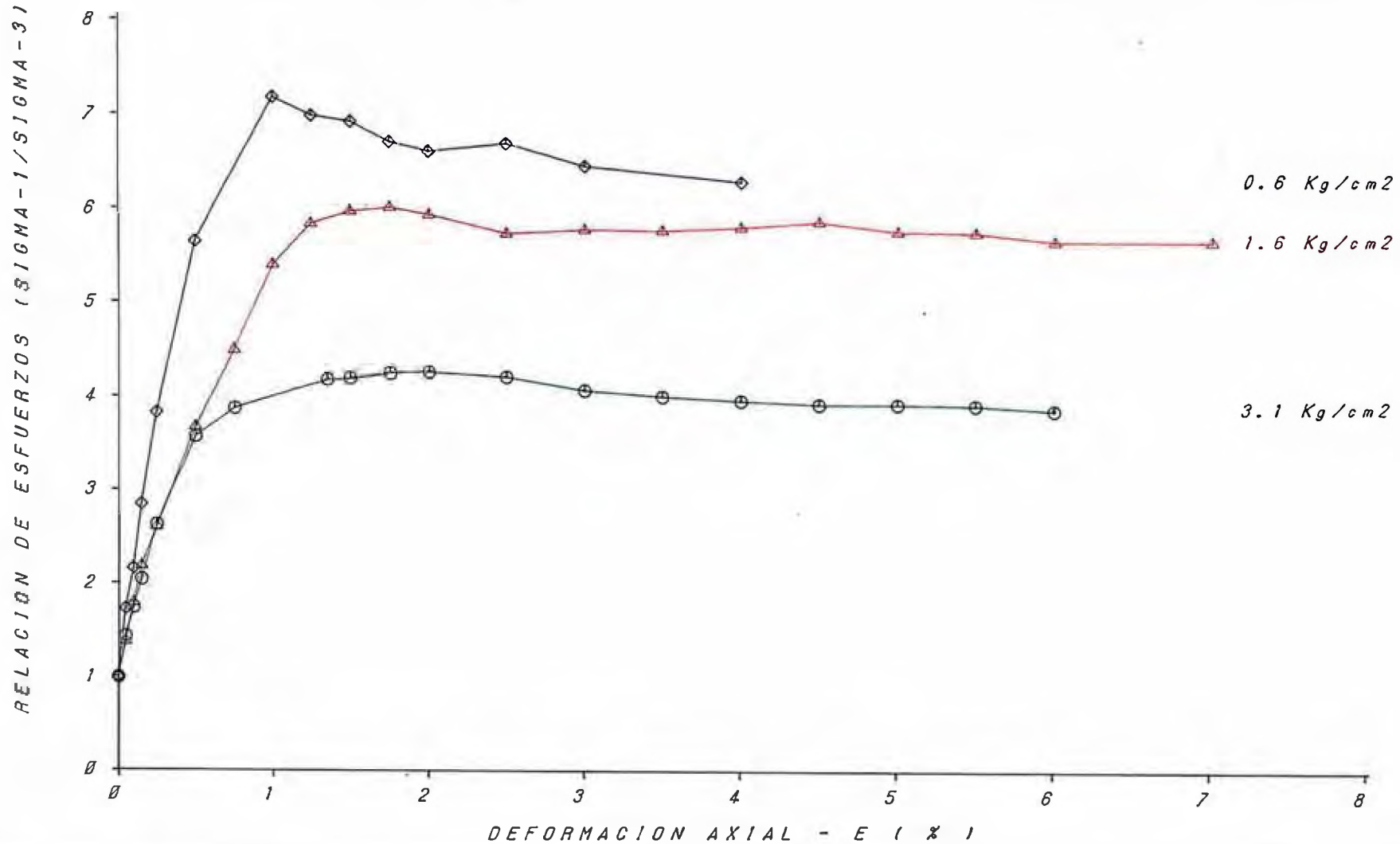
CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROF. (m) : 7.90
CLASIF. (SUCS) : ML



SIGMA-1/SIGMA-3 vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-11-03

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROF. (m) : 7.90
CLASIF. (SUCS) : ML



PRESION DE POROS vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-11-03

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROF. (m) : 7.90
CLASIF. (SUCS) : ML

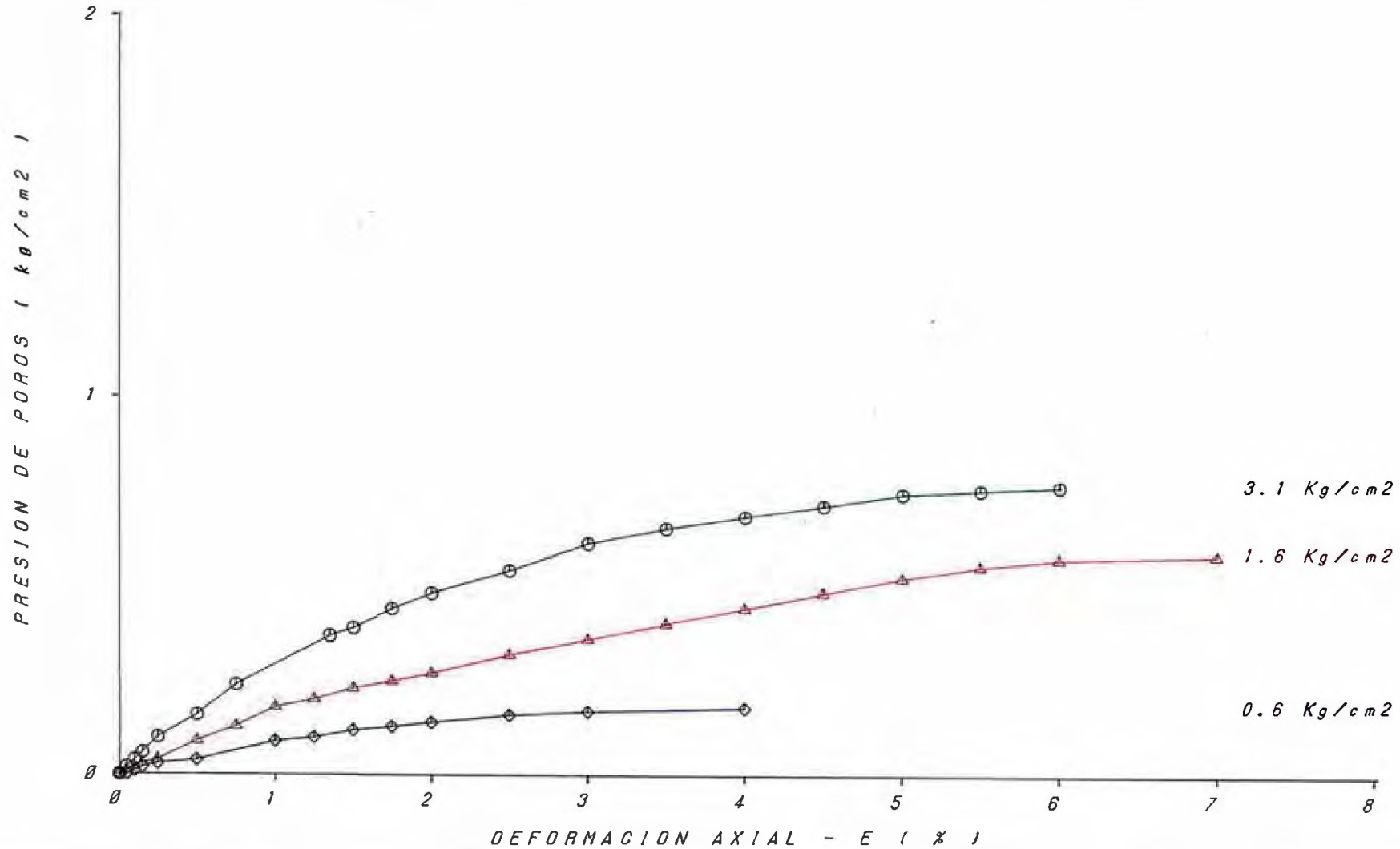
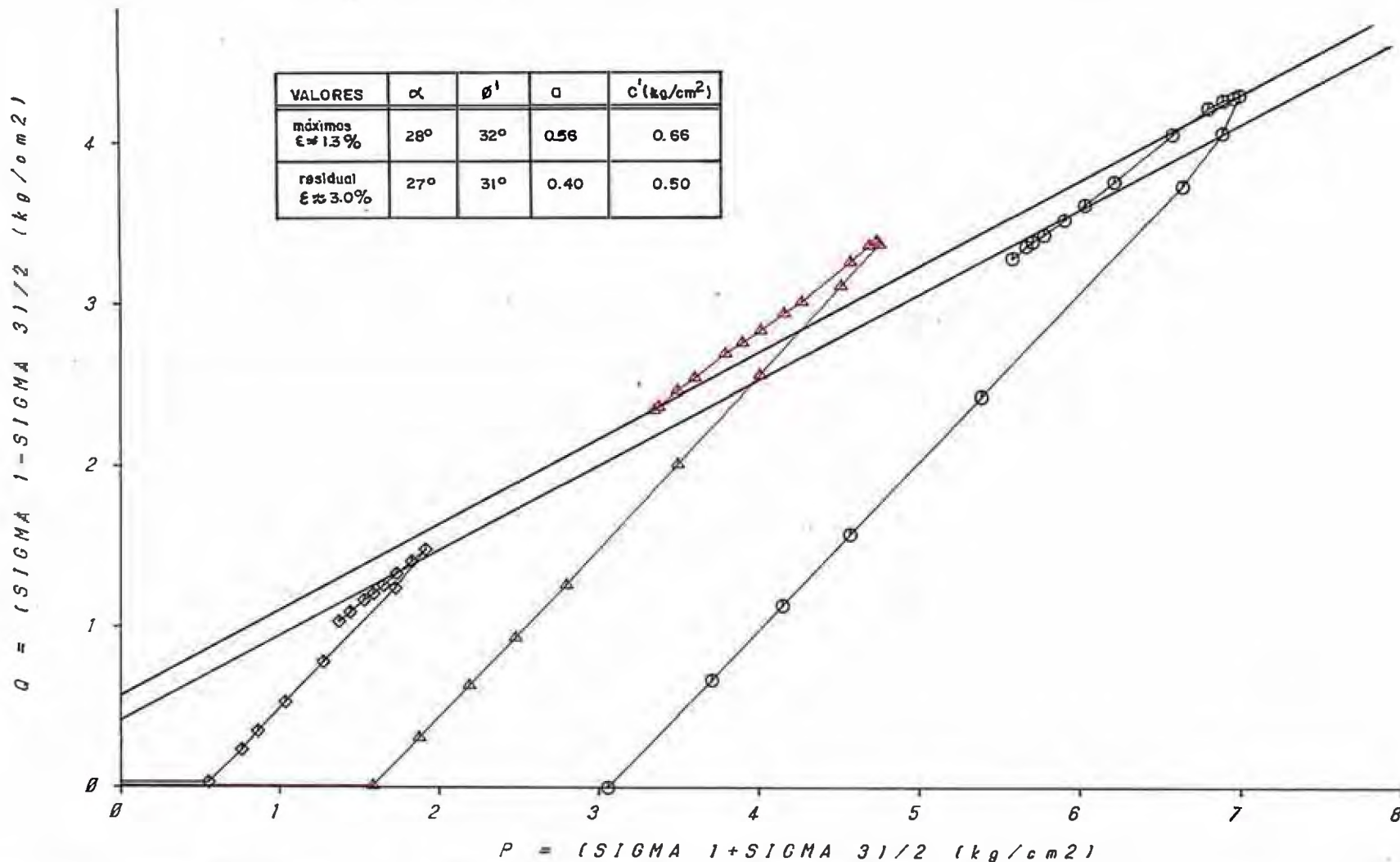


DIAGRAMA P - Q

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-11-03

GALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROF. (m) : 7.90
CLASIF. (SUCS) : ML

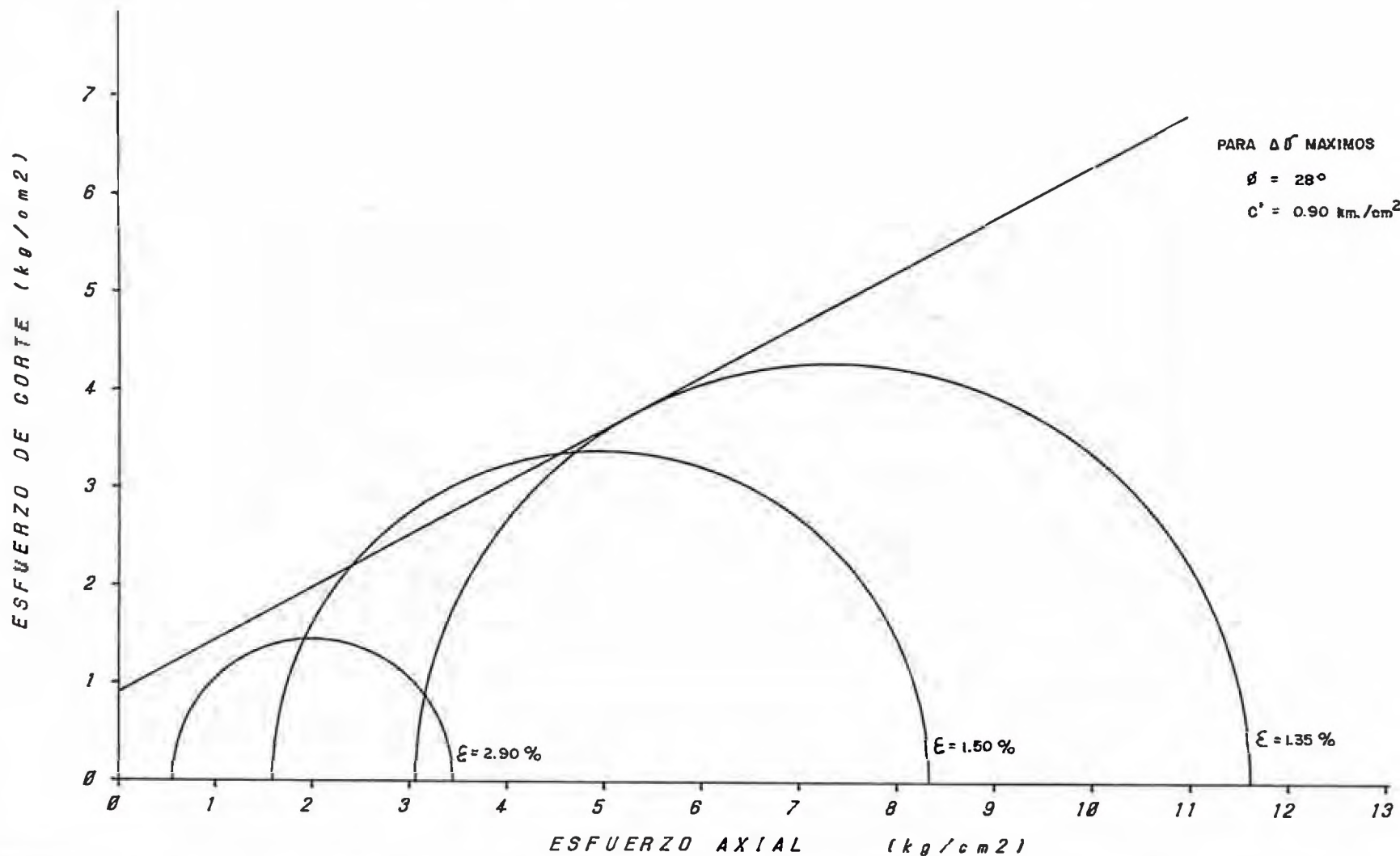
VALORES	α	ϕ'	c	$c'(\text{kg/cm}^2)$
máximos $\epsilon \approx 13\%$	28°	32°	0.56	0.66
residual $\epsilon \approx 3.0\%$	27°	31°	0.40	0.50



CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-11-03

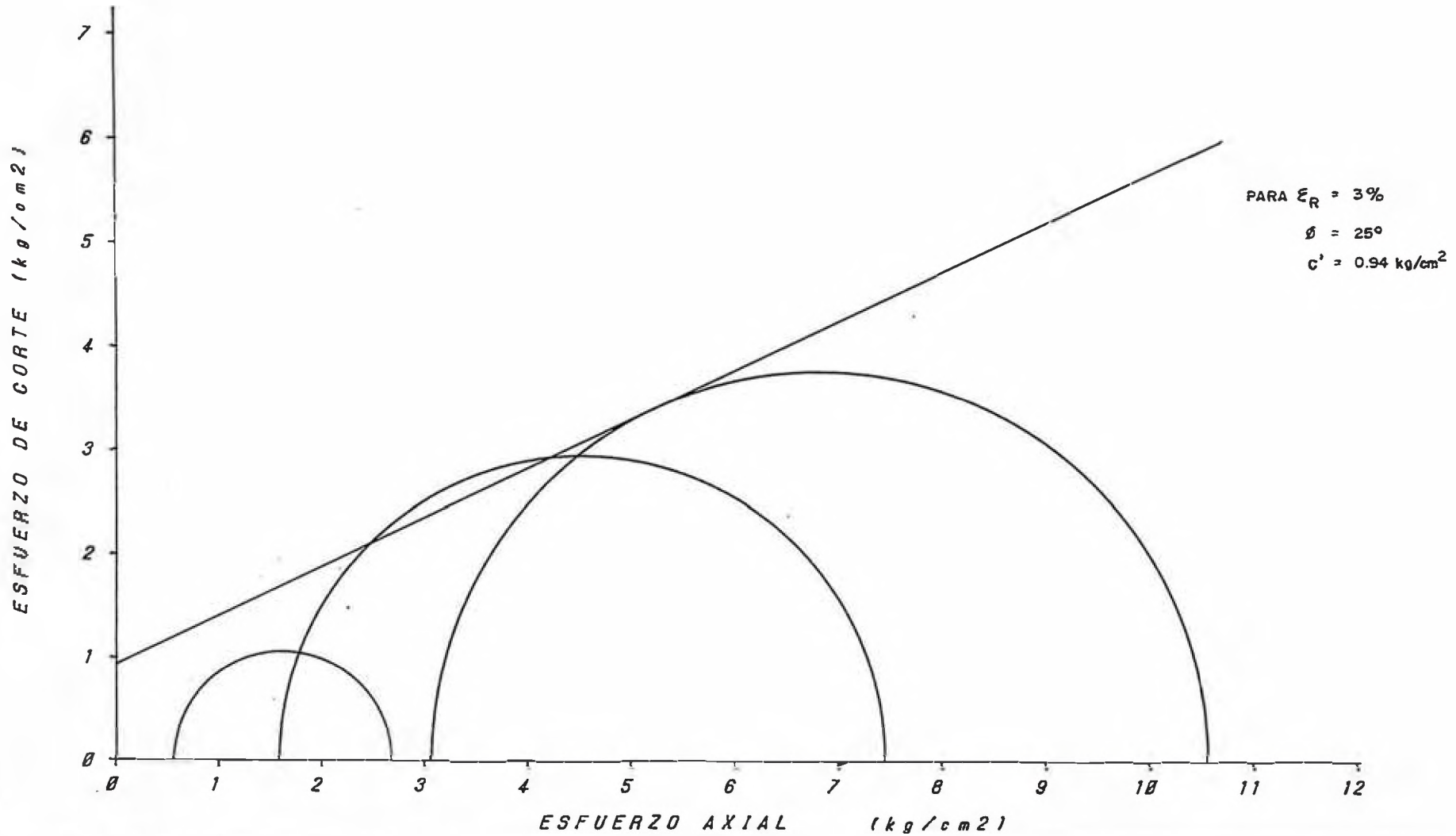
CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROF. (m) : 7.90
CLASIF. (SUCS) : ML



CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-11-09

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-4
PROF. (m) : 7.90
CLASIF. (SUCS) : ML



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-5
PROFUNDIDAD (m) : 20.23
CLASIFICACION (SUCS) : CL
ESTADO : INALTERADO
TIPO DE ENSAYO : CU CONSOLIDADO - NO DRENADO
VELOCIDAD DE CARGA : 0.2 mm/min
FECHA : 88-10-05

=====

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-5
 PROFUNDIDAD (m) : 20.23
 FECHA : 88-10-05

ESPECIMEN : E1
 DIAMETRO : 4.98 cm
 ALTURA : 9.94 cm
 DENSIDAD SECA : 1.33 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 26.40 %
 HUMEDAD FINAL : 39.40 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 3.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.98 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 1.02 Kg/cm²

DEF E%	ESF.DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	1.02	1.02	1.02	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.46	0.01	1.01	1.47	1.24	0.23	0.46	0.19	1.46
0.10	0.68	0.02	1.00	1.68	1.34	0.34	0.68	0.25	1.68
0.15	0.90	0.03	0.99	1.89	1.44	0.45	0.90	0.31	1.91
0.25	1.28	0.04	0.98	2.26	1.62	0.64	1.28	0.40	2.31
0.50	2.20	0.05	0.97	3.17	2.07	1.10	2.20	0.53	3.27
0.75	3.22	0.06	0.96	4.18	2.57	1.61	3.22	0.63	4.35
1.00	3.92	0.07	0.95	4.87	2.91	1.96	3.92	0.67	5.13
1.35	4.14	0.08	0.94	5.08	3.01	2.07	4.14	0.69	5.40
1.50	4.18	0.08	0.94	5.12	3.03	2.09	4.18	0.69	5.45
1.75	4.19	0.09	0.93	5.12	3.03	2.10	4.19	0.69	5.51
2.00	4.21	0.09	0.93	5.14	3.04	2.11	4.21	0.69	5.53
2.50	4.23	0.10	0.92	5.15	3.04	2.12	4.23	0.70	5.60
3.00	4.07	0.11	0.91	4.98	2.95	2.04	4.07	0.69	5.47
3.50	3.92	0.10	0.92	4.84	2.88	1.96	3.92	0.68	5.26
4.00	3.77	0.10	0.92	4.69	2.81	1.89	3.77	0.67	5.10
4.50	3.62	0.10	0.92	4.54	2.73	1.81	3.62	0.66	4.93
5.00	3.48	0.09	0.93	4.41	2.67	1.74	3.48	0.65	4.74
5.50	3.32	0.09	0.93	4.25	2.59	1.66	3.32	0.64	4.57
6.00	3.16	0.09	0.93	4.09	2.51	1.58	3.16	0.63	4.40
7.00	3.00	0.09	0.93	3.93	2.43	1.50	3.00	0.62	4.23

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-5
 PROFUNDIDAD (m) : 20.23
 FECHA : 88-10-05

ESPECIMEN : E2
 DIAMETRO : 4.98 cm
 ALTURA : 9.98 cm
 DENSIDAD SECA : 1.47 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 24.60 %
 HUMEDAD FINAL : 30.18 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 4.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.95 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 2.05 Kg/cm²

DEF EX	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	2.05	2.05	2.05	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.05	0.01	2.04	2.09	2.07	0.03	0.05	0.01	1.02
0.10	0.53	0.04	2.01	2.54	2.28	0.27	0.53	0.12	1.26
0.15	1.04	0.09	1.96	3.00	2.48	0.52	1.04	0.21	1.53
0.25	1.39	0.14	1.91	3.30	2.61	0.70	1.39	0.27	1.73
0.50	4.29	0.27	1.78	6.07	3.93	2.15	4.29	0.55	3.41
0.80	6.37	0.34	1.71	8.08	4.90	3.19	6.37	0.65	4.73
1.00	6.66	0.37	1.68	8.34	5.01	3.33	6.66	0.66	4.96
1.25	6.60	0.39	1.66	8.26	4.96	3.30	6.60	0.67	4.98
1.50	6.55	0.40	1.65	8.20	4.93	3.28	6.55	0.66	4.97
1.75	6.50	0.42	1.63	8.13	4.88	3.25	6.50	0.67	4.99
2.00	6.30	0.43	1.62	7.92	4.77	3.15	6.30	0.66	4.89
2.50	6.00	0.44	1.61	7.61	4.61	3.00	6.00	0.65	4.73
3.00	5.85	0.45	1.60	7.45	4.53	2.93	5.85	0.65	4.66
3.50	5.73	0.43	1.62	7.35	4.49	2.87	5.73	0.64	4.54
4.00	5.58	0.45	1.60	7.18	4.39	2.79	5.58	0.64	4.49
4.50	5.33	0.45	1.60	6.93	4.27	2.67	5.33	0.62	4.33
5.00	5.14	0.45	1.60	6.74	4.17	2.57	5.14	0.62	4.21
5.50	4.95	0.44	1.61	6.56	4.09	2.48	4.95	0.61	4.07
6.00	4.79	0.43	1.62	6.41	4.02	2.40	4.79	0.60	3.96
7.00	4.57	0.40	1.65	6.22	3.94	2.29	4.57	0.58	3.77
8.00	4.38	0.39	1.66	6.04	3.85	2.19	4.38	0.57	3.64
9.00	4.19	0.38	1.67	5.86	3.77	2.10	4.19	0.56	3.51
10.00	4.00	0.38	1.67	5.67	3.67	2.00	4.00	0.54	3.40

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-5
 PROFUNDIDAD (m) : 20.23
 FECHA : 88-10-05

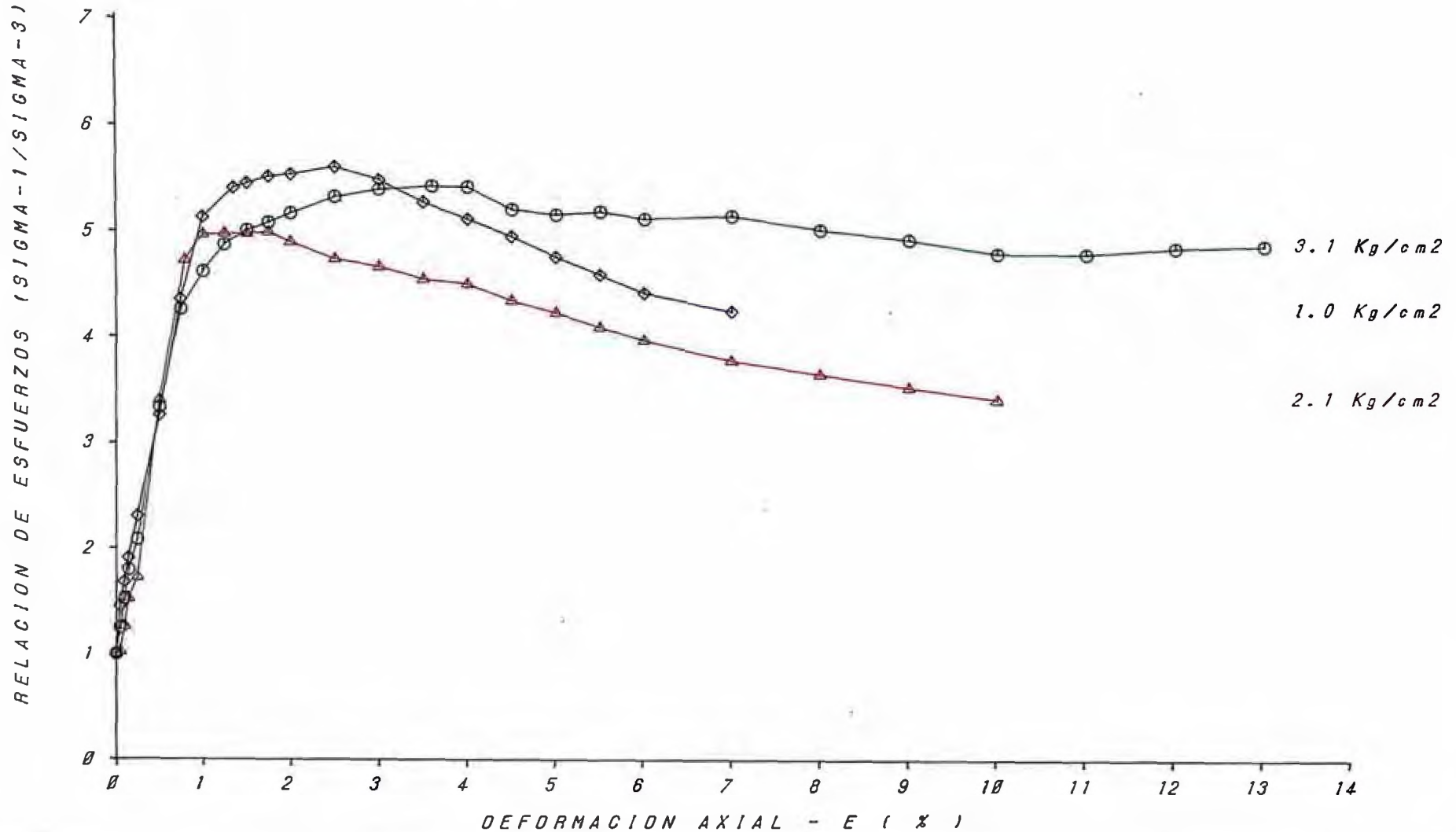
ESPECIMEN : E3
 DIAMETRO : 4.99 cm
 ALTURA : 9.96 cm
 DENSIDAD SECA : 1.29 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 25.20 %
 HUMEDAD FINAL : 36.40 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 5.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.94 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 3.06 Kg/cm²

DEF EX	ESF.DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	q kg/cm ²	2q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	3.06	3.06	3.06	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.75	0.11	2.95	3.70	3.33	0.38	0.75	0.11	1.25
0.10	1.50	0.21	2.85	4.35	3.60	0.75	1.50	0.21	1.53
0.15	2.26	0.25	2.81	5.07	3.94	1.13	2.26	0.29	1.80
0.25	3.01	0.30	2.76	5.77	4.27	1.51	3.01	0.35	2.09
0.50	6.02	0.49	2.57	8.59	5.58	3.01	6.02	0.54	3.34
0.75	7.95	0.62	2.44	10.39	6.42	3.98	7.95	0.62	4.26
1.00	8.50	0.71	2.35	10.85	6.60	4.25	8.50	0.64	4.62
1.25	8.75	0.80	2.26	11.01	6.64	4.38	8.75	0.66	4.87
1.50	8.77	0.87	2.19	10.96	6.58	4.39	8.77	0.67	5.00
1.75	8.72	0.92	2.14	10.86	6.50	4.36	8.72	0.67	5.07
2.00	8.70	0.97	2.09	10.79	6.44	4.35	8.70	0.68	5.16
2.50	8.50	1.09	1.97	10.47	6.22	4.25	8.50	0.68	5.31
3.00	8.25	1.18	1.88	10.13	6.01	4.13	8.25	0.69	5.39
3.60	7.90	1.27	1.79	9.69	5.74	3.95	7.90	0.69	5.41
4.00	7.70	1.31	1.75	9.45	5.60	3.85	7.70	0.69	5.40
4.50	7.29	1.32	1.74	9.03	5.39	3.65	7.29	0.68	5.19
5.00	7.12	1.34	1.72	8.84	5.28	3.56	7.12	0.67	5.14
5.50	6.96	1.39	1.67	8.63	5.15	3.48	6.96	0.68	5.17
6.00	6.72	1.42	1.64	8.36	5.00	3.36	6.72	0.67	5.10
7.00	6.64	1.45	1.61	8.25	4.93	3.32	6.64	0.67	5.12
8.00	6.43	1.45	1.61	8.04	4.83	3.22	6.43	0.67	4.99
9.00	6.27	1.45	1.61	7.88	4.75	3.14	6.27	0.66	4.89
10.00	5.98	1.47	1.59	7.57	4.58	2.99	5.98	0.65	4.76
11.00	5.90	1.49	1.57	7.47	4.52	2.95	5.90	0.65	4.76
12.00	5.87	1.52	1.54	7.41	4.48	2.94	5.87	0.66	4.81
13.00	5.83	1.54	1.52	7.35	4.44	2.92	5.83	0.66	4.84

SIGMA-1/SIGMA-3 vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-05

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-5
PROF. (m) : 20.23
CLASIF. (SUCS) : CL



PRESION DE POROS vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-05

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-5
PROF. (m) : 20.23
CLASIF. (SUCS) : CL

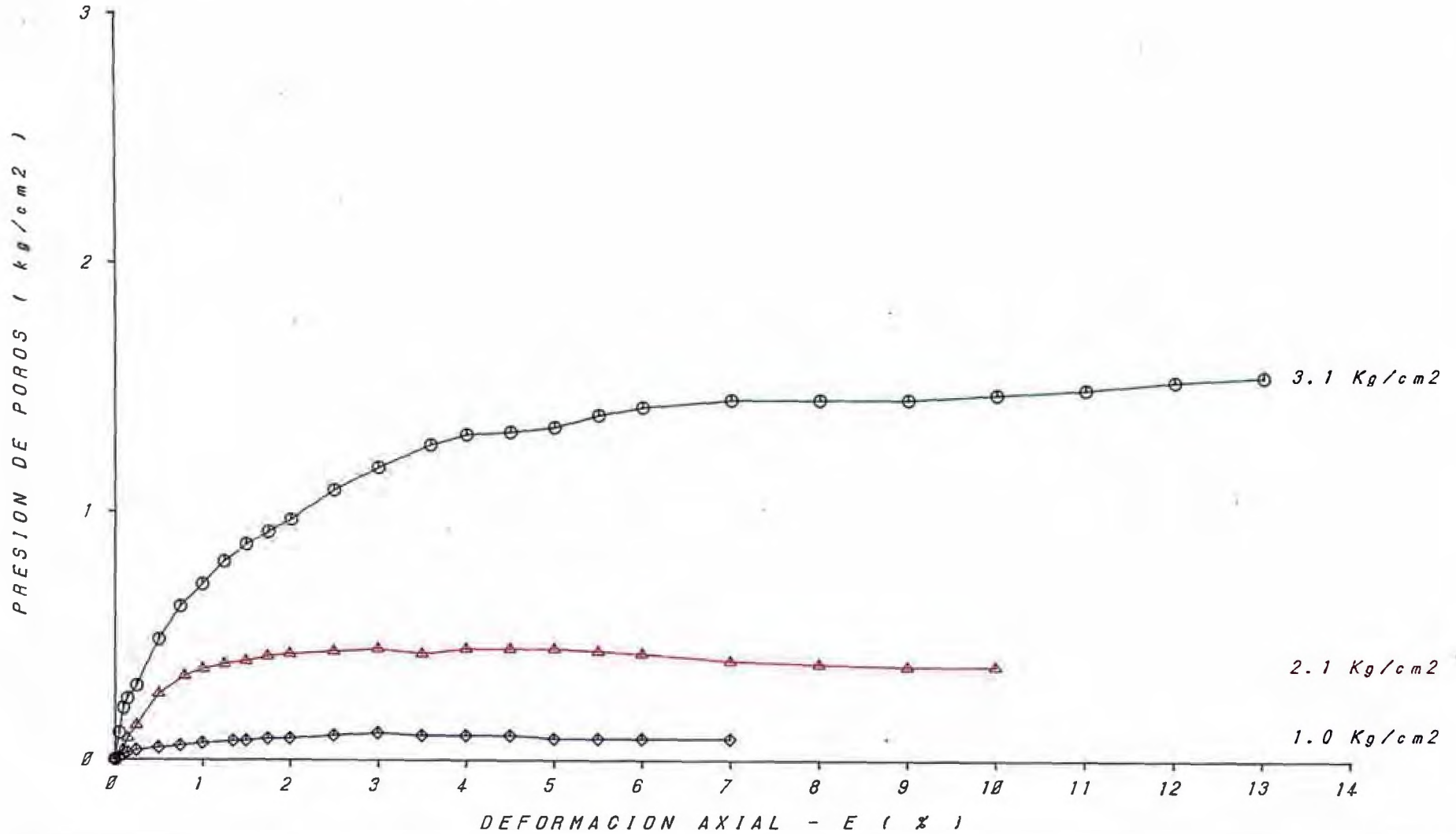
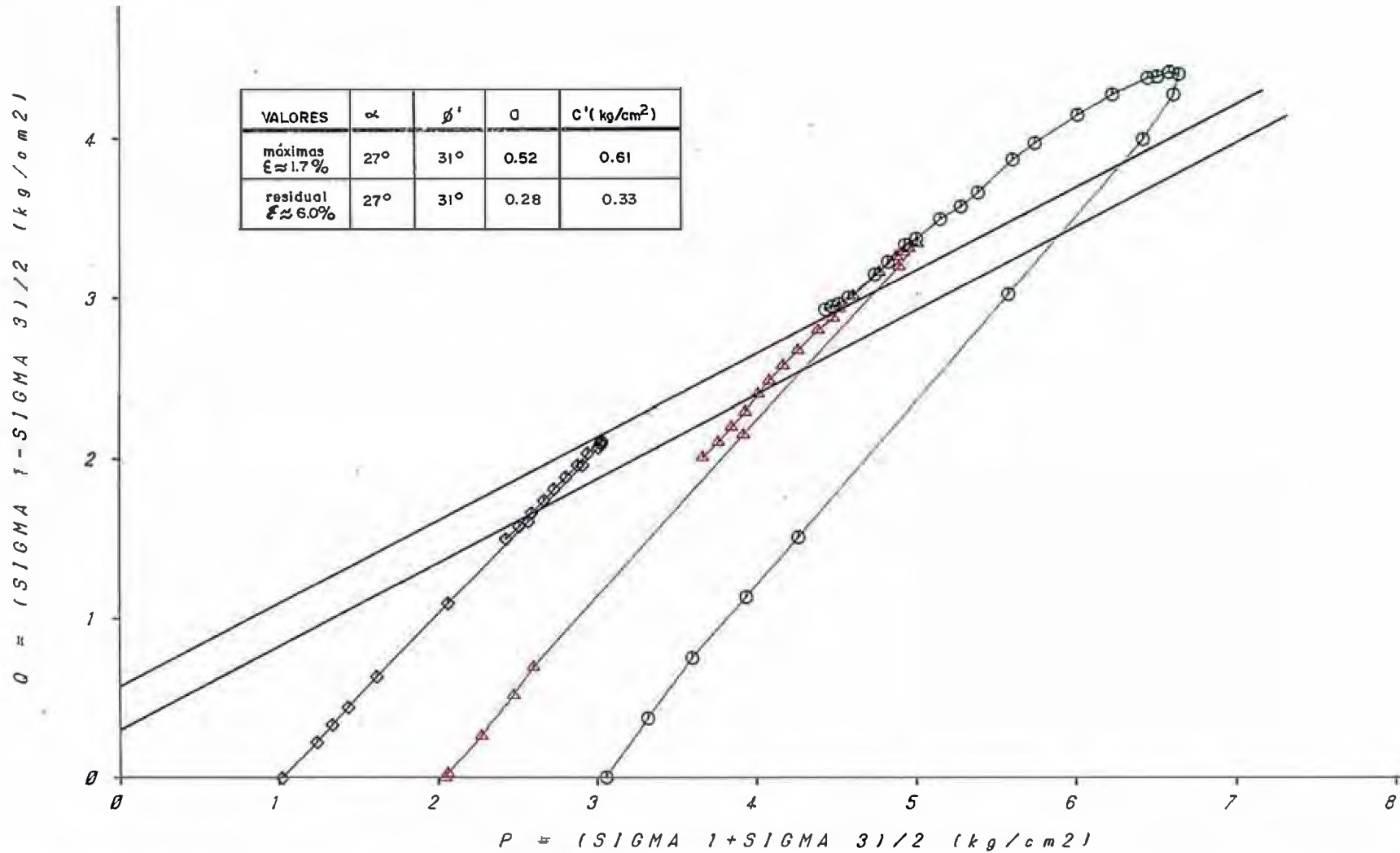


DIAGRAMA P - Q

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 TIPO DE ENSAYO : CU
 FECHA : 88-10-05

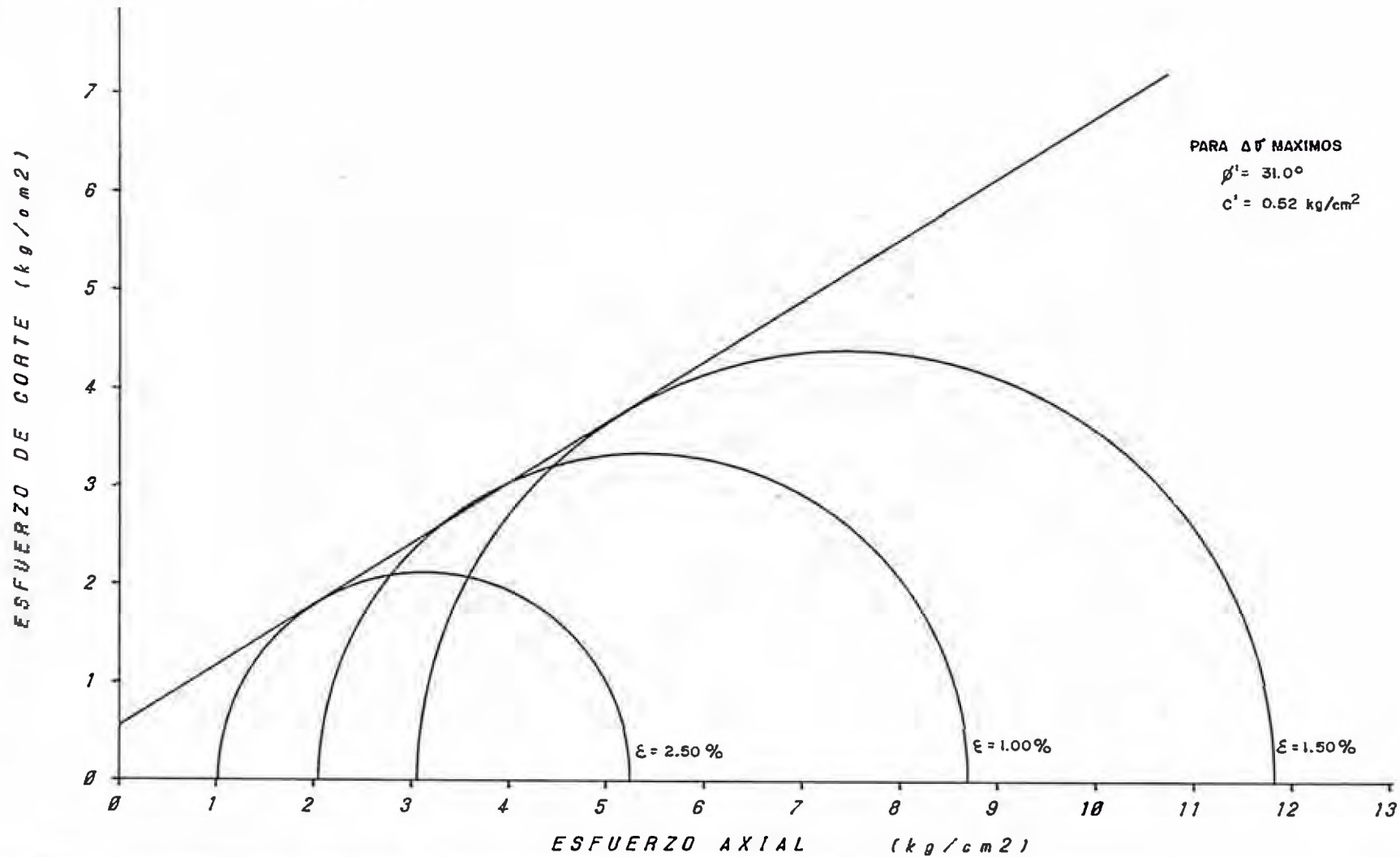
CALICATA : T-2
 MUESTRA : CD-5
 PROF. (m) : 20.23
 CLASIF. (SUCS) : CL



CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-05

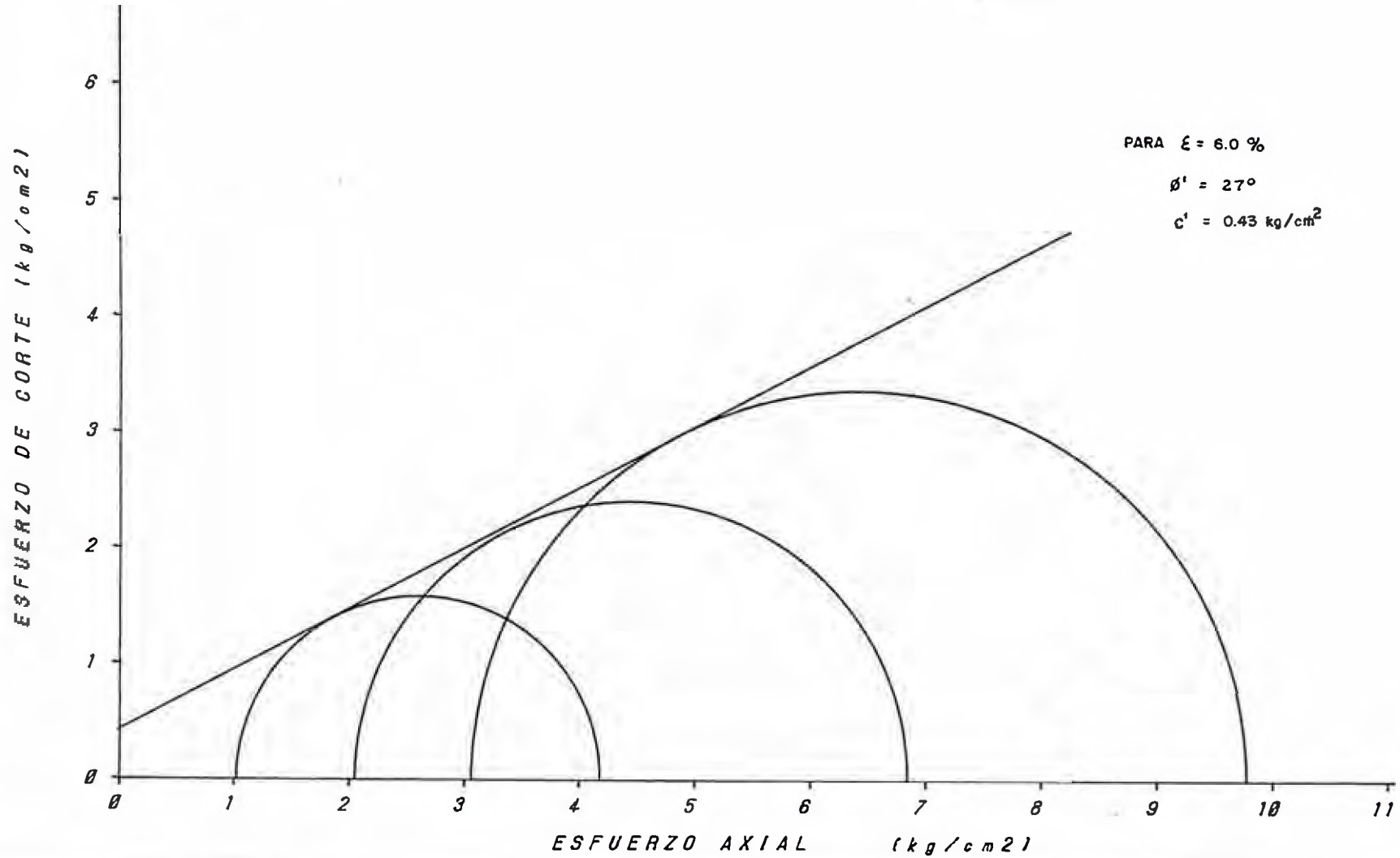
CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-5
PROF. (m) : 20.23
CLASIF. (SUCS) : CL



CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-10-05

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-5
PROF. (m) : 20.23
CLASIF. (SUCS) : CL



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-2
PROFUNDIDAD (m) : 35.80
CLASIFICACION (SUCS) : ML
ESTADO : INALTERADO
TIPO DE ENSAYO : CU CONSOLIDADO - NO DRENADO
VELOCIDAD DE CARGA : 0.2 mm/min
FECHA : 88-08-16

=====

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-2
 PROFUNDIDAD (m) : 35.80
 FECHA : 88-08-16

ESPECIMEN : E1
 DIAMETRO : 5.00 cm
 ALTURA : 10.00 cm
 DENSIDAD SECA : 1.10 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 34.90 %
 HUMEDAD FINAL : 51.20 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 3.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.96 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 1.04 Kg/cm²

DEF %	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	1.04	1.04	1.04	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	1.10	0.01	1.03	2.13	1.58	0.55	1.10	0.35	2.07
0.10	1.66	0.03	1.01	2.67	1.84	0.83	1.66	0.45	2.64
0.15	2.17	0.08	0.96	3.13	2.05	1.09	2.17	0.53	3.26
0.25	3.33	0.10	0.94	4.27	2.61	1.67	3.33	0.64	4.54
0.50	4.47	0.18	0.86	5.33	3.10	2.24	4.47	0.72	6.20
0.75	4.45	0.24	0.80	5.25	3.03	2.23	4.45	0.74	6.56
1.00	4.25	0.31	0.73	4.98	2.86	2.13	4.25	0.74	6.82
1.25	4.10	0.37	0.67	4.77	2.72	2.05	4.10	0.75	7.12
1.60	4.00	0.42	0.62	4.62	2.62	2.00	4.00	0.76	7.45
1.75	3.95	0.44	0.60	4.55	2.58	1.98	3.95	0.77	7.58
2.00	3.80	0.47	0.57	4.37	2.47	1.90	3.80	0.77	7.67
2.50	3.75	0.51	0.53	4.28	2.41	1.88	3.75	0.78	8.08
3.00	3.55	0.51	0.53	4.08	2.31	1.78	3.55	0.77	7.70
3.50	3.50	0.49	0.55	4.05	2.30	1.75	3.50	0.76	7.36
4.00	3.45	0.48	0.56	4.01	2.29	1.73	3.45	0.75	7.16
4.50	3.40	0.47	0.57	3.97	2.27	1.70	3.40	0.75	6.96
5.00	3.40	0.47	0.57	3.97	2.27	1.70	3.40	0.75	6.96

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-2
 PROFUNDIDAD (m) : 35.80
 FECHA : 88-08-16

ESPECIMEN : E2
 DIAMETRO : 4.97 cm
 ALTURA : 9.99 cm
 DENSIDAD SECA : 1.12 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 28.51 %
 HUMEDAD FINAL : 47.98 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 4.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.97 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 2.03 Kg/cm²

DEF EX	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	2.03	2.03	2.03	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	1.38	0.05	1.98	3.36	2.67	0.69	1.38	0.26	1.70
0.10	2.49	0.08	1.95	4.44	3.20	1.25	2.49	0.39	2.28
0.15	3.30	0.12	1.91	5.21	3.56	1.65	3.30	0.46	2.73
0.25	5.30	0.18	1.85	7.15	4.50	2.65	5.30	0.59	3.86
0.80	6.25	0.45	1.58	7.83	4.71	3.13	6.25	0.66	4.96
0.90	6.20	0.50	1.53	7.73	4.63	3.10	6.20	0.67	5.05
1.00	6.15	0.52	1.51	7.66	4.59	3.08	6.15	0.67	5.07
1.35	5.85	0.59	1.44	7.29	4.37	2.93	5.85	0.67	5.06
1.50	5.60	0.62	1.41	7.01	4.21	2.80	5.60	0.67	4.97
1.85	5.45	0.65	1.38	6.83	4.11	2.73	5.45	0.66	4.95
2.00	5.25	0.67	1.36	6.61	3.99	2.63	5.25	0.66	4.86
2.50	5.00	0.69	1.34	6.34	3.84	2.50	5.00	0.65	4.73
3.00	4.80	0.72	1.31	6.11	3.71	2.40	4.80	0.65	4.66

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-2
 PROFUNDIDAD (m) : 35.80
 FECHA : 88-08-16

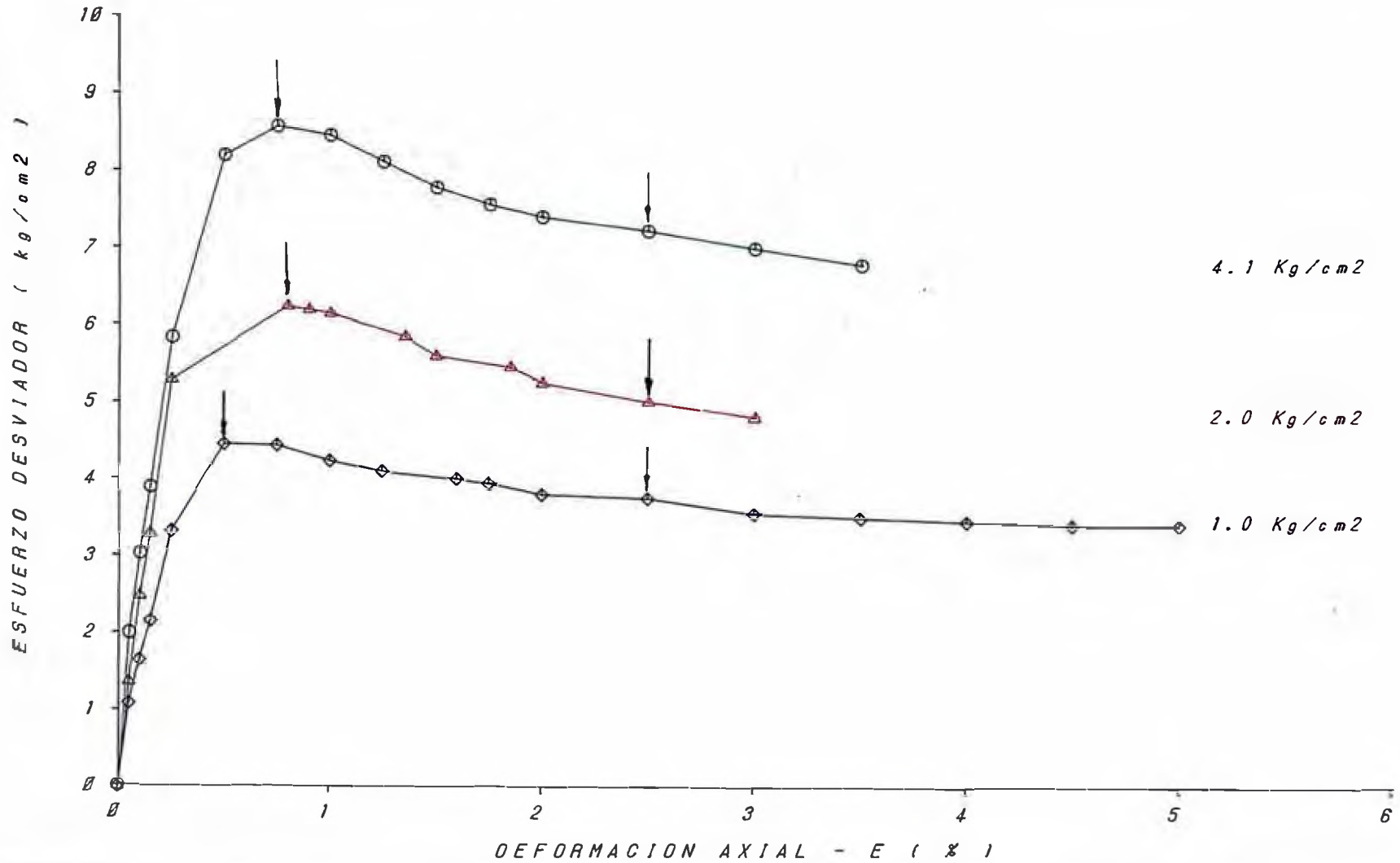
ESPECIMEN : E3
 DIAMETRO : 5.00 cm
 ALTURA : 9.97 cm
 DENSIDAD SECA : 1.09 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 24.30 %
 HUMEDAD FINAL : 48.72 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 6.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.93 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 4.07 Kg/cm²

DEF EX	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	q kg/cm ²	2q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	4.07	4.07	4.07	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	2.00	0.10	3.97	5.97	4.97	1.00	2.00	0.20	1.50
0.10	3.04	0.15	3.92	6.96	5.44	1.52	3.04	0.28	1.78
0.15	3.90	0.20	3.87	7.77	5.82	1.95	3.90	0.34	2.01
0.25	5.84	0.30	3.77	9.61	6.69	2.92	5.84	0.44	2.55
0.50	8.20	0.42	3.65	11.85	7.75	4.10	8.20	0.53	3.25
0.75	8.57	0.56	3.51	12.08	7.80	4.29	8.57	0.55	3.44
1.00	8.45	0.75	3.32	11.77	7.55	4.23	8.45	0.56	3.55
1.25	8.10	0.78	3.29	11.39	7.34	4.05	8.10	0.55	3.46
1.50	7.77	0.90	3.17	10.94	7.06	3.89	7.77	0.55	3.45
1.75	7.55	1.01	3.06	10.61	6.84	3.78	7.55	0.55	3.47
2.00	7.39	1.09	2.98	10.37	6.68	3.70	7.39	0.55	3.48
2.50	7.20	1.22	2.85	10.05	6.45	3.60	7.20	0.56	3.53
3.00	6.97	1.30	2.77	9.74	6.26	3.49	6.97	0.56	3.52
3.50	6.76	1.34	2.73	9.49	6.11	3.38	6.76	0.55	3.48

ESFUERZO DESVIADOR vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-08-16

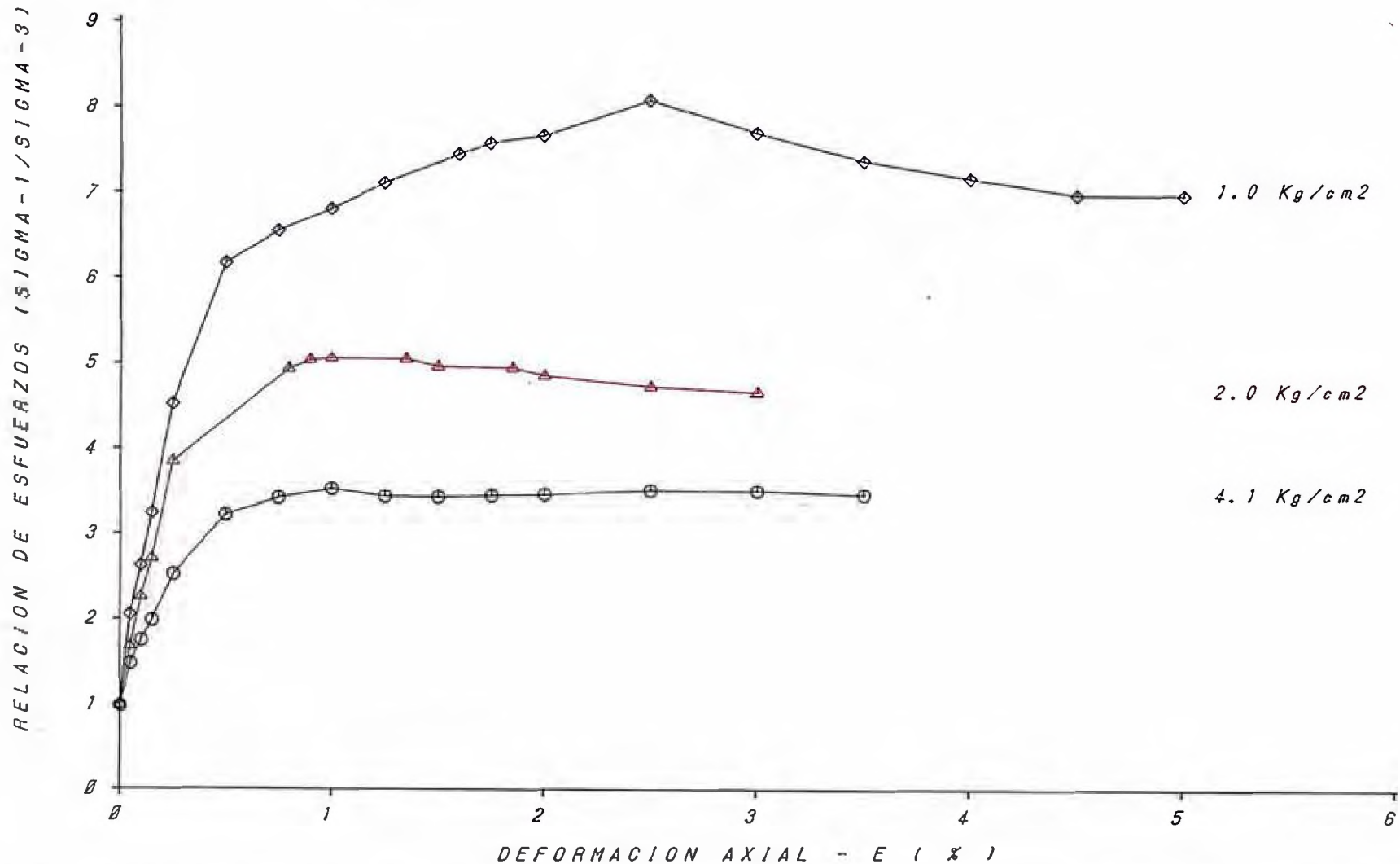
CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-2
PROF. (m) : 35.80
CLASIF. (SUCS) : ML



SIGMA-1/SIGMA-3 vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-08-16

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-2
PROF. (m) : 35.80
CLASIF. (SUCS) : ML



PRESION DE POROS vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-08-16

CALICATA : T-2
MUESTRA : CO-2
PROF. (m) : 35.80
CLASIF. (SUCS) : ML

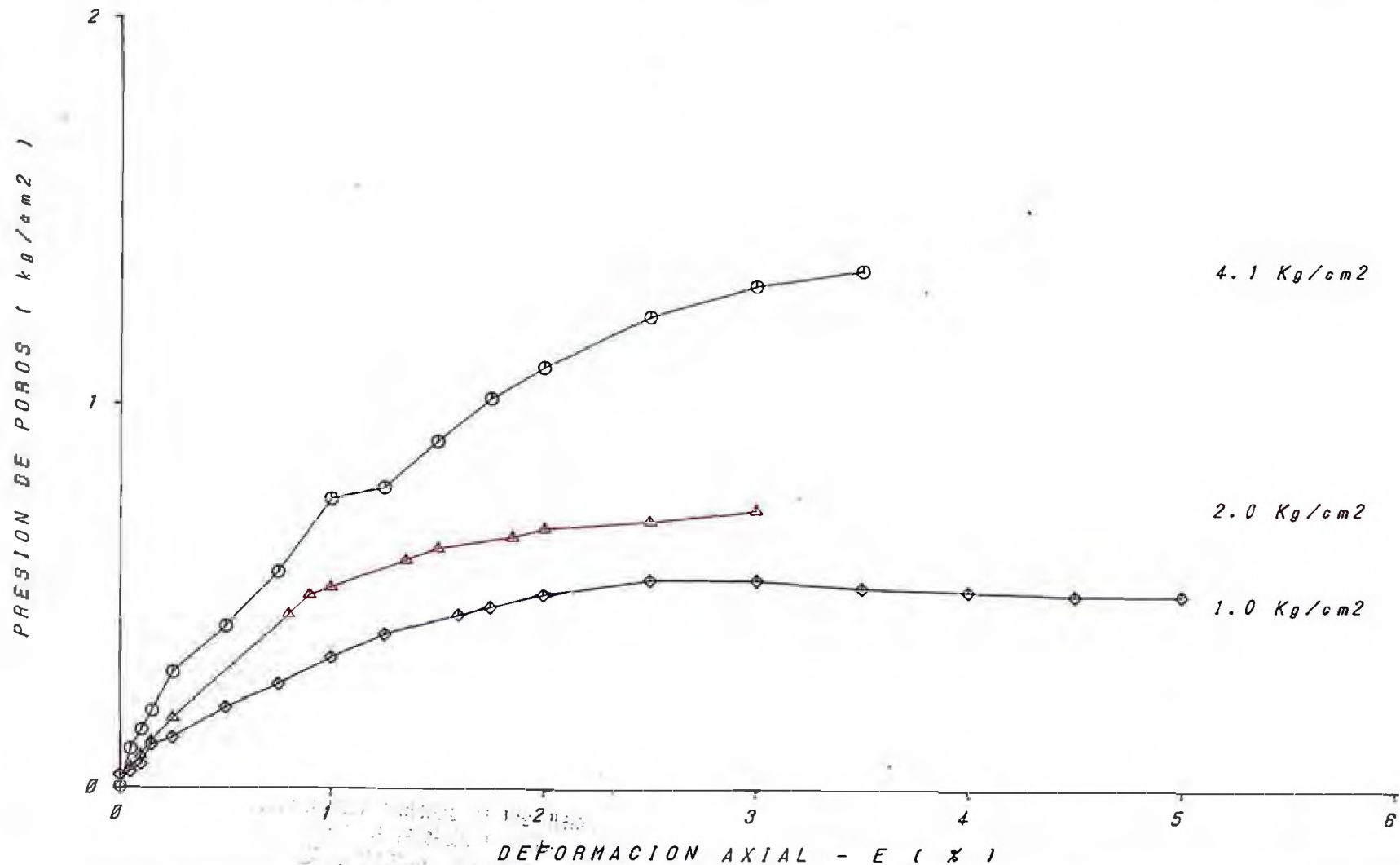
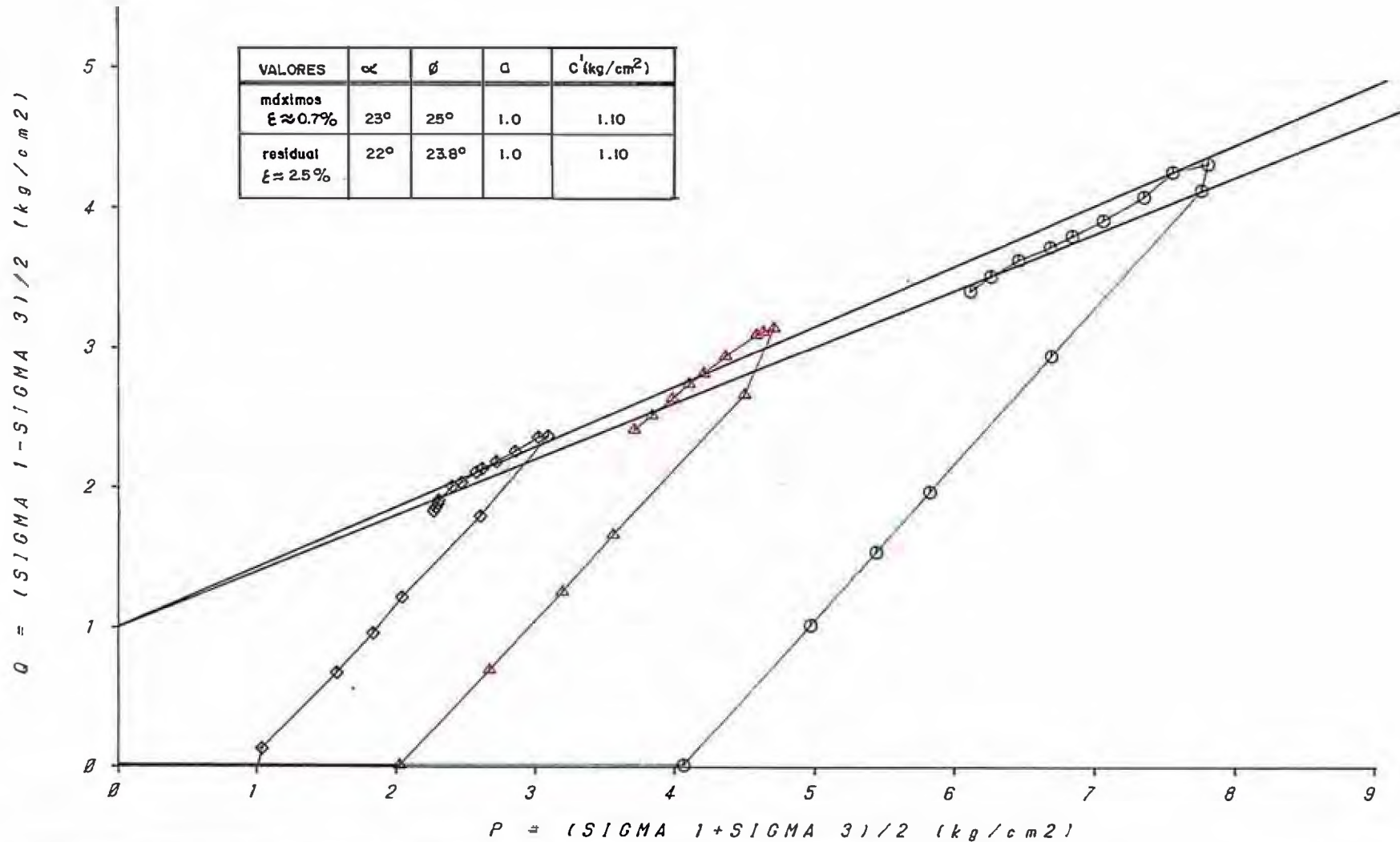


DIAGRAMA P - Q

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 TIPO DE ENSAYO : CU
 FECHA : 88-08-16

CALICATA : T-2
 MUESTRA : CO-2
 PROF. (m) : 35.80
 CLASIF. (SUCS) : ML

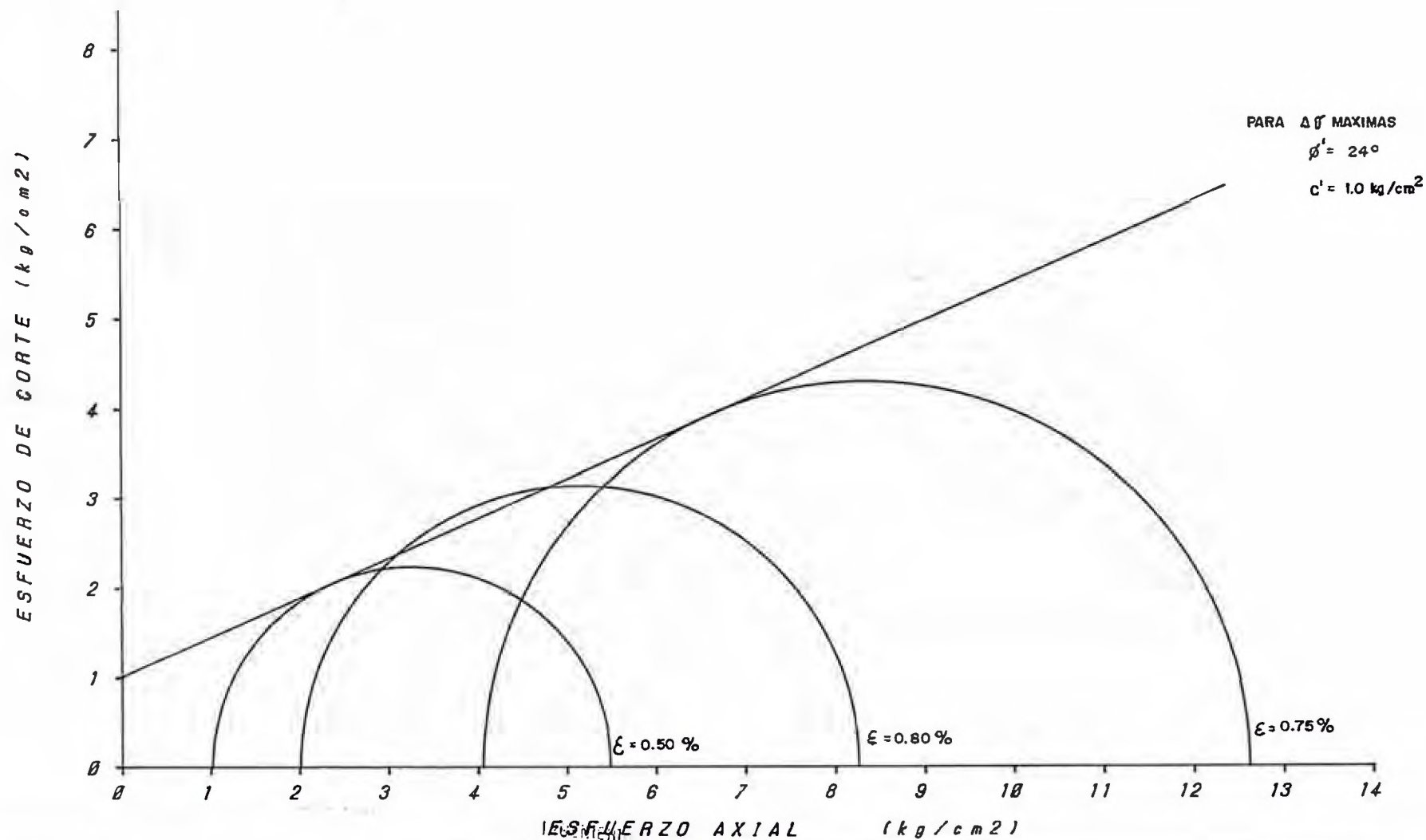
VALORES	α	ϕ	c	$C' (kg/cm^2)$
máximos $\xi \approx 0.7\%$	23°	25°	1.0	1.10
residual $\xi \approx 2.5\%$	22°	23.8°	1.0	1.10



CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-08-16

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-2
PROF. (m) : 35.80
CLASIF. (SUCS) : ML

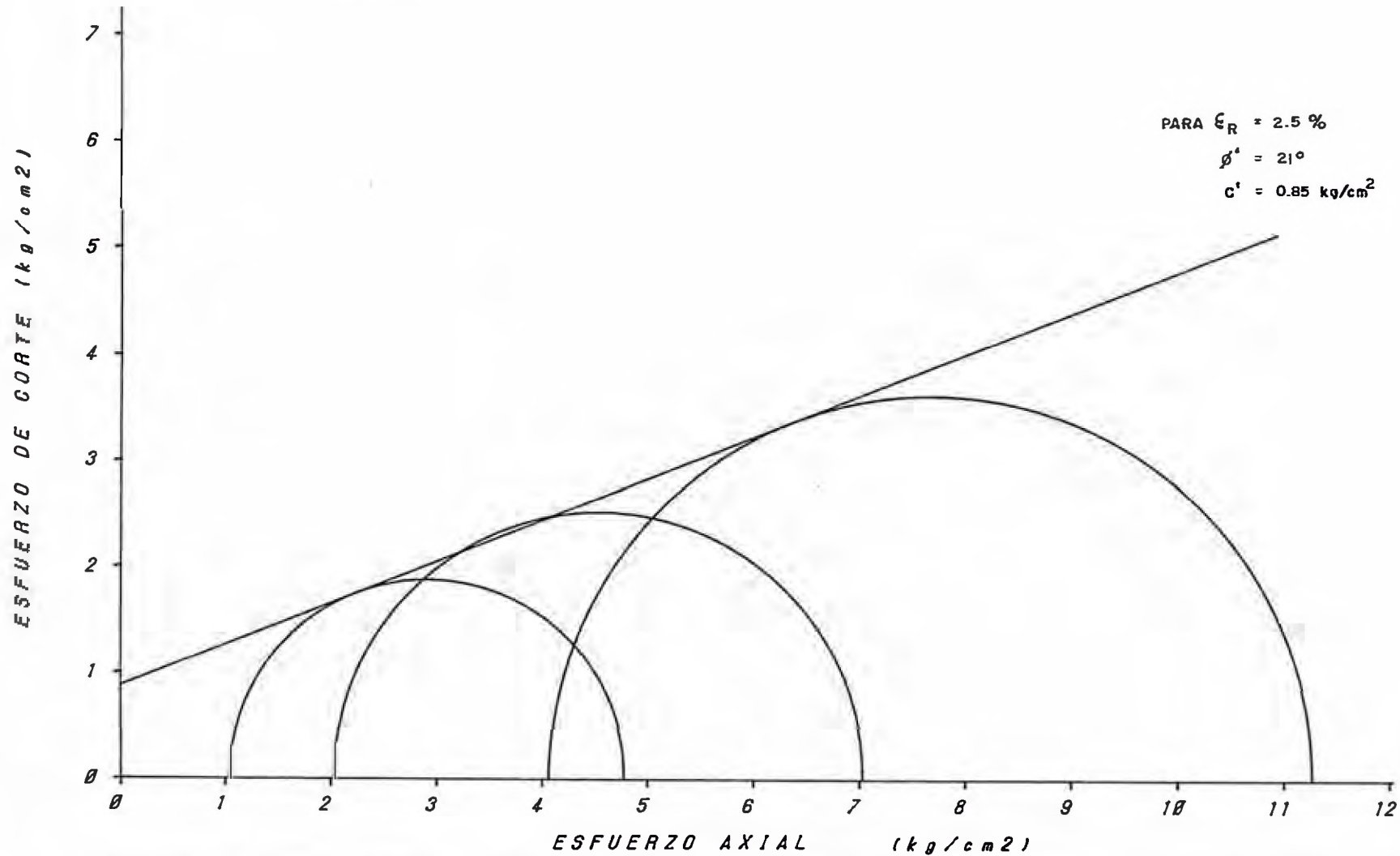


CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-08-16

CALICATA : T-2
MUESTRA : CD-2
PROF. (m) : 35.80
CLASIF. (SUCS) : ML

PARA $\epsilon_R = 2.5\%$
 $\phi' = 21^\circ$
 $c' = 0.85 \text{ kg/cm}^2$



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
CALICATA : T-3
MUESTRA : CD-3
PROFUNDIDAD (m) : 11
CLASIFICACION (SUCS) : ML
ESTADO : INALTERADO
TIPO DE ENSAYO : CU CONSOLIDADO - NO DRENADO
VELOCIDAD DE CARGA : 0.2 mm/min
FECHA : 88-09-28

=====

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-3
 PROFUNDIDAD (m) : 11
 FECHA : 88-09-28

ESPECIMEN : E1
 DIAMETRO : 4.77 cm
 ALTURA : 9.99 cm
 DENSIDAD SECA : 1.65 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 19.40 %
 HUMEDAD FINAL : 26.30 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 3.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.92 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 1.08 Kg/cm²

DEF E%	ESF.DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	1.08	1.08	1.08	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	1.09	0.01	1.07	2.16	1.62	0.55	1.09	0.34	2.02
0.10	1.65	0.02	1.06	2.71	1.89	0.83	1.65	0.44	2.56
0.20	2.16	0.03	1.05	3.21	2.13	1.08	2.16	0.51	3.06
0.25	3.32	0.04	1.04	4.36	2.70	1.66	3.32	0.61	4.19
0.50	4.46	0.05	1.03	5.49	3.26	2.23	4.46	0.68	5.33
0.75	4.44	0.10	0.98	5.42	3.20	2.22	4.44	0.69	5.53
1.05	4.24	0.11	0.97	5.21	3.09	2.12	4.24	0.69	5.37
1.25	4.09	0.13	0.95	5.04	3.00	2.05	4.09	0.68	5.31
1.50	3.99	0.14	0.94	4.93	2.94	2.00	3.99	0.68	5.24
2.00	3.55	0.15	0.93	4.48	2.71	1.78	3.55	0.66	4.82
2.50	3.52	0.17	0.91	4.43	2.67	1.76	3.52	0.66	4.87
3.00	3.49	0.18	0.90	4.39	2.65	1.75	3.49	0.66	4.88
3.50	3.44	0.19	0.89	4.33	2.61	1.72	3.44	0.66	4.87
4.00	3.39	0.20	0.88	4.27	2.58	1.70	3.39	0.66	4.85
4.50	3.34	0.20	0.88	4.22	2.55	1.67	3.34	0.65	4.80
4.87	3.29	0.20	0.88	4.17	2.53	1.65	3.29	0.65	4.74

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-3
 PROFUNDIDAD (m) : 11
 FECHA : 88-09-28

ESPECIMEN : E2
 DIAMETRO : 3.51 cm
 ALTURA : 8.06 cm
 DENSIDAD SECA : 1.82 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 6.65 %
 HUMEDAD FINAL : 12.73 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 4.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.92 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA3 INICIAL : 2.08 Kg/cm²

DEF %	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	2.08	2.08	2.08	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	1.37	0.02	2.06	3.43	2.75	0.69	1.37	0.25	1.67
0.10	2.48	0.03	2.05	4.53	3.29	1.24	2.48	0.38	2.21
0.15	3.29	0.04	2.04	5.33	3.69	1.65	3.29	0.45	2.61
0.25	5.29	0.05	2.03	7.32	4.68	2.65	5.29	0.57	3.61
0.50	6.24	0.10	1.98	8.22	5.10	3.12	6.24	0.61	4.15
0.75	6.19	0.14	1.94	8.13	5.04	3.10	6.19	0.61	4.19
1.00	6.14	0.19	1.89	8.03	4.96	3.07	6.14	0.62	4.25
1.25	5.84	0.21	1.87	7.71	4.79	2.92	5.84	0.61	4.12
1.50	5.59	0.24	1.84	7.43	4.64	2.80	5.59	0.60	4.04
1.75	5.44	0.26	1.82	7.26	4.54	2.72	5.44	0.60	3.99
2.00	5.24	0.26	1.82	7.06	4.44	2.62	5.24	0.59	3.88
2.50	4.99	0.33	1.75	6.74	4.25	2.50	4.99	0.59	3.85
3.00	4.84	0.37	1.71	6.55	4.13	2.42	4.84	0.59	3.83
3.50	4.79	0.41	1.67	6.46	4.07	2.40	4.79	0.59	3.87

ENSAYO TRIAXIAL

SOLICITANTE : CEMENTO ANDINO
 PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 MUESTRA : CD-3
 PROFUNDIDAD (m) : 11
 FECHA : 88-09-28

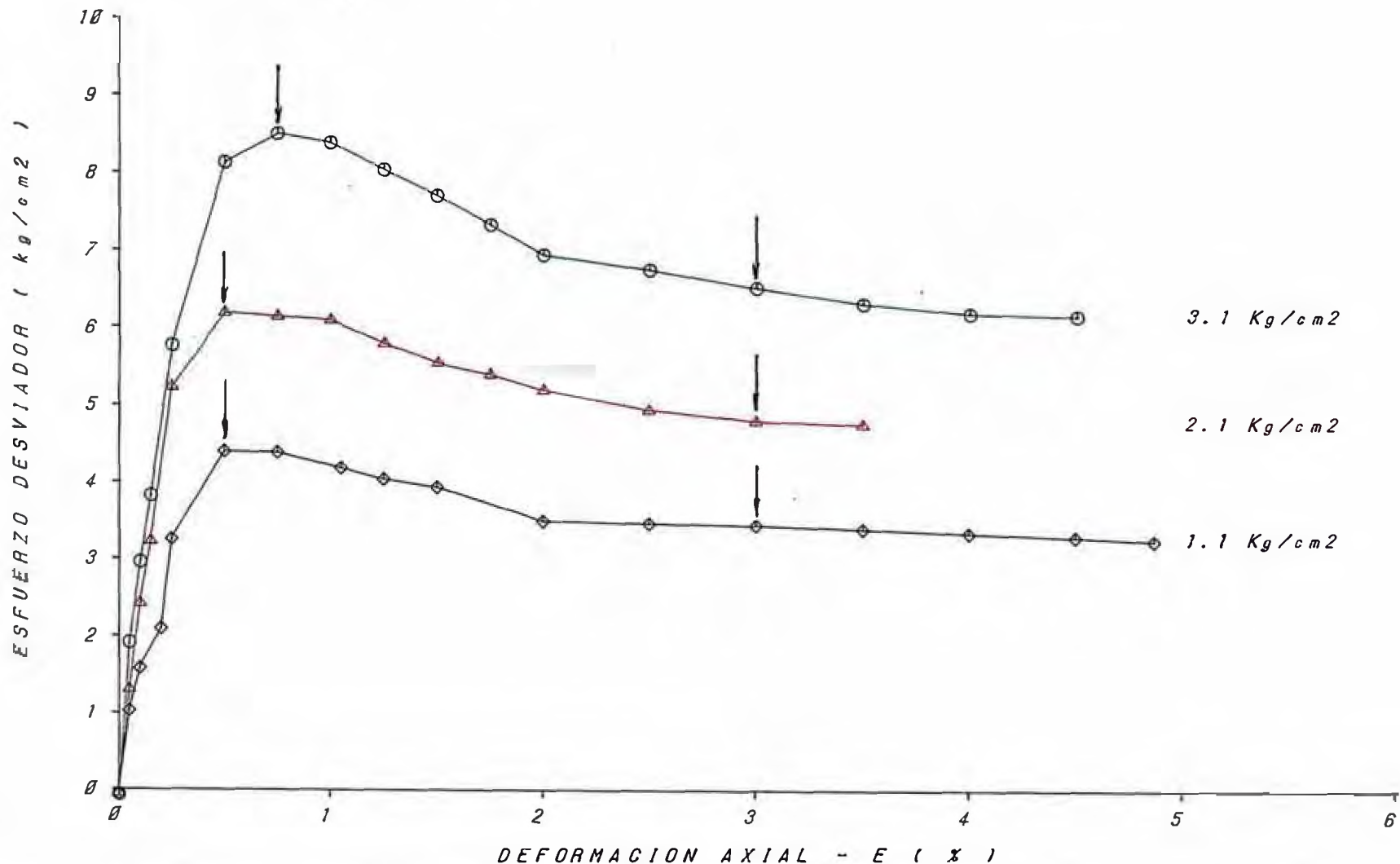
ESPECIMEN : E3
 DIAMETRO : 4.78 cm
 ALTURA : 9.48 cm
 DENSIDAD SECA : 1.66 gr/cm³
 HUMEDAD INICIAL : 14.80 %
 HUMEDAD FINAL : 22.90 %
 PRESION DE CELDA INICIAL : 5.00 Kg/cm²
 CONTRA PRESION INICIAL : 1.86 Kg/cm²
 ESF. EFECT. SIGMA₃ INICIAL : 3.14 Kg/cm²

DEF E%	ESF. DESV kg/cm ²	P.P. kg/cm ²	SIGMA-3 kg/cm ²	SIGMA-1 kg/cm ²	P kg/cm ²	Q kg/cm ²	2Q kg/cm ²	Q/P kg/cm ²	OBLIC S1/S3
0.00	0.00	0.00	3.14	3.14	3.14	0.00	0.00	0.00	1.00
0.05	1.99	0.03	3.11	5.10	4.11	1.00	1.99	0.24	1.64
0.10	3.03	0.05	3.09	6.12	4.61	1.52	3.03	0.33	1.98
0.15	3.89	0.07	3.07	6.96	5.02	1.95	3.89	0.39	2.27
0.25	5.83	0.11	3.03	8.86	5.95	2.92	5.83	0.49	2.92
0.50	8.19	0.17	2.97	11.16	7.07	4.10	8.19	0.58	3.76
0.75	8.56	0.25	2.89	11.45	7.17	4.28	8.56	0.60	3.96
1.00	8.44	0.38	2.76	11.20	6.98	4.22	8.44	0.60	4.06
1.25	8.09	0.40	2.74	10.83	6.79	4.05	8.09	0.60	3.95
1.50	7.76	0.45	2.69	10.45	6.57	3.88	7.76	0.59	3.88
1.75	7.38	0.49	2.65	10.03	6.34	3.69	7.38	0.58	3.78
2.00	6.99	0.55	2.59	9.58	6.09	3.50	6.99	0.57	3.70
2.50	6.79	0.62	2.52	9.31	5.92	3.40	6.79	0.57	3.69
3.00	6.56	0.66	2.48	9.04	5.76	3.28	6.56	0.57	3.65
3.50	6.35	0.69	2.45	8.80	5.63	3.18	6.35	0.56	3.59
4.00	6.22	0.72	2.42	8.64	5.53	3.11	6.22	0.56	3.57
4.50	6.19	0.75	2.39	8.58	5.49	3.10	6.19	0.56	3.59

ESFUERZO DESVIADOR vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 TIPO DE ENSAYO : CU
 FECHA : 88-09-28

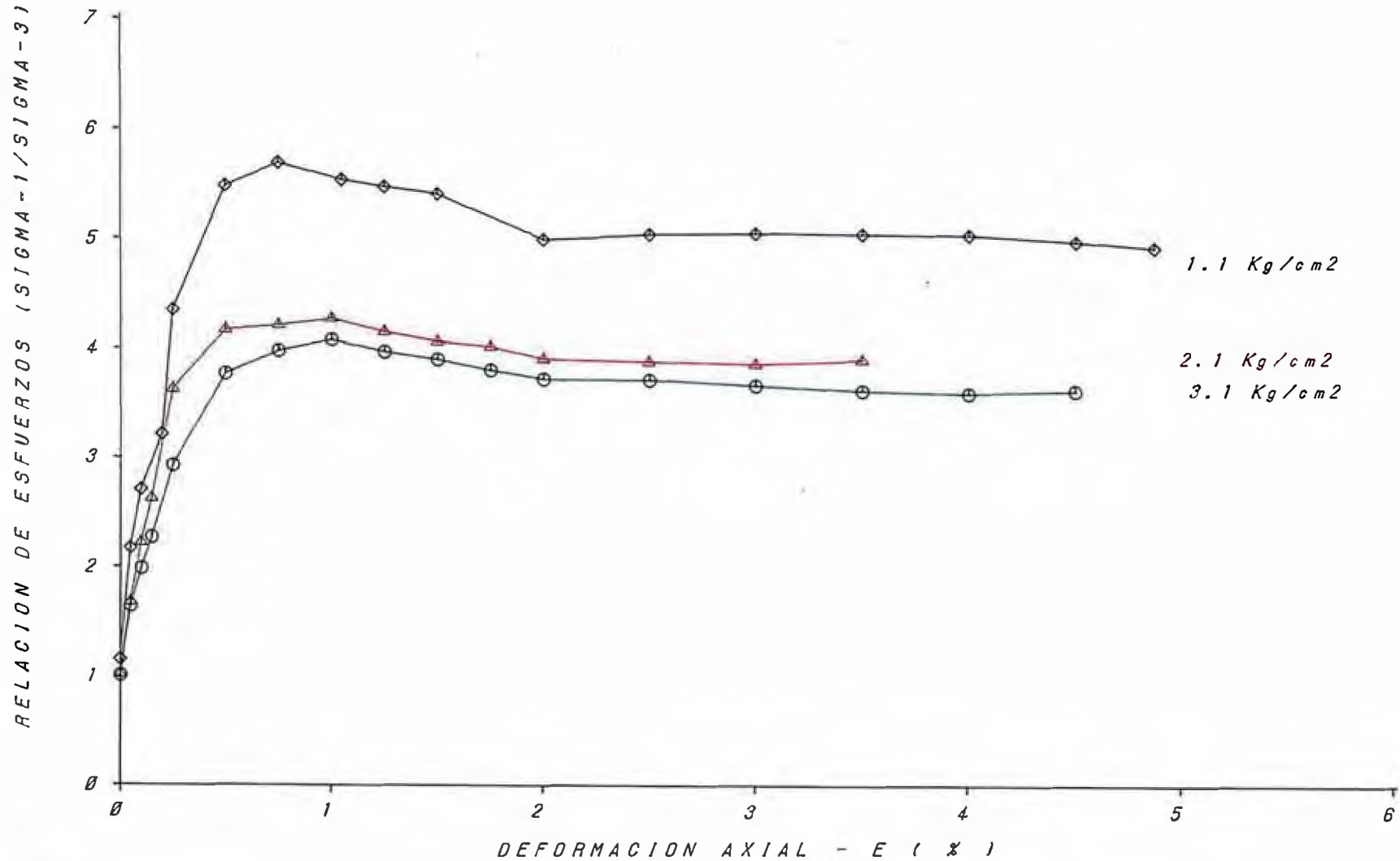
CALICATA : T-3
 MUESTRA : CD-3
 PRDF. (m) : 40.67
 CLASIF. (SUCS) : ML



SIGMA-1/SIGMA-3 vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-09-28

CALICATA : T-3
MUESTRA : CD-3
PROF. (m) : 40.67
CLASIF. (SUCS) : ML



PRESION DE POROS vs DEFORMACION AXIAL

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-09-28

CALICATA : T-3
MUESTRA : CD-3
PROF. (m) : 40.67
CLASIF. (SUCS) : ML

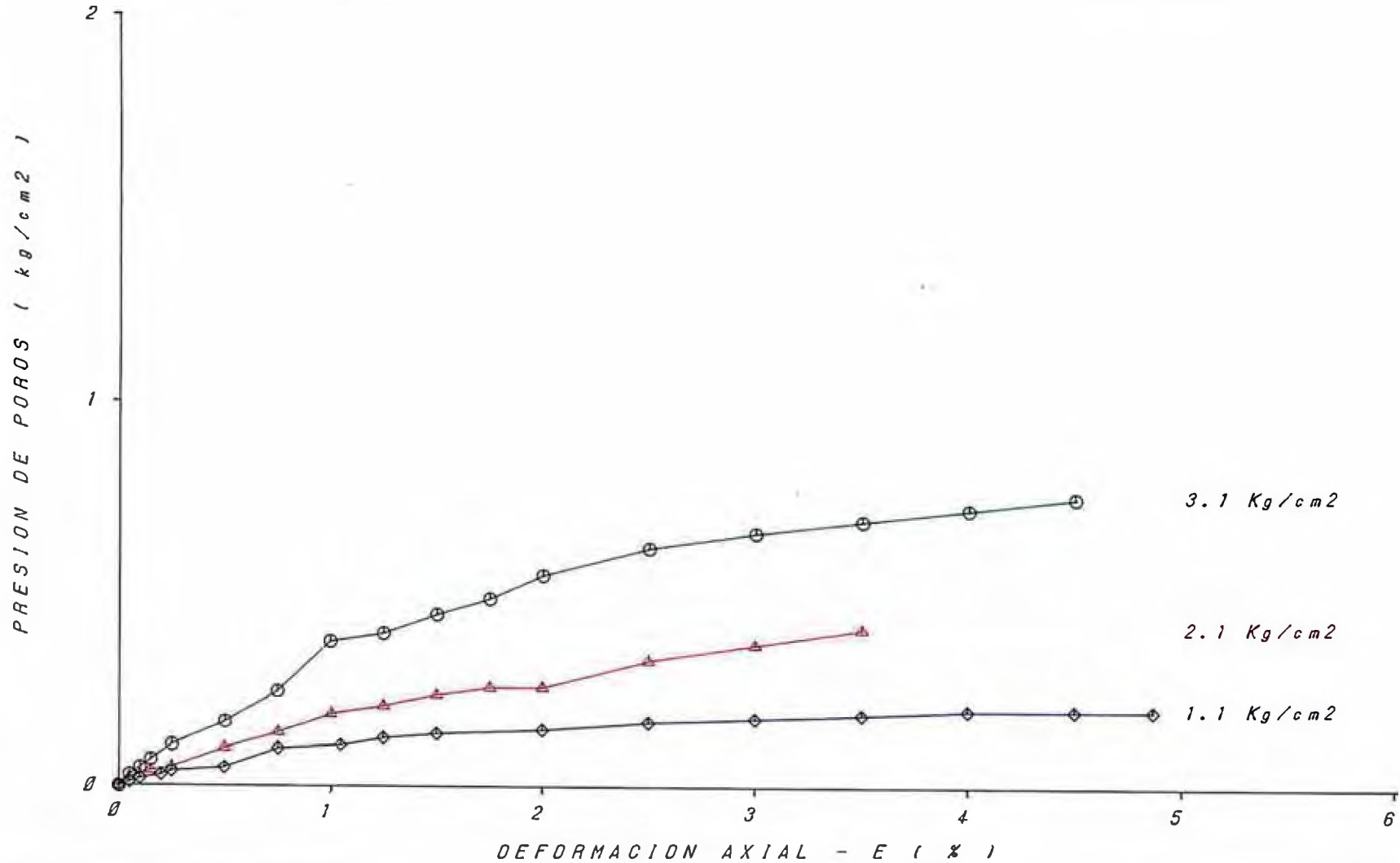
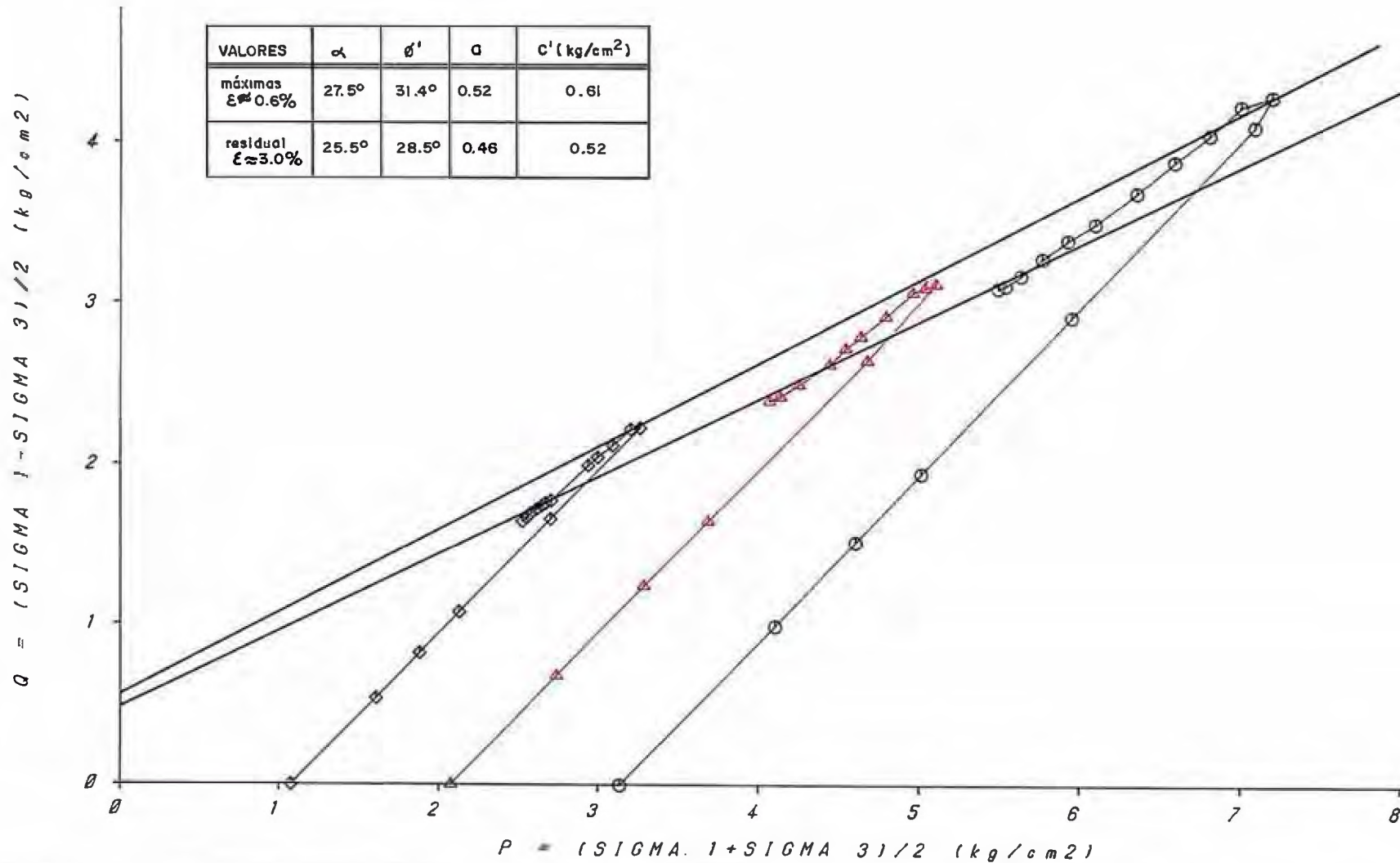


DIAGRAMA P - Q

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
 LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
 TIPO DE ENSAYO : CU
 FECHA : 08-09-28

CALICATA : T-3
 MUESTRA : CD-3
 PROF. (m) : 40.67
 CLASIF. (SUCS) : ML

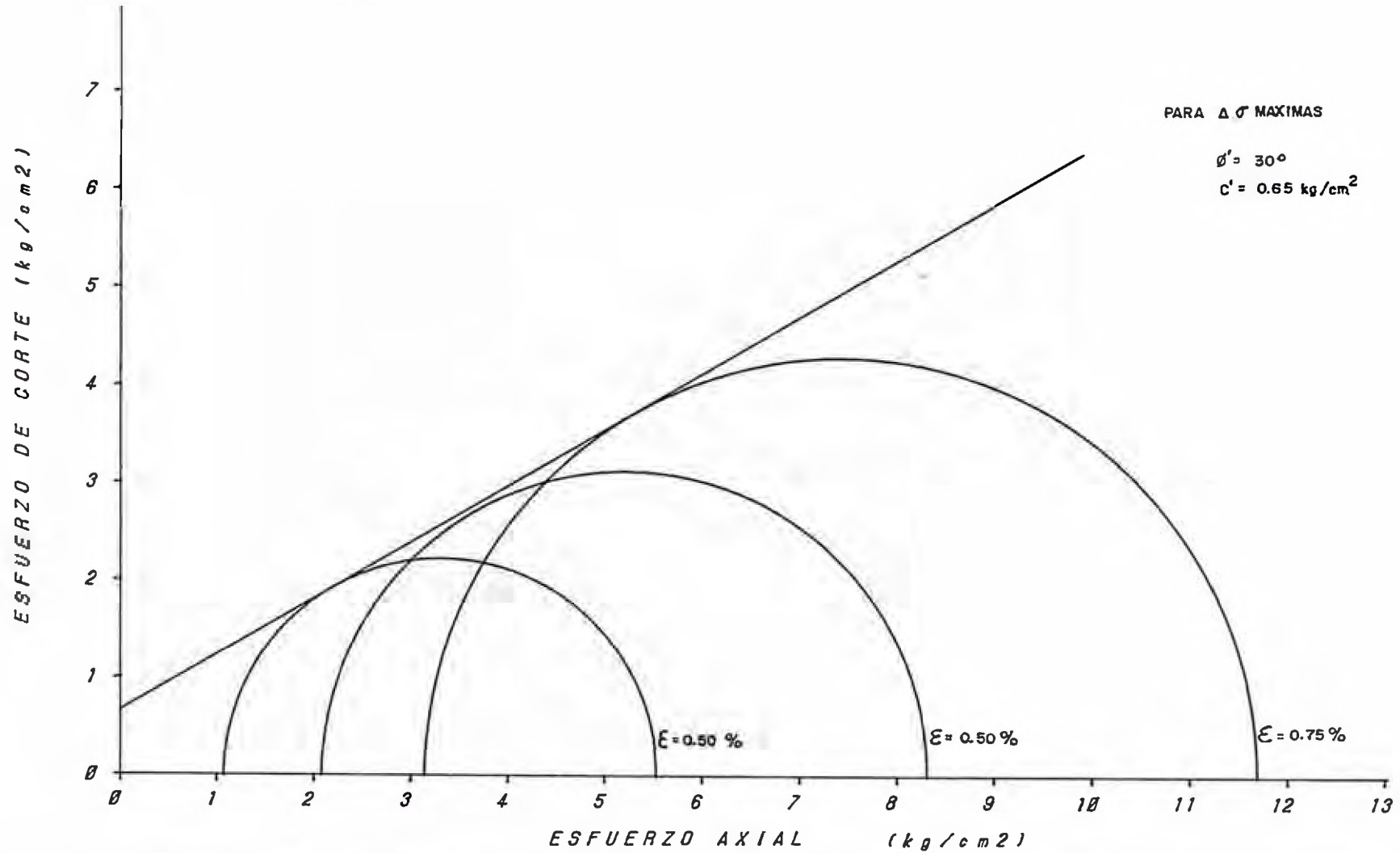
VALORES	α	θ'	q	$c' (kg/cm^2)$
máximas $\epsilon \approx 0.6\%$	27.5°	31.4°	0.52	0.61
residual $\epsilon \approx 3.0\%$	25.5°	28.5°	0.46	0.52



CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-09-28

CALICATA : T-3
MUESTRA : CD-3
PROF. (m) : 11
CLASIF. (SUCS) : ML

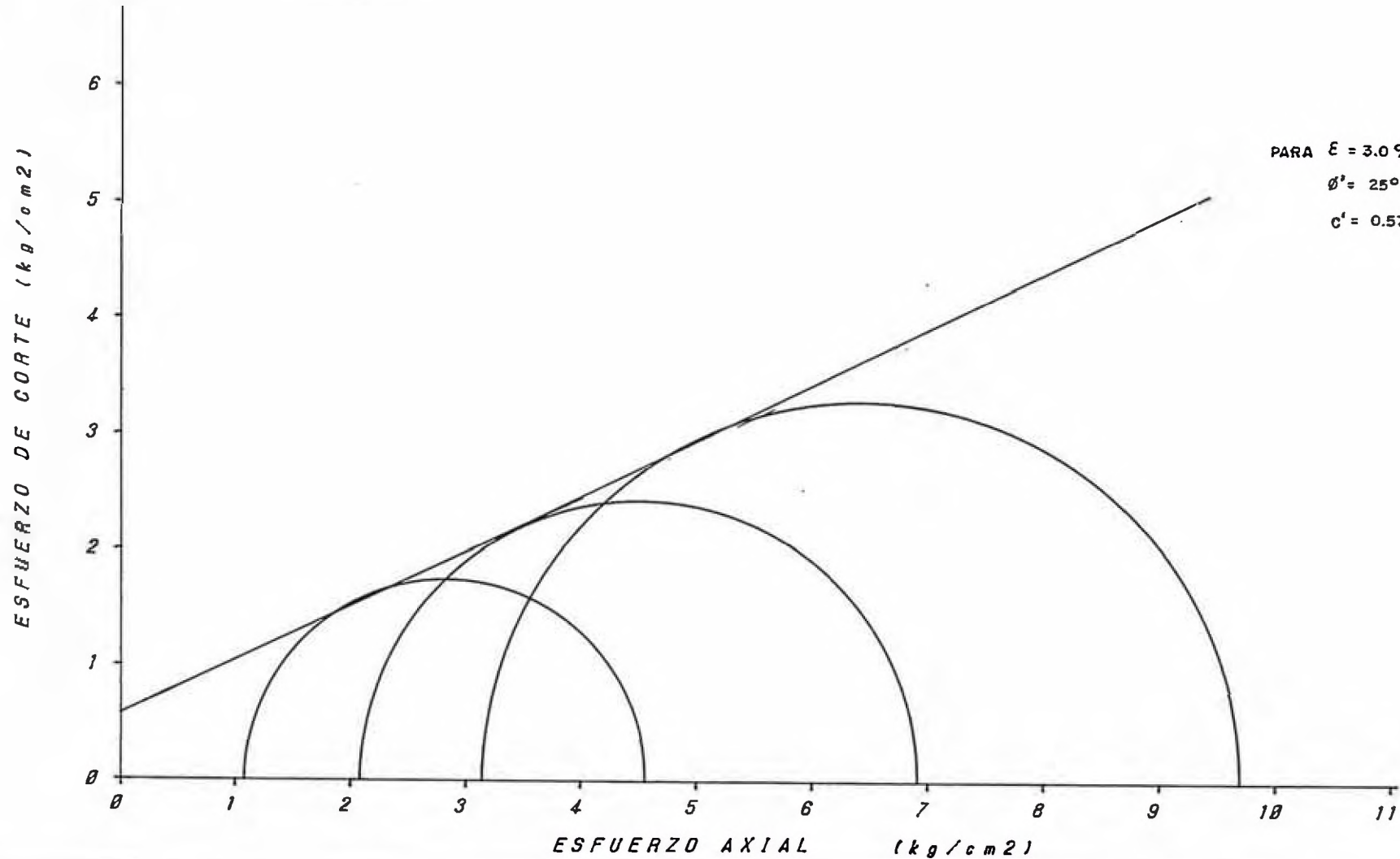


CIRCULO DE MOHR

PROYECTO : ESTABILIDAD DE TALUDES
LUGAR : CONDORCOCHA-TARMA
TIPO DE ENSAYO : CU
FECHA : 88-09-28

CALICATA : T-3
MUESTRA : CD-3
PROF. (m) : 11
CLASIF. (SUCS) : ML

PARA $\epsilon = 3.0\%$
 $\phi' = 25^\circ$
 $c' = 0.57 \text{ kg/cm}^2$



ANEXO 7.

$$I: \beta = 15^\circ \quad H = 100 \text{ m}$$

- ① Factor de reducción por carga adicional en la cima del talud:

$$\frac{q}{\gamma H} = \frac{8}{1.8 \times 100} = 0.04 \quad \rightarrow \mu_q = 0.99$$

- ② a- Factor de reducción por emergencia

$$\frac{H_w}{H} = 0 \quad \rightarrow \mu_w = 1.00$$

- b- Factor de reducción por infiltración

$$\frac{H'_w}{H} = \frac{60}{100} = 0.60 \quad \rightarrow \mu'_w = 0.97$$

el agua dentro

- ③ Factor de reducción por grietas

$$\frac{H_t}{H} = 0 \quad \rightarrow \mu_t = 1.0$$

$$④ \quad P_d = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w}{\mu_q \mu_w \mu_t} = \frac{1.8 \times 100 + 8.0 - 1.0 \times 0}{0.99 \times 1.00 \times 1.00}$$

$$P_d = 189.89 \text{ tn/m}^2$$

$$⑤ \quad P_e = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H'_w}{\mu_q \mu'_w} = \frac{1.8 \times 100 + 8.0 - 1.0 \times 60}{0.99 \times 0.97}$$

$$P_e = 133.29 \text{ tn/m}^2$$

$$⑥ \quad \lambda_{c\phi} = \frac{P_e \tan \phi}{c} = \frac{133.29 \times \tan 25^\circ}{5}$$

$$\lambda_{c\phi} = 12.43$$

$$⑦ \quad \cot \beta = 3.73$$

$$N_{cf} = 52$$

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} = 52 \frac{5}{189.89}$$

$$F = 1.37$$

$$\beta = 20^\circ \quad H = 100 \text{ m}$$

$$\textcircled{7} \quad \cot \beta = 2.75$$

$$Ncf = 50$$

$$F = Ncf \frac{c}{Pd} = 50 \frac{5}{189.89}$$

$$F = 1.31$$

$$\beta = 25^\circ \quad H = 100$$

$$\textcircled{7} \quad \cot \beta = 2.14$$

$$Ncf = 40$$

$$F = Ncf \frac{c}{Pd} = 40 \frac{5}{189.89}$$

$$F = 1.05$$

$$\beta = 30^\circ \quad H = 100 \text{ m}$$

$$\textcircled{7} \quad \cot \beta = 1.73$$

$$Ncf = 35$$

$$F = Ncf \frac{c}{Pd} = 35 \frac{5}{189.89}$$

$$F = 0.92$$

$$\text{II. } \beta = 30^\circ \quad H = 80 \text{ m}$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{q}{\gamma H} = \frac{8}{1.8 \times 80} = 0.06 \quad \rightarrow \quad \mu_q = 0.98$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{H_w}{H} = 0 \quad \rightarrow \quad \mu_w = 1.00$$

$$\frac{H'_w}{H} = \frac{40}{80} = 0.5 \quad \rightarrow \quad \mu'_w = 0.94$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{H_t}{H} = 0 \quad \rightarrow \quad \mu_t = 1.0$$

$$\textcircled{4} \quad P_d = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w}{\mu_q \mu_w \mu_t} = \frac{1.8 \times 80 + 8.0 - 1.0 \times 0}{0.98 \times 1.0 \times 1.0}$$

$$P_d = 155.10 \text{ tn/m}^2$$

$$\textcircled{5} \quad P_e = \frac{\gamma H + q - \gamma'_w H'_w}{\mu_q \mu'_w} = \frac{1.8 \times 80 + 8.0 - 1.0 \times 40}{0.98 \times 0.94}$$

$$P_e = 121.58 \text{ tn/m}^2$$

$$\textcircled{6} \quad \lambda_c \phi = \frac{P_e \tan \phi}{c} = \frac{121.58 \times \tan 25^\circ}{5}$$

$$\lambda_c \phi = 11.34$$

$$\textcircled{7} \quad \cot \beta = 1.73$$

$$N_{cf} = 32$$

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} = 32 \frac{5}{155.10}$$

$$F = 1.03$$

$$\beta = 35^\circ \quad H = 80 \text{ m}$$

$$\cot \beta = 1.43$$

$$N_{cf} = 29$$

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} = 29 \frac{5}{155.10}$$

$$F = 0.93$$

$$\text{III: } \beta = 35^\circ \quad H = 60 \text{ m}$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{q}{\delta H} = \frac{8}{1.8 \times 60} = 0.07 \quad \rightarrow \quad \mu_q = 0.97$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{H_w}{H} = 0 \quad \rightarrow \quad \mu_w = 1.00$$

$$\frac{H'_w}{H} = \frac{20}{60} = 0.33 \quad \rightarrow \quad \mu'_w = 0.93$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{H_t}{H} = 0 \quad \rightarrow \quad \mu_t = 1.00$$

$$\textcircled{4} \quad P_d = \frac{\delta H + q - \delta'_w H'_w}{\mu_q \mu_w \mu_t} = \frac{1.8 \times 60 + 8 - 1.0 \times 0}{0.97 \times 1.0 \times 1.0}$$

$$P_d = 119.59 \text{ tn/m}^2$$

$$\textcircled{5} \quad P_e = \frac{\delta H + q - \delta'_w H'_w}{\mu_q \mu'_w} = \frac{1.8 \times 60 + 8 - 1.0 \times 20}{0.97 \times 0.93}$$

$$P_e = 106.42 \text{ tn/m}^2$$

$$\textcircled{6} \quad \lambda_{c\phi} = \frac{P_e \tan \phi}{c} = \frac{106.42 \times \tan 25^\circ}{5}$$

$$\lambda_{c\phi} = 9.92$$

$$\textcircled{7} \quad \cot \beta = 1.43$$

$$N_{cf} = 25$$

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} = 25 \frac{5}{119.59}$$

$$F = 1.05$$

$$\beta = 40 \quad H = 60 \text{ m}$$

$$\cot \beta = 1.19$$

$$N_{cf} = 18$$

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} = 18 \frac{5}{119.59}$$

$$F = 0.75$$

$$\text{IV} - \beta = 40^\circ \quad H = 40 \text{ m}$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{q}{\delta H} = \frac{8.0}{1.8 \times 40} = 0.11 \quad \rightarrow \mu_q = 0.97$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{H_w}{H} = 0 \quad \rightarrow \mu_w = 1.0$$

$$\frac{H'_w}{H} = 0 \quad \rightarrow \mu'_w = 1.0$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{H_t}{H} = 0 \quad \rightarrow \mu_t = 1.0$$

$$\textcircled{4} \quad P_d = \frac{\delta H + q - \delta_w H_w}{\mu_q \mu_w \mu_t} = \frac{1.8 \times 40 + 8.0 - 1.0 \times 0}{0.97 \times 1.0 \times 1.0}$$

$$P_d = 82.47 \text{ ton/m}^2$$

$$\textcircled{5} \quad P_e = \frac{\delta H + q - \delta_w H'_w}{\mu_q \mu'_w} = \frac{1.8 \times 40 + 8.0 - 1.0 \times 1.0}{0.97 \times 1.0}$$

$$P_e = 82.47 \text{ tn/m}^2$$

$$\textcircled{6} \quad \lambda_{c\phi} = \frac{P_e \tan \phi}{c} = \frac{82.47 \times \tan 25^\circ}{5}$$

$$\lambda_{c\phi} = 7.69$$

$$\textcircled{7} \quad \cot \beta = 1.19$$

$$N_{cf} = 20$$

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} = 20 \times \frac{5}{82.47}$$

$$F = 1.21$$

$$\beta = 45^\circ \quad H = 40 \text{ m}$$

$$\cot \beta = 1.0$$

$$N_{cf} = 18$$

$$F = N_{cf} \frac{c}{P_d} = 18 \times \frac{5}{82.47}$$

$$F = 1.09$$

$$\beta = 50^\circ \quad H = 40$$

$$\cot \beta = 0.84$$

$$Ncf = 17$$

$$F = Ncf \frac{c}{Pd} = 17 \frac{5}{82.47}$$

$$F = 1.03$$

$$\beta = 55^\circ \quad H = 40 \text{ m}$$

$$\cot \beta = 0.7$$

$$Ncf = 15$$

$$F = Ncf \frac{c}{Pd} = 15 \frac{5}{82.47}$$

$$F = 0.91$$

ANEXO 8

```

*****
* *****
* *
* * -----
* * TSTAB slope stability analysis * *
* * Revision 2.40 - 02/12/85 * *
* * -----
* *
* * TAGA Engineering Software Services * *
* * Berkeley, California * *
* *
* * IBM PC & 8086/8088 MS-DOS Version by * *
* *
* * Design Professionals Management Systems * *
* * Kirkland, Washington * *
* *
* * copyright (c) 1983, 1984 TAGA * *
* * copyright (c) 1983, 1984 DPMS * *
* *
* *****
*****

```

```

*****
CEMENTO ANDINO Talud=15° Altura=100 m
*****

```

```

*****
ANALYSIS BY BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD
*****

```

```

*****
INPUT DATA
*****

```

```

CONTROL DATA,
AUTOMATIC SEARCH FOR CRITICAL CIRCLE

```

NUMBER OF DEPTH LIMITING TANGENTS = 1
 NUMBER OF VERTICAL SECTIONS = 8
 NUMBER OF SOIL LAYER BOUNDARIES = 4
 NUMBER OF POINTS DEFINING COHESION PROFILE = 0
 NUMBER OF CURVES DEFINING COHESION ANISOTROPY = 0
 NUMBER OF BOUNDARY LINE LOADS = 0
 NUMBER OF BOUNDARY PRESSURE LOADS = 1

SEISMIC COEFFICIENT = .000
 ATMOSPHERIC PRESSURE = .000
 UNIT WEIGHT OF WATER = 1.000
 UNIT WEIGHT OF WATER IN TENSION CRACK = 1.000
 UNIT WEIGHT OF WATER IN POND = 1.000

✓ SEARCH STARTS AT CENTER (300.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

✓ GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	88.00	200.00	220.00	269.00	310.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	136.00	166.00	172.00	185.00	196.00	230.00
W IN CRACK	128.00	130.00	136.00	166.00	172.00	185.00	196.00	230.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	136.00	166.00	172.00	185.00	196.00	230.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	172.00	185.00	196.00	230.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	199.00	195.00	185.00	196.00	230.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	267.00	262.00	248.00	237.00	230.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICITION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	88.00	200.00	220.00	269.00	310.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	172.00	185.00	196.00	230.00

BOUNDARY FORCES AND PRESSURES

Y COORDINATE OF EXTERNAL WATER, 215.00000

I	PRESSURE LOADS		POINT A	POINT B
	X-COORD	PRESSURE	X-COORD	PRESSURE
1	.00	25.00000	40.00	25.00000

RESULTS

DEPTH LIMITING TANGENT NO. 1 AT Y = 225.00

NUMBER	TANGENT	RADIUS	(X) CENTER	(Y) CENTER	F.S.
1	225.0	215.0	300.0	10.0	1.517
2	225.0	215.0	270.0	10.0	1.566
3	225.0	245.0	300.0	-20.0	1.517
4	225.0	215.0	330.0	10.0	1.545
5	225.0	185.0	300.0	40.0	1.528
6	225.0	215.0	285.0	10.0	1.556
7	225.0	250.0	300.0	-5.0	1.516
8	225.0	215.0	315.0	10.0	1.518
9	225.0	200.0	300.0	25.0	1.525
10	225.0	250.0	285.0	-5.0	1.556
11	225.0	245.0	300.0	-20.0	1.517
12	225.0	230.0	315.0	-5.0	1.514
13	225.0	245.0	315.0	-20.0	1.511
14	225.0	250.0	330.0	-5.0	1.534
15	225.0	215.0	315.0	10.0	1.518

16	225.0	245.0	300.0	-20.0	1.517
17	225.0	260.0	315.0	-35.0	1.510
18	225.0	245.0	330.0	-20.0	1.525
19	225.0	260.0	300.0	-35.0	1.519
20	225.0	275.0	315.0	-50.0	1.514
21	225.0	260.0	330.0	-35.0	1.553
22	225.0	275.0	300.0	-50.0	1.522
23	225.0	275.0	330.0	-30.0	1.551
24	225.0	245.0	330.0	-20.0	1.525
25	225.0	245.0	300.0	-20.0	1.517

F.5. MINIMUM= 1.510 FOR THE CIRCLE OF CENTER (315.0, -35.0)

Execution complete, time = 15.65 seconds

 CEMENTU ANDING Talud=20? Altura=100 m

SEARCH STARTS AT CENTER (235.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	88.00	180.00	200.00	234.00	338.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	135.00	172.00	179.00	192.00	230.00	230.00
W IN CRACK	128.00	130.00	138.00	172.00	179.00	192.00	230.00	230.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	138.00	172.00	179.00	192.00	230.00	230.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	179.00	192.00	230.00	230.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	197.00	199.00	192.00	230.00	230.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	268.00	267.00	238.00	230.00	230.00

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	88.00	180.00	200.00	234.00	338.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC								
SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	179.00	192.00	230.00	230.00

F.5. MINIMUM= 1.234 FOR THE CIRCLE OF CENTER (265.0, 25.0)

Execution complete, time = 10.38 seconds

 CEMENTU ANINDU Talud=25° Aituras=100 m

SEARCH STARTS AT CENTER (220.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	88.00	155.00	208.00	278.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	141.00	172.00	197.00	230.00	230.00
W IN CRACK	128.00	130.00	138.00	172.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	138.00	172.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	196.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	269.00	266.00	246.00	230.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICITION	ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00		.00
2	1.90	4.00	24.00		.00
3	1.70	6.00	25.00		.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	88.00	155.00	208.00	278.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	155.00	167.00	172.00	172.00	197.00	230.00	230.00

F.S. MINIMUM= 1.044 FOR THE CIRCLE OF CENTER (220.0, 35.0)

Execution complete, time = 10.11 seconds

 CEMENTO ANDINO Tailed=30° Altura=100 m

SEARCH STARTS AT CENTER (210.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

GEOMETRY

SECTIONS	10	65.00	88.00	138.00	181.00	237.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	143.00	172.00	197.00	230.00	230.00
W IN CRACK	128.00	130.00	138.00	172.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	138.00	172.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 2	133.00	167.00	172.00	172.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	195.00	197.00	230.00	230.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	268.00	267.00	237.00	230.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE-PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	10	65.00	88.00	138.00	181.00	237.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	133.00	167.00	172.00	172.00	197.00	230.00	230.00

F.S. MINIMUM= .914 FOR THE CIRCLE OF CENTER (210.0, 70.0)

 Execution complete, time = 11.92 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=30° Altura= 80 m

SEARCH STARTS AT CENTER (210.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-50.00	65.00	88.00	136.00	181.00	202.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	143.00	172.00	197.00	210.00	210.00
W IN CRACK	128.00	130.00	143.00	172.00	197.00	210.00	210.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	143.00	172.00	197.00	210.00	210.00
BOUNDARY 2	133.00	167.00	172.00	172.00	197.00	210.00	210.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	195.00	197.00	210.00	210.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	268.00	267.00	266.00	210.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-50.00	65.00	88.00	136.00	181.00	202.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	197.00	210.00	210.00

F.S. MINIMUM= 1.095 FOR THE CIRCLE OF CENTER (165.0, 70.0)

 Execution complete, time = 15.82 seconds

 CEMENTO BANDO Taudo=35° Altura= 80 m

SEARCH STARTS AT CENTER (210.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-50.00	65.00	88.00	125.00	158.00	178.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	146.00	172.00	196.00	210.00	210.00
W IN CRACK	128.00	130.00	146.00	172.00	196.00	210.00	210.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	146.00	172.00	196.00	210.00	210.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	196.00	210.00	210.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	194.00	196.00	210.00	210.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	269.00	268.00	210.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICITION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-50.00	65.00	88.00	125.00	158.00	178.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	196.00	210.00	210.00

F.S. MINIMUM= 1.034 FOR THE CIRCLE OF CENTER (150.0, 85.0)

 Execution complete, time = 19.11 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=40° Altura= 80 m

SEARCH STARTS AT CENTER (150.0, 10.0) WITH FINAL GRID OF 15.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 255.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	115.00	148.00	160.00	435.00
1. CRACKS	128.00	130.00	149.00	172.00	195.00	210.00	210.00
W IN CRACK	128.00	130.00	149.00	172.00	195.00	210.00	210.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	149.00	172.00	195.00	210.00	210.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	195.00	210.00	210.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	193.00	195.00	210.00	210.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	269.00	268.00	210.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	23.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	23.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	115.00	148.00	160.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	195.00	210.00	210.00

F.S. MINIMUM= .999 FOR THE CIRCLE OF CENTER (135.0, 100.0)

 Execution complete, time = 17.58 seconds

 CEMENTO ANDINO TALUD=90° ALTURA= 60 m

SEARCH STARTS AT CENTER (150.0, 10.0) WITH FINAL GRID OF 15.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 190.0;

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	115.00	136.00	241.00	435.00
1. CRACKS	128.00	130.00	149.00	172.00	190.00	190.00	190.00
W IN CRACK	128.00	130.00	149.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	149.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	193.00	193.00	190.00	190.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	269.00	256.00	190.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICITION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

FREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	115.00	136.00	241.00	435.00
Y-COORDINATE OF FREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	190.00	190.00	190.00

F.S. MINIMUM= 1.012 FOR THE CIRCLE OF CENTER (135.0, 70.0)

 Execution complete, time = 12.68 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=45° Altura= 60 m

SEARCH STARTS AT CENTER (125.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 190.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	108.00	126.00	241.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	153.00	172.00	190.00	190.00	190.00
W IN CRACK	128.00	130.00	153.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	153.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	193.00	194.00	190.00	190.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	269.00	256.00	190.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	108.00	126.00	241.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	190.00	190.00	190.00

F.S. MINIMUM= .940 FOR THE CIRCLE OF CENTER (125.0, 85.0)

 Execution complete, time = 17.63 seconds

 ELEMENTS ADJUDICATED BY THE COURT *****

SEARCH STARTS AT CENTER (105.0, 10.0) WITH FINAL GRID OF 15.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 170.0;

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	105.00	200.00	310.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	153.00	170.00	170.00	170.00	190.00
W IN CRACK	128.00	130.00	153.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	153.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	193.00	198.00	170.00	190.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	266.00	237.00	170.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION	ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00		25.00	.00
2	1.90	4.00		24.00	.00
3	1.70	6.00		25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	105.00	200.00	310.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	170.00	170.00	170.00	170.00

F.S. MINIMUM= 1.398 FOR THE CIRCLE OF CENTER (120.0, 35.0)

 Execution complete, time = 14.43 seconds

 CEMENTO ANDINO TALUD=50° ALTURA= 40 m

SEARCH STARTS AT CENTER (98.0, 10.0) WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 170.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	98.00	200.00	310.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	137.00	170.00	170.00	170.00	190.00
W IN CRACK	128.00	130.00	137.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	137.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 2	133.00	137.00	172.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	193.00	198.00	170.00	190.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	266.00	237.00	190.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	98.00	200.00	310.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC							

F.S. MINIMUM= 1.291 FOR THE CIRCLE OF CENTER (113.0, 70.0)

 Execution complete, time = 13.07 seconds

 CEMENTED ANDINO Talud=55° Altura= 40 m

SEARCH STARTS AT CENTER (98.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 170.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	62.00	88.00	94.00	200.00	310.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	162.00	170.00	170.00	170.00	190.00
W IN CRACK	128.00	130.00	162.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	162.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 2	133.00	167.00	172.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	193.00	198.00	170.00	190.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	266.00	237.00	190.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICITION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	23.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	23.00	.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-100.00	62.00	88.00	94.00	200.00	310.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	170.00	170.00	170.00	170.00

F.S. MINIMUM= 1.240 FOR THE CIRCLE OF CENTER (113.0, 70.0)

 Execution complete, time = 13.13 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=60° Altura= 40 m

SEARCH STARTS AT CENTER (98.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 170.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	89.00	200.00	310.00	435.00
T. CRACKS	128.00	130.00	170.00	170.00	170.00	170.00	190.00
W IN CRACK	128.00	130.00	170.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 1	128.00	130.00	170.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	170.00	170.00	170.00	190.00
BOUNDARY 3	171.00	186.00	192.00	193.00	198.00	170.00	190.00
BOUNDARY 4	232.00	262.00	272.00	270.00	266.00	237.00	190.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-100.00	65.00	88.00	89.00	200.00	310.00	435.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC							
SURFACE	153.00	167.00	172.00	170.00	170.00	170.00	170.00

F.S. MINIMUM= 1.100 FOR THE CIRCLE OF CENTER (98.0, 115.0)

 Execution complete, time = 17.14 seconds

ANEXO 9

 CEMENTO ANDINO (alud=15° altura=100 m)

SEARCH STARTS AT CENTER (300.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	438.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	230.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	230.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	230.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	230.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	172.00	179.00	174.00	185.00	230.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	260.00	256.00	248.00	245.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	438.00
Y-COORDII ATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	215.00

F.S. MINIMUM= 1.398 FOR THE CIRCLE OF CENTER (330.0, -20.0)

 Execution complete, time = 11.81 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=15° Altura= 80 m

SEARCH STARTS AT CENTER (200.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 210.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	363.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	210.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	210.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	210.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	210.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	199.00	194.00	185.00	210.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	260.00	256.00	248.00	236.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	363.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	205.00

F.S. MINIMUM= 1.727 FOR THE CIRCLE OF CENTER (280.0, 10.0)

 Execution complete, time = 18.18 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=20° Altura= 80 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 210.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	179.00	194.00	280.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	210.00	210.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	210.00	210.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	210.00	210.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	173.00	179.00	210.00	210.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	198.00	199.00	210.00	210.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	255.00	226.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	179.00	194.00	280.00	315.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	179.00	205.00	205.00

F.S. MINIMUM= 1.337 FOR THE CIRCLE OF CENTER (240.0, 40.0)

 Execution complete, time = 18.24 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=20° Altura= 65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (160.0, 10.0),WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 195.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-50.00	65.00	87.00	179.00	194.00	240.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	196.00	196.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	196.00	196.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	196.00	196.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	173.00	179.00	196.00	196.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	198.00	199.00	196.00	196.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	255.00	226.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-50.00	65.00	87.00	179.00	194.00	240.00	315.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	179.00	194.00	194.00

F.S. MINIMUM= 1.499 FOR THE CIRCLE OF CENTER (200.0, 10.0)

 Execution complete, time = 11.04 seconds

 CEMENTO BINDING Taudo=25' Altura= 65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (150.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 155.0,
 GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	203.00	216.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	140.50	172.00	175.00	175.00	175.00
W IN CRACK	130.00	130.00	140.50	172.00	175.00	175.00	175.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	140.50	172.00	175.00	175.00	175.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	175.00	175.00	175.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	196.00	198.00	195.00	195.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	243.00	226.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICITION	ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00		.00
2	1.50	4.00	24.00		.00
3	1.70	6.00	25.00		.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	203.00	216.00	315.00
X-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	171.00	171.00	171.00

F.S. MINIMUM= 1.273 FOR THE CIRCLE OF CENTER (180.0, 50.0)

 Execution complete, time = 12.36 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=25° Altura= 55 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 10.0),WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 190.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	182.00	278.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	140.50	172.00	185.00	185.00	185.00
W IN CRACK	130.00	130.00	140.50	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	140.50	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	196.00	198.00	185.00	185.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	243.00	226.00

SOIL PROPERTIES -

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	182.00	278.00	315.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	183.00	183.00	183.00

F.S. MINIMUM= 1.434 FOR THE CIRCLE OF CENTER (150.0, 30.0)

 Execution complete, time = 12.46 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=30° Altura= 50 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 20.0),WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 180.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	142.00	153.00	195.00	307.00
T. CRACKS	130.00	130.00	144.00	172.00	180.00	180.00	180.00
W IN CRACK	130.00	130.00	144.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	144.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	196.00	196.00	198.00	180.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	236.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	142.00	153.00	195.00	307.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	175.00	175.00	175.00

F.S. MINIMUM= 1.492 FOR THE CIRCLE OF CENTER (130.0, 40.0)

 Execution complete, time = 12.91 seconds

 CEMENTO ANDINO TAJUD=30° ALTURA= 60 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 20.0) WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 190.0,

GEOMETRY

SECTIONS .00 65.00 87.00 142.00 171.00 193.00 240.00

T. CRACKS 130.00 130.00 144.00 172.00 190.00 190.00 190.00
 W IN CRACK 130.00 130.00 144.00 172.00 190.00 190.00 190.00
 BOUNDARY 1 130.00 130.00 144.00 172.00 190.00 190.00 190.00
 BOUNDARY 2 153.00 167.00 172.00 172.00 190.00 190.00 190.00
 BOUNDARY 3 168.00 187.00 192.00 196.00 196.00 198.00 190.00
 BOUNDARY 4 266.00 266.00 266.00 266.00 266.00 263.00 254.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	23.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	23.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS .00 65.00 87.00 142.00 171.00 193.00 240.00
 Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE 153.00 167.00 172.00 172.00 185.00 185.00 185.00

F.S. MINIMUM= 1.250 FOR THE CIRCLE OF CENTER (150.0, 40.0)

 Execution complete, time = 12.25 seconds

 CEMENTO ANDINO Taidu=35° Altura= 35 m

SEARCH STARTS AT CENTER (185.0, 20.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 185.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	144.00	175.00	260.00
T. CRACKS	130.00	130.00	146.00	170.00	185.00	185.00	185.00
W IN CRACK	130.00	130.00	146.00	170.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	146.00	170.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 2	133.00	167.00	172.00	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	194.00	195.00	198.00	185.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	254.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	144.00	175.00	260.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	180.00	180.00	180.00

F.S. MINIMUM= 1.199 FOR THE CIRCLE OF CENTER (135.0, 60.0)

 Execution complete, time = 14.33 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=35° Altura= 50 m

SEARCH STARTS AT CENTER (185.0, 20.0),WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 180.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-20.00	65.00	87.00	123.00	137.00	195.00	270.00
T. CRACKS	130.00	130.00	146.00	170.00	180.00	180.00	180.00
W IN CRACK	130.00	130.00	146.00	170.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	146.00	170.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	194.00	195.00	198.00	183.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	254.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-20.00	65.00	87.00	123.00	137.00	195.00	270.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	177.00	177.00	177.00

F.S. MINIMUM= 1.315 FOR THE CIRCLE OF CENTER (125.0, 60.0)

 Execution complete, time = 18.02 seconds

 CEMENTO ANDING Tailud=35° Altura= 45 m

SEARCH STARTS AT CENTER (180.0, 20.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 175.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	137.00	195.00	270.00
T. CRACKS	130.00	130.00	146.00	170.00	175.00	180.00	180.00
W IN CRACK	130.00	130.00	146.00	170.00	175.00	180.00	180.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	146.00	170.00	175.00	180.00	180.00
BOUNDARY 2	133.00	167.00	172.00	172.00	176.00	180.00	180.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	194.00	194.50	198.00	183.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	234.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	137.00	195.00	270.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	172.00	172.00	172.00

F.S. MINIMUM= 1.490 FOR THE CIRCLE OF CENTER (120.0, 60.0)

 Execution complete, time = 17.52 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=15° Altura=100 m

SEARCH STARTS AT CENTER (300.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 15.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 225.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	438.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	230.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	230.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	230.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	230.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	199.00	194.00	185.00	230.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	260.00	236.00	248.00	245.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	438.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	215.00

F.S. MINIMUM= .853 FOR THE CIRCLE OF CENTER (330.0, -20.0)

 Execution complete, time = 11.53 seconds

 CEMENTO ANDINO Tailud=15° Altura= 80 m

SEARCH STARTS AT CENTER (200.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 210.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	363.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	210.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	210.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.00	167.00	174.00	185.00	210.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	210.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	199.00	194.00	185.00	210.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	260.00	256.00	248.00	236.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PURE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	200.00	222.00	265.00	363.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	174.00	174.00	185.00	205.00

F.S. MINIMUM= 1.064 FOR THE CIRCLE OF CENTER (270.0, -20.0)

 Execution complete, time = 20.77 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=20° Altura= 80 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 210.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	179.00	194.00	280.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	210.00	210.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	210.00	210.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	210.00	210.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	173.00	179.00	210.00	210.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	198.00	199.00	210.00	210.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	255.00	226.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	179.00	194.00	280.00	315.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	179.00	205.00	205.00

F.S. MINIMUM= .901 FOR THE CIRCLE OF CENTER (240.0, 30.0)

 Execution complete, time = 15.98 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=20° Altura= 65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (160.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 194.0,

GEOMETRY

SECTIONS	0.00	65.00	87.00	179.00	194.00	240.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	196.00	196.00
W IN CRACK	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	196.00	196.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	138.50	173.00	179.00	196.00	196.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	173.00	179.00	196.00	196.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	198.00	199.00	196.00	196.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	255.00	226.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	0.00	65.00	87.00	179.00	194.00	240.00	315.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	179.00	194.00	194.00

F.S. MINIMUM= 1.020 FOR THE CIRCLE OF CENTER (190.0, 20.0)

 Execution complete, time = 10.72 seconds

 CEMENTO ANILIND Taudo=25° Altura= 65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (150.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 155.0,
 GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	203.00	216.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	140.50	172.00	175.00	175.00	175.00
W IN CRACK	130.00	130.00	140.50	172.00	175.00	175.00	175.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	140.50	172.00	175.00	175.00	175.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	175.00	175.00	175.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	196.00	198.00	195.00	175.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	243.00	226.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICITION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	203.00	216.00	315.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	171.00	171.00	171.00

F.S. MINIMUM= .897 FOR THE CIRCLE OF CENTER (180.0, 50.0)

 Execution complete, time = 12.20 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=25° Altura= 55 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 10.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 190.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	182.00	278.00	315.00
T. CRACKS	130.00	130.00	140.50	172.00	185.00	185.00	185.00
W IN CRACK	130.00	130.00	140.50	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	140.50	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	196.00	198.00	185.00	185.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	243.00	226.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	157.00	182.00	278.00	315.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	183.00	183.00	183.00

F.S. MINIMUM= 1.006 FOR THE CIRCLE OF CENTER (150.0, 30.0)

 Execution complete, time = 12.08 seconds

 CEMENTO BINDING TAU=30° AITURA= 50 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 20.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 180.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	142.00	153.00	193.00	307.00
T. CRACKS	130.00	130.00	144.00	172.00	180.00	180.00	180.00
W IN CRACK	130.00	130.00	144.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	144.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	196.00	196.00	198.00	180.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	236.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

POKE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	142.00	153.00	193.00	307.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	173.00	173.00	173.00

F.S. MINIMUM= 1.088 FOR THE CIRCLE OF CENTER (130.0, 40.0)

 Execution complete, time = 12.85 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=30° Altura= 60 m

SEARCH STARTS AT CENTER (190.0, 20.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 190.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	142.00	171.00	195.00	240.00
T. CRACKS	130.00	130.00	144.00	172.00	190.00	190.00	190.00
W IN CRACK	130.00	130.00	144.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	144.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	190.00	190.00	190.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	196.00	196.00	198.00	190.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	234.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	142.00	171.00	195.00	240.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	185.00	185.00	185.00

F.S. MINIMUM= .905 FOR THE CIRCLE OF CENTER (150.0, 40.0)

 Execution complete, time = 12.14 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=35° Altura= 55 m

SEARCH STARTS AT CENTER (185.0, 20.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 185.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	144.00	195.00	260.00
T. CRACKS	130.00	130.00	146.00	170.00	185.00	185.00	185.00
W IN CRACK	130.00	130.00	146.00	170.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	146.00	170.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	185.00	185.00	185.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	194.00	195.00	198.00	185.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	254.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	144.00	195.00	260.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	180.00	180.00	180.00

F.S. MINIMUM= .900 FOR THE CIRCLE OF CENTER (135.0, 60.0)

 Execution complete, time = 14.16 seconds

 CEMENTO ANDINO TAIUD=35° AITURA= 50 m

SEARCH STARTS AT CENTER (185.0, 20.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 180.0,

GEOMETRY

SECTIONS	-20.00	65.00	87.00	123.00	137.00	193.00	270.00
T. CRACKS	130.00	130.00	146.00	170.00	180.00	180.00	180.00
W IN CRACK	130.00	130.00	146.00	170.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	146.00	170.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 2	133.00	167.00	172.00	172.00	180.00	180.00	180.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	194.00	193.00	198.00	183.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	234.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	23.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	23.00	.00

PURE PRESSURE DATA

FHRATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	-20.00	65.00	87.00	123.00	137.00	193.00	270.00
Y-COORDINATE OF FHRATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	177.00	177.00	177.00

F.S. MINIMUM= .990 FOR THE CIRCLE OF CENTER (123.0, 60.0)

 Execution complete, time = 15.21 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=35° Altura= 45 m

SEARCH STARTS AT CENTER (180.0, 20.0),WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES TANGENT TO DEPTH, 175.0,

GEOMETRY

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	137.00	195.00	270.00
T. CRACKS	130.00	130.00	146.00	170.00	175.00	180.00	180.00
W IN CRACK	130.00	130.00	146.00	170.00	175.00	180.00	180.00
BOUNDARY 1	130.00	130.00	146.00	170.00	175.00	180.00	180.00
BOUNDARY 2	153.00	167.00	172.00	172.00	176.00	180.00	180.00
BOUNDARY 3	168.00	187.00	192.00	194.00	194.50	198.00	183.00
BOUNDARY 4	266.00	266.00	266.00	266.00	266.00	263.00	254.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00
2	1.90	4.00	24.00	.00
3	1.70	6.00	25.00	.00

PORE-PRESSURE DATA

PHREATIC SURFACE OPTION

SECTIONS	.00	65.00	87.00	123.00	137.00	195.00	270.00
Y-COORDINATE OF PHREATIC SURFACE	153.00	167.00	172.00	172.00	172.00	172.00	172.00

F.S. MINIMUM= 1.126 FOR THE CIRCLE OF CENTER (120.0, 60.0)

 Execution complete, time = 17.63 seconds

ANEXO 10

Execution complete, time = 11.64 seconds

F.S. MINIMUM= 1.650 FOR THE CIRCLE OF CENTER (175.0, 20.0)

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	4.00	24.00	.00
SOIL PROPERTIES				
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W. IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	258.00
SECTIONS	-100.00	40.00	191.00	350.00

GEOMETRY

ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (218.0, 215.0).

SEARCH STARTS AT CENTER (115.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

CEMENTO ANDINO TAU=20? ALTURA=65 M

 CEMENTED ANCHORING TAILUO=25° HILUra=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (77.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (179.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	40.00	158.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	256.00	256.00	256.00	256.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	4.00	24.00	.00

F.S. MINIMUM= 1.351 FOR THE CIRCLE OF CENTER (169.0, 20.0)

 Execution complete, time = 15.27 seconds

 CEMENTO ANDINO TAUO=30? ALTURA=65 M

SEARCH STARTS AT CENTER (48.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (133.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS -200.00 40.00 136.00 350.00

T1 CRACKS 150.00 150.00 213.00 213.00

W IN CRACK 150.00 150.00 213.00 213.00

BOUNDARY 1 150.00 150.00 213.00 213.00

BOUNDARY 2 286.00 286.00 213.00 213.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
I	1.70	4.00	24.00	0.00

F.S. MINIMUM= 1.165 FOR THE CIRCLE OF CENTER (148.0, 70.0)

 Execution complete, time = 15.05 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=20° Altura=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (115.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (218.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	40.00	191.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W. IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	286.00	286.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	4.00	24.00	.00

F.S. MINIMUM= 1.161 FOR THE CIRCLE OF CENTER (175.0, 10.0)

 Execution complete, time = 11.31 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=25° Altura=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (99.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (179.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	40.00	158.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	256.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	4.00	24.00	.00

F.S. MINIMUM = .979 FOR THE CIRCLE OF CENTER (169.0, 10.0)

 Execution complete, time = 12.47 seconds

 CEMENTO ANDINO TAJUD=30° ALTURA=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (48.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (153.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-200.00	40.00	135.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	236.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	4.00	24.00	.00

F.S. MINUM= .891 FOR THE CIRCLE OF CENTER (148.0, 60.0)

 Execution complete, time = 13.40 seconds

 CEMENTO ANDINO TAU=20° ALTURA=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (115.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (215.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	40.00	171.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	266.00	266.00	266.00	266.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00

F.S. MINIMUM= 1.903 FOR THE CIRCLE OF CENTER (165.0, 40.0)

 Execution complete, time = 11.70 seconds

 CEMENTO ANDINO Taiud=25° Aituras=63 m

SEARCH STARTS AT CENTER (99.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (179.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS -100.00 40.00 158.00 350.00

T. CRACKS 150.00 150.00 215.00 215.00
 W IN CRACK 150.00 150.00 215.00 215.00
 BOUNDARY 1 150.00 150.00 215.00 215.00
 BOUNDARY 2 286.00 286.00 266.00 266.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00

F.S. MINIMUM= 1.600 FOR THE CIRCLE OF CENTER (169.0, 10.0)

 Execution complete, time = 12.69 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=30° Altura=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (48.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (133.0, 213.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-200.00	40.00	136.00	330.00
T. CRACKS	150.00	150.00	213.00	213.00
W IN CRACK	150.00	150.00	213.00	213.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	213.00	213.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	266.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00

F.S. MINIMUM= 1.383 FOR THE CIRCLE OF CENTER (148.0, 60.0)

 Execution complete, time = 13.73 seconds

 CEMENTO ANDINO TAIUG=35° Altura=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (39.5, 30.0) WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (133.0, 215.0)

GEOMETRY

SOIL PROPERTIES				
SECTIONS	DENSITY	-COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	256.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
M IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
SECTIONS	-200.00	40.00	119.00	350.00

LAYER I
 DENSITY 1.70
 -COHESION 6.00
 FRICTION ANGLE 25.00
 DELTA PHI .00

F.S. MINIMUM= 1.219 FOR THE CIRCLE OF CENTER (129.5, 100.0)

 Execution complete, time = 19.88 seconds

 CEMENTED SANDING $\tau_{cu}=20$ $\sigma'_{at} \tau_{cu}=65$ m

SEARCH STARTS AT CENTER (15.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (218.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	40.00	171.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	256.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00

F.S. MINIMUM= 1.337 FOR THE CIRCLE DE CENTER (165.0, 30.0)

 Execution complete, time = 10.22 seconds

 -CEMENTO ANDINO Talud=25° Altura=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (99.0, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0
 ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (179.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-100.00	40.00	158.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W. IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	256.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	0.00

F.S. MINIMUM= 1.201 FOR THE CIRCLE OF CENTER (149.0, 50.0)

 Execution complete, time = 9.94 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=30° Altura=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (148.0, 50.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (153.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-200.00	40.00	136.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	256.00

SOIL PROPERTIES:

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00

F.S. MINIMUM= 1.058 FOR THE CIRCLE OF CENTER (148.0, 50.0)

 Execution complete, time = 12.19 seconds

 CEMENTO ANDINO Talud=35° Altura=65 m

SEARCH STARTS AT CENTER (39.5, 30.0), WITH FINAL GRID OF 10.0

ALL CIRCLES PASS THROUGH THE POINT (133.0, 215.0)

GEOMETRY

SECTIONS	-200.00	40.00	119.00	350.00
T. CRACKS	150.00	150.00	215.00	215.00
W IN CRACK	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 1	150.00	150.00	215.00	215.00
BOUNDARY 2	286.00	286.00	266.00	256.00

SOIL PROPERTIES

LAYER	DENSITY	COHESION	FRICTION ANGLE	DELTA PHI
1	1.70	6.00	25.00	.00

F.S. MINIMUM= .960 FOR THE CIRCLE OF CENTER (129.5, 90.0)

 Execution complete, time = 18.24 seconds

ANEXO 11

```

*****
* *****
* *
* * ----- * *
* * ISLOPE - slope stability analysis * *
* * Revision 2.40 - 02/12/85 * *
* * ----- * *
* * TAGA Engineering Software Services * *
* * Berkeley, California * *
* * IBM PC & 8086/8088 MS-DOS Version by * *
* * Design Professionals Management Systems * *
* * Kirkland, Washington * *
* * copyright (c) 1983, 1984 TAGA * *
* * copyright (c) 1983, 1984 DPMS * *
* *
* *****
*****

```

```

*****
CEMENTO ANDINO - CONDORCOCHA - ESTABILIDAD DE TALUDES
METODO DE SPENCER - MECANISMO DE FALLA NO CIRCULAR
TALUD : 20 ALTURA : 63 m
*****

```

 INPUT DATA

CONTROL DATA:

NUMBER OF TRIAL SLIP SURFACES	=	1
NUMBER OF SPECIFIED SLOPE POINTS	=	4
NUMBER OF POINT LOADS	=	0
NUMBER OF PRESSURE LOADS	=	1
INITIAL ESTIMATE OF F	=	3.000
INITIAL ESTIMATE OF THETA	=	10.000
ALLOWABLE FORCE IMBALANCE	=	10.000
ALLOWABLE MOMENT IMBALANCE	=	100.000
SEISMIC COEFFICIENT	=	.150
ATMOSPHERIC PRESSURE	=	.000
UNIT WEIGHT OF WATER	=	1.000

SLOPE POINTS COORDINATES

X	Y
5.00	100.00
115.00	100.00
270.00	155.00
380.00	165.00

POINTS DEFINING PHREATIC SURFACE

X	Y
5.00	115.00
137.00	142.00
233.00	144.00
273.00	160.00
380.00	160.00

BOUNDARY FORCES AND PRESSURES

PRESSURE LOADS		POINT B	
X-COORD	PRESSURE	X-COORD	PRESSURE
50.00	25.0000	90.00	25.0000

***** SLIP SURFACE NUMBER: - 1 *****

NUMBER OF SLICE = 9

SLICE DATA

X	Y	GAMMA	U
50.00	100.00	1.70	.00
77.00	129.00	1.73	4.37
97.00	143.00	1.75	9.85
116.00	149.00	1.75	11.56
138.00	155.00	1.77	13.62
169.00	157.00	1.75	15.44
201.00	160.00	1.85	17.28
233.00	162.00	1.90	11.44
265.00	164.00	1.90	4.33
290.00	165.00		

CEE	PHI	DPHI
6.00	25.00	.00
6.00	25.00	.00
6.00	25.00	.00
6.00	25.00	.00
6.00	25.00	.00
5.00	24.50	.00
4.00	24.00	.00
4.00	24.00	.00
4.00	24.00	.00

 RESULTS

ITERATION	F	THETA DEGREES	EXCESS FORCE	EXCESS MOMENT
1	3.000	10.0	-3203.7	357485.8
2	2.000	8.8	-2226.7	241820.2
3	1.000	2.1	338.5	-132238.7
4	1.089	12.1	228.4	-59159.7
5	1.133	22.1	33.0	-13724.7
6	1.180	26.7	.1	33.8
7	1.180	26.7	.0	.0

SECTION NUMBER	X COORDINATE	INTERSLICE FORCES			EFFECTIVE STRESSES ON SLIP SURFACE		NO TENSID
		FORCE	THETA	FOA	NORMAL	SHEAR	
0	50.00	0.0	0.0	0.0	.0	.0	
1	77.00	479.6	26.7	.01	23.4	15.1	
2	97.00	962.7	26.7	.13	46.8	23.6	
3	116.00	1077.4	26.7	.14	58.7	28.3	
4	138.00	1149.9	26.7	.17	62.1	29.6	
5	169.00	634.9	26.7	.22	65.6	31.0	
6	201.00	391.1	26.7	.31	42.9	20.8	
7	233.00	235.7	26.7	.41	26.8	13.5	
8	265.00	106.4	26.7	.59	14.9	7.0	
9	290.00	.0	26.7	.00	3.2	3.4	

 COMPUTED FACTOR OF SAFETY = 1.180

***** SLIP SURFACE NUMBER - 2 *****

NUMBER OF SLICES = 9

SLICE DATA

X	Y	GAMMA	U	CEE	PHI	DPHI
64.00	100.00	1.70	.00	6.00	25.00	.00
77.00	113.00	1.70	.00	6.00	25.00	.00
97.00	133.00	1.77	2.27	6.00	25.00	.00
116.00	143.00	1.77	8.73	6.00	25.00	.00
138.00	155.00	1.77	13.62	6.00	25.00	.00
169.00	157.00	1.75	15.44	5.00	24.50	.00
201.00	160.00	1.85	17.28	4.00	24.00	.00
233.00	162.00	1.90	11.44	4.00	24.00	.00
265.00	164.00	1.90	4.33	4.00	24.00	.00
290.00	165.00					

 RESULTS

ITERATION	F	THETA DEGREES	EXCESS FORCE	EXCESS MOMENT
1	3.000	10.0	-2934.4	321268.7
2	2.000	9.0	-2072.1	221228.6
3	1.000	3.6	386.3	-97623.2
4	1.073	13.6	172.4	-46306.3
5	1.134	23.6	46.9	-12868.4
6	1.161	28.2	.1	40.3
7	1.161	28.2	.0	.0

SECTION NUMBER	X COORDINATE	INTERSLICE FORCES			EFFECTIVE STRESSES ON SLIP SURFACE		NO TENSILE
		FORCE	THETA	FUA	NORMAL	SHEAR	
0	64.00	0.0	0.0	0.0	.0	.0	
1	77.00	116.1	28.2	-.30	19.0	12.8	
2	97.00	324.7	28.2	.12	28.9	16.8	
3	116.00	778.9	28.2	.18	48.9	23.6	
4	138.00	1233.5	28.2	.22	47.2	24.1	
5	169.00	683.8	28.2	.28	66.5	31.7	
6	201.00	417.9	28.2	.38	43.3	21.3	
7	233.00	281.1	28.2	.46	27.1	13.8	
8	265.00	112.2	28.2	.43	15.2	9.3	
9	290.00	.0	28.2	.00	5.4	5.5	

 COMPUTED FACTOR OF SAFETY = 1.161

***** SLIP SURFACE NUMBER = 3 *****

NUMBER OF SLICES = 8

SLICE DATA

X	Y	GAMMA	U	CEE	PHI	DPHI
77.00	100.00	1.70	.00	6.00	25.00	.00
97.00	133.00	1.77	2.27	6.00	25.00	.00
118.00	143.00	1.77	8.73	6.00	25.00	.00
138.00	155.00	1.77	13.62	6.00	25.00	.00
169.00	157.00	1.75	15.44	5.00	24.50	.00
201.00	160.00	1.85	17.28	4.00	24.00	.00
233.00	162.00	1.90	11.44	4.00	24.00	.00
265.00	164.00	1.90	4.33	4.00	24.00	.00
290.00	165.00					

RESULTS

ITERATION	F	THETA DEGREES	EXCESS FORCE	EXCESS MOMENT
1	3.000	10.0	-2735.1	301420.0
2	2.000	9.0	-1913.9	203373.3
3	1.000	3.5	409.4	-100037.1
4	1.037	13.5	170.6	-43633.4
5	1.133	23.3	47.3	-13496.4
6	1.170	28.9	.2	39.2
7	1.190	28.8	.0	.0

SECTION NUMBER	X COORDINATE	INTERSLICE FORCES			EFFECTIVE STRESSES ON SLIP SURFACE		NO TENSIO
		FORCE	THETA	FOA	NORMAL	SHEAR	
0	77.00	0.0	0.0	0.0	.0	.0	
1	97.00	428.2	28.8	.12	13.6	11.1	
2	116.00	675.9	28.8	.19	45.8	23.0	
3	138.00	1166.9	28.8	.22	47.0	23.3	
4	169.00	642.4	28.8	.23	66.3	31.1	
5	201.00	396.8	28.8	.33	43.2	20.8	
6	233.00	240.1	28.8	.43	27.0	13.5	
7	265.00	109.1	28.8	.44	13.1	9.0	
8	290.00	.0	28.8	.00	3.4	3.4	

COMPUTED FACTOR OF SAFETY = 1.190

***** SLIP SURFACE NUMBER - 4 *****

NUMBER OF SLICES = 7

SLICE DATA

X	Y	GAMMA	U	CEE	PHI	DPHI
91.00	100.00	1.70	.00	6.00	25.00	.00
116.00	137.00	1.78	6.06	6.00	25.00	.00
138.00	153.00	1.77	13.62	6.00	25.00	.00
169.00	137.00	1.75	15.44	5.00	24.50	.00
201.00	160.00	1.85	17.28	4.00	24.00	.00
233.00	162.00	1.90	11.44	4.00	24.00	.00
265.00	164.00	1.90	4.33	4.00	24.00	.00
290.00	165.00					

 RESULTS

ITERATION	F	THETA DEGREES	EXCESS FORCE	EXCESS MOMENT
1	3.000	10.0	-2271.0	248160.4
2	2.000	8.9	-1561.9	165435.2
3	1.000	5.3	439.0	-77808.0
4	1.111	13.3	173.2	-44256.7
5	1.187	23.3	62.4	-16950.2
6	1.256	32.4	.7	293.8
7	1.255	32.2	.0	.0

SECTION NUMBER	X COORDINATE	INTERSLICE FORCES		EFFECTIVE STRESSES ON SLIP SURFACE		NO TENSIO
		FORCE	THETA	NORMAL	SHEAR	
0	91.00	0.0	0.0	.0	.0	
1	116.00	348.3	32.2	10.7	8.8	
2	138.00	1057.8	32.2	55.9	18.1	
3	169.00	571.2	32.2	66.6	29.6	
4	201.00	538.7	32.2	43.1	19.7	
5	233.00	224.0	32.2	26.9	12.7	
6	265.00	106.1	32.2	13.1	8.6	
7	290.00	.0	32.2	5.6	5.2	

 COMPUTED FACTOR OF SAFETY = 1.255

ANEXO 12

***** SLIP SURFACE NUMBER - 2 *****

NUMBER OF SLICES = 9

SLICE DATA

X	Y	GAMMA	U	CEE	PHI	DFHI
64.00	100.00	1.70	.00	6.00	25.00	.00
77.00	113.00	1.70	.00	6.00	25.00	.00
97.00	133.00	1.77	2.27	6.00	25.00	.00
116.00	143.00	1.77	8.73	6.00	25.00	.00
136.00	153.00	1.77	13.62	6.00	25.00	.00
169.00	157.00	1.75	15.44	5.00	24.50	.00
201.00	160.00	1.85	17.25	4.00	24.00	.00
233.00	162.00	1.90	11.44	4.00	24.00	.00
265.00	164.00	1.90	4.33	4.00	24.00	.00
290.00	165.00					

 INPUT DATA - PHREATIC SURFACE *** a ***

CONTROL DATA,

NUMBER OF TRIAL SLIP SURFACES 1
 NUMBER OF SPECIFIED SLOPE POINTS 4
 NUMBER OF POINT LOADS 0
 NUMBER OF PRESSURE LOADS 1

INITIAL ESTIMATE OF F = 3.000
 INITIAL ESTIMATE OF THETA = 10.000
 ALLOWABLE FORCE IMBALANCE = 10.000
 ALLOWABLE MOMENT IMBALANCE = 100.000
 SEISMIC COEFFICIENT = .150
 ATMOSPHERIC PRESSURE = .000
 UNIT WEIGHT OF WATER = 1.000

SLOPE POINTS COORDINATES

X	Y
5.00	100.00
115.00	100.00
290.00	165.00
380.00	165.00

POINTS DEFINING PHREATIC SURFACE

X	Y
5.00	115.00
140.00	142.00
230.00	144.00
279.00	150.00
380.00	150.00

BOUNDARY FORCES AND PRESSURES

PRESSURE LOADS

POINT A		POINT B	
X-COORD	PRESSURE	X-COORD	PRESSURE
50.00	25.0000	90.00	25.0000

 RESULTS *** a ***

ITERATION	F	THETA DEGREES	EXCESS FORCE	EXCESS MOMENT
1	3.000	10.0	-12745.8	322604.4
2	2.000	9.0	-12088.6	223204.0
3	1.000	3.8	355.1	-72787.9
4	1.068	13.8	163.2	-45542.1
5	1.126	23.8	48.0	-13210.9
6	1.133	28.6	.2	46.6
7	1.133	28.6	.0	.0

SECTION NUMBER	X COORDINATE	INTERSLICE FORCES			EFFECTIVE STRESSES ON SLIP SURFACE		NO TENSION
		FORCE	THETA	POA	NORMAL	SHEAR	
0	64.00	0.0	0.0	0.0	.0	.0	
1	77.00	115.0	28.6	-.21	19.0	12.7	
2	97.00	521.3	28.6	.11	26.8	16.8	
3	116.00	777.3	28.6	.18	45.4	23.8	
4	138.00	1235.3	28.6	.22	48.8	24.0	
5	167.00	674.8	28.6	.26	66.7	32.1	
6	201.00	405.8	28.6	.35	48.5	21.5	
7	238.00	227.7	28.6	.44	27.3	14.0	
8	265.00	97.5	28.6	.42	14.8	9.1	
9	290.00	.0	28.6	.00	3.7	3.0	

 COMPUTED FACTOR OF SAFETY = 1.133

 INPUT DATA - PHREATIC SURFACE *** D ***

CONTROL DATA:

NUMBER OF TRIAL SLIP SURFACES 1
 NUMBER OF SPECIFIED SLOPE POINTS 4
 NUMBER OF POINT LOADS 0
 NUMBER OF PRESSURE LOADS 1

INITIAL ESTIMATE OF F = 3.000
 INITIAL ESTIMATE OF THETA = 10.000
 ALLOWABLE FORCE IMBALANCE = 10.000
 ALLOWABLE MOMENT IMBALANCE = 100.000
 SEISMIC COEFFICIENT = .150
 ATMOSPHERIC PRESSURE = 1.000
 UNIT WEIGHT OF WATER = 1.000

SLOPE POINTS COORDINATES

X
 Y
 5.00 100.00
 115.00 100.00
 290.00 185.00
 380.00 185.00

POINTS DEFINING PHREATIC SURFACE

X
 Y
 5.00 118.00
 140.00 153.00
 240.00 165.00
 380.00 165.00

BOUNDARY FORCES AND PRESSURES

PRESSURE LOADS

POINT A
 X-COORD PRESSURE

50.00 25.0000

POINT B

X-COORD PRESSURE

90.00 25.0000

 RESULTS *** D ***

ITERATION	F	THETA DEGREES	EXCESS FORCE	EXCESS MOMENT
1	3.000	10.0	-2609.7	280929.1
2	2.000	8.2	-1558.8	161927.2
3	1.346	-1.8	-240.7	-23271.8
4	1.388	8.2	-178.4	-17144.5
5	1.384	18.2	-97.1	-7431.4
6	1.386	25.2	.9	229.2
7	1.386	25.2	.0	.0

SECTION NUMBER	X COORDINATE	INTERSLICE FORCES			EFFECTIVE STRESSES ON SLIP SURFACE		NO TENSION
		FORCE	THETA	POA	NORMAL	SHEAR	
0	64.00	0.0	0.0	0.0	.0	.0	
1	77.00	132.8	25.2	-.16	20.0	11.2	
2	97.00	636.6	25.2	.16	20.0	14.6	
3	116.00	948.4	25.2	.20	20.0	20.0	
4	138.00	1419.7	25.2	.33	20.0	22.0	
5	169.00	918.5	25.2	.29	78.6	20.0	
6	201.00	608.7	25.2	.23	38.4	22.0	
7	233.00	327.6	25.2	.17	46.6	17.2	
8	265.00	118.8	25.2	.11	26.3	11.4	
9	290.00	.0	25.2	.00	9.8	5.8	

 COMPUTED FACTOR OF SAFETY = 1.386

 INPUT DATA - PHREATIC *****
 ***** C *****

CONTROL DATA,
 NUMBER OF TRIAL SLIP SURFACES = 1
 NUMBER OF SPECIFIED SLOPE POINTS = 4
 NUMBER OF POINT LOADS = 0
 NUMBER OF PRESSURE LOADS = 1

INITIAL ESTIMATE OF F = 3.000
 INITIAL ESTIMATE OF THETA = 10.000
 ALLOWABLE FORCE IMBALANCE = 10.000
 ALLOWABLE MOMENT IMBALANCE = 100.000
 SEISMIC COEFFICIENT = .150
 ATMOSPHERIC PRESSURE = .000
 UNIT WEIGHT OF WATER = 1.000

SLOPE POINTS COORDINATES
 X Y
 5.00 100.00
 115.00 100.00
 270.00 165.00
 350.00 165.00

POINTS DEFINING PHREATIC SURFACE
 X Y
 5.00 125.00
 140.00 165.00
 242.00 165.00
 270.00 165.00
 350.00 165.00

BOUNDARY FORCES AND PRESSURES

PRESSURE LOADS
 POINT A POINT B
 X-COORD PRESSURE X-COORD PRESSURE
 50.00 25.0000 90.00 25.0000

 RESULTS *** C ***

ITERATION	F	THETA DEGREES	EXCESS FORCE
1	3.000	10.0	-2597.5
2	2.000	8.2	-1577.7
3	1.377	-1.8	-315.2
4	1.396	8.2	-248.5
5	1.407	12.2	-142.6
6	1.394	25.1	1.0
7	1.394	25.0	.0

SECTION NUMBER	X COORDINATE	INTERSLICE FORCES		
		FORCE	THETA	FOA
0	64.00	0.0	0.0	0.0
1	77.00	155.4	25.0	-.16
2	97.00	637.0	25.0	.16
3	116.00	954.0	25.0	.20
4	138.00	1428.2	25.0	.25
5	167.00	933.7	25.0	.29
6	201.00	524.0	25.0	.33
7	233.00	336.7	25.0	.37
8	263.00	121.2	25.0	.36
9	290.00	.0	25.0	.00

 COMPUTED FACTOR OF SAFETY = 1.394

EXCESS

MOMENT

279444.4

159706.2

-14303.6

-9156.6

-2821.7

277.3

.0

EFFECTIVE STRESSES ON SLIP SURFACE

NORMAL

SHEAR

.0

.0

NO TENSION

20.1

11.0

30.6

14.2

49.0

20.7

57.0

26.4

73.6

30.6

56.8

22.8

48.2

17.4

27.3

11.6

9.7

6.0

ANEXO 13

Solicitante : Cemento Andino
 Proyecto : Estabilidad de Taludes
 Lugar : Condorcocha - Tarma
 Operador : J. G. L.

ENERO 16/88

Estac.	Punto	DIRECTA						INVERTIDA					
		X H			X V			X H			X V		
		0	1	11	0	1	11	0	1	11	0	1	11
Ba	bi	0	0	0	91	51	35	180	0	0	268	07	55
	Pr1	64	15	35	93	42	0	244	15	45	266	17	25
	Pr2	86	13	45	93	24	0	266	14	5	266	35	15
	Pr3	87	47	0	93	24	5	267	47	15	266	35	20
	Pr4	89	39	35	93	23	55	269	39	55	266	35	25
	Pr5	86	20	35	95	25	5	266	20	25	264	34	15
	Pr6	87	46	45	95	27	55	267	46	40	264	31	10
	Pr7	89	43	15	95	26	55	269	43	30	264	32	35
	Pr8	108	17	35	94	42	50	288	17	50	265	16	25
	S2	69	19	10	95	40	55	249	19	25	264	18	30
	S1	86	36	35	96	33	55	266	36	45	263	25	20
	20B	118	35	25	98	3	35	298	35	40	261	55	55
	bi	0	0	0	91	51	35	180	0	0	268	8	0
bi	Ba	0	0	0	88	39	35	180	0	0	271	19	55
	Pr1	275	59	5	93	07	21	95	59	5	266	51	55
	Pr2	300	42	15	92	01	25	120	42	5	267	57	50
	Pr3	301	51	55	91	59	35	121	51	55	267	59	25
	Pr4	303	14	15	91	57	45	123	14	20	268	01	45
	Pr5	300	49	55	93	45	45	120	49	55	266	13	30
	Pr6	301	54	5	93	45	30	121	53	55	266	13	45
	Pr7	303	18	20	93	40	30	123	18	5	266	18	45
	Pr8	314	26	45	92	48	30	134	26	35	267	10	45
	S2	286	40	20	94	47	20	106	40	15	265	11	55
	S1	303	15	45	94	33	25	123	25	50	265	25	45
	20B	325	0	10	94	28	40	145	0	20	265	30	35
	Ba	0	0	0	88	39	35	180	0	0	271	20	0

Solicitante : Cemento Andino
 Proyecto : Estabilidad de Taludes
 Lugar : Condorcocha - Tarma
 Operador : J. G. L.

ABRIL 27/88

ESTAC.	PUNTO	DIRECTA						INVERTIDA					
		X H			X V			X H			X V		
		0	1	11	0	1	11	0	1	11	0	1	11
Ba	bi	0	0	0	91	53	0	180	0	0	268	6	30
	Pr1	64	15	25	93	42	30	244	15	30	266	16	30
	Pr2	86	13	50	93	24	45	266	13	45	266	34	10
	Pr3	87	46	50	93	24	35	267	46	35	266	34	20
	Pr4	89	39	25	93	24	35	269	39	35	266	34	35
	Pr5	86	20	10	95	25	50	266	20	25	264	33	45
	Pr6	87	46	25	95	28	50	267	46	35	264	30	30
	Pr7	89	43	15	95	27	35	269	43	25	264	31	50
	Pr8	108	18	0	94	43	40	288	18	0	265	15	35
	S2	69	18	45	95	41	45	249	19	15	264	17	40
	S1	86	36	35	96	34	45	266	36	35	263	24	20
	20B	118	35	25	98	4	20	298	35	30	261	54	45
	bi	0	0	0	91	52	55	180	0	0	268	6	30
bi	Ba	0	0	0	88	40	10	180	0	0	271	19	20
	Pr1	275	59	10	93	9	45	95	59	10	266	49	25
	Pr2	300	42	20	92	2	5	120	4	25	167	57	5
	Pr3	301	52	10	92	0	20	121	51	50	167	58	50
	Pr4	303	14	40	91	58	0	123	14	40	168	1	5
	Pr5	300	50	25	93	46	30	120	4	60	266	13	5
	Pr6	301	54	50	93	45	55	121	54	0	266	13	10
	Pr7	303	19	10	93	41	5	123	18	5	266	18	10
	Pr8	314	27	30	92	49	5	134	26	50	267	10	15
	S2	286	40	55	94	47	55	106	40	20	265	11	0
	S1	303	16	30	94	34	0	123	48	30	265	18	25
	20B	325	0	45	94	29	10	145	0	10	265	30	5
	Ba	0	0	0	88	40	15	180	0	0	271	19	5

Solicitante : Cemento Andino
 Proyecto : Estabilidad de Toludes
 Lugar : Condorcocha - Tarma
 Operador : J. G. L.

AGOSTO 30/88

ESTAC	PUNTO	DIRECTA						INVERTIDA					
		4H			4V			4H			4V		
		0	1	11	0	1	11	0	1	11	0	1	11
Ba	bi	0	0	0	91	52	5	180	0	0	268	7	15
	Pr1	64	16	35	93	41	50	244	15	5	266	17	0
	Pr2	86	14	45	93	24	5	266	13	30	266	34	55
	Pr3	87	48	00	93	24	15	267	46	45	266	35	10
	Pr4	89	40	55	93	24	10	269	39	25	266	44	55
	Pr5	86	21	45	95	25	10	266	20	0	264	33	55
	Pr6	87	47	40	95	28	5	267	46	0	264	31	0
	Pr7	89	44	25	95	27	15	269	43	0	264	32	20
	Pr8	108	18	55	94	43	5	288	17	20	265	16	0
	S2	69	19	60	95	41	10	249	19	0	264	18	0
	S1	86	37	25	96	34	0	266	36	10	263	25	15
	20B	118	36	20	98	3	40	298	34	60	261	55	20
bi	0	0	0	91	52	5	180	0	0	268	9	5	
bi	Ba	0	0	0	88	39	35	180	0	0	271	19	40
	Pr1	275	58	50	93	09	45	95	58	60	266	49	40
	Pr2	300	42	0	92	01	45	120	42	10	267	57	25
	Pr3	301	59	40	91	59	35	121	51	30	267	59	20
	Pr4	303	14	10	91	51	40	123	13	60	268	1	20
	Pr5	300	49	40	93	45	55	120	49	60	266	13	20
	Pr6	302	53	55	93	45	20	121	53	40	266	13	25
	Pr7	303	18	5	93	40	35	123	17	45	266	18	15
	Pr8	314	26	40	92	48	35	134	26	10	267	10	35
	S2												
	S1												
	20B	325	0	5	94	28	40	145	0	10	265	30	15
Ba	0	0	0	88	39	15	180	0	0	271	19	30	

Solicitante : Cemento Andino
 Proyecto : Estabilidad de Taludes
 Lugar : Condorcocha - Tarma
 Operador : J. G. L

DICIEMBRE 19/88

ESTAC	PUNTO	DIRECTA						INVERTIDA					
		Z H			Z V			Z H			Z V		
		0	1	11	0	1	11	0	1	11	0	1	11
Ba	bi	0	0	0	91	51	35	180	0	0	268	07	55
	Pr1	64	15	35	93	42	0	244	15	45	266	17	25
	Pr2	86	13	45	93	24	0	266	14	5	266	35	15
	Pr3	87	47	0	93	24	5	267	47	15	266	35	20
	Pr4	89	39	35	93	23	55	269	39	55	266	35	25
	Pr5	86	20	35	95	25	5	266	20	25	264	34	15
	Pr6	87	46	45	95	27	55	267	46	40	264	31	10
	Pr7	89	43	15	95	26	55	269	43	30	264	32	35
	Pr8	108	17	35	94	42	50	288	17	50	265	16	25
	Sz	69	19	10	95	40	55	249	19	25	264	18	30
	Si	86	36	30	96	33	55	266	36	45	263	25	20
	20B	118	35	25	98	03	35	298	35	40	261	55	55
	bi	0	0	0	91	51	35	180	0	0	268	8	0
bi	Ba	0	0	0	88	39	35	180	0	0	271	19	55
	Pr1	275	59	5	93	07	21	95	59	35	266	51	55
	Pr2	300	42	15	92	1	25	120	42	35	267	57	50
	Pr3	301	51	55	91	59	35	121	52	25	267	59	25
	Pr4	303	14	15	91	57	45	123	14	50	268	1	45
	Pr5	300	49	55	93	45	45	121	50	25	266	13	30
	Pr6	301	54	5	93	45	30	121	54	25	266	18	45
	Pr7	303	18	20	93	40	30	123	18	55	266	13	45
	Pr8	314	26	45	92	48	30	134	27	5	267	10	45
	Sz	286	40	20	94	47	20	106	40	45	265	11	55
	Si	303	15	45	94	33	25	123	26	20	265	25	45
	20B	325	0	10	94	28	40	145	0	50	265	30	35
	Ba	0	0	0	88	39	35	180	0	0	271	20	0