

116

2 Eyr.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

"ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA ZONA DE LA BOQUILLA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO ITZANTUN, CHIS."

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

PEDRO ALFONSO MIRANDA REYES

México, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

AGRADECIMIENTO

OBJETIVO

	Página
Indice de ilustraciones	iv
Indice de gráficas	ix
Indice de tablas	xi
1.- INTRODUCCION	1
2.- DESCRIPCION DEL PROYECTO	4
2.1. Area del proyecto	4
2.2. Vías de acceso	4
2.3. Aspectos hidrológicos	6
2.3.1. Estaciones hidrométricas y climatológicas	6
2.4. Geología regional	7
2.4.1. Fisiología y morfología	7
2.4.2. Estructura geológica	9
2.5. Sísmica	13
2.6. Descripción de las obras	14
2.6.1. Obras de desvío	14
2.6.2. Obras de excedencias	15
2.6.3. Planta hidroeléctrica	16

	Página
3.- ESTEREOGRAFIA	20
3.1. Introducción	
3.2. Representación estereográfica de datos geológicos	21
3.3. Análisis estereográfico de estabilidad de taludes en masas rocosas	35
3.3.1. Mecanismos de falla y análisis cinemático	35
3.3.2. Análisis estático de estabilidad de un bloque en un plano potencial de deslizamiento	39
3.3.3. Análisis estático de estabilidad de una cuña en la intersección de dos planos potenciales de deslizamiento	50
3.3.4. Análisis estático de estabilidad de una cuña en la intersección de tres planos potenciales de deslizamiento	53
3.4. Representación matemática de la proyección estereográfica	56
3.4.1. Proyección estereográfica de un plano	56
3.4.2. Proyección estereográfica de una normal a un plano	64
3.4.3. Proyección estereográfica del cono de fricción	65
3.4.4. Proyección estereográfica de las líneas de intersección que forma un plano normal a una superficie con el cono de fricción	70

	Página
3.4.5. Proyección estereográfica de un pla no común a dos líneas	74
3.4.6. Operaciones con vectores en el es- pacio	77
 4.- RECOPIACION DE DATOS GEOLOGICOS	 85
4.1. Estructura geológica de la boquilla	85
4.1.1. Morfología y estructura	85
4.1.2. Estratigrafía	87
4.1.3. Fracturamiento	89
4.2. Descripción de socavones	91
4.2.1. Margen izquierda	91
4.2.2. Margen derecha	99
4.3. Levantamiento de socavones	105
4.4. Caracterización del macizo rocoso	136
4.4.1. Antecedentes	136
4.4.2. Propiedades geomecánicas de la roca intacta	138
 5.- ANALISIS DE ESTABILIDAD	 141
5.1. Estabilidad general de la margen izquierda	141
5.1.1. Introducción	141
5.1.2. Hipótesis	142
5.1.3. Geometría y peso de los bloques ana lizados	144
5.1.4. Análisis estereográfico	147
5.1.5. Presentación de resultados	148

	Página
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	192
6.1. Conclusiones	192
6.1.1. Deformabilidad del macizo rocoso	192
6.1.2. Estabilidad de la margen izquierda	192
6.1.3. Estabilidad de la margen derecha	194
6.2. Recomendaciones generales	195.
 BIBLIOGRAFIA	 197

I L U S T R A C I O N E S

Lámina	anterior página
4.1. Fracturamiento en el sitio de la boquilla	92
 Figura	 página
2.1. Localización del Proyecto Hidroeléctrico de Itzantún	5
2.2. Vista del "Horst de Itzantún" en el sitio de la cortina	11
2.3. Evolución tectónica estructural del sitio	12
2.4. Vista de la falla de Itzantún con rumbo E-W	13
 3.1. Proyección de una línea en el plano de proyección ecuatorial	 22
3.2. Sección vertical	23

Figura	Página
3.3. Representación de un plano inclinado en la esfera de referencia	26
3.4. Estereograma ecuatorial de igual ángulo	26
3.5. (a,b,c,d,e) Representación estereográfica de una línea	27
3.6. (a,b,c,d) Proyección de un plano dados su rumbo y su echado	30
3.7. (a,b,c) Representación estereográfica de la línea de intersección de dos planos	33
3.8. Deslizamiento de un bloque sobre un plano y su representación típica en el estereograma	35
3.9. Deslizamiento de un bloque en la intersección de dos planos de deslizamiento y su representación en el estereograma	36
3.10. Deslizamiento de un bloque en la intersección de tres planos y su representación típica en el estereograma	37
3.11. Falla circular y su representación en el estereograma	38
3.12. Falla por volteo y su representación en el estereograma	39
3.13. Representación de la definición de ángulo de fricción estereográficamente	40
3.14. Proyección estereográfica del cono de fricción	41
3.15. Cálculo del ángulo entre dos fuerzas y de la magnitud de la resultante	43
3.16. Zona estable de un bloque de peso w , sobre un	

Figura	Página
plano potencial de deslizamiento con rumbo N-S y echado 40° E. $\phi=30^\circ$	46
3.17. Fuerza de anclaje requerida para F.S.=1	47
3.18. Plano de falla con dirección E-W y echado 50° W $\phi=40^\circ$, $U=0.44w$ y una fuerza externa $E=0.6w$. $R=$ $S45^\circ$ W y echado igual a 10° . Coeficiente sísmico igual a $0.15w$	48
3.19. Fuerza de anclaje necesaria para F.S.=1	49
3.20. Factor de seguridad con drenaje al 100% de efi- ciencia	49
3.21. Ejemplo de análisis para una cuña: N1 $R=N60^\circ$ W echado 38° ; $\phi_1=25^\circ$; N2 $R=S52^\circ$ E echado 32° y $\phi_2=$ 30° .	52
3.22. Posibilidades de deslizamiento de un bloque en la intersección de tres planos de deslizamiento	53
3.23. Ejemplo de zona estable para tres planos poten- ciales de deslizamiento	55
3.24. Representación gráfica de un punto que corta a una esfera en coordenadas esféricas	56
3.25. Representación gráfica de un punto ortogonal a ortogonal a otro en coordenadas esféricas	58
3.26. Representación matemática de un punto en la pro- yección estereográfica	62
3.27. Ejemplo de análisis por computadora con los da- tos del ejemplo del inciso 3.3.2.	82
3.28. Ejemplo de análisis por computadora con los da- tos del ejemplo del inciso 3.3.3.	83

Figura	Página
3.29. Ejemplo de análisis por computadora con datos del ejemplo del inciso 3.3.4.	84
4.1. Vista de la boquilla en el sitio de la cortina. Las paredes del cañón están formadas por roca caliza, cuyas tres unidades litológicas se han estudiado en el sitio. Se pueden observar los portales de entrada a los socavones.	85
4.2. Contacto litológico entre las unidades 2 y 3	89
4.3. Prueba de placa flexible. Los ensayos se hicieron empleando gatos hidráulicos y placas de distribución, aplicando las cargas directamente contra las paredes del socavón	137
4.4. Prueba de corte directo. Estos ensayos consistieron en labrar en el piso con herramienta de mano para obtener bloques de roca de 70x70 cms. de sección transversal y 35 cms de peralte. Estos bloques se sujetaron a un estado de esfuerzos mediante la aplicación de una carga vertical y una carga ligeramente inclinada respecto a la horizontal	138
5.1. Planta de los bloques analizados	145
5.2. Análisis estereográfico. Empuje del bloque A Sobre la falla Norte. ESTADO ACTUAL (peso propio)	

Figura	Página
con sismo)	160
5.3. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B1 ESTADO ACTUAL (Peso propio, sismo y fuerza externa)	161
5.4. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B2 ESTADO ACTUAL (Peso propio, sismo y fuerza externa)	164
5.5. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B3 ESTADO ACTUAL (Peso propio, sismo y fuerza externa)	167
5.6. Análisis estereográfico. Empuje del bloque A sobre la falla Norte. EMBALSE LLENO (Peso propio con sismo y carga hidrostática)	171
5.7. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B1 EMBALSE LLENO (Peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática)	172
5.8. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B2 EMBALSE LLENO (Peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática)	175
5.9. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B3 EMBALSE LLENO (Peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática)	178
5.10. Análisis estereográfico. Empuje del bloque A sobre la falla Norte. VACIADO RAPIDO (Peso propio con sismo y carga hidrostática)	182
5.11. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B1 VACIADO RAPIDO (Peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática)	183

Figura	Página
5.12. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B2 VACIADO RAPIDO (Peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática)	186
5.13. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B3 VACIADO RAPIDO (Peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática)	189

Gráfica

5.1. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B1. ESTADO ACTUAL	163
5.2. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B2. ESTADO ACTUAL	166
5.3. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B3. ESTADO ACTUAL	169
5.4. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B1. EMBALSE LLENO	174
5.5. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B2. EMBALSE LLENO	177
5.6. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B3. EMBALSE LLENO	180
5.7. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B1. VACIADO RAPIDO	185
5.8. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B2. VACIADO RAPIDO	188
5.9. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B3. VACIADO RAPIDO	191

Tabla	Página
2.1. Datos técnicos del Proyecto Hidroeléctrico de Itzantón	17
4.1. Levantamiento del socavón 1	106
4.2. Levantamiento del socavón 2	107
4.3. Levantamiento del socavón 3	108
4.4. Levantamiento del socavón 4	109
4.5. Levantamiento del socavón 5	110
4.6. Levantamiento del socavón 5'	111
4.7. Levantamiento del socavón 6	112
4.8. Levantamiento del socavón 7	113
4.9. Levantamiento del socavón 7'	114
4.10. Levantamiento del socavón 8	115
4.11. Levantamiento del socavón 9	116
4.12. Levantamiento del socavón 9 (Cont.)	117
4.13. Levantamiento del socavón 10 y 10'	118
4.14. Levantamiento del socavón 11	119
4.15. Levantamiento del socavón 11 (Cont.)	120
4.16. Levantamiento del socavón 12	121
4.17. Levantamiento del socavón 12 (Cont.)	122
4.18. Levantamiento del socavón 13	123
4.19. Levantamiento del socavón 14	124
4.20. Levantamiento del socavón 15	125
4.21. Levantamiento del socavón 15 (Cont.)	126
4.22. Levantamiento del crucero 15	127
4.23. Levantamiento del socavón 22 Falla "B"	128
4.24. Levantamiento del socavón 22	129
4.25. Levantamiento del socavón 23	130

Tabla	Página
4.26. Levantamiento del socavón 23 cruceo No.1 aguas abajo	131
4.27. Levantamiento del socavón 23(Cont.) cruceo No.2 aguas arriba	132
4.28. Levantamiento del socavón 25	133
4.29. Levantamiento del socavón 26	134
4.30. Levantamiento del socavón 27	135
4.31. Propiedades geomecánicas de la roca intacta	136
5.1. Estabilidad del bloque B1. ESTADO ACTUAL	162
5.2. Estabilidad del bloque B2. ESTADO ACTUAL	165
5.3. Estabilidad del bloque B3. ESTADO ACTUAL	168
5.4. Estabilidad del bloque B1. EMBALSE LLENO	173
5.5. Estabilidad del bloque B2. EMBALSE LLENO	176
5.6. Estabilidad del bloque B3. EMBALSE LLENO	179
5.7. Estabilidad del bloque B1. VACIADO RAPIDO	184
5.8. Estabilidad del bloque B2. VACIADO RAPIDO	187
5.9. Estabilidad del bloque B3. VACIADO RAPIDO	190

1.- INTRODUCCION

Dada la creciente necesidad de contar con fuentes de -- energía eléctrica en nuestro País y en virtud de las gran--- des ventajas que presentan las plantas hidroeléctricas, desde hace más de 30 años, la COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD- C.F.E., ha venido estudiando el plan de desarrollo hidroener gético para el aprovechamiento de los recursos renovables. - Dentro del inventario de los proyectos, la atención fue lla- mada por el Proyecto Hidroeléctrico de Itzantún, sobre el -- río Tacotalpa, Estado de Chiapas.

La cuenca del río Tacotalpa integra junto con las cuen- cas de los ríos Grijalva y Usumacinta, los escurrimientos -- más grandes e importantes del Sureste de México. Sobre esta cuenca, ubicada en la porción centro septentrional del Esta- do de Chiapas, se sitúa el Proyecto Hidroeléctrico Itzantún, que presenta uno de los esquemas más atractivos para la gene ración de energía eléctrica. Además con esta presa, se podrá controlar una apreciable porción de las avenidas que anual--

mente inundan la zona central del Estado de Tabasco y su capital Villahermosa.

Los primeros trabajos efectivos de campo, es decir cartografía y geología, empezaron alrededor de 1955 en la zona de Itzantún y continuaron con mayor intensidad desde 1963 -- hasta la fecha.

En la construcción y vida útil de un Proyecto Hidroeléctrico se presentan diversos problemas que afectan en el desarrollo del programa de ejecución, o bien, para la propia subsistencia del conjunto. Algunos de dichos problemas, al no ser evaluados correctamente en la etapa de diseño, son -- motivo de retrasos importantes en la construcción, o bien, -- ponen en peligro la presa.

El deslizamiento masivo de laderas, ya sea en el embalse o en la zona de la cortina, puede ser causa de destrucción total del Proyecto Hidroeléctrico y de estructuras y -- poblaciones que se encuentren aguas abajo del sitio de la -- cortina.

El análisis de estabilidad de una masa rocosa consta de tres partes:

a).- Obtención de las características geométricas del macizo. Es fundamental efectuar un levantamiento de las dis-

continuidades geológicas presentes en el sitio y determinar el ángulo de fricción entre los bloques de roca delimitados por juntas, fallas o planos de estratificación. Las pruebas in situ y los levantamientos geológicos proporcionan dicha información. Es importante, además determinar el grado de infiltración, así como el material de relleno presente en las discontinuidades.

b).- Idealización del problema analizado. Con base en datos obtenidos durante la etapa de reconocimiento, se elabora una idealización cualitativa del comportamiento del macizo bajo el efecto de las cargas impuestas por la obra. -- Por ejemplo definir los mecanismos de falla cinemáticamente posibles, de acuerdo con la configuración geométrica de las discontinuidades geológicas de la masa.

c).- Análisis cuantitativo de estabilidad. Al respecto el ingeniero emplea métodos de análisis adaptados a la idealización cualitativa del problema.

Existen diversos métodos de análisis de estabilidad, -- en el presente estudio se desarrolla el método estereográfico, debido a que representa en forma gráfica los datos geológicos requeridos para el análisis y simplifica las soluciones a problemas de análisis de estabilidad de macizos rocosos.

2.- DESCRIPCION DEL PROYECTO

2.1. Area del proyecto

El aprovechamiento de "Itzantún" se localiza sobre el río Tacotalpa en la región montañosa del Norte del Estado de Chiapas cerca del poblado de Huitiupán, Chis., entre las cuencas de los ríos Grijalva al Oeste y Usumacinta al Este, sus coordenadas geográficas son: 17°12' de latitud Norte y 82°41' al Oeste del Meridiano de Greenwich (fig. 2.1).

2.2. Vías de acceso

La boquilla de "Itzantún" se localiza a 17 km al Noroeste de la población de Simojovel, la cual se comunica con la carretera que une a la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez con la Ciudad de Villahermosa, Tab., por un camino en su mayor parte de terracería transitable en toda época del año. En tiempo de estiaje, se puede llegar en vehículo hasta 4 km de la boquilla por un camino de 9 km que une a la población de

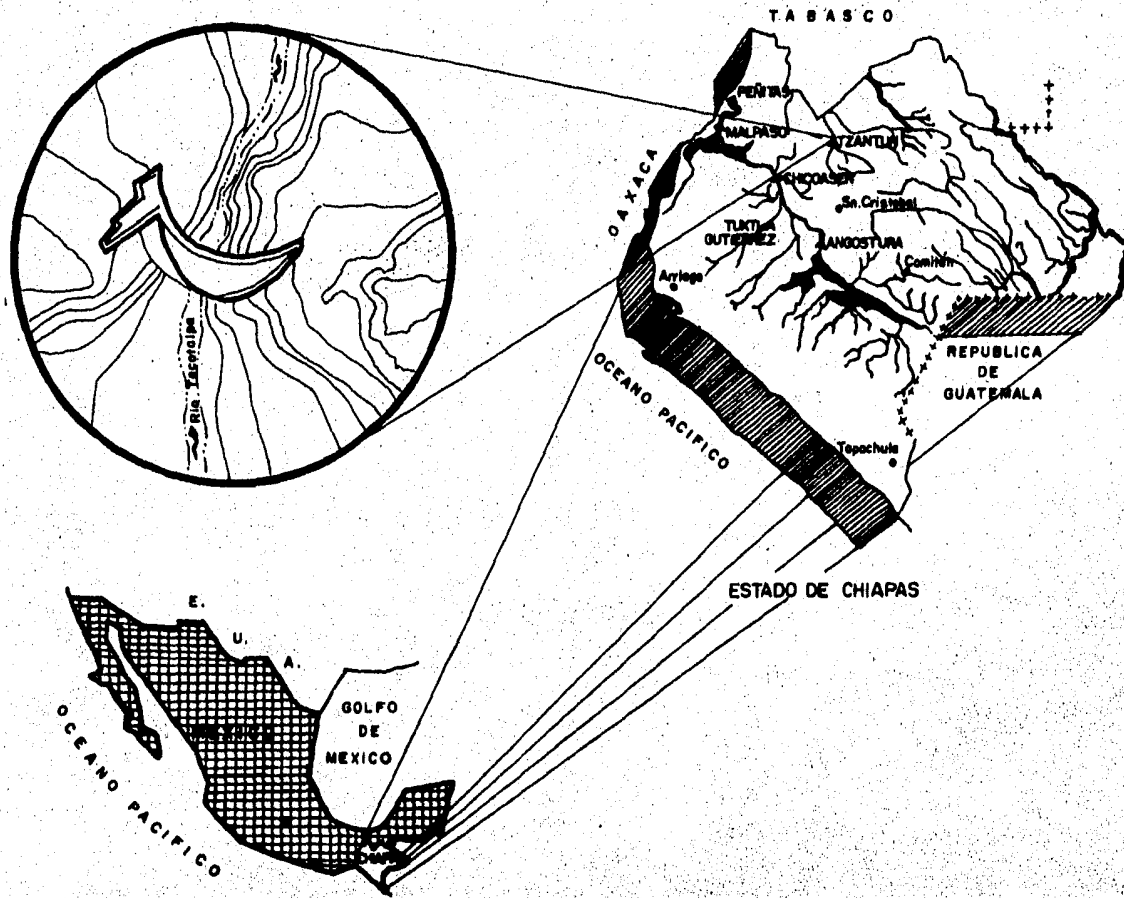


Figura 2.1. Localización del Proyecto Hidroeléctrico de Itzantún

Simojovel con el poblado de Huitiupán y de este punto por una brecha de 5 km que cruza los ríos Huitiupán y San Pedro haciéndose un recorrido total por tierra desde Tuxtla Gutiérrez de 150 km. Tanto en la población de Simojovel como en la de Huitiupán hay campo de aterrizaje para avionetas.

2.3. Aspectos hidrológicos

El área de la cuenca cerrada por la cortina del Proyecto Hidroeléctrico Itzantón es de 3050 km² con una precipitación promedio anual de 1812 mm concentrada al 85% en la estación de lluvias, de Mayo a Noviembre. Los afluentes principales de la cuenca son, del Este al Oeste, y en el sentido de las manecillas del reloj, los siguientes: Chacté (o Alman---dro), Plátanos, Huitiupán, San Pedro y Ulega.

2.3.1. Estaciones hidrométricas y climatológicas

En la cuenca se localizan 5 estaciones climatológicas: Almandro, Simojovel, Chevalho, Los Arcos y Guaquitepec, en los que se tienen 14 años de registro en promedio. Además se cuenta con 2 estaciones hidrométricas: Almandro y San -- Pedro.

Los registros de precipitación, evaporación, temperatura y escurrimientos se encuentran en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 (Ref. 1).

En la tabla 5 se presenta la suma de los escurrimientos de las dos estaciones hidrométricas antes mencionadas. Para ampliar el registro de 11 a 29 años se correlacionaron los escurrimientos registrados con los de la estación Pueblo Nuevo, que está localizada aguas abajo del sitio de la boquilla.

Con los datos obtenidos en la estación Almandro, se tiene que el porcentaje anual de azolve con respecto al escurrimiento medio anual es de 0.0402%.

Las avenidas máximas registradas que se han presentado desde que operan las estaciones hidrométricas son las correspondientes a las fechas:

9 a 11 de Noviembre de 1971

18 a 23 de Septiembre de 1974, siendo ésta la máxima registrada.

2.4. Geología regional

2.4.1. Fisiología y morfología

En el estado de Chiapas se presentan 5 zonas fisiográficas bien definidas y ligadas íntimamente a su naturaleza geológica:

- 1.- Planicie Costera del Océano Pacífico
- 2.- Sierra Madre de Chiapas
- 3.- Depresión Central de Chiapas
- 4.- Cadenas Frontales de la Sierra Madre de Chiapas o -
Serranías al Norte de la Depresión Central
- 5.- Llanura Costera del Golfo de México

La zona en estudio pertenece a la provincia fisiográfica denominada Cadenas Frontales de la Sierra Madre de Chiapas, la cual se encuentra bordeando al Valle Central que se localiza al Sur. Esta Meseta se compone por sierras muy --- abruptas originadas por movimientos orogénicos durante las - revoluciones Laramídica y Cascadiana, las cuales plegaron, - levantaron y afallaron a las rocas sedimentarias del Terciario y Cretácico Superior formando pliegues y combaduras con dirección NW.-SE, principalmente. La región presenta morfología generalmente una etapa de juventud con grandes escarpes y topografía abrupta, el cual es reflejo de la estructura geológica, correspondiendo las formas positivas a plegamientos anticlinales y las negativas a sinclinales, estando en los inicios de erosión presentándose los cauces de los ríos y arroyos en forma de V, con pendientes fuertes.

2.4.2. Estructura geológica

La secuencia estratigráfica y distribución de las rocas partiendo de las más antiguas a las más recientes es como -- sigue:

Eoceno - " formación El Bosque "

Consiste principalmente de lutitas y limolitas micáceas de color rojo con algunos horizontes conglomeráticos.

Oligoceno - " formación Mompuyil "

Son calizas duras competentes, en estratos gruesos a masivos. En esta formación se encuentra la boquilla de Itzan tón. Su espesor es de 600 m.

" Formación Simojovel "

Secuencia alternante de areniscas, caliza, limolitas y lutitas bien estratificadas con un espesor total de 2,500 m.

Mioceno - " formación Jolhó "

Se compone exclusivamente de lutitas con algunas intercalaciones de areniscas. Sobre estas rocas se alojará el embalse de la presa.

La secuencia de rocas antes descrita alcanza unos 3,500 m de espesor, fue plegada y afallada por esfuerzos tectónicos que actuaron hasta hace 5 millones de años, las formas actuales son el resultado de esas deformaciones. Las partes elevadas del terreno son estructuras del tipo anticli

nal orientadas del NW a SE, como el anticlinal del "Azufri-
to" y el de "Itzantún" donde se ubica la boquilla de la pre-
sa. Todos los valles de los ríos corresponden al tipo sincli-
nal, entre éstos los valles de los ríos Tacotalpa y San Pe-
dro donde se localiza el embalse del Proyecto.

El núcleo del anticlinal esta formado por calizas ("for-
mación Mompuyil"), mientras las alas del mismo anticlinal es-
tan formadas por secuencias limolítico - lutítico - margosas,
alternadas con areniscas y delgados lechos de calizas ("for-
mación Simojovel", Oligoceno y "formación Jolhó").

Desde el punto de vista de las características litológi-
cas, las calizas son duras y competentes, formando un cuerpo
rígido y macizo en el interior de la masa plástica y poco --
competente de las rocas más recientes de elevado contenido -
arcilloso.

A esta diferencia mecánica se debe el resultado del ple-
gamiento-fallamiento, por el cual se formó el "Horst de It-
zantún", ya que rocas duras emergen de la masa plástica en -
forma abrupta, a través del cual el río Tacotalpa se ha cor-
tado camino en épocas geológicas recientes. Por lo cual el -
cañón de la boquilla no corresponde a una falla.

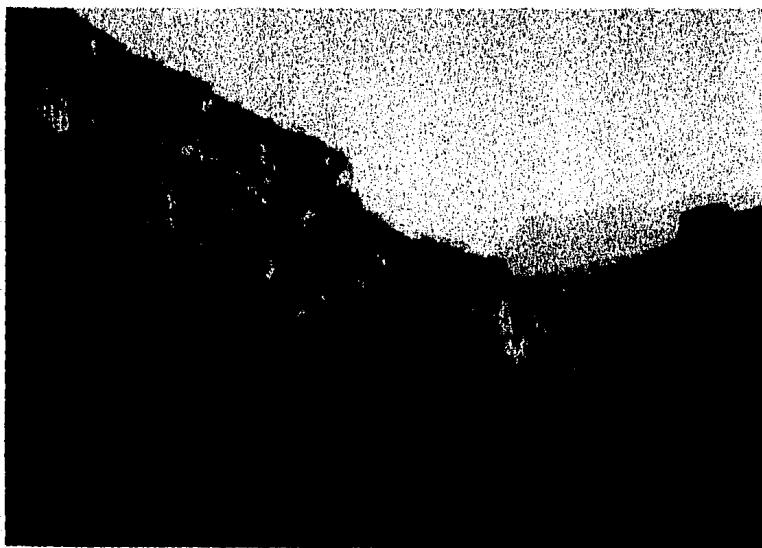


Figura 2.2. Vista del "Horst de Itzantún" en el sitio de la cortina.

El sistema tectónico presenta su estructura principal en la falla de Itzantún, de rumbo E-W, que acompaña el -- Horst en su flanco Sur, y por una falla paralela que acompaña el Horst en su flanco Norte, y que se junta con la falla de Itzantún por medio de fallas accesorias, posiblemente de distensión. El descrito sistema de fallas se identifica, por lo tanto con el entero perímetro del Horst calcáreo, la hipótesis del origen del Horst se muestran en la figura 2.3.

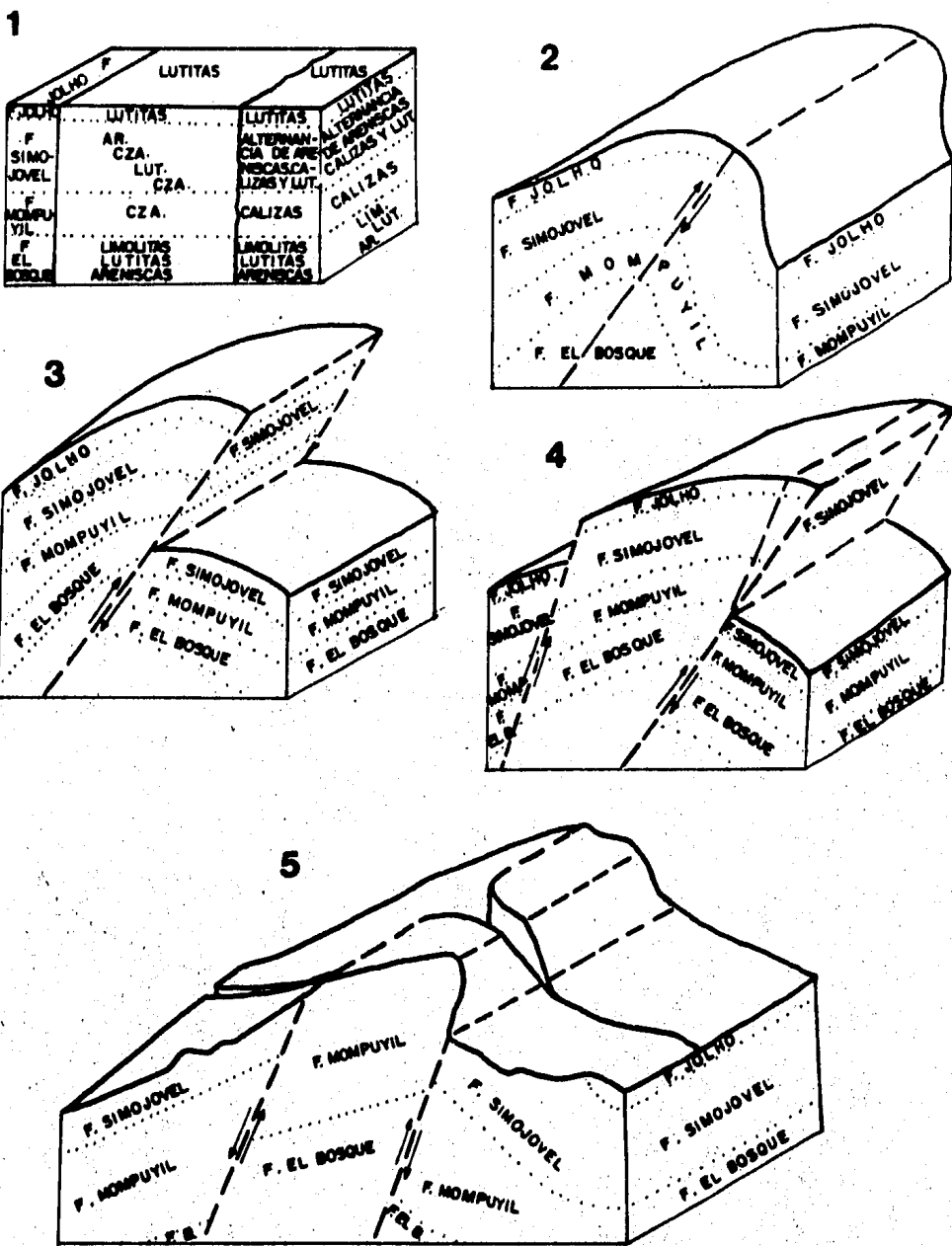


Figura 2.3. Evolución tectónica estructural del sitio



Figura 2.4. Vista de la falla de Itzantún con rumbo - E-W.

2.5. Sísmica

El área del Proyecto pertenece a una región de alta sismicidad de foco intermedio. A unos 40 km del sitio de la presa se han registrado epicentros de terremotos de profundidad intermedia. Grandes fallas, relacionadas con el sistema tectónico mesoamericano y con el movimiento del tercerario medio de las placas de los cocos y de la placa americana, se registran en la parte central del estado de Chiapas, donde se ubica el Proyecto de Itzantún.

Existen aspectos particulares que se relacionan con la estructura de la boquilla de Itzantún y el bloque calcáreo del Horst, de los cuales surgen problemas acerca de la posible reactivación de la falla de Itzantún, por un lado, y de los posibles sismos inducidos por la presa y por el emblase, por el otro.

Los análisis numéricos, los análisis experimentales y las mediciones in situ, deberán conducir a las indicaciones que permitan planear adecuadamente el llenado del embalse y su operación futura, se pueden consultar en la referencia 5.

2.6. Descripción general de las obras

La Planta Hidroeléctrica de Itzantún tendrá una capacidad de 660 MW, la cual generará 1100 WH anuales. El embalse cubrirá una superficie aproximada de 10,000 Has a la elevación de 430.00 m (NAMO). En la tabla No. 2.1. se presentan los datos técnicos del Proyecto Hidroeléctrico de Itzantún, y la localización de las obras se pueden consultar en la referencia No. 3.

La cortina será el tipo Arco-bóveda de concreto, fundada a la elevación 250.00 m y con coronación a la cota 436.00 m.

2.6.1. Obras de desvío

Para manejar la avenida de diseño se construirá un túnel de desvío, excavado en la ladera izquierda, con 13 m de diámetro y aproximadamente 500 m de longitud. El piso del túnel tiene la elevación de 208 m a la entrada y 202 m a la salida. El túnel no será revestido para ganar tiempo en la construcción, se usarán anclajes, malla de acero y concreto lanzado solamente donde la roca se muestre inestable. La ataguía de aguas arriba se construirá de material suelto con coronación a la cota 235.00 m la ataguía de aguas abajo también en material suelto, tendrá coronación a la cota 220.00 m.

2.6.2. Obras de excedencia

Las obras de excedencia consiste en dos vertedores, prácticamente iguales, excavados en túnel en la ladera derecha del Horst.

El cimacio de cada vertedor, a la elevación 421.40 m - esta equipado con 3 compuertas radiales de 7 m de largo por 11 m de alto, la cresta de la compuerta tiene la elevación 432.00 m lo que permite almacenar en el embalse la mayor parte de las avenidas, usando el volumen entre las elevaciones 430.00 m (NAMO) y 432.00 m y así reducir al mínimo el tiempo de operación de los vertedores, además de contener el efecto de oleaje.

El cimacio tiene una disposición planimétrica radial, - para permitir una buena transición con la sección circular - del túnel.

Aguas abajo de la transición los túneles siguen con una pendiente de 27% y un diámetro revestido de 10.50 m llegando a la salida a la elevación 385.00 m.

2.6.3. Planta Hidroeléctrica

La Planta Hidroeléctrica se localiza en la margen iz--- quierda y consta de obra de toma, casa de máquinas subterránea, galería de transformadores, túneles de descarga y subestación eléctrica, la caverna de la casa de máquinas esta dividida en 2 partes, la primera de 120 m de largo por 28 m de ancho y por 50 m de alto donde se ubican cuatro unidades de turbinas francis de 165.00 MW, en la segunda caverna de 80.00 m de largo por 14.00 m de ancho por 14.00 m de alto son instalados los transformadores.

Tabla No. 2.1. Datos técnicos del Proyecto Hidroeléctrico -
Itzantún

Hidrología

Area de la cuenca	3050	km ²
Escurrimiento medio anual	95	m ³ /s
Avenida máxima registrada	2666	m ³ /s
(Estación almandro Sept. 1974)		

Embalse

Capacidad total al NAME	6777x10 ⁶	m ³
Capacidad útil	5500x10 ⁶	m ³
Area máxima del embalse	10000	Has
Nivel máximo de embalse (NAME)	435.50	m.s.n.m.
Nivel normal (NAME)	430.00	m.s.n.m.
Nivel mínimo (NAME)	400.00	m.s.n.m.

Potencia y generación

Potencia instalada en 1 ^a etapa	440	MW
Potencia instalada en 2 ^a etapa	220	MW
Generación media anual	1100	WH

Cortina

Tipo arco bóveda

Altura máxima 241.00 m
Elevación de la corona 436.00 m.s.n.m.

Vertedores

Longitud total vertedor 1 350 m
Longitud total vertedor 2 370 m
Elevación cresta vertedora 421.40 m
Diámetro túneles de descarga
vertedores 10.50 m
Gasto máximo de los vertedores 4444 m³/s

Obra de toma

Número 2
Elevación piso de la obra de toma 320.00 m.s.n.m.
Diámetro túnel de la obra de toma 4.76 m

Obra de control de llenado

Elevación umbral de la obra 320.00 m.s.n.m.
Diámetro del túnel 4.00 m
Gasto máximo 320 m³/s

Elevación control de llenado

Descarga inferior	260.00 m
Descarga superior	320.00 m

Casa de máquinas

Tipo subterránea

Turbinas	4 francis
Carga neta de diseño	216.50 m
Gasto de diseño	112 m ³ /s
Potencia de diseño	660 MW
Carga bruta máxima	232.00 m
Carga bruta mínima	142.00 m

Generador

Capacidad	195 MVA
Frecuencia	257 RPM
Factor de potencia	0.95

3.- ESTEREOGRAFIA (Ref. 6 y 7)

3.1. Introducción

La proyección estereográfica simplifica, gráficamente, soluciones a problemas relativos a orientaciones de líneas y planos en el espacio. En las masas rocosas la proyección estereográfica representa las numerosas superficies de discontinuidades, como fracturas, planos de estratificación y fallas, las cuales imponen las restricciones cinemáticas -- para que exista movimiento.

La facilidad con que se pueden graficar las características en tres dimensiones de una masa rocosa hace de este método atractivo para problemas de análisis de estabilidad de laderas rocosas.

3.2. Representación estereográfica de datos geológicos

En la figura 3.1. se muestra la proyección estereográfica de una línea inclinada. La línea pasa a través del centro de una esfera de referencia, "o", y corta la superficie de esta en "P" en el hemisferio bajo, y en "-P" en el hemisferio alto. En las aplicaciones se toma la convención de -- que todas las líneas o planos contienen el centro de la esfera de referencia. El plano horizontal el cual contiene a "o" es denominado "Plano de proyección ecuatorial". Una perpendicular a este plano de proyección corta en la parte alta de la esfera de referencia en el punto "f", denominado - "Foco de la proyección del hemisferio bajo". La proyección estereográfica consiste en proyectar líneas y puntos de la superficie de una esfera de referencia en el plano de proyección ecuatorial. Para encontrar la proyección estereográfica del hemisferio bajo de cualquier línea que pasa por -- "o" se localiza el punto donde la línea corta la superficie de la esfera de referencia, después se traza una línea entre el punto cortado y "f", encontrando así el punto donde la línea trazada corta el plano de proyección ecuatorial. - Por ejemplo la línea "oP" en la figura 3.1., corta a la esfera de referencia en el punto "P" y la traza de la línea - "Pf" cruza al plano de proyección ecuatorial en "p". De la misma forma en el hemisferio alto, corta a la esfera de referencia en "-P" y su proyección en el plano de proyección ecuatorial es "-p". (Fig.3.1.).

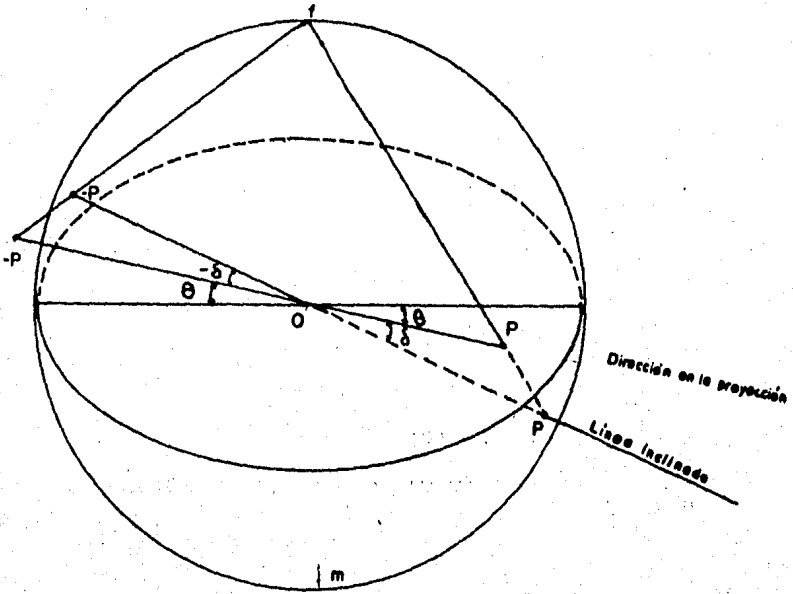


Figura 3.1. Proyección de una línea en el plano de proyección ecuatorial.

En la figura 3.2. se presenta una sección vertical de la esfera de referencia a través de la línea "oP", donde se puede visualizar la relación espacial de la línea y su proyección. Esta construcción o su equivalente matemático puede ser utilizada para proyectar estereográficamente una línea.

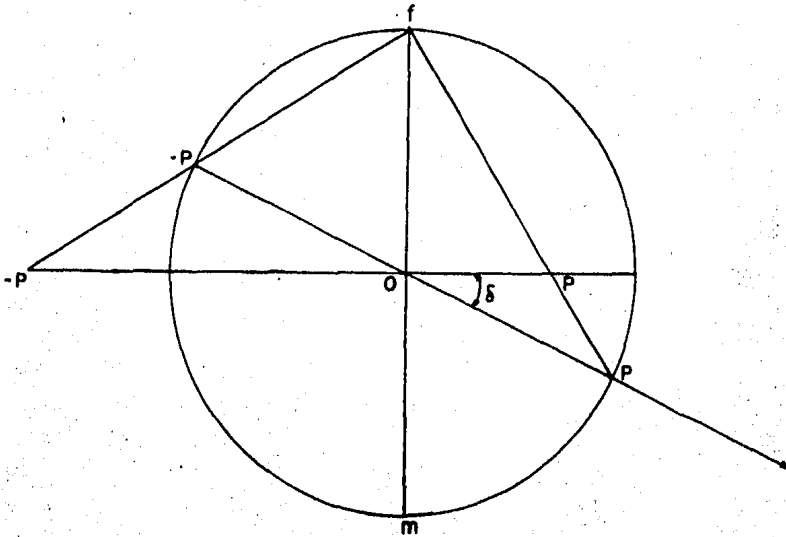


Figura 3.2. Sección Vertical

La proyección estereográfica de un plano consiste en la proyección en el ecuador de la esfera de referencia de todas las líneas que contienen al círculo que forma el plano de intersección con la esfera de referencia. Como se ha dicho anteriormente los planos deben contener el centro de la esfera de referencia y cortarla a lo largo de un círculo principal. La figura 3.3. muestra la proyección del plano que corta a la esfera en los puntos A,B,C, etc. y en el plano de proyección ecuatorial en a,b,c, etc.. La línea "oS" y su opuesto "oT" representan el rumbo del plano, y la línea "oR" el vector inclinación del plano.

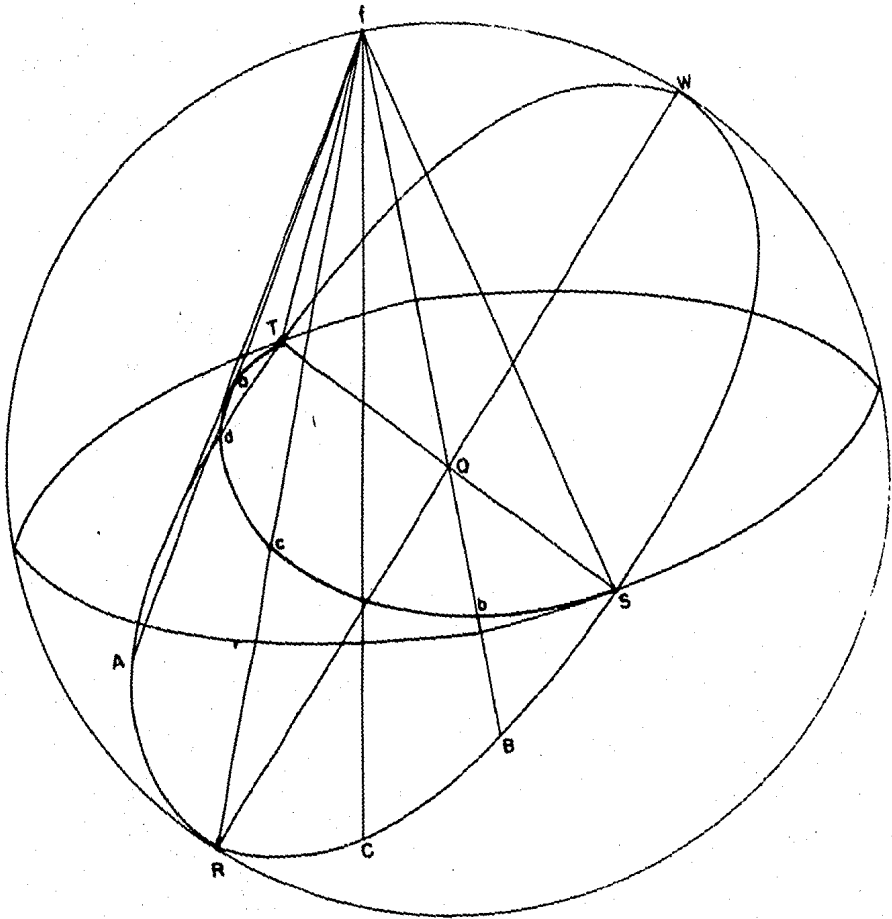


Figura 3.3. Representación de un plano inclinado en la esfera de referencia.

Para determinar la proyección estereográfica de un plano es conveniente trazarlo en una familia de círculos principales provistos en un estereograma ecuatorial de igual ángulo (fig.3.4.).

Un estereograma es una proyección estereográfica de un grupo de planos de referencia y líneas dentro de un hemisferio. La figura 3.4. muestra un estereograma ecuatorial -- presentando una serie de círculos principales de planos que tienen una intersección común e inclinados en intervalos de 2° .

La forma de representación se muestra a continuación, para seguir estos ejemplos es necesario obtener una copia -- de la figura 3.4., pasando a través del centro del estereograma y de una hoja de papel transparente un alfiler, así -- los trazos en el estereograma pueden ser rotados alrededor del centro.

CASO I.- Representación de una línea

Considerar una línea A, con rumbo $N30^\circ E$ y con un echo de $40^\circ E$.

1. Se marca el Norte arbitrariamente y se registran -- las marcas que tienen lugar a E, S y W alrededor del estereograma. A partir del Norte, y en dirección Este, se miden

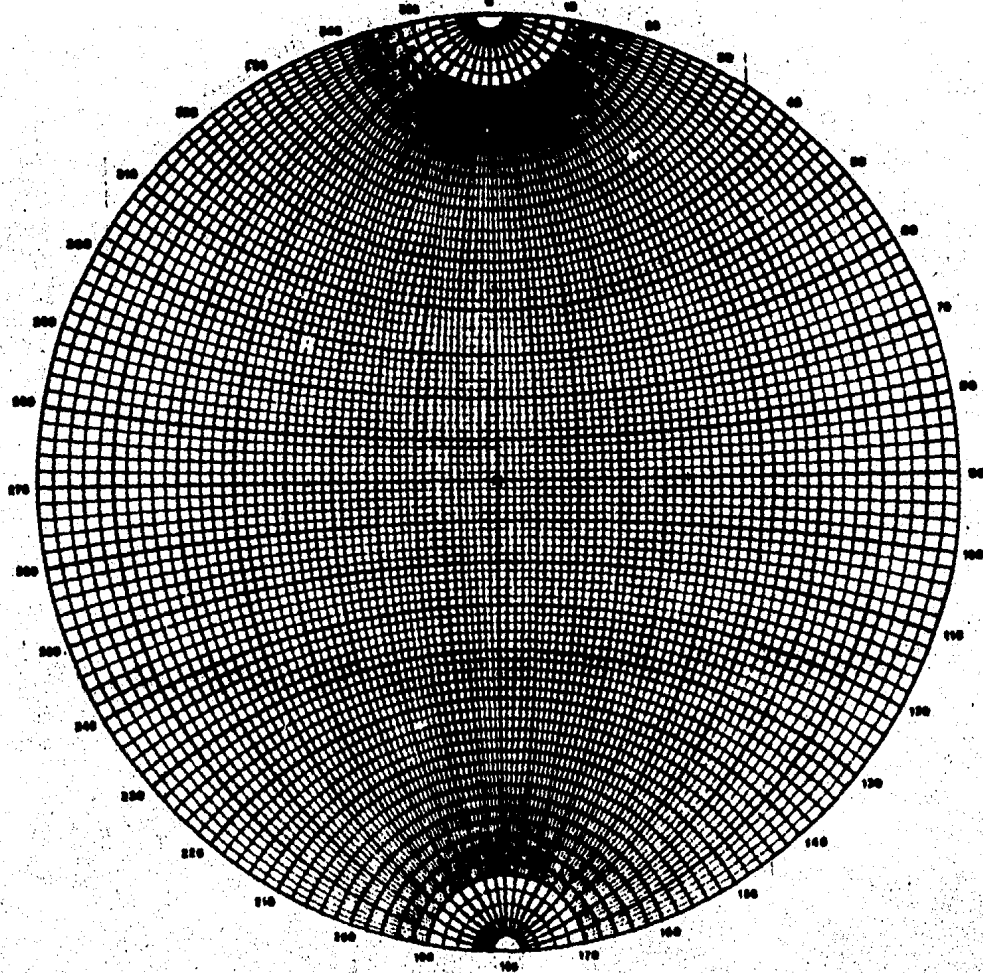


Figura 3.4. Estereograma ecuatorial de igual ángulo

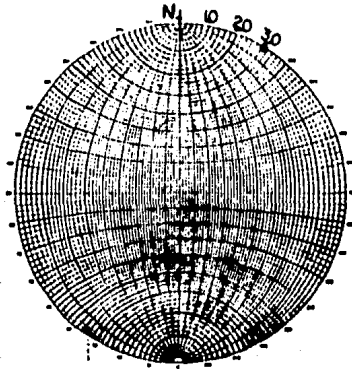


Figura 3.5. a.

30° y se marca un punto (fig. 3.5. a.)

Se gira el trazo haciendo coincidir el punto con el eje E-W, en este caso en dirección E debido a que el echado es hacia el Este, y a partir de la periferia, 0°, se miden 40° (fig. 3.5.b.)

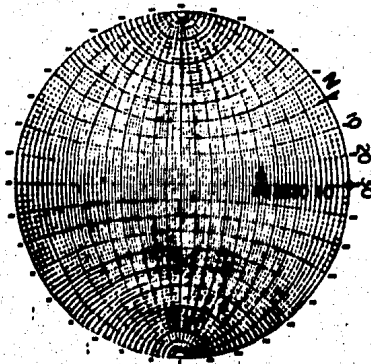


Figura 3.5.b.

CASO II.- Angulo entre dos líneas

Considerando la línea A (CASO I) y una línea, B, con dirección N 20° W y con un echado de 20°. Trazar esta línea y encontrar el ángulo que forma con la línea A.

Siguiendo la misma secuencia se traza la línea B en la misma hoja que el caso anterior (figura 3.5.c.)

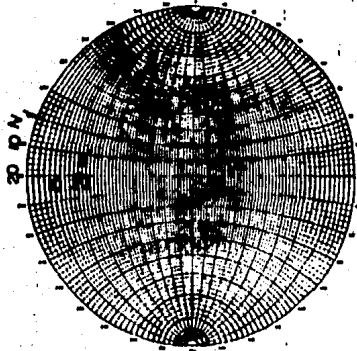


Figura 3.5.c.

Para encontrar la medida del ángulo entre la línea A y la línea B, es necesario determinar el plano común a ambas líneas. Esto se encuentra rotando el trazo hasta que los dos puntos queden a lo largo de un mismo círculo principal (fig. 3.5.d.). El ángulo entre las líneas A y B se mide contando las intersecciones de las líneas del estereograma con el círculo común (las cuales están separadas 2°). El ángulo es 47°..

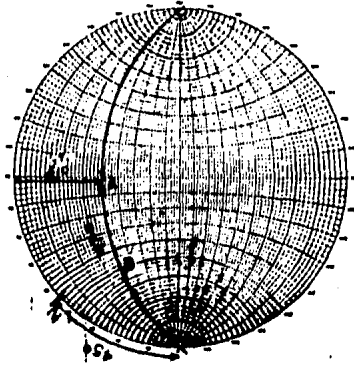


Figura 3.5.d.

Aquí mismo se puede encontrar el rumbo y el echado del plano común, midiendo el rumbo a partir del N del trazo, - N 45° W, y el echado en los ejes E-W, siendo éste 41° W. La figura 3.5.e. muestra la forma final del trazo.

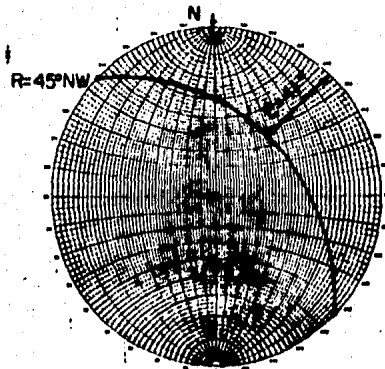


Figura 3.5.e.

CASO III.- Proyección de un plano dado su rumbo y su echado

Trazar la proyección estereográfica de un plano A, con rumbo N 50° E y echado 20° al NW.

Se traza el vector rumbo, el cual es una línea horizontal con dirección N 50° E, y es un punto a 50° del Norte en dirección Este a lo largo del círculo horizontal. (fig. 3.6. a.). Después rotamos el trazo a que el punto coincida con el Norte, y en el eje E-W medimos 20° a partir de W, se traza el círculo principal común al rumbo y a el echado. El círculo principal se puede construir trazándolo directamente del estereograma, o bien con compás, siendo el centro del círculo principal 2 veces el echado a partir de la vertical y a lo largo de los ejes E-W. En este caso se localizaría el centro a $2 \times 20^\circ$ a partir del centro del estereograma en dirección E. (fig. 3.6.b.)

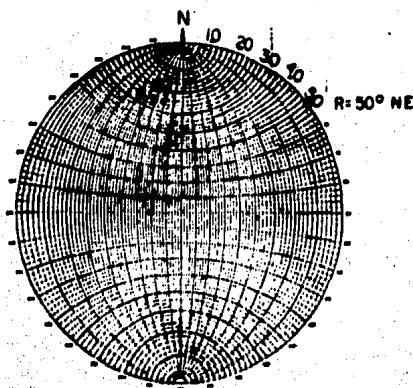


Figura 3.6.a.

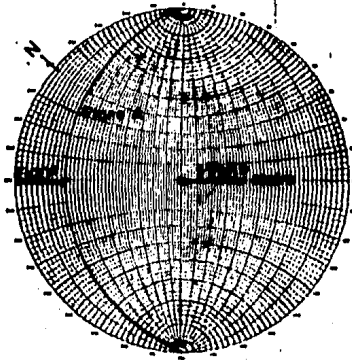


Figura 3.6.b.

Trazar la proyección estereográfica de un plano B, con rumbo N 60° W y echado 45° SW y encontrar la dirección y la inclinación de la línea de intersección de los planos A y B.

Siguiendo los pasos anteriores para el plano A se construye el círculo principal del plano B, quedando como se muestra en la figura 3.6.c. Este círculo cruza al construido anteriormente en el punto I_{AB} , el cual representa la línea donde se intersectan los planos A y B. El rumbo y echado de esta línea se encuentra rotando el trazo de tal forma que el punto I_{AB} coincida con el eje E-W del estereograma, en donde se miden las intersecciones de los círculos principales a partir de la horizontal hasta el punto I_{AB} , esta medida, en este caso 16° es la inclinación de la línea de

intersección, el rumbo se mide rotando el trazo a la posición original y se mide en la horizontal la distancia angular a partir del Norte, en el ejemplo N 77° W (fig. 3.6. d.).

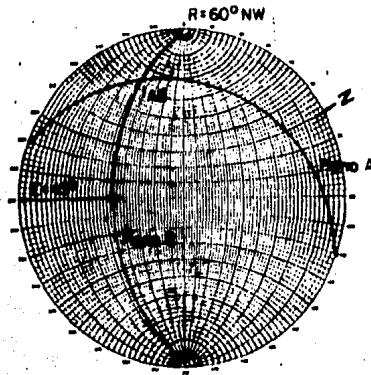


Figura 3.6.c.

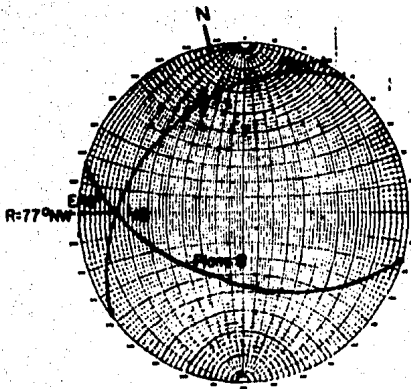


Figura 3.6.d.

Es más conveniente encontrar la línea de intersección de dos planos cuando se tienen representados por sus normales. Un plano puede ser representado en su normal, quedando así representado por un punto y no por un círculo principal. Para encontrar la línea de intersección de dos planos representados por sus normales, N_A y N_B , se proyectan los planos A y B los cuales se encontraron en el ejemplo anterior. La normal al plano A, N_A , se muestra en la figura 3.7.a., y se traza rotando el trazo, de manera que el círculo principal coincida con el del estereograma y se miden a partir de este 90° a lo largo del eje E-W. La normal al plano B se muestra en la figura 3.7.b. y se traza de la misma forma que --- para el plano A.

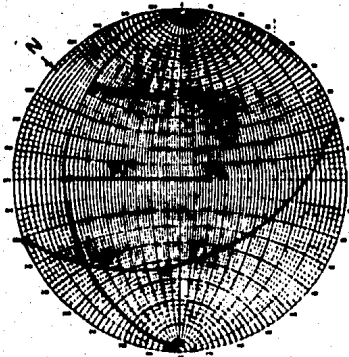


Figura 3.7.a.

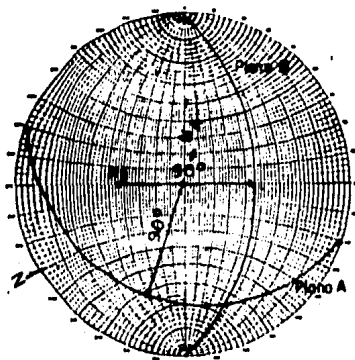


Figura 3.7.b.

En la figura 3.7.c. se localiza el plano común a las normales N_A y N_B y se traza el círculo principal de la forma descrita anteriormente. La normal a este círculo principal es la línea de intersección representada por I_{AB} .

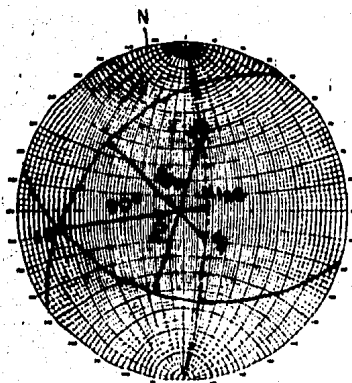


Figura 3.7.c.

3.3. Análisis estereográfico de estabilidad de taludes en masas rocosas

3.3.1. Mecanismos de falla y análisis cinemático

A continuación se presentan los modelos básicos, así como las restricciones para que pueda ocurrir movimiento, a esto se le denomina "Análisis Cinemático".

a).- Un plano potencial de deslizamiento

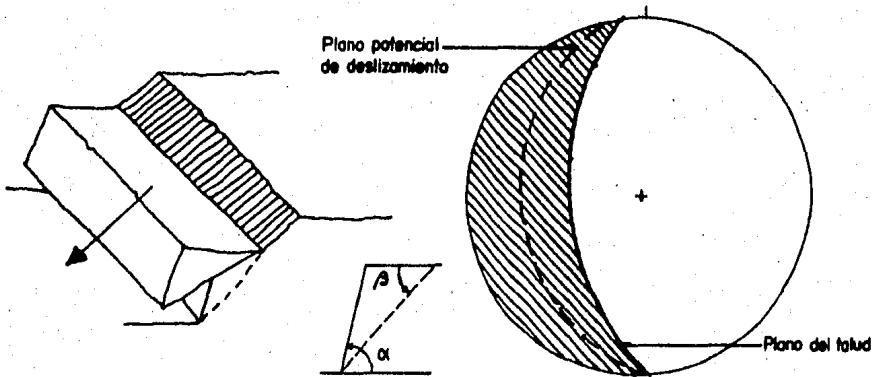


Figura 3.8. Deslizamiento de un bloque sobre un plano y su representación típica en el estereograma.

Para que ocurra movimiento el ángulo de inclinación α debe ser mayor que el ángulo β , todas las inclinaciones que generen un círculo principal en la zona sombreada son menores que α .

Este mecanismo de falla se presenta en macizos con una estructura altamente ordenada, como es el caso de una pizarra.

b).- Deslizamiento en la intersección de dos planos
(Cuña deslizante)

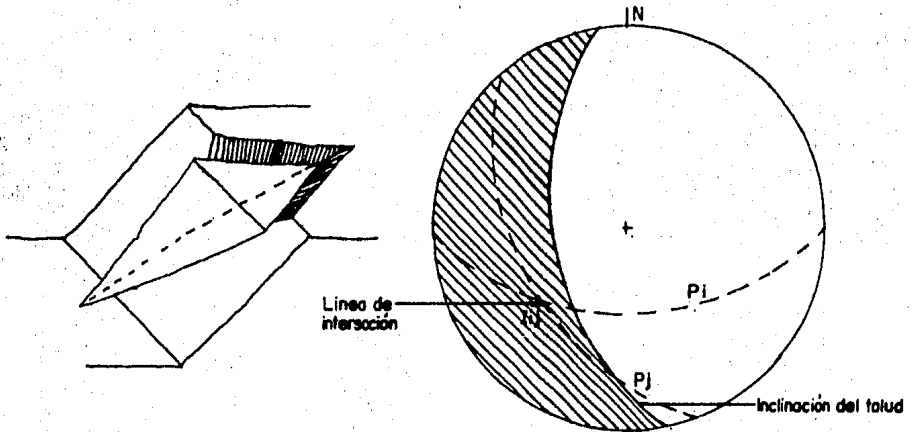


Figura 3.9. Deslizamiento de un bloque en la intersección de dos planos de deslizamiento, y su representación en el estereograma.

Para que pueda existir deslizamiento la línea de intersección I_{ij} de dos planos i y j debe caer en la zona sombreada. Se forma un tetraedro en la intersección de dos planos potenciales de deslizamiento.

c).- Deslizamiento en la intersección de tres planos

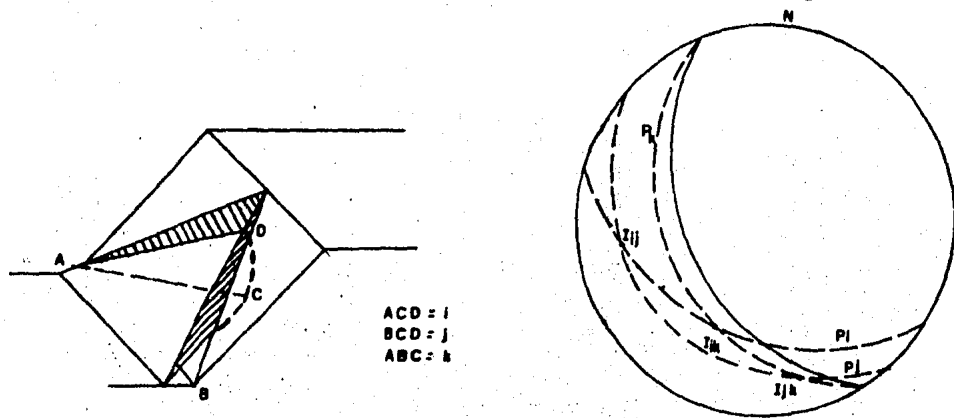


Figura 3.10. Deslizamiento de un bloque en la intersección de tres planos, y su representación típica en el estereograma.

La masa de roca analizada es un bloque tetraédrico, limitado por los planos ACD, BCD y ABC, las cuales coinciden con discontinuidades geológicas observadas en el sitio. La falla ocurre por deslizamiento de la cuña ABCD, que en el estereograma queda limitada por las intersecciones I_{ij} , I_{ik} y I_{jk} .

d).- Falla circular

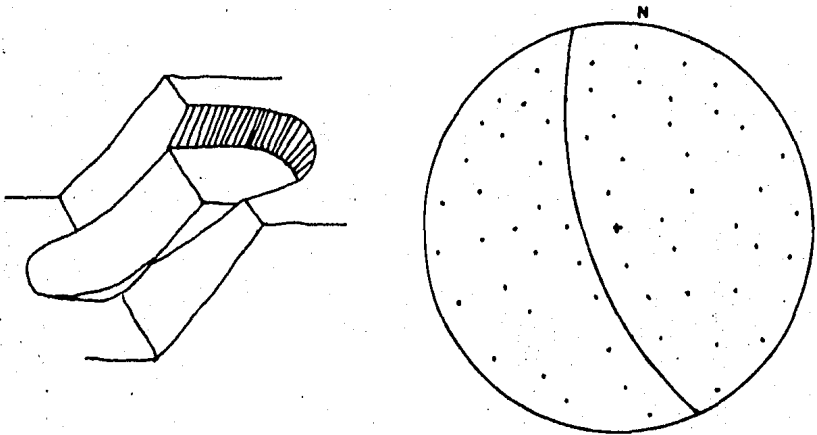


Figura 3.11. Falla circular y su representación en el estereograma.

Se presenta deslizamiento debido a que la roca se encuentra muy fracturada con un modelo no identificado en su estructura. En el estereograma los planos de estratificación se encuentran representados por sus polos.

e).- Falla por volteo

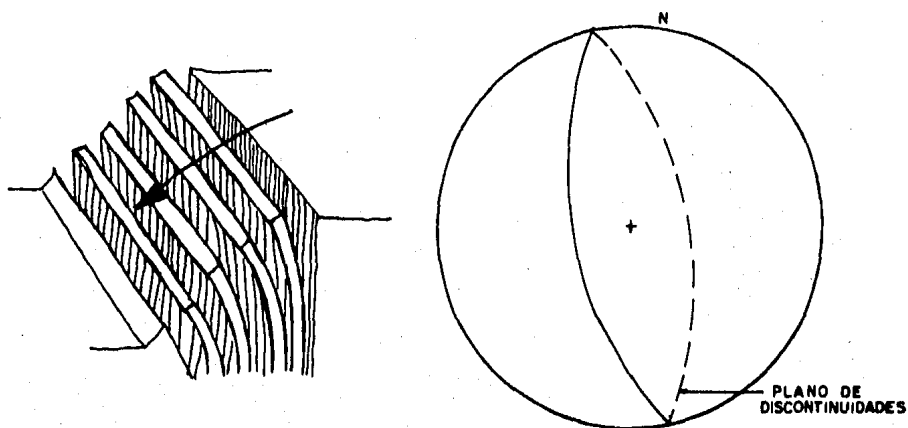


Figura 3.12. Falla por volteo y su representación en el estereograma.

Se forman columnas separadas debido a que el plano de discontinuidades se encuentra muy vertical. En este caso la falla ocurre por giro del bloque respecto algún eje.

3.3.2. Análisis estático de estabilidad de un bloque en un plano potencial de deslizamiento

Para resolver problemas relacionados con estabilidad de masas rocosas aplicando la estereografía es necesario representar la fricción entre dos superficies por medio de pequeños círculos de fricción, esto es, que de acuerdo con la definición de ángulo de fricción, ϕ , un bloque puede permanecer en reposo si la resultante de todas sus fuerzas ac--

tuantes se encuentra inclinada respecto a la normal de la superficie a un ángulo menor que ϕ . (fig.3.13.a.)

Si el bloque es libre a moverse en cualquier dirección la envolvente de todas las fuerzas resultantes en el bloque es entonces un cono de diámetro inferior 2ϕ . (fig.3.13.b.). Este cono de fricción estática puede ser proyectado estereográficamente como un pequeño círculo de radio ϕ alrededor de la normal N. (figura 3.13.c.).

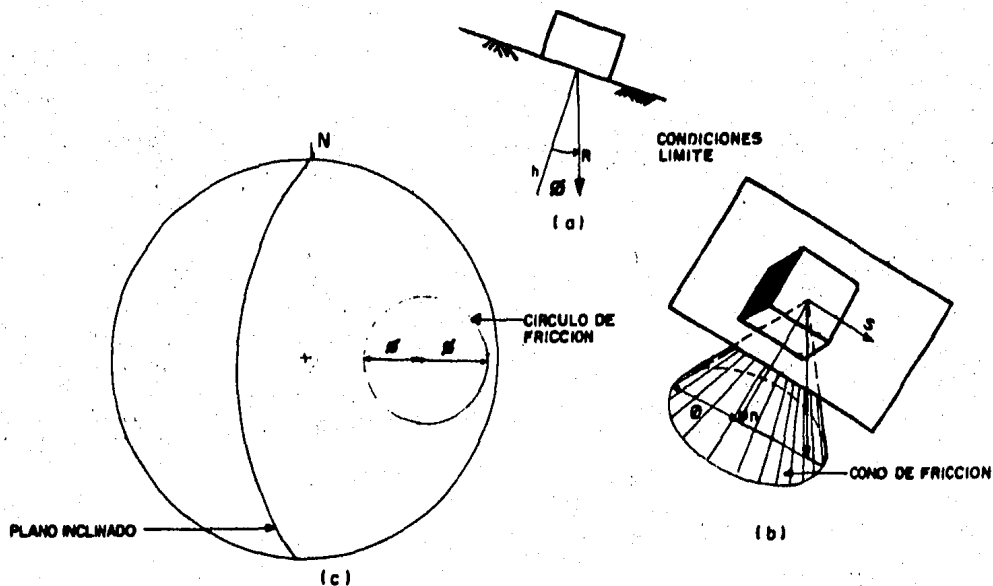


Figura 3.13. Representación de la definición de ángulo de fricción estereográficamente.

Para proyectar el círculo de fricción en la proyección estereográfica, se lleva el trazo a que la normal coincida

con el eje E-W y se trazan los puntos "p" y "q" a una distancia ϕ de la normal, se bisecta la línea que une a "p" y "q" - para localizar el centro del círculo, y se dibuja el círculo con un compás. (fig. 3.14.). Se debe tener cuidado en no localizar el compás en la normal N, dado que debido a las características de la proyección estereográfica el centro del círculo no coincide con el centro del cono de fricción en la esfera de referencia.

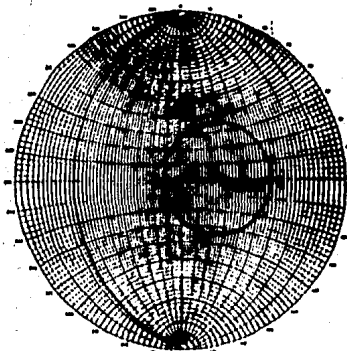


Figura 3.14. Proyección estereográfica del cono de fricción.

El círculo de fricción nos permite una examinación rápida de las fuerzas que afectan la estabilidad de un bloque.

Siendo \bar{F}_1 una fuerza específica actuando en el bloque -- con magnitud $|\bar{F}_1|$ y dirección \hat{f}_1 , ésto es:

$$F_1 = |\bar{F}_1| \hat{f}_1$$

La esfera de referencia es el lugar geométrico de todos los vectores unitarios radiando a un punto; \hat{f}_1 es uno de estos vectores unitarios. Por lo tanto podemos representar \hat{f}_1 como un punto en la proyección. La magnitud $|F_1|$ la representamos graficamente por separado.

Así la resultante de un sistema de dos fuerzas actuando en un plano común la podemos encontrar graficamente usando la regla del paralelogramo, o bien analíticamente. En el estereograma encontramos el plano común y el ángulo formado -- entre las dos fuerzas y la resultante, para ello rotamos el trazo hasta hacer coincidir a \hat{f}_1 y a \hat{f}_2 a lo largo de un mismo círculo principal en el estereograma, la medida del ángulo entre \hat{f}_1 y \hat{f}_2 se obtiene contando las intersecciones a lo largo del círculo comprendidas entre \hat{f}_1 y \hat{f}_2 (medida angular). En la figura 3.15. F_1 es igual a 20 ton inclinada 30° con -- rumbo N 40° W. F_2 igual a 30 ton inclinada 40° y rumbo N 35° E. Como se muestra la resultante R tiene la dirección \hat{F} inclinada 36° a partir de \hat{f}_1 en el plano común a \hat{f}_1 y \hat{f}_2 .

Las fuerzas actuantes que se deben considerar para el análisis dependen de cada caso en particular, estas pueden ser:

a) Peso propio del bloque analizado, denotado por w . Para su cálculo se requiere conocer las fronteras que delimitan al bloque, estos son los planos de debilidad y la superficie exterior, así como su peso volumétrico del material --

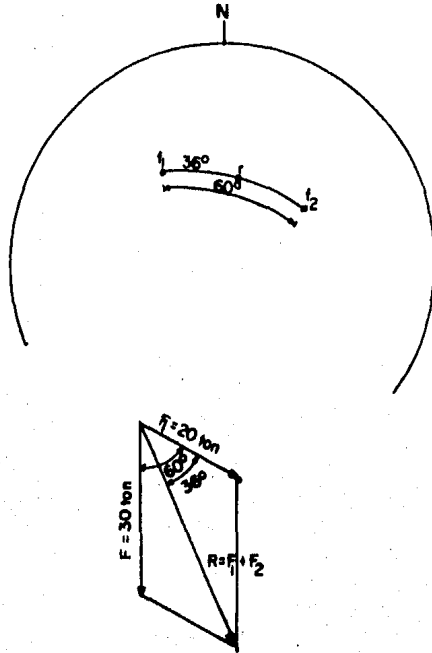


Figura 3.15. Cálculo del ángulo entre dos fuerzas y de la magnitud de la resultante.

que lo constituye.

b) Presión de agua, U , es necesario conocer el régimen de flujo de agua a través de la masa rocosa en estudio. Actúa en la dirección $-N$. Si A es el área de contacto del plano que delimita al bloque, la fuerza U está relacionada al promedio de presión de agua, u , aplicada en el plano y queda representada por la expresión:

$$U = |U| (-N)$$

c) Fuerza debida a sismo, F, puede ser tratada como una fuerza pseudoestática con aceleración constante $a=Kg$, - La fuerza de inercia es entonces:

$$F = Kg \frac{W}{g} = Kw$$

el coeficiente sísmico K se aplica en la dirección más crítica, esto es en dirección del deslizamiento.

d) Fuerzas debidas a anclas, B, cuando se ha concluido que un talud es inestable, una de las soluciones para mejorar su estabilidad es emplear anclas, la cual es una fuerza actuando en sentido contrario al deslizamiento y normal a la resultante del sistema de fuerzas.

e) Fuerzas externas, E, estas pueden ser debidas a empujes ocasionados por estructuras adyacentes, así como los ocasionados por bloques adyacentes.

Como se dijo con anterioridad la resultante de las fuerzas actuantes debe quedar dentro del círculo de fricción, - esto es que la condición límite para que el talud sea estable es:

$$\phi \text{ disponible} = \phi \text{ requerido}$$

donde:

ϕ disponible es el ángulo de fricción interna del contacto entre el bloque y la superficie de deslizamiento.

ϕ requerido es el ángulo de fricción necesario para no alterar el estado de reposo del bloque.

de donde obtenemos que para obtener el factor de seguridad tenemos:

$$F.S. = \frac{\text{Tan } \phi_{\text{disponible}}}{\text{Tan } \phi_{\text{requerido}}} \quad (3.1.)$$

El factor de seguridad permisible será función de la importancia de la obra y del riesgo que se correría en caso de deslizamiento.

En la figura 3.16. se muestra el cálculo del factor de seguridad, para la condición de peso propio, de un bloque de peso w sobre un plano potencial de deslizamiento en dirección N-S y echado 40° E, ángulo de fricción ϕ igual a 30° . El peso propio w queda representado en el centro del estereograma ya que es de sentido perpendicular a la horizontal. Para un factor de seguridad de 1 la zona estable queda limitada por el círculo de fricción.

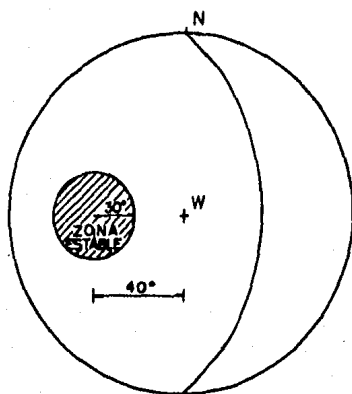


Figura 3.16. Zona estable de un bloque de peso w , sobre un plano potencial de deslizamiento con rumbo N-S y echado -40° E. $\phi=30^\circ$.

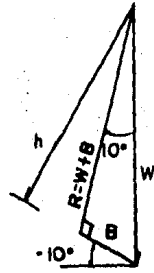
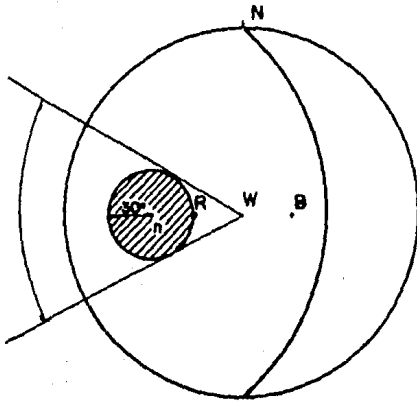
Del estereograma tenemos que:

$$F.S. = \frac{\text{Tan } \phi_{\text{disponible}}}{\text{Tan } \phi_{\text{requerido}}} = \frac{\text{Tan } 30^\circ}{\text{Tan } 40^\circ}$$

$$F.S. = 0.68$$

Si se desea un factor de seguridad $F.S.=1$ es necesario aplicar una fuerza de anclaje B . (fig. 3.17.).

RANGO DE
DISTRIBUCION
RESULTANTE
DE LA FUERZA
DE ANCLAJE



$R = 0.98 W$
 $B = 0.17 W$

Figura 3.17. Fuerza de anclaje requerida para F.S.=1.

Para el caso que se requiera mayor factor de seguridad, simplemente se despeja el ϕ requerido y, de la misma forma, se encuentra la fuerza de anclaje necesaria.

Considerese la superficie de un talud con rumbo N 70° W y echado 70° SW y un plano de falla con direcci3n E-W y echado 50° W, la resistencia entre las paredes esta dada por ϕ igual a 40° . Se aplica una presi3n de agua $U = 0.44 w$, una fuerza externa $E = 0.6 w$, en direcci3n S 45° W y con echado de 10° ; y se presenta un sismo de aceleraci3n igual a $0.15 w$. - (fig.3.18.).

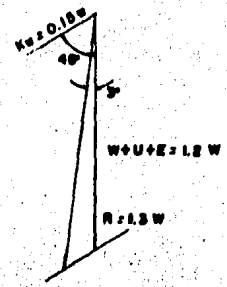
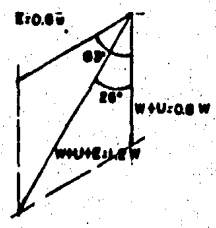
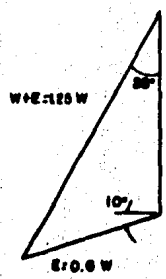
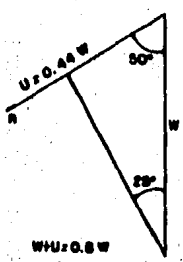
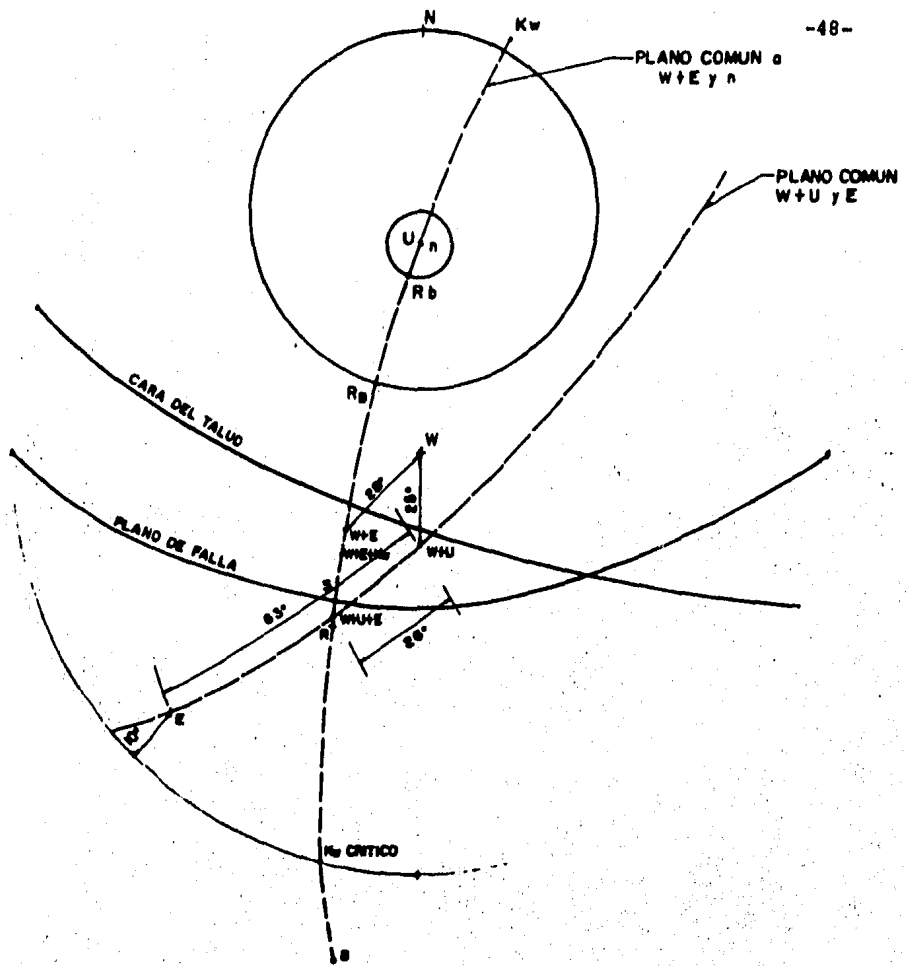


Figura 3.18.

a) Cual es la fuerza, B, necesaria para que el factor de seguridad sea igual a 1. (Fig. 3.19.)

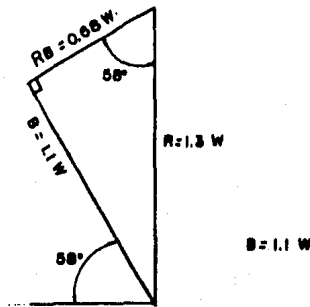


Figura 3.19. Fuerza de anclaje necesaria para F.S.=1.

b) Si al inciso anterior se coloca un sistema de drenaje, de eficiencia del 100%, ¿Cual será su factor de seguridad? (fig. 3.20.)

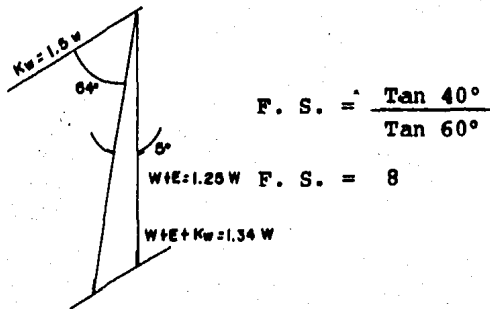


Figura 3.20. Factor de seguridad con drenaje al 100% de eficiencia.

Como se puede apreciar existen dos formas de estabilizar

un talud, con elementos de soporte (anclas, muros de retención, etc..) o bien instalando sistemas de drenaje, así como la combinación de ambos. Para seleccionar el tipo de procedimiento se requiere optimizar cual es la manera más adecuada en función de las características propias del macizo y del costo de este tipo de obras.

3.3.3. Análisis estático de estabilidad de una cuña en la intersección de dos planos potenciales de deslizamiento.

En el caso de una cuña apoyada en dos planos de deslizamiento se pueden presentar tres tipos diferentes de deslizamiento, esto es; dos tipos de deslizamiento en cada uno de los planos por separado y otro deslizamiento a lo largo de la línea de intersección de los planos. En la figura 3.21. se muestran las diferentes zonas donde puede caer la resultante del sistema de fuerzas actuantes, conociendo así el tipo posible de deslizamiento.

Para trazar la zona estable correspondiente a una cuña deslizante sobre los planos 1 y 2, con una línea de intersección $I_{1,2}$, se realizan los pasos siguientes:

I.- Se trazan las normales N_1 y N_2 de los planos de soporte.

II.- Se traza la línea de intersección, $I_{1,2}$. (En algunos casos, $I_{1,2}$ queda en el hemisferio alto).

III.- Se trazan los círculos principales comunes a N_1 y $I_{1,2}$ (plano $N_1I_{1,2}$ en la figura 3.21.) y a N_2 y $I_{1,2}$ (plano $N_2I_{1,2}$ en la figura 3.21.).

IV.- A lo largo de $N_1I_{1,2}$ se marcan los puntos p y q a una distancia ϕ_1 de N_1 , donde ϕ_1 es el ángulo de fricción para el plano 1.

V.- De la misma forma que el paso anterior se marcan los puntos s y t a una distancia ϕ_2 de N_2 , donde ϕ_2 es el ángulo de fricción para el plano 2.

VI.- Se dibujan los círculos principales que contienen a p y s por un lado, así como el que contiene a q y t.

VII.- Se construye el círculo de fricción de radio ϕ_1 alrededor de N_1 y ϕ_2 alrededor de N_2 . Se trazan solamente las porciones mostradas en la figura 3.21.

El círculo de fricción para la cuña es la zona reglada en la figura 3.21., como en el caso de análisis para un plano de deslizamiento, las fuerzas se resuelven en una figura por separado por la regla del paralelogramo, o bien analíticamente. El factor de seguridad se calcula por medio de la expresión 3.1.

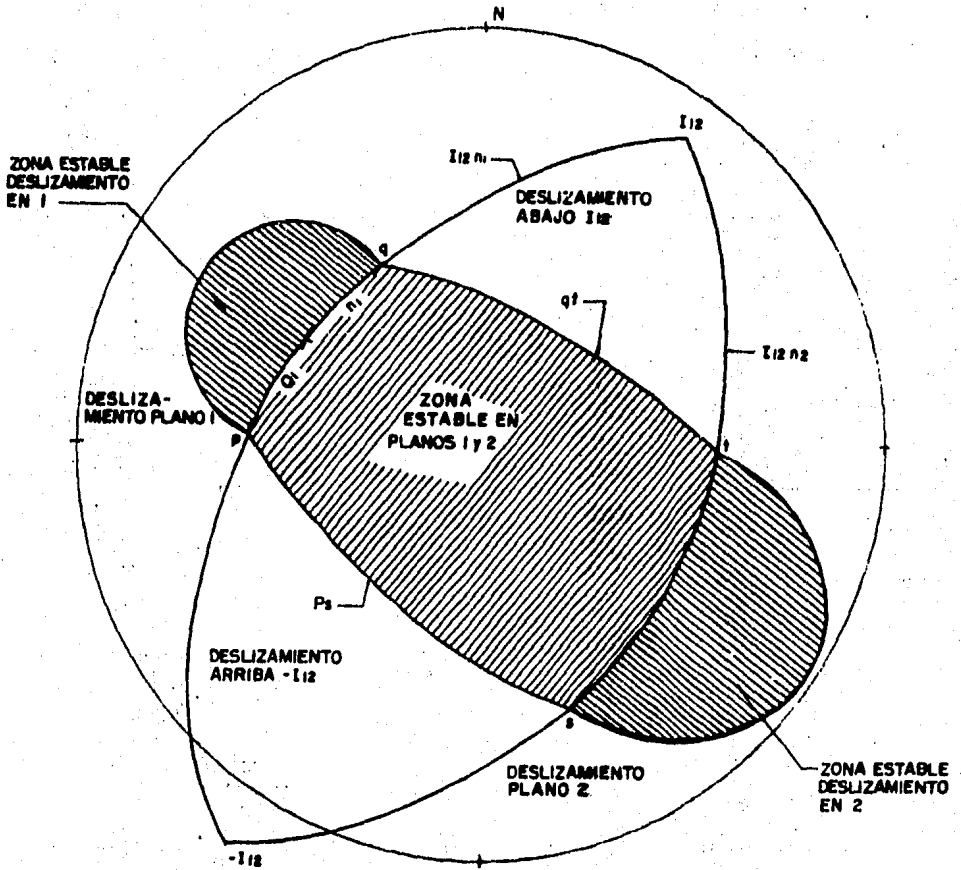


Figura 3.21. ejemplo de análisis para una cuña:

N_1 rumbo N 60° W echado 38° ; $\phi_1 = 25^\circ$; N_2 rumbo S 52° E echado 32° ; $\phi_2 = 30^\circ$.

3.3.4. Análisis estático de estabilidad de una cuña en la intersección de tres planos potenciales de deslizamiento

Se adiciona un círculo de fricción al estereograma. Dependiendo de la posición de la resultante el deslizamiento puede ocurrir en cualquiera de los tres planos, en cualquiera de las líneas de intersección, o bien la cuña puede deslizarse en los tres planos. (fig.3.22.).

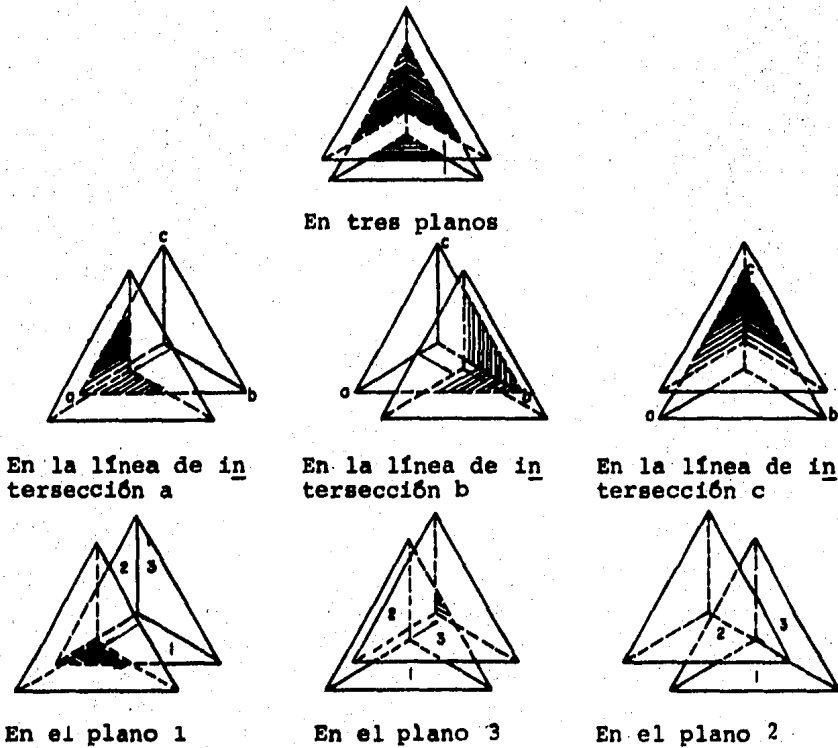


Figura 3.22. Posibilidades de deslizamiento de un bloque en la intersección de tres planos de deslizamiento.

Los métodos para determinar las fuerzas mínimas de anclaje, o bien para determinar el factor de seguridad, etc., son los mismos que los descritos con anterioridad.

En la figura 3.23, se muestra un ejemplo de determinación de la zona estable de una cuña formada por los planos: plano 1 rumbo N32°E echado 40°SE, $\phi_1=34^\circ$; plano 2 rumbo N4°E y echado 60°W, $\phi_2=12^\circ$; y el plano 3 rumbo E-W echado 50°S y $\phi_3=20^\circ$.

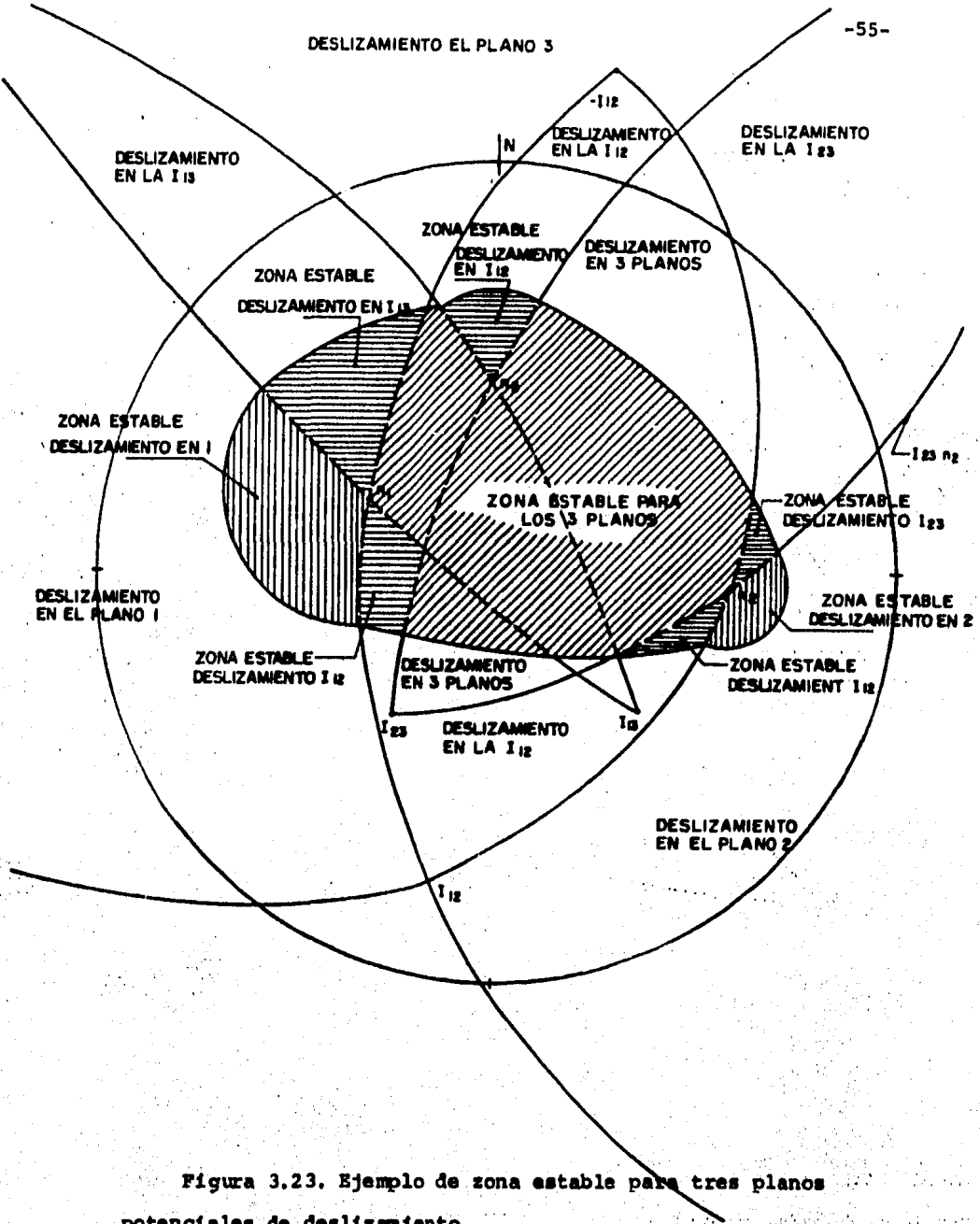


Figura 3.23. Ejemplo de zona estable para tres planos potenciales de deslizamiento.

3.4. Representación matemática de la proyección estereográfica.
fica.

3.4.1. Proyección estereográfica de un plano

Como se explica en el inciso 3.2. la línea \overline{OP} en la figura 3.24. corta a la esfera de referencia en el punto P -- las coordenadas de dicho punto, en coordenadas esféricas, es tan representadas por el punto $P(r, \theta, \delta)$.

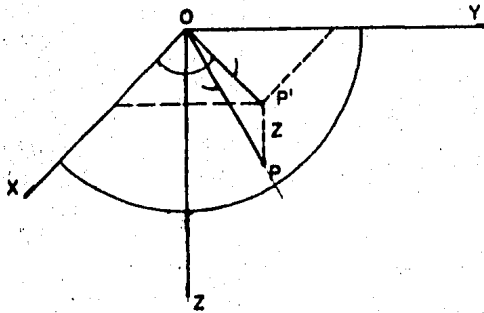


Figura 3.24. Representación gráfica de un punto que --
corta a una esfera, en coordenadas esféricas.

De la figura se tiene que:

$$\cos \delta = \frac{\overline{OP'}}{r}$$

$$\overline{OP'} = r \cos \delta$$

De donde:

$$\cos \theta = \frac{x}{r \cos \delta} : \text{SEN } \theta = \frac{y}{r \cos \delta} : \text{SEN } \delta = \frac{z}{r}$$

A partir de lo anterior podemos obtener las siguientes ecuaciones de transformación a coordenadas rectangulares:

$$\left. \begin{aligned} X &= r \cos \delta \cos \theta \\ Y &= r \cos \delta \sin \theta \\ Z &= r \sin \delta \end{aligned} \right\} \quad (3.1.)$$

Un plano puede quedar definido si se conoce un punto de él y la dirección a la cual es perpendicular, o por dos rectas que se cortan, o por tres puntos no colineales, etc..

Para este caso en particular lo definiremos a partir de un punto P de coordenadas (x, y, z) y la normal al plano de coordenadas (a, b, c) , y así realizando el producto punto entre dos vectores tenemos la ecuación del plano:

$$(a, b, c) \cdot (x, y, z) = ax + by + cz = 0$$

Despejando z se tiene:

$$Z = -\frac{a}{c} X - \frac{b}{c} Y \quad (3.2.)$$

La dirección del plano y la inclinación quedan definidos por dos vectores ortogonales entre sí, con los cuales, realizando el producto cruz, encontramos la normal al plano. Un vector ortogonal a \overline{OP} será en este caso \overline{OQ} , como se muestra en la figura 3.25..

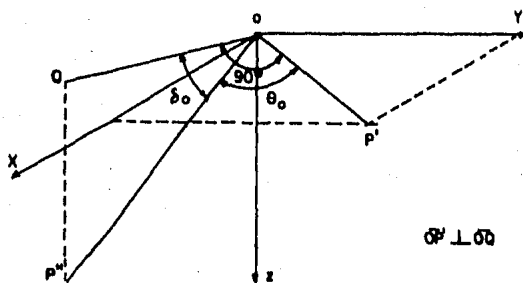


Figura 3.25. Representación gráfica de un punto ortogonal a otro en coordenadas esféricas.

De la figura 3.25, se pueden deducir la siguiente expresión:

$$\text{TAN } \theta_0 = \frac{Y}{X}$$

$$Y = X \text{TAN } \theta_0$$

por lo cual las coordenadas de P' son $(x, x \text{tan} \theta_0, 0)$, para encontrar las coordenadas del vector P'' hacemos la siguiente transformación de coordenadas, dado que es un vector ortogonal:

$$X'' = Y'$$

$$Y'' = -X'$$

quedando así el punto P'' representado por las coordenadas $P''(x \text{tan} \theta_0, -x, z)$, de donde podemos encontrar la magnitud \overline{OQ} .

$$\overline{OQ} = \sqrt{(X \tan \theta_0)^2 + (-X)^2}$$

$$\overline{OQ} = \sqrt{X^2 (1 + \tan^2 \theta_0)}$$

$$\therefore \overline{OQ} = X \sec \theta_0$$

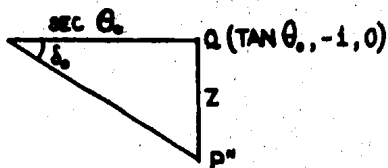
Para $x=1$ en particular obtenemos las siguientes coordenadas:

$$P' (1, \tan \theta_0, 0) \text{ y } P'' (\tan \theta_0, -1, z)$$

de donde por trigonometría podemos deducir que:

$$\tan \delta_0 = \frac{z}{\sec \theta_0}$$

$$z = \sec \theta_0 \tan \delta_0$$



por lo tanto, P'' tiene coordenadas $(\tan \theta_0, -1, \sec \theta_0 \tan \theta_0)$. -
Para encontrar la normal al plano, el cual contiene a P' y a P'' , realizamos un producto cruz, esto es:

$$\begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & \tan \theta_0 & 0 \\ \tan \theta_0 & -1 & \sec \theta_0 \tan \theta_0 \end{vmatrix} = (\tan \theta_0 \sec \theta_0 \tan \theta_0) i - (\sec \theta_0 \tan \theta_0) j + (-1 - \tan^2 \theta_0) k$$

teniendo así la normal al plano N de coordenadas:

$$(\tan \theta_0 \sec \theta_0 \tan \theta_0, -\sec \theta_0 \tan \theta_0, -\sec^2 \theta_0)$$

Sustituyendo las coordenadas de la normal en la ecuación (3.2.) tenemos:

$$-Z = \frac{\text{TAN } \theta_0 \text{ SEC } \theta_0 \text{ TAN } \delta_0}{-\text{SEC}^2 \theta_0} X + \frac{-\text{SEC } \theta_0 \text{ TAN } \delta_0}{-\text{SEC}^2 \theta_0} Y$$

haciendo:

$$A = \frac{\text{TAN } \theta_0 \text{ TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0}$$

$$B = -\frac{\text{TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0}$$

tenemos que:

$$Z = AX + BY \quad (3.3.)$$

La esfera de referencia la consideraremos de radio $r=1$, y así la ecuación (3.1.1.3.) se puede expresar como:

$$Z = \text{SEN } \delta$$

sustituyendo el valor de z de la ecuación (3.3.):

$$\text{SEN } \delta = AX + BY$$

y sustituyendo el valor de x y de y de la ecuación (3.1.), considerando $r=1$, tenemos que:

$$\text{SEN } \delta = A \text{COS } \delta \text{COS } \theta + B \text{COS } \delta \text{SEN } \theta$$

$$\text{SEN } \delta = (A \cos \theta + B \text{SEN } \theta) \cos \delta$$

$$\frac{\text{SEN } \delta}{\cos \delta} = (A \cos \theta + B \text{SEN } \theta)$$

$$\text{TAN } \delta = (A \cos \theta + B \text{SEN } \theta)$$

$$\delta = \text{ANGTAN}(A \cos \theta + B \text{SEN } \theta) \quad (3.4.)$$

sustituyendo δ , A y B en la ecuación (3.1.) tenemos que para $r=1$:

$$X = \cos \theta \cos \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\text{TAN } \theta_0 \text{ TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0} \cos \theta - \frac{\text{TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0} \text{SEN } \theta \right) \right]$$

$$Y = \text{SEN } \theta \cos \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\text{TAN } \theta_0 \text{ TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0} \cos \theta - \frac{\text{TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0} \text{SEN } \theta \right) \right]$$

$$Z = \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\text{TAN } \theta_0 \text{ TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0} \cos \theta - \frac{\text{TAN } \delta_0}{\text{SEC } \theta_0} \text{SEN } \theta \right) \right]$$

Ecuación (3.5.)

Ecuación de transformación de coordenadas esféricas, en una esfera de radio $r=1$, $(1, \theta, \delta)$ a coordenadas rectangulares (x, y, z) de un plano con variable θ sujeta a $0 \leq \theta < 360^\circ$ y constantes θ_0 y δ_0 sujetas a: $0 \leq \theta_0 < 360^\circ$ y $-\pi < \delta_0 < \pi$.

Para proyectar estas coordenadas en proyección estereográfica tenemos que:

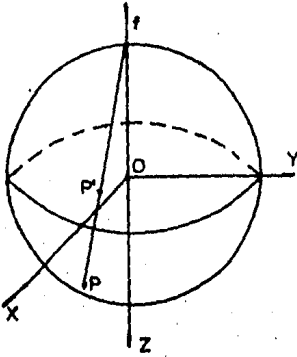


Figura 3.26. Representación matemática de un punto en la proyección estereográfica.

De la figura podemos deducir que:

$$\text{Si } \bar{f}_p = 1 \Rightarrow p' = 1-t$$

Por lo cual el punto P' tiene coordenadas $(0,0,1-t) + (xt,yt,zt)$, de donde podemos decir que las coordenadas del punto P' son $(xt,yt,1-t+zt)$.

Como la proyección estereográfica la representamos en los ejes $x-y$, tenemos que $z=0$, teniendo así que:

$$1-t+zt = 0$$

$$1+(z-1)t = 0$$

$$t = \frac{1}{1-z}$$

Por lo cual la proyección estereográfica queda representada por las coordenadas:

$$\left(\frac{X}{1-Z}, \frac{Y}{1-Z} \right) \quad (3.6.)$$

Sustituyendo la ecuación (3.5.) en (3.6.) tenemos la proyección estereográfica de un plano que pasa por el origen en función de θ .

$$\left(\frac{\cos \theta \cos \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\tan \theta_0 \tan \delta_0 \cdot \cos \theta - \frac{\tan \delta_0}{\sec \theta_0} \cdot \text{SEN } \theta \right)}{1 - \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\tan \theta_0 \tan \delta_0 \cdot \cos \theta - \frac{\tan \delta_0}{\sec \theta_0} \cdot \text{SEN } \theta \right)} \right]} \right)}{1 - \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\tan \theta_0 \tan \delta_0 \cdot \cos \theta - \frac{\tan \delta_0}{\sec \theta_0} \cdot \text{SEN } \theta \right)} \right]} \right),$$

$$\left(\frac{\text{SEN } \theta \cos \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\tan \theta_0 \tan \delta_0 \cdot \cos \theta - \frac{\tan \delta_0}{\sec \theta_0} \cdot \text{SEN } \theta \right)}{1 - \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\tan \theta_0 \tan \delta_0 \cdot \cos \theta - \frac{\tan \delta_0}{\sec \theta_0} \cdot \text{SEN } \theta \right)} \right]} \right)}{1 - \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\tan \theta_0 \tan \delta_0 \cdot \cos \theta - \frac{\tan \delta_0}{\sec \theta_0} \cdot \text{SEN } \theta \right)} \right]} \right)$$

Donde:

θ_0 . Es el rumbo del plano y varía de $0 < \theta_0 < 360^\circ$, a partir del Este.

δ_0 . Inclinación del plano a partir de la horizontal varía de $-\pi < \delta_0 < \pi$

θ = Coordenada esférica variable que varía de $0 \leq \theta < 360^\circ$ y determina la dirección de los puntos que forman la línea de intersección del plano con la esfera en los ejes X-Y a partir del eje de las X (variando θ se obtienen todos los puntos de dicha intersección).

3.4.2. Proyección estereográfica de una normal a un plano

Sea (a,b,c) una normal a un plano, para encontrar la proyección estereográfica es necesario conocer la intersección de la recta determinada por la normal con la esfera de referencia, en este caso la de radio uno.

Como la línea generada por la normal (a,b,c) está dada por el producto escalar:

$$(a, b, c) \lambda = (a\lambda, b\lambda, c\lambda)$$

donde $\lambda \in \mathbb{R}$

Sera suficiente encontrar los valores de λ para los cuales la magnitud de $(a\lambda, b\lambda, c\lambda)$ sea igual a uno. (Dentro de la esfera de radio uno).

$$\sqrt{a^2\lambda^2 + b^2\lambda^2 + c^2\lambda^2} = 1$$

factorizando tenemos que:

$$\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)} \lambda = 1$$

Elevando al cuadrado y despejando :

$$\lambda = \pm \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

Los puntos a proyectar serán entonces:

$$\left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \right) \quad (\text{1er. punto})$$

$$\left(\frac{-a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \frac{-b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \frac{-c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \right) \quad (\text{2do. punto})$$

Como queremos proyectar el punto que corta a la esfera en el hemisferio de abajo (es decir el que tenga tercera co ordenada negativa) se deberá tomar el segundo punto si c es positiva y el primero si c es negativa.

Por tanto, la proyección estereográfica será:

si $c \geq 0$:

$$\left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} - c}, \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} - c} \right)$$

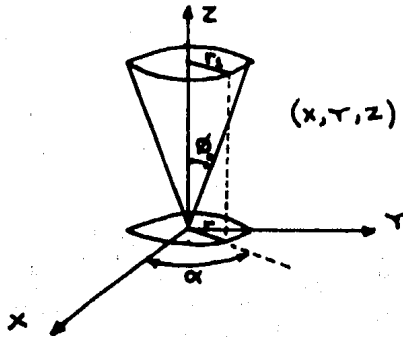
si $c < 0$:

$$\left(\frac{-a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} + c}, \frac{-b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} + c} \right)$$

3.4.3. Proyección estereográfica del cono de fricción

Para iniciar el análisis se supondrá que el cono tiene

directriz en el eje z, como se muestra en la figura:



De la figura tenemos que:

$$Z = \cos \phi_0$$

$$r_1 = \text{SEN } \phi_0$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{\text{SEN } \phi_0}$$

$$\text{SEN } \alpha = \frac{y}{\text{SEN } \phi_0}$$

despejando:

$$x = \text{SEN } \phi_0 \cos \alpha$$

$$y = \text{SEN } \phi_0 \text{ SEN } \alpha$$

de donde las coordenadas de la intersección del cono de fricción con la esfera de radio uno están dadas en términos de α por:

$$(\text{SEN } \beta, \text{COS } \alpha, \text{SEN } \beta, \text{SEN } \alpha, \text{COS } \alpha) \quad (3.7.)$$

Como para el caso general de análisis de estabilidad de macizos rocosos la directriz del cono de fricción es la normal al plano, es necesario rotar el eje Z hasta la normal en cuestión. Para ello es suficiente dar una transformación rígida del espacio en sí mismo que transforme al eje Z en la recta generada por la normal. (en particular debe transformar al punto (0,0,1) en una normal de magnitud 1), esta transformación se puede representar con una matriz de 3X3 - cuyos vectores columna sean de magnitud igual a 1 y ortogonales entre sí.

Si la normal está dada por el vector (a,b,c) una normal de magnitud 1 está dada por:

$$\left(\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}, \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}, \frac{c}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \right)$$

Un vector ortogonal al anterior es:

$$\left(\frac{-b}{\sqrt{a^2+b^2}}, \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}, 0 \right)$$

dado que cumple que el producto punto de ambos vectores es igual a cero.

Para obtener un vector ortogonal a los anteriores se efectúa un producto cruz:

$$\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{-b}{\sqrt{a^2+b^2}} & \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} & 0 \\ \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} & \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} & \frac{c}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \end{vmatrix} =$$

$$= \left(\frac{ac}{\sqrt{a^2+b^2} \cdot \sqrt{a^2+b^2+c^2}} \right) \hat{i} + \left(\frac{bc}{\sqrt{a^2+b^2} \cdot \sqrt{a^2+b^2+c^2}} \right) \hat{j} - \left(\frac{(a^2+b^2)}{\sqrt{a^2+b^2} \cdot \sqrt{a^2+b^2+c^2}} \right) \hat{k}$$

hacemos:

$$W = \sqrt{a^2+b^2+c^2} \quad \text{y} \quad V = \sqrt{a^2+b^2} \cdot W \quad (3.8.)$$

la matriz de rotación estara dada por:

$$\begin{pmatrix} \frac{ac}{V} & -\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} & \frac{a}{W} \\ \frac{bc}{V} & \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} & \frac{b}{W} \\ -\frac{(a^2+b^2)}{V} & 0 & \frac{c}{W} \end{pmatrix}$$

finalmente se tendrán las coordenadas de los puntos del cono de fricción en términos de α si se multiplica la matriz anterior por el vector (3.7.), esto es:

$$\begin{bmatrix} \frac{ac}{V} & -\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} & \frac{a}{W} \\ \frac{bc}{V} & \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} & \frac{b}{W} \\ -\frac{(a^2+b^2)}{V} & 0 & \frac{c}{W} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{SEN } \varphi_0 \text{ COS } \alpha \\ \text{SEN } \varphi_0 \text{ SEN } \alpha \\ \text{COS } \varphi_0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{ac}{V} \text{ SEN } \varphi_0 \text{ COS } \alpha - \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{ SEN } \varphi_0 \text{ SEN } \alpha + \frac{a}{W} \text{ COS } \varphi_0 \\ \frac{bc}{V} \text{ SEN } \varphi_0 \text{ COS } \alpha + \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{ SEN } \varphi_0 \text{ SEN } \alpha + \frac{b}{W} \text{ COS } \varphi_0 \\ -\frac{(a^2+b^2)}{V} \text{ SEN } \varphi_0 \text{ COS } \alpha + \frac{c}{W} \text{ COS } \varphi_0 \end{bmatrix}$$

(3.9.)

Por tanto la proyección estereográfica de cada punto del cono de fricción en términos de α estará dada por: sustituyendo los valores de V y W en (3.9.) y a su vez

en las coordenadas de la proyección estereográfica dadas en
(3.6.)

$$\left(\frac{\frac{ac}{\sqrt{a^2+b^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{SEN } \alpha_0 \cdot \text{COS } \alpha - \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{SEN } \alpha_0 \cdot \text{SEN } \alpha + \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{COS } \alpha_0}{1 - \left(\frac{c}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{COS } \alpha_0 - \frac{(a^2+b^2)}{\sqrt{a^2+b^2}} \frac{1}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{SEN } \alpha_0 \text{COS } \alpha \right)} \right)$$

$$\left(\frac{\frac{bc}{\sqrt{a^2+b^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{SEN } \alpha_0 \cdot \text{COS } \alpha + \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{SEN } \alpha_0 \cdot \text{SEN } \alpha + \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{COS } \alpha_0}{1 - \left(\frac{c}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{COS } \alpha_0 - \frac{(a^2+b^2)}{\sqrt{a^2+b^2}} \frac{1}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \text{SEN } \alpha_0 \text{COS } \alpha \right)} \right)$$

(3.9')

3.4.4. Proyección estereográfica de las líneas de intersección que forman un plano ortogonal a un plano dado con el cono de fricción

Supongamos que tenemos un plano P1 dado, de normal (a,b,c). Para determinar un plano P2 ortogonal a P1 es suficiente conocer un vector común a los planos P1 y P2, pues con este vector y la normal (a,b,c) se puede conocer una normal al plano P2 efectuando el producto cruz. Si dicho vector es (U,V,W) como está en P1 cumple que:

$$(a,b,c) \cdot (U,V,W) = aU + bV + cW = 0$$

donde despejando tenemos:

$$W = -\frac{au+bv}{c}$$

realizando el producto cruz mencionado:

$$\begin{pmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a & b & c \\ u & v & -\frac{au+bv}{c} \end{pmatrix} = \left(-\frac{(au+bv)b}{c} - vc \right) \hat{i} + \left(\frac{a(au+bv)}{c} + uc \right) \hat{j} + (av - bu) \hat{k}$$

de donde una normal al plano ortogonal P2, está dada - por:

$$\left(-\frac{(au+bv)b}{c} - vc, \frac{(au+bv)a}{c} + uc, av - bu \right) \quad (3.10.)$$

Para determinar la intersección de P2 con el círculo de fricción descrito en términos de α en las coordenadas (3.9.) es suficiente determinar los valores de α que determinen puntos que estén en el plano P2 los cuales deberán cumplir por tanto que el producto punto de los vectores:

$$\left(\frac{ac}{\sqrt{a^2+b^2}W} \text{SEN } \alpha_0 \text{COS } \alpha - \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{SEN } \alpha_0 \text{SEN } \alpha + \frac{a}{W} \text{COS } \alpha_0, \frac{bc}{\sqrt{a^2+b^2}W} \text{SEN } \alpha_0 \text{COS } \alpha + \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{SEN } \alpha_0 \text{SEN } \alpha + \frac{b}{W} \text{COS } \alpha_0, \frac{(a^2+b^2)}{\sqrt{a^2+b^2}W} \text{SEN } \alpha_0 \text{COS } \alpha + \frac{c}{W} \text{COS } \alpha_0 \right)$$

$$\left(-\frac{(au+bv)b}{c} - vc, \frac{(au+bv)a}{c}, av-bu \right) = 0$$

Sea igual a cero.

De donde efectuando el producto y despejando α tenemos que:

$$\alpha = \text{ANGTAN} \left[\frac{\sqrt{a^2+b^2+c^2}(av-bu)}{(au+bv)\left(\frac{a^2-b^2}{c}+v\right)} \right]$$

los valores de α que deben sustituirse en la ecuación (3.9.) que determinan la intersección del plano P2 con el cono de fricción son:

$$\alpha_1 = \text{ANGTAN} \left[\frac{\sqrt{a^2+b^2+c^2}(av-bu)}{(au+bv)\left(\frac{a^2-b^2}{c}+v\right)} \right]$$

(3.11.)

$$\alpha_2 = \text{ANGTAN} \left[\frac{\sqrt{a^2+b^2+c^2}(av-bu)}{(au+bv)\left(\frac{a^2-b^2}{c}+v\right)} \right] + 180^\circ$$

Cuando se tiene un plano P3 de normal N3(a',b',c') adicional al plano P1 y se desea encontrar el plano P2 con la característica de contener a la línea de intersección de P1 y P3, los valores de α que deberán sustituirse en las coordenadas dadas en (3.9.) par determinar la intersección de,

en este caso en particular, del plano P2 con el cono de fricción de directriz normal al plano P1 estarán determinados -- por la ecuación anterior sustituyendo los valores apropiados de U y V dados por la intersección de P1 y P3, esto es, como la intersección de los planos P1 y P3 es una línea que tiene directriz ortogonal a las normales de los planos P1 y P3, dicha directriz puede determinarse efectuando el producto cruz siguiente:

$$\begin{bmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a & b & c \\ a' & b' & c' \end{bmatrix} = (bc' - b'c, a'c - ac', ab' - a'b)$$

de donde:

$$U = bc' - b'c$$

$$V = a'c - ac'$$

Sustituyendo en la ecuación (3.11.), los valores de -- buscados son:

$$\alpha_1 = \text{ANGTAN} \left[\frac{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} (a(a'c - ac') - b(bc' - b'c))}{(a(bc' - b'c) + b(a'c - ac')) \left(\frac{a^2 - b^2}{c} + ac - ac' \right)} \right]$$

(3.12.)

$$\alpha_2 = \text{ANGTAN} \left[\frac{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} (a(ac - ac') - b(bc' - b'c))}{(a(bc' - b'c) + b(a'c - ac')) \left(\frac{a^2 - b^2}{c} + a'c - ac' \right)} \right] + 180^\circ$$

Para encontrar la proyección estereográfica de estos puntos bastará con sustituir los valores de α_1 y α_2 (3.12.) en las coordenadas (3.9').).

3.4.5. Proyección estereográfica de un plano común a dos -- líneas

Para encontrar la zona estable cuando el deslizamiento se lleva a cabo en la intersección de dos planos potenciales de deslizamiento, se requiere encontrar el plano común a la línea de intersección del plano común a la normal $N1(a, b, c)$ con la línea de intersección del plano $P1$ con el plano $P3$ y a su vez el plano común a la normal $N3(a', b', c')$ con la línea de intersección de $P1$ con $P3$.

Como se vió en el inciso 3.4.1. teniendo dos líneas po demos determinar un plano común a estas realizando un producto cruz para encontrar la normal a las dos líneas, para ello de las coordenadas (3.9.) tenemos:

$$\left. \begin{aligned}
 \mu_1(\alpha) &= \frac{ac}{V} \text{SEN } \phi_0 \text{COS } \alpha - \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{SEN } \phi_0 \text{SEN } \alpha + \frac{a}{W} \text{COS } \phi_0 \\
 \mu_2(\alpha) &= \frac{bc}{V} \text{SEN } \phi_0 \text{COS } \alpha + \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{SEN } \phi_0 \text{SEN } \alpha + \frac{b}{W} \text{COS } \phi_0 \\
 \mu_3(\alpha) &= -\frac{(a^2+b^2)}{V} \text{SEN } \phi_0 \text{COS } \alpha + \frac{c}{W} \text{COS } \phi_0
 \end{aligned} \right\} (3.13.)$$

Donde el valor de α esta dado en la ecuación (3.12.)
 y es la línea de intersección para el plano P1, para el plano P3 tenemos:

$$\left. \begin{aligned}
 \nu_1(\alpha) &= \frac{a'c'}{V} \text{SEN } \phi_0 \text{COS } \alpha - \frac{b'}{\sqrt{a'^2+b'^2}} \text{SEN } \phi_0 \text{SEN } \alpha + \frac{a'}{W} \text{COS } \phi_0 \\
 \nu_2(\alpha) &= \frac{b'c'}{V} \text{SEN } \phi_0 \text{COS } \alpha + \frac{a'}{\sqrt{a'^2+b'^2}} \text{SEN } \phi_0 \text{SEN } \alpha + \frac{b'}{W} \text{COS } \phi_0 \\
 \nu_3(\alpha) &= -\frac{(a'^2+b'^2)}{V} \text{SEN } \phi_0 \text{COS } \alpha + \frac{c'}{W} \text{COS } \phi_0
 \end{aligned} \right\} (3.13'.)$$

efectuando el producto cruz:

$$\begin{bmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \mu_1 & \mu_2 & \mu_3 \\ \nu_1 & \nu_2 & \nu_3 \end{bmatrix} = (\mu_2\nu_3 - \mu_3\nu_2)\hat{i} - (\mu_1\nu_3 - \nu_1\mu_3)\hat{j} + (\mu_1\nu_2 - \nu_1\mu_2)\hat{k}$$

de donde obtenemos que el plano común a las líneas de intersección tiene normal:

$$(\mu_2 v_3 - \mu_3 v_2, v_1 \mu_3 - \mu_1 v_3, \mu_1 v_2 - v_1 \mu_2)$$

sustituyendo en la ecuación (3.2.):

$$Z = -\frac{\mu_2 v_3 - \mu_3 v_2}{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2} X - \frac{v_1 \mu_3 - \mu_1 v_3}{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2} Y$$

haciendo:

$$A = -\frac{\mu_2 v_3 - \mu_3 v_2}{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}$$

$$B = -\frac{v_1 \mu_3 - \mu_1 v_3}{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}$$

de la ecuación (3.4.) tenemos:

$$\delta = \text{ANGTAN} (B \text{SENO} \theta + A \text{COS} \theta)$$

sustituyendo en la ecuación (3.1.):

$$X = \text{COS} \theta \text{COS} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\mu_2 v_3 - \mu_3 v_2}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{COS} \theta + \frac{\mu_1 v_3 - v_1 \mu_3}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{SENO} \theta \right) \right]$$

$$Y = \text{SEN } \theta \text{ COS } \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\mu_2 v_2 - \mu_1 v_1}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ COS } \theta + \frac{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ SEN } \theta \right) \right]$$

$$Z = \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\mu_2 v_2 - \mu_1 v_1}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ COS } \theta + \frac{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ SEN } \theta \right) \right]$$

Por lo cual para tener la proyección estereográfica --
 bastará sustituir los valor de X, Y y Z en las coordenadas
 (3.6.), esto es:

$$\left(\frac{\text{COS } \theta \text{ COS} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\mu_2 v_2 - \mu_1 v_1}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ COS } \theta + \frac{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ SEN } \theta \right) \right]}{1 - \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\mu_2 v_2 - \mu_1 v_1}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ COS } \theta + \frac{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ SEN } \theta \right) \right]} \right),$$

$$\frac{\text{SEN } \theta \text{ COS} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\mu_2 v_2 - \mu_1 v_1}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ COS } \theta + \frac{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ SEN } \theta \right) \right]}{1 - \text{SEN} \left[\text{ANGTAN} \left(\frac{\mu_2 v_2 - \mu_1 v_1}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ COS } \theta + \frac{\mu_1 v_2 - v_1 \mu_2}{v_1 \mu_2 - \mu_1 v_2} \text{ SEN } \theta \right) \right]}$$

(3.14.)

Proyección estereográfica del plano común a las α de
 los dos círculos de fricción en función de θ . Los valores -
 de U y V se sustituyen de las ecuaciones (3.13.) y (3.13').

3.4.6. Proyección estereográfica de operaciones con vectores
 en el espacio

Para sumar o restar las fuerzas actuantes es necesario transformar a coordenadas rectangulares por medio de las ecuaciones de transformación dadas en (3.1.) y realizar la suma vectorial.

La proyección estereográfica quedará entonces representada de la siguiente forma:

Sea un vector de coordenadas (x, y, z) y otro de coordenadas (u, v, w) tenemos:

$$\left(\frac{x}{1-z}, \frac{y}{1-z} \right) \pm \left(\frac{u}{1-w}, \frac{v}{1-w} \right)$$

finalmente las coordenadas de la resultante de un sistema de fuerzas quedan definidas en la proyección estereográfica por:

$$R \left(\frac{x}{1-z} \pm \frac{u}{1-w}, \frac{y}{1-z} \pm \frac{v}{1-w} \right)$$

A continuación se presenta un programa de computadora en lenguaje BASIC para determinar la zona estable para n planos potenciales de deslizamiento.

```

50 CLS
75 LPRINT CHR$(27);CHR$(28);:LPRINTCHR$(27);CHR$(14);
100 REM
200 DEFINT A,I,J
300 DIM A(86,108),P(2,2),M(2,3,2),S1(2,2),S2(2,2)
400 FOR I=0 TO 86: FOR J=0 TO 108:A(I,J)=32:NEXTJ,I
500 FOR I=-54 TO 54
600 LET Y=SQR(ABS(1-(I*I/2916)))
700 Z=INT(43*Y)
800 A(43-Z,54+I)=111:A(43+Z,54+I)=111
900 NEXT I
920 LET A(0,54)=78:A(43,54)=431A(44,54)=87
950 GOTO 1900
1000 FOR I=0 TO 86
1010 FOR J=0 TO 108
1020 LPRINT CHR$(A(I,J));
1030 NEXT J
1040 LPRINT
1050 NEXT I
1100 STOP
1900 INPUT "CUANTOS PLANOS POTENCIALES DE DESLIZAMIENTO SON ";PP
1950 FOR J=1 TO PP
1960 PRINT "CON QUE CARACTER GRAFICO EL PLANO ";J:INPUT N#
1965 LET N(J)=ASC(N#)
1970 NEXT J
1980 FOR J=1 TO PP
1990 PRINT
2000 PRINT"DAME ANGULO DE ORIENTACION PARA EL PLANO ";J:INPUT T(J)
2100 INPUT"DAME EL ECHADO ";F(J)
2150 PRINT"DAME ANGULO DE FRICCION PARA EL PLANO ";J:INPUTF0(J)
2200 T(J)=T(J)*3.141592654/180:F(J)=F(J)*3.141592654/180
2250 C1(J)=TAN(T(J))*TAN(F(J))/COS(T(J)):C2(J)=-TAN(F(J))/COS(T(J)):C3(J)=-1/
(COS(T(J))*COS(F(J)))
2270 NEXT J
2280 FOR J=1 TO PP
2300 B1=SIN(T(J))*TAN(F(J)) : B2=-TAN(F(J))*COS(T(J))
2400 GOSUB 2500
2450 GOTO 4010
2500 FOR I=2 TO 360 STEP 2
2600 LET W=I*3.141592654/180
2700 FI= ATN(B1*COS(W)+B2*SIN(W))
2800 IF FI>-3.141592654 AND FI<0 THEN 2900
2850 GOTO 4000
2900 X=COS(W)*COS(FI)
3000 X1=SIN(W)*COS(FI)
3100 Z=SIN(FI)
3200 U=X/(1-Z):V=X1/(1-Z)
3300 U=INT(54+54*U):V=INT(43+43*V)
3400 A(V,U)=N(J)
4000 NEXT I
4005 RETURN
4010 REM
4011 F0(J)=F0(J)*3.141592654/180
4012 W(J)=SQR(C1(J)*C1(J)+C2(J)*C2(J)+C3(J)*C3(J)):V(J)=SQR(C1(J)*C1(J)+C2(J)
*C2(J))*W(J)

```

```

4013 P1=C1(J)/(W(J)-C3(J));P2=C2(J)/(W(J)-C3(J))
4014 P1=INT(54+54*P1);P2=(43+43*P2):A(P2,P1)=N(J)
4015 FOR I=4 TO 360 STEP 4
4017 K=I*3.141592654/180
4020 S1=SIN(F0(J))*COS(K);S2=SIN(F0(J))*SIN(K);S3=COS(F0(J));S4=SQR(C1(J)*C1(
J)+C2(J)*C2(J))
4025 U1=C1(J)*C3(J)*S1/V(J)-C2(J)*S2/S4+C1(J)*S3/W(J)
4030 U2=C2(J)*C3(J)*S1/V(J)+C1(J)*S2/S4+C2(J)*S3/W(J)
4035 U3=-(C1(J)*C1(J)+C2(J)*C2(J))*S1/V(J)+C3(J)*S3/W(J)
4038 IF U3>=0 THEN 4070
4040 V1=U1/(1-U3);V2=U2/(1-U3)
4050 V1=INT(54+54*V1);V2=INT(43+43*V2)
4060 A(V2,V1)=N(J)
4070 NEXT I
4100 NEXT J
4150 IF PP=1 THEN 1000
4160 IF PP=2 THEN K(1)=1;K(2)=2;GOSUB 4200;GOTO 1000
4170 FOR L=1 TO 3
4175 K(1)=L*L/2-3*L/2+2
4180 K(2)=-L*L/2+5*L/2
4185 GOSUB 4200
4190 NEXT L
4195 GOTO 1000
4200 T1=C2(K(1))*C3(K(2))-C2(K(2))*C3(K(1));T2=C1(K(2))*C3(K(1))-C1(K(1))*C3(
K(2));T3=C1(K(1))*C2(K(2))-C1(K(2))*C2(K(1))
4205 FOR J=1 TO 2
4210 T4=C2(K(J))*T3-C3(K(J))*T2;T5=C3(K(J))*T1-C1(K(J))*T3;T6=C1(K(J))*T2-C2(
K(J))*T1
4220 Z1=(SIN(F0(K(J)))*(T5*C1(K(J))-T4*C2(K(J))))/SQR(C1(K(J))*C1(K(J))+C2(K(
J))*C2(K(J)))
4260 Z2=(SIN(F0(K(J)))*(T4*C1(K(J))*C3(K(J))+T5*C2(K(J))*C3(K(J))-T6*(C1(K(J)
)*C1(K(J))+C2(K(J))*C2(K(J)))))/V(K(J))
4280 P(1,J)=ATN(-Z2/Z1)
4283 P(2,J)=P(1,J)+3.141592654
4290 NEXT J
4300 FOR J=1 TO 2
4305 S3(J)=COS(F0(K(J)));S4(J)=SQR(C1(K(J))*C1(K(J))+C2(K(J))*C2(K(J)))
4310 FOR I=1 TO 2
4315 S1(I,J)=SIN(F0(K(J))*COS(P(I,J));S2(I,J)=SIN(F0(K(J))*SIN(P(I,J))
4320 M(J,1,I)=C1(K(J))*C3(K(J))*S1(I,J)/V(K(J))-C2(K(J))*S2(I,J)/S4(J)+C1(K(J)
))*S3(J)/W(K(J))
4330 M(J,2,I)=C2(K(J))*C3(K(J))*S1(I,J)/V(K(J))+C1(K(J))*S2(I,J)/S4(J)+C2(K(J)
))*S3(J)/W(K(J))
4340 M(J,3,I)=-C1(K(J))*C1(K(J))+C2(K(J))*C2(K(J))*S1(I,J)/V(K(J))+C3(K(J)
))*S3(J)/W(K(J))
4350 NEXT I,J
4360 FOR I=1 TO 2
4370 FOR J=1 TO 2
4380 Q1=M(J,1,I)/(1-M(J,3,I));Q2=M(J,2,I)/(1-M(J,3,I))
4390 Q1=INT(54+54*Q1);Q2=INT(43+43*Q2)
4400 A(Q2,Q1)=42
4410 NEXT J,I
4420 FORJ=1TO2
4422 IF M(J,3,2)<M(J,3,1) THEN 4430
4424 Y1=M(J,1,1);Y2=M(J,2,1);Y3=M(J,3,1)
4426 M(J,1,1)=M(J,1,2);M(J,2,1)=M(J,2,2);M(J,3,1)=M(J,3,2)

```

```
4428 M(J,1,2)=Y1:M(J,2,2)=Y2:M(J,3,2)=Y3
4430 NEXT J
4440 FOR K=1 TO 2
4442 T1=M(1,2,K)*M(2,3,K)-M(2,2,K)*M(1,3,K)
4444 T2=M(2,1,K)*M(1,3,K)-M(1,1,K)*M(2,3,K)
4446 T3=M(1,1,K)*M(2,2,K)-M(2,1,K)*M(1,2,K)
4448 B1=-T1/T3:B2=-T2/T3
4450 J=K+2:N(J)=46
4454 GOSUB 2500
4456 NEXT K
4460 RETURN
4500 PRINT "ACABARON LAS PROYECCIONES"
```

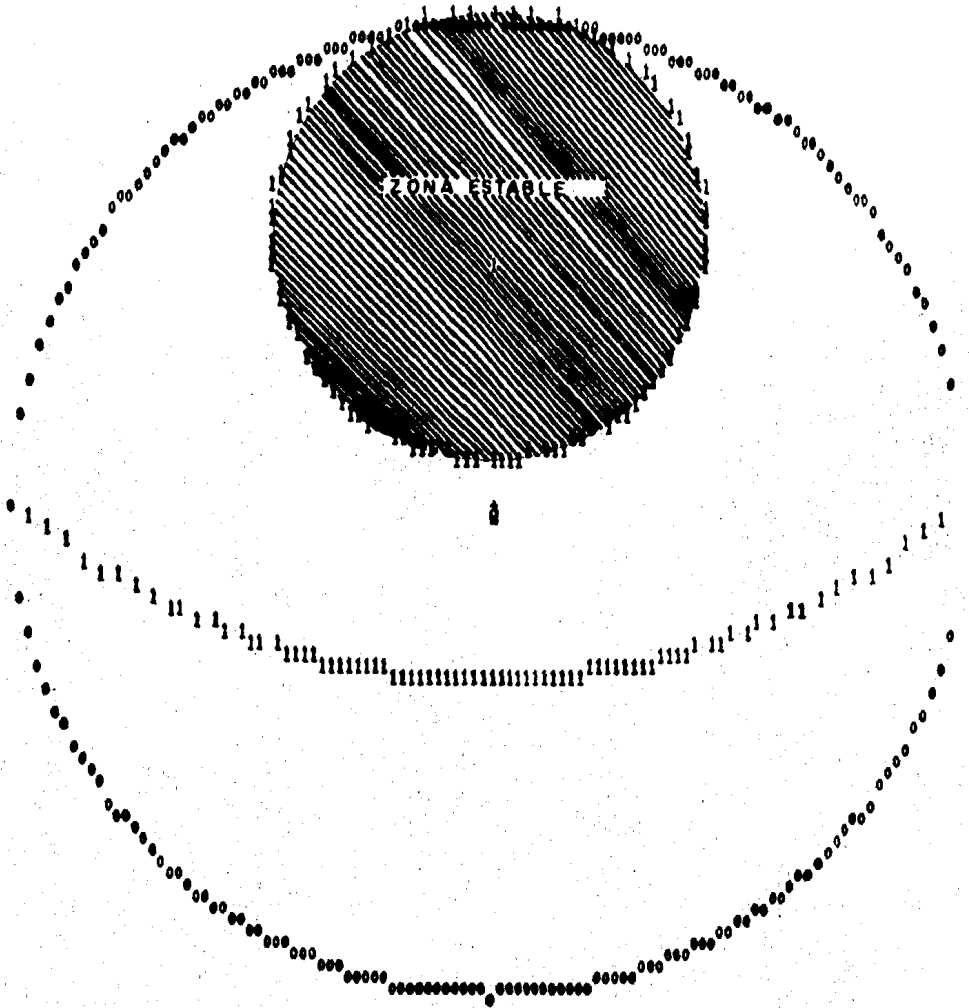


Figura 3.27. Ejemplo de análisis por computadora con -
los datos del ejemplo del inciso 3.3.2.

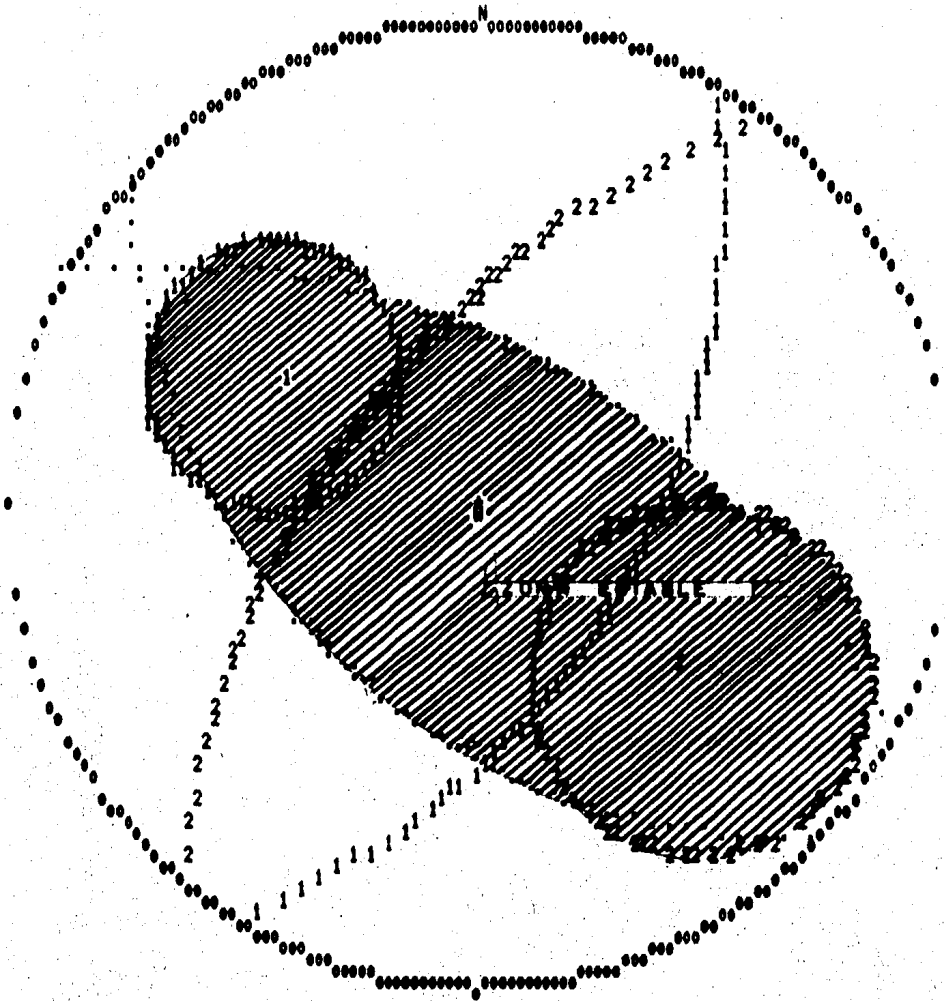


Figura 3.28. Ejemplo de análisis por computadora con los datos del ejemplo del inciso 3.3.3.

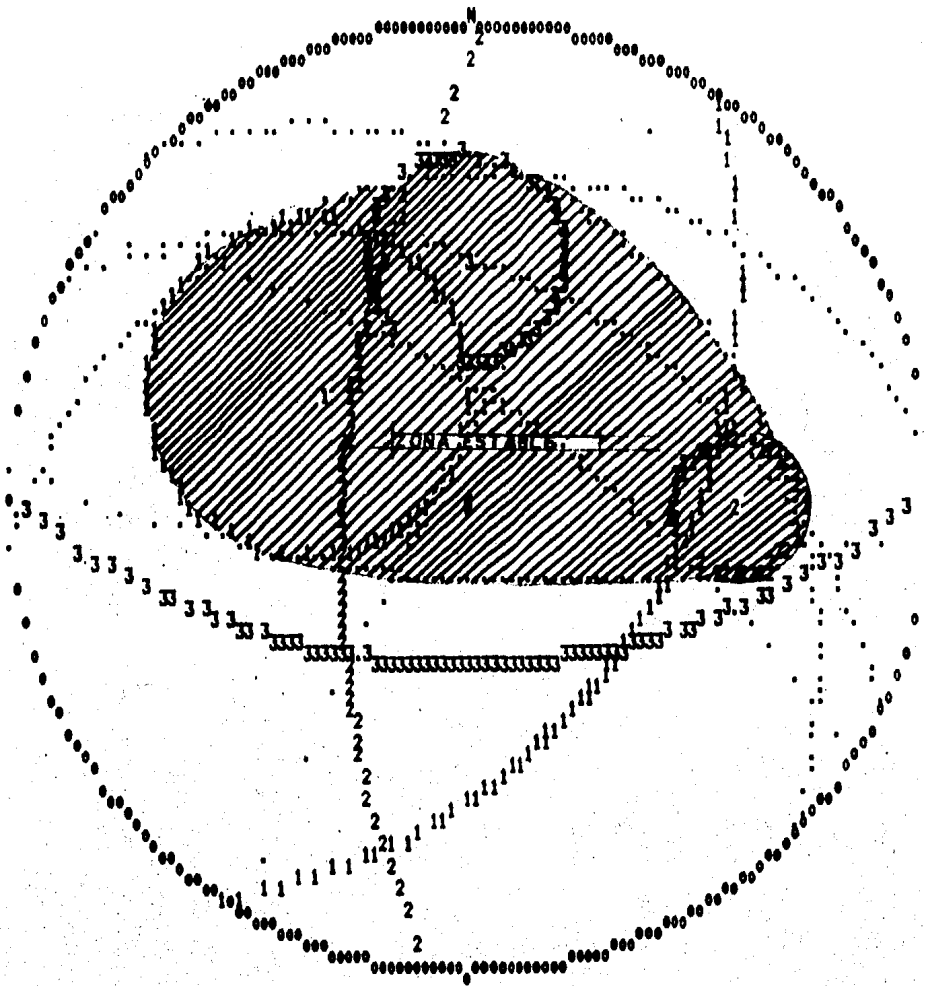


Figura 3.29. Ejemplo de análisis por computadora con los datos del ejemplo del inciso 3.3.4.

4.- RECOPIACION DE DATOS GEOLOGICOS

4.1. Estructura geológica de la boquilla

4.1.1. Morfología y estructura

La boquilla de Itzantún está enclavada en un bloque de calizas (Horst Itzantún) de forma casi rectangular cuyas dimensiones aproximadas son de 3 km de largo por 60 m de ancho. Dicho bloque se orienta de Este a Oeste y está limitado por fallas hacia el Norte, Sur y Poniente, contrastando con la morfología adyacente del terreno.

La boquilla tiene un perfil asimétrico con 250 m de altura en la margen izquierda y hasta 350 m en la margen derecha, sus flancos son paredes casi verticales, sobre todo en la margen izquierda, su amplitud en el cauce del río es menor de 10 m y en su parte más alta llega a tener unos 120 m de separación entre ambas margenes.

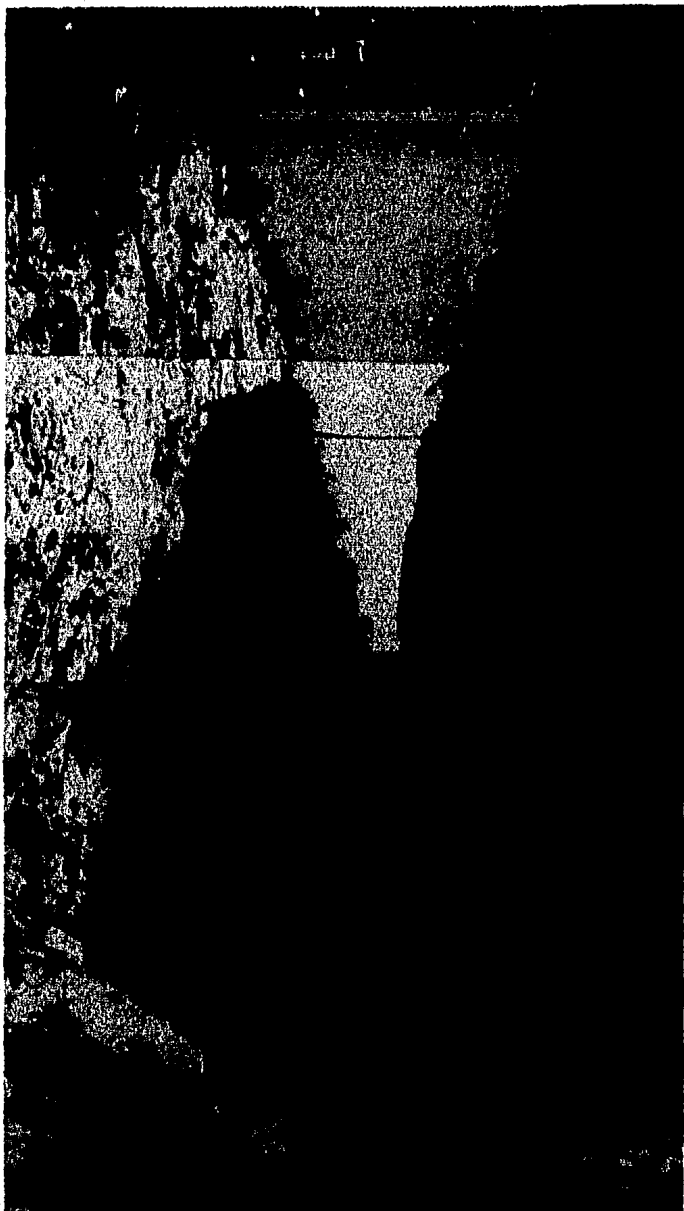


Figura 4.1. Vista de la boquilla en el sitio de la cortina. Las paredes del cañón están formadas por roca caliza, cuyas tres unidades litológicas se han estudiado en este sitio. Se puede observar los portales de entrada a los socavones.

La zona superior de ambas laderas forma dos plataformas que descienden topográficamente hacia aguas abajo, desde la elevación 440.00 m a la 270.00 m en la margen izquierda y - de cota 500.00 m a 310.00 m en la margen derecha; ambas siguiendo la pendiente natural de los planos de estratificación del macizo rocoso.

Se piensa que el origen de esta garganta sea el producto de efectos erosivos del río al abrirse paso a través del sistema de fisuras de las familias Alfa y Beta (que se describen en el inciso 4.1.3.). Las rocas de ambas margenes -- son objetivamente muy duras, densas y competentes y presentan ligeros efectos cársticos en la parte superior de las laderas.

4.1.2. Estratigrafía

Para fines prácticos, el paquete de rocas de la boquilla, se ha dividido en 3 unidades como sigue:

Unidad 1.- Aflora únicamente en la parte alta de la -- margen derecha y a 300.00 m del cantil de la margen izquierda. Es una caliza de color gris claro cremoso, en estratos de 0.30 a 1.50 m de espesor, a veces masiva, muy dura, densa, compacta y competente, con abundantes restos fósiles; - sus planos de estratificación son ligeramente ondulantes. La roca de esta unidad en conjunto es homogénea y no incluye materiales arcillosos entre los planos de estratificación.

Unidad 2.- Aflora en ambas margenes de la boquilla y es una caliza color gris claro a oscuro, imtemperiza a color -- amarilliente, ligeramente recristalizada, dura, densa y competente. Es una secuencia masiva, es decir sin planos de estratificación; se observan fracturas generalmente rellenas - de calcita. El espesor de esta unidad es de 180.00 m.

Unidad 3.- Constituye la parte inferior de la boquilla a nivel del cauce del río. Es una caliza arenosa (calcarenitas), de color gris claro, biógena, muy dura densa y compacta. Se caracteriza por presentar planos de estratificación - bien definidos, originando capas de 1.20 a 6.00 m de espesor. Las fracturas se encuentran generalmente selladas por calcita. Esta unidad tiene aproximadamente 250 m de espesor; hacia su base presenta afacies arcillo-arenosas.

Las 3 unidades descritas se disponen con un rumbo NW 50° SE, buzando 24° al NE e inclinándose de la margen izquierda a la derecha y hacia aguas abajo.

El contacto entre las unidades 1 y 2 es cerrado y no -- aparenta problemas mayores de estabilidad; al contrario el -- contacto entre las unidades 2 y 3 es cerrado en algunas par-- tes, pero mas frecuente resulta abierto, desde algunos milí-- metros hasta un máximo de 2 centímetros, cuando abierto el -- contacto está relleno por arcilla carbonosa plástica. Este aspecto tiene un valor práctico en relación la estabilidad - del macizo.



Figura 4.2. Contacto litológico entre las unidades 2 y 3.

4.1.3. Fracturamiento

Las rocas de la zona de la boquilla están afectadas por cuatro tipos de familias de fracturas:

Familia Alfa, con dirección general al NE 30° SW. Estas fracturas corren paralelas a las laderas del cañón, inclinándose de 70° a 30° hacia el NW, un gran número de ellas prácticamente verticales.

El fracturamiento se relaciona íntimamente con las zonas decomprimidas de las paredes del cañón. Más adentro de las laderas estas fracturas en general están selladas por calcita, son discontinuas y presentan estriamiento en posi--

ción horizontal por efectos tectónicos de cizalla y rasgos -
cársticos poco considerables y aislados.

Familia Beta, con dirección N-S. Son fracturas de menor
importancia generalmente cerradas o selladas por calcita, --
así mismo presentan inclinaciones verticales o subverticales
y se asocian con la familia Alfa; ambas dieron origen al cur
so del río en el cañón de Itzantún.

Familia Gama, con dirección NW - SE. En general presen-
tan inclinaciones hacia el SW 75° y casi normales a los pla-
nos de estratificación del macizo calcáreo, manifestando --
cierto paralelismo con el rumbo de la estratificación y for-
mando un ángulo de 30° a 50° con la dirección de la falla de
Itzantún.

Familia Delta, con dirección E-W. Pocas fracturas tie--
nen esta dirección y están relacionadas con los movimientos
de la falla de Itzantún.

Las primeras 3 familias de fracturas son más claras y -
visibles sobre la ladera de la margen izquierda, mientras --
que en la margen derecha, y sobre todo dentro de la masa ro-
cosa, el fracturamiento tiene menor importancia.

En las laderas, la zona más interesada por las fisuras
(zona decomprimida), tiene un espesor del orden de 20 m en -

la margen izquierda, en la base del cañón, y de 10 a 15 m -
en la margen derecha.

El fracturamiento es también bastante intenso en la -
unidad 1, en parte por su posición, en el tope del edificio
del Horst; aquí el sistema de fracturas y posiblemente la -
acción meteórica tiende a formar grandes bloques aislados, -
cuya estabilidad puede ser dudosa en el caso del sismo.

En el plano 4.1. se muestra el fracturamiento en el si-
tio de la cortina.

4.2. Descripción de socavones

4.2.1. Margen izquierda

Se han excavado 11 socavones, la galería de inyecciones
(G-1), y un contrapozo de 170 m. Dichas obras no se encuen-
tran sobre un eje determinado, si no en diferentes puntos de
la ladera, en la zona de la falla de Itzantún y aguas abajo.

Los socavones presentan las siguientes características:

SOCAVON 1 Elevación 252.00 m.s.n.m.
Longitud 25.70 m

Presenta una zona de alteración por decompresión desde

0.00 hasta los 10.00 m de profundidad, observándose en esta parte microfracturamiento y alteración de la roca por efectos de circulación de agua en el pasado.

Unicamente presenta 2 fracturas consideradas como importantes, una en la progresiva 7.40 m con un rumbo de NE 55° - con una inclinación de 85° hacia el NW con relleno arcilloso y otra en la progresiva 19.50 m con rumbo NE 30° SW buzando 45° hacia el NW parcialmente rellena de arcilla.

La primera fractura se correlaciona y parece coincidir con una fractura localizada en los primeros metros del socavón 4, localizada a la elevación 222.00 m.

SOCAVON 2 Elevación 232.36 m.s.n.m.
 Longitud 37.60 m

La zona de alteración por decompresión se encuentra hasta los 15.00 m donde se observa microfracturamiento. Unicamente se encuentra una fractura considerada como importante localizada en la progresiva 16.00 m cuyo rumbo es NE 47° -- con 82° hacia el SW que probablemente este relacionada con la fractura localizada en la progresiva 7.40 m del socavón - 1; hacia el fondo de este socavón se observan 3 fracturas de regular a mayor importancia senciblemente paralelas con rumbo en el rango de NE 20° - 30° SW con 60° de inclinación.

SOCAVON 4 Elevación 222.0 m.s.n.m.

Longitud 356.50 m incluyendo 2 cruceros.

La zona de decompresión y alteración llega hasta los 17.00 m de profundidad, la mayor parte de las fracturas no se encuentran totalmente selladas. Las fracturas de importancia se encuentran entre los 10.00 y 17.00 m de profundidad, las cuales están parcialmente abiertas con rellenos arcillosos hasta la progresiva 105.00 m se encuentra una fractura con un desplazamiento normal de 2.00 m, en la cual se observan estrias y escasa infiltración, la cual tiene un rumbo de NE 40° SW con 80° de inclinación hacia el SE, la cual coincide con la fractura localizada en el cadenamamiento 158.00 m del Socavón 12.

SOCAVON 6 Elevación 341.60 m.s.n.m.

Longitud 121.00 m

No se observa zona definida con efectos de decompresión, a lo largo de esta obra se observa microfracturamiento con un rumbo general NW 38° SE y con inclinación de 67° al SW. Presenta fracturas de regular a mayor importancia con rumbos NE 76° SW y 80° de inclinación SE en el caminamiento 23.30 m y SW 85° NE con 53° al SE en el caminamiento 28.70 m. En la progresiva 66.60 m y 84.50 m presenta fracturas de importancia considerable con rumbos NE 29° SW y NE 44° SW respectivamente verticales, parcialmente selladas, -

las cuales coinciden con fracturas levantadas en superficie.

SOCAVON 8 Elevación 212.00 m.s.n.m.

Longitud 126.00 m

El sistema de fracturamiento más importante presenta una tendencia general E-W con inclinaciones hacia el N y S habiéndose originado seguramente por los efectos de compresión y decompresión a que estuvo sujeta esta zona, son -- fracturas con aberturas variables entre 0.50 cms que presentan rellenos arcillosos, otro sistema de fracturas considerables tiene un rumbo general NE 30° SW, en su mayoría selladas por calcita.

Esta obra se hizo con el propósito de estudiar directamente la falla Itzantún en esta margen, habiéndose localizado en la progresiva 126.00 m con un rumbo NW 80° SE - y con una inclinación de 62° al NE donde se observa un espesor de 0.50 m de material milonitizado que sirve de límite y pone en contacto discordante por falla a las lutitas, limolitas y areniscas de color rojizo de la formación Simojovel con las calcarenitas (unidad 3), de la "formación -- Mompuyil".

SOCAVON 11 Elevación 222.00 m.s.n.m.

Longitud 130.00 m

Se observan efectos clásicos de decompresión hasta los 7.00 m de profundidad; en todo su desarrollo la roca se encuentra en muy buenas condiciones y solo se encuentran 3 -- fracturas de regular a mayor importancia con un rumbo general hacia el NE, siendo la fractura localizada en la progresiva 74.00 m. La considerada de mayor importancia, la cual tiene un rumbo de NE 10° SW con 80° de inclinación al SE, y la cual parece relacionarse con la fractura localizada en el cadenamiento 121.00 m del Socavón 12.

SOCAVON 12 Elevación 222.00 m.s.n.m.

Longitud 176.00 m

Labrado sobre roca de la unidad 3 hasta los 95.00 m de profundidad pasando a la unidad 2 desde esta parte hasta el frente; la junta de estratificación localizada en este sitio tiene un buzamiento de 24° hacia el N 48° E; los efectos de decompresión son visibles en los primeros 4.00 m en el desarrollo de toda esta obra se encuentra la roca en buenas condiciones, encontrándose únicamente 9 fracturas de regular a mayor importancia 8 de las cuales se encuentran con un rumbo de NE 25° SW a NE 50° SW, por lo general sensiblemente verticales; de estas fracturas la que consideramos de mayor importancia es la localizada en la progresiva 158.00 m con un rumbo NE 30° SW inclinándose 86° hacia el SE que presenta aberturas entre 5.00 a 25.00 m, la cual coincide con la pequeña falla localizada en la progresiva 105.00 m -

del socavón 4 llegando hasta el socavón 11, progresiva --
103.00 m donde es muy poco persistente .

SOCAVON 14 Elevación 270.00 m.s.n.m.

Longitud 147.00 m

Por lo general la roca está bastante sana en toda su -
extensión localizándose solo una fractura importante en la
progresiva 31.00 m con un rumbo NE 43° SW vertical, que po-
siblemente se relaciona como la primer fractura localizada
en la caverna; a los 114.00 m del portal se localiza una --
junta de regular importancia con un rumbo de NE 32° SW ver-
tical que se relaciona con la fractura localizada en la pro-
gresiva 108.00 m del socavón 25, en algunos pequeños y esca-
sos intervalos presenta microfracturamiento.

SOCAVON 15 Elevación 222.00 m.s.n.m.

Longitud 327.00 m

Partiendo del socavón 4 hasta su intersección con el -
socavón 11 (zona de apoyo de la cortina), se desarrolló so-
bre roca masiva de la unidad 2, se observó la roca bastante
sana y competente, localizándose únicamente 3 fracturas de
regular a menor importancia en los cadenamientos 1.90, 81.00
y 117.00 m en este mismo socavón continuando hacia aguas aba-
jo hasta el cruceo P.I. se sigue dentro de la unidad 2, don-
de se localizan 5 fracturas importantes parcialmente abier--

tas y carcificadas conteniendo rellenos de arcillas y alteraciones, éstas se encuentran en los cadenamientos 133.00 m con rumbo NE 23° SW vertical, 195.00 m con rumbo NE 24° SW vertical, 205.00 m con rumbo NE 40° SW vertical y 215.00 m con rumbo NE 25° SW vertical de las cuales solo la primer -- fractura cruza el socavón 11 en forma poco notable.

La posición estratigráfica de esta zona carcificada y -- fracturada sobre todo la de las dos últimas fracturas coincide y al parecer se relaciona con la zona de la caverna que -- está a la elevación 270.00 m y 115.00 m hacia aguas arriba -- de este sitio.

Del cadenamiento 221.00 hasta la salida se deflexiona -- hacia a el Norte, continuando en la unidad 2, parte media -- superior; donde se localizan 5 fracturas notables, de las -- cuales las 3 primeras son continuidad de las anteriores y -- las últimas dos se encuentran en la cercanía de la falla Nor -- te acusando influencia de ésta, ya que tienen un rumbo E-W.

En el desarrollo de esta obra se observan algunas jun -- tas de estratificación, en los cuales el contacto está de ro -- ca y solo presentan carcificaciones en la intersección de es -- tos planos con fracturas.

SOCAVON 22-23	Elevación	222.00 m.s.n.m.
	Longitud	303.00 m

Se observan efectos de decompresión en los primeros metros siguiendo la roca dura y compacta de la unidad 2, hasta la progresiva 45.00 m de aquí a los 70.00 m se observa en la roca efectos de afallamiento localizándose la traza de la falla a los 65.00 m donde hacen contacto calizas con calizas, con un espesor de roca brechada y alterada de unos 4.00 m de espesor aparente, ya que este accidente es cruzado en forma diagonal, con el fin de conocer y verificar la presencia de la falla más adentro de la ladera y con mayor cobertura se prolongó la obra (socavón 23), el cual se desarrolla en en las rocas del bloque vecino de aguas abajo (unidad 5), de la formación Simojovel, el cual consiste en parte de un paquete de calizas competentes de 70 a 80 m de espesor, que cambia litológicamente hacia la parte Norte a focies de rocas calizas con intercalaciones arcillo-arenosas (litología diferente del macizo Itzantón), al fondo de dicho socavón se tiene un crucero con rumbo N-S, en cuyo extremo Sur se verificó la presencia de la falla cortándola perpendicularmente en la progresiva 63.00 m características vistas en el cruce anterior correlacionándose como ya estaba previsto, el espesor de roca afallado es de 1.50 m, el cual consideramos real, ya que la falla es cortada ortogonalmente.

A lo largo de estas obras el fracturamiento generalmente tiene un rumbo sensiblemente E-W acusando efectos de la falla vecina; entre las fracturas notables tenemos en el socavón 22, en la progresiva 45.00 m una fractura de rumbo --

NW 85° SE vertical y en el socavón 23, en la progresiva 9.00 m tenemos una fractura de rumbo SE 82° NW con 82° de inclinación hacia el E.

SOCAVON 25 Elevación 270.00 m.s.n.m.

Longitud 120.00 m

Por lo general la roca es sana y compacta observándose a intervalos zonas microfracturadas y selladas por calcitas; a los 15.00 m de profundidad corta una caverna de grandes dimensiones que se prolonga hacia el Poniente. Pasando esta anomalía que se encuentra a 130 m aguas abajo del sitio de la cortina encontramos solo 3 fracturas de importancia, la primera en la progresiva 23.40 m de rumbo NE 30° SW con 70° de inclinación hacia el E que coincide notablemente con la primer fractura y la más notable en la caverna. Tenemos otra fractura en el cadenamiento 98.00 m con rumbo NE - 20° SW vertical que presenta respaldos alterados, y otra en la progresiva 108.00 m con un rumbo NE 10° SW vertical.

4.2.2. Margen derecha

Se han excavado nueve socavones localizados en varios puntos de dicha margen y a diferentes elevaciones, todos los socavones de esta margen se encuentran en la unidad 2 excepción del socavón 9 dado en la unidad 3.

SOCAYON 3 Elevación 232.00 m.s.n.m.
Longitud 60.00 m

Esta obra se emportaló en el contacto entre las unidades 3 y 2 siguiendo sobre la unidad 2, presenta en la junta de estratificación un echado de 24° hacia el N 48° E, la zona de decompresión y por tanto abundante microfracturamiento, es hasta los 15.00 m de profundidad donde presenta alteración incipiente.

La totalidad de las fracturas no se encuentran totalmente selladas existiendo infiltración de agua a lo largo del socavón. En esta obra únicamente se encuentra una fractura considerada de importancia, localizada a los 9.40 m de profundidad con un rumbo NW 25° SE con 70° de inclinación hacia el SW.

SOCAYON 5 Elevación 221.60 m.s.n.m.
Longitud 173.00 m

La zona de alteración se presenta de los 0.00 m a los 11.00 m de profundidad, donde se observa microfracturamiento, en general la roca se presenta en buen estado. Tenemos 4 fracturas senciblemente paralelas con rumbo en el rango NE 33° - 43° SW y de 80° a 85° de inclinación hacia el NW. A la progresiva 114.00 m tenemos una fractura considerada de importancia con rumbo NE 21° SW y 74° de inclinación --

hacia el NW y que se puede relacionar con una fractura localizada en superficie, la cual coincide en rumbo con una anomalía topográfica localizada en esta margen; en las progresivas 163.00 y 167.60 m tenemos 2 fracturas importantes con rumbo senciblemente N-S y con 80° de inclinación hacia el W, las cuales se encuentran parcialmente rellenas de calcita y con infiltraciones al igual que la anterior.

SOCAYON 7 y 7' Elevación 356.15 m.s.n.m.

Longitud 67.00 m y 56.40 m respectivamente.

En el desarrollo de estas obras se observan abundantes líneas estilolíticas, y el fracturamiento por decompresión, y la roca alterada se reduce a los primeros 5.00 m; no se observa fracturamiento importante, estando la gran mayoría de fracturas presentes totalmente selladas por calcita.

En esta parte se observa una junta de estratificación presentando un echado de 26° al N 40° E.

SOCAYON 9 Elevación 214.00 m.s.n.m.

Longitud 115.00 m

La zona de decompresión se considera hasta los 10.00 m de profundidad donde se observan ligeros rasgos de alteración por efectos de la infiltración no se observan fracturas

de importancia considerable, teniendo el fracturamiento -- existente un rumbo preferencial NE 30° SW con inclinaciones hacia el NW, de las cuales la mayoría se encuentra totalmen te selladas por calcita. Se observan también fracturas con rumbos preferenciales NW-SE y EW como en el socavón 8 y seguramente con el mismo origen.

Este socavón se elaboró con el fin de estudiar directa mente la falla Itzantún en esta margen, la cual se cortó a los 56.00 m de profundidad. El plano de falla en este sitio tiene un rumbo de NW 85° SE con 78° de inclinación hacia el N, el cual sirve de límite entre las calcarenitas de la -- unidad 3 con las areniscas limosas de la unidad 4 "forma--- ción Simojovel", las cuales continuaron frente del socavón (progresiva 115.00 m), donde se localiza otra fractura con desplazamiento, la cual presenta un rumbo NW 78° SE con 60° de inclinación al NE cuyo plano se encuentra dentro de la - unidad 4, es senciblemente paralela a la falla anterior y -- se considera que fue ocasionada cuando los esfuerzos de -- compresión, a que estuvo sujeta esta área.

El buzamiento general en las rocas de la unidad 3 es -- de 25° en dirección N 40° E.

SOCAVON 10 Elevación 232.00 m.s.n.m.

Longitud 121.00 m

Se encuentra emportalado en el contacto entre las unidades 3 y 2, el cual tiene un buzamiento de 25° hacia el N 48° E que se pierde en la progresiva 4.00 m siguiendo el -- resto de la obra sobre la parte inferior de la unidad 2.

Este socavón tiene un rumbo NE 35° SW y su finalidad fue seguir una fractura con este rumbo localizado en la clave de esta obra; esta fractura presenta una inclinación de 55° hacia el W, se encuentra totalmente abierta con partes con rellenos arcillosos y/o calcareos y escasas estrías; este socavón cruz el socavón 10' en la progresiva 65.00 m siguiéndose la fractura los 40 m siguientes hasta hacerse menos persistente y casi desaparecer siendo esta fractura la más importante y de mayor cuidado en esta margen, ya que posiblemente sea la continuidad de la fractura localizada en superficie hacia el oriente y que coincide con la anomalía topográfica de esta margen.

SOCAVON 10' Elevación 232.00 m.s.n.m.

Longitud 85.00 m

Esta obra fue realizada en la parte inferior de la unidad 3, la zona de decompresión llega hasta los 14.00 m de profundidad reflejada por alteración y fracturamiento; en esta zona se observan 3 fracturas de regular a mayor importancia, las cuales tienen un rumbo general NE 10° SW con 80°

inclinación hacia el W. Hacia el frente de este socavón se localiza una fractura de regular a mayor importancia con un rumbo NE 25° SW y 60° de inclinación hacia el W.

SOCAVON 13 Elevación 222.00 m.s.n.m.

Longitud 98.30 m

Se excavó dentro de la parte media de la unidad 2, los efectos de decompresión no se hacen visibles, estando la roca excepcionalmente sana en todo su desarrollo con solo una fractura de regular importancia en la progresiva 84.00 m -- con un rumbo de NE 25° SW inclinándose 80° hacia el SE; en esta obra se observa una junta de estratificación con un -- echado de 25° hacia el N 50° E.

SOCAVON 26 Elevación 270.00 m.s.n.m.

Longitud 163.20 m más 38.60 m de crucero

Esta excavado dentro de la parte media de la unidad 2 roca excepcionalmente sana, encontrándose efectos de decompresión únicamente hasta los 2.00 m de profundidad; no se encuentra ninguna discontinuidad de importancia, es muy notable en todo el desarrollo de éste la abundancia de líneas estilolíticas con sus pequeñas sureclas de oxidación y en el fracturamiento existente el rumbo preferencial NE 30° SW con inclinaciones muy cerca de la vertical.

SOCAVON 27 Elevación 270.00 m.s.n.m.

Longitud 102.00 m

Esta obra está labrada dentro de la parte media de la unidad 2, roca en magníficas condiciones donde los efectos de decompresión no se hacen visibles, se encuentran solo -- tres discontinuidades de regular a mayor importancia; la primera en la progresiva 16.00 m con un rumbo NE 30° SW incli-- nandose 70° hacia el NW, y otras 2 fracturas en las progresi-- vas 94.50 m y 95.50 m ambas con rumbo NE 20° SW inclinandose 80° al W, en el desarrollo de esta obra se hace notable la - abundancia de líneas estilolíticas y la tendencia de fractu-- ramiento como en el socavón 26 (NE 30° SW).

4.3. Levantamiento de socavones

Los levantamientos efectuados en los socavones se presentan a continuación.

PROYECTO HIDROELECTRICO "TZANTUN" Chis.

Tabla 4.1. Elevación 252.00
 Socavón 1 Longitud 25.70 Margen ISQUIERDA

Fract. N°	Cosenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia		Infiltración		OBSERVACIONES
						Grande	Pequeña	Grande	Pequeña	
1	7.40	NE 55°SW	85° NW	2-4	ARCILLA	X				TUNEL LABRADO SOBRE ROCAS CALIZAS DE LA U2 CALCARENIDA, BIOMENA, PRESENTA UNA ZONA DE ALTERACION POR DECOMPOSICION DESDE 0.00 A 10.0 M. OBSERVANDOSE EN ESTA PARTE MICROFACIURAMIENTO Y ALTERACION DE LA RUCA COMO OXIDACION OCASIONADA POR EFECTO DE LA CIRCULACION DE AGUA. NO SE OBSERVA INFILTRACIONES PERO LA TOTALIDAD DE LAS FRACTURAS NO ESTAN SELLADAS.
2	12.00	NE 53°SW	85° NW	0.5-1	ARC. Y CAL		X			
3	16.40	NE 45°SW	86° NW	0.5-1	ESC.ARC.CAL		X			
4	15.40	NE 45°SW	90°	0.5-1	ESC.ARC.CAL		X			
5	19.50	NE 30°SW	45° NW	1-6	ARC.EN PART.	X				
6	20.80	NE 60°SW	75° NW	1-6	SIN RELLENO		X			
7	23.30	NE 45°SW	78° S		ESC. ARCIL.		X			
8	24.00	NE 50°SW	90°	1-1.5	SIN RELLENO		X			
9	25.70	NE 28°SW	85° SE	1	CALCITA			X		

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.2.

Elevación 232.86

Socavón 2

Longitud 37.60

Margen IZQUIERDA

Fract. N°	Cadenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia		Infiltración		OBSERVACIONES
						grado	factor	grado	factor	
1	0.90	NE 65° SW	70° SE	1-3	ARCILLA		X			OBRA REALIZADA SOBRE ROCAS CALIZAS DE LA U3 LA ZONA DE ALTERACION POR DECOMPRESION SE ENCUENTRA HASTA LOS 15.0 M. DONDE SE OBSERVA MICRO-FRACTURAMIENTO, ASI COMO ESCASA ALTERACION Y -OXIDACION DE LA ROCA EN FORMA DE AUREOLA CERCA NO A LAS FRACTURAS. LA MAYOR PARTE DE LAS FRACTURAS NO SE ENCUENTRAN TOTALMENTE SELLADAS, POR LO QUE LAS IMPORTANTES HAN DESARROLLADO ZONAS -CAVERNOBAS.
2	4.30	NE 55° SW	70° SE	0.5-1	ARCILLA			X		
3	6.15	NE 56° SW	70° SE	0.5-4	ARCILLA		X			
4	7.10	NE 66° SW	70° SE	1-6	ARCILLA			X		
5	8.30	NE 60° SW	72° SE	0.5-1	ARC. EN PART.			X		
6	11.30	NE 55° SW	75° SE	1-2	ARC. Y CALC.			X		
7	14.25	NW 60° SW	85° SE	0.5	ARC. Y CALC.			X	X	
8	16.00	NW 47° SW	82° SE	0.5-3	ARC. Y CALC.	X				
9	18.50	NE 56° SW	65° SE	1-4	ARC. Y CALC.		X			
10	19.50	NE 50° SW	85° SE	1-1.5	ARC. Y CALC.			X		
11	20.40	NE 65° SW	80° SE	0.5-1	ARC. Y CALC.			X		
12	21.30	NE 60° SW	80° SE	0.5-1	ARC. Y CALC.			X		
13	22.80	NW 66° SE	75° SW	0.5-1	ARC. Y CALC.			X		
14	27.00	NE 46° SW	90°	0.5	SISTEMA DE FRACTURAS			X		
15	29.70	NE 27° SW	65° NW	1-3	ARC. Y CALC.	X				
16	35.50	NE 30° SW	68° NW	2-10	ARC. Y CALC.	X				
17	32.60	NE 18° SW	62° SE	0.5-5	PRESENIA QUEDADES Y ABIERTA	X				

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.3. Elevación 232.00
 Socavón 3 Longitud 60.00 Margen DERECHA

Frac. Nº	Codonamento	Rumbo	Echoc	Separación cm.	Material de relleno	Imp. contención			Infiltración por fuga, sepeca	OBSERVACIONES
						grande	mediana	escasa		
1	3.00	NW 15° SE	75° W	1-5	ARC. Y MAT. ORGANICA		X		X	SOCAVON LABRADO SOBRE EL CONTACTO U2-U3, ESTANDO TOTALMENTE SOBRE ESTA ULTIMA LA ZONA DE DECOMPRE SION Y POR LO TANTO DE ABUNDANTE FRACTURAMIENTO Y LIGERA ALTERACION DE LA ROCA HASTA LOS 15.0 M.
2	9.40	NW 35° SE	70° SW	1-7	CALCITA EN PARTES	X				
3	13.30	NW 86° SE	90°	0.5				X		
4	16.60	NW 60° SE	90°	0.5-2	ARCILLA			X		
5	19.40	E-W	80° N	0.5				X		
6	31.20	NE 65° SW	75° SE	0.5	ESC. ARCILLA			X		
7	33.50	NW 30° SE	70° NE	0.5-3	CALCITA EN LAS PAREDES	X			X	
8	60.00	NE 65° SW	85° SE	0.5				X		

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.4. Elevación 222.00
 Socavón 4 Longitud 256.50 Margen IZQUIERDA

Fract. N°	Cosenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Imp. p. r. f. en c. n. c. i. n. f. i. l. t. r. a. c. i. o. n.					OBSERVACIONES
						grande	pequeño	escaso	abundante	escaso	
1	0.40	NE 43° SW	85° NW	1-10	ARCI. Y FRAGMENTOS DE -- CALIZA		X				LA ZONA DE ALTERACION Y DECOMPRESION LLEGA HASTA LOS 17 M DE PROFUNDIDAD ENCONTRANDOSE LIGERAS -- TRZAS DE OXIDACION.
2	5.50	NE 80° SW	50° SE	0.5	SELLADA CAL.		X	X			
3	8.00	NW 78° SE	63° SW	1-8	ARCILLA		X				
4	11.60	NW 73° NE	71° SW	1-20	ARCILLA	X					
5	13.60	NW 73° SE	90°	20	ARCILLA	X			X		
6	14.40	NE 63° SW	90°	20	ARCILLA		X				
7	16.00	NE 61° SW	75° NW	5-15	ARCILLA	X					
8	16.80	NW 76° SE	85° NE	1-30	ARCILLA	X					
9	17.00	NW 40° SE	75° SW	0.5-1	CALCITA			X			
10	29.60	NW 70° SE	78° SW	0.5-1	CALCITA			X			
11	47.00	NW 73° SE	80° SW	0.5	SIN RELLENO		X				
12	54.60	NE 48° SW	85° NW	0.5	SIN RELLENO					X	
13	68.10	NW 66° SE	83° SW	0.5	SIN RELLENO			X		X	
14	76.40	NE 21° SW	75° W	0.5-2	ESC. CALCITA			X		X	
15	82.80	NW 70° SE	90°	0.5				X			
16	97.20	NE 46° SW	50° SW	5-15	SELLADA CAL.	X					
17	102.00	NE 40° SW	62° NW	5-8	SELLADA CAL.	X					
18	105.00	NE 40° SW	80° SE	5-10	SELLADA CAL.	X					
19	110.20	NE 14° SW	70° SE	1-5	CAL. ABIERTA			X			
20	112.00	NW 3° SE	80° W	0.5-2	SELLADA CAL.		X		X		
21	114.00	NW 2° SE	70° W	0.5-4	SELLADA CAL.					X	
22	116.00	NW 3° SE		0.5-2	SELLADA CAL.					X	
23	119.80	NE 20° SW	76° NW	0.5-3	SELLADA CAL.					X	

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.5 Elevación 221.60
 Socavón 5 Longitud 173.00 Margen DERECHA

Fract. N°	Cotización	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración		OBSERVACIONES
						grande	pequeña	escasa	ninguna	escasa	
1	5.20	NE 43° SW	70° NW	1-6	ABIER, CALC.	X				X	REALIZADO SOBRE CALZAS DE LA U2, LA ZONA DE ALTE RALION SE PRESENTA DESDE 0.00 HASTA 8.00 M PRESEN TANDO MICROFRACTURAMIENTO Y ALTERACION DE LA ROCA POR CIRCULACION DE AGUA, EN GENERAL LA HOCA SE PRESENTA EN BUEN ESTADO, EXISTIENDO MAS DEL 80% DE LAS FRACTURAS COMPLETAMENTE SELLADAS. LA INFIL TRACION EN ESTA OBRA ESIA RESTRINGIDA AL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE 130.00 Y 167.00 SIENDO DICHA INFILTRACION BASIAMENTE ESCASA.
2	6.70	NE 21° SW	80° NW	1-3	ABIER, CALC.	X				X	
3	9.50	NE 42° SW	85° NW	1-3	ABIER, CALC.	X				X	
4	10.20	NE 33° SW	85° NW	1-2	SELLA, CALC.	X					
5	15.50	NE 11° SW	75° NW	0.5-3.5	CALC. Y ARC.	X					
6	18.60	NE 39° SW	90°	1-4	CALCITA		X				
7	21.40	NE 32° SW	90°	1-3	ABIERIA		X				
8	39.00	NE 11° SW	90°	1-4	CALCITA		X				
9	42.00	NE 18° SW	85° NW	1-10	CALCITA			X			
10	58.10	NE 16° SW	55° NW	0.5-1	CALCITA				X		
11	68.05	NE 8° SW	80° NW	0.5-1.5	CALCITA				X		
12	72.80	NE 14° SW	70° NW	0.5	CALCITA				X		
13	80.60	NE 12° SW	75° NW	0.5	CALCITA			X			
14	82.50	NE 14° SW	90°	0.5-2	CALC. Y ARC.	X					
15	89.00	NE 16° SW	90°	0.5	CALCITA			X			
16	105.40	NE 37° SW	70° NW	1-5	ARCILLA	X			X		
17	122.30	NE 15° SW	85° NW	1-7	ABIER, ARC.	X					
18	126.50	NE 19° SW	90°	0.5	CALCITA			X			
19	128.10	N S	68° NW	0.5-3	SELLA, CALC.			X		X	
20	130.50	NW 10° SE	68° SW	0.5	SELLA, CALC.			X			
21	144.00	NE 21° SW	74° NW	1.15	ABIER, EN PAR. X					X	
22	159.60	NW 62° SE	60° SW	0.5-1	SELLA, CALC.			X		X	
23	161.30	NW 4° SE	75° W	0.5-1.5	SELLA, CALC.			X		X	
24	163.00	N S	78° W	0.5-20	SELLA, EN PAR. X					X	
25	164.60	NW 3° SE	80° W	0.5-3	SELLA, EN PAR. X	X					
26	167.60	NE 3° SW	80° W	1-5	SELLA, EN PAR. X				X		
27	167.60	NE 12° SW	90°	1-6	SELLA, CALC.	X					

PROYECTO HIDROELECTRICO 'ITZANTUN' Chis.

Tabla 4.6. Elevación 221.60

Socavón 5' Longitud 121.00

Margen LER:CHA

Fraci Nº	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separacion cms.	Material de relleno	Importancia		Infiltración		OBSERVACIONES
						grado	tipo	grado	tipo	
1	7.70	NE 24° SE	70° NW	1-5	CALC. Y ARC		X			Se encuentra labrado sobre calizas de la U2, la zona de alteración por decompresión se ubica 0.00 a 30.00 m en donde la roca presenta coloración -- amarillenta por oxidación, así como abundante -- microfRACTURAMIENTO, presentando una zona de INTENSIVO FRACTURAMIENTO DE 30 A 40 M EN GENERAL LAS FRACTURAS OBSERVADAS SE ENCUENTRAN SELLADAS.
2	8.50	NE 20° SW	80° NW	1-6	CALC. Y ARC			X		
3	13.00	NE 31° SW	80° SE	0.5-3	CALC. Y ARC			X		
4	27.50	NE 29° SW	70° SE	1-2	SELLA, CALC			X		
5	29.70	NE 36° SW	55° SE	1-2	SELLA, CALC			X		
6	33.40	NE 50° SW	71° SE	1-2	SELLA, CALC			X		
7	40.50	NE 26° SW	78° SE	0.5-3	CALC. EN PISO	X				
8	42.00	NE 32° SW	78° SE	0.5-4	SELLA, CALC	X				
9	44.20	NE 36° SW	80° SE	0.5-1	SELLA, CALC			X		
10	47.60	NE 10° SE	70° SE	0.5-4	SELLA, CALC	X				
11	51.20	NE 12° SW	80° SE	0.5-1	SELLA, CALC			X		
12	54.50	NE 18° SW	80° SE	0.5-8	SELLA, CALC	X				
13	56.50	NE 70° SW	85° W	0.5-2	SELLA, CALC			X	X	
14	79.70	NE 5° SW	80° W	0.5-2	SELLA, CALC			X		
15	83.50	NE 45° SW	90°	1-4	SELLA, CALC	X			X	

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.7

Elevación 341.60

Socavón 6

Longitud 121.00

Morgen IZQUIERDA

Fract. No.	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Impregnación			Infiltración	OBSERVACIONES
						Woda	Resina	Asfalto		
1	0-25.00	NW 38° SE	67° SW	0.4-0.5	SIST. MICROFRAC.			X		SE ENCUENTRA SOBRE CALIZAS DE LA U2, PRESENTA - MICROFRACTURAMIENTO CON RUMBO GENERAL NW 25° SE, ASI MISMO EXISTEN ZONAS CON ALTERACION POR CIRCULACION DE AGUA BASTANTE MARCADAS, EL FRACTURAMIENTO IMPORTANTE ES CASI NULO ASI COMO LA INFILTRACION.
2	23-30	NE 76° SW	80° SE	2-15	ARC. Y CALC.	X				
3	28.70	SW 85° NE	53° SE	4-10	ARECHA ABIENT.	X				
4	37.20	NW 8° SE	85° SE	0.5-2	SELLADA, CALC.		X			
5	38.20	NE 27° SW	90°	0.5-1				X		
6	43.00	NE 19° SW	90°	0.5-3	ARC. Y CALC.		X			
7	48.00	NE 74° SW	90°	1-3	PARCIAL, SELLA.		X		X	
8	58.00	NE 39° SW	90°	1-1.5	CALCITA			X	X	
9	66.60	NE 29° SW	90°	1-5	ARC. Y CALC.	X				
10	84.50	NE 44° SW	90°	1-7	ARC. Y CALC.	X				
11	89.40	NE 54° SW	90°	0.5-1	ARCILLA			X		
12	92.60	NE 44° SW	90°	0.5	CALCITA			X		
13	95.00	NE 38° SW	90°	0.5-1	CALC. Y ARC.			X		

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.8 Elevación 356.15

Socavón 7 Longitud 67.00 Margen DERECHA

Fract. N°	Cadenamento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración		OBSERVACIONES
						grande	pequeño	escaso	grande	pequeño	
1	0										
2	2.50	NW 43° SE	68° SE	0.5-10	ARCILLA		X				
3	5.60	NW 43° SE	60° SW	0.5-1	ARCILLA		X				
4	9.40	NW 47° SE	50° SW	0.5-1	ARCILLA		X				
5	17.00	NW 57° SE	70° SW	0.5	CALCITA			X			
6	22.30	NW 54° SE	62° SW	0.5	SELLADA, CALC.			X			
7	20.50	NE 70° SW	54° SW	0.5	SELLADA, CALC.			X			
8	24.60	NE 40° SW	78° NW	0.5	CALC. EN PARTES.			X			
9	31.80	NW 50° SW	85° NW	0.5-1	SELLADA, CALC.			X			
10	33.40	NW 56° SW	65° SW	0.5-1	SELLADA, CALC.			X			
11	35.00	NE 56° SW	65° SW	0.5-1	SELLADA, CALC.			X			
12	36.60	NW 56° SW	65° SW	0.5-1	SELLADA, CALC.			X			
13	38.40	NW 55° SW	65° SW	0.5-1	SELLADA, CALC.			X			
14	40.50	N S	80° W	0.5-1	SELLADA, CALC.			X			
15	48.00	NW 37° SE	70° SE	0.5-1	SELLADA, CALC.			X			
16	54.50	NW 50° SE	67° SW	0.5-1	ABIERTA			X		X	
17	61.60	NW 52° SE	68° SW	0.5-1	ABIERTA			X		X	
18	67.00	NW 50° SE	60° SW	0.5-1	ABIERTA			X		X	

ESTA LABRADO SOBRE ROCAS CALIZAS DE LA U2, PRESENTA ABUNDANTES LINEAS ESTILOLITICAS, EL FRACTURAMIENTO POR DECOMPRESION Y ROCA ALTERADA SE REDUCE A LOS PRIMEROS 3 METROS. EL FRACTURAMIENTO IMPORTANTE ES NULO Y LA INFILTRACION MUY ESCASA.

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tablo 4.9 Elevación 356.15
 Sacavón 7' Longitud 56.40 Morgen DERECHA

Fract. No.	Cotermómetro	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Imp. per. ancl.			Infiltración		O B S E R V A C I O N E S
						grande	pequeña	especial	superficial	profunda	
1	3.50	NW 52° SE	65° SW	0.5-1	ARCILLA						
2	4.00	NW 69° SE	69° SW	1-2	ARCILLA						
3	7.00	NW 30° SE	80° SW	0.5-1	ARCILLA						
4	12.00	NW 42° SE	59° SW	0.0-5	CALCITA						
5	15.00	NW 20° SE	39° SW	SELLADA	NO				X		
6	15.20	NW 27° SE	36° SW	SELLADA	NO				X		
7	15.70	NW 25° SE	45° SW	SELLADA	NO				X		
8	19.00	NW 69° SE	57° SW	SELLADA	CALCITA				X		
9	DEL 28.0 AL 40.0	NW 57° SE	51° SW	SELLADA	NO				X		
		55°		TODAS	NO				X		
10	43.00	NW 35° SE	36° SW	SELLADA	NO				X		
11	44.00	NW 15° SE	57° SW	SELLADA	NO				X		
12	51.00	NW 4° SE	63° SW	0.5-1	NO			X			
13	56.00	NE 70° SE	79° SE	0.5-1	NO			X			

DEL 28.0 A 40.0 M ES UN SISTEMA DE FRACTURAS CON EL MISMO RUMBO Y ECHADO ENTRE UNA Y OTRA HAY UNA DISTANCIA DE 10-15 CM.

NOTA: CARACTERISTICA DE LA CALIZA PRIMERAMENTE - ES UNA CALIZA COLOR GRIS AMARILLENTA CON VETILLAS DE CALCITA AL PRINCIPIO Y EN LA CAVERNA. LA ESTRATIFICACION TIENE UN RUMBO NE 40°-18° SE ENCUENTRA ALTERADA EN LA PARTE SUPERIOR SOLO AL PRINCIPIO. MAS ADELANTE, 17.00 - 30.00 M LA CALIZA ES MAS GRIS CON ESTILOLITAS DONDE LA ROCA PRESENTA LINEAS ESTILOLITICAS.

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.10 Elevación 212.00
 Socavón B Longitud 126.00 Margen IZQUIERDA

Fract. No.	Cosenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración	OBSERVACIONES
						grande	regular	escasa		
1	0.00	NW 85° SE	62-85° S	1-2	ARCILLA	X				LABRADO SOBRE ROCAS DE LA U3, ES UNA CALCARENITA BIOGENA DE GRANO FINO ALGO ARCILLOSA. EL SISTEMA DE FRACTURAMIENTO DOMINANTE ES E-W PRODUCTO DE LA DECOMPRESION A QUE ESTUVO SUJETA LA ZONA. LA FALLA DE ITZANTUN PRESENTA UN RUMBO NW 75° SE A NW 80° SE CON INCLINACION DE 55° AL NE.
2	1.00	NE 50° SW	65° S	2-5	ARCILLA		X			
3	4.00	NW 75° SE	65° S	0.5	ARCILLA			X		
4	12.00	NW 80° SE	85° S	0.5-1	ARC.Y CALC.			X		
5	12.50	NE 30° SW	Ø	0.5	ARC.Y CALC.			X		
6	10.00	NW 75° SE	45° S	0.5	ARC.Y CALC.			X		
7	20.00	NW 60° SE	45° N	2-4	ARC.Y CALC.	X				
8	29.00	NW 80° SE	56° S	0.5	ARC.Y CALC.			X		
9	29.50	NE 82° SW	62° N	1-10	ARC.Y CALC.	X				
10	44.00	NE 45° SW	Ø	0.5	CALCITA			X		
11	55.00	NE 85° SW	40° S	1-5	ARCILLA	X				
12	65.00	NE 30° SW	80°NW	0.5-1	CALCITA			X		
13	74.00	NW 85° SE	40° S	0.5	ARCILLA			X		
14	78.00	NE 30° SW	67° W	1-1.5	CALCITA		X			
15	83.00	NE 80° SW	50° S	0.5-1	ARCILLA	X				
16	89.00	NE 40° SW	60° W	1-2	CALCITA			X		
17	91.50	NE 40° SW	60° W	1-2	CALCITA			X		
18	107.00	NE 30° SW	80°NW	1-10	ARCILLA	X				
19	107.50	NE 80° SW	43° S	0.5	ARCILLA			X		
20	110.50	NE 60° SW	64°NW	2	CALCITA		X			
21	124.00	NE 80° SW	55° S	5-7	ARCILLA		X			
22	126.00	NW 75° SE	55°NE	FALLA	ITZANTUN					

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.11

Elevación 214.00

Socavón 9

Longitud 115.00

Margen DERECHA

Fract. No.	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración		OBSERVACIONES
						Grande	Regular	Escasa	Grande	Pequeña	
1	0.00	NW 69° SE	59° SW	0.5-1	ARC. Y CALC.		X				
2	1.00	N 43° W	64° SW	0.5-2	ARCILLA			X			
3	3.00	N 75° W	74° SW	0.5-3	ARCILLA			X			
2'	0.50	N 27° E	64° NW	0.5-3	ARCILLA			X			
3'	4.00	N 82° E	86° SE	0.5	ARCILLA			X			
4	3.30	N 05° W	60° SW	10	ARCILLA			X	X		MUY FRACTURADA (10 CMS.)
CENTRO											
E-1	2.60	N 17° E	60° NW	0.5	ARCILLA			X		X	TOMADA EN EL CENTRO
E-1'	2.60	N 30° W	80° SW	0.5	ARCILLA			X		X	
E-3	4.10	E-W	65° S	0.5	ARCILLA			X		X	
DERECHA											
1		N 44° W	61° SW	0.2	ARCILLA		X			X	
2		N 86° E	37° SE	0.5	ARCILLA		X			X	
5	5.00	N 75° W	83° SW	0.5	ARCILLA			X	X		ESTRIAS PARALELAS AL RUMBO Y ECHADO MISMA FRACTURA QUE LA No. 3
6	6.00	N 85° E	63° NW	0.1	CALCITA			X			
7	7.00	N 35° E	76° NW	1.0	ARCILLA			X		X	
8	7.40	N 34° E	55° SW	1.0	ARCILLA			X		X	
8'	9.60	N 30° W	63° SW	5.0	ARCILLA			X		X	
9	4.00	N 72° W	73° SW	2.0	ARCILLA		X				SALE DEL CENTRO
9'		N 50° E	65° NW	5.0	ARC. Y CALC.			X		X	
10	12.20	N 40° E	71° NW	1.0	ARCILLA			X		X	
11	13.50	N 12° W	65° NW	0.5	ARCILLA			X		X	
12	21.20	N 50° E	79° NW	0.5-5	ARC. Y CALC.		X		X		ESTRIAS HORIZONTALES 5° HACIA N 33°
13		N 85° E	18° SE	1.0	ARC. Y CALC.			X	X		
14	19.50	N 34° E	62° NW	1.0	ARC. Y CALC.		X			X	26°
15	24.00	N 83° W	41° SW	2.0	ARC. Y CALC.		X				
16	26.00	N 70° E	52° NW	5.0				X		X	
17	29.00	N 50° E	54° NW	1.0	ARC. Y CALC.			X		X	
18		N 70° W	60° SW	1.0	ARCILLA			X			
19	31.00	N 30° E	62° NW	1.0	ARC. Y CALC.			X		X	ESTA SELLADA
20		N 80° E	66° NW	1.0	ARC. Y CALC.			X		X	
21	39.00	N 48° E	67° NW	5.0	ARC. Y CALC.			X	X		
22		N 80° W						X			
23	42.00	N 52° W	45° SW	SELLADA	ARCILLA Y CALCITA			X		X	SELLADA POR CALCITA
24		N 50° W	52° NW	SELLADA	CALCITA			X		X	SELLADA POR CALCITA
25	43.00	N 35° W	47° SW	SELLADA	CALCITA			X		X	
26	47.00	N 47° W	47° SW	SELLADA	CALCITA			X		X	
27		N 15° W	47° SW	5.0	ARC. Y CALC.			X		X	

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.12 Elevación _____

Socavón 9 (CONT.) Longitud _____ Morgen _____

Fract. N°	Codenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia				OBSERVACIONES
						trazo regular	trazo irregular	trazo profundo	trazo profundo	
28	50.00	N 45° W	45° SW	5.0	ARCILLA			X	X	
29	51.00	N 88° W	45° SW	5.0	ARC. Y CAL.	X		X	X	
29'		N 65° E	63° SE	5.0	ARC. Y CALC.			X	X	
30	57.00	N 32° E	69° SE	5.0	ARC. Y CALC.			X	X	
31	57.80	NW 35° SE	61° SW	1.0	ARCILLA			X	X	GOTEA PARTE SUPERIOR POR UNA CAVIDAD PEQUERA
32	60.00	N 47° W	78° SW	1.0	ARCILLA			X	X	
33	70.00	N 36° E	74° SE	SELLADA	CALCITA			X	X	
34	73.00	N 39° W	60° SW	SELLADA	CALCITA			X	X	
35	87.00	N 05° W	76° SW	SELLADA	CALCITA			X	X	
36	90.00	N 15° W	77° NW	X	CALCITA			X	X	
37	90.00	N 39° W	65° SW	X	ARCILLA			X	X	
38	92.00	N 15° E	75° NW	X	CALCITA			X	X	
39	94.00	N 15° E	65° SW	X	CALCITA			X	X	
40	95.00	N 22° E	80° NW	X	CALCITA			X	X	
41	95.30	N 20° E	75° NW	X	CALCITA			X	X	
42	96.00	N 88° W	78° NE	X	ARC. Y CALC.			X	X	
43	96.50	N 88° W	72° NE	X	CALCITA			X	X	
44	99.00	N 79° E	65° SE	X	CALCITA			X	X	
45	102.20	N 75° E	80° SE	1.0	CALCITA			X	X	
46	106.00	E - W	80° S	1.0	CALCITA			X	X	
47	110.00	N 70° W	60° SW	1.0	CALCITA			X	X	
48	114.00	N 70° W	57° NE	1-3	CALCITA			X	X	FALLA ITZANTUN

NOTA: SE DEBE TOMAR EN CUENTA QUE LA INFILTRACION DE AGUA SE TOPO EN EL SOCAVON EN LOS MESES DE Lluvias.

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.13 Elevación 232.00
 Socavón 10 y 10' Longitud 121.00 Margen DEBIDA

Procl. N°	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separacion cms.	Material de relleno	Impertencia			Infiltración	Observaciones
						grado	regular	escaso		
1	1.10	NE 22° SW	74° NW					X		OBRA REALIZADA EN LA PARTE INFERIOR DE LA U2 Y U3.
2	4.00	NW 52° SE	68° SW					X		
3	4.50	NE 09° SW	80° NW					X		
4	9.00	NE 36° SW	65° NW					X		
5	10.25	NE 34° SW	65° NW					X		
6	14.00	NE 11° SW	85° NW					X		
7	14.50	NW 61° SE	65° SW					X		
8	20.00	NE 79° SW	65° SE					X		
9	26.50	NE 80° SW	65° SW					X		
10	42.50	NW 06° SE	72° NW					X		
11	47.00	NE 37° SW	80° NW					X		
12	48.50	NE 23° SW	56° NW					X		
13	49.50	NE 49° SW	50° NW					X		
14	49.50	NE 54° SW	66° SE					X		
15	59.00	NE 78° SW	70° NW		ESCASO			X		
16	59.00	NE 29° SW	70° NW		ESCASO			X		
17	121.00	NE 40° SW	70° NW		SIN BELLAR	X				

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.14 Elevación 222.00

Socavón 11 Longitud 130.00

Morcen ITZUTERIDA

Fract. N°	Cadenamiento	Rumbo	Echada	Separación cms.	Material de relleno	Impereñencia				Inflamación	OBSERVACIONES
						grande	pequeña	escasa	abundante		
1	1.00										LABRADO SOBRE LAS ROCAS DE LA U-2. SE, OBSERVAN EFECTOS DE DECOMPRESION HASTA LOS 7.0 M DE PROFUNDIDAD.
2	4.25	NE 35° SW	81° SW	1-2				X			
3	4.80	NE 30° SW	65° NW	1-3			X				
4	7.00	NE 28° SW	Ø	-					X		
5	9.00	NE 40° SW	73° SE	-			X				
6	11.00	NE 48° SW	69° SE	0-3			X				
7	12.00	NE 42° SW	70° NW	0-3			X				
8	14.00	NE 50° SW	59° SE	5-10			X				
9	14.00	NE 68° SW	80° NW	-					X		
10	15.00	NE 20° SW	76° SE	-					X		
11	16.00	NE 35° SW	Ø	3-10			X				
12	16.25	NE 32° SW	72° NW	-					X		
13	16.20	N - S	82° E	-					X		
14	17.00	NE 23° SW	80° NW	-					X		
15	19.00	NE 30° SW	Ø	-			X				
16	20.00	NE 20° SW	84° NW	0-4			X				
17	21.00	NE 20° SW	71° NW	1-2			X				
18	22.00	NE 46° SW	84° SE	1-3			X				
19	24.00	NE 45° SW	Ø	-					X		
20	24.50	NE 45° SW	85° SE	-					X		
21	25.20	NE 30° SW	86° NW	-					X		
22	26.00	NE 40° SW	69° NW	0-2					X		
23	27.30	NE 08° SW	Ø	1-4		X				X	
24	27.80	NE 10° SW	68° SE	1-20		X					
25	29.00	N-S	42° E	-					X		
26	30.00	NE 21° SW	80° NW	-					X		
27	31.00	NE 13° SW	72° NW	-					X		
28	34.00	NE 52° SW	70° NW	0-2					X		
29	35.00	NE 37° SW	77° NW	-					X		
30	42.50	NE 32° SW	83° SE	2-40		X				X	
31	48.50	NE 10° SW	59° NW	-					X		
32	49.75	NE 14° SW	70° NW	1-2			X				
33	52.00	NE 20° SW	70° NW	1-2					X		
34	68.00	NE 25° SW	80° NW	-					X		
35	74.00	NE 10° SW	80° SE	4-10		X					
36	98.30	NW 08° SE	80° SW	-					X		
37	105.00	NW 10° SE	60° SW	4-18			X				
38	108.00	NE 30° SW	78° NW	0-2					X		

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.15 Elevación _____

Socavón 11 (CONT.) Longitud _____ Margen _____

Fract. No	Cotenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración		OBSERVACIONES
						grande	regular	escasa	grande	escasa	
39	109.50	NE 25° SW	74° NW	-				X			
40	114.00	NE 27° SW	84° NW	1-7			X				
41	115.00	NE 30° SW	84° NW	-				X			
42	120.00	NE 50° SW	80° NW	-				X			
43	122.60	NE 40° SW	82° NW	-				X			
44	124.00	NE 44° SW	β	-				X			
45	125.00	NE 50° SW	85° SE	-				X			
46	130.00	NE 30° SW	80° NW	-			X				

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.16 Elevación 222.00
 Socavón 12 Longitud 176.00 Margen IZQUIERDA

Frac. No.	Cosenamiento	Rumbo	Echazo	Separación cms.	Material de relleno	Importancia		Infiltración		OBSERVACIONES
						regular	especial	superficial	profunda	
1	0	E-W	70° S	2	ARCILLA		X			
2	1.20	NE 71° SW	83° SE	5-20	ARCILLA		X			
3	2.40	NE 70° SW	80° SE		ARC. Y CALC.		X			
4	3.00	NE 60° SW	Ø	4-20			X			
5	3.70	NE 70° SW	Ø	0-2	ARC. ARENOSO			X		
6	4.20	NE 65° SW	65° SE	0-1	ARCILLA			X	X	
7	5.90	NE 55° SW	75° SE		ARCILLA		X			
8	7.50	NE 60° SW	75° SE	0-5	CALC. Y ARC.		X			
9	7.90	NE 70° SW	75° SE	3	CALC. Y ARC.		X			
10	8.50	NE 67° SW	80° SE					X		
11	10.25	1								
12	11.10	NE 50° SW	83° SE	0-4	ARC. Y CALC.		X			
13	14.00	NE 60° SW	70° SE					X		
14	13.90	E-W	85° SE		ARC. CALCAREA			X		
15	15.50	NE 80° SW	74° SE					X		
16	15.70	NE 80° SW	74° SE				X			
17	16.00	NE 77° SW	75° SE				X			
18	16.50	NE 75° SW	Ø				X			
19	16.70	NE 75° SW	Ø				X			
20	18.10	NE 75° SW	78° SE						X	
21	18.20	NE 75° SW	78° SE						X	
22	20.00	N-S	Ø						X	
23	19.20	NE 75° SW	70° SE						X	
24	20.90	NE 75° SW	Ø						X	
25	24.90	NE 50° SW	Ø	4-20	CALC. Y ARC.	X				
26	25.00	NE 50° SW	88° NW			X				
27	38.00	NE 44° SW	75° NW			X				
28	53.00	NE 75° SW	Ø			X			X	
29	62.50	NW 45° SE	51° SW			X				PRESENTA RESPALDOS ALTERADOS
30	75.50	NE 85° SW	80° SW					X		
31	93.80	NE 60° SW	85° NW					X		
32	96.00	NE 58° SW	87° NW					X		
33	101.00	NE 60° SW	80° NW		CALCITA				X	
34	103.00	NE 35° SW	80° NW		CALCITA				X	
35	104.80	NE 35° SW	80° NW		CALCITA	X				LAS FRACTURAS PARALELAS TERMINAN EN LA CLAVE DONDE TAPAN CON LA FRACTURA ANTERIOR.
36	106.20	NE 35° SW	80° NW		CALCITA	X				
37	108.00	NE 35° SW	80° NW		CALCITA	X				

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tablo 4.17 Elevación _____

Socovón 12 (CONT.) Longitud _____ Margen _____

Fract. N°	Cadenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms	Material de relleno	Impermeabilidad			Infiltración	OBSERVACIONES
						grande	regular	escasa		
38	121.00	NE 25° SW	83° NW				X			
39	135.00	NE 25° SW	75° NW				X			
40	140.00	NE 30° SW	62° NW				X			
41	155.00	NE 24° SW	86° NW		CALC. Y ARC.		X			
42	158.00	NE 30° SW	86° SE				X		X	ESTA FRACTURA ES LA MAS NOTABLE Y PRESENTA ABERTURAS, DA LA IMPRESION DE SER VERTICAL.
43	167.00	NE 35° SW	85° NW				X			

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.18

Elevación 222.00

Socavón 13

Longitud 98.30

Margen DERECHA

Fract. No.	Cadenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración	OBSERVACIONES
						grande	regular	escasa		
1	0.50	NE 15° SW	70° NW					X		
2	10.50	NE 15° SW	75° NW					X		
3	12.50	NE 20° SW	70° NW		ARCILLOSO		X			
4	17.00	NE 15° SW	78° NW					X		
5	18.50	NW 10° SE	80° NW					X		SE OBSERVA SOBRE LA TABLA AGUAS ARRIBA DESDE LA TABLA AGUAS ABAJO HASTA EL CENTRO ENTRE ESTAS - DOS ULTIMAS FRACTURAS SE PRESENTA MICROFRACTURA MIERVO NOTABLE EN LA MISMA DIRECCION
6	27.00	NE 37° SW	65° NW					X	X	
7	28.50	NE 42° SW	85° SE	SELLADA	CALCITA			X		SE OBSERVA MICROFRACTURAMIENTO SE OBSERVA UNICA MENTE EN LAS TABLAS AGUAS ABAJO Y AL CENTRO.
8	54.00	NE 23° SW	70° NW		CALCITA	X			X	PRESENTA LOS RESPALDOS ALTERADOS (OXIDACION) Y MICROFRACTURAMIENTO
DE 54										
DESDE 54 A 58 MTS. SE ENCUENTRA BASTANTE ALTERA DA. MICROFRACTURAMIENTO EN DIFERENTES DIRECCIO- NES AL PARECER ASOCIADOS A UNA FRACTURA SOBRE LA CLAVE CON RUMBO AL SE 60° NW - β										
A	58.00	N - S	70° NW	SELLADA	CALCITA			X	X	SE HACE NOTABLE SOBRE LA TABLA AGUAS ARRIBA
9	64.00	N - S	70° NW	SELLADA	CALCITA			X	X	PRESENTA RESPALDOS ALTERADOS Y SE OBSERVA EN LA TABLA AGUAS ARRIBA SE ENCUENTRA A MEDIA TABLA Y SE PROLONGA HASTA EL CADENAMIENTO 67.
10	65.50	NW 10° SE	60° NW		CALCITA			X		
11	65.00	HORIZONTAL		SELLADA	CALCITA			X		
12	80.50	NE 35° SW			CALCITA				X	
13	82.00	NW 20° SE	90°						X	
14	83.00	NE 30° SW	80° SE		CALC. Y ARC	X			X	
15	83.50	NE 30° SW	80° SE		CALCITA		X		X	
16	84.50	NE 30° SW	80° SE					X		
TOTALMENTE RELLENA Y DISCONTINUA MICROFRACTURAMIENTO RELLENO DE CALCITA DISCONTI- NUA Y SENSIBLEMENTE PARALELO A LA IMPORTANTE.										
DE	84.50									
A	86.00									
17	93.00	N-S			CALCITA		X			PRESENTA RESPALDOS ALTERADOS; Y HASTA EN CAMINA- MIENTO 96, ZONA CON BASTANTE ESCURRIDAMIENTO EN - DIFERENTES DIRECCIONES Y AL PARECER SECUNDARIO A UNA FRACTURA PRINCIPAL SOBRE LA CLAVE Y EN DIREC- CION AL ELJE.
FONDO TOTAL			98.30	MTS.						

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.19 Elevación 270.00

Socavón 14 Longitud 147.00 Margen IZQUIERDA

Fract. N°	Codenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia grande	Importancia pequeña	Infiltración grande	Infiltración pequeña	OBSERVACIONES.
1	0.00	NE 28° SW	Ø	3-30	ARCILLA	X				EN EL TECHO SE UNEN DOS FRACTURAS PLANOS DE LAS FRACTURAS ALTERADOS CEMENTADA CON CALCITA
2	4.50	NE 17° SW	54° NW	2-5	ARCILLA		X			
3	9.50	NE 20° SW	86° SE	1.0	ARC. Y CALC.		X			
4	17.50	NE 24° SW	86° SE		CALCITA			X		
5	21.00	NE 49° SW	86° SE		ARC. Y CALC.			X		
6	25.50	NE 42° SW	88° SE		CALCITA			X		
7	26.00	NE 26° SW	Ø		CALCITA			X		
8	27.00	NE 55° SW	89° NW		CALCITA			X		
9	28.00	NE 43° SW	86° SE		CALC. Y ARC.			X	X	EN LA FRACTURA SE OBSERVAN BLOQUES INESTABLES
10	31.00	NE 43° SW	Ø	5-15	CALC. Y ARC.	X		X		
11	33.00	NE 57° SW	Ø	1.0	CALC. Y ARC.	X		X		
12	36.00	NE 42° SW	86° SE	1-2	CALCITA			X	X	LA FRACTURA VA DEL CENTRO A LA DERECHA
13	38.00	NE 47° SW	85° SE		CALCITA			X	X	
14	41.00	NE 40° SW	Ø		CALCITA			X	X	
15	45.00	NE 70° SW	Ø		CALCITA			X	X	
16	44.0-48	NW 10° SE	76° SW		CALCITA			X	X	
17	53.00	NE 24° SW	75° NW		CALCITA			X	X	
18	55.00	NE 16° SW	76° SE	2-3	CALC. Y ARC.	X				
19	58.50	NE 46° SW	78° NW	0-1	CALCITA		X		X	
20	67.50	NE 25° SW	50° SE		CALCITA		X		X	
21	71.00	NE 20° SW	Ø		CALCITA		X			
22	75.00	NE 37° SW	Ø		CALCITA	X		X		
23	81.00	NE 43° SW	Ø		CALCITA		X		X	
24	84.50	NE 20° SW	65° SE	0-1	CALCITA		X			CRISTALES DE CALCITA FORMANDO DRUSAS.
25	90.00	NE 13° SW	33° SE	0-1	CALCITA		X		X	
26	100.00	NE 29° SW	76° NW		CALCITA			X		
27	112.00	NE 22° SW	Ø	0-15	CALC. Y ARC.	X		X		
28	114.00	NE 32° SW	Ø	0-15	CALC. Y ARC.	X		X		
29	115.00	NE 46° SW	Ø	0-1	CALCITA		X		X	
30	116.50	NE 35° SW	Ø	0-5	CALCITA		X		X	
31	123.00	NE 27° SW	Ø		CALCITA			X		
32	139.00	NW 15° SE	72° NE	0-3	CALCITA	X				FRACTURA EN EL TECHO PEGADA A LA IZQUIERDA
33	142.50	NE 24° SW	Ø	2-40	CALC. Y ARC.	X		X		
34	143.50	NE 32° SW	52° NW		CALCITA		X		X	
35	145.00	NE 39° SW	Ø	6-1	CALCITA	X		X		SE OBSERVAN RASTROS DE COLORANTE ROJO

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.20 Elevación 222.00
 Socavón 15 Longitud 327.00 Margen IZQUIERDA

Fract. N°	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia				O B S E R V A C I O N E S.
						grande	regular	escasa	ninguna	
1	1.90	NW 70° SE	77° S	1-7	CALC. Y ARC.		X		X	
2	22.00	NW 50° SE	Ø	0-4	CALC. Y ARC.			X	X	
3	23.00	NW 40° SE	70° S	0-1	CALCITA			X		
4	42.00	NW 85° SE	65° SE	0-1	CALCITA			X	X	
5	43.50	E-W	63° S	0-0.5	SELLADA			X		
6	46.50	NW 44° SE	27° NE		RUMBO DE LA ESTRATIFICACION				X	
7	44-57									TENEMOS UNA FRACTURA QUE VA SOBRE LA CLAVE DEL - SOCAVON, SE HACE MAS NOTABLE EN EL CAMINAMIENTO 50 AL 57. HAY ESCASA INFILTRACION
8	60.00	NW 40° SE	24° NE		PLANO DE ESTRATIFICACION					
9	65.00	SW 10° NE	81° S	0-0.5	CALCITA			X	X	
10	70.00	NW 40° SE	24° NE		PLANO DE ESTRATIFICACION					
11	68.00	SW 10° NE	81° S	0-0.5	CALCITA			X	X	
12	69.00	SW 10° NE	81° S	0-0.5	CALCITA			X	X	
13	70.00	SW 10° NE	81° S	0-0.5	CALCITA			X	X	
14	73.00	SW 10° NE	81° S	0-0.5	CALCITA			X	X	
15	81.00	NW 05° SE	79° SW	1-10	CALC. Y ARC.		X		X	
16	96.00	NE 05° SW	78° NW	0.5-10	CALC. Y ARC.		X		X	
17	117.00	NW 03° SE	84° SW	0.5-20	CALC. Y ARC.		X		X	
18	133.00	NE 24° SW	Ø	2-35	FRAG. CALIZA				X	FRACTURA QUE EMPIEZA EN EL MTO. 120 EN LA TABLA DERECHA Y SE METE EN EL MTO. 138 EN LA TABLA 12 QUIERDA DONDE SE OBSERVA LA MAYOR ABERTURA Y LA PARTE MAS ALTERADA. TIENE FRACTURAMIENTO PARALE LO, LA PARTE AFECTADA ALCANZA HASTA 2.5 MTS.
19	167.00	NE 23° SW	Ø	10-70	ARC. Y FRAG. DE CALIZA	X			X	FRACTURA QUE EMPIEZA DESDE EL MTO. 160 DONDE SALE DE LA T.D. Y SE METE EN EL MTO. 178 EN LA T.I. - DONDE HACE CONTACTO CON UN PLANO DE ESTRATIFICA- CION Y SE NOTA UNA GRAN ABERTURA; DESDE QUE SALGA DE LA T.D. HASTA QUE SE METE EN LA T.I. SE OBSER- VA UN SISTEMA DE FRACTURAMIENTO SENSIBLEMENTE PARALELO Y UNA ZONA DE ALTERACION MUY FRACTURADA QUE OCUPA TODA LA CLAVE Y AMBAS TABLAS EN ESTE TRAMO; HAY PARTES CON MAYOR ABERTURAS A CAUSA DE LA EROSION.

PROYECTO HIDROELECTRICO "TZANTUN" Chis.

Tabla 4.21 Elevación _____
 Sacavón 15 (CONT.) Longitud _____ Margen _____

Fract. No.	Cosenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Impermeabilidad				OBSERVACIONES
						grande	regular	pequeño	fundo	
20	195.00	NE 24° SW	Ø	5.40	ARC. FRAG. DE ROCA	X			X	FRACTURA QUE APARECE EN LA TABLA DERECHA DESDE EL MTO. 185 Y SE METE EN LA T.I. EN EL MTO. 200 A — ESTA GRAN FRACTURA SE ASOCIA UN SISTEMA DE FRACTURAS PARALELOS QUE OCUPAN TODA LA CLAVE Y LA MAYOR PARTE DE LAS TABLAS.
21	199-210	N 40° E	Ø	1-40	ARCILLA	X			X	DEL 199 AL 210 SE ENCUENTRAN BLOQUES INESTABLES — PROVOCANDOS POR LA FRACTURA.
22	197.00	S 62° E	25° NE	0-2	ARCILLA			X	X	PLANO DE ESTRATIFICACION
23	205-210	N 30° E	Ø	0-1	ARC. Y CALC.		X		X	
24	201-207	N 22° E	Ø	0-2	ARC. Y CALC.		X		X	
25	210-221	N 10° E	Ø	2-3	ARCILLA	X			X	
26	214-221	N 25° E	Ø	0-1	ARC. Y CALC.		X		X	
27	221-238	N-S	85° W	0	ARC. Y CALC.		X		X	SUPERFICIE MUY RUGOSA Y ALTERADA
28	227-236	N 02° E	Ø	0	ARC. Y CALC.		X		X	
29	238-265	N-S	80° W	1-15	ARCILLA		X		X	PRESENIA GRIETA DE DISOLUCION Y FRAGMENTOS DE — ROCA.
30	257.0	N 25° E	85° SE	10-50	ARCILLA	X		X	X	
31	263.0	N 32° E	70° SE	0-30	ARCILLA	X			X	PRESENIA GRIETAS DE DISOLUCION
32	226.50	N 58° E	60° NW	0-1	CALC. Y ARC.			X	X	SE OBSERVAN ESTRIAS
33	271.00	S 30° W	75° NW	0-1	CALCITA			X	X	
34	277.00	N 67° E	65° SE	0	CALCITA			X	X	FRACTURA SEMANTADA CON C ₁ Co ₃
35	289.00	S 65° E	75° NE	0-1	CALCITA			X	X	SUPERFICIE RUGOSA
36	296.00	N 40° E	75° NW	0	CALCITA			X	X	FRACTURA SEMANTADA CON C ₁ Co ₃
37	301.00	S 55° W	70° NW	0-4	CALCITA		X		X	CRISTALES DE C ₁ Co ₃ FORMANDO DRUSAS
38	309.00	S 76° E	41° NE	1-25	ARCILLA	X			X	ESTRUCTURA CARSTICA
39	311.00	N 21° E	65° SE	2-20	ARCILLA	X			X	
40	320.00	S 74° E	41° NE	5-60	ARCILLA	X			X	GRIETAS DE DISOLUCION DE 50 CMS. A TODO LO LARGO.
41	326.00	N 65° E	60° SE	5-60	ARCILLA	X			X	
42	327.00	N 75° E	35° NW	5-20	ARCILLA	X			X	SE CORTA EN LA PARTE SUPERIOR CON LA FRACTURA ANTERIOR. SUPERFICIE RUGOSA CON GRIETAS DE DISOLUCION.

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.22 Elevación _____

Sección CRUCEO 15 Longitud 17.00 Margen IZQUIERDA

Fract. N°	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia		Infiltración		OBSERVACIONES
						grande	regular	escasa	abundante	
1	0.00	N 14° E	46° NW	0-1	ARC. Y CALC.			X		
2	4.00	N 27° E	80° NW	0	ARC. Y CALC.			X		
3	6.00	S 45° W	β	1-4	ARCILLA	X				
4	7.00	S 30° W	β	0	CALCITA			X		
5	8.50	S 50° W	β	1-3	ARC. Y CALC.	X				
6	10.00	N 24° E	85° NW	0	CALCITA			X		
7	12.00	N 17° E	67° SE	0	CALCITA			X		RESPALDOS LIGERAMENTE OXIDADOS
8	17.00	S 30° E	79° SW	0	CALCITA			X		

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.23 Elevación 222.00

Socavón 22 FALLA "B" Longitud 303.00 Margen IZQUIERDA

Fract. N°	Codenamiento	Rumbo	Echaco	Separación cms.	Material de relleno	Importancia grande	Importancia regular	Infiltración escasa	Infiltración abundante	OBSERVACIONES
1	5.00	NE 05° SW	63° SE	5-20	ARCILLA	X			X	EN LA ENTRADA DEL SOCAVON PRESENTA DECOMPRESION ABIERTA EN LA TABLA IZQUIERDA, CERRADA EN LA DE RECHA CON CALCITA
2	8.00	NW 25° SE	Ø	0-10			X			
3	22.50	NW 50° SE	02° SE				X		X	LA TABLA DERECHA SE OBSERVO NOTABLE Y EXISTE UN PROFUNDO CARSO
4	24.00	N-S	45° E				X		X	
5	35.00	NW 15° SE	80° E				X		X	
6	38.00	NW 10° SE	Ø	0-25		X			X	ABIERTA EN LA TABLA DERECHA Y PRESENTA RELLENA - DE CALCITA
7	43.00	NW 10° SE	30° E				X			DE 45.50 A 46.50, ZONA ALTERADA DE LA MISMA ROCA OXIDADA IMPREGNADA DE HIDRO POR LA CUAL DE LA -- FRACTURA ANTERIOR SOBRE LA CLAVE HAY UNA ZONA -- INESTABLE FRACTURADA COMO DE 1.5 MTS. DELIMITADO POR LA TABLA DERECHA QUE SE PRESENTA COMO ESPEJO DE FALLA Y SIGUE EL RUMBO DEL SOCAVON Y TERMINA EN EL RUMBO 60
8	45.50	NW 85° SE	Ø			X		X		
9	62.50	NW 85° SE	75° N-Ø			X				DESDE EL RUMBO 59 EN TABLA DERECHA HASTA 66, Y DE 63 HASTA 67, ZONA DE FRACTURAMIENTO CON ABUNDANTE RELLENO DE CALCITA Y ROCA LESTONITA BRECHADA
10	68.00	NW 85° SE	60° S		CALCITA		X			PEQUEÑA ZONA ALTERADA
11	74.00	E-W	45° NW	2-15	CAL. Y FRAG. DE ROCA		X			FRACTURA CONSIDERABLE EN LA TABLA IZQUIERDA Y SE CIERRA HACIA LA TABLA DERECHA ESTA SE ASOCIA A -- UNA FRACTURA SOBRE LA TABLA IZQUIERDA Y TIENE -- MICROFRACTURAMIENTO.
12	78.00	NE 45° SW	60° NW	10-100	CALCITA Y FRAG. DE ROCA Y ARCILLA	X				PEQUEÑA FALLA LLEGA HASTA LA SUPERFICIE SOBRE LA TABLA IZQUIERDA HAY UNA FRACTURA HORIZONTAL CON EL RUMBO DEL SOCAVON CON RESPALDOS BASTANTE ALTOS Y QUE LLEGA HASTA EL FRENTE (95M). TIENE -- UN BUZAMIENTO DE 45° AL NE Y AL PARECER COINCIDE CON LA ESTRATIFICACION
13	68.00	NE 70° SW	30° NW	2	ARCILLA CALCA REA Y CALCITA					ESTA FRACTURA SE TERMINA EN DONDE EMPLEZA LA FRAC TURA HORIZONTAL ANTERIOR
		LONGITUD	TOTAL	95.0 M						

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.24 Elevación 222.00

Socavón 22 FALLA "A" Longitud 40.00

Morgen IZQUIERDA

Fract. N°	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separacion cms.	Material de relleno	Importancia				Infiltracion	O B S E R V A C I O N E S
						grande	regular	escaso	trunda		
1	1-4	S 65° W	54° SE	0-1	CALCITA				X		PARALELA A LA TABLA DERECHA LIGERA ALTERACION POR FILTRACIONES CRISTALES DE $Cq Co_3$ CALCEDONIA FORMADA POR DISOLUCION CRISTAS DE DISOLUCION EN EL TECHO CEMENTADA CON $Cq Co_3$ RELLENO DE FRAGMENTOS DE ROCA Y ARCILLA SUPERFICIE OXIDADA SUPERFICIE ALTERADA POR OXIDACION CEMENTADA CON CALCITA
2	4.00	N 85° W	55° SW	1-2	CALCITA				X		
3	7.00	N 60° W	Ø	2-15	CALC. Y ARCILLA	X				X	
4	9.00	S 74° W	88° SE	0-3	CALC. Y ARCILLA	X				X	
5	14.00	S 60° E	55° NE	0-1	CALCITA	X					
6	19.00	N 84° E	62° SE	1-10		X				X	
7	21.00	N 32° W	29° SW	0-3	ARCILLA	X				X	
8	22.00	S 75° W	84° NW	0-2	CALC. Y ARC.	X				X	
9	29.00	N 18° E	70° SE	0-3	CALCITA			X			

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.25 Elevación 222.00
 Socavón 23 Longitud 57.00 Margen IZQUIERDA

Frac. Nº	Cosenoamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia infiltración				OBSERVACIONES	
						grande	regular	escaso	ausente		
1	9.00	S 84° E	82° NE	3-20	ARC. Y SUELO VEGETAL	X				X	BLOQUES INESTABLES EN LA PARTE SUPERIOR SUPERFICIES LIGERAMENTE ALTERADAS
2	10.00	N 65° E	61° NW	5-20	CALCITA	X				X	RELLENO ALTERADO POR INFILTRACION
3	14.00	N 80° W	82° NE	1-10	ARCILLA		X				POCA ALTERACION
4	19.00	S 81° W	80° NW	0-1	ARC. Y CALC.			X			PLANOS DE FRACTURA OXIDADOS Y ALTERADOS CEMENTADA CON CALCITA
5	21.00	S 6° E	45° NE	1-15	CALC. Y ARC.		X			X	FRACTURA CON POCA ALTERACION
6	30.00	N 14° W	60° NE	0-1	CALCITA			X			PLANOS RUGOSOS Y ALTERADOS
7	36.00	S 75° W	73° SE	0	CALCITA			X			FRAGMENTOS PEQUEÑOS DE ROCA CON ARCILLA CEMENTADA CON CALCITA
8	41.00	N 73° E	66° NW	3-5	CALCITA		X			X	FRACTURA IRREGULAR
9	41.00	N-S	33° E	2-3	CALC. Y ARC		X			X	
10	52.50	S 10° W	34° SE	0-1	CALCITA		X			X	
11	52.00	S 52° W	81° SE	0-1	CALCITA			X			

PROYECTO HIDROELECTRICO 'ITZANTUN' Chis.

Tabla 4.26 Elevación 222.00

Socavón 23 Longitud 41.00 Margen IZQUIERDA
 CRICERO NO. 1 AGUAS ABAJO

Fract. No.	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia		Infiltración		OBSERVACIONES	
						grande	regular	escaso	abundante		
1	0.00	S 54° E	Ø	0	CALCITA			X		X	RESPALDOS LIGERAMENTE ALTERADOS
2	3.00	E-W	Ø	0-1	CALCITA			X			
3	2.5-11	S 21° W	40° SE	0-2	ARC. Y CALC.			X		X	FRACTURA PARALELA AL RUMBO DEL SOCAVON
4	14.00	S 85° W	80° NW	0-1	CALCITA			X		X	RESPALDOS ALTERADOS
5	15.00	N 85° E	65° NW	0-1	CALCITA		X		X		PLANOS DE FRACTURA LIGERAMENTE ALTERADOS
6	16.00	S 78° E	35° SW	0				X			RESPALDOS MUY POCO ALTERADOS
7	18.00	S 85° E	75° NE	0-1	CALCITA		X				PEQUEÑOS CRISTALES DE CALCITA
8	17.50	N 80° W	75° NE	0-5	CALCITA			X			CRISTALES DE CALCITA Y RASTROS DE HIDROCARBUROS
9	18.50	N 55° W	35° NE	0-1	CALC. Y LUT.			X			RELLENO DE LUTITA ALTERADA
10	19.00	N 70° W	Ø	0	LUTITA				X		
	22.00	E-W	42° S	0			ESTRATO				ESTRATO QUE SE CORTA A LOS 25 MTS.
11	25.00	N 85° E	82° NE	70-100	LUT. Y ARC.	X				X	FALLA CON BRECHAMIENTO FORMADO POR LUTITAS CON INTERCALACIONES DE CALCITA Y ARCILLA
12	27.00	S 28° E	62° NE	5-20	LUT.ARC. CALC.	X				X	
13	30.00	N 35° W	72° NE	5-30	ARC. Y CALC.	X				X	
14	30.50	N 85° W	Ø	5-10	ARC. Y CALC.	X				X	FALLA TRANSCURRIENTE CON ESTRIAS
15	31.00	S 45° E	55° NE	5-15	ARC. Y CALC.	X				X	BLOQUES INESTABLES EN EL TECHO
16	32.50	N 48° W	Ø	5-20	ARC. Y CALC.	X				X	BLOQUES INESTABLES EN EL TECHO Y EN TABLAS
17	32.50	N 72° E	68° SE	1-5	ARC. Y CALC.		X			X	SE CORTA EN EL CENTRO DEL TECHO
18	33.00	S 80° E	84° NE	1-5	ARC. Y CALC.		X			X	
19	33.50	N 42° W	71° NE	10-20	ARC. Y CALC.	X				X	BLOQUES INESTABLES EN EL TECHO Y TABLAS
20	35.00	N 75° W	55° NE	5-10	ARC. Y CALC.	X				X	LAS CAPAS SE ENCUENTRAN PLEGADAS Y BRECHADAS EN
21	37.00	N 30° W	55° NE	5-20	ARCILLA	X				X	LA TABLA DERECHA SE ENCUENTRA INESTABILIDAD
22	39.00	N 68° W	80° NE	20-40	ARC. Y LUTITA	X				X	
23	39.50	S 42° E	44° NE	2-5	ARC. Y LUTITA	X				X	CUÑA INESTABLE EN EL TECHO
24	41.00	N 75° W	85° SW	2-5	ARCILLA		X			X	BLOQUES INESTABLES EN EL TECHO CON RELLENO DE - ARCILLA EN LAS FRACTURAS

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.27 Elevación _____

Socavón 23 (CONT.) Longitud 69.70

Margen IZQUIERDA

CALICERO NO. 2 AGUAS ARRIBA

Fract. No.	Cotenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración		O. B. S. E. R. V. A. C. I. O. N. E. S
						grande	regular	escasa	grande	escasa	
1	3.00	N 57° E	80° SE	1-2	CALCITA	X				X	ESTA FRACTURA SE PROLONGA HASTA EL SOCAVON 23
2	4.00	S 73° E	58° NE	1-3	CALC. Y ARC		X			X	
3	7.50	N 69° W	62° NE	1-2	CALC. Y ARC		X			X	EN EL RELLENO SE ENCUENTRAN FRAGMENTOS DE CALIZA FRACTURA DE MUCHA IMPORTANCIA PROBABLEMENTE COMUNICA CON LA SUPERFICIE
4	11.00	S 70° E	68° NE	10-50	CALC. Y ARC	X				X	CRISTALES DE Ca, Co3
5	13.00	S 73° E	52° NE	1-5	CALC. Y ARC		X			X	RESPALDOS ALTERADOS Y ESTRIAS
6	14.50	S 64° E	65° NE	1-2	CALC. Y ARC		X			X	PLANOS DE FRACTURA RUGOSOS Y ALTERADOS
7	15.00	S 77° E	86° NE	1-3	CALC. Y ARC		X			X	ARCILLA RELLENANDO LA FRACTURA CON FRAGMENTOS DE CALCITA Y CALIZA
8	18.00	N 85° E	68° NW	2-10	CALC. Y ARC	X				X	SE APPRECIA FILTRACION DE AGUA SE ENTIENDE A PROFUNDIDAD Y HACIA LA SUPERFICIE
9	19.00	N 82° N	Ø	10-30	CALC. Y ARC	X				X	SE UNE CON LA FRACTURA ANTERIOR
10	20.00	S 75° E	75° SW	0-1	LUT.CAL.ARC			X			FRACTURA PARALELA AL SOCAVON
11	20.00-25	N 25° E	48° SE	0-1	CALC. Y ARC.			X			SE CORTA CON LA FRACTURA NO. 13
12	26.00	S 45° E	69° NE	1-2	CALC. Y ARC.			X			SUPERFICIE RUGOSA Y ALTERADA
13	25.30	S 25° W	60° SE	1-2	CALC. Y ARC			X		X	
14	27.34	S 22° W	55° SE	1-2	CALC. Y ARC		X				
15	32.00	N 70° W	68° NE	0-1	CALCITA			X			
16	33.00	N 72° W	65° NE	0-1	CALC. Y ARC		X				
17	34.50	S 46° E	50° NE	1-4	CALC. Y ARC		X			X	
18	37.00	N 87° W	47° NE	1-5	CALC. Y ARC		X			X	
19	38.50	N 47° W	41° NE	0-3	CALC.ARC.LUT.		X			X	FRACTURA QUE SE CORTA CON LA ANTERIOR
20	39.50	S 59° E	62° NE	1-5	CALC. Y ARC			X			
21	43.00	S 29° E	58° NE	0-1	CALC. Y ARC		X				LIMITADA POR PLANO DE ESTRATIFICACION
22	45.49	S 30° W	32° NW	1-2	CALC. Y ARC		X			X	
23	53.00	S 29° E	38° NE	0-2	CALC. Y ARC			X		X	
24	57.00	S 35° E	45° NE	0-2	CALC. Y ARC			X			
25	61.50	N 38° E	82° NW	1-3	CALC.ARC.MAT. BITUMINOSO	X				X	ZONA ALTERADA CON PLEGAMIENTOS Y BRECHAMIENTO
26	63.00	N 80° W	72° NE	0-1	MAT.BITUMIN.	X					ZONA DE PLEGAMIENTOS FUERTES
27	64.50	S 84° E	60° NE	0-1	CALC. Y ARC		X				RESPALDOS CON Poca ALTERACION
28	67.00	S 42° E	58° NE	0-3	CALCITA	X					CONVERGE A 1 MTS. DE LA TABLA CON OTRA A LOS 66 M. RESPALDOS ALTERADOS Y RUGOSOS
29	69.70	S 50° W	65° NW	1-5	CALCITA			X			

PROYECTO HIDROELECTRICO "ITZANTUN" Chis.

Tabla 4.28 Elevación 270.00
 Socavón 25 Longitud 120.00 Mergen IZQUIERDA

Fract. N°	Codonamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia		Infiltración		OBSERVACIONES
						grande	regular	escasa	abundante	
1	21.60	NE 28° SW	Ø	1-0.5	CALC. Y ARC.			X		
2	23.40	NE 30° SW	65° E	4-10	ARC. Y FRAG. DE ROCA		X			PRESENTA OQUEDADES NO GRANDES Y RESPALDOS ALTERADOS
3	29.00	NE 40° SW	60° W	0-2	ARCILLOSO			X		
4	49.00	NE 30° SW	Ø	0-1	CALCITA			X		
5	AL FONDO	NE 26° SW	Ø	1-3	CALCITA			X		AL MTO. 53, TENEMOS CRUCERO PERPENDICULAR HACIA AGUAS ABAJO CON EL FIN DE CORTAR LA CAVERNA ESTA SE ENCUENTRA AL FONDO DEL CRUCERO Y SE HACE NOTABLE EN LA CLAVE Y EL CENTRO
6	61.00	NE 35° SW	80° W	0-1	CALCITA			X		
7	63.00	NE 5° SW	80° W	0-2	CALCITA			X		
8	65.00	NE 28° SW	Ø	1-2	CALCITA			X		DESDE EL MTO. 63, HASTA EL MTO. 70, ZONA BASTANTE ALTERADO, CON OXIDACION Y BASTANTE MICROFRACTURAMIENTO
9	70.00	NE 32° SW	Ø	2-6	ARC. Y CALC.	X				SE OBSERVAN LOS RESPALDOS BASTANTE ALTERADOS CON 40 CM APPROX. DE FRACTURA
10	72.30	NE 30° SW	Ø	0-2	CALCITA			X		
11	74.00	NE 30° SW	Ø	0-2	CALCITA			X		
12	82.50	NE 20° SW	85° W	0-1	CALCITA			X		
13	95.00	NE 50° SW	60° E	0-2	CALCITA		X			PRESENTA UNA ZONA BRECHADA Y ALTERADA CON BASTANTE PALMA Y CIRCULACION DE AGUA
14	98.00	NE 28° SW	28° SW	Ø	ARC. Y CALC.	X				PRESENTA COMO 1/2 MTO. DE ZONA BRECHADA BASTANTE ALTERADA; DE AQUI HASTA EL MTO. 96
15	101.00	NE 5° SW	85° E	4-15	CALCITA		X			PRESENTA OXIDACION
16	106.00	NE 30° SW	86° E	1-5	CALCITA		X			PRESENTA MICROFRACTURAMIENTO EN AMBOS RESPALDOS
17	108.00	NE 10° SW	Ø	4-20	ARC. Y CALC.	X			X	PRESENTA ZONA DE ALTERACION DE MAS DE 3 MTS. Y ALCANZA HASTA LA FRACTURA ANTERIOR (A 106 MTS.) CONTIENE ADEMÁS DE RELLENO ARCILLOSO Y CALCAREO FRAGMENTOS PEQUEÑOS DE ROCA; SE OBSERVA ABUNDANTE MICROFRACTURAMIENTO
18	116.50	NE 32° SW	64° W	2-13	ARC. Y CALC.		X			
19	118.00	NE 36° SW	Ø	5-2	ARC. Y CALC.			X	X	SIGUE EL MICROFRACTURAMIENTO HASTA EL FRENTE (120 MTS.) SIENDO MAS NOTABLE EN LA TABLA DE AGUAS ARRIBA.
FONDO TOTAL 120 MTS.										

PROYECTO HIDROELECTRICO 'ITZANTUN' Chis.

Tabla 4.29 Elevación 270.00
 Socavón 26 Longitud 153.20 m. +38.6 Mergén DERECHA
 CRUCERO

Fract. N°	Codonamiento	Rumbo	Echazo	Separación cms.	Materiales de relleno	Importancia			Infiltración	OBSERVACIONES
						zona	total	microfractura		
1	2.02	NE 10° SW	70° W				X			FRACTURAMIENTO POR DECOMPRESION
2	16.00	NW 30° SE	Ø		CALCITA		X			
3	21.00	NW 25° SE	Ø	2-0	CALCITA		X			ABIERTA EN TABLA IZQUIERDA, CERRADA EN TABLA DERECHA
4	23.00	NW 12° SE	Ø	2-15			X			ABIERTA EN TABLA DERECHA Y TOTALMENTE CERRADA EN TABLA IZQUIERDA
5	26.00	NE 20° SW	75° SW		CALCITA		X			
6	27.00						X			
7	46.00	NW 20° SE	75° SW		CALCITA		X			
8	49.00	N-S	Ø					X		UNA AUREOLA DE ALTERACION DE 45 CM (OXIDACION)
9	51.00									
10	58.00	SW 20° NE	Ø		CALCITA			X		
11	87.00	NE 10° SW			CALCITA			X		
12	88.00	NE 20° SW					X			CON ALTERACION
13	89.00	NE 30° SW	Ø					X	X	ZONA DE MICROFRACTURAMIENTO INTENSO CON CIRCULACION DE AGUA.
14	92.00	NW 15° SE	Ø					X		
15	101.00	NE 10° SW	Ø					X		ZONA DE MICROFRACTURAMIENTO
16	107.00	NE 15° SW	Ø				X			
17	122.00	NE 10° SW	Ø	2-5	CALCITA		X			
18		NE 15° SW	Ø		CALCITA			X		
19	156.00	NE 35° SW	Ø		CALCITA		X			FRACTURADA TABLA IZQUIERDA CADA 20 CM. CON MICROFRACTURAMIENTO ALREDEDOR
20	146.00	NE 30° SW	Ø				X			
21	141.00	NE 15° SW	Ø		CALCITA			X		ALTERACION Y OXIDACION
22	134.00	N-S	Ø					X		CON ALTERACION Y MICROFRACTURAMIENTO
CRUCERO										
	16.00	NE 15° SW	80°-Ø NW		CALCITA			X		
	26.00	NE 28° SW	55° NW		ZONA BRECHADA					CON RELLENOS DE CALCITA BIEN COMPACTA (OXIDADA)

PROYECTO HIDROELECTRICO 'ITZANTUN' Chis.

Tabla 4.30

Elevación 270.00

Socavón 27

Longitud 102.50

Morgen DERECHA

Frac. Nº	Cosenamiento	Rumbo	Echado	Separación cms.	Material de relleno	Importancia			Infiltración		OBSERVACIONES
						Superf.	Prof.	Alto	Superf.	Prof.	
1	2.00	NE 30° SW	68° NW	1.5-2	CALCITA		X				MICROFRACTURAMIENTO ASOCIADO Y ALTERACION POCO ALTERADA ALTERADA A SU ALREDEDOR ALTERADA A SU ALREDEDOR. NO EXISTE FLUJO DE AGUA SISTEMA DE MICROFRACTURAMIENTO EN 1 M MICROFRACTURAMIENTO POCO IMPORTANTE EXISTE Poca ALTERACION PRESENTA OXIDACION MICROFRACTURAMIENTO DE 1 M ALTERADA EXISTE Poca ALTERACION, PEQUEÑA ABERTURA EN LA TABLA DERECHA SISTEMA DE FRACTURAMIENTO PARALELO DE 1 M PRESENTANDO UNA ABERTURA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA TABLA DERECHA ZONA DE MICROFRACTURAMIENTO NOTABLE EN LA TABLA DERECHA. PRESENTA ALTERACION DE 95,50 HASTA 97,00 ZONA DE MICROFRACTURAMIENTO INTENSO SELLADAS POR RUMBO PARALELO A LA FRACTURA
2	6.00	NE 60° SW	63° NW		CALCITA			X			
3	13.00	NE 35° SW	75° NW	0.5-2	CALCITA		X				
4	16.00	NE 30° SW	70° NW	2-10	ARC. Y CALC.	X					
5	28.00	N-S	Ø		CALCITA				X		
6	31.00	N-S	Ø		CALCITA				X		
7	43.00	NE 35° SW	Ø		CALCITA				X		
8	45.00	N-S	70° W		CALCITA				X		
9	48.00	N-S	Ø	1-2	ARC. CALC.		X				
10	53.50	S-S	Ø						X		
11	72.00	N-S	82° W	1-2	CALCITA		X				
12	81.00	NW 05° SE	85° W	0.5-1.5			X				
13	86.50	N-S	Ø	0.5-2			X				
14	94.50	NE 20° SW	80° W	4-10	ARC. Y CALC.	X					
15	95.50	NE 20° SW	80° W	1-3	CALCITA	X					

4.4. Caracterización del macizo rocoso

4.4.1. Antecedentes

Se consideró indispensable para el diseño preliminar y de detalle de la cortina, la determinación de la deformabilidad del macizo rocoso, quedando como parámetros secundarios el conocimiento del estado de esfuerzos internos de la roca, la resistencia de la misma roca y la resistencia al esfuerzo cortante en los planos de estratificación entre las unidades litológicas unidad 1 y 2 y las unidades 2 y 3 los trabajos de campo se iniciaron en febrero de 1978, mediante la ejecución de pruebas de placa flexible, para la determinación puntual del módulo de deformabilidad de la roca, continuando con la ejecución de pruebas de corte directo in-situ, en el contacto más débil entre las unidades 2 y 3, y con la determinación del estado natural de esfuerzos internos de la roca. Paralelamente se realizaron ensayos en el laboratorio, en núcleos provenientes de los barrenos 1-A y 8-A de la margen izquierda.

Se han realizado 30 ensayos de placa flexible, en la parte baja del cañón (hasta la elevación 234.00 m.s.n.m.), interesando la unidad 3 y la parte baja de la unidad 2, y siete pruebas de corte directo in-situ en el contacto arcilloso de la parte baja del cañón entre las unidades 2 y 3 efectuadas en el socavón 4 a la elevación 234.00 m.s.n.m. a

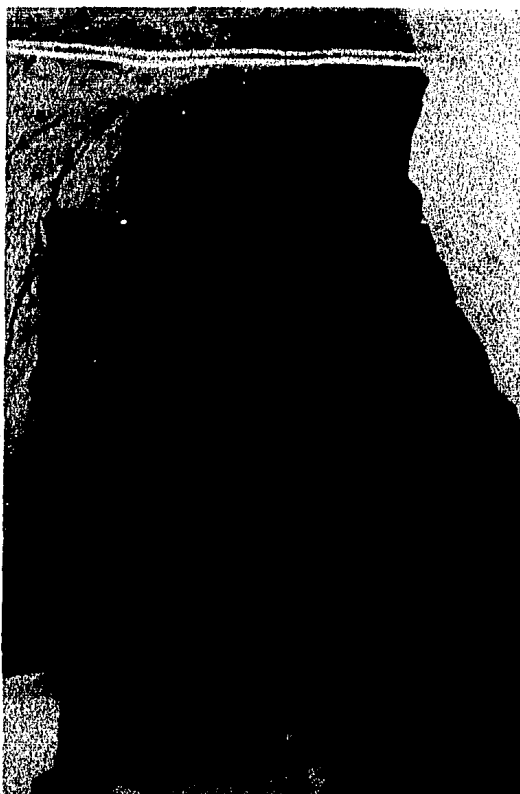


Figura 4.3. Prueba de Placa Flexible. Los ensayos se hicieron empleando gatos hidráulicos y placas de distribución, aplicando las cargas directamente contra las paredes del socavón.

40 m del cantil izquierdo, y únicamente se han realizado 2 ensayos de gato plano para la determinación natural de esfuerzos internos de la roca.

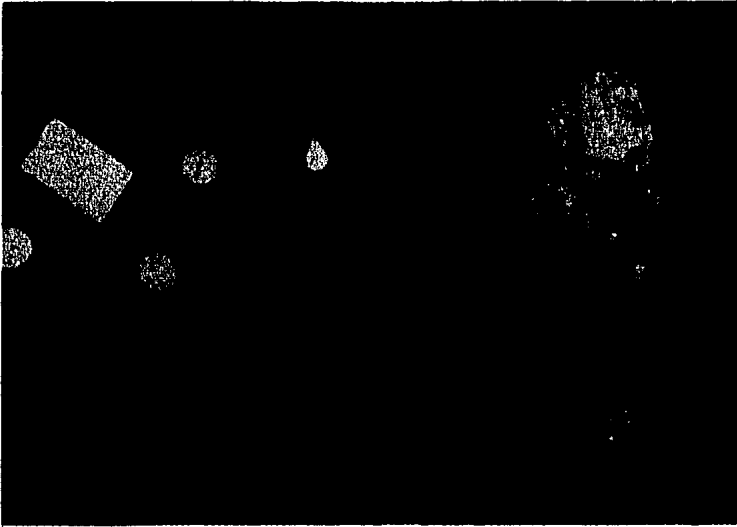


Figura 4.4. Prueba de Corte Directo. Estos ensayos consistieron en labrar el piso con herramienta de mano, para obtener bloques de roca de 70x70 cms de sección transversal y 35 cms de peralte. Estos bloques se sujetaron a un estado de esfuerzos, mediante la aplicación de una carga vertical y una carga ligeramente inclinada con respecto a la horizontal.

4.4.2. Propiedades geomecánicas de la roca intacta

Con objeto de conocer las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta se hicieron ensayos de laboratorio en núcleos de 5 cms de ϕ provenientes de los barrenos 8-A y 1-A, de la margen izquierda. El primero es representativo

de las calizas masivas de la unidad litológica intermedia - unidad 2 y el segundo de la unidad litológica inferior unidad 3.

Los valores promedio de las propiedades más importantes se muestran en la tabla 4.31.

Parámetro	Barreno 8-A (U2)				Barreno 1-A (U3)			
	Prom	N	D	V%	Prom	N	D	V%
Rc, kg/cm ² +	1,021	22	359	35	724	8	373	51
Rc, kg/cm ² *	812	30	301	37	667	26	371	55
Rt, kg/cm ³ +	74	9	13	17	73	6	26	36
Rt, kg/cm ³ *	70	19	26	37	48	12	28	5
Rf, kg/cm ² +	201	6	94	47	149	4	70	47
Rf, kg/cm ² *	142	12	63	44	81	4	40	49
Rs, kg/cm ² +	118	8	32	27	34	2	7	22
Rs, kg/cm ² *	162	4	43	26	-	-	-	-
E, kg/cm ² +	609,000	7	115,000	19	231,000	3	140,000	65
E, kg/cm ² *	505,000	13	189,000	37	238,000	6	196,000	82
γ, Ton/m ³	2.66	38	0.06	2	2.6	36	-	-
n, %	4	26	1	27	3	12	1	36
Δ, %	0.40	26	0.20	52	0.4	12	0.3	87

Tabla 4.31. Propiedades geomecánicas de la roca intacta.

Donde: + Medio ambiente * Saturados

D = Desviación estándar

V = Coeficiente de variación

N = Número de pruebas

Rc= Resistencia en compresión simple

Rt= Resistencia en tensión

Rf= Resistencia en tensión bajo flexión

Rs= Resistencia en corte simple

E = Módulo de elasticidad

= Peso volumétrico

n = Porosidad

i = Índice de absorción (absorción de agua durante 1.5 horas).

5.- ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

5.1. Estabilidad general de la margen izquierda

5.1.1. Introducción

Se analiza la estabilidad del bloque de roca caliza de la unidad 2 que se encuentra en el apoyo izquierdo de la cortina. El bloque analizado queda limitado al Norte por la denominada falla Norte, que pone en contacto las unidades 2 y 5; al Sur por el cantil de la falla de Itzantún, al Este por el cañón del río y fallas del tipo Alfa, al Oeste por la denominada falla F₁, que es senciblemente paralela al cañón en el sitio de la boquilla y corresponde a la orientación de -- las familias Alfa, el bloque descansa en el contacto de las unidades 2 y 3 que tiene rumbo N 55° W y echado 24° NE.

El bloque arriba descrito, denominado bloque A, en caso de tender a deslizarse sobre el contacto entre las unidades 2 y 3 ocasionará un empuje sobre la unidad 5 a partir de la -- falla Norte. Por tanto la estabilidad del bloque A dependerá

de la estabilidad del macizo constituido por la unidad 5 que se encuentra aguas abajo de la falla Norte.

5.1.2. Hipótesis

Con la finalidad de formar un análisis que permita evaluar la influencia que sobre la estabilidad tienen la geometría y resistencia de las posibles superficies de deslizamiento, las presiones del embalse, el vaciado rápido y los coeficientes sísmicos se formularon las siguientes hipótesis, tomando las condiciones más desfavorables posibles:

a).- Se analizó por el método estereográfico que supone:

- Las paredes se mantienen en contacto durante el deslizamiento.
- La influencia de momentos se anulan, esto es que no pueden ocurrir deslizamientos rotacionales.
- La resistencia al esfuerzo cortante de las superficies de deslizamiento esta definida por la relación lineal $\tau = c + \sigma \tan \phi$.

b).- La resistencia al corte en el contacto entre las unidades 2 y 3 esta representada por $c = 0$ (cohesión nula) y $\phi = 10^\circ$.

Esta resistencia es la que se obtuvo de siete pruebas efectuadas en el socavón 4 a la elevación 234.00 m.s.n.m. a 40 m de distancia del cantil izquierdo (inciso 4.2.).

c).- En una primera etapa del análisis se calculó el empuje del bloque A sobre la unidad 5, en el cual no se toma en cuenta la contribución de la resistencia de las fronteras laterales, de igual manera para el análisis de los bloques B de la unidad 5.

d).- Se supone que la resistencia al corte entre el bloque A y los B, es suficiente para impedir el movimiento horizontal relativo entre bloques.

e).- Se ha supuesto que el valor del coeficiente sísmico en el sitio está comprendido entre 0.00 y 0.40.

f).- Para el análisis de cargas hidrostáticas se ha supuesto una subpresión para la condición de embalse lleno hasta la elevación 430.00 m.s.n.m. (NAMO), en el sitio de la cortina y se abate línealmente aguas abajo hasta la falla Norte, para la condición de vaciado rápido se ha supuesto una presión hidrostática, de la elevación del (NAMO) a la elevación 363.00 m (umbral de la toma), normal a la falla F_1 , considerando también en esta condición la subpresión de la condición de embalse lleno.

5.1.3. Geometría y peso de los bloques analizados

En la figura 5.1. se muestra la planta de los bloques --
analizados.

Las fronteras del bloque A están descritas en el inciso
5.1.1. Los bloques B están limitados lateralmente por un pla-
no con la orientación siguiente: Rumbo N 05° E y echado 63°
SE. Esta orientación corresponde al fracturamiento tipo Alfa
y fue seleccionada entre las fracturas observadas en el soca-
vón 22 dentro de la unidad 5.

Para formar la frontera occidental de los bloques B --
(B1, B2 y B3), se tomó la orientación de una de las fracturas
de importancia que buzan hacia el E, que atraviesa el socavón
22 dentro de la unidad 5.

Para conformar los bloques B se tomaron las orientaciones
de 3 fracturas que por su rumbo casi E-W y en echado hacia el
Sur pudieran constituir superficies de deslizamiento hacia --
aguas abajo, bajo el empuje del bloque A para las diferentes
condiciones del embalse. Las 3 fracturas mencionadas fueron -
observadas en los tramos que penetran la unidad 5 de los soca-
vones 22 y 23. Las 3 fracturas (del tipo Delta), observadas --
no forman en si los planos de deslizamiento potencial de los
bloques analizados, sino que dichos bloques se han supuesto -
formados con planos de igual orientación (rumbo

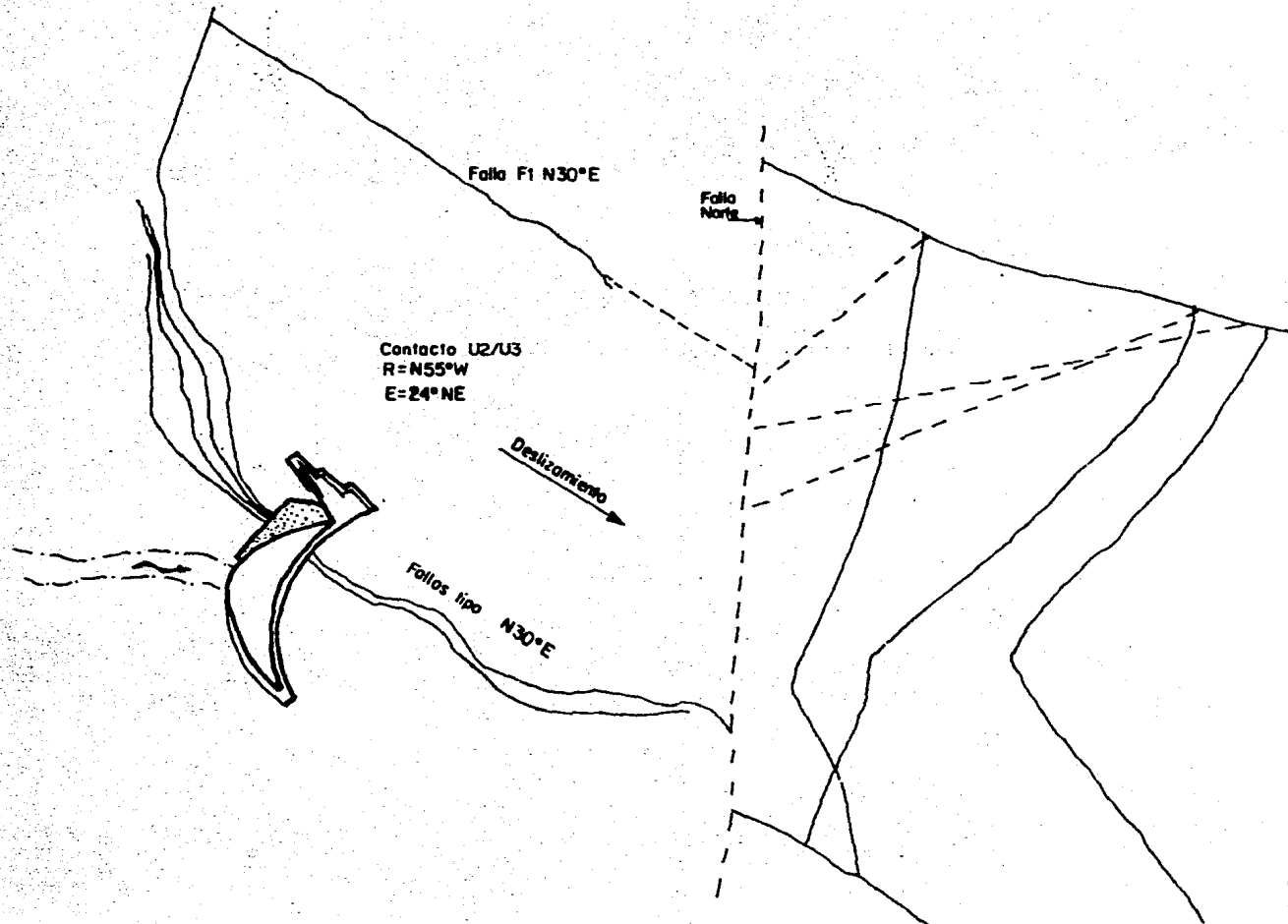


Figura 5.1. Planta de los bloques analizados

y echado) a los boservados y se han situado de manera que el empuje producido por el bloque A actué en la forma más crítica posible. Esta última condición se satisface si la traza del bloque A sobre la falla Norte queda circunscrita en la traza de los bloques B.

A continuación se dan las características de las fracturas mencionadas:

Bloque	Rumbo	Echado	Descripción
1	N 79° W	29° S	Fractura de poca importancia. Ondulada. Relleno -- arcillo-arenoso de 1 mm - de espesor máximo. Sin filtraciones.
2	N-W	63° S	Falla de regular importancia. Relleno arcillo-arenoso irregular de 2 a 3 cm - superficie rugosa y ondulada. Sin filtraciones.
3	N 55° E	60° S	Fractura de regular importancia muy cercana al portal. No es continua y sin filtraciones.

El volumen y peso de los bloques es el siguiente:

Bloque	Volumen mill. de m3	Peso mill. de Ton
A	27.4	72.88
B1	9.04	23.5
B2	5.25	13.66
B3	10.51	27.3

5.1.4. Analisis estereográfico

En una primera parte del análisis se calculó, por medio de un programa de computadora realizado para el análisis estereográfico, el empuje del bloque A para la condición crítica (factor de seguridad es igual a 1), el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal para la condición de estado actual, embalse lleno y vaciado rápido (de la cota 430.00 a la 363.00).

En la segunda parte del análisis se calcula la estabilidad de los bloques B aplicandoles la fuerza de empuje del -- bloque A para cada una de las condiciones mencionadas. Dado que no se cuenta con el ángulo de fricción ϕ en el programa de computadora se hace variar de 10° en 10° de 0° a 80° encontrando así el factor de seguridad, la fuerza de anclaje necesaria para F.S.=1 así como el rumbo e inclinación de -- dicha fuerza; para cada ángulo de fricción.

Para la condición de análisis con sismo se calcula para cada una de las condiciones anteriores haciendo variar el coeficiente sísmico, k , de 0.00 a 0.4 de 0.1 en 0.1.

A continuación se presenta el programa de computadora, en lenguaje BASIC, y el análisis estereográfico (figs. de la 5.2. a la 5.13.).

5.1.5. Presentación de resultados

Para cada condición y para cada bloque se presentan los resultados obtenidos (tablas de la 5.1. a la 5.9.), con la finalidad de obtener una mayor comprensión en los resultados y así evaluar la influencia que sobre la estabilidad tienen las diferentes condiciones del embalse y los coeficientes sísmicos, se presentan las gráficas (de la 5.1. a la 5.9.), en función de los parámetros calculados. Cada gráfica presenta la relación existente entre el ángulo de fricción, el factor de seguridad y el coeficiente sísmico (línea continua), y a su vez la relación existente entre el ángulo de fricción, la fuerza de anclaje y el coeficiente sísmico (línea punteada).

Si se desea conocer, por ejemplo el factor de seguridad para un ángulo de fricción de 20° y coeficiente sísmico $k=0.2$ en la gráfica 5.1. bloque B1 ESTADO ACTUAL, se entra a la --

gráfica en $\phi=20^\circ$ y donde se cruza con la línea continua con valor $k=0.2$ se encuentra el valor del factor de seguridad, $FS=0.75$. Para encontrar el valor de la fuerza de anclaje se entra otra vez a la gráfica en ángulo de fricción, $\phi=20^\circ$, y donde se cruza con la línea punteada con valor $k=0.2$ se encuentra el valor de la fuerza de anclaje para $FS=1$, $FA=4$ -- mill. de ton.

Los planos observados en la unidad 5 cuya orientación coincide con los planos de deslizamiento de los bloques analizados es rugosa, ondulada, y en ningún caso el relleno es continuo o regular ni mayor de 3 cm. El ángulo de fricción se estima que quede comprendido entre 25° y 50° . Se -- considerará un valor máximo del coeficiente sísmico de -- $k=0.2$ ya que es el correspondiente a la zona.

A).- ESTADO ACTUAL

BLOQUE B1 En la tabla 5.1. se tiene que para el valor de $k=0.2$ el ángulo de fricción necesario para un factor de seguridad, $FS=1$ es de 25° ; dado que las hipótesis de trabajo son muy conservadoras se puede decir que el bloque B1 en estado actual es estable.

BLOQUE B2 En la gráfica 5.2. se puede apreciar -- que el valor de $k=0.0$ es más crítico que el valor correspondiente a $k=0.2$, de la tabla 5.2. tenemos que el ángulo de fricción necesario para $k=0.0$ y $FS=1$ es de 33° y para --

$k=0.2$ es de 27° , por lo cual el bloque B2 para la condición de Estado actual se encuentra en una condición crítica.

BLOQUE B3 De la gráfica 5.3. se puede decir que el bloque B3 en estado actual es inestable, dado que los ángulos de fricción para un factor de seguridad, $FS=1$ son mayores de 55° y las fuerzas de anclaje resultan excesivamente grandes.

B).- LLENADO Y OPERACION DEL EMBALSE

1.- EMBALSE LLENO

BLOQUE B1 En la tabla 5.4. se tiene que para el valor de coeficiente sísmico $k=0.2$ el ángulo de fricción necesario para un factor de seguridad $FS=1$ es de 27° , por lo cual el bloque B1, embalse lleno es crítico.

BLOQUE B2 En la gráfica 5.5. puede apreciarse que para un coeficiente sísmico $k=0.0$ el ángulo de fricción necesario para $FS=1$ es de $\phi=32^\circ$ y para $k=0.2$, $\phi=27^\circ$, por lo cual el bloque B2 para la condición de embalse lleno es crítico.

BLOQUE B3 De la gráfica 5.6. se puede decir que el bloque B3 para la condición de embalse lleno es inestable, dado que los ángulos de fricción para un factor de seguridad $FS=1$ son mayores de 55° y las fuerzas de anclaje excesivamente grandes.

2.- VACIADO RAPIDO

BLOQUE B1 En la tabla 5.7. se tiene que para el -- valor de coeficiente sísmico $k=0.2$ el ángulo de fricción necesario para $FS=1$ es de 25° , por lo cual se puede decir que el bloque B1 para la condición de vaciado rápido es estable.

BLOQUE B2 En la tabla 5.8. se tiene que para un -- valor de coeficiente sísmico $k=0.0$ el ángulo de fricción necesario para un factor de seguridad $FS=1$ es de 28° y para un valo de $k=0.2$ el ángulo de fricción necesario es de 22° , por lo cual el bloque B2 para la condición de vaciado rápido es crítico.

BLOQUE B3 De la gráfica 5.9. se puede apreciar que el bloque B3 para la condición de vaciado rápido es inestable dado que los ángulos de fricción para un factor de seguridad $FS=1$ son mayores de 51° y las fuerzas de anclaje excesivamente grandes.

A continuación se presenta un resumen de los resultados del análisis de estabilidad.

BLOQUE	ESTADO ACTUAL	EMBALSE LLENO	VACIADO RAPIDO
B1	ESTABLE	CRITICO	ESTABLE
B2	CRITICO	CRITICO	CRITICO.
B3	INESTABLE	INESTABLE	INESTABLE

50 LPRINTCHR\$(27);CHR\$(14);LPRINTCHR\$(27);CHR\$(28);
100 REM PROGRAMA REALIZADO PARA EFECTUAR LA PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE
1 A 3 PLANOS CON SU CORRESPONDIENTE ZONA ESTABLE.
150 REM PARA LA CONDICION DE UN BLOQUE, A, DESLIZANDO SOBRE UN PLANO, DA
DO SU ANGULO DE FRICCION. ANALISIS DE ESTABILIDAD.
160 REM ANALISIS DE ESTABILIDAD DE UN BLOQUE BAJO UNA FUERZA EXTERNA PAR
A DIFERENTES ANGULOS DE FRICCION (VARIANDO DE 10 EN 10 GRADOS)

200 DEFINT A,I,J
300 DIM A(86,108),P(2,2),M(2,3,2),S1(2,2),S2(2,2),S3(3,4),Z3(2,3)
350 GOTO 1900
400 FOR I=0 TO 86: FOR J=0 TO 108:A(I,J)=32:NEXTJ,I
500 FOR I=-54 TO 54
600 LET Y=SQR(ABS(1-(I*I/2916)))
700 Z=INT(43*Y)
800 A(43-Z,54+I)=111:A(43+Z,54+I)=111
900 NEXT I
1000 LET A(86,54)=78:A(43,54)=43:A(44,54)=87
1100 RETURN
1200 FOR I=86 TO 0 STEP -1
1300 FOR J=0 TO 108
1400 LPRINT CHR\$(A(I,J));
1500 NEXT J
1600 LPRINT
1700 NEXT I
1800 RETURN
1900 INPUT "CUANTOS PLANOS POTENCIALES DE DESLIZAMIENTO SON ":PP
2000 FOR J=1 TO PP
2100 PRINT "CON QUE CARACTER GRAFICO EL PLANO ":J:INPUT N\$
2200 LET N(J)=ASC(N\$)
2300 NEXT J
2400 FOR J=1 TO PP
2500 PRINT
2600 PRINT"DAME ANGULO DE ORIENTACION PARA EL PLANO ":J:INPUT T(J)
2700 INPUT"DAME EL ECHADO ":F(J):FF=F(J)*3.141592654/180
2800 PRINT"DAME ANGULO DE FRICCION PARA EL PLANO ":J:INPUTF(J)
2900 IF PP=1 THEN INPUT"DAME EL PESO DEL BLOQUE ":PE:INPUT"MAGNITUD DE L
A FUERZA DE PRESION HIDROSTATICA ":MU
2905 IF PP>1 THEN 3000
2910 PRINT:PRINT:PRINT"QUE DESEAS QUE SE EFECTUE: "
2920 PRINT:PRINTTAB(20);"1.-ESTADO ACTUAL"
2930 PRINTTAB(20);"2.-EMBALSE LLENO."
2940 PRINTTAB(20);"3.-VACIADO RAPIDO."
2945 PRINTTAB(20);"4.-OTRO BLOQUE."
2948 PRINTTAB(20);"5.-FIN.":PRINT
2950 INPUT"CUAL ES TU OPCION ":OP:IF OP=5 END
2975 IF OP=4 GOTO 25000
3000 T(J)=T(J)*3.141592654/180: F(J)=F(J)*3.141592654/180
3100 C1(J)=TAN(T(J))*TAN(F(J))/COS(T(J)):C2(J)=-TAN(F(J))/COS(T(J)):C3(J)
)=-1/(COS(T(J))*COS(F(J)))
3200 NEXT J
3250 GOSUB 400
3300 FOR J=1 TO PP
3400 B1=SIN(T(J))*TAN(F(J)) : B2=-TAN(F(J))*COS(T(J))
3500 GOSUB 3700
3600 GOTO 5000
3700 FOR I=2 TO 360 STEP 2
3800 LET W=I*3.141592654/180
3900 FI= ATN(B1*COS(W)+B2*SIN(W))
4000 IF FI>-3.141592654 AND FI<0 THEN 4200

```

4100 GOTO 4800
4200 X=cos(W)*cos(FI)
4300 X1=sin(W)*cos(FI)
4400 Z=sin(FI)
4500 U=X/(1-Z):V=X1/(1-Z)
4600 U=INT(54+54*U):V=INT(43+43*V)
4700 A(V,U)=N(J)
4800 NEXT I
4900 RETURN
5000 REM
5100 F0(J)=F0(J)*3.141592654/180
5200 W(J)=SQR(C1(J)*C1(J)+C2(J)*C2(J)+C3(J)*C3(J)):V(J)=SQR(C1(J)*C1(J)+
C2(J)*C2(J))*W(J)
5300 P1=C1(J)/(W(J)-C3(J)):P2=C2(J)/(W(J)-C3(J))
5400 P1=INT(54+54*P1):P2=(43+43*P2):A(P2,P1)=N(J)
5500 FOR I=4 TO 360 STEP 4
5600 K=I*3.141592654/180
5650 GOSUB 5700:GOTO 6100
5700 S1=sin(F0(J))*cos(K):S2=sin(F0(J))*sin(K):S3=cos(F0(J)):S4=SQR(C1(J)
)*C1(J)+C2(J)*C2(J)
5750 W(J)=SQR(C1(J)*C1(J)+C2(J)*C2(J)+C3(J)*C3(J)):V(J)=SQR(C1(J)*C1(J)+
C2(J)*C2(J))*W(J)
5800 U1=C1(J)*C3(J)*S1/V(J)-C2(J)*S2/S4+C1(J)*S3/W(J)
5900 U2=C2(J)*C3(J)*S1/V(J)+C1(J)*S2/S4+C2(J)*S3/W(J)
6000 U3=-(C1(J)*C1(J)+C2(J)*C2(J))*S1/V(J)+C3(J)*S3/W(J)
6050 RETURN
6100 IF U3>=0 THEN 6500
6200 Q1=U1/(1-U3):Q2=U2/(1-U3)
6300 Q1=INT(54+54*Q1):Q2=INT(43+43*Q2)
6400 A(Q2,Q1)=N(J)
6500 NEXT I
6600 NEXT J
6700 IF PP=1 THEN 11300
6800 IF PP=2 THEN K(1)=1:K(2)=2:GOSUB 7500:GOSUB 1200:END
6900 FOR L=1 TO 3
7000 K(1)=L*L/2-3*L/2+2
7100 K(2)=-L*L/2+5*L/2
7200 GOSUB 7500
7300 NEXT L
7400 GOSUB 1200:END
7500 T1=C2(K(1))*C3(K(2))-C2(K(2))*C3(K(1)):T2=C1(K(2))*C3(K(1))-C1(K(1)
)*C3(K(2)):T3=C1(K(1))*C2(K(2))-C1(K(2))*C2(K(1))
7600 FOR J=1 TO 2
7700 T4=C2(K(J))*T3-C3(K(J))*T2:T5=C3(K(J))*T1-C1(K(J))*T3:T6=C1(K(J))*T
2-C2(K(J))*T1
7800 Z1=(sin(F0(K(J)))*(T5*C1(K(J))-T4*C2(K(J))))/SQR(C1(K(J))*C1(K(J))+
C2(K(J))*C2(K(J)))
7900 Z2=(sin(F0(K(J)))*(T4*C1(K(J))*C3(K(J))+T5*C2(K(J))*C3(K(J))-T6*(C1
(K(J))*C1(K(J))+C2(K(J))*C2(K(J)))))/V(K(J))
8000 P(1,J)=ATN(-Z2/Z1)
8100 P(2,J)=P(1,J)+3.141592654
8200 NEXT J
8300 FOR J=1 TO 2
8400 S3(J)=cos(F0(K(J))):S4(J)=SQR(C1(K(J))*C1(K(J))+C2(K(J))*C2(K(J)))
8500 FOR I=1 TO 2
8600 S1(I,J)=sin(F0(K(J)))*cos(P(I,J)):S2(I,J)=sin(F0(K(J)))*sin(P(I,J))
8700 M(J,1,I)=C1(K(J))*C3(K(J))*S1(I,J)/V(K(J))-C2(K(J))*S2(I,J)/S4(J)+C
1(K(J))*S3(J)/W(K(J))
8800 M(J,2,I)=C2(K(J))*C3(K(J))*S1(I,J)/V(K(J))+C1(K(J))*S2(I,J)/S4(J)+C
2(K(J))*S3(J)/W(K(J))

```

```
8900 M(J,3,1)=- (C1(K(J))*C1(K(J))+C2(K(J))*C2(K(J)))*S1(J,J)/V(K(J))-C3(K(J))*S3(J)/W(K(J))
9000 NEXT I,J
9100 FOR I=1 TO 2
9200 FOR J=1 TO 2
9300 Q1=M(J,1,1)/(1-M(J,3,1)):Q2=M(J,2,1)/(1-M(J,3,1))
9400 Q1=INT(54+54*Q1):Q2=INT(43+43*Q2)
9500 A(Q2,Q1)=42
9600 NEXT J,I
9700 FORJ=1TO2
9800 IF M(J,3,2)<M(J,3,1) THEN 10200
9900 Y1=M(J,1,1):Y2=M(J,2,1):Y3=M(J,3,1)
10000 M(J,1,1)=M(J,1,2):M(J,2,1)=M(J,2,2):M(J,3,1)=M(J,3,2)
10100 M(J,1,2)=Y1:M(J,2,2)=Y2:M(J,3,2)=Y3
10200 NEXTJ
10300 FOR K=1 TO 2
10400 T1=M(1,2,K)*M(2,3,K)-M(2,2,K)*M(1,3,K)
10500 T2=M(2,1,K)*M(1,3,K)-M(1,1,K)*M(2,3,K)
10600 T3=M(1,1,K)*M(2,2,K)-M(2,1,K)*M(1,2,K)
10700 B1=-T1/T3:B2=-T2/T3
10800 J=K+2:N(J)=46
10900 GOSUB 3700
11000 NEXT K
11100 RETURN
11300 C1(1)=C1(1)/W(1):C2(1)=C2(1)/W(1):C3(1)=C3(1)/W(1)
11400 R1=(C1(1)*C1(1)+C2(1)*C2(1))*(C1(1)*C1(1)+C2(1)*C2(1)+C3(1)*C3(1))/(C2(1)*C2(1))
11500 R2=SQR(F0(1))*((C1(1)*C1(1)+C2(1)*C2(1))/C2(1))
11600 R3=SQR(R2*R2-R1*(COS(F0(1))*COS(F0(1))-C3(1)*C3(1)))
11700 R4=(R2+R3)/R1:R5=(R2-R3)/R1
11800 R6=-SQR(1-((1+C1(1)*C1(1))/(C2(1)*C2(1)))*R4*R4))
11900 R7=-SQR(1-((1+C1(1)*C1(1))/(C2(1)*C2(1)))*R5*R5))
12000 IF R6>R7 THEN P1=C1(1)*R5/C2(1):P2=R3+P3=R7:GOTO 12200
12100 P1=C1(1)*R4/C2(1):P2=R4:P3=R6
12200 LA=SQR(1/((C1(1)*C1(1)+C2(1)*C2(1))*P3*P3+(C1(1)*P1+C2(1)*P2)*(C1(1)*P1+C2(1)*P2)))
12300 Q1=P1/(1-P3):Q2=P2/(1-P3)
12400 Q1=INT(54+54*Q1):Q2=INT(43+43*Q2)
12500 A(Q2,Q1)=B2
12600 IF (C1(1)*P1+C2(1)*P2)<0 THEN LA=-LA
12700 E1=LA*C1(1)*P3:E2=LA*C2(1)*P3:E3=-LA*(C1(1)*P1+C2(1)*P2)
12800 Q1=E1/(1-E3):Q2=E2/(1-E3)
12900 Q1=INT(54+54*Q1):Q2=INT(43+43*Q2)
13000 A(Q2,Q1)=69
13100 EE=PE*SIN(ABS(FF)-F0(1))
13200 TE=ATN(E2/E1)*180/3.141592654:F1=ATN(E3/SQR(E1*E1+E2*E2))*180/3.141592654
13210 EC=EE*ABS(COS(TE*3.141592654/180))
13220 EN=EE*ABS(SIN(TE*3.141592654/180))
13300 Z3(1,2)=C2(1)/SQR(C1(1)*C1(1)+C2(1)*C2(1))
13400 Z3(1,1)=C1(1)*Z3(1,2)/C2(1)
13500 Z3(1,3)=0
13550 ON OP GOTO 13600,14200,17000,25000
13600 FOR J1=1 TO 4
13620 FOR I=1 TO 3
13640 J=I
13660 S3(I,J1)=J1*Z3(J,I)/10
13680 NEXT I
13700 S3(3,J1)=S3(3,J1)-1
13760 Q1=S3(1,J1)/(1-S3(3,J1)):Q2=S3(2,J1)/(1-S3(3,J1))
13780 Q1=INT(54+54*Q1):Q2=INT(43+43*Q2)
```



```

13800 A(Q2,Q1)=64+J1 -
13820 NEXT J1
13840 GOSUB 1200
13860 LPRINTCHR$(27);CHR$(15);LPRINT CHR$(27);CHR$(56);
13880 I=1
13890 LPRINT:LPRINT:LPRINT
13900 LPRINT"COEF.";TAB(20);"EMPUJE";TAB(40);"ESFUERZO";TAB(60)"ESFUERZO
"
13910 LPRINT"SISMICO";TAB(20);"MILL. DE TON";TAB(40);"CORTANTE";TAB(60);
"NORMAL"
13915 LPRINT TAB(40);"KG/CM2";TAB(60);"KG/CM2"
13920 LPRINT"0.0";TAB(20);EE;TAB(40);EC;TAB(60);EN
13940 FOR J=1 TO 4
13960 C=SQR(1+J*J/100)*PE
13980 C=SIN(ABS(F(1))-F0(1)+ATN(J/10))*C
13990 CC=C*ABS(COS(TE*3.141592654/180))
13995 CN=C*ABS(SIN(TE*3.141592654/180))
14000 LPRINT USING"#.#";J/10;
14020 LPRINTTAB(20);C;TAB(40);CC;TAB(60);CN
14040 NEXT J
14060 LPRINT:LPRINT
14080 LPRINT"ORIENTACION DE LA FUERZA DE EMPUJE:";TE
14100 LPRINT"CON INCLINACION RESP. A LA HORIZONTAL DE:";FI
14120 GOTO 2910
14200 FOR J1=0 TO 4
14400 S3(1,J1)=J1*Z3(1,1)/10-MU*C1(1)/PE
14500 S3(2,J1)=J1*Z3(1,2)/10-MU*C2(1)/PE
14600 S3(3,J1)=J1*Z3(1,3)/10-1-MU*C3(1)/PE
14700 LO(J1)=-((P2*S3(3,J1)-P3*S3(2,J1))/(E2*P3-E3*P2)
14710 LR(J1)=SQR(S3(1,J1)*S3(1,J1)+S3(2,J1)*S3(2,J1)+S3(3,J1)*S3(3,J1))
14720 FORI=1TO3
14730 S3(I,J1)=S3(I,J1)/LR(J1)
14750 NEXT I
14980 J=1
15000 Q1=S3(1,J1)/(1-S3(3,J1));Q2=S3(2,J1)/(1-S3(3,J1))
15100 Q1=INT(54+54*Q1);Q2=INT(43+43*Q2)
15200 A(Q2,Q1)=64+J1
15300 NEXT J1
15400 GOSUB 1200
15500 REM
15600 I=1
15625 LPRINTCHR$(27);CHR$(15);LPRINTCHR$(27);CHR$(56);
15650 LPRINT:LPRINT:LPRINT
15700 LPRINT"COEF.";TAB(20);"EMPUJE";TAB(40);"ESFUERZO";TAB(60);"ESFUERZ
0"
15710 LPRINT"SISMICO";TAB(20);"MILL. DE TON.";TAB(40);"CORTANTE";TAB(60)
;"NORMAL"
15720 LPRINT TAB(40);"KG/CM2";TAB(60);"KG/CM2"
15900 FOR J=0 TO 4
16200 LPRINT USING"#.#";J/10;
16300 LPRINTTAB(20);LO(J)*PE;TAB(40);LO(J)*PE*ABS(COS(TE));TAB(60);LO(J)
*PE*ABS(SIN(TE))
16400 NEXT J
16500 LPRINT:LPRINT
16600 LPRINT"ORIENTACION DE LA FUERZA DE EMPUJE:";TE
16700 LPRINT"CON INCLINACION RESP. A LA HORIZONTAL DE:";FI
16800 GOTO 2910
17000 INPUT"DALE ORIENTACION Y ECHADO DEL PLANO EN EL CUAL SE APLICA LA

```

```

FUERZA Y SU MAGNITUD":OZ,ECH,MAG
17100 M1=TAN(OZ)*TAN(ECH)/COS(OZ)
17200 M2=-TAN(ECH)/COS(OZ)
17300 M3=-1/(COS(OZ)*COS(OZ))
17400 M4=SQR(M1*M1+M2*M2+M3*M3)
17500 M1=MAG*M1/M4
17600 M2=MAG*M2/M4
17700 M3=MAG*M3/M4
17800 N1(1)=C1(1)*MU
17900 N2(1)=C2(1)*MU
18000 N3(1)=C3(1)*MU
18100 M1=-M1-N1(1):M2=-M2-N2(1):M3=-M3-N3(1)-PE
18200 D1=M2*N3(1)-N2(1)*M3:D2=M3*N1(1)-M1*N3(1):D3=M1*N2(1)-N1(1)*M2:DD=
SQR(D1*D1+D2*D2+D3*D3):Q1=INT(54+54*D1/(DD-D3)):Q2=INT(43+43*D2/(DD-D3))
:A(Q2,Q1)=64
18300 U=D2*N3(1)-N2(1)*D3:V=D3*N1(1)-D1*N3(1)
18400 K=ATN(SQR(C1(1)*C1(1)+C2(1)*C2(1)+C3(1)*C3(1))*(C1(1)*V-C2(1)*U)/(
(C1(1)*U+C2(1)*V))*((C1(1)*C1(1)-C2(1)*C2(1))/C3(1)+V))
18500 J=1:GOSUB 5700
18600 W1=U1:W2=U2:W3=U3
18700 K=K+3.141592654:GOSUB 5700
18800 D4=SQR((M1-W1)*(M1-W1)+(M2-W2)*(M2-W2)+(M3-W3)*(M3-W3))
18900 D5=SQR((M1-U1)*(M1-U1)+(M2-U2)*(M2-U2)+(M3-U3)*(M3-U3))
19000 IF D4<D5 THEN P1=W1:P2=W2:P3=W3:GOTO 19200
19100 P1=U1:P2=U2:P3=U3
19200 MP=SQR(P1*P1+P2*P2+P3*P3)
19250 Q1=INT(54+54*P1/(MP-P3)):Q2=INT(43+43*P2/(MP-P3)):A(Q2,Q1)=82
19280 E1=P2*D3-P3*D2
19300 E2=P3*D1-P1*D3
19400 E3=P1*D2-P2*D1
19500 LA=1/SQR(E1*E1+E2*E2+E3*E3)
19600 E1=E1*LA:E2=E2*LA:E3=E3*LA
19700 Q1=INT(54+54*E1/(1-E3)):Q2=INT(43+43*E2/(1-E3)):A(Q2,Q1)=69
19800 Z2=-SGN(C2(1))*ABS(D1)/SQR(D1*D1+D2*D2)
19900 Z1=-SGN(C1(1))*ABS(D2*Z2/D1)
20100 FOR I=0 TO 4
20200 S3(1,I)=I*PE*Z1/10+M1
20300 S3(2,I)=I*PE*Z2/10+M2
20400 S3(3,I)=M3
20500 LO(I)=(P2*S3(3,I)-P3*S3(2,I))/(E2*P3-E3*P2)
20550 LO(I)=LO(I)/PE
20600 LR(I)=SQR(S3(1,I)*S3(1,I)+S3(2,I)*S3(2,I)+S3(3,I)*S3(3,I))
20700 Q1=INT(54+54*S3(1,I)/(LR(I)-S3(3,I)):Q2=INT(43+43*S3(2,I)/(LR(I)-
S3(3,I)):A(Q2,Q1)=64+I
20800 NEXT I
20900 GOSUB 1200
21000 TE=ATN(E2/E1)*180/3.141592654:FI=ATN(E3/SQR(E1*E1+E2*E2))*180/3.14
1592654
21100 GOTO 15500
25000 REM CALCULOS PARA SUBROUTINA CUATRO
25050 LPRINT CHR$(27):CHR$(14):LPRINTCHR$(27):CHR$(56):
25100 INPUT*DAME ANGULO DE ORIENTACION DEL PLANO ":I
25200 INPUT*DAME EL ECHADO DEL PLANO ":F
25300 INPUT*DAME EL PESO DEL BLOQUE ":PE
25310 INPUT*DAME LA ORIENTACION E INCLINACION DE LA FUERZA EXTERNA "IOZ,
ECH=OZ*3.141592654/180:ECH=ECH*3.141592654/180
25320 PRINT*DAME LA MAGNITUD DE LAS FUERZAS EXTERNAS PARA COEFICIENTE SI
SMICO DE : "
25330 FOR I=0 TO 4
25340 PRINTI/10:" ":INPUTE(I)
25350 NEXT I
25375 GOSUB 400

```

```

25400 T=T*3.141592645/180: F=F*3.141592654/180
25500 B1=SIN(T)*TAN(F):B2=-TAN(F)*COS(T):J=1:N(1)=49
25600 GOSUB 3700
25700 C1=TAN(T)*TAN(F)/COS(T)
25800 C2=-TAN(F)/COS(T)
25900 C3=-1/(COS(T)*COS(F))
25910 NC=SQR(C1*C1+C2*C2+C3*C3)
25920 L1=INT(54+54*C1/(NC-C3))
25930 L2=INT(43+43*C2/(NC-C3))
25940 A(L2,L1)=78
26000 FOR I=0 TO 4
26100 X1=E(I)*COS(ECH)*COS(OZ)
26200 X2=E(I)*COS(ECH)*SIN(OZ)
26300 X3=E(I)*SIN(ECH)-PE
26400 D1=C2*X3-C3*X2
26500 D2=C3*X1-C1*X3
26600 D3=C1*X2-C2*X1
26650 Z3=SQR(D1*D1+D2*D2):Z1=-D2/Z3:Z2=D1/Z3
26700 Z4=-Z1:Z5=-Z2
26750 Z6=SQR((Z1-X1)*(Z1-X1)+(Z2-X2)*(Z2-X2)+X3*X3)
26800 Z7=SQR((Z4-X1)*(Z4-X1)+(Z5-X2)*(Z5-X2)+X3*X3)
26850 IF Z6>Z7 THEN Z1=-Z1:Z2=-Z2
26900 R1=X1+(I/10)*PE*Z1
27000 R2=X2+(I/10)*PE*Z2
27100 R3=X3
27105 IF R3>0 THEN R1=-R1: R2=-R2: R3=-R3
27110 NR=SQR(R1*R1+R2*R2+R3*R3)
27120 H1=INT(54+54*R1/(NR-R3))
27130 H2=INT(43+43*R2/(NR-R3))
27140 A(H2,H1)=65+I
27150 Q1=SQR(C1*C1+C2*C2+C3*C3)
27160 Q2=SQR(X1*X1+X2*X2+X3*X3)
27200 G=(C1*X1+C2*X2+C3*X3)/(Q1*Q2)
27300 OM=-ATN(G/SQR(-G*G+1))+1.5708
27400 U=C3*D2-C2*D3:V=D3*C1-D1*C3:W=D1*C2-C1*D2:XX=SQR(U*U+V*V+W*W):U=U/
XX:V=V/XX
27470 G1=(D1*C1+C3+D2*C2+C3-D3*(C1*C1+C2*C2))/(NC*SQR(C1*C1+C2*C2))
27480 G2=(C1*D2-C2*D1)/SQR(C1*C1+C2*C2)
27500 KS=ATN(-G1/G2)
27600 C1(1)=C1:C2(1)=C2:C3(1)=C3
27700 W(1)=Q1
27800 V(1)=SQR(C1*C1+C2*C2)*W(1):J=1
27810 LPRINT:LPRINT:LPRINT"PARA COEF. SISMICO IGUAL A: ";I/10
27820 LPRINT:LPRINT"ANGULO ";TAB(20);"FACTOR DE";TAB(40);"FUERZA DE";TAB
(60);"ORIENTACION DE";TAB(80);"INCLINACION"
27830 LPRINT"FRICCION";TAB(20);"SEGURIDAD";TAB(40);"ANCLAJE";TAB(60);"LA
FUERZA";TAB(80);"RESP. HORIZ."
27850 BA=0
27900 FOR I1=0 TO 80 STEP 10
27910 IF OM<=I1*3.141592654/180 AND OM>I1*3.141592654/180-31.41592654/180
0 THEN F0(1)=OM:GOTO 29000
28000 F0(1)=I1*3.141592654/180
28500 K=KS
29000 GOSUB 5700
29100 W1=U1:W2=U2:W3=U3
29200 K=K+3.141592654:GOSUB 5700
29300 D4=SQR((R1-W1)*(R1-W1)+(R2-W2)*(R2-W2)+(R3-W3)*(R3-W3))
29400 D5=SQR((R1-U1)*(R1-U1)+(R2-U2)*(R2-U2)+(R3-U3)*(R3-U3))
29500 IF D4<D5 THEN P1=W1:P2=W2:P3=W3:GOTO 29700
29600 P1=U1:P2=U2:P3=U3
29700 W1=D2*P3-D3*P2
29800 W2=D3*P1-D1*P3

```

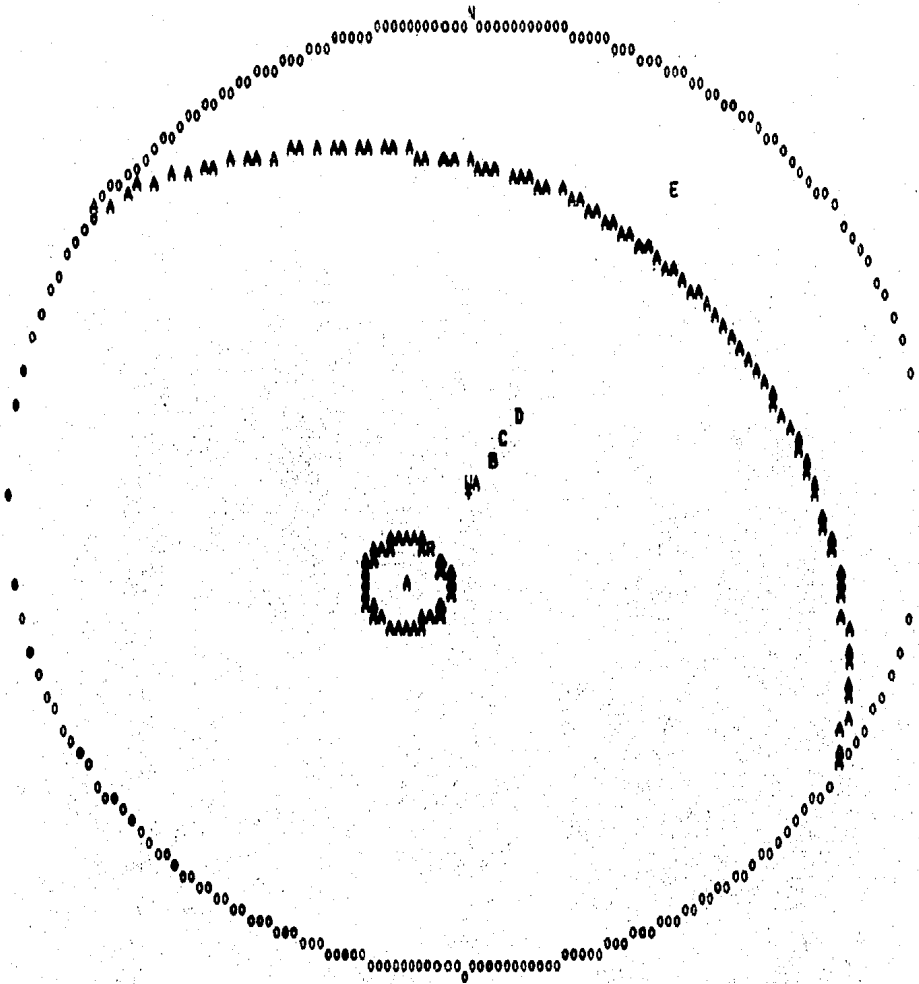
```

29900 W3=D1*P2-D2*P1
29925 PRINT(W1*P1+W2*P2+W3*P3)
29950 TE=ATN(W2/W1)*180/3.141592654:FI=ATN(W3/SQR(W1*W1+W2*W2))*180/3.141
592654
30000 WW=SQR(W1*W1+W2*W2+W3*W3)
30100 W1=W1/WW:W2=W2/WW:W3=W3/WW
30200 LA=(R2*P1-R1*P2)/(W2*P1-W1*P2)
30300 FS=TAN(F0(1))/TAN(OM)
30310 IF OM<=F0(1) AND OM>31.41592654/180 AND BA<>1 THEN LPRINTUSING"###
###:OM*180/3.141592654:LPRINTTAB(20);" 1.00":TAB(40);"CRITICO":F0(1)=I1
*3.141592654/180:BA=1:GOTO 29000
30400 LPRINTUSING"###:I1:LPRINTTAB(20);FS:IF F0(1)>OM THEN LPRINTTAB(4
0);"ESTABLE":GOTO 30600
30500 IF F0(1)<OM THEN LPRINTTAB(40);LA:
30550 LPRINTTAB(60);TE:TAB(80);FI
30600 NEXT I1
31000 NEXT I
31050 PRINT"PARA IMPRIMIR GRAFICA OPRIME ENTER":INPUTZZ$
31100 LPRINTCHR$(27):CHR$(28):GOSUB 1200
31200 BH=0:GOTO2910

```

A).- ESTADO ACTUAL

Embalse vacio, peso propio con sismo.



COEF SISMICO	EMPUJE MILL. DE TON	ESFUERZO CORTANTE KG/CM2	ESFUERZO NORMAL KG/CM2
0.0	17.6313	10.1129	14.4427
0.1	24.7928	14.1689	20.2353
0.2	31.7743	18.225	26.028
0.3	38.8458	22.281	31.8206
0.4	45.9173	26.3371	37.6133

ORIENTACION DE LA FUERZA DE EMPUJE: 55
 CON INCLINACION RESP. A LA HORIZONTAL DE: -14

Figura 5.2. Analisis estereografico. Empuje del bloque A sobre la falla Norte. ESTADO ACTUAL (peso propio con sismo).

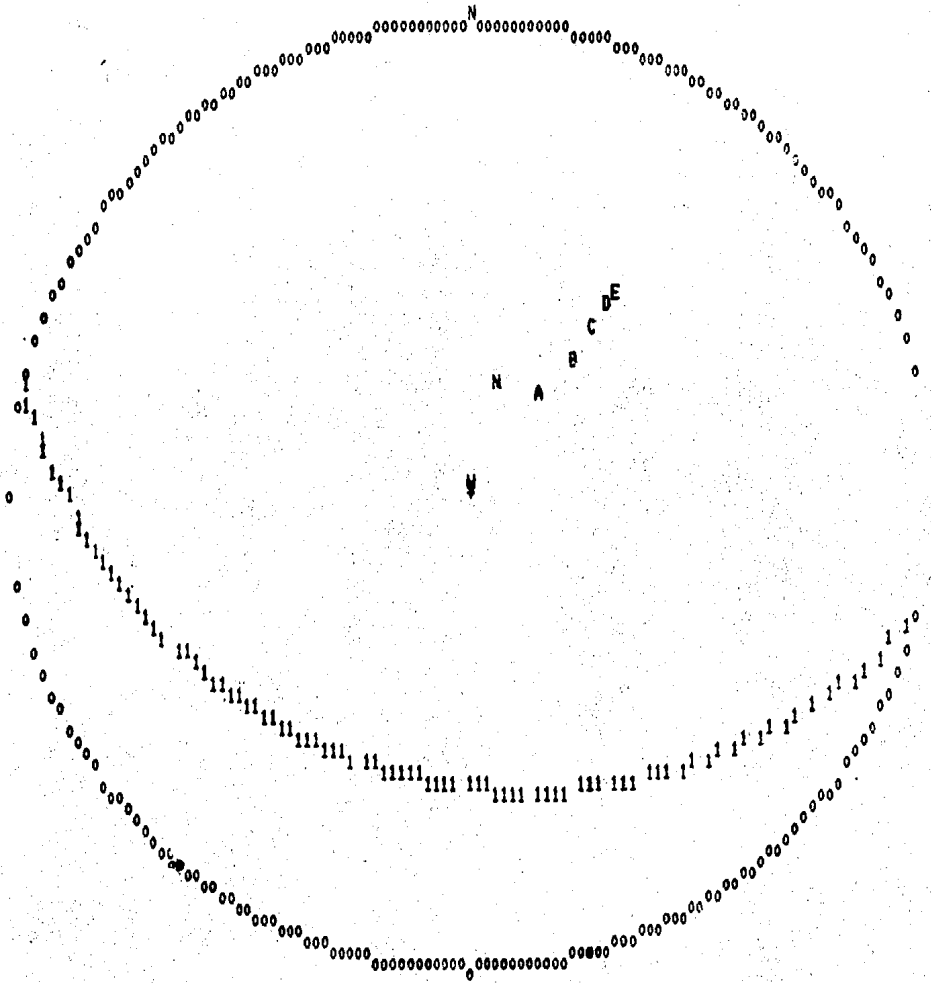


Figura 5.3. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B1. ESTADO ACTUAL (peso propio, sismo y fuerza externa).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	806994	1.37302	-9.58159	230426
12.33	1.80	CRITICO	-14.3974	9.56399
20	1.66578	ESTABLE		
30	2.46235	ESTABLE		
40	3.8483	ESTABLE		
50	4.49429	ESTABLE		
60	7.02786	ESTABLE		
70	1.4744	ESTABLE		
80	23.9537	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	49463	13.173	12.852	12.4937
19.62	1.80	CRITICO	7.88763	21.4828
20	1.82185	ESTABLE		
30	1.61964	ESTABLE		
40	2.35393	ESTABLE		
50	3.24333	ESTABLE		
60	4.85892	ESTABLE		
70	7.7873	ESTABLE		
80	13.9897	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	378376	29.1773	22.4731	37.8376
19.44	1.80	CRITICO	18.8644	35.8644
20	1.82185	ESTABLE	12.8491	
30	1.61964	ESTABLE		
40	2.35393	ESTABLE		
50	3.24333	ESTABLE		
60	4.85892	ESTABLE		
70	7.7873	ESTABLE		
80	11.9126	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	387745	27.6727	27.9461	38.7745
19.81	1.80	CRITICO	18.7291	37.4188
20	1.82185	ESTABLE	9.41442	37.4686
30	1.61964	ESTABLE		
40	2.35393	ESTABLE		
50	3.24333	ESTABLE		
60	4.85892	ESTABLE		
70	7.7873	ESTABLE		
80	9.89816	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	278276	34.856	31.2497	28.4483
19.89	1.80	CRITICO	27.1349	28.7229
20	1.82185	ESTABLE	14.4281	30.8517
30	1.61964	ESTABLE	3.44246	47.7183
40	2.35393	ESTABLE		
50	3.24333	ESTABLE		
60	4.85892	ESTABLE		
70	7.7873	ESTABLE		
80	8.78287	ESTABLE		

Tabla 5.1. Estabilidad del bloque B1. ESTADO ACTUAL.

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	886994	1.32382	-9.58159	230.26
20	1.88	CRITICO	-14.3974	9.56399
30	1.66378	ESTABLE		
40	1.54273	ESTABLE		
50	1.4483	ESTABLE		
60	1.35629	ESTABLE		
70	1.2786	ESTABLE		
80	1.21444	ESTABLE		
90	1.1557	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	14945	13.173	12.482	12.4937
20	1.62	CRITICO	7.88763	21.4828
30	1.42185	ESTABLE		
40	1.3194	ESTABLE		
50	1.2433	ESTABLE		
60	1.18733	ESTABLE		
70	1.14562	ESTABLE		
80	1.11392	ESTABLE		
90	1.0877	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	378376	20.1771	22.577	17.800
20	1.46	CRITICO	18.888	28.131
30	1.3222	ESTABLE	12.8491	35.8644
40	1.21273	ESTABLE		
50	1.1253	ESTABLE		
60	1.0559	ESTABLE		
70	1.0018	ESTABLE		
80	0.9579	ESTABLE		
90	0.9226	ESTABLE		

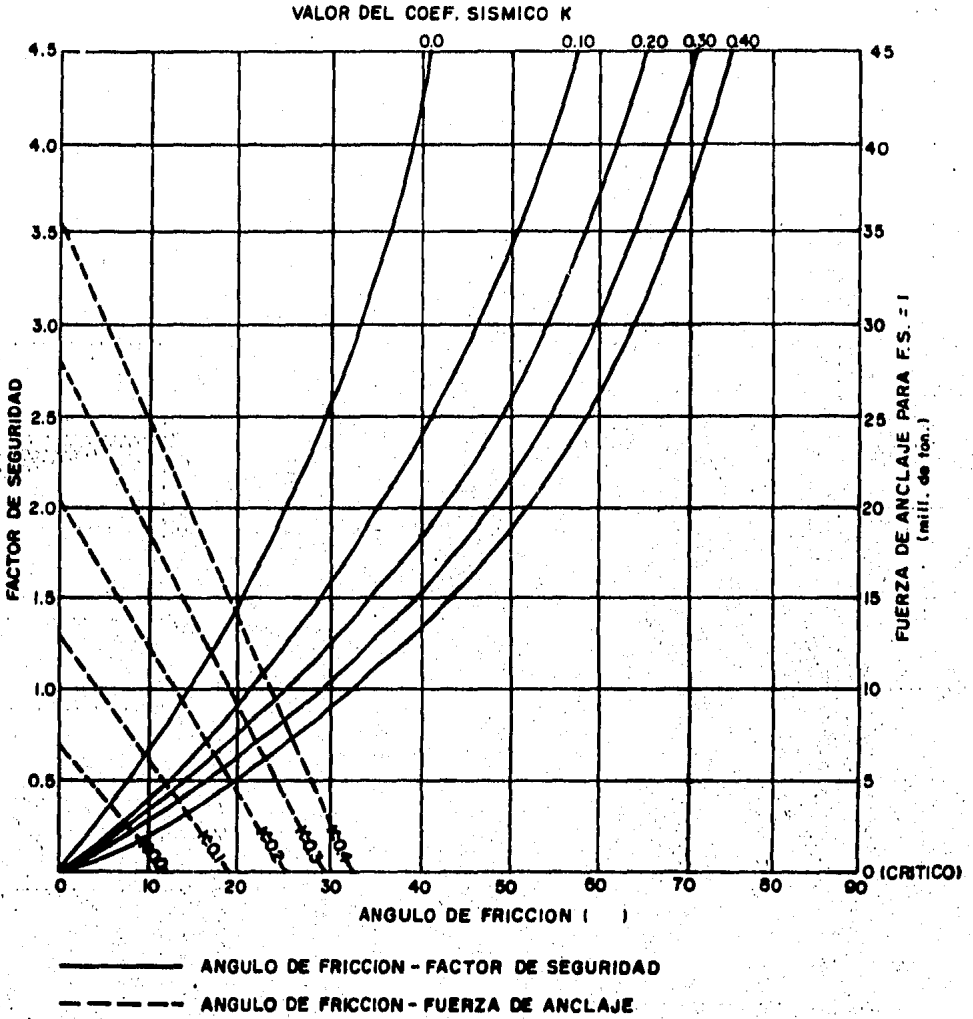
PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	387745	27.4327	27.8657	19.21
20	1.81	CRITICO	18.7291	29.4188
30	1.63241	ESTABLE	18.595	37.4886
40	1.50764	ESTABLE		
50	1.41448	ESTABLE		
60	1.3399	ESTABLE		
70	1.27977	ESTABLE		
80	1.2292	ESTABLE		
90	1.18816	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	278376	35.828	31.2497	28.4483
20	1.89	CRITICO	27.1348	38.7226
30	1.72496	ESTABLE	22.1817	48.8517
40	1.60953	ESTABLE	15.7639	47.7183
50	1.52	ESTABLE		
60	1.45261	ESTABLE		
70	1.39496	ESTABLE		
80	1.34769	ESTABLE		
90	1.30827	ESTABLE		

Tabla 5.1. Estabilidad del bloque B1. ESTADO ACTUAL.



Gráfica 5.1. Presentación de resultados del análisis de estabilidad bloque B1. ESTADO ACTUAL.

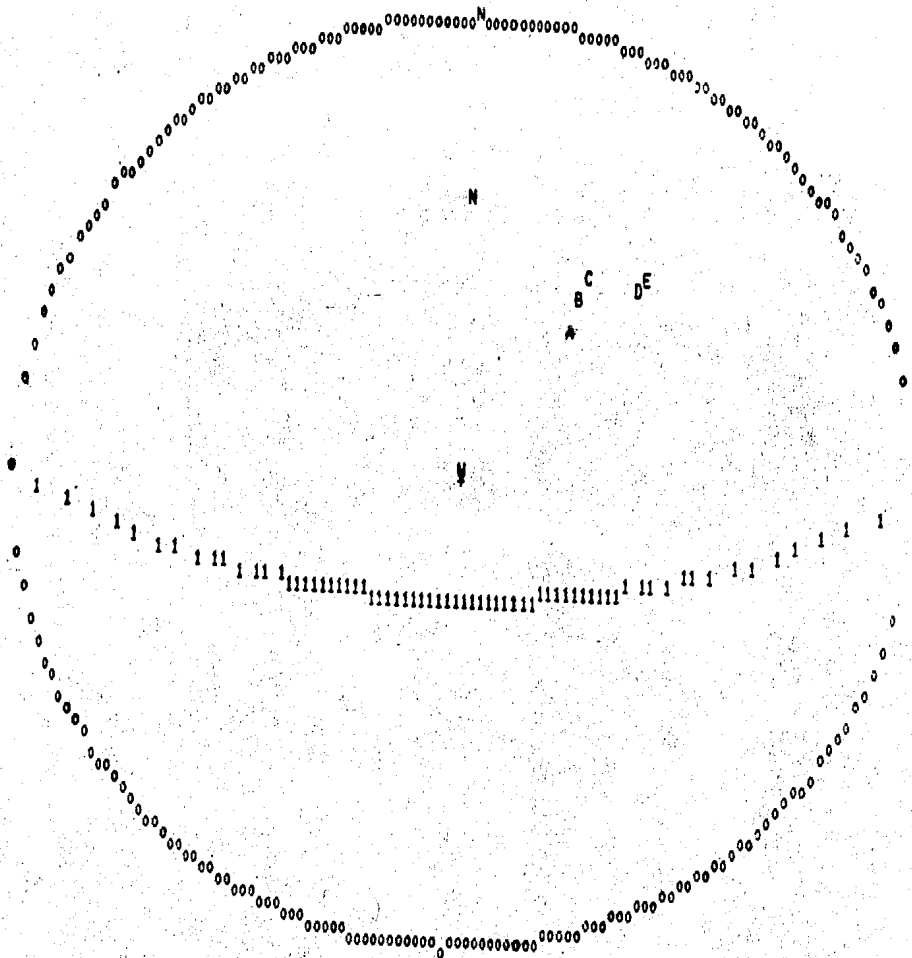


Figura 5.4. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B2. ESTADO ACTUAL (peso propio, sismo y fuerza externa).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	13.7342	-23.9869	-38.5663
10	2.64783	9.9442	-31.684	-39.4516
20	3.46558	7.25204	-41.94	-37.5824
30	8.66982	5.8206	-49.349	-18.2142
33.66	1.00	CRITICO		
40	1.26004	ESTABLE		
50	1.7896	ESTABLE		
60	2.60895	ESTABLE		
70	4.12577	ESTABLE		
80	8.51632	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	15.2598	-15.8228	-28.1526
10	3.14527	18.2711	-24.1881	-22.4846
20	6.5368	18.9784	-33.8317	-16.7439
29.12	1.00	CRITICO		
30	1.86451	ESTABLE		
40	3.18628	ESTABLE		
50	4.13933	ESTABLE		
60	5.18923	ESTABLE		
70	8.93204	ESTABLE		
80	18.1886	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	17.823	-18.8228	-28.4922
10	3.8953	18.922	-28.8419	-18.4281
20	7.2139	4.14615	-28.6613	-18.6889
26.75	1.00	CRITICO		
30	1.14593	ESTABLE		
40	1.69497	ESTABLE		
50	2.4237	ESTABLE		
60	3.4639	ESTABLE		
70	7.2131	ESTABLE		
80	11.2525	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

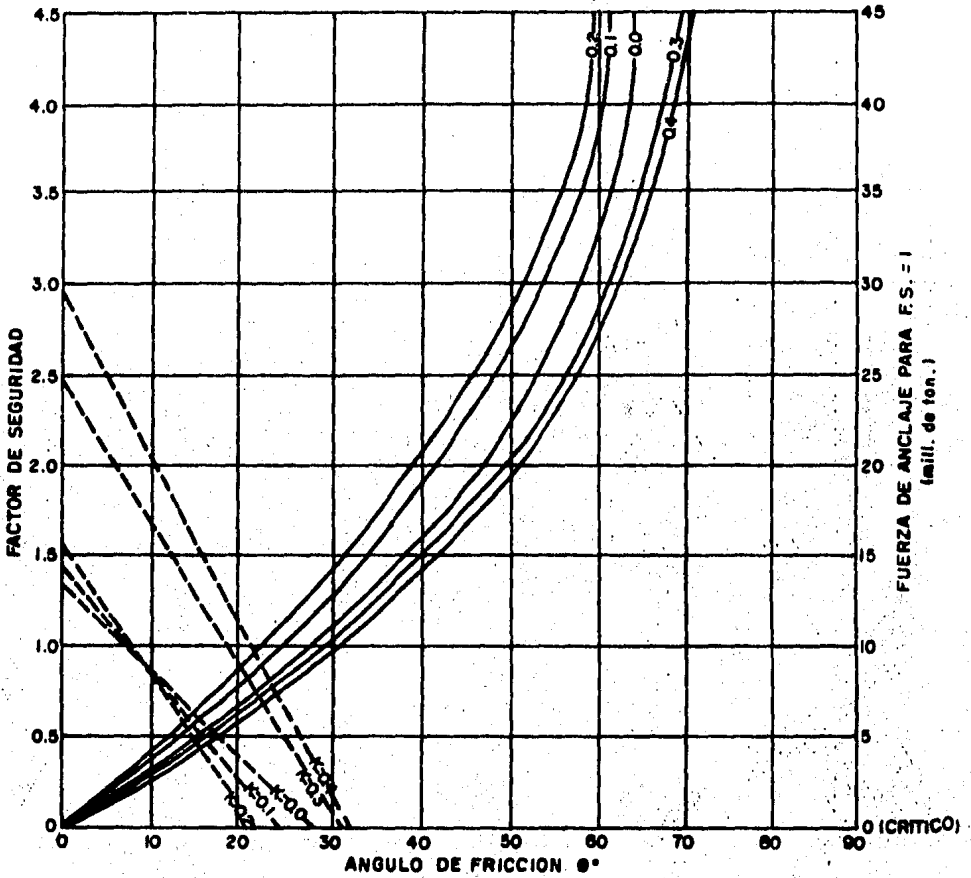
ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	26.1473	-7.8048	-14.9228
10	2.4247	19.1868	-16.7613	-18.6613
20	3.89481	12.2398	-23.4483	-4.9781
30	7.8924	4.12765	-33.9909	2.27493
35.83	1.00	CRITICO		
40	1.14386	ESTABLE		
50	1.688	ESTABLE		
60	2.3177	ESTABLE		
70	4.781	ESTABLE		
80	7.7987	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	31.1883	-9.3881	-18.8933
10	2.23611	23.4792	-14.4091	-6.87268
20	4.83343	13.824	-23.2484	-1.19718
30	7.7164	4.12765	-31.9683	3.78613
37.81	1.00	CRITICO		
40	1.12122	ESTABLE		
50	1.49322	ESTABLE		
60	2.17636	ESTABLE		
70	4.71722	ESTABLE		
80	7.57886	ESTABLE		

Tabla 5.2. Estabilidad del bloque B2. ESTADO ACTUAL.

VALOR DEL COEF. SISMICO K



————— ANGULO DE FRICCIÓN - FACTOR DE SEGURIDAD
- - - - - ANGULO DE FRICCIÓN - FUERZA DE ANCLAJE

Gráfica 5.2. Presentación de resultados en función de los parámetros calculados. Bloque B2. ESTADO ACTUAL.

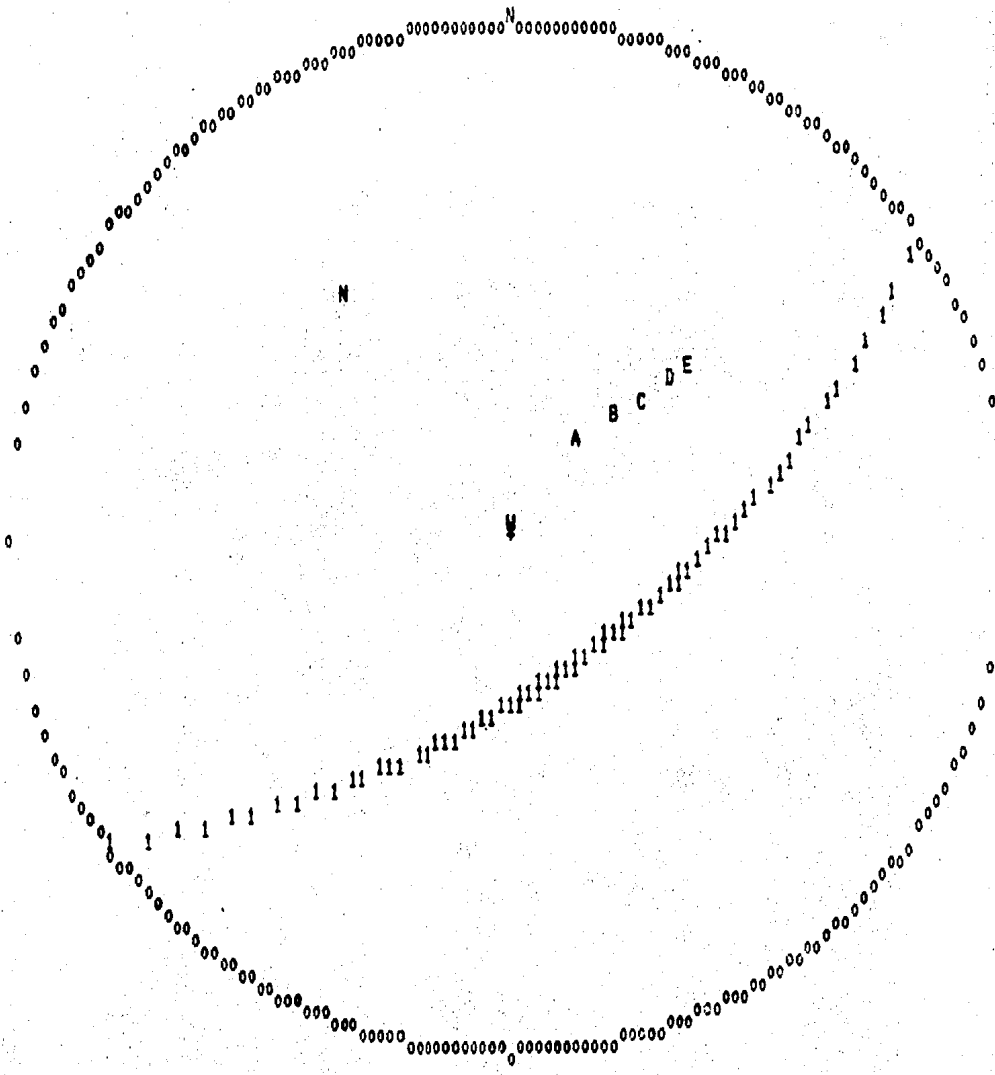


Figura 5.5. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B3, ESTADO ACTUAL (peso propio, sismo y fuerza externa).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 2

-168-

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	29.2258	-2.28721	-44.4354
10	.125779	25.1642	-11.0373	-38.7161
20	.24943	20.195	-18.1897	-31.5736
30	.41841	16.0879	-24.4616	-24.1892
40	.598554	8.9855	-29.3283	-17.454
50	.858112	2.91596	-34.2234	-4.69717
54.58	1.00	CRITICO		
60	1.23552	ESTABLE		
70	1.64889	ESTABLE		
80	4.24549	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	35.1421	6.44573	-31.8026
10	.18937	30.6481	-2.79272	-24.1062
20	.273376	26.6218	-10.4754	-17.1062
30	.354339	19.6242	-18.2414	-10.7269
40	.41971	13.8269	-24.4343	-4.7269
50	.46245	6.84869	-29.3352	-1.6343
54.43	1.00	CRITICO		
60	1.26432	ESTABLE		
70	1.6896	ESTABLE		
80	3.48536	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	41.8987	11.6389	-24.4913
10	.89427	37.3493	-4.9342	-20.8889
20	.19174	31.6652	-13.3135	-21.1887
30	.318494	25.0189	-20.3354	-13.9826
40	.43126	17.6124	-26.4111	-6.44731
50	.489914	9.67873	-29.8893	1.82531
60	.51481	4.4323	-32.4992	8.62267
61.73	1.00	CRITICO		
70	1.47737	ESTABLE		
80	3.84997	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

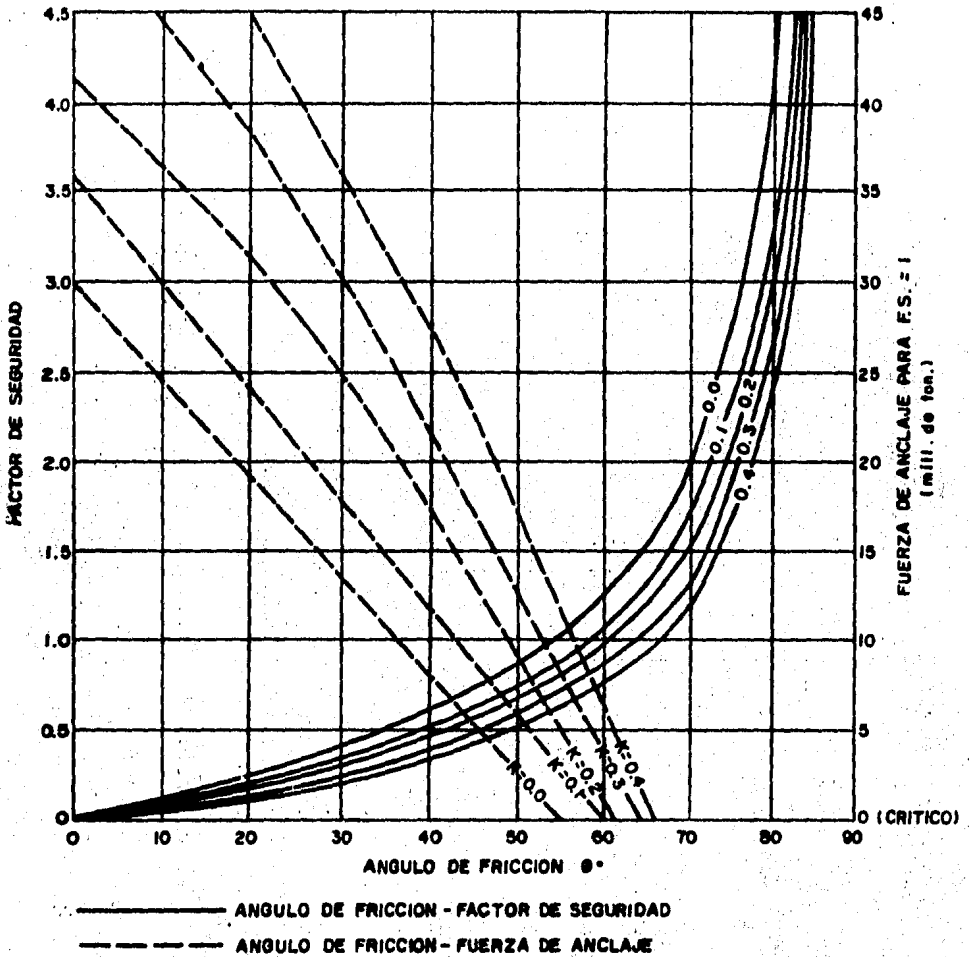
ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	49.3164	15.3282	-30.2247
10	.8847359	44.4317	6.38779	-24.165
20	.17491	38.2364	-1.69354	-17.6847
30	.277432	30.8993	-9.19841	-10.7194
40	.403239	22.4646	-16.1649	-4.76275
50	.45961	14.4448	-22.4177	1.39144
60	.51157	8.13559	-28.5747	10.4333
64.33	1.00	CRITICO		
70	1.34233	ESTABLE		
80	2.7254	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	57.1947	17.8224	-26.8939
10	.8773844	51.9786	8.1148	-20.8459
20	.16979	45.1886	-4.8234	-14.9797
30	.27119	36.6988	-12.7851	-8.16841
40	.407874	26.7289	-21.1975	-1.43436
50	.502483	17.4897	-28.9999	5.29393
60	.56337	9.8914	-34.1432	11.5374
64.33	1.00	CRITICO		
70	1.28444	ESTABLE		
80	2.4832	ESTABLE		

Tabla 5.3. Estabilidad del bloque B3. ESTADO ACTUAL.

VALOR DEL COEF. SISMICO K



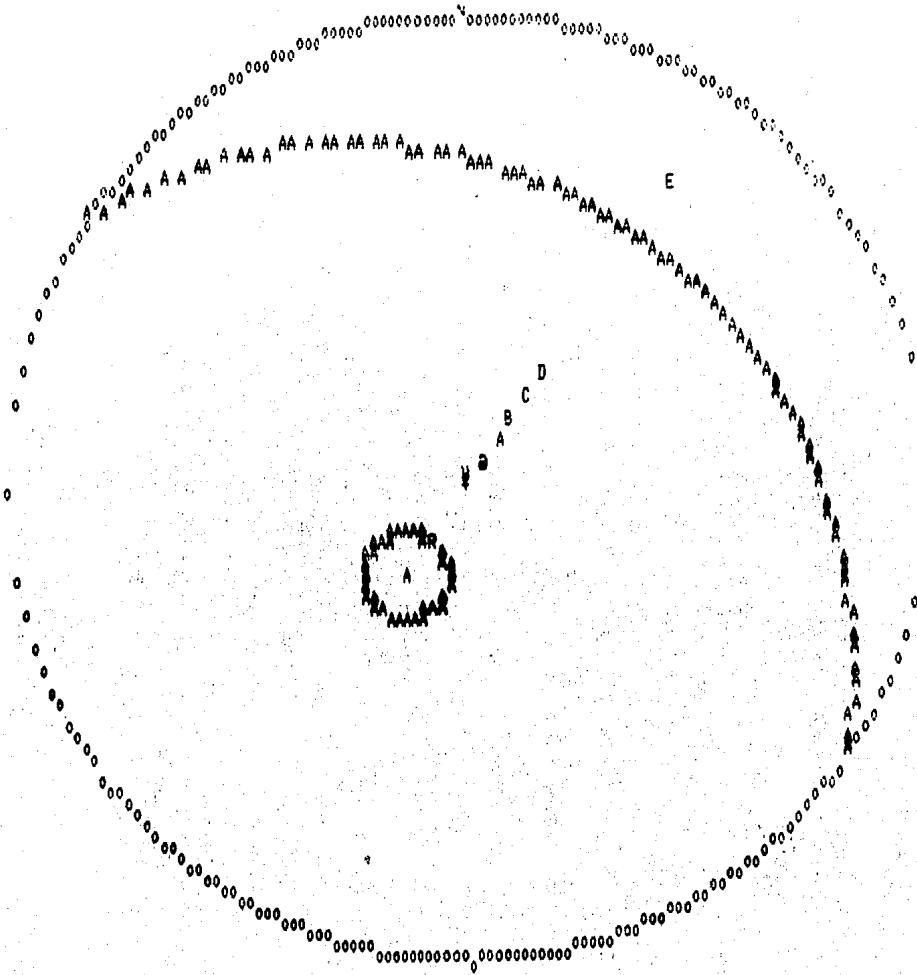
Gráfica 5.3. Presentación de resultado en función de los parámetros calculados. Bloque B3. ESTADO ACTUAL.

B).- L L E N A D O Y O P E R A C I O N

D E L E M B A L S E

1.- Embalse lleno

Peso propio, sismo y carga hidrostática



COEF. SISMICO	EMPUJE MILL. DE TON.	ESFUERZO CORTANTE KG/CM ²	ESFUERZO NORMAL KG/CM ²
0.0	20.8611	.461595	20.8611
0.1	27.9326	.618067	27.9326
0.2	35.0041	.774539	35.0041
0.3	42.0757	.931011	42.0757
0.4	49.1472	1.08748	49.1472

ORIENTACION DE LA FUERZA DE EMPUJE: 55
 CON INCLINACION RESP. A LA HORIZONTAL DE: -14

Figura 5.5. Analisis estereografico. Empuje del bloque A sobre la falla Norte. EMBALSE LLENO (peso propio con sismo y carga hidrostática).

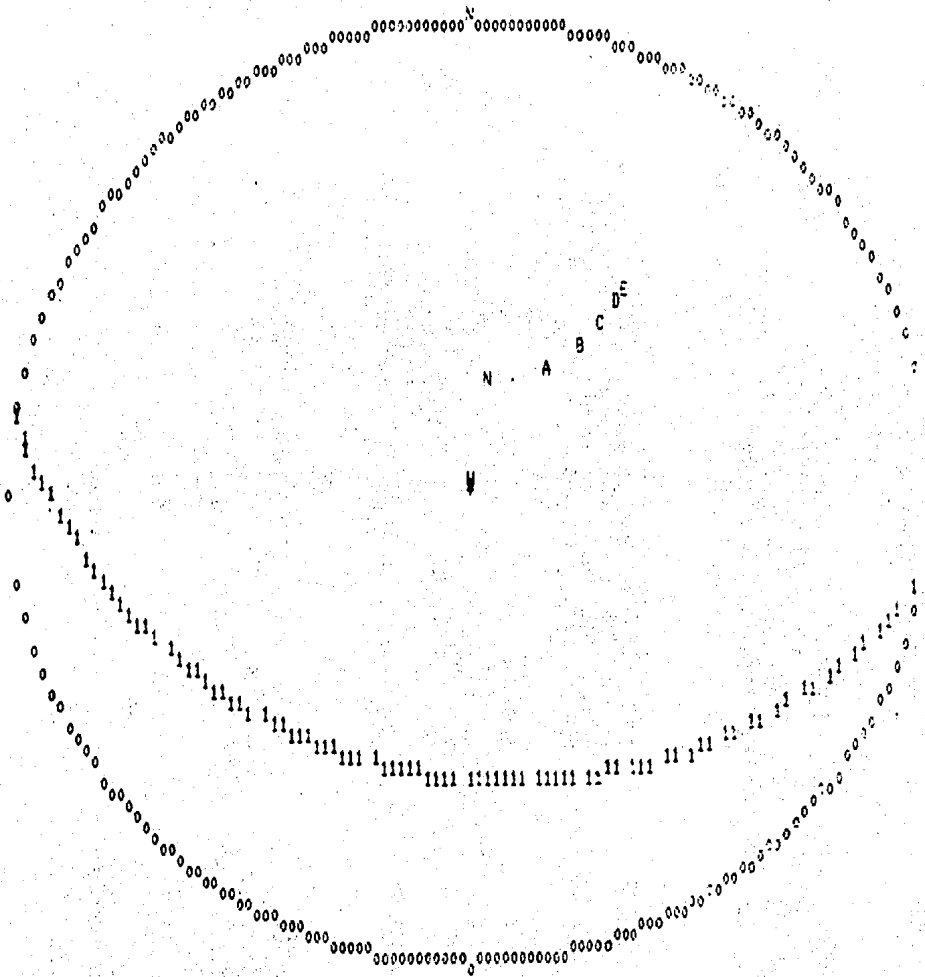


Figura 5.7. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B1. EMBALSE LLENO (peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	1.69919	1.55718	2.92147	7.5567
14.15	1.00	2.54888	-1.96442	16.3513
20	1.44725	ESTABLE		
30	2.38917	ESTABLE		
40	3.32728	ESTABLE		
50	4.26478	ESTABLE		
60	5.20155	ESTABLE		
70	6.13817	ESTABLE		
80	7.07466	ESTABLE		
90	8.01104	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	0	0	0
10	0.99997	1.3085	17.1987	13.0415
14.36	1.00	8.27565	13.1742	21.0448
20	1.938752	9.95787	8.05368	32.8864
30	1.00	CRITICO		
40	1.47641	ESTABLE		
50	2.14576	ESTABLE		
60	3.04758	ESTABLE		
70	4.42924	ESTABLE		
80	7.02481	ESTABLE		
90	14.5827	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	22.4893	0	0
10	1.74938	2.4893	25.862	18.2828
14.77	1.00	4.8694	21.8066	28.8452
20	1.1445	CRITICO	15.8465	36.347
30	1.56337	ESTABLE		
40	2.38245	ESTABLE		
50	3.4335	ESTABLE		
60	5.44641	ESTABLE		
70	8.44641	ESTABLE		
80	11.2424	ESTABLE		

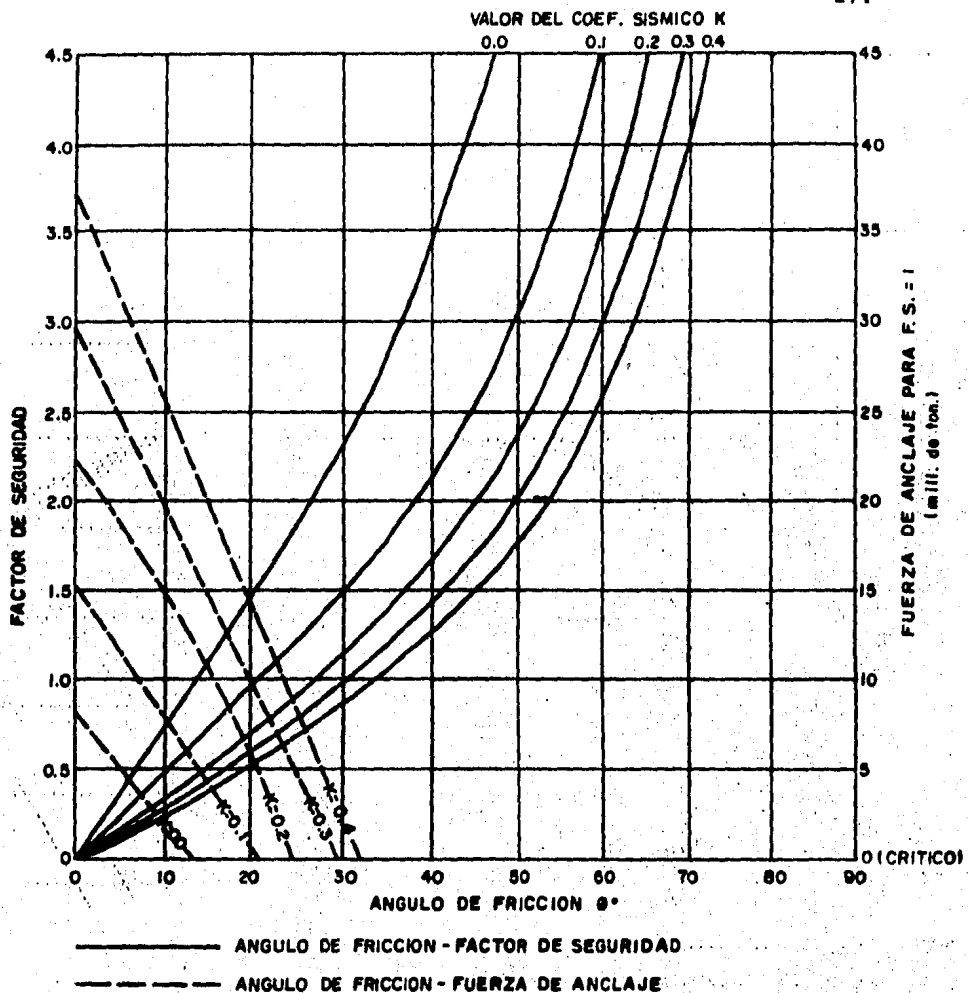
PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	29.833	0	0
10	1.296826	29.8331	29.6116	19.8484
14.78	1.00	18.9444	24.4488	28.0044
20	1.61181	18.9444	20.4215	38.1844
30	2.18284	17.9431	13.9851	47
40	1.00	CRITICO		
50	1.47872	ESTABLE		
60	2.08777	ESTABLE		
70	3.07785	ESTABLE		
80	4.5772	ESTABLE		
90	9.32123	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	37.6187	0	0
10	1.25227	37.6187	36.362	20.8372
14.82	1.00	21.0897	29.3874	30.1448
20	1.43349	17.1987	23.4874	39.3148
30	1.861887	17.1987	17.0357	48.1985
40	1.00	CRITICO		
50	1.2427	ESTABLE		
60	1.71935	ESTABLE		
70	2.5626	ESTABLE		
80	3.8141	ESTABLE		
90	5.4628	ESTABLE		

Tabla 5.4. Estabilidad del bloque B1. EMBALSE LLENO.



Gráfica 5.4. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B1. EMBALSE LLENO.

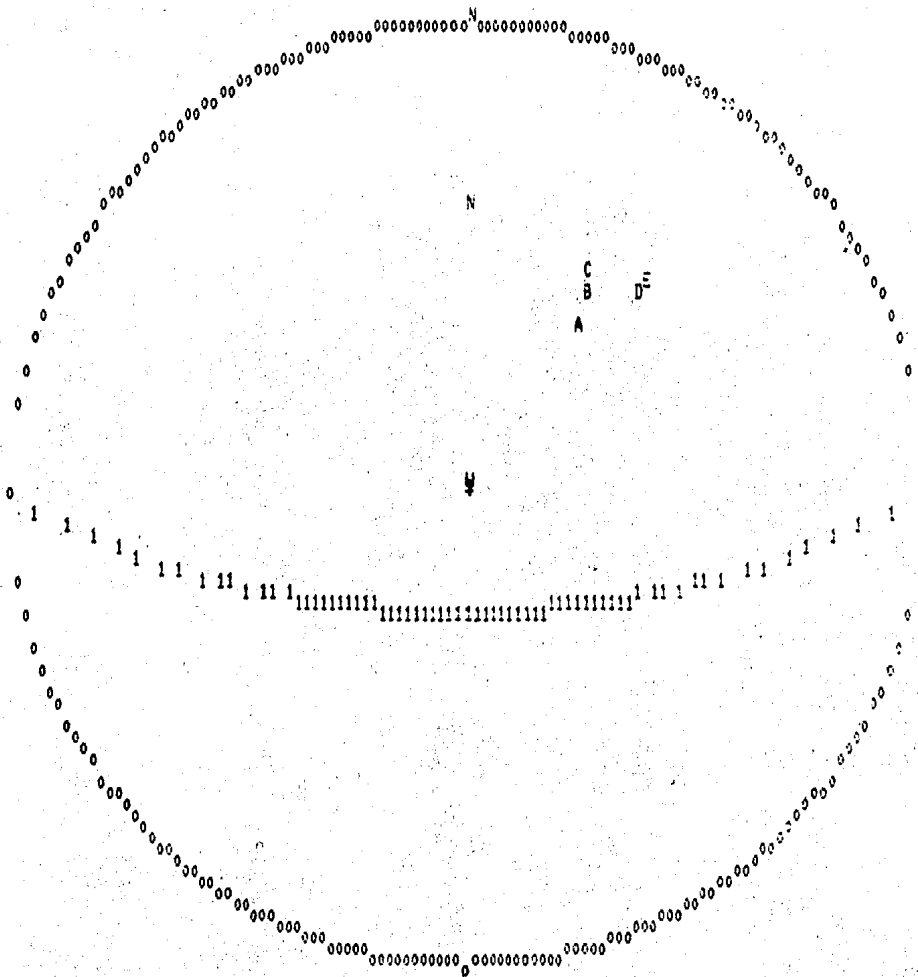


Figura 5.8. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B2. EMBALSE LLENO (peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	18.7763	-19.8677	-33.4466
10	1.277639	18.6116	-20.716	-31.2622
20	1.573994	18.4759	-21.4819	-29.1291
30	1.849274	18.3616	-22.1954	-27.0421
35.42	1.00	CRITICO		
40	1.132121	ESTABLE		
50	1.87649	ESTABLE		
60	2.72722	ESTABLE		
70	4.12687	ESTABLE		
80	8.92979	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	18.5239	-13.3292	-24.1454
10	1.319799	18.4286	-22.4988	-17.8522
20	1.648121	18.3773	-31.0788	-13.4288
25.87	1.00	CRITICO		
30	1.104712	ESTABLE		
40	1.132121	ESTABLE		
50	1.6144	ESTABLE		
60	3.15177	ESTABLE		
70	4.98381	ESTABLE		
80	10.2818	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	18.4687	-9.37616	-17.7312
10	1.347261	18.467	-18.3816	-14.773
20	1.71687	18.4325	-27.8389	-7.5222
25.92	1.00	CRITICO		
30	1.13784	ESTABLE		
40	1.62244	ESTABLE		
50	2.34788	ESTABLE		
60	4.11113	ESTABLE		
70	5.41893	ESTABLE		
80	11.1691	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

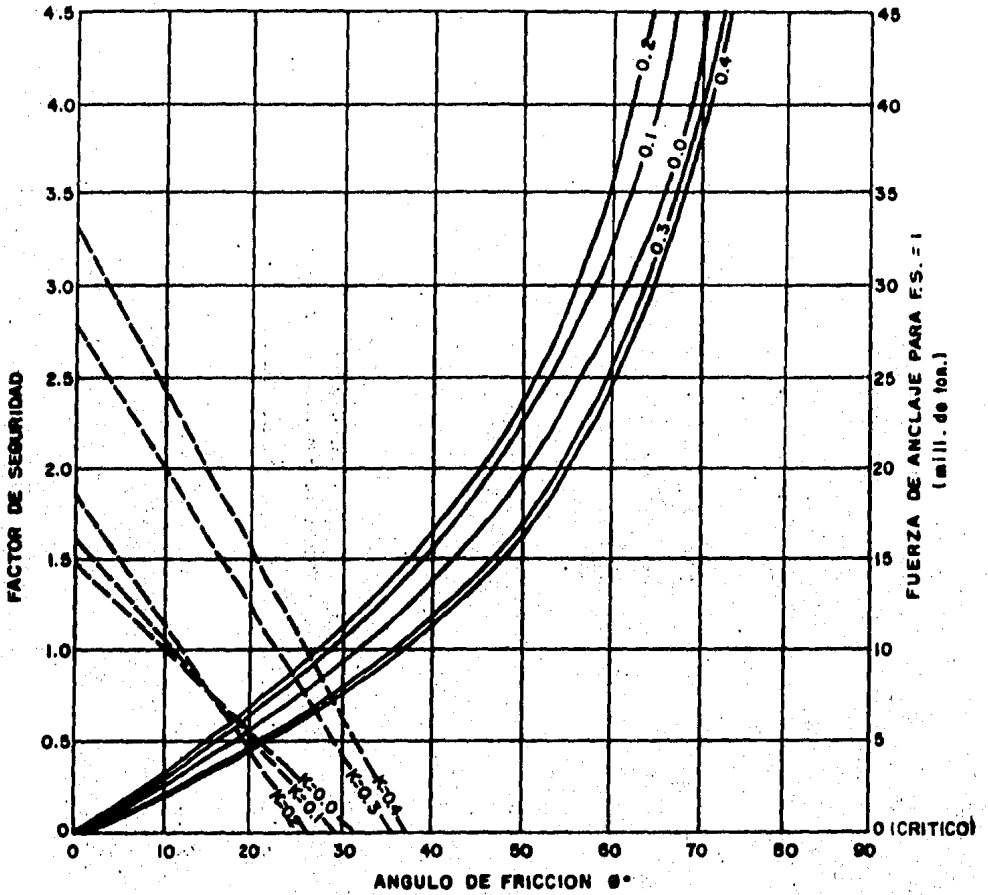
ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	27.8634	-6.69676	-12.8948
10	1.245595	28.7824	-14.628	-8.18217
20	1.80724	12.9183	-24.3431	-3.18613
30	1.84139	4.7292	-32.9739	1.93294
35.68	1.00	CRITICO		
40	1.16873	ESTABLE		
50	1.63893	ESTABLE		
60	2.81248	ESTABLE		
70	4.82281	ESTABLE		
80	7.89921	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	32.8083	-4.77388	-5.277
10	1.23847	28.7188	-14.6714	-6.8624
20	1.69249	18.7223	-22.4434	1.86889
30	1.78828	4.24888	-31.2385	4.81452
35.48	1.00	CRITICO		
40	1.13487	ESTABLE		
50	1.61177	ESTABLE		
60	2.81248	ESTABLE		
70	4.82281	ESTABLE		
80	7.89921	ESTABLE		

Tabla 5.5. Estabilidad del bloque B2. EMBALSE LLENO.

VALOR DEL COEF. SISMICO K



— ANGULO DE FRICCIÓN-FACTOR DE SEGURIDAD
- - - ANGULO DE FRICCIÓN-FUERZA EXTERNA

Gráfica 5.5. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B2. EMBALSE LLENO.

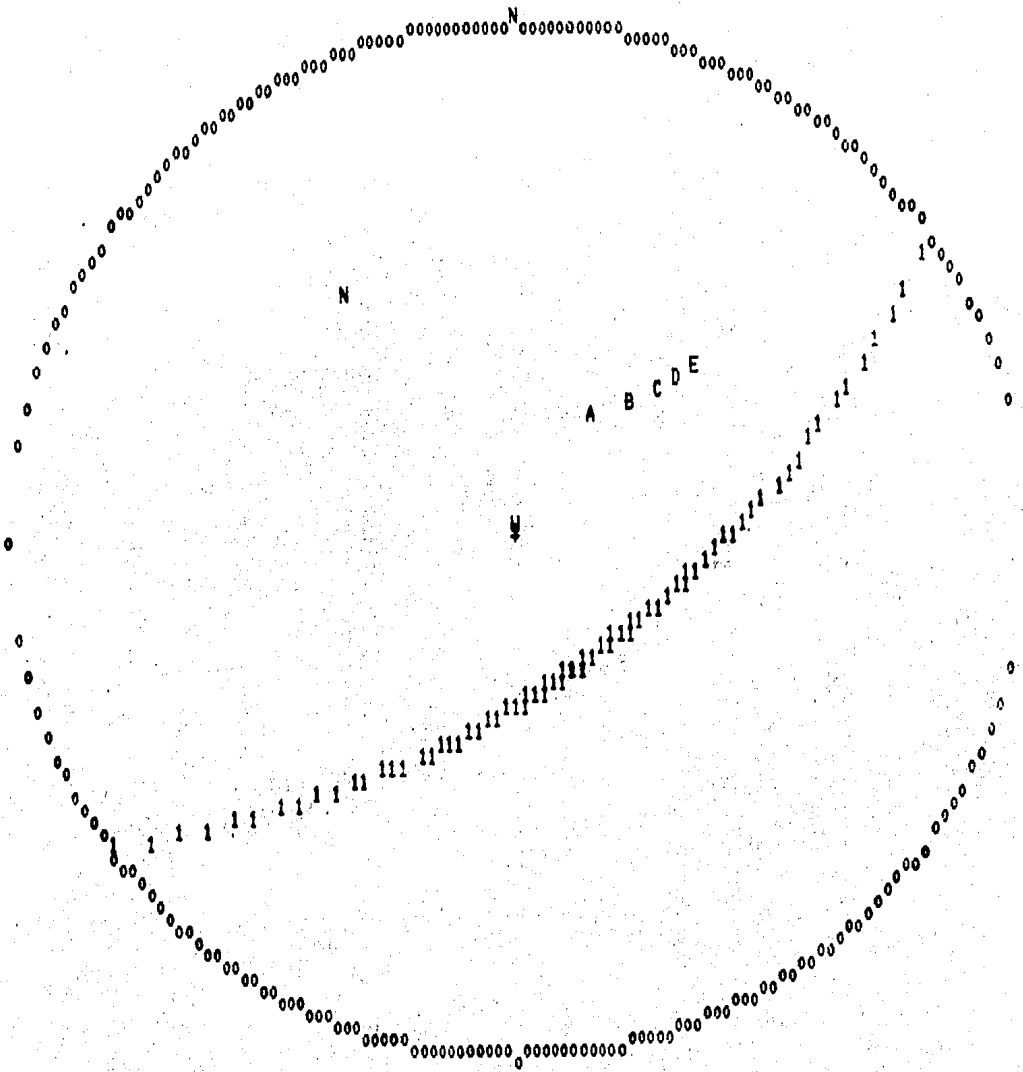


Figura 5.20. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B3. EMBALSE LLENO (peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	31.8575	-2.16216	-43.205
10	.125861	25.7361	-5.81993	-35.9717
20	.2598	21.6423	-14.2381	-28.1946
30	.412109	15.9122	-20.6245	-20.0531
40	.599444	9.54159	-26.3711	-11.7153
50	.858666	2.98188	-31.7771	-3.26978
60	1.00	CRITICO		
64.48	1.23633	ESTABLE		
70	1.96113	ESTABLE		
80	4.84813	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	37.3473	8.9622	-37.4232
10	.189416	34.7169	-8.847471	-28.4177
20	.273787	27.8279	-7.87759	-21.4177
30	.354998	20.8219	-14.8015	-14.0952
40	.415926	13.8224	-21.3721	-8.16384
50	.472757	6.81229	-27.6135	-3.33185
60	1.00	CRITICO		
64.41	1.06496	ESTABLE		
70	1.6893	ESTABLE		
80	3.48783	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	44.328	13.4813	-32.4286
10	.3931824	39.8459	4.1254	-26.1814
20	.494474	31.8816	-3.58827	-19.4448
30	.511453	27.4452	-10.8754	-12.3886
40	.44881	19.3623	-18.8479	-6.12885
50	.34117	10.7374	-26.6416	-2.18259
60	.219972	4.11233	-31.5428	0.49876
64.64	1.00	CRITICO		
70	1.48311	ESTABLE		
80	3.86139	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

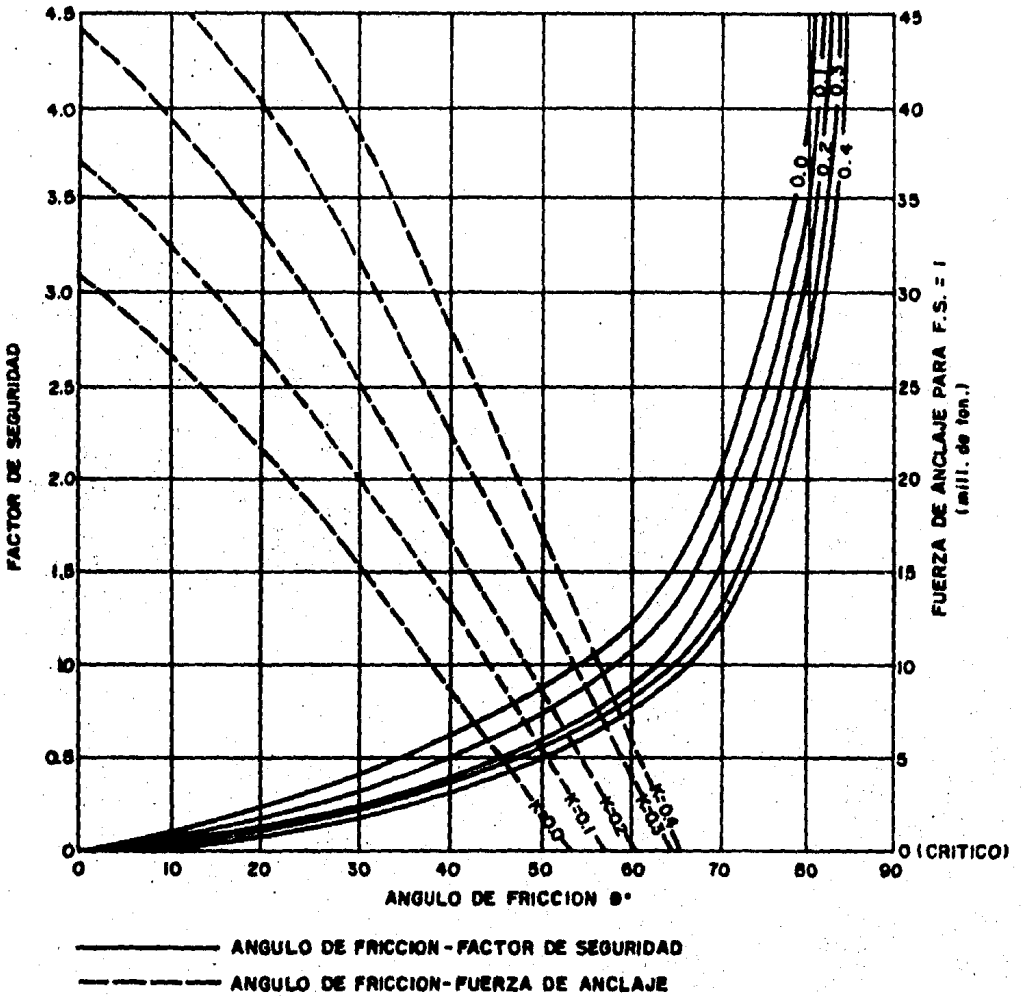
ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	51.9658	16.4321	-28.6257
10	.6533983	46.8864	7.11688	-22.6427
20	.76261	40.2247	-3.04423	-16.2115
30	.79404	32.4288	-7.09154	-9.49165
40	.483343	23.6319	-13.4064	-2.61481
50	.577133	14.1248	-22.5211	4.38334
60	.638784	4.18866	-29.8781	11.1554
64.16	1.00	CRITICO		
70	1.33853	ESTABLE		
80	2.74645	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	8	59.9638	19.9124	-24.489
10	.8781632	54.427	18.1145	-18.7871
20	.81434	47.2462	1.91135	-13.4831
30	.684847	38.4384	-4.86415	-7.24922
40	.531951	28.8865	-7.304	-4.82154
50	.374961	18.8868	-23.9281	6.42958
60	.24287	8.18176	-28.6429	12.5562
64.89	1.00	CRITICO		
70	1.21792	ESTABLE		
80	2.514	ESTABLE		

Tabla 5.6. Estabilidad del bloque B3. EMBALSE LLENO.

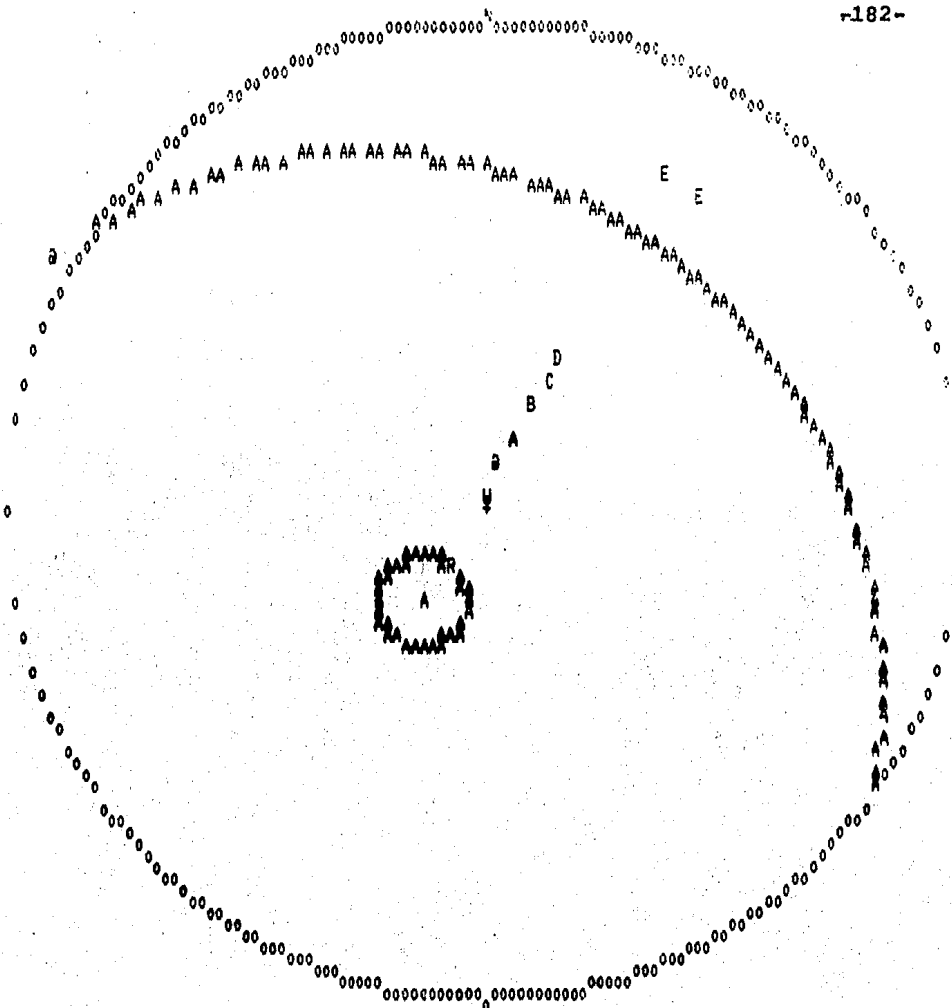
VALOR DEL COEF. SISMICO K



Gráfica 5.6. Presentación de resultados del análisis de estabilidad. Bloque B3. EMBALSE LLENO.

2.- V A C I A D O R A P I D O

Peso propio, sismo y carga hidrostática



COEF. SISMICO	EMPUJE MILL. DE TON.	ESFUERZO CORTANTE KG/CM ²	ESFUERZO NORMAL KG/CM ²
0.0	21.4407	17.4103	12.5127
0.1	26.4978	23.1413	16.6315
0.2	35.5554	28.8723	20.7503
0.3	42.6129	34.6033	24.8691
0.4	49.6704	40.3342	28.9879

ORIENTACION DE LA FUERZA DE EMPUJE: 60.3134
 CON INCLINACION RESP. A LA HORIZONTAL DE: -13.9422

Figura 5.10. Analisis estereografico. Empuje del bloque A sobre la falla Norte. VACIADO RAPIDO (peso propio con sismo y carga hidros-tatica).

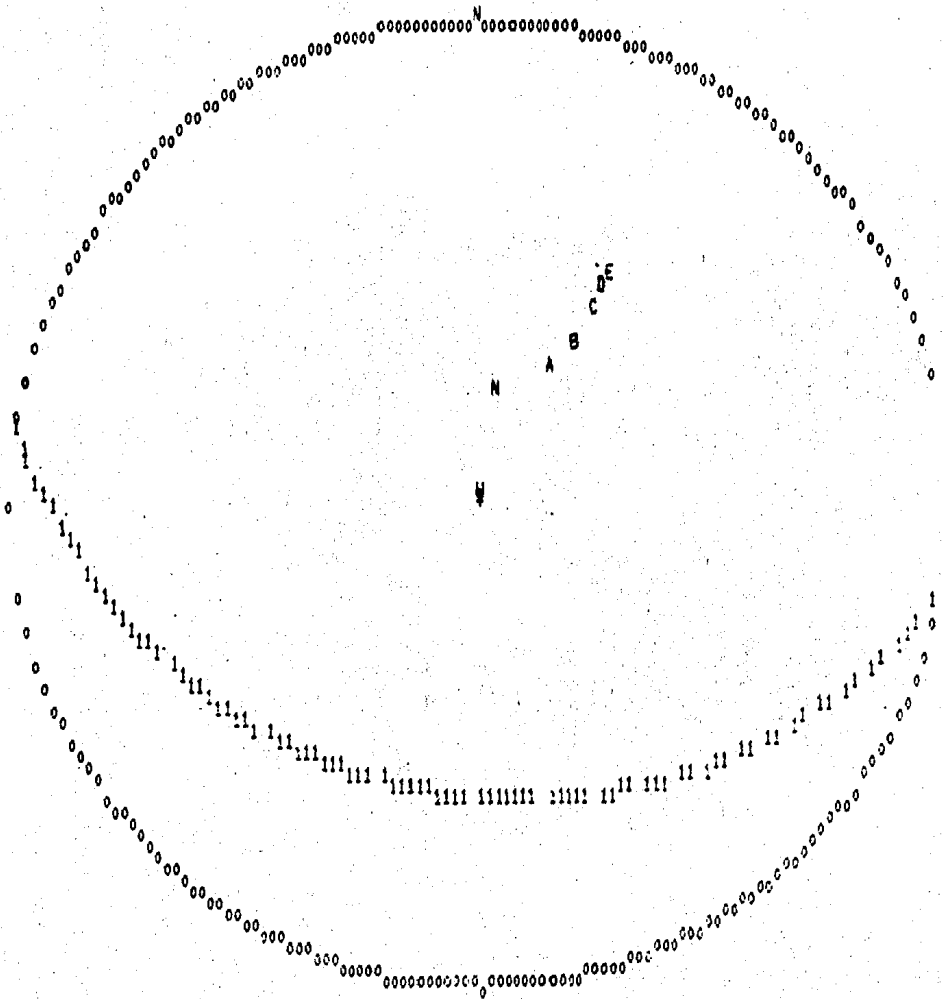


Figura 3.11. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B1. VACIADO RAPIDO (peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 2

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	7.458	12.679	12.484
10	818686	1.3358	7.92699	21.4613
12.15	1.00	CRITICO		
20	1.08991	ESTABLE		
30	1.08044	ESTABLE		
40	1.08494	ESTABLE		
48	1.1111	ESTABLE		
50	1.04791	ESTABLE		
60	1.7464	ESTABLE		
70	2.7444	ESTABLE		
80	26.3318	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	10.2482	27.9617	18.216
10	495411	7.8913	23.693	26.4249
19.59	1.00	CRITICO		
20	1.2262	ESTABLE		
30	1.2213	ESTABLE		
40	1.2448	ESTABLE		
48	1.3137	ESTABLE		
50	1.34837	ESTABLE		
60	4.8664	ESTABLE		
70	7.71936	ESTABLE		
80	15.9341	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	21.4281	34.0669	21.7854
10	376294	13.4624	30.9759	31.0784
20	1.72253	10.4967	30.7459	34.8784
22.11	1.00	CRITICO	26.1976	46.2768
30	1.42197	ESTABLE		
40	1.4791	ESTABLE		
48	1.74384	ESTABLE		
50	1.87176	ESTABLE		
60	5.86268	ESTABLE		
70	12.1816	ESTABLE		

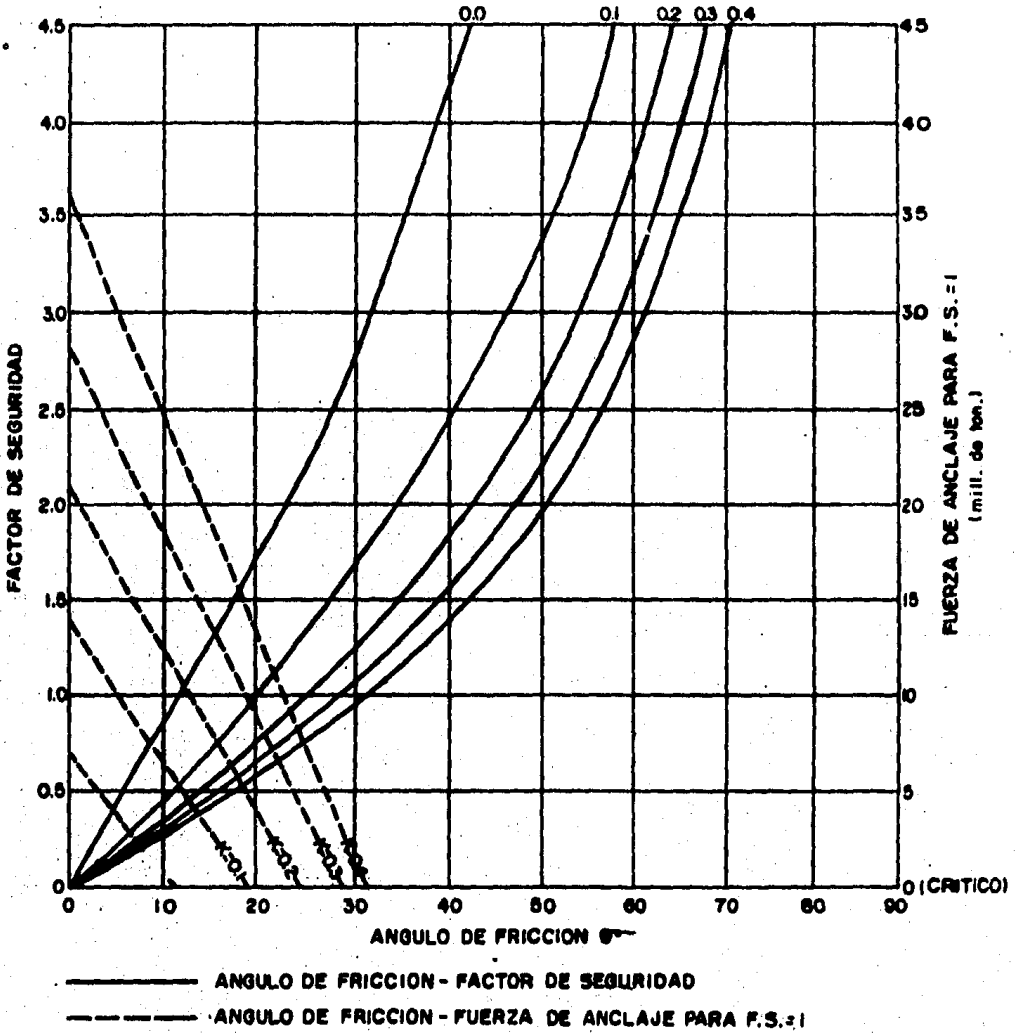
PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	26.7463	38.7477	22.9389
10	315693	19.3484	38.7477	22.9381
20	1.51648	10.3077	38.497	41.7824
22.19	1.00	CRITICO		
30	1.31369	ESTABLE		
40	1.38233	ESTABLE		
48	1.58231	ESTABLE		
50	1.6337	ESTABLE		
60	3.18184	ESTABLE		
70	4.71901	ESTABLE		
80	18.1538	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	36.838	41.1743	24.6496
10	279271	25.3789	37.6389	41.6456
20	1.37644	19.3427	37.4971	42.4751
30	1.91422	10.9884	38.2564	51.6867
32.27	1.00	CRITICO	27.2999	
40	1.08999	ESTABLE		
48	1.08773	ESTABLE		
50	1.08773	ESTABLE		
60	2.74329	ESTABLE		
70	4.18181	ESTABLE		
80	8.98231	ESTABLE		

Tabla 5.7. Estabilidad del bloque B1. VACIADO RAPIDO.



Gráfica 5.7. Presentación de resultados del análisis de estabilidad del Bloque B1. VACIADO RAPIDO.

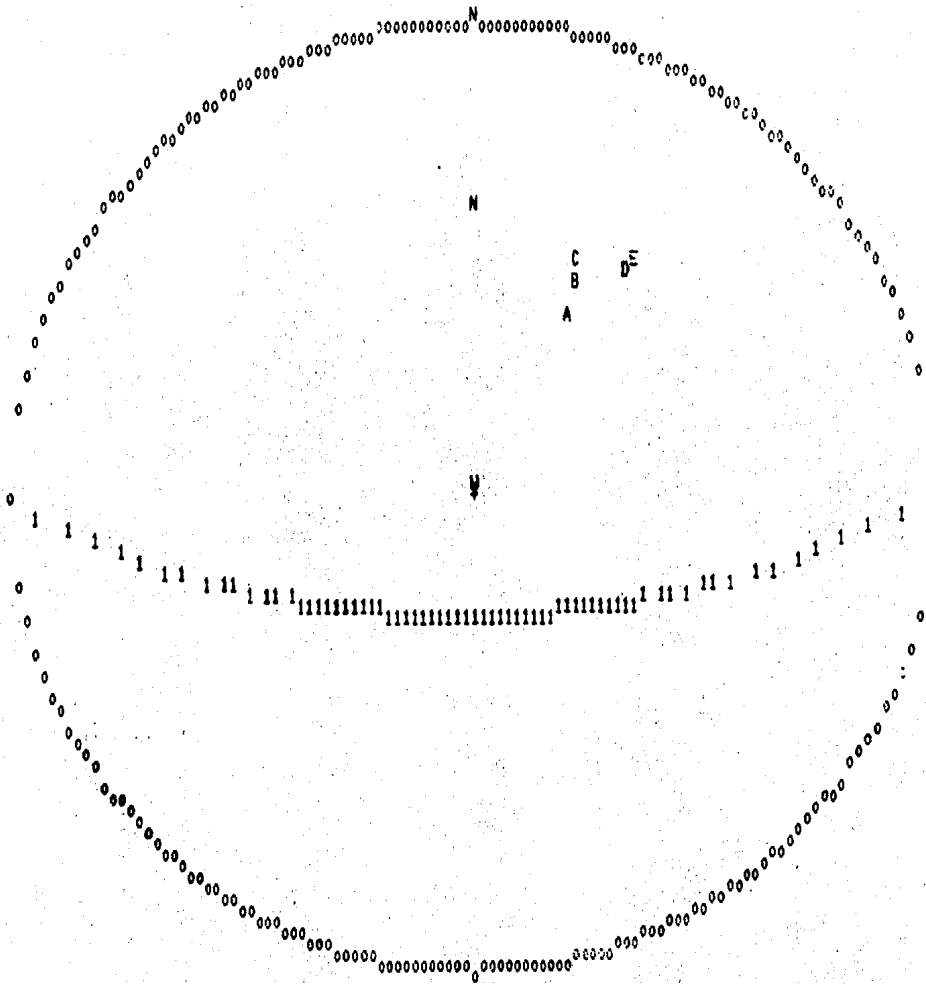


Figura 5.12. Análisis estereográfico. Estabilidad bloque B2. VACIADO RAPIDO (peso propio, sismo, fuerza externa y carga hidrostática).

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	13.4815	-28.6765	-34.7212
10	1.24376	8.91475	-32.1267	-28.2324
20	1.52957	4.11111	-38.6291	-22.1312
30	1.88	CRITICO		
36.53	1.88	CRITICO		
40	1.84211	ESTABLE		
46	1.54363	ESTABLE		
50	1.19238	ESTABLE		
56	1.18633	ESTABLE		
60	1.85434	ESTABLE		
66	10.4331	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	14.5599	-13.7456	-23.8014
10	1.38339	8.84127	-22.9722	-19.7176
20	1.791396	2.85397	-31.5881	-13.9974
24.78	1.88	CRITICO		
30	1.25936	ESTABLE		
36	1.82449	ESTABLE		
40	1.81128	ESTABLE		
46	1.76486	ESTABLE		
50	1.97884	ESTABLE		
56	12.5313	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	15.9116	-7.3482	-11.6741
10	1.42477	9.81117	-18.2483	-12.7187
20	1.87682	1.98141	-26.9983	-7.47122
22.54	1.88	CRITICO		
30	1.37883	ESTABLE		
36	1.82138	ESTABLE		
40	2.87872	ESTABLE		
46	4.1725	ESTABLE		
50	6.61865	ESTABLE		
56	13.6621	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

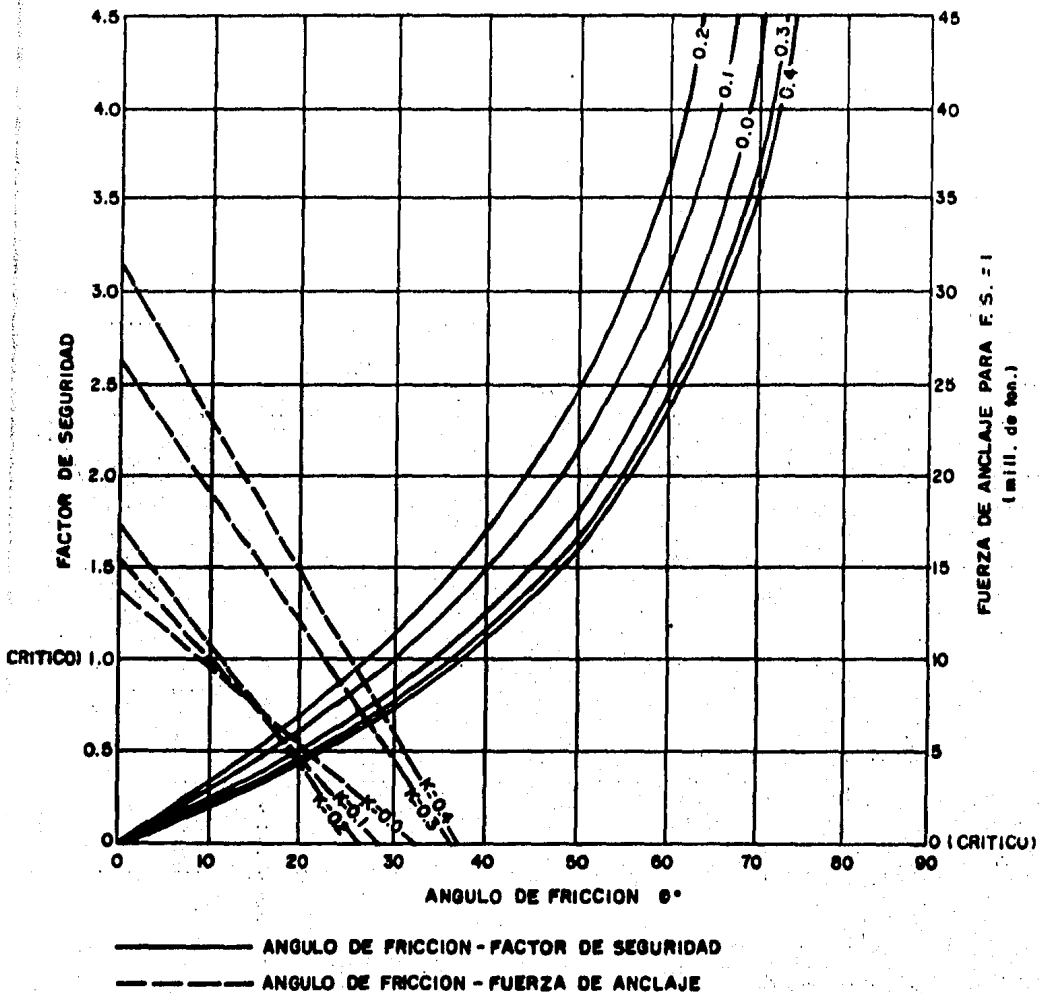
ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	24.8881	-6.3377	-12.2169
10	1.29232	17.2283	-13.2845	-11.44434
20	1.84936	9.24241	-21.6876	-7.49721
26	1.937843	0.82298	-32.6425	2.38653
31.88	1.88	CRITICO		
36	1.37289	ESTABLE		
40	1.97277	ESTABLE		
46	1.97718	ESTABLE		
50	2.97253	ESTABLE		
56	4.35816	ESTABLE		
60	9.48695	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCION	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0	0	29.3974	-4.1562	-8.89456
10	1.28372	26.7318	-11.8497	-3.43123
20	1.82923	11.4363	-21.8954	1.3146
26	1.92531	1.7926	-38.6949	6.82934
31.84	1.88	CRITICO		
36	1.37887	ESTABLE		
40	1.97874	ESTABLE		
46	1.97818	ESTABLE		
50	2.97883	ESTABLE		
56	9.3899	ESTABLE		

Tabla 5.8. Estabilidad del bloque B2. VACIADO RAPIDO.

VALOR DEL COEF. SISMICO K



Gráfica 5.8. Presentación de resultados del análisis de estabilidad del Bloque B2. VACIADO RAPIDO.

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: 0

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0		30.2325	2.8581	-42.6936
10	.139615	25.6165	-6.17857	-35.9104
20	.28819	20.2219	-13.6877	-27.316
30	.457143	14.413	-20.887	-16.7828
40	.664395	7.7723	-27.7687	-11.419
50	.943624	1.89541	-31.3985	-3.825
51.63	1.00			
60	1.37143	CRITICO		
70	2.17544	ESTABLE		
80	4.49849	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .1

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0		30.1893	9.44175	-36.4647
10	.12949	24.4719	9.8377	-29.8731
20	.253786	18.3169	-3.92019	-23.6139
30	.4027	10.1625	-12.2819	-14.7878
40	.5829	4.8825	-18.697	-7.74462
50	.83875	1.93171	-23.937	-3.15264
51.11	1.00		-27.1776	
60	1.28771	CRITICO		
70	1.91574	ESTABLE		
80	3.93442	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .2

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0		32.6774	14.2121	-31.4799
10	.189791	26.1479	4.28546	-24.7822
20	.368319	17.9373	-3.4285	-18.7256
30	.563952	9.1829	-10.7855	-8.5786
40	.77277	3.8829	-17.2689	-4.53937
50	1.00	1.8954	-24.1694	2.65961
51.87	1.00			
60	1.87255	CRITICO		
70	1.71244	ESTABLE		
80	3.53478	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .3

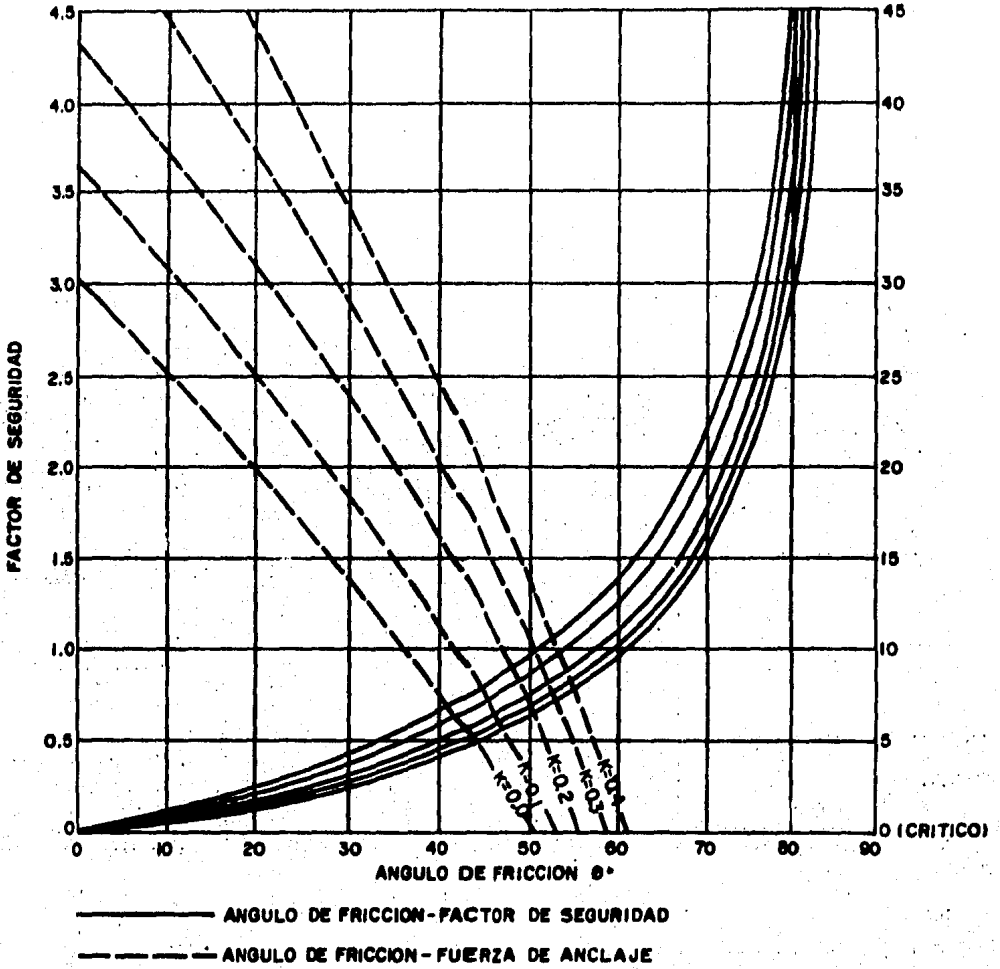
ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0		30.2674	17.6186	-27.6178
10	.18874	24.3497	8.4386	-21.6974
20	.376714	17.4783	-3.4285	-15.7433
30	.576174	9.2633	-10.7855	-8.71183
40	.78721	3.2691	-17.2689	-1.92646
50	1.00	18.4365	-21.6524	4.87655
60	1.98823	4.24894	-24.4591	11.6887
61.42	1.00			
70	1.85333	CRITICO		
80	3.21873	ESTABLE		

PARA COEF. SISMICO IGUAL A: .4

ANGULO FRICCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA DE ANCLAJE	ORIENTACION DE LA FUERZA	INCLINACION RESP. HORIZ.
0		30.8184	19.8914	-26.4418
10	.192795	24.8179	10.7743	-19.7818
20	.38172	14.8042	-3.7894	-12.5881
30	.57124	7.8832	-10.8716	-6.24728
40	.761421	24.8261	-14.7899	-1.23757
50	.952694	13.9128	-18.3483	6.17828
60	1.00	2.47654	-28.1972	13.8692
61.25	1.00			
70	1.44333	CRITICO		
80	2.98347	ESTABLE		

Tabla 5.9. Estabilidad del bloque B3. VACIADO RAPIDO.

VALOR DEL COEF. SISMICO K



Gráfica 5.9. Presentación de resultados del análisis de estabilidad del Bloque B3. VACIADO RAPIDO.

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

6.1.1. Deformabilidad del macizo rocoso

En relación a la deformabilidad del macizo rocoso puede decirse que se trata de un macizo rocoso constituido por roca caliza zana, competente, que presenta algunas discontinuidades a través de fracturas y planos de estratificación, pero en conjunto sigue manteniendo un comportamiento elástico entre 200 y 600 Kg/cm², el cual es suficiente para que no existan problemas de inestabilidad elástica en la zona de la cortina proyectada.

6.1.2. Estabilidad de la margen izquierda

En relación a la estabilidad de la margen izquierda puede decirse lo siguiente:

1.- El bloque B1 no presenta problemas de inestabilidad salvo en el caso de embalse lleno que se encuentra en una -- condición crítica. En las hipótesis de trabajo se considera una subpresión que solo existiría si el sistema de drenaje -- no fuera eficaz para abatirla. Si no se toma en cuenta la -- subpresión aguas abajo de la cortina, es decir si el sistema de drenaje fuera eficaz el incremento de la presión menciona da por el llenado y operación del embalse disminuiría en un 11%, por lo cual se podría concluir que el bloque B1 es es-- table.

2.- El bloque B2 se encuentra en una condición crítica, siendo la condición de estado actual la más desfavorable.

3.- El bloque B3 presenta grandes problemas de inesta-- bilidad para cualquiera de las condiciones del embalse. No - puede existir un sistema de anclaje eficaz ya que las fuerzas roducidas deberian ser del orden de 8 a 30 mill. de ton para un factor de seguridad FS=1.

4.- Los valores del coeficiente sísmico resultan más im portantes para la estabilidad que las cargas debidas al lle- nado y operación del embalse.

5.- Puede existir inestabilidad potencial de bloques -- por volteo, delimitados por fracturas paralelas al cañón, --

fundamentalmente bajo el efecto de presión hidrostática lateral (Vaciado rápido).

6.1.3. Estabilidad de la margen derecha

Tomando en cuenta la actividad de la estructura rocosa de esta margen y desde un punto de vista cualitativo acerca de su estabilidad puede decirse lo siguiente:

- 1.- No existe peligro de inestabilidad general
- 2.- Puede existir inestabilidad local por fracturas paralelas al cañón.

6.1.4. Conclusiones generales

1.- Se puede concluir que el presente trabajo cumple con su objetivo principal, ya que presenta el desarrollo de cada uno de los pasos a seguir para llevar a cabo un análisis completo de estabilidad de macizos rocosos.

2.- El método estereográfico presenta una gran facilidad para desarrollar análisis de estabilidad. La veracidad de los resultados dependerá de las investigaciones preliminares y en la realidad en el planteamiento de las hipótesis.

3.- Se pone en evidencia la posibilidad de descartar el sitio proyectado para la cortina dado a los diversos problemas de inestabilidad que presenta.

6.2. Recomendaciones generales

1.- En un macizo rocoso existe un gran número de fracturas, fallas y planos de estratificación, por lo cual para desarrollar un análisis de estabilidad más completo se requiere de programas de computadora, adaptados a cada caso, para poder llevar a cabo el análisis de varias combinaciones de bloques que se puedan formar.

2.- Es necesario llevar a cabo los estudios geológicos preliminares de la forma más completa, sobre todo en fracturas, fallas y planos de estratificación, que formen bloques que puedan presentar problemas de estabilidad maciva.

3.- En los estudios de análisis de estabilidad es importante considerar los factores que puedan afectar las condiciones que se tomaron en cuenta en una primera etapa del análisis, como pueden ser la pantalla de inyecciones, el sistema de drenaje, estructuras adyacentes a los bloques analizados, así como la erosión y las vibraciones ocasionadas por el uso de explosivos en el período de construcción.

Agradezco a la Comisión Federal de Electricidad las facilidades que se me brindaron para la elaboración de este trabajo.

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

- 1.- Comisión Federal de Electricidad
Aspectos Hidrológicos del Proyecto Hidroeléctrico ---
"Itzantún", Chis.
Marzo de 1978

- 2.- Comisión Federal de Electricidad
Anteproyecto Hidroeléctrico de "Itzantún", Chis.
Julio de 1978

- 3.- Comisión Federal de Electricidad
Informe de Factibilidad No. 5. Itzantún Compacto
1979

- 4.- Comisión Federal de Electricidad
Geología del Proyecto Hidroeléctrico de "Itzantún",
Chis. (Estudio Geológico de Factibilidad)
Noviembre de 1979

- 5.- Instituto de Ingeniería - UNAM
Estudio de la Actividad Sísmica Local en la Zona de
Itzantún.
Enero de 1982

6.- Richard E. Goodman

Introduction to Rock Mechanics

John Wiley & Sons, New York. 1980

7.- Evert Hoek, John Bray

Rock Slope Engineering

The Institution of Mining and Metallurgy, London.

1974