



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE INGENIERIA

" GEOLOGIA APLICADA A TUNELES EN ROCA QUE SE
CONSTRUYEN A LO LARGO DE LA LINEA DEL FERROCARRIL
MEXICO - CUERNAVACA MORELOS "

TRABAJO RECEPCIONAL
QUE PARA OBTENER EL
T I T U L O
D E
INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :
JAVIER ALCALDE NAVA



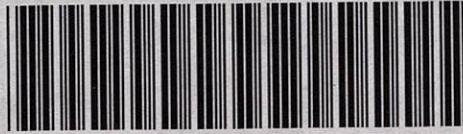
SAN LUIS POTOSI, S.L.P. 1996

T

TA705

A4

C.1



1080077800



Universidad Autónoma de San Luis Potosí

FACULTAD DE INGENIERIA

"GEOLOGIA APLICADA A TUNELES EN ROCA QUE SE CONSTRUYEN
A LO LARGO DE LA LINEA DEL FERROCARRIL
MEXICO - CUERNAVACA MORELOS"

TRABAJO RECEPCIONAL

QUE PARA OBTENER EL

T I T U L O

DE

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

JAVIER ALCALDE NAVA

SAN LUIS POTOSI, S. L. P., 1996



T
TA705
A4





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
DR. MANUEL NAVA 8 TELEFONO 3-11-86
C.P. 78290
SAN LUIS POTOSI, S.L.P., MEXICO

OCTUBRE 24, 1991.

Al Pasante Señor Javier Alcalde Nava
P r e s e n t e.-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el Ing. J. Refugio Acevedo Arroyo, Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará Usted, con el objeto de sustentar Examen Profesional en la Carrera de Ingeniero Geólogo. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 24 de Octubre del presente, fué aprobado el Temario propuesto:

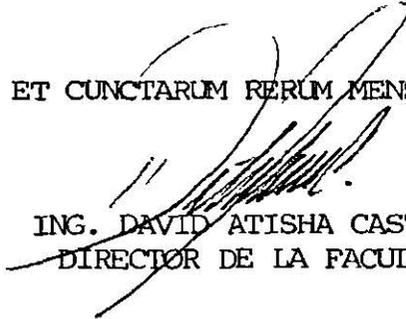
"GEOLOGIA APLICADA A TUNELES EN ROCA QUE SE CONSTRUYEN A LO LARGO DE LA LINEA DEL FERROCARRIL MEXICO-CUERNAVACA, MOR."

TEMARIO:

- I.- INTRODUCCION
 - II.- GEOGRAFIA
 - III.- FISIOGRAFIA
 - IV.- GEOLOGIA REGIONAL
 - V.- GEOLOGIA LOCAL
 - VI.- GEOLOGIA APLICADA A TUNELES EN ROCA
 - VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA
ANEXOS.

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

" MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS


ING. DAVID ATISHA CASTILLO
DIRECTOR DE LA FACULTAD



UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION

**real.

A MIS PADRES.

SR. TOMAS ALCALDE GARCIA.

SRA. MA CRISTINA NAVA DE ALCALDE

A MIS HERMANOS.

CRISTINA

TOMAS

VERONICA

ROCIO

MARCELA

Gracias a su esfuerzo, apoyo y cariño que me brindaron en todo momento, se ve culminada esta meta, por lo cual este logro no tan solamente es mío, sino también de ustedes.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco de antemano al grupo PYASA INGENIEROS CIVILES, el apoyo que me brindaron para la ejecución del presente trabajo, y a los profesores de la Facultad de Ingeniería.

Deseo agradecer infinitamente a todas las personas que de una manera u otra colaboraron para la elaboración de este trabajo, especialmente:

A mis Asesores.

Ing. Raymundo J. Delí J'espere

Ing. José Refugio Acevedo Arroyo

A mis Tíos.

Ing. Guillermo Herrera López

Sra. Ma. de Lourdes Nava de Herrera.

Ing. Rafael Nava Díaz de León

A mis Primos.

Guillermo

Lourdes

Carlos

Patty

A mis Amigos.

Alejandra Loredó A.

Erasmus Duarte R.

Oscar Garza S. †

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Resumen.	1
I.1.1 Objetivo del estudio.....	1
I.1.2 Método de trabajo.....	2
I.1.3 Actividades de trabajo	2
I.1.3.1 Actividades de campo	2
I.1.3.2 Actividades de gabinete.....	3
II GEOGRAFÍA.....	4
II.1 Localización.....	4
II.2 Vías de comunicación.	5
II.3 Actividades económicas.....	5
II.4 Población.....	6
III. GEOLOGÍA.....	8
III.1 Fisiografía.....	8
III.2 Geomorfología	9
IV GEOLOGÍA REGIONAL.....	13
IV.1 Geología regional.	13
IV.2 Estratigrafía.	17
IV.3 Geología histórica.	34
IV.4 Geología estructural.	35

V. GEOLOGIA LOCAL.....	37
V.1 Geología local.....	37
VI. GEOLOGIA APLICADA A TUNELES EN ROCA.	
VI.1 Introducción.....	38
VI.2 Recolección de datos geológicos.....	38
VI.3 Exploración indirecta.....	39
VI.4 Exploración directa.....	40
VI.4.1 Sondeos con perforadora de diamante.....	40
VI.4.2 Los socavones.....	42
VI.4.3 Las pruebas de campo.....	43
VI.5 Clasificación de los macizos rocosos.....	45
VI.5.1 Clasificación CSIR.....	49
VI.5.2 El índice de calidad de NGI.....	54
VI.6 Las clasificaciones geomecánicas y las predicciones de refuerzos para túneles.....	64
VI.7 Obra.....	74
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍAS.....	80
ANEXOS.....	81
Mapas.....	82
Fotografía aérea.....	83

I. INTRODUCCIÓN.

El ferrocarril Mexicano, desde enero de 1873, ha sido de gran importancia para el desarrollo comercial y social del país por ser un medio de transporte económico entre la capital de la República y sus principales estados.

Los estudios del reconocimiento del trazo de la línea del ferrocarril México-Cuernavaca, Morelos, fueron iniciados en 1989 tomándose en cuenta los problemas que existen en la ciudad de México, debido al aumento de población y tráfico; el pasar este ferrocarril por la ciudad de México lo hace de gran riesgo para la población, es por eso que ahora se trata de que esta línea de ferrocarril no pase mas por la ciudad de México para así evitar más accidentes.

Dentro de este proyecto se contempla la construcción de los túneles, todos ellos se encuentran localizados en rocas de la Formación Tepoztlán.

I.1 Resumen

I.1.1 Objetivo del estudio.

El estudio comprende un levantamiento geológico topográfico superficial y sondeos con barrenación de diamante para la recuperación de núcleos para establecer el valor del RQD y otros parámetros con el objeto de determinar las características físicas de los materiales, así como de las rocas a lo largo de los túneles proyectados.

I.1.2 Método de trabajo.

Consiste primero en hacer una visita al lugar de proyecto y hacer un levantamiento geológico superficial para determinar que tipo de roca tenemos a lo largo del trazo de los túneles así como en el portal de entrada y de salida, y en las terracerías y cortes, después se recomienda un programa de perforaciones dependiendo del tipo de formación y que tan complicada esté la geología en el área de estudio y por último la determinación de los procedimientos de construcción para la realización de éstos.

I.1.3 Actividades de trabajo.

I.1.3.1 Actividades de campo.

Durante el período de trabajo en el campo se realizaron las siguientes actividades para obtener las características geológicas de la zona:

A.- Reconocimiento preliminar de la zona de estudio.

En esta etapa se efectuó el reconocimiento de la zona, sobre todo las vías de acceso para llevar a cabo el programa de trabajo para la verificación en el campo.

B.- Verificación de la geología en el campo.

En esta etapa se verifica si la cartografía obtenida marca la geología existente y su topografía. Siempre se encuentran datos nuevos que son de gran utilidad para la realización del proyecto así como para determinar el método correcto para la ejecución de los túneles.

I.1.3.2 Actividades de gabinete.

Esta actividad se llevó a cabo antes y después de las visitas al área de estudio, y consisten en :

- A.- Recopilación, análisis y procesamiento de la información.
- B.- Realización del plano geológico preliminar.
- C.- Elaboración de secciones geológicas.

A.- RECOPIACIÓN, ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

En esta etapa se recabó toda la información bibliográfica posible del área de estudio. Dicha información son los artículos, revistas, cartografía geológica y topográfica. Con esta información se obtuvieron las características litológicas y topográficas para su verificación en el área de estudio.

B.- REALIZACIÓN DEL PLANO GEOLÓGICO PRELIMINAR.

Este se realizó en base a la cartografía geológica para ser utilizada en su futura verificación en el campo.

C.- ELABORACIÓN DE SECCIONES GEOLÓGICAS.

En este punto se integra toda la información y datos geológicos obtenidos en el área de estudio para configurar esquemáticamente todos los rasgos estructurales de las rocas o afloramientos y formaciones que aparecen en la zona estudiada.

II. GEOGRAFÍA.

II.1 Localización.

La zona en estudio se localiza en la parte central del Estado de Morelos entre las coordenadas geográficas siguientes: $19^{\circ}00'30''$ a $19^{\circ}01'10''$ de latitud norte y $99^{\circ}00'12''$ a $99^{\circ}06'34''$ de longitud al oeste de Greenwich, teniendo un área aproximada de 1760 km^2 .

La construcción de los túneles se localiza en la parte alta de Tlalnepantla, Santo Domingo Ocatitlán y San Juan Tlacotenco.(Estado de Morelos) de los cuales sus coordenadas geográficas son las siguientes:

*** Tlalnepantla:**

Latitud norte: $19^{\circ}00'30''$

Longitud oeste: $99^{\circ}00'00''$

Altura sobre el nivel del mar: 2,101 mts.

*** Santo Domingo Ocatitlán:**

Latitud norte: $19^{\circ}00'50''$

Longitud oeste: $99^{\circ}04'25''$

Altura sobre el nivel del mar: 2,210 mts.

*** San Juan Tlacotenco:**

Latitud norte: $19^{\circ}01'10''$

Longitud oeste: $99^{\circ}06'30''$

Altura sobre el nivel del mar: 2,280 mts.

II.2. Vías de comunicación:

El único acceso al área de estudio es por vía terrestre por la carretera asfaltada que va de México a Cuernavaca ya sea federal o de cuota desviándose a los puntos antes citados, aunque no hasta los sitios donde se construirán los túneles debido a la topografía y vegetación, pero el acceso es hasta los pueblos antes mencionados. A partir de ahí se construirán caminos de acceso para el paso de la maquinaria así como el de los materiales para la construcción, todo esto dañando lo menos posible a la ecología.

II.3. Actividades económicas

El estado de Morelos tiene una área total de 4,964 Km² y la actividad principal de la región es la agricultura, seguida en importancia por la minería. La caña de azúcar se cultiva en gran escala y se convierte en azúcar principalmente en los ingenios de Zacatepec, Oacalco, Casasano y Cuautla. Otros productos importantes son arroz, maíz, frijol, jitomate, melón, chile, frutas tropicales, legumbres y miel de abeja. Entre los recursos animales pueden citarse el ganado vacuno, lanar, cabrío y porcino, así como las aves domésticas.

La industria turística es de considerable importancia para la vida económica de la región y probablemente son mayores los ingresos debidos a turistas nacionales.

II.4 Población

El estado de Morelos tiene una población aproximada de 600,000 habitantes. Cuernavaca capital del estado, probablemente es la que tiene más habitantes .

Los principales centros de población que se localizan dentro de la zona de estudio son; Tlalnepantla, Tepoztlán, Cuernavaca, Santo Domingo Ocatitlán y San Juan Tlacotenco.

Anexo 1

III. FISIOGRAFIA.

III. 1 FISIOGRAFIA.

Fisiográficamente la zona de estudio se localiza en la subprovincia denominada Cuenca del Balsas-Mexcala de la provincia fisiográfica llamada Sierra Madre del Sur. (E.Raisz, 1959)

Dicha cuenca es una región bien disectada que muestra afloramientos de roca que abarcan desde el Precámbrico hasta el Cuaternario.

Tratándose de un rasgo fisiográfico, la zona de estudio queda ubicada dentro de la zona neovolcánica.

El clima es extremadamente variado de uno a otro lugar y depende principalmente de la altura sobre el nivel del mar. Aunque el punto más elevado es el volcán Popocatepetl, con una altura de 5,452 msnm., tiene una cubierta permanente de nieve y recibe precipitación anual que probablemente excede de 1,400 mm.

En esta zona la temperatura desciende hasta varios grados bajo cero en muchas noches de los meses de Octubre a Febrero, pero asciende a 10° C o más durante el día.

El punto de menor altura tiene unos 730 mts sobre el nivel del mar y corresponde a la ciudad de Iguala, en la parte Norte-Central de Guerrero; aquí la temperatura máxima en el verano rara vez excede de los 38° C, las precipitación promedio anual es de unos 1,120 mm.

Gran parte de la región con excepción de la zona montañosa alta, tienen un clima de sabana o estepa.

La flora de la región es aún más variada que el clima ya que depende principalmente de la altitud y de la cantidad de precipitación.

Las principales especies de flora que existen en el área de estudio son los oyameles, encinares con abundante subvegetación arbústica y muchas epifitas, chaquiras y diferentes tipos de pinos, esta flora está presente a una altura que va desde los 1,800 hasta los 2,500 mts sobre el nivel del mar que es la altura en la que se realiza el estudio.

III.2 GEOMORFOLOGÍA

Gran parte del terreno situado entre el río Amacuzac y el límite septentrional de la zona de estudio muestra rasgos de madurez en el ciclo de erosión, pues tiene una topografía construccional o de depósito; debida en primer término a la inundación y sepultura de valles y llanuras bajas por grandes abanicos aluviales entrelazados de la formación Cuernavaca y en segundo término a las erupciones y efusiones de lava basáltica del pleistoceno de tiempo Pleistocénico.

Los cerros y serranías más elevados de la topografía madura, sobresalen en forma de islotes por encima de los aluviones, dando todo esto origen a que desaparecieran las líneas de desagüe y se establecieran nuevas líneas de drenaje.

La erosión y disección de las llanuras aluviales habían progresado hasta un grado poco avanzado, antes de que las erupciones volcánicas de la zona neovolcánica llegaran a ser un proceso predominante. Las erupciones y efusiones de lavas continuaron hasta tiempos históricos originando gran parte de la topografía actual al norte de la latitud de Yautepec.

El borde septentrional de la región esta cubierto por un manto de 1500 a 2000 metros de lavas, brechas y tobas basálticas en cuya superficie emergen los conos cineríticos y escoráceos más jóvenes. Gran parte del área de afloramientos de las rocas basálticas carece de una red hidrológica integrada, con excepción de los flancos de los conos y los campos lávicos más viejos. Las llanuras aluviales formadas por la formación Cuernavaca están surcadas por barrancas profundas de costados acantilados, separadas por llanuras relativamente poco afectadas por la erosión.

Los cerros y serranías que no fueron sepultados por la formación Cuernavaca muestran una topografía madura casi desprovista de terrenos llanos en las cumbres, ni en los valles erosionados en ellos.

Los valles de la región están orientados por lo general de Norte a Noroeste, reflejando las estructuras predominantes de las rocas cretácicas. La mayoría de ellos ocupan los sinclinales, pero, dos ejemplos conspicuos de valles ocupando anticlinales son situados uno en Yautepec y Tlaltizapán que ocupa el anticlinal de Tecumán-Tlaltizapán y el situado al sur de Tlaltitenango.

Formas cársticas se han desarrollado encima de las principales formas topográficas anteriormente mencionadas. Estas se presentan en mayor abundancia en terrenos calizos, pero existen también en áreas de lutitas, de rocas volcánicas y de rocas clásticas terciarias poco cementadas donde las rocas carbonatadas quedan a poca profundidad.

La disolución de las calizas ha causado en muchos lugares el derrumbe de los flancos calizos con fuerte pendiente, así como la formación de ríos subterráneos de los cuáles son más notables el Chotalcoatlán y el de San Jerónimo pues se juntan para formar el río Amacuzac cerca de las grutas de Cacahuamilpa.

IV. GEOLOGIA REGIONAL.

IV.1 Geología Regional.

De acuerdo a la clasificación de provincias geológicas de E. López Ramos (1983), la zona de estudio se localiza en la provincia geológica de la cuenca Morelos - Guerrero, la cual está limitada en sus porciones Este, Oeste y Sur por la sierra madre del sur y al Norte por el eje neovolcánico.

La provincia geológica de la cuenca Morelos-Guerrero tiene una geología variada ya que presenta elementos de caracteres tectónicos y estratigráficos muy particulares y superpuestos entre sí.

La unidad litológica más antigua encontrada en la región es el Esquisto Taxco del paleozoico superior; esta formación fue plegada, metamorfozada, foliada, intrusionada por diques y erosionada fuertemente antes de que fuera depositada la siguiente unidad, la Roca Verde Taxco Viejo del Triásico-Jurásico. Prosiguió otro período de metamorfismo y erosión antes de que se acumularan los sedimentos clásticos calcáreos de la formación Acahuizotla, del Neocomiano. La próxima unidad consiste en la lutita calcárea ligeramente filítica de la formación Acuitlapán que es de la edad Neocomiana-Aptiano y descansa en discordancia erosional sobre la formación Acahuizotla. La formación Xochicalco del Aptiano-Albiano, formada por calizas en capas delgadas, descansa encima de la Acuitlapán; parece que localmente pasa en forma gradual hacia arriba desde esta última, pero en otras partes parece que ambas están separadas por una discordancia.

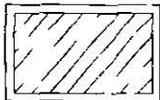
Un ligero movimiento de báscula y la erosión afectaron las unidades descritas, antes de que empezaran a acumularse la formación Morelos en el Albiano temprano. Las capas basales son de anhidrita en la parte oriental de la región, pero en otros lugares consta de caliza y dolomitas. La formación Morelos consiste principalmente en bancos calcáreos depositados en aguas someras y tiene un espesor máximo aproximado de 900 mts. La formación suprayacente es la formación Cuautla de edad Turoniana - Cenomaniana que descansa discordantemente sobre la formación Morelos. Representa un banco calcáreo de gran espesor situado en la parte oriental del área, que hacia el poniente se acuña y se interdigita con los sedimentos clásticos calcáreos suprayacentes de la formación Mexcala que pueden ser de las postrimerías del Turoniano en su base en algunos lugares y de principios del Senoniano en otros. La formación Mexcala continuó acumulándose hasta el Maestrichtiano cuando la región emergió definitivamente.

Hubo un período de plegamiento fuerte, probablemente en la primera mitad del Eoceno, al término del período del plegamiento comenzó la intrusión de diques y troncos ígneos acompañada de un fuerte fallamiento y se extravasaron lavas máficas acompañadas por la acumulación encima de los bloques fallados hacia abajo y depósitos clásticos de gran espesor pertenecientes al grupo Balsas, durante el Paleoceno-Eoceno superior y principios del Oligoceno. Entonces empezó el vulcanismo riolítico en el sur del área que llegó a formar la riolita Tilzapotla, seguida en poco tiempo por la extravasación de roca de composición intermedia en toda la región, que dieron origen a la Formación Tepoztlán, del grupo Buenavista, la Andesita Zempoala y otras rocas volcánicas no diferenciadas todas del Oligoceno tardío al Plioceno temprano. Se desarrollaron discordancias locales durante la acumulación de las unidades y se emplazaron varios diques y pequeños troncos ígneos.

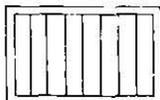
Siguieron en el Plioceno medio y tardío un nuevo fallamiento, el nacimiento de los volcanes Popocatepetl y nevado de Toluca y la acumulación de la Formación Cuernavaca.

Entonces comenzó el vulcanismo basáltico en la zona neovolcánica, y cesó el depósito de la Formación Cuernavaca y se extravasó el grupo basáltico que ahora forma el borde septentrional. (Fries, C. Jr.; 1960)

ERA	DIVISION	M I X T E C O							
		Guerrero-Morelos		Mexcala-Olinalá		Zapotitlán-Tlaxiaco			
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	[No Depósito]		[No Depósito]		[No Depósito]		
		PLEISTOCENO	Fm. Cuernavaca		[No Depósito]		Fm. Chilapa		
	TERCIARIO	PLIOCENO	A. Zempoala		Fm. Oapan		A. San Marcos		
		MIOCENO	Fm. Tepoztlán		A. Buenavista		A. Yucudaac Fm. Suchitlanhuaca Fm. Cerro Verde Fm. Uño de Tabos		
		OLIGOCENO	Fm. Tilzapotla		Fm. Tilzapotla		Fm. Yanhuitlán		
	PALEOCENO	EOCENO	Gpo. Balsas		Gpo. Balsas		Fm. Tomazulapan Fm. Huajuapán		
		MAESTRICHTIANO	Fm. Mexcala		Fm. Teteclingo Fm. Mexcala		Marga Marga		
	MESOZOICO	CRETACICO	SENONIANO	Fm. Cuautla (?)		Fm. Cuautla		Yucunama Tlantongo	
			TURONIANO	[No Depósito]		[No Depósito]		[No Depósito]	
			CENOMANIANO	Fm. Morelos		Fm. Morelos		Fm. Teposcolula Fm. Cipiapa	
JURASICO		ALBIANO	Fm. Xochicalco		Fm. Huitzucó Fm. Zicapa		Fm. Sn. Juan Raya		
		APTIANO	Fm. Acuitlapán		[No Depósito]		Fm. Zapotitlán		
		NEOCOMIANO	Fm. Acahuzotla		[No Depósito]		[No Depósito]		
TRIASICO		SUPERIOR	[No Depósito]		[No Depósito]		Fm. Mapache		
		MEDIO	[No Depósito]		Gpo. Tecocoyunca Cacuolac		Fm. Chimeco C. Cidarís Fm. Tecomacual Gpo. Tecocoyunca Gpo. Consuelo		
		INFERIOR	R.V. Taxco Viejo		[No Depósito]		[No Depósito]		
		SUPERIOR	[No Depósito]		[No Depósito]		[No Depósito]		
PALEOZOICO	MEDIO	[No Depósito]		[No Depósito]		[No Depósito]			
	INFERIOR	[No Depósito]		[No Depósito]		[No Depósito]			
	PERMICO	[No Depósito]		Fm. Los Arcos-Olinalá		Fm. Los Arcos-Olinalá			
	PENSILVANICO	Esquisto Taxco		[No Depósito]		[No Depósito]			
	MISSISSIPICO	[No Depósito]		[No Depósito]		[No Depósito]			
	DEVONICO	[No Depósito]		[No Depósito]		[No Depósito]			
PRECAMBRICO	SILURICO	Complejo Acatlán							
	ORDOVICICO	[No Depósito]							
	CAMBRICO	[No Depósito]							



NO AFLORA



NO DEPOSITO

U.A.S.L.P.
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA CIENCIAS DE LA T

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA CIENCIAS DE LA TIERRA

**TABLA DE CORRELACION
ESTRATIGRAFICA**

1996	TRABAJO RECEPCIONAL	ASESOR:
	JAVIER ALCALDE NAVA	ING REFUGIO ACEVEDO

FUENTE: DANTE MORAN CENTENO

IV.2 Estratigrafía

A continuación se describen las formaciones en orden cronológico de la más antigua a la más joven:

ESQUISTO TAXCO.

El nombre de Esquisto Taxco se propuso para las rocas del área de afloramiento situada hacia el oriente y sureste de la ciudad de Taxco donde dichas rocas quedan al descubierto por la erosión en una área aproximada de 4 km²; asoman también un poco al oriente de Taxco Viejo en una área casi el doble de la de Taxco.

Esta unidad es la más antigua de la región y forma el basamento sobre el que fueran depositadas discordantemente, todas las demás formaciones.

El Esquisto Taxco es susceptible a un desgaste erosivo relativamente fácil y tiende a formar superficies moderadamente disectadas donde la erosión eliminó la protección de la caliza suprayacente.

El Esquisto Taxco representa un esquisto de color gris, compuesto por cuarzo, feldespatos y sericita, todos empotrados en una matriz sericítica más densa. La roca originalmente era una toba riolítica.

La base del Esquisto Taxco no aflora en la región. La superficie superior se debe a la erosión y se encuentra cubierta casi en todas partes por un conglomerado basal compuesto por fragmentos de esquistos, sobre el que descansan las formaciones más jóvenes, inclusive hasta el grupo Balsas.

La edad del Esquisto Taxco no se ha confirmado directamente por determinaciones radiométricas, pero se le ha asignado una edad Misisípico tardío - Pérmico inferior.

ROCA VERDE TAXCO VIEJO.

El nombre de Roca Verde Taxco Viejo se propuso para el afloramiento sobre la falda situada directamente al oriente del pueblo de Taxco Viejo.

La Roca Verde Taxco Viejo está compuesta principalmente por una interestratificación de tobas, brechas y en menor cantidad de corrientes lávicas, casi todas andesíticas; las capas clásticas se presentan cementadas principalmente por calcita (la abundancia de calcita en la matriz de las capas de toba y brecha sugiere que la unidad pudo haber sido depositada en aguas marinas).

El color predominante es verdoso, con algunos manchones de color púrpura. La piritita y epidota son abundantes en algunos afloramientos. El espesor de la unidad es mayor de 100 mts.

La unidad descansa discordantemente sobre el Esquisto Taxco y en algunos sitios tiene un conglomerado basal compuesto por fragmentos de esquisto.

Los movimientos tectónicos posteriores y la erosión eliminaron gran parte de la formación antes de que fueran depositadas las unidades litológicas superiores por lo que puede estar cubierta por cualquiera de las unidades comprendidas entre la formación Acahuizotla y el grupo Balsas.

Hasta ahora no se han encontrado fósiles en la Roca Verde Taxco Viejo y por lo tanto su edad solo puede deducirse por sus relaciones con las rocas infra y suprayacentes y por las correlaciones de larga distancia. La formación yace sobre el Esquistos Taxco en discordancia angular y queda cubierta por la formación Acahuizotla, se le asigna una edad del Triásico temprano - Jurásico tardío. (Ver tabla de correlación).

FORMACION ACAHUIZOTLA.

Se designó el nombre de Formación Acahuizotla a una secuencia de calizas arcillosas y limolitas calcáreas interestratificadas con lutitas carbonosas. La localidad tipo se encuentra a unos 500 mts al este del poblado de Acahuizotla; otro afloramiento representativo es el localizado en el Km. 298 de la carretera México - Acapulco en la barranca La Imagen.

Esta formación consiste en calizas arcillosas y limolitas calcáreas intercaladas, en capas con espesores de 20 a 50 cm. Las calizas arcillosas son de color azul verdoso y las limolitas de color negro a verdoso con textura laminar; la secuencia es de unos 100 mts. de espesor. Las rocas de esta formación se encuentran muy fracturadas; en algunos casos las fracturas alcanzan 1 cm. de abertura, las cuáles están rellenas de material arcilloso.

Esta formación está sobreyaciendo de manera discordante a la Roca Verde Taxco Viejo y subyace a la Formación Acuitlapán de manera concordante. La edad de las rocas asignadas a esta formación en la región de Taxco no fue determinada a base de fósiles. Las muestras colectadas para estudios microfáunicos en lámina delgada, o carecen de fauna o están demasiado cizalladas para permitir el reconocimiento de microfósiles, por lo tanto la asignación de edad se basa en la correlación de las unidades infra y suprayacente por lo tanto la Formación Acahuizotla es de edad Neocomiana.

FORMACION ACUITLAPAN.

El nombre de la Formación Acuitlapán se tomó del pueblo de ese nombre situado en el Km. 144.5 de la carretera Amacuzac - Taxco y se propuso para las rocas que afloran a lo largo de la base suroccidental de la alta serranía; caliza conocida con el nombre del cerro Acuitlapan que se levanta al noreste de dicho pueblo.

Un supuesto resto de esta unidad descansa sobre el Esquisto Taxco cerca del panteón de Taxco.

La unidad consiste en una serie de capas delgadas arcillosas y limosas con algunos interestratos calcáreos, recristalizado a filita pizarrosa. El color de la roca fresca varía de gris a gris oscuro, pero algunas capas son casi negras y contienen materia carbonosa.

El espesor total original no ha sido determinado debido al plegamiento estrecho de las capas y a los afloramientos incompletos. Un espesor de 110 mts se haya expuesto en la localidad tipo.

La Formación Acuitlapán descansa discordantemente sobre las formaciones más antiguas hasta el Esquisto Taxco. En su localidad tipo está cubierta por la Formación Xochicalco; contiene microfauna de edad Aptiana, así que se le atribuye una edad Neocomiano tardío - Aptiano.

FORMACION XOCHICALCO.

El nombre de la Formación Xochicalco proviene de una localidad arqueológica situada en el cerro del mismo nombre. Esta unidad constituida principalmente de calizas en capas delgadas, aflora desde dicho punto hasta el cerro de Colotepec, al oriente, donde está intrusionada por un cuerpo granítico; también se extiende hacia el sur casi hasta la carretera Alpuyecá - Cacahuamilpa, en un área aproximada de 9 Km².

Otra zona en que aflora la caliza Xochicalco es en la base suroccidental del cerro de Acuitlapán, donde descansa sobre la filita pizarrosa Acuitlapán y está cubierta por la dolomita y caliza Morelos.

La Formación Xochicalco consiste en una sucesión de capas calizas densas de espesor variable de muy delgado a mediano, generalmente con superficies de estratificación planas. El color varía desde gris oscuro a negro, según el contenido carbonoso.

En los afloramientos situados cerca de Acuitlapán, donde aflora tanto la base como la cima de la Formación Xochicalco, el espesor es de unos 150 mts. En esta localidad se incluye en la formación una sucesión de 10 ó 15 mts. de capas lutitas parcialmente filíticas situadas a unos 30 ó 40 mts. arriba de la base. En la localidad tipo de la Formación Xochicalco entre

los cerros de Colotepec y Xochicalco llegan a tener un espesor hasta de 500 mts. debido a su plegamiento.

El plegamiento ha afectado a la Formación Xochicalco en un grado mucho mayor que la Formación Morelos suprayacente, pudiendo describirse esta relación como disarmónica. Esto no quiere decir que la Formación Xochicalco fue plegada antes de que fuera depositada la Formación Morelos, aunque si pudo haber existido un corvamiento ligero.

No se encontraron macrofósiles en los afloramientos de la Formación Xochicalco, pero se estudió la microfauna en numerosas láminas delgadas.

El conjunto de fósiles encontrados indica un depósito de aguas relativamente quietas que carecían de fauna bentónica. La edad de la Formación Xochicalco, es del Aptiano - Albiano.

FORMACION MORELOS.

El nombre de Formación Morelos se propone para una potente sucesión de caliza y dolomita de edad Cenomaniana - Albiana que aflora en Morelos y en los estados contiguos de México y Guerrero. No se ha encontrado una buena localidad tipo, debido a que la base de la formación no esta expuesta en el sitio donde la unidad tiene su mayor espesor.

Se considera que los afloramientos en el estado de Morelos forman una región tipo de esta formación.

El afloramiento más septentrional de la Formación Morelos se encuentra aproximadamente a 2.5 Km. al sur de Tepoztlán donde la formación desaparece debajo de la Formación Tepoztlán suprayacente, de edad Miocénica pero la unidad reaparece por debajo de la cubierta terciaria a la latitud de Tequisquiac - Apaxco, a unos 110 Km. hacia el norte, o sea a 60 Km. de distancia al norte de la ciudad de México.

Las capas gruesas de caliza y dolomita de la Formación Morelos son muy resistentes a la erosión bajo las condiciones climáticas prevalecientes en la región y tienden a formar altos topográficos, con excepción de los lugares donde están cubiertos por rocas volcánicas terciarias con una altura aun mayor.

El aspecto topográfico del terreno en el que aflora la Formación Morelos es de lo más distintivo en la región y solo se le asemejan el presentado por la Formación Cuautla y por el conglomerado calizo bien cementado y en capas gruesas del grupo Balsas suprayacente, aunque en las dos últimas formaciones las dolinas son menos numerosas y poco desarrolladas.

La Formación Morelos consta predominantemente de una sucesión de capas calizas y dolomitas interestratificadas, con cantidades variables de pedernal en forma de nódulos, lentes, granos y fragmentos de fósiles silicificados.

El color de la Formación Morelos cambia marcadamente de una capa a otra, variando de gris claro a negro. Las capas oscuras son generalmente más fétidas al romperlas que las capas claras y contienen materia bituminosa en cantidad variable.

Las capas dolomíticas muestran un tinte parduzco claro a negro parduzco; algunas capas tienen un aspecto manchado.

Los estratos son por lo general bastante gruesos, quedando generalmente entre los 20 y 60 cm. de espesor.

La Formación Morelos aparentemente no se depositó sobre la parte más elevada de la Paleopenínsula de Taxco, de edad cretácica temprana. Fuera de allí; sin embargo, su espesor aumenta rápidamente en otras localidades al noreste, oriente, sur y suroeste. En el caso de Acuitlapán situado solo a 13 Km. al noreste de Taxco la Formación tiene 800 mts. de espesor lo que indica un aumento de espesor en promedio de 1 m. por cada 16 mts. de distancia horizontal.

Movimientos tectónicos comprimieron la Formación Morelos en pliegues orientados casi al norte y las rocas fueron fracturadas en grado variable de uno a otro lugar. La dolomita especialmente, fue intensamente fracturada y estas fracturas así como las de las calizas, fueron selladas por la precipitación de calcita blanca. La compresión no fue lo suficientemente fuerte para producir un plegamiento notable de la caliza y dolomita, y aun el clivaje de fractura es raro. La falta de una deformación interna más intensa de la caliza Morelos en comparación a las unidades cretácicas adyacentes y menos competentes, se debe indudablemente a su carácter denso y su estratificación gruesa.

La Formación Morelos es relativamente pobre en microfósiles. Los microfósiles se presentan con mucha abundancia en algunas capas, particularmente en la parte superior de la formación; están denominados por los géneros que pertenecen a la Familia Miliolidae. La Formación Morelos es de edad Abiano - Cenomaniano.

FORMACION CUAUTLA.

El nombre de la Formación Cuautla se ha tomado de la ciudad de Cuautla y se propone para las exposiciones excelentes de las serranías bajas situadas hacia el poniente de la ciudad.

La formación consta de 3 facies principales que son:

- 1.- Una sucesión gruesa de capas calizas de estratificación mediana a gruesa, del tipo de banco calcáreo.
- 2.- Una sucesión más delgada de capas calizas laminadas de estratificación delgada a mediana.
- 3.- Una sucesión muy delgada de capas de calizas clásticas de estratificación delgada a mediana.

Las tres facies podrían delimitarse lateralmente, sin duda, si se hiciera un estudio más detallado de la formación.

La facies predominante de la Formación Cuautla es la de caliza densa en capas gruesas o masivas compuestas por calcilutita, calcilimolita, y calcarenita de tipo de banco calcáreo.

Pocas capas tienen menos de 20 cm. de espesor y algunas de las superiores, tienen más de 4 mts. de espesor. El color de la caliza varía de gris claro a oscuro y con menor frecuencia negro. Nódulos, lentes y masas irregulares de pedernal abundan en muchas capas y sobre los planos de estratificación; la silicificación de fósiles y fragmentos biogénicos es particularmente fuerte en las partes inferior y media de la unidad.

La facies de la Formación Cuautla que tiene el espesor máximo corresponde a la de bancos calcáreos y tiene un total aproximado de 750 mts. Se encuentra en la serranía definida por el cerro de Barriga de Plata, El Manto Negro y El Cerro de Ectopan. y continúa hacia el oriente y sureste.

La facies de banco calcáreo de la Formación Cuautla contiene numerosos biostromas de rudistas y gasterópodos, desde la parte basal de la unidad hasta cerca de la cima, pero las capas más altas y jóvenes de esta facies entre Cuernavaca y Cuautla carecen de microfauna.

Los microfósiles incluyen varias especies de considerable utilidad para fijar la edad de la Formación Cuautla, que es de edad Turoniana - Senoniana

No se han descrito rocas correspondientes en litología y edad a la Formación Cuautla con excepción de una unidad caliza sin nombre en las cercanías de Huescalapa en la parte suroriental del estado de Jalisco. Rocas de la misma edad, aunque de litología diferente, ya que consisten en sedimentos clásticos marinos constituidos de caliza, probablemente están distribuidos ampliamente al poniente de Taxco.

FORMACION MEXCALA.

El nombre de la Formación Mexcala se propuso para la sucesión de capas interstratificadas de arenisca, limolita y lutita calcárea con escasos lentes de caliza clástica que yace sobre la Formación Cuautla. El nombre se refiere tanto al pueblo como al río situado cerca del Km. 220 de la carretera México - Acapulco.

La localidad tipo por lo tanto fue escogida a lo largo del río Balsas "Mexcala".

La Formación Mexcala es muy variable en su litología, tanto lateral como verticalmente; la parte basal es de naturaleza calcárea, consiste en capas de caliza arcillosa o de limolita calcárea que miden en total desde unos cuantos metros hasta 30 metros de espesor. La caliza basal donde se presenta, está formada por capas de calcarenitas clásticas visiblemente laminadas de color gris oscuro y de 10 a 20 cm. de espesor.

La edad de la Formación Mexcala está determinada por el contenido de fósiles, por lo cual se le ha asignado al Senoniano - Maestrichtiano.

GRUPO BALSAS.

El nombre del Grupo Balsas se propone para un conjunto de rocas que comprende una variedad grande de tipos litológicos, el grupo incluye rocas tan diversas como conglomerado calizo, arcillas, limos, tobas, y brechas volcánicas que descansan sobre las rocas mesozoicas deformadas, o bien en rocas más antiguas, dentro de la cuenca del río Balsas.

La localidad tipo se ha definido por extensos afloramientos que se localizan en las cercanías de Iguala y en áreas cercanas a Taxco en el estado de Guerrero.

El Grupo Balsas se encuentra aflorando en las laderas de los cerros contiguos a la ciudad de Chilpancingo, y en pequeños afloramientos aislados en las laderas de los valles de Mochitlán - Quecholtenango y en las cercanías del poblado de Mazatlán.

El Grupo Balsas comprende tipos de rocas tan diversos como evaporitas, conglomerado de grano grueso, sedimentos clásticos de grano fino y corrientes lávicas. El tipo litológico mas característico de la región aunque no precisamente el más voluminoso, corresponde quizá a un conglomerado calizo con matriz calcárea.

El espesor del conglomerado calizo varía ampliamente en cortas distancias laterales y dentro de la región alcanza un espesor de 500 mts. y en otros lugares es más delgado . El espesor total del grupo Balsas es aproximadamente de 2,500 Mts.

El grupo Balsas descansa discordantemente sobre la Formación Mexcala y sobre otras formaciones más antiguas hasta el Esquisto Taxco del paleozoico, y la formación suprayacente es la Formación Tilzapotla.

La edad del grupo Balsas está definida por su posición estratigráfica y de acuerdo con sus contactos discordantes se le asigna una edad Paleoceno - Eoceno.

FORMACION TILZAPOTLA.

El nombre de la Formación Tilzapotla se propone para los afloramientos extensos de brecha tobácea riolítica situada en las cercanías de Tilzapotla al sur del lago de Tequesquitengo y del río Amacuzac.

Cerca del pueblo de Tilzapotla, la formación consiste en una brecha tobácea de color parduzco o rojizo oscuro, muy bien cementada y de grano grueso.

La estratificación es tan gruesa o masiva que difícilmente se distingue en los afloramientos.

El espesor máximo de la formación cerca de Tilzapotla es del orden de 250 mts. La formación está constituida por tobas soldadas y corrientes piroclásticas desde Amacuzac hasta Buena Vista de Cuellas, donde cambia a tobas, brechas tobáceas y corrientes lávicas bien estratificadas.

La edad de la Formación Tilzapotla es del Oligoceno.

FORMACION TEPOZTLAN.

El nombre de la Formación Tepoztlán se propone para los afloramientos cercanos al pueblo de este nombre, situado a 19 Km. al noreste de Cuernavaca. La unidad aflora en una distancia de 3 Km. tanto al norte como al sur del pueblo y continúa al oriente hasta San Agustín, donde está profundamente erosionada y sepultada por corrientes basálticas de edad pleistocena. La unidad probablemente se adelgaza hacia el oriente y puede existir aún debajo o interdigitada con el grupo no diferenciado al norte de Ocuituco. Se supone que se acuña en la parte basal de la masa volcánica, cuya cumbre es el volcán Popocatepetl.

La Formación Tepoztlán está cubierta por la Andesita Zempoala unos 3 Km. al norte de Tepoztlán y no reaparece más al norte. La erosión ha removido la formación al sur de Oacalco, donde la base está expuesta, con excepción de un pequeño remanente de material volcánico similar, situada a unos 2,000 mts. al oriente del Km. 51 de la carretera Alpuyeca-Yautepec.

Al poniente de Tepoztlán la unidad reaparece saliendo por debajo de la Formación Cuernavaca y continúa por una distancia de 10 a 15 Km. en el estado de México.

La Formación Tepoztlán esta compuesta predominantemente por detritos volcánicos andesíticos depositados en capas que varían en espesor de 50 cm. hasta más de 10 mts. La estratificación tiene un echado de 7° hacia el norte; la topografía desarrollada en la formación difiere algo de la que caracteriza a la mayoría de las demás rocas volcánicas de la región, ya que están mejor desarrollados los acantilados y la disección ha cortado más profundamente la formación.

Los fragmentos que presenta son de andesita porfídica, con ortopiroxena, clinopiroxena, anfíbola, individualmente o en cualquier combinación. Los colores de los cantos individuales varían de gris claro a gris oscuro, pero se presentan también tintes rojizo, púrpura y verdoso. El color de las capas en promedio, es gris en cortes frescos y de amarillento a parduzco oscuro en afloramientos intemperizados.

Los componentes que forman las capas constan de fragmentos tobáceos y detríticos que varían de tamaño desde arcilla fina hasta bloques de 1 m. de diámetro. Algunas capas tienen sus componentes muy mal clasificados (inequigranulares) y pueden presentar corrientes de lodo o "lahares" pero otras contienen lentes de arena y grava mucho mejor clasificadas, con estratificación cruzada, atestiguando un depósito por corrientes de agua.

Gran parte del material es desmoronadizo y poco endurecido, aunque en algunos lugares se presentan capas bien cementadas. Si una capa bien cementada cubre otra capa friable que tiene mala clasificación y una mezcla de materiales tobáceos, como por ejemplo una corriente de lodo o lahar, la primera ejerce un efecto protector y hará que la capa

infrayacente se erosione formando cantiles verticales. Las partículas tobáceas, angulosas probablemente sirven de ligadura para amacizar y endurecer el material desmoronadizo, permitiendo la formación de acantilados.

El espesor máximo medido desde la base de la formación, hasta el afloramiento más alto al norte de Oacalco, es aproximadamente de 1,000 mts.

La base de la Formación Tepoztlán está expuesta solo en 3 localidades:

- 1-. al oriente de San Andrés de la Cal.
- 2-. al norte de Oacalco.
- 3-. a unos 4 Km al sur de Yautepec.

La tercera localidad contiene un pequeño remanente de lo que parece ser un resto erosional de la Formación Tepoztlán. El contacto suroccidental de este remanente es una falla, pero el contacto septentrional es de naturaleza normal y une esta unidad con la Formación Cuautla. Una discordancia angular existe entre las dos. Capas de aluvión ocultan los contactos oriental y austral, pero los afloramientos cercanos sugieren que la roca infrayacente corresponde a la parte basal de la Formación Mexcala.

La Formación Tepoztlán obviamente fue depositada con gran discordancia angular y erosional encima de las unidades cretácicas. La relación entre ella y el grupo Balsas no es tan clara, este último seguramente estuvo expuesto a la erosión antes de que se depositaran las rocas Tepoztlán, no se pudo comprobar la existencia de una discordancia angular en el contacto.

La unidad suprayacente más joven es la andesita Zempoala; la relación entre las dos unidades no se ha estudiado con detalle pero se cree que el contacto representa una discordancia erosional.

Corrientes Basálticas sepultaron las partes topográficamente más bajas de la Formación Tepoztlán, dejando restos parecidos a islotes rodeados por mar.

La edad de la Formación Tepoztlán no se ha comprobado por medios directos. Obviamente es más joven que el grupo Balsas. Se supone que es algo más joven que la riolita Tilzapotla, en vista que la última unidad descansa sobre el grupo Balsas con poca o ninguna discordancia erosional mientras que la primera contiene una discordancia erosional notable con el grupo Balsas. Por su posición estratigráfica la Formación Tepoztlán se le asigna una edad de fines del Oligoceno y que su depósito continuó durante la primera parte del Mioceno.

ANDESITA ZEMPOALA.

El nombre de andesita Zempoala se propone para una sucesión de rocas volcánicas andesíticas que afloran en la esquina noroccidental de Zempoala y se extiende varios kilómetros al noroeste y al norte.

La Andesita Zempoala está representada por una corriente andesítica de grano relativamente grueso y de color gris, que en la localidad está interstratificada con brecha volcánica de la misma composición. Los afloramientos a los alrededores muestran una interstratificación de brecha volcánica, corrientes lávicas, capas tobáceas y estratos masivos compuestos por fragmentos volcánicos angulosos inequigranulares, empotrados en

una matriz de grano fino generalmente de color grisáceo, que parece representar corrientes de lodos volcánicos o lahares.

Sin embargo la serie se distingue de la Formación Tepoztlán infrayacente por la frecuente interposición de lentes lávicas.

El espesor de la andesita Zempoala se estima cuando menos en 800 mts.

La Andesita Zempoala descansa en concordancia aparente sobre la Formación Tepoztlán. Entre ambas unidades hubo alguna erosión, pero no se observaron evidencias de erosión intensa o de larga duración. La edad de la andesita Zempoala no fue determinada directamente y solo puede inferirse de sus relaciones con las formaciones infra y suprayacente por lo que a la Andesita Zempoala se le ha asignado una edad del Mioceno tardío - Plioceno, aunque pudiera incluir capas del pleistoceno temprano.

FORMACION CUERNAVACA.

La Formación Cuernavaca toma su nombre de los depósitos clásticos transportados por gua, bien expuestos y muy extensos, sobre las que se construyó la ciudad de Cuernavaca. La unidad aflora principalmente en la cuenca hidrológica del río Amacuzac y de sus afluentes.

La constitución litológica de la Formación Cuernavaca es variada. La parte septentrional y topográficamente más alta de la unidad está formada predominantemente por conglomerado de grano medianamente grueso, cuyos constituyentes son casi exclusivamente de rocas volcánicas andesíticas erosionadas.

Más al sur las capas de la Formación Cuernavaca se hacen progresivamente más delgadas, que rara vez exceden de 2 mts. de espesor. Son de grano más fino en promedio; aunque presentan cantos grandes en algunas capas.

El espesor de la Formación Cuernavaca tiene límites muy amplios, hay afloramientos de 100 mts. de espesor sin alcanzar la base de la formación. El espesor total puede alcanzar 200 a 300 mts. en algunos sitios.

No se han establecido los límites precisos de la Formación Cuernavaca. Pero es probable que la cima de la Formación Cuernavaca no sea más joven que el Pleistoceno más temprano.

IV.3 Geología Histórica.

Durante el Albiano-Cenomaniano, en los límites de la plataforma Morelos-Guerrero, se deposita la Formación Morelos en un mar de agua somera. Durante el turoniano las condiciones de plataforma de agua someras se continúan para dar lugar al depósito de la Formación Cuautla.

Como consecuencia de la última fase de actividad Laramídica a finales del cretácico e inicios del terciario, esfuerzos compresionales subcorticales dieron como resultado la formación de un sistema de pliegues anticlinales y sinclinales. Durante el Paleoceno-Eoceno se desarrolla sedimentación clástica continental (Grupo Balsas) que se ve interrumpida por la aparición del eje neovolcánico en el Oligoceno tardío.

En la porción central del Eje Neovolcánico se han reconocido siete fases de vulcanismo, que ocurren desde el Oligoceno hasta el Cuaternario, las más importantes de ellas es la quinta que se presenta a finales del Mioceno y que da origen a la Sierra de las Cruces, de Río Frío y Nevada. Se atribuye a la sexta fase el desarrollo de los conos y domos del Iztacihuatl y el cono del Popocatepetl, la séptima fase culminó con la construcción de la Sierra de Chichinautzin.

IV.4 Geología Estructural.

En el área estudiada existen estructuras que son la consecuencia de un evento tectónico compresivo (Orogenia Laramide) y seis fases tectónicas distensivas con su respectivo vulcanismo asociado.

Las principales estructuras en el área, son pliegues en las rocas cretácicas desarrollados entre el Paleoceno tardío y el Eoceno temprano, así como fallas producidas después del plegamiento pero antes del fin del depósito del Grupo Balsas. El resto de las estructuras importantes, son fallas y fracturas pertenecientes a cinco fases distensivas más, asociadas al vulcanismo de la última etapa del arco magmático de la Sierra Madre Occidental y al desarrollo del Cinturón Volcánico Mexicano.

Los pliegues que se han distinguido dentro del área estudiada, están orientados sensiblemente al norte, con excepción del anticlinal de Ticumán, que se inclina hacia el NNE entre Ticumán y Tepoztlán.

La mayor parte de los pliegues del estado de Morelos son relativamente cortos y busan por sus dos extremos (Fries, 1960). El anticlinal de Ticumán, que se extiende en el anticlinal de Tlaltizapán al sur de la falla de Jojutla, es la estructura más larga del área con 40 Km. de longitud aflorante.

Los pliegues de la región por lo general se encuentran curvados a lo largo de su rumbo. Algunos pliegues son irregulares, como el de Ticumán que se encuentra recumbente y se convierte en un pliegue normal amplio hacia el sur, otro ejemplo de la irregularidad, es el anticlinal de San Gaspar, el cual se continúa en el sinclinal de Santa María, al sur de la falla de Jojutla. Las flexiones que presentan las Formaciones Morelos y Cuautla son redondeadas y escasas dada su estratificación gruesa, por otro lado, en las rocas de estratificación delgada, las flexiones son angulares o de tipo chevrón. El plegamiento interno de las Formaciones Xochicalco y Mexcala es muy intrincado. En algunas partes de la Formación Mexcala, en donde los sinclinales son más cerrados, se encuentran fallas inversas en pequeña escala.

La orientación predominante de los pliegues de la región es casi NNW, mientras que el anticlinal de Ticumán vira hacia el NNE en su parte más septentrional.

V. GEOLOGIA LOCAL.

V.1 Geología Local.

Los túneles se localizan en la Formación Tepoztlán, constituida por materiales piroclásticos (arena, grava, brecha volcánica) fuertemente cementados con materiales del mismo origen, predominantemente sílice.

Se presenta en capas horizontales gruesas, generalmente de varios metros de espesor, con juntas sanas, se observan también fracturas verticales debidas a esfuerzos tectónicos.

La separación entre las fracturas también es de varios metros y sus superficies son sanas, rugosas y sin relleno.

La granulometría de las diferentes capas así como su grado de cementación es variable, lo que producirá variaciones en la resistencia al corte.

VI. GEOLOGIA APLICADA A TUNELES EN ROCA

VI.1 Introducción.

De todas las actividades del Ingeniero Civil, la excavación en túneles es sin duda aquella en que se aplican con más provecho y propiedad los estudios geológicos; una vez determinada la ubicación y las dimensiones básicas de un túnel, el único problema que afecta a los métodos de diseño y construcción es la geología.

Es de primordial importancia una investigación geológica exhaustiva, antes de iniciar la construcción de túneles.

Sirvió de base principal para la evaluación de este trabajo el libro de Excavaciones Subterráneas en Roca de E. Hoek y E.T. Brown publicado en 1985. Se ha condensado lo relativo a la geología aplicada a túneles en rocas y reordenando a manera de formar una secuencia más lógica para nuestras aplicaciones.

VI.2 Recolección de datos geológicos.

Los primeros pasos que se dan antes de iniciar el diseño de un túnel consiste en observaciones generales de la geología local así como en la consulta de los mapas topográfico y geológicos de la región y en el estudio de fotografías aéreas, si estas existen.

Los mapas podrán obtenerse en los archivos de varias dependencias oficiales así como en la Secretaría de Programación y Presupuesto (INEGI).

La información así recabada es relativa a la geología superficial únicamente; para conocer la geología subyacente, se podrá inferir por analogía en algunos casos pero generalmente se necesitarán exploraciones.

Los métodos exploratorios pueden ser:

A.- Indirecto. Para medir las propiedades físicas de los materiales, como en el caso de los métodos geofísicos.

B.- Directos. Para permitir el examen de los materiales, generalmente por la recolección de muestras, como en el caso de excavaciones y sondeos.

La selección de los métodos que conviene emplear, se deriva generalmente de las primeras observaciones de superficie. Cabe señalar aquí el ejemplo de los túneles que se harán de la nueva vía de ferrocarril de México-Cuernavaca en el tramo de Nepopualco- San Juan Tlacotenco.

VI.3 Exploración Indirecta.

En la siguiente tabla de la página 41 se proporciona una lista de las diversas técnicas geofísicas con sus ventajas y limitaciones. Generalmente se incluye alguno de estos métodos en la primera fase de los estudios de un proyecto por ser bastante rápidos. Solo cuando la geología es complicada o confusa, se recomienda el uso de métodos más directos de exploración desde la primera fase investigadora.

A menos que se esté totalmente seguro que la geología de un túnel proyectado sea totalmente distinta de la geología de superficie, habrá que agotar primero toda las posibilidades de recabar la información de la superficie donde fácilmente y seguramente se podrán observar y medir los sistemas de juntas y la orientación de ellas. Esta información es capital en todo proyecto de un túnel. (Existe un instrumento para medir el echado y el rumbo en un mismo tiempo, la brújula Clar, fabricada por F. W. Breithaupt Sohn, Adolfstrase B., Kausel 3500, Alemania.)

VI.4 Exploración Directa.

VI.4.I. Sondeo con perforadora de diamante.

Es el método de exploración directo más empleado porque permite la recuperación y el examen de las muestras de la roca provenientes del lugar mismo donde se excavará el túnel.

- Generalmente se perfora con agua para enfriar la broca y extraer los núcleos del barreno.
- La orientación y la inclinación de las discontinuidades en los macizos rocosos son de mucha importancia en los proyectos de túneles.
- Existen métodos para establecer la orientación y la inclinación de las discontinuidades reconocidas cuando quedan interseccionadas por dos o más barrenos, también existen aparatos sofisticados con los que se orientan las muestras.

TECNICAS DE EXPLORACION GEOFISICA PARA INGENIERIA DE EXCAVACION SUBTERRANEA (Según Mossman y Heim)

Método	Principio	Ambiente geológico	Aplicaciones	Limitaciones	Costo
MEDIDOR DE GRAVEDAD	Mide la densidad total de la roca. Medidas en 10^{-8} gal. Precisión $\pm 1 \times 10^{-7}$ gal. Abarca una esfera alrededor de un punto.	Cualquiera. Profundidad efectiva mayor de 100M. La intensidad desigual disminuye al cuadrado de la profundidad.	Medición de los cambios laterales del tipo de roca. Localización de cavernas	No proporciona medidas directas de la geometría de la roca.	Mediano
MAGNETO-METRO	Mide la intensidad magnética total en gamas hasta ± 1 gama para el campo total, 2.5^{-10} gamas para el campo vertical, ± 10 gamas para el campo horizontal. Abarca un punto, cubre la intensidad del campo.	Cualquiera, pero de preferencia igneo. La profundidad efectiva no es selectiva, pero la fuerza del campo disminuye al cuadrado de la distancia del observador.	Señala la existencia de cuerpos metálicos locales. Útil para el mapeo de oleoductos enterrados; también puede indicar fallas e intrusiones ígneas menores.	No proporciona medidas directas de la geometría de la roca.	Bajo a Mediano
RESISTIVIDAD ELECTRICA	Mide la conductividad eléctrica relativa de la roca en Ohms, de tres $\times 10^{-3}$ hasta 10^{-4} ohms, generalmente sensibilidad de $\pm 2 \times 10^{-1}$. Abarca una línea de corta distancia.	Cualquiera, sirve sobre todo para evaluar el recubrimiento y el agua somera. Profundidad efectiva hasta 1,000m dependiendo del tipo de sedimentos y del instrumento	Exploración de cuerpos de minerales, localización de agua, depósitos de grava y perfiles de la roca madre.	A veces confuso.	Mediano
ELECTROMAGNETICO	Mide la amplitud y el ángulo de la fase del campo electromagnético. Medidas en lecturas de escala. Abarca punto.	Cualquiera. Profundidad efectiva superficial.	Localización de agua.	Aplicación limitada resultados confusos.	Bajo a Mediano
RADIOMETRICO (ESCIINTILOMETRO)	Mide la radiación de los rayos gama, 2.5×10^{-2} hasta 5 miliroentgen/hora, hasta 4,000 conteos/sec. Abarca punto.	Cualquiera. Profundidad efectiva superficial.	Localización de minerales radioactivos. Puede proporcionar información sobre formaciones de pizarra.	Mide las manifestaciones de superficie únicamente. se usa mucho en barrenos.	Bajo, aumentando con el área.
REFRACCION SISMICA	Mide el tiempo de recorrido de la energía inducida con explosivos. Vibrador en 10^{-3} seg. Exactitud $\pm 2 \times 10^{-3}$ seg. a 30 pies. Abarca espacios lineales con espaciamiento horizontal libre.	Rocas sedimentarias y metamórficas. Profundidad efectiva 0 - 510 pies. Profundidades mayores necesitan de una extensión horizontal mayor de operación.	Para medir la profundidad hasta la roca siguiendo líneas. Determinación de la velocidad de las ondas S y P en la zona de refracción para inferir las propiedades de la roca. Configuración y continuidad de la superficie de la roca.	Se necesita calibrar las profundidades para determinar velocidades. No sirve para echados muy inclinados. Ineconómico para proyectos pequeños.	Alto, pero cubre una área grande.
REFLEXION SISMICA	Mide el tiempo de recorrido de la energía inducida en 10^{-3} seg. Exactitud $\pm 2 \times 10^{-3}$ seg. = 5 a 25 pies, disminuyendo con la profundidad. Abarca espacios lineales con espaciamiento horizontal libre.	De preferencia para rocas sedimentarias. Profundidad efectiva ± 500 pies hasta profundidad ilimitada.	Mide la profundidad y la continuidad de los estratos. Localiza discontinuidades como las fallas. Proporciona información sobre condiciones estratigráficas.	Se necesita calibrar la velocidad para determinar profundidades.	Alto

El cuidado de los núcleos.

La perforación con diamante es una operación muy costosa. Conviene sacar esta investigación todo el provecho que sea posible. El trabajo empieza con unos registros de la perforación.

Las muestras se colocan en cajas, en un orden de acuerdo a la profundidad; las cajas estarán marcadas con toda claridad, llevando una indicación sobre la procedencia de las muestras: obra, número de sondeo, fecha, profundidad total del sondeo y el orden en que fueron extraídas las muestras de acuerdo a su profundidad.

Todas las cajas se fotografiarán a colores, para evitar o remediar confusiones, finalmente se almacenan en un lugar ventilado, protegidos del agua y del sol, para que así sean conservadas para su examen o para cualquier otra información.

VI.4.2 Los Socavones.

En ocasiones se justifica hacer socavones o pozos a cielo abierto en la fase preliminar de los estudios para túneles, ya que servirán no solo para los estudios subsecuentes sino sobre todo podrán ser útiles como accesos a obras auxiliares del proyecto principal. Un ejemplo en proyectos grandes son los túneles de servicios que se excavan con anterioridad a la excavación de los túneles principales tanto de carreteras como para el ferrocarril. Para los túneles ferrocarrileros cortos, con los accesos a portales nos dan una información muy valiosa en cuanto a calidad y comportamiento de los materiales.

VI.4.3 Las pruebas de campo.

Como parte complementaria de los métodos de exploración directa se hacen pruebas de campo que proporcionan información sobre la resistencia de la roca y las características de su meteorización.

De hecho son pruebas de laboratorio, y solo en casos especiales donde se necesita una primera indicación rápida sobre la calidad de la roca, se justifica el uso en el campo de un aparato de carga de punta y de resistencia a la disgregación.

La prueba de la carga de punta, es un aparato con dos puntas de acero que mediante un gato hidráulico se acercan a presión sobre una muestra, colocada transversalmente. Un manómetro registra la presión hasta el punto de ruptura de la muestra, que permite establecer el índice de carga de punta (I_s).

$$I_s = P / D^2$$

donde: P = la carga necesaria (en gramos) para romper la muestra.

D = el diámetro de la muestra (en milímetros).

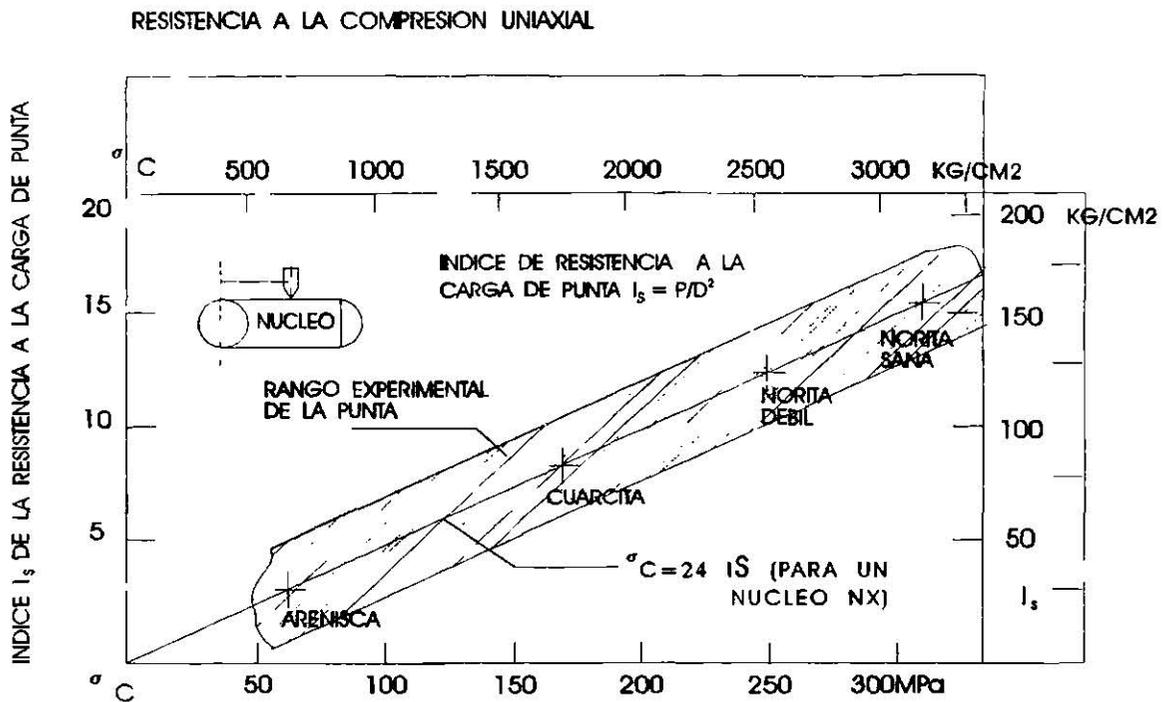
El largo del núcleo sometido a la prueba, no puede ser menos que 1.5 veces su diámetro.

Una relación aproximada entre el índice de carga y la resistencia a la compresión uniaxial σ_C se obtiene por:

$$\sigma_C = (14 + 0.175 D) I_s$$

Bieniawski, hizo una serie de pruebas que permitieron establecer una gráfica comparativa que señala una relación entre el índice de carga de punta y la resistencia a la compresión uniaxial que es:

$$\sigma_C = 24 I_s$$



Relación entre el índice de la resistencia a la carga de punta I_s y la resistencia a la compresión uniaxial. (Según Bieniawski)

La resistencia a la compresión uniaxial estimada mediante el índice de la carga de punta, puede usarse en la clasificación de calidad de roca.

Algunos tipo de roca se intemperizan rápidamente. Entre el momento en que se colocan los núcleos de roca en las cajas de muestras y el momento de estudio petrográfico, quedan reducidos a escombros. Cuando existen dudas sobre si la roca que pretendemos estudiar cae en esta categoría, se puede hacer una prueba de intemperismo acelerado en el campo. Es la prueba de los Angeles donde se compara el peso de fragmentos de roca de determinado tamaño antes y después de haber girado por cierto tiempo en cilindros en agua; la pérdida de peso es el indicio de la resistencia de la roca al meteorismo.

VI.5 Clasificación de los macizos rocosos.

Habiéndose recabado la información preliminar en cuanto a la geología del lugar de un proyecto: tipos de roca, su resistencia a la compresión, su grado de fracturación, discontinuidades fenómenos del flujo del agua, etc., se pasa a la etapa siguiente, que es la clasificación geomecánica de los macizos rocosos que interesan.

Breve reseña histórica.

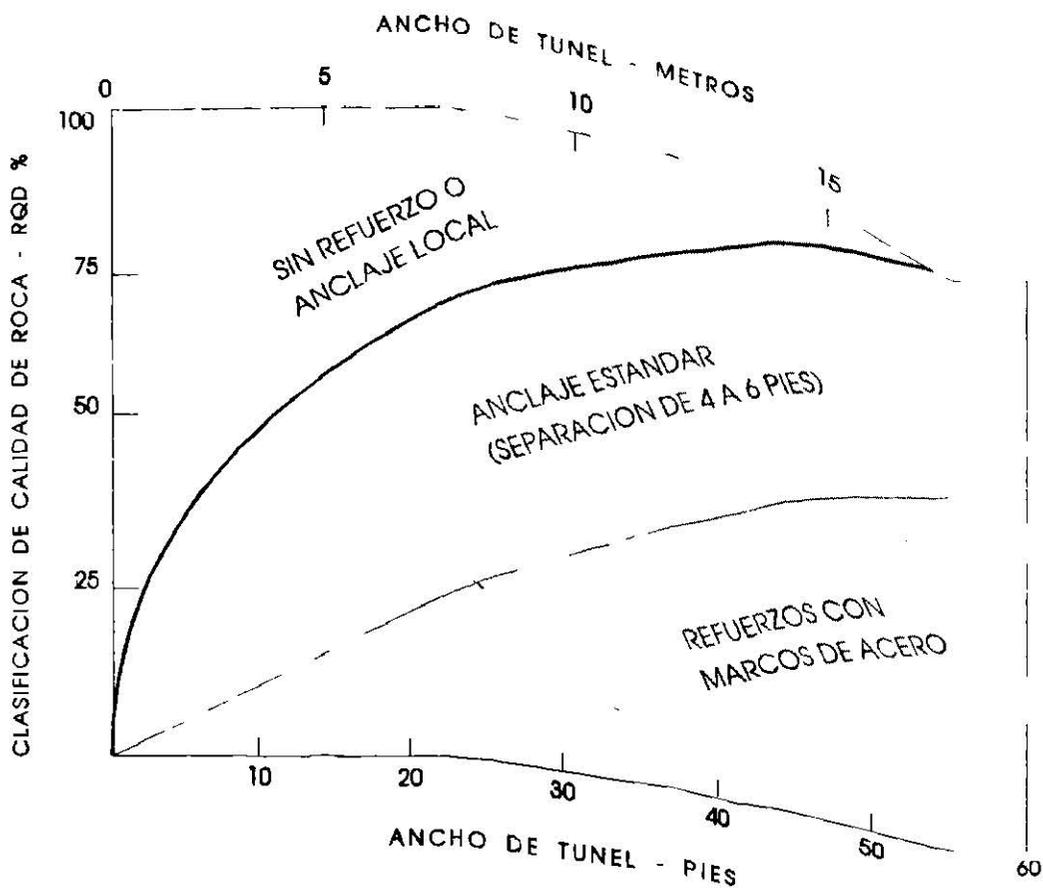
Hasta tiempos relativamente recientes empezó a sentirse la necesidad de clasificar los macizos rocosos para que sirviera de base para los proyectos.

En 1946 Terzaghi fue el primero en proponer un sistema sencillo de clasificación para calcular las cargas que deben soportar los marcos de acero en los túneles. Sus estudios en maquetas y el fruto de sus observaciones personales lo llevaron a determinar teóricamente estas cargas en función de las características del material.

Después de Terzaghi, surgieron otros precursores, entre los que figuran Stini y Lauffer, quienes propusieron otra clasificación de los macizos rocosos no solo en función de la inestabilidad en relación con el tiempo y que es el lapso durante el cual una excavación será capaz de mantenerse abierta sin ademe, sino en relación con lo que Lauffer llama el tiempo de sostén del claro activo en el túnel, que es el claro sin ademe más grande en el túnel entre el frente y los refuerzos.

En 1964 Deere introdujo un índice cuantitativo de la calidad de las rocas basadas en la recuperación de núcleos con perforación de diamante. Es el sistema R.Q.D. (rock quality designation) que es el que se ha utilizado y que hasta la fecha sigue formando parte de los métodos más modernos de clasificación. La R.Q.D. se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras de 10 cm. o más, del largo total del barreno.

$$\text{RQD (\%)} = 100 \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 100 mm}}{\text{Largo del Barreno}}$$



Proposición del uso de la RQD para escoger el sistema de soporte de roca. (Según Merritt)

Pronto saltaría a la vista que el sistema tenía serias limitaciones, más que nada por no tomar en cuenta la influencia de la calidad de las juntas en la estabilidad. Sin embargo, el factor R.Q.D. entra en todas las ecuaciones modernas, por lo que si no se cuenta con los sondeos con diamante, habrá que estimar la R.Q.D. en base a las observaciones de campo. Esta estimación es provisional y aleatoria, ya que no se puede pensar en ningún diseño serio de túnel donde no haya habido estudios geológicos y geofísicos previos, estudios que invariablemente deben de incluir sondeos con recuperación de núcleos.

CLASIFICACION R.Q.D.

R.Q.D.	CALIDAD DE LA ROCA.
< 25 %	MUY MALA (MM)
25 A 50 %	MALA (M)
50 A 75 %	REGULAR (R)
75 A 90 %	BUENA (B)
> 90 %	EXCELENTE (E)

En 1972 Brekke y Howard, habiéndose percatado que aún más importante que la calidad de la roca en sí, esta la calidad de las discontinuidades que la divide en bloques, distinguieron las siguientes clases de juntas:

- 1.- Las juntas soldadas, generalmente por precipitaciones y cristalizaciones secundarias. Estas juntas pueden ser de igual, de menor o de mayor resistencia que el material circundante.
- 2.- Discontinuidades limpias, o sea sin rellenos ni recubrimiento.
- 3.- Los rellenos de calcita, en cristales o en hojuelas que puedan disolverse durante el tiempo de vida de una excavación subterránea y hacer que el túnel que estuviera inicialmente estable, se torne inestable.

- 4.- Los rellenos de clorita, de talco o de grafito que hacen las juntas muy resbalosas especialmente cuando están húmedas.
- 5.- La arcilla inerte, que puede comprimirse o lavarse.
- 6.- Las arcillas expansivas que pueden causar problemas por la expansión libre y la pérdida consecuente de resistencia o por la formidable presión expansiva cuando están confinadas.
- 7.- Un material que se ha alterado en otro material de menor cohesión y puede causar problemas de estabilidad. Ejemplo, roca que se transforma en arena.

Es la combinación de los estudios de Deere, Brekke y Howard, la que llevó a los dos métodos modernos de clasificación de los macizos rocosos, el método CSIR y el NGI.

VI.5.1 Clasificación CSIR.

El método CSIR (SOUTH AFRICAN COUNCIL FOR SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH), fue desarrollado por Bieniawski en 1974, en base a una clasificación que fuera sencilla en sus términos y se apoyara en parámetros que se dejarán medir y puedan establecerse en el campo de manera rápida y económica. Para lograrlo, estableció cinco parámetros básicos que incluyen:

1.- La resistencia de la roca inalterada, para lo cual emplea la clasificación de la resistencia a la compresión uniaxial que proponen Deere y Miller según la tabla siguiente:

CLASIFICACION DE LA RESISTENCIA DE ROCA INALTERADA DE DEERE Y MILLER.

DESCRIPCION	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL Kg/cm²	EJEMPLOS DE ROCA TIPICA
Resistencia muy baja	10 - 250	Yeso, Sal de roca
Resistencia baja	250 - 500	Carbón, Lutita y Exquistos
Resistencia media	500 - 1,000	Arenisca y Pizarra
Resistencia alta	1000 - 2,000	Mármol, granito, gneiss
Resistencia muy alta	> - 2,000	Cuarcita, Dolerita, Gabro, Basalto

2. La RQD (Indice de Calidad de Roca) según Deere.

3. El espaciamiento de las fisuras, según la Tabla que sigue también de Deere.

DESCRIPCION	ESPACIAMIENTO DE JUNTAS	APRECIACION DE LA ROCA
Muy separado	> 3 mts	Sólida
Separado	1mt. a 3 mts	Masiva
Bastante Cerca	0.3 mt a 1 mts	Bloques junteado
Cerca	50 mm a 300mm.	Fracturada
Muy Cerca	< 50 mm.	Triturada y Molida

4. El estado de las fisuras, que toma en cuenta la separación o abertura de las fisuras, su continuidad, la rugosidad de su superficie, el estado de las paredes (duras o blandas), y la presencia del relleno de las fisuras.

5. Las condiciones del agua subterránea.

A continuación se presenta una tabla que señala la valorización que se da numéricamente a cada uno de los parámetros, junto con un ajuste por la orientación de las discontinuidades, y de la interpretación que se le da a la suma y resta de las diferentes valorizaciones, lo que se traduce en cinco categorías de calidad de roca y en el tiempo de sostén para cada una de ellas.

CLASIFICACION GEOMECANICA CSIR DE ROCA JUNTEADA

A: CLASIFICACION DE LOS PARAMETROS Y SU VALUACION

PARAMETRO		ESCALAS DE EVALUACION							
1	RESISTENCIA DE LA ROCA INALTERADA	INDICE DE LA CARGA DE PUNTA	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la compresión uniaxial.		
		RESISTENCIA A COMPRESION UNIAxIAL	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
		VALUACION	15	12	7	4	2	1	0
2	CALIDAD DE CORAZONES EXPLORACION RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
		VALUACION	20	17	13	8	3		
3	ESPACIAMIENTO DE JUNTAS		> 3 m	1 - 3 m	0.3 - 1 m	50 - 300 mm	< 50 mm		
		VALUACION	30	25	20	10	5		
4	ESTADO DE LAS JUNTAS		SUPERFICIES MUY RUGOSAS, SIN CONTINUIDAD, SIN SEPARACION, PAREDES DE ROCA DURA	SUPERFICIES ALGO RUGOSAS, SEPARACION <1mm, PAREDES DE ROCA DURA.	SUPERFICIES ALGO RUGOSAS, SEPARACION <1mm, PAREDES DE ROCA SUAVE.	SUPERFICIES PULIDAS O RELLENAS <5mm ESP. O FISURAS ABIERTAS 1-5 mm, FISURAS CONTINUAS	RELLENO BLANDO > 5 mm. O FISURA ABIERTAS > 5 mm. FISURAS CONTINUAS		
			VALUACION	25	20	12	6	0	
5	AGUAS SUBTERRANEAS	CANTIDAD DE INFILTRACION POR 10 M. DE TUNEL	NINGUNA		< 25 LTS/MIN	25-125 LTS/MIN	> 125 LTS/MTS		
		RELACION PRESION DE AGUA EN LAS FISURAS	CERO		0.0-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR	TOTALMENTE SECO		SOLO HUMEDO (AGUA DE INTERSTICIOS)	LIGERA PRESION DE AGUA	SERIOS PROBLEMAS DE AGUA		
		SITUACION GENERAL	TOTALMENTE SECO		SOLO HUMEDO (AGUA DE INTERSTICIOS)	LIGERA PRESION DE AGUA	SERIOS PROBLEMAS DE AGUA		
	VALUACION	10		7	4	0			

B: AJUSTE EN LA VALUACION POR ORIENTACION DE FISURAS.

ORIENTACION DE RUMBO Y ECHADO DE LAS FISURAS		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	REGULAR	DEFAVORABLE	MUY DEFAVORABLE
VALUACION	TUNELES	0	- 2	- 5	- 10	- 12
	CIMENTACIONES	0	- 2	- 7	- 15	- 25
	TALUDES	0	- 5	- 25	- 50	- 60

C: CLASIFICACION DE ROCAS SEGUN EL TOTAL DE VALUACION.

VALUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
CLASIFICACION No.	I	II	III	IV	V
DESCRIPCION	MUY BUENA ROCA	BUENA ROCA	ROCA REGULAR	ROCA MALA	ROCA MUY MALA

D: SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACION DEL MACISO ROCOSO.

CLASIFICACION No.	I	II	III	IV	V
TIEMPO MEDIO DE SOSTEN	10 AÑOS PARA CLARO DE 5m	6 MESES PARA CLARO DE 4m	1 SEMANA PARA CLARO DE 3m	5 HORAS PARA CLARO DE 1.5m	10 MINUTOS PARA CLARO DE 0.5 m.
COHESION DE LA ROCA	> 300 KG.Pa	200-300 KG.Pa	150-200KG.Pa	100-150KG.Pa	<100 KG.Pa
ANGULO DE FRICCION DE LA ROCA	> 45o	40o - 45o	35o - 40o	30o - 35o	< 30o

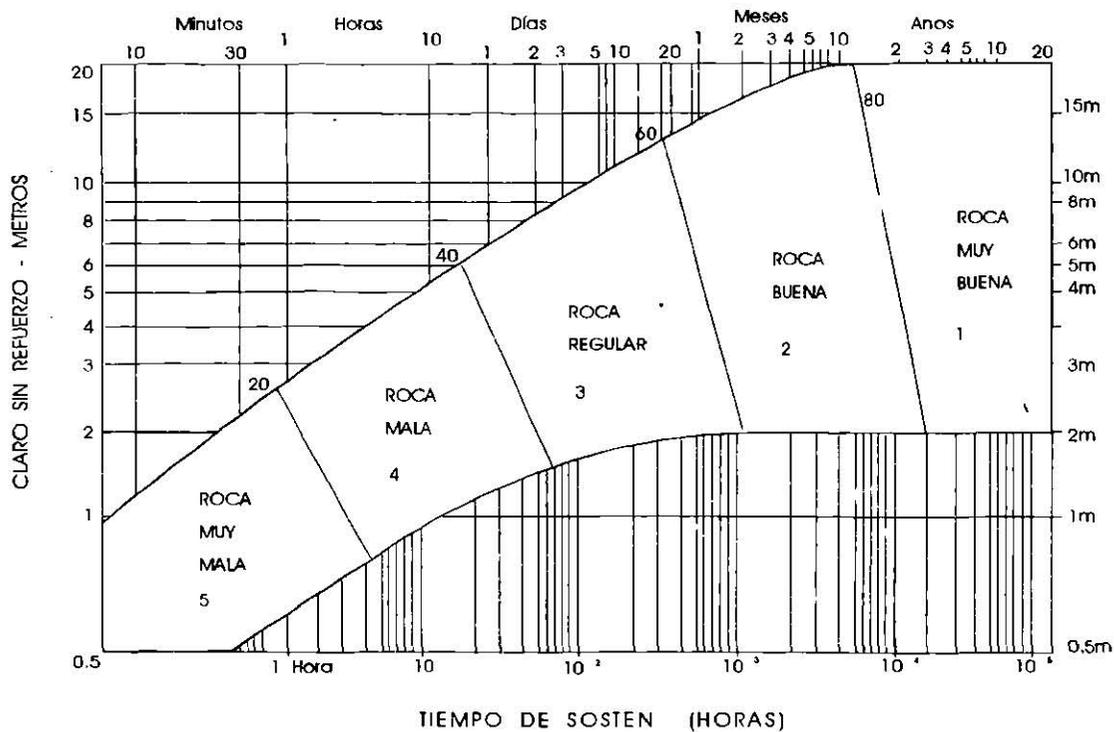
EXCAVACION SUBTERRANEA SIN ADENE Y LA CLASIFICACION GEOMECANICA CSIR PROPUESTA POR BIENIAWSKI.

La siguiente tabla señala el efecto del rumbo y del echado de las discontinuidades en un túnel. para poder aplicar el ajuste al resultado de la suma de lo valores de los 5 parámetros ya descritos con anterioridad.

EL EFECTO DEL RUMBO Y DEL ECHADO DE LAS FISURAS EN LOS TUNELES.

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL				RUMBO PARALELO AL EJE DEL TUNEL		ECHADO DE 0 - 20° INDEPENDIENTE DEL RUMBO
PENETRACION EN EL SENTIDO DEL ECHADO.		PENETRACION CONTRA EL ECHADO.		ECHADO 45° - 90°	ECHADO 20° - 45°	
ECHADO 45° - 90°	ECHADO 20° - 45°	ECHADO 45° - 90°	ECHADO 20° - 45°	ECHADO 45° - 90°	ECHADO 20° - 45°	
MUY FAVORABLE	FAVORABLE	REGULAR	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE	REGULAR	DESFAVORABLE

Finalmente se presenta la gráfica donde Bieniawski señala la relación entre el tiempo de sostén de un claro o de una excavación subterránea sin ademe y la clasificación geomecánica CSIR.



RELACION ENTRE EL TIEMPO DE SOSTEN DE UN CLARO DE UNA EXCAVACION SUBTERRANEA SIN ADEME Y LA CLASIFICACION GEOMECANICA CSIR PROPUESTA POR BIENIAWSKI.

VI.5.2 El índice de calidad de NGI.

Paralelamente al trabajo de Bieniawski, el "Norwegian Geotechnical Intitute" (NGI) con los investigadores Barton, Lien y Lunde, propuso un índice para determinar la calidad de un macizo rocoso en la excavación de túneles. El valor numérico de este índice Q se define por:

$$Q = (RQD/J_n) (J_r/J_a) (J_w/SRF)$$

Donde:

RQD = Es el índice de calidad de la roca de Deere

J_n = Es el número de sistema de juntas (joint set number).

J_r = Es el número de rugosidades de las fisuras (joint roughness numbere).

J_a = Es el número de alteración de las fisuras (joint alteration number).

J_w = Es el factor de reducción por la presencia de agua en las juntas (joint water reduction fáctor)

SRF = Es el factor de reducción por esfuerzos (stress reduction factor).

En las tablas de las páginas 56 a 59 se señalan los parámetros individuales para cada uno de los conceptos anteriores.

Al aplicarse los valores se hace patente que la ecuación se reduce en realidad a solo tres parámetros que son :

- 1.- El tamaño de los bloques (RQD/J_n)
- 2.- La resistencia al esfuerzo cortante entre los bloques (J_r/J_a).
- 3.- Los esfuerzos activos (J_w/SRF).

El índice de calidad NGI, por la gran cantidad de eventualidades que contempla, da la impresión de ser más complicado que la clasificación CSIR. Sin embargo este no es el caso y se recomienda que para cualquier estudio se apliquen los dos sistemas .

Generalmente las conclusiones de ambos sistemas son similares y donde hay divergencias hay que verlas como una información complementaria.

Clasificación de los parámetros individuales empleados en el índice de calidad de túneles.

DESCRIPCION	VALOR	NOTAS
1. INDICE DE CALIDAD DE ROCA	RQD	
A. MUY MALA	0 - 25	1. Donde RQD se reporta o es medido como siendo ≤ 10 (inclusivo o), se le otorga un valor nominal de 10 aplicable a Q
B. MALA	25 - 50	
C. REGULAR	50 - 75	
D. BUENA	75 - 90	
E. EXCELENTE	90 - 100	
		2. Intervalo de 5 para RQD. o sea 100, 95, 90, etc. son suficientemente precisos.
2. NUMERO SE SISTEMAS DE FISURAS	J_n	
A. MASIVO, SIN O CON POCAS FISURAS	0.5 - 1.0	
B. UN SISTEMA DE FISURAS	2	
C. UN SISTEMA DE FISURAS + UNA AISLADA	3	
D. DOS SISTEMAS DE FISURAS	4	
E. DOS SISTEMAS DE FISURAS + UNA AISLADA	6	1. Para cruces en túneles utilizar ($3 \times J_n$)
F. TRES SISTEMAS DE FISURAS	9	
G. TRES SISTEMAS DE FISURAS + UNA AISLADA	12	2. Para portales utilizar ($2 \times J_n$)
H. CUATRO O MAS SISTEMAS DE FISURAS, FISURACION INTENSA, ETC.	15	
J. ROCA TRITURADA, TERREGAL.	20	
3. NUMERO DE RUGOSIDAD DE LAS FISURAS	J_r	
<i>a) CONTACTO EN LAS PAREDES.</i>		
<i>b) CONTACTO EN LAS PAREDES ANTES DE UN CIZALLEO DE 10 cm.</i>		
A. FISURAS SIN CONTINUIDAD.	4	
B. RUGOSAS O IRREGULARES, CORRUGADAS	3	1. Añade 1.0 si el espaciamiento medio del sistema de juntas es mayor de 3 m.
C. SUAVES, CORRUGACION SUAVE	2	
D. RELIZ DE FALLA. O SUPERFICIE DE FRICCION CON ONDULACION.	1.5	
E. RUGOSAS O IRREGULARES PERO PLANAS	1.5	
F. LISAS Y PLANAS.	1.0	
G. RELIZ DE FALLA O SUPERFICIE DE FRICCION PLANA.	1.5	

I) SIN CONTACTO DE PARED DESPUES DE UN CIZALLEO.		2 $J_f = 0.5$ se puede usar para fisuras de fricción planas y que tengan alineaciones con la condición de que éstas estén orientadas para resistencia mínima
H. ZONA QUE CONTIENE MINERALES ARCILLOSOS DE ESPESOR SUFICIENTE PARA IMPEDIR EL CONTACTO DE PAREDES.	1.0	
J. ZONA ARENOSA. DE GRAVA O ROCA TRITURADA DE ESPESOR SUFICIENTE PARA IMPEDIR EL CONTACTO DE PAREDES.	1.0	

	J_a	ϕ_r (APROX.)	
4. NUMERO DE ALTERACION DE LAS JUNTAS			
a) CONTACTO EN LAS PAREDES DE ROCA			
A. RELLENO SOLDADO, DURO, INABLANDABLE, IMPERMEABLE.	0.75		
B. PAREDES INALTERADAS, SOLO CON MANCHAS DE SUPERFICIE.	1.0	(25° - 35°)	1. Los valores de ϕ_r , el ángulo de fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si es que están presentes.
C. PAREDES LIGERAMENTE ALTERADAS. CON RECUBRIMIENTO DE MINERALES INABLANDABLES. PARTICULAS ARENOSAS, ROCA TRITURADA SIN ARCILLA.	2.0	(25° - 30°)	
D. RECUBRIMIENTOS LIMOSOS O ARENO-ARCILLOSOS, PEQUEÑAS PARTICULAS DE ARCILLA (INABLANDABLE).	3.0	(20° - 25°)	
E. RECUBRIMIENTOS ABLANDABLES O CON ARCILLA DE BAJA FRICCIÓN O SEA CAOLINITA O MICA. TAMBIEN CLORITA, TALCO, YESO Y GRAFITO, ETC Y PEQUEÑAS CANTIDADES DE ARCILLAS EXPANSIVAS (RECUBRIMIENTOS SIN CONTINUIDAD DE 1-2 MM. DE ESPESOR O MENOS)	4.0	(8° - 16°)	
b) CONTACTO EN LAS PAREDES ANTES DE UN CIZALLEO DE 10 cm.			
F. PARTICULAS ARENOSAS, ROCA DESINTEGRADA SIN ARCILLA, ETC.	4.0	(25° - 30°)	
G. RELLENOS DE MINERALES ARCILLOSOS MUY CONSOLIDADOS E INABLANDABLES (CONTINUOS <5mm. DE ESPESOR)	6.0	(16° - 24°)	
H. RELLENOS DE MINERALES ARCILLOSOS DE CONSOLIDACION MEDIA O BAJA (CONTINUOS. <5mm. DE ESPESOR).	8.0	(8° - 16°)	
I. RELLENOS DE ARCILLAS EXPANSIVAS. O SEA MONTMORILLONITA (CONTINUOS, <5mm. DE ESPESOR). EL VALOR J_a DEPENDE DEL PORCENTAJE DE LAS PARTICULAS EXPANSIVAS Y DEL ACCESO AL AGUA.	8.0 - 12.0	(6° - 12°)	

	J_a	ϕ_r (APROX.)
c) SIN CONTACTO DE LAS PAREDES DESPUES DEL CIZALLADO		
K ZONAS O CAPAS DE ROCA Y ARCILLA DESINTEGRADA.	6.0	
L O TRITURADA (ve áse G.H. y J para	8.0	
M CONDICIONES DE ARCILLA)	0.8 - 12.0	(6° - 24°)
N ZONAS O CAPAS DE ARCILLA LIMOSA O ARENOSA, PEQUEÑAS FRACCIONES DE ARCILLA (INABLANDABLE)	5.0	
Q ZONAS O CAPAS GRUESAS		
P DE ARCILLA (ve áse G.H. y J para	10.0 - 13.0	
R LAS CONDICIONES DE LA ARCILLA	13.0 - 20.0	(6° - 24°)

	J_w	PRESION APROX. DEL AGUA (K g f / c m ²)	
5 FACTOR DE REDUCCION POR AGUA EN LAS FISURAS.			
A EXCAVACION SECA O POCA INFILTRACION. O SEA <5 Lit/min. LOCALMENTE.	1.0	<1.0	
B INFILTRACION O PRESION MEDIANAS CON LAVADO OCACIONAL DE LOS RELLENOS.	0.66	1.0 - 2.5	
C GRAN INFILTRACION O PRESION ALTA EN ROCA COMPETENTE CON JUNTAS SIN RELLENO.	0.50	2.5 - 10.0	
D GRAN INFILTRACION O PRESION ALTA, LAVADO IMPORTANTE DE LOS RELLENOS.	0.33	2.5 - 10.0	1. Los factores C a F son estimaciones aproximadas. Aumente J_w si se instalan drenes.
E INFILTRACION O PRESION EXCEPCIONALMENTE ALTAS CON LAS VOLCADURAS, DISMINUYENDO CON EL TIEMPO.	0.2 - 0.1	>10	2. Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración.
F INFILTRACION O PRESION EXCEPCIONALMENTE ALTAS EN TODO MOMENTO.	0.1 - 0.05	>10	

6 FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS (SRF)		
a) ZONAS DE DEBILIDAD QUE INTERSECAN LA EXCAVACION Y QUE PUEDEN SER LA CAUSA DE QUE EL MACISO SE DESTABILICE CUANDO SE CONSTRUYE EL TUNEL	SRF	1. Redúzcanse estos valores SRF de 25 - 50% si las zonas de fracturas sólo intersectan pero no cruzan la excavación.
A MULTIPLES ZONAS DE DEBILIDAD QUE CONTENGAN ARCILLA O ROCA QUIMICAMENTE DESINTEGRADA, ROCA CIRCUNDANTE MUY SUELTA (CUALQUIER PROFUNDIDAD).	100	

		SRF			
B	ZONAS DE DEBILIDAD AISLADAS QUE CONTENGAN ARCILLA O ROCA QUIMICAMENTE DESINTEGRADA (PROFUNDIDAD DE EXCAVACION ~ 50 m).		5.0	2. Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópicos (si se miden): cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, redúzcase σ_c a $0.8 \sigma_c$ y σ_t a $0.8 \sigma_t$. Cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, redúzcase σ_c y σ_t a $0.6 \sigma_c$ y $0.6 \sigma_t$, donde σ_c = fuerza compresiva no confinada, y σ_t = fuerza de tensión (carga de punta) y σ_1 y σ_3 son las fuerzas mayores y menores principales.	
C	ZONAS DE DEBILIDAD AISLADAS QUE CONTENGAN ARCILLA O ROCA QUIMICAMENTE DESINTEGRADA (PROFUNDIDAD DE EXCAVACION ~ 50m).		2.5		
D	MULTIPLES ZONAS DE FRACTURAS EN ROCA COMPETENTE (SIN ARCILLA), ROCA CIRCUNDANTE SUELTA (CUALQUIER PROFUNDIDAD)		7.5		
E	ZONAS DE FRACTURAS AISLADAS EN ROCA COMPETENTE (SIN ARCILLA), (PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACION < 50m.)		5.0		
F	ZONAS DE FRACTURAS AISLADAS EN ROCA COMPETENTE (SIN ARCILLA), (PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACION > 50m.)		2.5		
G	FISURAS ABIERTAS SUELTAS, FISURACION INTENSA (CUALQUIER PROFUNDIDAD).		5.0		
<i>b) ROCA COMPETENTE, PROBLEMAS DE ESFUERZOS</i>					
		σ_2/σ_1	σ_2/σ_1	SRF	
H	ESFUERZO BAJO CERCA DE LA SUPERFICIE	> 200	> 3	2.5	3. Hay pocos casos reportados donde el techo abajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5 para estos casos (vea H.)
J	ESFUERZO MEDIANO	200-10	13-0.6	1.0	
K	ESFUERZO GRANDE ESTRUCTURA MUY CERRADA (GENERALMENTE FAVORABLE PARA LA ESTABILIDAD PUEDE SER DESFAVORABLE PARA LA ESTABILIDAD DE LAS TABLAS)	10-5	0.66-0.33	0.5-2	
L	DESPRENDIDO MODERADO DE LA ROCA (ROCA MASIVA)	5-2.5	0.33-0.16	5.-10	
M	DESPRENDIDO INTENSO DE LA ROCA (ROCA MASIVA)	< 2.5	0.16	10-20	
<i>c) ROCA COMPRESIVA, FLUJO PLASTICO DE ROCA INCOMPETENTE BAJO LA INFLUENCIA DE PRESIONES ALTAS DE LA ROCA</i>					
				SRF	
N	PRESIONES COMPRESIVAS MODERADAS			5-10	
Q	PRESIONES COMPRESIVAS ALTAS			10-20	
<i>d) ROCA EXPANSIVA, ACCION QUIMICA EXPANSIVA DEPENDIENDO DE LA PRESENCIA DE AGUA</i>					
P	PRESIONES EXPANSIVAS MODERADAS			5-10	
R	PRESIONES EXPANSIVAS ALTAS			10-20	

NOTAS COMPLEMENTARIAS PARA EL USO DE LAS TABLAS

Al estimar la calidad de la roca (Q) se seguirán las siguientes instrucciones complementarias a las notas indicadas en la tabla:

1.- *Cuando no se dispone de núcleos de perforación, se podrá estimar la RQD por la cantidad de fisuras por unidad de volumen, en la que la tabla de juntas se suman. Una simple relación podrá usarse para convertir esta cantidad en RQD para una roca sin arcilla.*

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v \text{ (aprox.) donde } J_v = \text{cantidad total de fisuras por mt}^3. \\ (\text{RQD} = 100 \text{ para } J_v < 4.5)$$

2.- *El parámetro J_n (que representa la cantidad de sistemas de fisuras) estará afectado muchas veces por foliación, esquistosidad, crucero poroso o estratificación etc. Cuando están muy evidentes estas fisuras paralelas deberán considerarse como sistemas completos de fisuras. Sin embargo, si hay pocas fisuras visibles, o si no hay más que interrupciones ocasionales en el núcleo debido a estas características, será más correcto contarlos como "fisuras aisladas" cuando se evalúa J_n .*

3.- *Los parámetros J_r y J_a (que representan el esfuerzo cortante) deben referirse al sistema de fisuras o a la discontinuidad con relleno de arcilla más débiles de la zona que se examina. Sin embargo, cuando el sistema de fisuras o una discontinuidad con la valuación mínima (J_r/J_a) tiene una orientación favorable para la estabilidad, otro sistema o discontinuidad con una orientación menos favorable puede ser mas sobresaliente, y su valor mas grande de (J_r / J_a) se usará el valor Q de hecho, el valor*

de (J_r / J_a) se relaciona a la superficie en la que más probablemente comenzará la inestabilidad.

4.- Cuando un maciso contiene arcilla, se aplicara el factor SRF para roca que se puede desestabilizar.(6.a.). En estos casos la resistencia de la roca inalterada es de poco interés. Sin embargo, cuando las fisuras son pocas y no hay arcilla, la resistencia de la roca inalterada puede ser el eslabón más débil y la estabilidad dependerá de la relación esfuerzo-roca / resistencia-roca. Un campo de esfuerzos fuertemente anisotrópicos es desfavorable para la estabilidad y se toma esto en cuenta en forma aproximada a la nota 2 de la tabla para valuar el valor de reducción de esfuerzos.

5.- La resistencia a la compresión y a la tensión (σ_c y σ_t) de la roca inalterada deberán evaluarse en un ambiente saturado si así corresponde a las condiciones in situ presente o futuras. Se hará una estimación muy conservadora de la resistencia para aquellas rocas que se alteran cuando se exponen a la humedad o a un ambiente saturado.

Una vez determinado el valor Q y para poder relacionar este valor con el comportamiento de una excavación subterránea, Barton, Lien y Lunde ,le aplican un elemento cuantitativo adicional que llamaron "la dimensión equivalente De" de la excavación. Esta dimensión se obtiene al dividir el ancho, diámetro o altura de la excavación por una cantidad llamada relación de soporte de la excavación.(ESR: excavation support ratio).

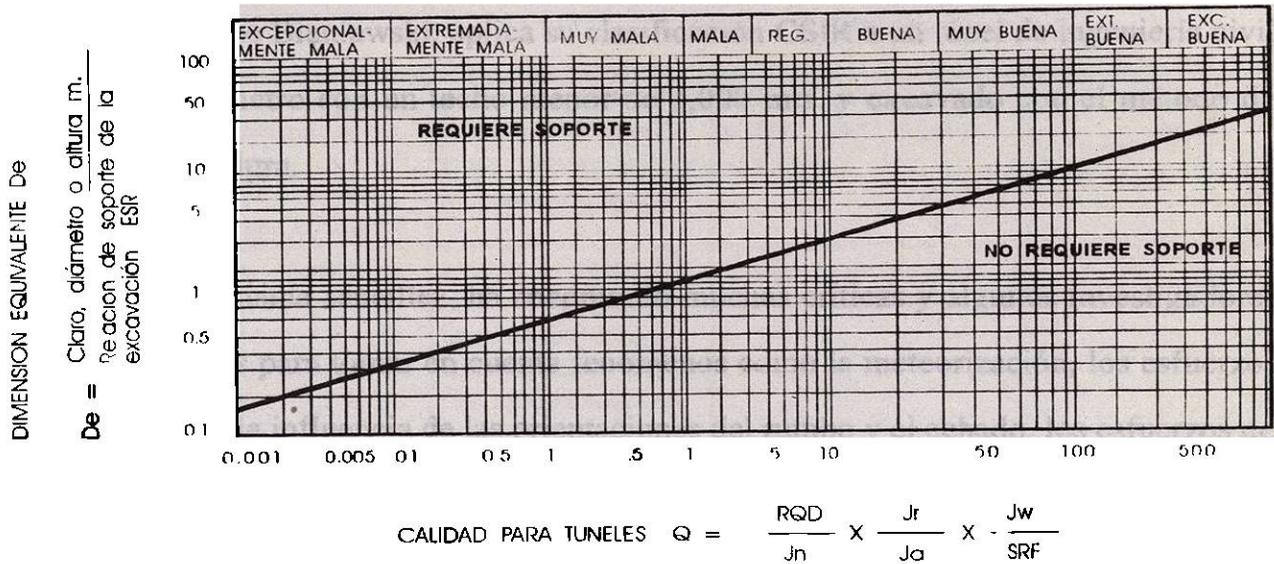
Luego :

$$\text{De} = \frac{\text{Ancho de excavación, diámetro o altura (mts.)}}{\text{Relación de soporte de la excavación (ESR).}}$$

La relación de soporte de la excavación ESR tiene que ver con el uso que se pretende dar a la excavación y hasta donde se le puede permitir cierto grado de inestabilidad. Barton da los siguientes valores supuestos para ESR.

TIPO DE EXCAVACIÓN.	ESR.
A. Excavaciones mineras provisionales	3 - 5
B. Excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
C. Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1.3
D. Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túneles.	1.0
E. Estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas.	0.8

En la siguiente figura, Barton, Lien y Lunde representan gráficamente la relación entre la dimensión equivalente máxima "De" de una excavación subterránea sin ademe y el índice "Q" de la calidad para un túnel. NGI.



RELACION ENTRE LA DIMENSION EQUIVALENTE MAXIMA De DE UNA EXCAVACION SUBTERRANEA SIN ADEME Y DEL INDICE Q DE LA CALIDAD PARA TUNELES. (Según Barton, Lien y Lunde)

VI.6 La clasificación Geomecánica y las predicciones de refuerzos para túneles.

Las clasificaciones geomecánicas CSIR y NGI son útiles para las predicciones de los refuerzos que necesitará una excavación subterránea y hasta cierto punto también para prever los procedimientos de construcción.

En la tabla que sigue Bieniawski, aplica su clasificación CSIR a un túnel de ingeniería civil de 10 mts. de diámetro con un techo menor de 1,000 mts. y excavado con el método de barrenación y voladura.

Esta tabla por su misma sencillez, ha encontrado muchas críticas y algunos investigadores aplican coeficientes para tomar en cuenta fenómenos como la meteorización, los esfuerzos inducidos e insitu, la influencia de las orientaciones del rumbo y el echado, los esfuerzos de las voladuras, etc. Pero no se debe de olvidar que las clasificaciones nunca podrán ser valores absolutos, sino buenas indicaciones. Por lo tanto, las predicciones no pueden pretender dar mas que buenas indicaciones, también estas se mejorarán en base al buen criterio y a la experiencia del proyectista o del contratista ante el diseño o la construcción.

TABLA: GUIA DE CLASIFICACION GEOMECANICA PARA LA EXCAVACION Y EL ADEME EN TUNELES EN ROCA FORMA: HERRADURA; ANCHO: 10 M; ESFUERZO VERTICAL: MENOS DE 25 MPa; METODO DE CONSTRUCCION: BARRENACION Y VOLADURA.

CLASE DE MACISO ROCOSO	EXCAVACION	ANCLAS (DIAM.20 MM. ADHESION TOTAL)	ADEME CONCRETO LANZADO	MARCOS DE ACERO
ROCA MUY BUENA I RMR-81-100	SECCION COMPLETA PROGRESIONES DE 3 M.	GENERALMENTE NO SE NECESITA ADEME EXCEPTO ALGUNAS ANCLAS PARA REFUERZO LOCAL.		
ROCA BUENA II RMR:61-80	SECCION COMPLETA PROGRESIONES DE 1.0-1.5 M. REFUERZO TOTAL A 20 M. DEL FRENTE.	ANCLAS LOCALES EN LA CLAVE 3 M. DE LARGO Y ESPACIAMIENTO DE 2.5 CON MALLA OCASIONAL.	50 MM. EN LA CLAVE DONDE FUERA NECESARIO.	NO
ROCA REGULAR III RMR 41-60	MEDIA SECCION Y BANQUEO, PROGRESIONES DE 1.5 A 3 M. EN LA MEDIA SECCION. ALGUNOS REFUERZOS DESPUES DE CADA VOLADURA. REFUERZOS COMPLETOS A 10 M. DEL FRENTE	ANCLAS SISTEMATICAS DE 4 M. DE LARGO, ESPACIAMIENTO 1.5 A 2 M. EN LA CLAVE Y LAS TABLAS CON MALLA EN LA CLAVE.	50-100 MM. EN LA CLAVE, 30 MM. EN LAS TABLAS.	NO
ROCA MALA IV RMR: 21-40	MEDIA SECCION Y BANQUEO, PROGRESIONES DE 1.0 MA 1.5 M. EN LA MEDIA SECCION HAY QUE INSTALAR LOS REFUERZOS CONFORME EL AVANCE, A 10 M. DEL FRENTE	ANCLAS SISTEMATICAS DE 4 A 5 M. DE LARGO ESPACIAMIENTO 1 A 1.5 EN LA CLAVE Y EN LAS TABLAS, CON MALLA.	100 A 150 MM. EN LA CLAVE Y 100 MM. EN LAS TABLAS.	MARCOS LIGEROS, SEPARADOS 1.5 M. DONDE HAGAN FALTA.
ROCA MUY MALA V RMR: 20	ETAPAS MULTIPLES. AVANCES DE 0.5 A 1.5 M. EN LA MEDIA SECCION. INSTALACION DE LOS REFUERZOS CONFORME AL AVANCE. CONCRETO LANZADO A LA MAYOR BREVEDAD DESPUES DE LAS VOLADURAS.	ANCLAS SISTEMATICAS DE 5 A 6 M. DE LARGO, ESPACIAMIENTO 1-1.5 M. EN LA CLAVE Y EN LAS TABLAS, CON MALLA. ANCLAS EN LA PLANTILLA.	150 A 200 MM. EN LA CLAVE. 150 MM. EN LAS TABLAS Y 50 MM EN EL FRENTE.	MARCOS MEDIANOS A PESADOS ESPACIAMIENTO 0.75 M. CON ESTACAS Y JAULA DE ARDILLA DONDE SE NECESITEN. SELLAR LA CUBETA.

Con las mismas reservas que se hicieron para la aplicación de la clasificación CSIR a la tabla anterior, se transcribe a continuación la tabla donde se aplica la clasificación NGI a las predicciones de los refuerzos que se necesitarán en un túnel determinado en un macizo rocoso del que se estableció la calidad Q.

Esta tabla es más completa que la anterior en lo que preve más dimensiones y situaciones. Viene además acompañada de aclaraciones de sus mismos autores (Barton, Lien y Lunde) y de notas complementarias de Hoek y Brown. A pesar de su aparente complejidad no resulta mucho más difícil consultar que la anterior.

TABLA: ADEME RECOMENDADO CON BASE EN EL INDICE Q DE CALIDAD NGI

CALIDAD Q DEL MACIZO ROCOSO	claro ESR	TAMAÑO DE LOS BLOQUES	$\frac{RQD}{Jn}$	RESISTENCIA ENTRE BLOQUES $\frac{Jr}{Ja}$	PRENSION DE SOPORTE APROX p MPa	REFUERZOS LOCALES CON VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR	VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR EN CUADRICULA INDICADA	ANCLAS TENSADAS EN CUADRICULA INDICADA	MALLA DE ESLABONES FIJADA A LAS ANCLAS Y PUNTOS INTERMEDIOS	CONCRETO LANZADO APLICADO DIRECTAMENTE SOBRE LA ROCA, ESPESOR INDICADO	CONCRETO LANZADO REFORZADO CON MALLA SOLDADA, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO COLADO SIN ARMAR ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO ARMADO COLADO, ESPESOR INDICADO	NOTAS POR BARTON, LIEN Y LUNDE	NOTAS POR HOEK Y BROWN
1000 400	20- 100				< 0.001									1	a
400 100	12- 88				0.005									1	a
100 40	8.5 -19	≥ 20			0.025									1	a
100 40	8.5 -19	< 20			0.025		25 3 m								
100 40	14 -30	≥ 30			0.025		2- 3 m								
100 40	14 -30	< 30			0.025		1.5 -2 m								b
100 40	23 -72	≥ 30			0.025		2- 3 m								
100 40	23 -72	< 30			0.025		1.5 -2 m								b
40 10	5- 14	≥ 10	≥ 1.5		0.05									2	
40 10	5- 14	≥ 10	< 1.5		0.05		1.5 -2 m							2	
40 10	5- 14	< 10	≥ 1.5		0.05		1.5 -2 m							2	
40 10	5- 14	< 10	< 1.5		0.05		1.5 -2 m			20 - 30 mm				2	
40 10	15- 23	≥ 10			0.05		1.5 -2 m							2, 3	b
40 10	15- 23	< 10			0.05		1.5 -2 m			50 - 100 mm				2, 3	c
40 10	9- 15				0.05		1.5 -2 m							2, 4	b
40 10	15 -40	> 10			0.05		1.5 -2 m							2, 3, 5	b
40 10	15 -40	≤ 10			0.05		1.5 -2 m			50 - 100 mm				2, 3, 5	c
40 10	30 -65	> 15			0.05		1.5 -2 m							2, 6 7, 13	b
40 10	30 -65	≤ 15			0.05		1.5 -2 m			100 - 150 mm				2, 6 7, 13	c

TABLA: ADEME RECOMENDADO CON BASE EN EL INDICE Q DE CALIDAD NGI

CALIDAD Q DEL MACIZO ROCOSO	claro ESR EQUIVALENTE DE DIMENSION	TAMAÑO DE LOS BLOQUES RQD Jn.	RESISTENCIA ENTRE BLOQUES Jr Ja	PRESION DE SOPORTE APPROX. p MPa	REFUERZOS LOCALES CON VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR	VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR EN CUADRICULA INDICADA	ANCLAS TENSADAS EN CUADRICULA INDICADA	MALLA DE ESLABONES FIJADA A LAS ANCLAS Y PUNTOS INTERMEDIOS	CONCRETO LANZADO APLICADO DIRECTAMENTE SOBRE LA ROCA, ESPESOR INDICADO.	CONCRETO LANZADO REFORZADO CON MALLA SOLDADA, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO COLADO, SIN ARMAR, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO ARMADO COLADO, ESPESOR INDICADO	NOTAS POR BARTON, LIEN Y LUNDE	NOTAS POR HOEK Y BROWN
10-4	3.5-9	> 30		0.10									2	a
10-4	3.5-9	10-30		0.10		1-1.5 m							2	
10-4	< 6	< 10		0.10					20-30 mm				2	
10-4	10-15	> 5		0.10		1-1.5 m							2, 4	a
10-4	7-10	> 5		0.10		1-1.5 m							2	a
10-4	10-15	≤ 5		0.10		1-1.5 m			20-30 mm				2, 4	
10-4	7-10	≤ 5		0.10		1-1.5 m			20-30 mm				2	
10-4	20-29			0.10		1-2 m				100-150 mm			2, 3, 5	c
10-4	12-20			0.10		1-1.5 m				50-100 mm			2, 3	c
10-4	35-52			0.10		1-2 m				200-250 mm			2, 6, 7, 13	c
10-4	24-35			0.10		1-2 m				100-200 mm			2, 3, 5, 13	c
4-1	2.1-6.5	≥ 12.5	≤ 0.75	0.15		1 m			20-30 mm				2	
4-1	2.1-6.5	< 12.5	≤ 0.75	0.15					20-30 mm				2	
4-1	2.1-6.5		> 0.75	0.15		1 m							2	
4-1	4.5-11.5	> 10	< 30 > 1	0.15		1m							2	a
4-1	4.5-11.5	≤ 10	> 1	0.15					25-75 mm				2	
4-1	4.5-11.5	< 30	≤ 1	0.15		1 m				25-50 mm			2	c
4-1	4.5-11.5	≥ 30		0.15		1 m							2	
4-1	15-24			0.15		1-1.5 m				100-150 mm			2, 3, 5, 8	c

TABLA: ADEME RECOMENDADO CON BASE EN EL INDICE Q DE CALIDAD NGI

CALIDAD Q DEL MACIZO ROCOSO	claro ESR	RQD Jn .	$\frac{Jr}{Ja}$	PRESION DE SOPORTE APROX. p MPa	REFUERZOS LOCALES CON VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR	VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR EN CUADRICULA INDICADA	ANCLAS TENSADAS EN CUADRICULA INDICADA	MALLA DE ESLABONES FUADA A LAS ANCLAS Y PUNTOS INTERMEDIOS	CONCRETO LANZADO APLICADO DIRECTAMENTE SOBRE LA ROCA, ESPESOR INDICADO.	CONCRETO LANZADO REFORZADO CON MALLA SOLDADA, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO COLADO, SIN ARMAR, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO ARMADO COLADO, ESPESOR INDICADO	NOTAS POR BARTON, LIEN Y LUNDE	NOTAS POR HOEK Y BROWN
4-1	8-15			0.15			1-1.5 m			50 - 100 mm			2	c
4-1	30-46			0.15			1-1.5 m			150 - 300 mm			2, 6, 7, 13	c
4-1	18-30			0.15			1-1.5 m			100 - 150 mm			2, 3, 5	c
1-0.4	1.5-4.2	> 10	> 0.5	0.225		1 m							2	d
1-0.4	1.5-4.2	≤ 10	> 0.5	0.225		1 m				50 - mm			2	c
1-0.4	1.5-4.2		≤ 0.5	0.225		1 m				50 - mm			2	c
1-0.4	3.2-7.5			0.225			1 m			50 - 75 mm			14, 11 12	c
1-0.4	3.2-7.5			0.225		1 m			25 - 50 mm				2, 10	
1-0.4	12-18			0.225			1 m			75 - 100 mm			2, 10	c
1-0.4	6-12			0.225		1 m				50 - 75 mm			2, 10	c
1-0.4	12-18			0.225			1 m				200 - 400 mm		14, 11 12	e
1-0.4	6-12			0.225			1 m			100 - 200 mm			14, 11 12	c
1-0.4	30-38			0.225			1 m			300 - 400 mm			2, 5, 6 10, 13	c, f
1-0.4	20-30			0.225			1 m			200 - 300 mm			2, 3, 5 10, 13	c
1-0.4	15-20			0.225			1 m			150 - 200 mm			1, 3 10, 13	c
1-0.4	15-38			0.225			1 m					30 mm -1 m	5, 9, 10 12, 13	
0.4 -0.1	1-3.1	> 5	> 0.25	0.3		1 m			20 - 300 mm					
0.4 -0.1	1-3.1	≤ 5	> 0.25	0.3		1 m				50 mm				c
0.4 -0.1	1-3.1		≤ 0.25	0.3			1 m			50 mm				c

TABLA: ADEME RECOMENDADO CON BASE EN EL INDICE Q DE CALIDAD NGI

CALIDAD Q DEL MACIZO ROCOSO	EQUIVALENTE DE DIMENSION $\frac{\text{claro}}{\text{ESR}}$	TAMAÑO DE LOS BLOQUES $\frac{RQD}{Jn}$	RESISTENCIA ENTRE BLOQUES $\frac{Jr}{Ja}$	PRESION DE SOPORTE APROX. p MPa	REFUERZOS LOCALES CON VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR	VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR EN CUADRICULA INDICADA	ANCLAS TENSADAS EN CUADRICULA INDICADA	MALLA DE ESLABONES FUADA A LAS ANCLAS Y PUNTOS INTERMEDIOS	CONCRETO LANZADO APLICADO DIRECTAMENTE SOBRE LA ROCA, ESPESOR INDICADO.	CONCRETO LANZADO REFORZADO CON MALLA SOLDADA, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO COLADO, SIN ARMAR, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO ARMADO COLADO, ESPESOR INDICADO	NOTAS POR BARTON, LIEN Y LUNDE	NOTAS POR HOEK Y BROWN
0.4 -0.1	2.2 -6	≥ 5		0.3			1 m			25- 50 mm			10	c
0.4 -0.1	2.2 -6	< 5		0.3						50- 75 mm			10	c
0.4 -0.1	2.2 -6			0.3			1 m			50- 75 mm			9, 11 12	c
0.4 -0.1	4- 14.5	> 4		0.3			1 m			50- 125 mm			10	c
0.4 -0.1	4- 14.5	$\frac{1}{4}$ ≥ 1.5		0.3						75- 250 mm			10	c
0.4 -0.1	4- 14.5	< 1.5		0.3			1 m				200- 400 mm		10,12	e
0.4 -0.1	4- 14.5			0.3			1 m					300- 500 mm	9, 11 13	
0.4 -0.1	20- 34			0.3			1 m			400- 600 mm			3, 5, 10 12, 13	f
0.4 -0.1	11- 20			0.3			1 m			200- 400 mm			4, 5, 10 12, 13	c
0.4 -0.1	11- 34			0.3			1 m					400 mm - 1.2 m	5, 9, 11 12, 13	
0.1- 0.01	1- 3.9	≥ 2		0.6			1 m			25 - 50 mm			10	c
0.1- 0.01	1- 3.9	< 2		0.6						50 - 100 mm			10	c
0.1- 0.01	1- 3.9			0.6						75 - 150 mm			9, 11	c
0.1- 0.01	2- 11	≥ 2	≥ 0.25	0.6			1 m			50 - 75 mm			10	c
0.1- 0.01	2- 11		< 0.25	0.6						150 - 250 mm			10	c
0.1- 0.01	2- 11			0.6			1 m					200 - 600mm	9,11 12	
0.1- 0.01	15- 28			0.6			1 m			300 - 1 mm			3, 10 12, 13	c, f
0.1- 0.01	15- 28			0.6			1 m					600mm -2 m	3, 9, 11 12, 13	
0.1- 0.01	6.5 -15			0.6			1 m			200 - 750 mm			4, 10 12, 13	c, f

TABLA: ADEME RECOMENDADO CON BASE EN EL INDICE Q DE CALIDAD NGI

CALIDAD Q DEL MACIZO ROCOSO	$\frac{c_l}{ESR}$ EQUIVALENTE DE DIMENSION	$\frac{RQD}{J_n}$ TAMAÑO DE LOS BLOQUES	$\frac{J_r}{J_a}$ RESISTENCIA ENTRE BLOQUES	PRESION DE SOPORTE APROX. p MPa	REFUERZOS LOCALES CON VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR	VARILLAS CEMENTADAS SIN TENSAR EN CUADRICULA INDICADA	ANCLAS TENSADAS EN CUADRICULA INDICADA	MALLA DE ESLABONES FIJADA A LAS ANCLAS Y PUNTOS INTERMEDIOS	CONCRETO LANZADO APLICADO DIRECTAMENTE SOBRE LA ROCA, ESPESOR INDICADO.	CONCRETO LANZADO REFORZADO CON MALLA SOLDADA, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO COLADO, SIN ARMAR, ESPESOR INDICADO	ARCO DE CONCRETO ARMADO COLADO, ESPESOR INDICADO	NOTAS POR BARTON, LIEN Y LUNDE	NOTAS POR HOEK Y BROWN
0.1-0.01	6.5-15			0.6			1 m					400mm - 1.5 m	3, 9, 11 12, 13	
0.01-0.001	1-2			1.2						100-200 mm			10	c
0.01-0.001	1-2			1.2			0.5-1 m			100-200 mm			9, 11 12	c
0.01-0.001	1-6.5			1.2						200-600 mm			10	c, f
0.01-0.001	1-6.5			1.2			0.5-1 m			200-600 mm			9, 11 12	c, f
0.01-0.001	10-20			1.2								1 m-3 m	10, 14	
0.01-0.001	10-20			1.2			1 m					1m-3 m	3, 9, 11 12, 14	
0.01-0.001	4-10			1.2						700 mm-2 m			10, 14	c, f
0.01-0.001	4-10			1.2			1 m			700-mm-2 m			4, 9, 10 11, 12	c, f

Notas complementarias de Barton, Lien y Lunde

1. El tipo de ademe que se empleará en roca extremada o excepcionalmente buena dependerá de la técnica de las voladuras. Las voladuras de pared lisa y un amacice hecho a conciencia, eliminarán la necesidad de los refuerzos. Una voladura de pared rugosa puede necesitar una sola aplicación de concreto lanzado, sobre todo cuando la altura de la excavación es mayor de 25 m.
2. En los casos serios de estallidos o reventones de rocas se utilizan muchas veces anclas tensadas con placas de retén grandes y un espaciamiento de alrededor de 1m. (a veces 0.8 m). Se aplica el refuerzo final cuando se detienen los chasquidos.
3. Muchas veces se usan anclas de varias medidas en una misma excavación, o sea 3, 5 y 7 m.
4. Muchas veces se usan anclas de varias medidas en una misma excavación, o sea 2, 3 y 4 m.
5. Muchas veces se usan cables tensados para complementar las presiones de soporte de las anclas. Espaciamiento típico: 2 a 4 m.

TABLA: ADEME RECOMENDADO CON BASE EN EL INDICE Q DE CALIDAD NGI

6. Muchas veces se usan anclas de varias medidas en una misma excavación, o sea 6, 8 y 10 m.
7. Muchas veces se usan cables tensados para complementar las presiones del soporte de las anclas. Espaciamiento típico: 4 a 6 m.
8. Varias plantas generadora de electricidad en esta categoría, utilizan las anclas en forma sistemática o esporádica, con áreas de malla de eslabones y un arco de concreto para el techo (250 - 400 mm.) como ademe permanente.
9. Casos que implican expansión, por ejemplo la arcilla montmorillonita (con presencia de agua). Se dejará un espacio atrás del ademe en casos de expansión importante. Se utilizan drenes donde sea posible.
10. Casos que no implican arcillas expansivas o roca alterada que fluye.
11. Casos que implican roca que fluye. Generalmente se utiliza un refuerzo rígido pesado como ademe permanente.
12. Según la experiencia de los autores (Barton et al), en los casos de expansión o fluidez, el refuerzo provisional que se necesita antes del colado de los arcos de concreto (o de concreto lanzado) puede consistir en anclas (del tipo tensado con casquillo de expansión) si el valor de RQD/J_n es lo suficientemente alto (o sea >1.5), posiblemente combinado con concreto lanzado. Si el maciso rocoso está intensamente fisurado o triturado (o sea $RQD/J_n < 1.5$, por ejemplo una zona de fallas de empuje en forma de "terrones de azúcar" de la cuarcita), el refuerzo provicional puede consistir en varias aplicaciones de concreto lanzado. Después de colar el arco de concreto (o de la aplicación del concreto lanzado), se podrán instalar anclas en forma sistemática para reducir las cargas desiguales sobre el concreto, pero pueden no ser efectivas cuando $RQD/J_n < 1.5$, o cuando hay mucha arcilla, a menos que a las anclas se les inyecte lechada de cemento antes de tensarlas. En esos pésimos macisos rocosos también se podrán usar anclas fijadas con resinas de fraguado rápido. En los casos graves de expansión o fluidez de la roca puede ser necesario colar los arcos de concreto hasta el frente, con el posible uso de un escudo como obturador provisional. También en estos casos podrá ser necesario que se le dé refuerzo provisional al frente de trabajo.
13. Por razones de seguridad muchas veces se aplicará el método de avance por etapas múltiples para la excavación y el ademado del techo. Sólo para Claro/ESR > 15 .
14. Se necesita generalmente el método de avance por etapas múltiples para el soporte del techo, de las tablas y de la plantilla en los casos críticos de fluidez. Sólo para Claros/ESR > 10 en roca excepcionalmente mala.

Notas complementarias de Hoek y Brown

- a) En Escandinavia se emplean mucho los "Perfobolts". Son tubos huecos perforados que se llenan de lechada y se insertan en los barrenos. La lechada se exprime para llenar el espacio alrededor del tubo cuando se empuja una varilla corrugada en la lechada que llena el tubo. Evidentemente no hay modo de tensar este sistema aunque con frecuencia se hace una rosca al final de la varilla para colocar una placa de retén con rondana y tuerca. En América del Norte se usan poco los Perfobolts". En las minas se usa mucho un sistema llamado "Split set" o "Friction set" (aparato de hendidura o de fricción), inventado por Scott. Se trata de una cuña de tubo que se empuja en un barreno ligeramente más chico que el diámetro exterior del tubo. La fricción entre el acero y la roca -sobre todo en la oxidación- actúa en una forma similar a la de la lechada alrededor de una varilla. Esos aparatos son muy efectivos para refuerzos provisionales. En las minas Australianas se instalan varillas corrugadas con lechada y sin tensar al bombearse una lechada espesa en los barrenos y en ella se empuja un tramo de varilla con rosca al final. La lechada tiene una consistencia suficiente para mantenerse dentro de los barrenos verticales mientras se coloca la varilla.

TABLA: ADEME RECOMENDADO CON BASE EN EL INDICE Q DE CALIDAD NGI

- b) A veces se usa la malla eslabonada para retener las pequeñas piedras que van cayendo con el tiempo. Habrá que fijar la malla a la roca con intervalos entre 1.0 y 1.5 m y entre las anclas se pueden usar pernos cortos cementados. La malla en eslabones tendrá que ser galvanizada en instalaciones permanentes, como por ejemplo en casas de máquinas.
- c) La malla soldada, que consiste en alambre de acero colocado en cuadros y soldado en cada intersección, es la que se recomienda para usarse con el concreto lanzado, ya que le permite llegar fácilmente hasta la roca. No habrá que utilizar la malla en eslabones porque el concreto lanzado no podrá penetrar todos los espacios entre los alambres y formará bolsas de aire con la consiguiente oxidación del alambre. Si se escoge el alambre soldado es importante que pueda ser manipulado por uno o dos hombres que trabajen en la plataforma de un carro-elevador, por lo que el alambre no deberá de ser demasiado pesado. Lo que se utiliza más frecuentemente para reforzar el concreto lanzado es el alambre de 4.2 mm. con espacios de 100 mm. (llamado malla soldada de 100 X 100 X 4.2).
- d) En la roca de calidad inferior, la utilización de varillas cementadas sin tensar que recomienda Barton, Lien y Lunde, depende de la instalación inmediata de esos elementos de refuerzo cerca del frente. Esto implica la integración de la barrenación e instalación de los refuerzos dentro del ciclo de barrenación, voladuras y rezaga; exceptuando a Escandinavia, muchos contratistas no están de acuerdo en seguir este sistema. Si resulta imposible obtener la garantía para que las varillas cementadas y sin tensar sean instaladas en las inmediaciones del frente, habrá que pensar en anclas tensadas que se podrán inyectar con la lechada en una etapa posterior. Así se tendrá la seguridad de que el refuerzo estará disponible durante la etapa crítica de la excavación.
- e) Muchos contratistas alegarán que un arco de concreto colado de 200 mm. es demasiado difícil de construir, ya que no hay bastante espacio entre las ventanas y la roca circundante para tener acceso fácil para colar el concreto e introducir los vibradores. El cuerpo de Ingenieros del Ejercito Americano recomienda 10 pulgadas (254 mm.) como mínimo normal para este espacio aunque algunos contratistas prefieren 300 mm.
- f) Barton, Lien y Lunde recomiendan espesores de concreto lanzado hasta de 2 m. Esto implicaría muchas aplicaciones separadas por lo que numerosos contratistas pensarán que espesores de concreto lanzado de tal magnitud son a la vez poco prácticos y nada económicos, prefiriendo más bien los arcos de concreto colado. Un argumento sólido en favor del concreto lanzado es que se puede aplicar muy cerca del frente y por lo tanto que puede proporcionar un refuerzo en las formaciones de roca de mala calidad. Muchos contratistas alegarán que una capa de 50 a 100 mm. es por lo general suficiente para ese fin, sobre todo cuando se usa en combinación con anclas tensadas como lo indican Barton, Lien y Lunde, y que la instalación de concreto colado en una etapa posterior sería una manera más efectiva de solucionar el problema. Es evidente que la solución final dependerá de los precios unitarios que tiene el contratista para concreto colado y concreto lanzado, y si el concreto lanzado es más económico se demostrará en la práctica que realmente se puede aplicar concreto lanzado de tal espesor. En Estados Unidos un revestimiento de concreto lanzado de 2 m sería una cosa bastante excepcional y normalmente para lograr las presiones muy altas que se necesitan en terreno malo se utilizaría una combinación de marcos de acero pesado y de concreto.

VI.7 Obra.

Esta obra consiste en la construcción de una vía de ferrocarril en el estado de Morelos, localizada en el área de Nepopualco a San Juan Tlacotenco y consta de la construcción de terracerías, obras de drenaje, túneles, estructuras y obras complementarias de la línea de ferrocarril Mexico-Cuernavaca. En este trabajo se hace el estudio de los túneles para ilustrar las aplicaciones de las tablas de clasificación anteriores, así como las tablas de predicción de los refuerzos que probablemente se deberán aplicar.

La línea ferroviaria consta de la construcción de 7 túneles, de diferente longitud cada uno que varían desde los 200 mts. hasta los 400 mts. y todos se localizan en la Formación Tepoztlán, cubiertos de uno o dos derrames volcánicos aunque en algunos lugares no cubren dicha formación.

De hecho los materiales que se encuentran en el lugar de los túneles son los mismos en cuanto origen, composición; tratándose básicamente de una sola formación (Tepoztlán) compuesta de material piroclástico (arena, grava, brecha volcánica) fuertemente cementados por sílice.

Se presenta en capas horizontales gruesas, generalmente de varios metros de espesor, con juntas sanas; se observan también fracturas verticales debido a los esfuerzos tectónicos. La separación de las fracturas llega a ser de varios metros y sus superficies son sanas, rugosas y sin relleno. La granulometría de sus diferentes capas así como la de su grado de cementación es variable, lo que producirá variaciones en la resistencia al corte.

APLICACION DEL METODO CSIR.

A.- PARA EL MATERIAL DE MAYOR RESISTENCIA.

1.- Resistencia de la roca inalterada. No se hizo ningún ensayo, pero se deduce por analogía que esta resistencia será de 250 - 500 Kg/cm ²	valuación = 4
2.- Calidad de los núcleos de explotación RQD, al no haber sondeos se estimo la recuperación de piezas de 10 cms en 50 %	valuación = 13
3.- Espaciamiento de juntas (visibles insitu) >3 mts.	valuación = 30
4.- Estado de las juntas (observables) rugosas, sanas y sin relleno.	valuación = 25
5.- Aguas someras. Solo húmedo (aguas intersticiales que se presentan como Lahares).	valuación = 7
TOTAL	79 - 2 = 77

Se aplica a la tabla de la página 52 que es el ajuste por orientación de las fisuras. Esta orientación, según la tabla es favorable ya que la orientación es perpendicular y es de 8 grados o sea que cae en el 20 - 45 por lo que se consideró favorable con una reducción de 2 para túneles

El total definitivo de la valuación quedo en 77, lo que sitúa al túnel en la clasificación II. (tabla de la página 52 c) por lo tanto es buena roca y si vemos la tabla de la página 52 d. la clasificación II. es de 6 meses para un claro de 4 mts.

B.- PARA EL MATERIAL DE MENOR RESISTENCIA.

Se conservan los mismos parámetros que para el material anterior, excepto el RQD. donde se estimó la recuperación de $< 25 \% = 3$. o sea lo que hizo que perdiera 10 puntos en este parámetro y también 10 en el total o sea quedó de 67 puntos lo que todavía sitúa a este material en la clasificación II. (61-80 puntos.) BUENA ROCA.

Recomendaciones para la excavación de un túnel de esta naturaleza. Según Bieniawski.
(Tabla de la pág. 65.)

1.- Para la excavación:

Sección completa, progresiones de 1.0-1.5 mts.

Refuerzo total a 20 mts. del frente.

2.- Para los refuerzos.- Anclas locales en la clave 3mts. de largo y espacimientos de 2.5 mts. con malla ocasional. Concreto lanzado de 50 mm. en la clave donde fuera necesario y no necesita marcos de acero.

APLICACION DEL METODO NGI.

Para el índice $Q = (RQD/J_n)(J_r/J_a)(J_w/SRF)$

A. PARA EL MATERIAL DE MAYOR COHESION.

VALUACION.

RQD-	Estimada, Regular.	50 %
Jn-	(numero de juntas) masivo, con pocas fisuras.	1.0
Jr-	(rugosidad de las juntas) Rugosas pero planas.	1.5
Ja-	(alteración de las juntas) paredes ligeramente alteradas.	2.0
Jw-	(presencia de agua) Poca infiltración.	1.0
SRF-	(factor de reducción por tensiones) Esfuerzo mediano.	1.0

$$Q = (50/1) (1.5/2) (1.0/1.0) =$$

$$Q = (50) (0.75) (1.0) =$$

$$Q = 37.50$$

B. PARA MATERIALES DE MENOR COHESION

Baja la RQD estimada del 50% al 25 %

$$Q = (25/1)(1.5/2.0)(1.0/1.0) =$$

$$Q = (25)(0.75)(1.0) =$$

$$Q = 18.50$$

La relación de soporte de la excavación (ESR) para los túneles ferroviarios es de 1.0 siendo el claro del túnel de más o menos de 10 mts. para D_e (dimensión equivalente) tenemos

$$(10) (1) = 10$$

Relacionando $D_e = 10$ con los dos valores Q en la figura de la pág. 63, notamos que en ambos casos se necesitan refuerzos.

Los refuerzos que se necesitan según las tablas de las páginas 67 a 73:

Para el primer caso

$$Q = 37.50 = 40 - 10$$

Claro / ESR=10

RQD / Jn=10

Jr / Ja=1.5

Refuerzos locales con varillas cementadas sin tensor.

Para el segundo caso

$$Q = 18.50 = 40 - 10$$

Claro / SRF=10

RQD / Jn=10

Jr / Ja=1.5

Refuerzos locales con varillas cementadas sin tensor.

Se observará que no se menciona el concreto lanzado en los refuerzos recomendados en base a la tabla. Sin embargo, la naturaleza del material en el que se nota la tendencia de su comportamiento hace obvio que nada más se utilice en ciertas partes como protección.

Donde se ve que los resultados de las dos recomendaciones (CSIR, NGI.) se complementan.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La geología resultó bastante congruente con las observaciones originales y los estudios de clasificación, aunque siempre existirá algún imprevisto dentro de los túneles y es donde se aplica el criterio para meter concreto lanzado, anclas, mallas, etc.

A la fecha en que se escribe esta tesis los túneles no están lo suficientemente avanzados para comparar los resultados con las previsiones. Pero se ve que si se combinan las conclusiones de los dos métodos de clasificación y de prevención, existe y tendremos cierto margen para manejar los refuerzos necesarios.

Puede ser que las conclusiones y recomendaciones que se sacan de los estudios no estén correctos del todo, pero también es cierto que más vale tener una buena idea sobre lo que puede suceder en la excavación de un túnel, que no tener ninguna.

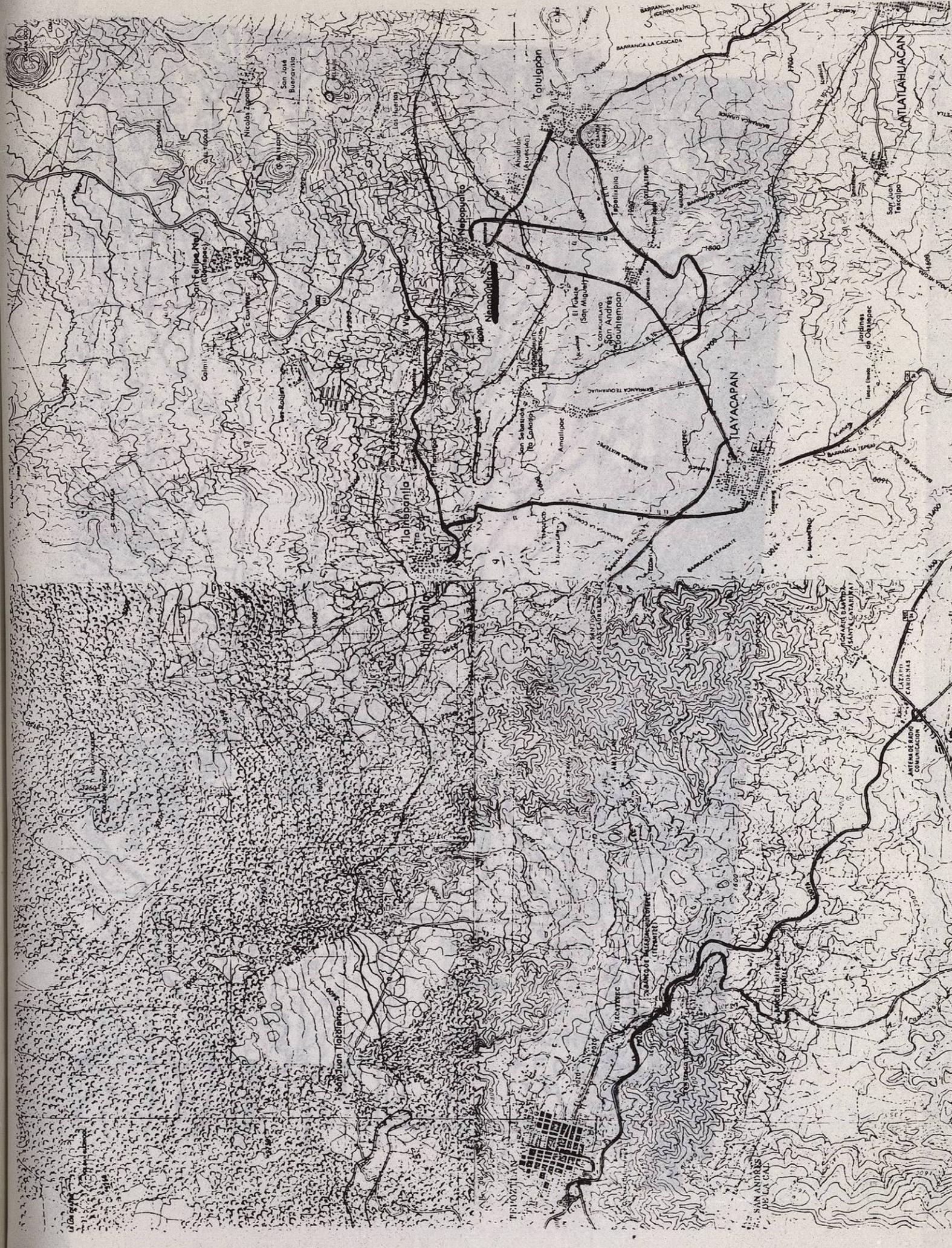
Por eso es recomendable manejar los dos métodos de clasificación y compararlos con el criterio y experiencia del Ingeniero y en base a esto tomar sus precauciones.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Dante J. Morgan Zenteno.
Geología de la Republica Mexicana.
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- 2.- E. Hoek y J. Bray.
The institution of mining and metallurgy.
London (1981).
- 3.- E.Hoek y E.T. Brown.
Excavaciones subterráneas en roca.
Libro McGraw Hill.México 1-a edicion (1985).
- 4.- Fries, C.Jr; 1960
Geología del Estado de Morelos,
Volúmen del Instituto de Geología de la UNAM No 60 (1-125).
- 5.- INEGI.
Cartas geológicas y topográficas de la región.
- 6.- INEGI.
Fotografías aéreas. (1971).
- 7.- R.F. Legget y P.T. Karrow.
Geología Aplicada a la ingeniería Civil.
Libros McGraw-Hill. México 1-a edición (1986).
- 8.- Roy Hunt .
Geotechnical Engeneering Investigation Manual.
McGraw Hill. Boock Company, (1984).
- 9.- Roy. Hunt.
Geotechnical Engeneering Practice.
McGraw Hill Book Company. (1984).

ANEXOS.

Mapas
Fotografía aérea





S. JUAN LACOTENCO

STO DOMINGO OCOTITLAN

AMATLAN

S. JOSE DE LOS LAURELES

TLAYACAPAN

S. SEBASTIAN

AMATLIPAC

EL VIGIA

198 R-9-26-45

198 R-9-27-43

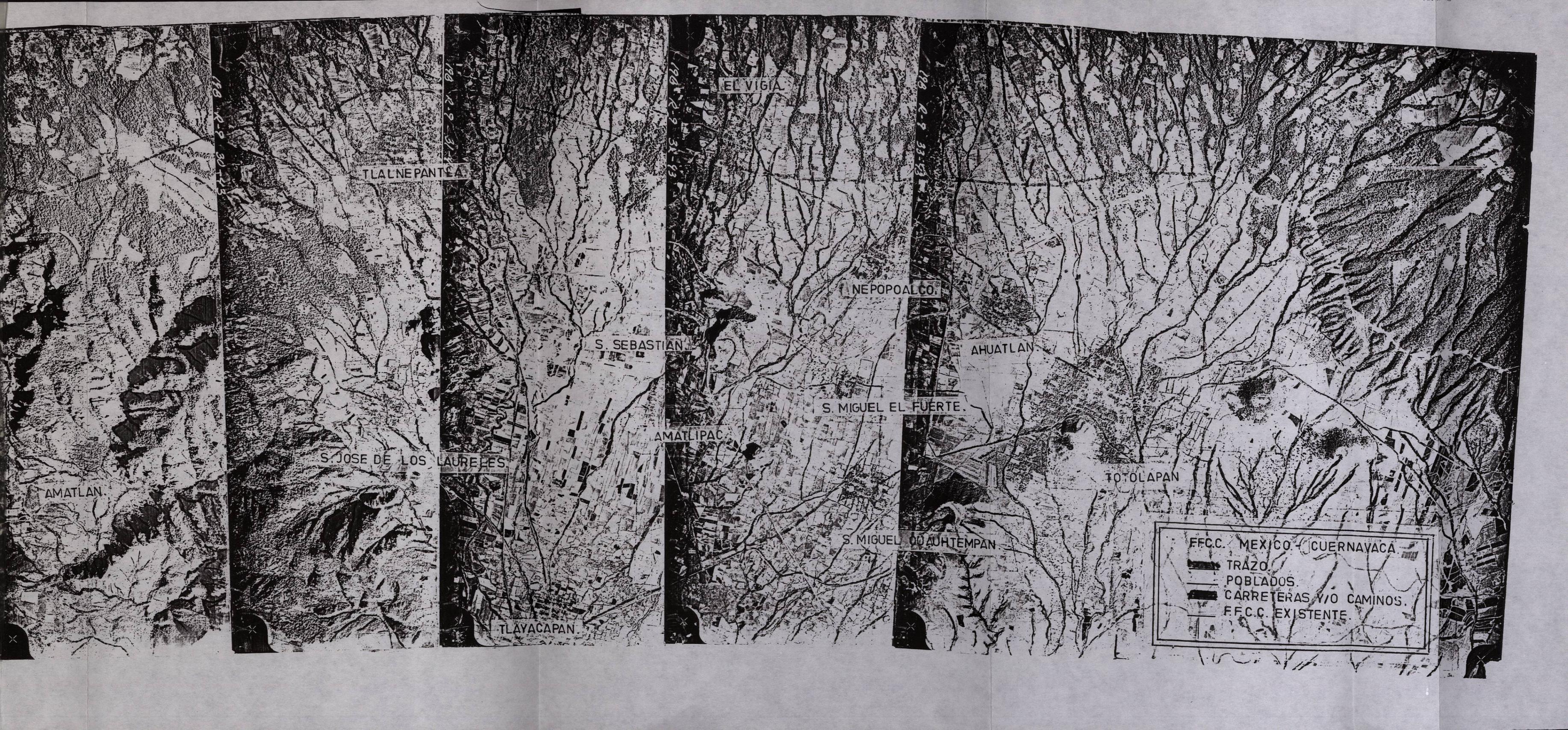
198 R-9-28-43

198 R-9-29-43

198 R-9-30-43

198 R-9-31-43

198 R-9-32-43



AMATLAN.

TLALNEPANTLA.

S. JOSE DE LOS LAURELES.

TLAYACAPAN.

S. SEBASTIAN.

AMATLIPAC.

EL VIGIA.

S. MIGUEL EL FUERTE.

S. MIGUEL COAHUEMPAN.

NEPOPOALCO.

AHUATLAN.

TOTOLAPAN.

	F.F.C. MEXICO - CUERNAVACA
	TRAZO.
	POBLADOS.
	CARRETERAS Y/O CAMINOS.
	F.F.C. EXISTENTE.

