



Sociedad Mexicana de  
Ingeniería Geotécnica, A.C.

XXIX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica  
Noviembre 23 y 24, 2018 – León, Guanajuato



## CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y TRATAMIENTOS EN LAS GALERÍAS DEL BITUNEL TREN INTERURBANO MÉXICO – TOLUCA (TIMT)

### GEOMECHANICAL CHARACTERIZATION AND TREATMENTS AT THE GALLERIES OF THE BITUNEL INTERACTIVE TRAIN MEXICO - TOLUCA

Julio CHABLE<sup>1</sup>, Ulises TALONIA<sup>2</sup> y Jorge LÓPEZ<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Ingenieros de Proyectos, Comisión Federal de Electricidad, GEIC, Mecánica de Rocas e Inyecciones

<sup>2</sup> Jefe de Oficina, Comisión Federal de Electricidad, GEIC, Mecánica de Rocas e Inyecciones

**RESUMEN:** La construcción del proyecto del Tren Interurbano México-Toluca, depende fundamentalmente de tres aspectos: las condiciones topográficas, las condiciones hidrológicas y las condiciones geológico – geotécnicas. En este artículo se muestra el proceso y los resultados de la caracterización geomecánica de un sitio seleccionado para la construcción del bitúnel de 4.7 km, el cual forma parte de dicho Proyecto. Después de introducirse en la condición geológica del sitio, se enuncia el procedimiento realizado para definir las propiedades geomecánicas de materiales heterogéneos, evidenciando la importancia de reconocer y generar un acopio de información de campo sobre las características geotécnicas de macizos rocosos localizadas en las galerías del bitúnel, en los que la roca intacta no es representativa de la masa en su totalidad, datos que serán de importancia en la información generada sobre la estabilidad y tratamientos que deberán colocarse para las excavaciones en las galerías que conforman el bitúnel.

**ABSTRACT:** The construction of the Mexico-Toluca Interurban Train project depends fundamentally on three aspects: the topographic conditions, the hydrological conditions and the geological-geotechnical conditions. This article shows the process and the results of the geomechanical characterization of a selected site for the construction of the 4.7 km bi-tunnel, which is part of said Project. After entering the geological condition of the site, the procedure performed to define the geomechanical properties of heterogeneous materials is stated, evidencing the importance of recognizing and generating a collection of field information on the geotechnical characteristics of rock masses located in the galleries of the bi-tunnel, in which the intact rock is not representative of the mass in its entirety, data that will be of importance in the information generated on the stability and treatments that must be placed for the excavations in the galleries that make up the bi-tunnel.

## 1 ASPECTOS GENERALES

### 1.1 Antecedentes

Como parte de los trabajos de los “Servicios de asistencia técnica de “CFE” durante la construcción del tramo 2, referente a la construcción del túnel ferroviario “Portal poniente del túnel al portal oriente del túnel” de 4.634 kilómetros de longitud, con inicio en el kilómetro 036+150.00 y terminación en el kilómetro 040+784, en la Ciudad de México, el cual forma parte del proyecto integral de transporte de pasajeros “Tren Interurbano México - Toluca”, para la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal (DGTFM) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

La participación de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el Portal Poniente continúa con la presencia permanente en sitio del personal de las disciplinas de Geología, Geotecnia, e Instrumentación con actividades

de campo y gabinete, así como la participación Geohidrología atendiendo reuniones específicas de la SCT; derivado de ello en los apartados siguientes describen las actividades de la disciplina de Geotecnia..

### 1.2 Localización de la zona de estudios

La obra del bitúnel se encuentra conformada dentro del arreglo de obras del proyecto del Tren Interurbano México-Toluca (TIMT), el cual regionalmente se localiza en la Sierra de Las Cruces en el límite entre los bloques Norte y Central, en este sitio, con base en la interpretación geológico-estructural, a la vez entre la sub-bloques de Fosa Las Lomas y Fosa la Marquesa-Salazar, en dirección a la carretera libre Toluca-México No. 15 y de la autopista No. 15D. (Figura 1).

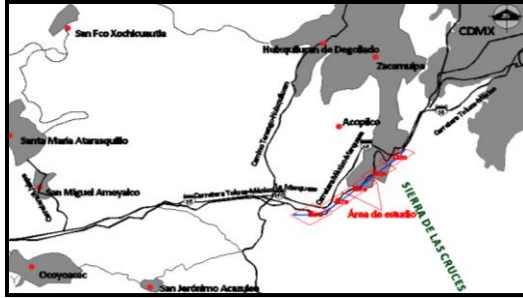


Figura 1. Localización del trazo de los túneles en el Tramo II, TIMT.

1.3 Descripción de la obra civil (bitúnel)

La obra del bitúnel del TIMT está constituida por dos túneles sección circular, ambos con dimensiones de 7.5 m de diámetro, el túnel derecho tiene una longitud de 4741.06 km y el túnel izquierdo una longitud de 4,720.04 m aproximadamente. A lo largo del bitúnel se tiene programada la construcción de 5 galerías técnicas y 10 de evacuación (aunque en el proyecto inicial estaban contempladas 20 de evacuación), con una sección tipo herradura con dimensiones de 5.5 x 4.5 m para la galería técnica y de 4.0 x 3.5 m para la galería técnica, de una longitud de 16 m aproximadamente, Figura 2.

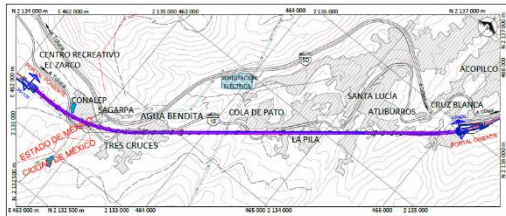


Figura 2. Planta de localización del bitúnel proyecto TIMT.

2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL PROYECTO

2.1 Geología Regional

La zona de estudio se ubica en la Sierra de las Cruces, en la parte oriental del Cinturón Volcánico Transmexicano. Esta sierra representa un límite morfológico entre las cuencas de México y Toluca, cuyas elevaciones son 2,240 msnm y 2,400 msnm, respectivamente. La Sierra de las Cruces tiene longitud de 110 km, en la parte noroeste tiene dirección NW-SE con una anchura de 47 km, y aproximadamente en la parte intermedia, entre los volcanes Salazar y San Miguel, cambia a dirección N-S, continuando con 27 km de ancho (Figura 2). Particularmente, la zona de estudio se localiza en la parte NW del Complejo Volcánico San Miguel (CVSM), cuya estructura principal cuenta con una elevación de 3,870 msnm, la cual representa la

elevación máxima de los volcanes que conforman La Sierra Las Cruces.

En la zona donde cambia la orientación de la sierra de Las Cruces se ubica el área de estudio donde se excavarán los túneles del Tren Interurbano.

En esta Sierra existen ocho estratovolcanes traslapados denominados de norte a sur La Bufa, La Catedral, Iturbide, Chimalpa, Salazar, San Miguel, La Corona y Zempoala, los cuales tuvieron periodos de actividad volcánica efusiva desde el Plioceno hasta el Pleistoceno.

ERA	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	Qsr	Suelo residual (Qsr). Material limo-arcilloso de color pardo oscuro a negro, producto del intemperismo de las rocas expuestas en la región.
	Qdt	Depósitos de talud (Qdt). Constituidos por fragmentos de roca mal clasificados, angulosos a subangulosos y de composición andesítica, embebidos en material arenoso-arcilloso de color pardo oscuro.
	[Depósitos piroclásticos de tobas y brechas.]	
	tbl	Toba lítica (tbl). De color pardo y ocre, con tonalidad roja, constituida por fragmentos líticos andesíticos, de tamaño < 0.02 m. Al alterarse, la roca puede presentar las siguientes condiciones: arcilloso, limo-arcilloso y arcillo-arenoso.
	tbc	Toba de ceniza (tbc). De color gris a gris verdoso, poco consolidadas, conformada por escasos fragmentos líticos de andesita, pómez y cristales máficos. Al alterarse, la condición del material es arcilloso y arcillo-arenoso.
	brb	Brecha de bloques (brb). Constituida por bloques angulosos y subangulosos de composición andesítica y con tamaños que varían de 0.25 a 1.00 m, embebidos en una matriz limo-arenosa (0.06 a 0.43 mm) de color gris con tonalidad parda, donde el porcentaje de bloques es mayor con respecto a la matriz. Se presentan horizontes de tobas líticas.
	brt	Brecha tobácea (brt). Constituida por fragmentos angulosos a subredondeados de composición andesítica y de tamaño variable de 0.02 a 0.08 m y ocasionalmente se observan bloques mayores a 1 m, embebidos en una matriz arena fina a gruesa (0.08 a 4.8 mm) de color gris claro, donde el porcentaje de fragmentos es mayor con respecto a la matriz. Se presentan horizontes de tobas líticas.
	brc	Brecha consolidada (brc). Constituida por clásicos andesíticos de color gris oscuro y rojo, de forma subredondeada a subangulosos y de tamaño de 0.01 a 0.10 m y esporádicamente fragmentos de hasta 1.50 m, empaquetados en una matriz compacta de arena fina (0.08 a 0.43 mm) y de color gris oscuro con tonalidades pardas. La relación entre la matriz y los clastos se presenta en la misma proporción. Se presentan horizontes de tobas líticas.
	an	(Qan-br) Andesita y brechas andesíticas. Derrames de andesita porfídica de color gris con tonalidad roja, que alteran con brechas andesíticas, de color pardo con tonalidad roja, sus fragmentos varían de 0.01 a 0.07 m y están empaquetados en una matriz vítreo, que al alterarse presenta una consistencia limo-arcillosa.
	Tran	Traquiandésita (Tran). Conjunto de rocas constituidas por traquiandésitas, dacitas y vitrófidos. Son de color gris con tonalidades rosáceas y rojizas, de estructura compacta; constituidas por abundantes cristales de plagioclasa, anfífolos y piroxenos, embebidos en una matriz vítreo.

Figura 3. Columna litológica de la zona de estudio.

2.2 Condición geológica del bitúnel

Como indica la referencia 1, estructuralmente en la zona del bitúnel se han reconocido principalmente tres sistemas de fallas que son: N-S, NE-SW y E-W (Salinas et al., 2014). El sistema N-S es considerado el sistema más antiguo y ha sido reactivado en diferentes tiempos, seguido del sistema NE-SW relacionado con la zona de cizallamiento Tenochtitlán (De Cserna et al., 1988), el tercero y último sistemas de fallas se caracteriza por la presencia de fosas tectónicas delimitadas por la fosa de Chapa, Cuitzeo, Acambay, Barrientos (Mooser, 1992).

Con los datos obtenidos en la zona, se realizó el estereograma de la Figura 4, en este se puede observar que los sistemas de fallas y fracturas del sitio, coinciden con las orientaciones de los sistemas dominantes a nivel regional.

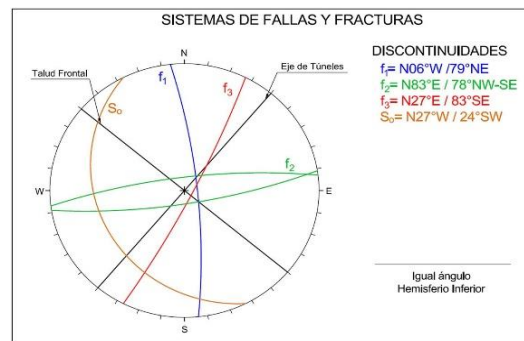


Figura 4. Estereograma con las orientaciones de los sistemas principales de fallas y fracturas del bitúnel

### 3 OBJETIVOS

El objetivo principal de este artículo son de presentar por zonas geotécnicas la caracterización geomecánica y tratamientos de las galerías de la obra del bitúnel con los resultados obtenidos de campo (levantamientos geomecánicos) y laboratorio (mecánicas).

### 4 PRUEBAS DE LABORATORIO

Los ensayos y cálculos necesarios para obtener las propiedades índice, mecánicas y dinámicas de las muestras representativas seleccionadas de roca intacta, corresponden con los procedimientos internos establecidos por la Comisión Federal de Electricidad para el Laboratorio de Mecánica de Rocas.

De los núcleos recuperados se escogieron muestras sanas sin alteración y sin fracturas para realizar sobre ellas los ensayos de resistencia a la compresión simple y con ello la obtención de módulo de elasticidad, así como sus propiedades dinámicas ( $E_d$  y  $\mu$ ).

#### 4.1 Propiedades índice

Tabla 1. Valores promedio de propiedades índices de la roca intacta.

Descripción	Propiedades	UG-3a	UG-3b	UG-3c
		(Andesita)	(Andesita oxidada)	(Brecha Andesítica)
Propiedades índice	Contenido de agua (%)	2.51	4.91	6.41
	Peso volumétrico ambiente ( $kN/m^3$ )	24.53	21.98	20.59

#### 4.2 Propiedades mecánicas

Para evaluar el comportamiento que tiene la roca intacta ensayada en cuanto a su comportamiento esfuerzo – deformación, se recurrió a realizar pruebas de resistencia a la compresión simple con obtención de módulo de elasticidad.

Tomando en cuenta la estadística los resultados de pruebas índices y mecánicas de laboratorio y el tipo de roca del sitio, se calcularon los parámetros de resistencia de la roca intacta de las unidades geotécnicas correspondientes, los cuales se tomaron de la referencia 1, (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de parámetros de resistencia de la roca intacta.

Litología	Descripción	$S_{ci}$	$E_{150}$	$S_t$	$m_i$	Relación de Poisson (°)
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(adm)	
UG-3a	Andesita	74	14,675	6.41	12	0.12
UG-3b	Andesita oxidada	23	7,350	4.15	12	0.13
UG-3c	Brecha Andesítica	94	5,566	3.49	9	0.11

### 5 TRABAJOS DE CAMPO

#### 5.1 Levantamientos geomecánicos

Los levantamientos geomecánicos se realizaron en la zona de excavación de las galerías correspondientes al bitúnel, en las cuales se observaron dos diferentes zonas con unidades litológicas, Andesitas y Brechas Andesíticas. Estos levantamientos geomecánicos se realizaron con la metodología propuesta por Bieniawski (RMR, 1989), y Hoek (GSI, 2002). Dentro de estos levantamientos se describe el grado de meteorización de la roca, valor determinado de acuerdo al método sugerido por el International Society of Rock Mechanic (ISMR, 1989).

#### 5.2 Criterio de Barton-Choubey

Para la caracterización de las discontinuidades (contacto roca-roca) se analizaron los sitios antes mencionados, es importante hacer énfasis que en toda la zona de estudios prevalecen 3 sistemas de fracturamiento, los cuales siguen la misma dirección de los sistemas de fallas Las Cruces, Zacatal y Cora los cuales fueron ilustrados anteriormente.

Para este análisis se utilizó el criterio de Barton-Choubey descrito en la ecuación 1.

$$\tau = \sigma_n \tan \left[ JRC_n \log_{10} \left( \frac{JCS_n}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right]$$

Donde:

$\tau$  Y  $\sigma_n$  son los esfuerzos tangencial y normal sobre el plano de discontinuidad.

$JRC_n$  es el coeficiente de rugosidad de la discontinuidad (Joint Roughness Coefficient).

$JCS_n$  es la resistencia a la compresión de las paredes de la discontinuidad (Joint wall Compression Strength).

Previo al levantamiento de las discontinuidades se realizaron pruebas con el esclerómetro, en dichas pruebas se tomaron 10 lecturas de rebote en superficie de roca sana y 10 lecturas en la pared de la junta.

Para calcular el valor del JCS, se realizó a través siguiente ecuación y con los datos del JRC se obtienen los valores promedio de resistencia para los distintos contactos roca – roca.

$$\log_{10} JCS = 0.00088 \gamma_{roca} r + 1.01; \quad JCS \text{ en MN/m}^2; \\ \gamma_{roca} \text{ en kN/m}^3$$

Los valores de las rugosidades obtenidas del JRC y JCS se normalizaron para el macizo de manera global por medio de la siguiente ecuación.

$$JRC_n = JRC_0 (L_n/L_0)^{-0.02JRC_0}, \quad JCS_n = JRC_0 (L_n/L_0)^{-0.03JRC_0}$$

Finalmente se obtuvieron los ángulos de fricción interna básico, residual y máximo en los sistemas de discontinuidades en las diferentes zonas de las unidades en los sitios de las galerías.

Tabla 3. Angulo de fricción básico, residual y máximo de las discontinuidades en la zona 1.

Zona 1					
Sistema	Tipo de ángulo de Fricción (°)	TGR-01 (Ug-3a)	TGR-02 (Ug-3a)	TGR-03 (Ug-3b)	TGR-04 (Ug-3b)
S1	∅ (básico)	39	35	35	35
	∅ (residual)	32	29	32	30
	∅ (máximo)	41	40	40	41
S2	∅ (básico)	35	35	35	35
	∅ (residual)	31	30	30	29
	∅ (máximo)	41	40	40	40
S3	∅ (básico)	35	35	35	35
	∅ (residual)	31	29	31	31
	∅ (máximo)	41	40	40	40

### 5.3 Zonificación de las galerías del bitúnel

Basado en la información geológica-geotécnica disponible hasta la fecha, obtenida mediante exploración directa in situ y con el objeto de obtener los sistemas de fracturamiento presentes en diversos sitios de la zona del bitúnel, se realizó un análisis de los levantamientos estructurales realizados por el área de geología en afloramientos de roca superficiales como en el interior de la masa de roca mediante excavaciones subterráneas con excavación tipo escudo (bitúnel y convencional (galerías).

En los levantamientos superficiales como en el sitio del portal oriente afloran rocas de composición traquiandesítica, cubriéndolas en contacto discordante se tienen brechas formadas por fragmentos de roca andesítica y en ocasiones basáltico-andesíticas, así como tobas líticas y depósitos de suelo residual.

Los levantamientos de fracturas que se realizaron en el interior de la masa rocosa en las zonas de las galerías se encuentran las unidades litológicas denominadas Andesitas, y Brechas andesíticas y tobáceas.

En superficie y en interior del macizo se observan tres sistemas principales de fracturamiento que son: N-S, NE-SW y E-W.

Empleando los levantamientos en las galerías se realizó una zonificación para una unidad litológica de roca y otra para brechas.

Para la zonificación en roca, la cual corresponde a la unidad litológica en Andesita, se realizó en función de su calidad (RQD), tabla 4.

Tabla 4. Zonificación de las galerías en zona 1 (roca).

Zona	Unidad Geotécnica	RQD (%)	Localización	Sistemas de Fracturamiento	Espaciamiento (m)
TGR-01	Ug-3a	95-100	Galería GT-05	S1: N2°W/90°	4
TGR-02	Ug-3a	90-95	Galería GE-18	S1: N06°W/87°NE	3
				S2: N46°W/79°SW	2
				S3: N52°E/85°NW	2
TGR-03	Ug-3a	71-90	Galería GE-12	S1: N09°E/80°SW	2
				S2: N66°W/85°SW	3
				S3: N41°E/83°NW	1
TGR-04	Ug-3b	25-40	Galería GE-14	S1: N24°W/90°	0.1

La segunda zonificación se realizó en las unidades que corresponden a las brechas andesítica y tobácea, la cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 5. Zonificación de las galerías en zona de brechas.

Zona	Unidad Geotécnica	Localización	Tamaño de Bloques (m)	V.B.P (%)
TGB-1	TGB-1	Brecha andesítica	0.15-0.25	25-50
TGB-2	TGB-2	Brecha tobácea	0.20-0.30	50-75

De acuerdo a la zonificación anterior en las unidades en las galerías, en la siguiente tabla se muestran los índices de calidad de la roca obtenida a través de los levantamientos geomecánicos realizados en campo.

Es importante mencionar que en los sistemas de fracturas determinados para cada zona de las unidades litológicas analizadas, no se consideró la fluidez de la roca como un sistema de discontinuidades, dado que en los levantamientos superficiales y subterráneos no se tienen datos estructurales de diaclasas o fallas asociadas a ella.

Tabla 6. Índices de calidad de roca por zonas.

Zona	RQD (%)	RMR (adm)	GSI (adm)	Índice Q (adm)	Tamaño de Bloques (m)	V.B.P (%)
TGR-01	95	87	82	32	0.20-.30	NA
TGR-02	91	86	81	23	0.20-.30	NA
TGR-03	71	79	74	22	0.20-.30	NA
TGR-04	30	70	65	11	0.20-.30	NA
TGB-1	NA	NA	NA	NA	0.15-0.25	25-50
TGB-2	NA	NA	NA	NA	0.20-0.30	50-75

NA, No aplica

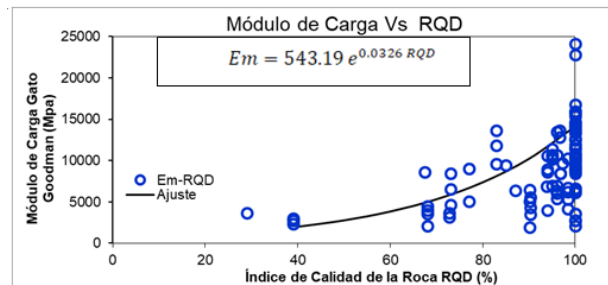
## 6 PROPIEDADES DEL MACIZO

### 6.1 Parámetros de resistencia y deformabilidad

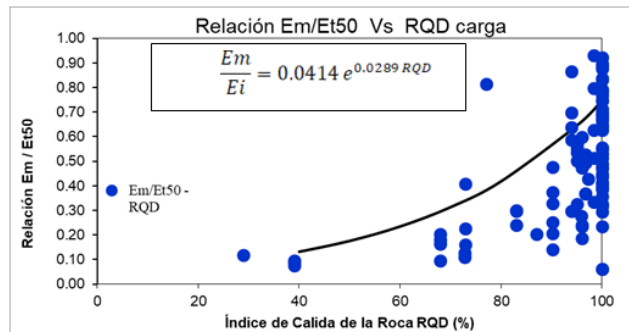
Obtenidos los resultados de módulo de deformabilidad de cada tramo, se promediaron por punto de prueba para finalmente obtener el módulo promedio

por unidad geotécnica. Lo anteriormente mencionado se realizó tanto para la etapa de carga como descarga.

Derivado de los resultados de la pruebas analizadas se procedió a graficar el módulo de carga vs el índice de calidad de la roca (RQD). En la gráfica 1, se muestra la dispersión de los datos y un ajuste, el cual facilitará conocer de manera rápida el módulo de carga en función del RQD.



Gráfica 1. Módulo de carga gato Goodman vs RQD.



Gráfica 2. Relación módulo de carga gato Goodman / módulo de la roca intacta vs RQD.

Para calcular los valores de los parámetros de resistencia comúnmente usados en geotecnia que se basan en el criterio de Mohr- Coulomb ( $c$  y  $\phi$ ), para cada una de las unidades de prueba, se calcularon las constantes de calidad ( $m$ ,  $s$ ,  $a$ ) representativos del macizo rocoso en la zona estudiada a través del criterio de Hoek –Brown (Anexo 4) en conjunto con los valores de GSI (Geological Strength Index) determinados en los levantamientos geomecánicos mostrados anteriormente.

Los parámetros de deformabilidad se definieron a partir de la comparación de los resultados de las pruebas mecánicas de campo (ensaye de gato Goodman) y aplicación de fórmulas empíricas, teniendo como re-

sultado que el uso de las ecuaciones propuestas por Mitri en 1994, y la de Hoek y Diederichs (2006) con un factor de alteración  $D = 0.5$ , son las más convenientes para escalar el módulo de elasticidad de la roca intacta al macizo rocoso, como se ilustra en la tabla 7.

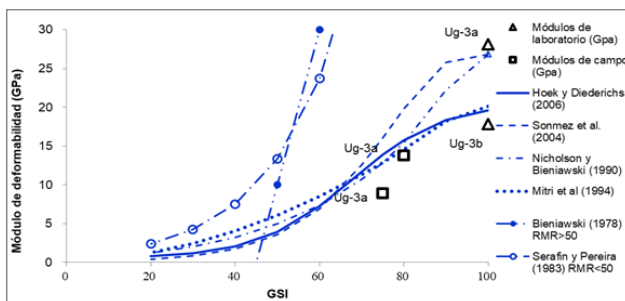
En la siguiente tabla se muestran los valores calculados a través del criterio de Hoek – Brown.

Tabla 7. Propiedades del macizo rocoso.

Zonas Geotécnicas	Unidad Geológica	Unidad Geotécnica	Descripción	Índices de Calidad de la Roca	
				RQD (%)	GSI
TGR-01				95	84
TGR-02	Tm-ci1	Ug-3a	Andesita	80	76
TGR-03				60	52
TGR-04	Tm-ct1	Ug-3b	Andesita Oxidada	30	22
TGB-1	Tm-ci1	Ug-3a	Brecha Andesítica	NA	NA

Constantes del Macizo	Relación de Poisson	Cohesión	Ángulo de fricción	Módulo de deformabilidad
mi	(adm)	c (MPa)	(°)	E (MPa)
12	0.12	1.18	59	8,020
12	0.13	0.28	49	1,208
9	0.11	0.2	37	1,130

NA, No aplica



Gráfica 3. Deformabilidad del macizo rocoso.

## 7 TRATAMIENTOS PARA LAS GALERÍAS

### 7.1 Zona 1

Zona en roca (TGR-01 a TGR-04), la cual se encuentra dentro de la unidad litológica de andesitas Qan-br en función de dichas zonas se definieron en dos tipos de tratamientos (T1 y T2), el primero se definió para una roca de regular a buena calidad con un valor de RMR mayor a 40 (zonas TGR-01 a TGR-03), y el segundo para una roca de mala calidad ( $RMR < 40$ ) (zona TGR-04) ó en zonas de brechas, en la cual llevará el tratamiento de marcos metálicos continuación se describen los tipos de tratamientos para dichas zonas.

Tabla 8. Tratamientos en zona 1 (roca).

ZONA	GALERÍA	TIPO	MARCOS METÁLICOS	CARGA
				(t/m <sup>2</sup> )
TGR-01	GT-05			
TGR-02	GE-18	T1	NO	NR
TGR-03	GE-12			
TGR-04	GE-14	T2	SI	17

ANCLAJE		CONCRETO LANZADO			
VARILLA	LON- GI- TUD	ARRE- GLO (Bóveda)	MALLA	ESPE- SOR	
DIÁMETRO	(Pulg.)	(m)	(Pulg.)	(m)	
	1	4	1.5x1.5	6x6-10/10	0.1
	NR	NR	NR	NR	NR

NR, No se requiere

### 7.2 Zona 2

También se denomina zona de brecha, y comprende de la TGB-1 a TGB-2, la cual se encuentra dentro de la unidad litológica de brechas andesitas (Qan-br) y tobáceas en función de dichas zonas se definió un tipo de tratamiento (T2), para zonas de brechas, en la cual llevará el tratamiento de marcos metálicos continuación se describen los tipos de tratamientos para dichas zonas.

Tabla 9. Tratamientos en zona 2 (brechas).

ZONA	GALERÍA	TIPO	MARCOS METÁLICOS	CARGA
				(t/m <sup>2</sup> )
TGB-1	GE-20	T2	SI	17
	GE-16			
	GE-14			
TGB-2	GT-03	T2	SI	17
	GE-10			

ANCLAJE		CONCRETO LANZADO		
VARILLA	LONGITUD (m)	ARREGLO (Bóveda) (m)	MALLA (Pulg.)	ESPESOR (m)
DIÁMETRO (Pulg.)				
NR	NR	NR	NR	NR
NR	NR	NR	NR	NR

NR, No se requiere

## 8 CONCLUSIONES

Derivado de los levantamientos geomecánicos que se realizaron en la zona de excavación en las galerías técnicas y de evacuación correspondientes al bitúnel, y con las pruebas de campo y laboratorio fue posible realizar una zonificación de acuerdo a las propiedades de los materiales en los cuales se determinaron los parámetros de calidad, resistencia, deformabilidad y tratamientos del macizo rocoso.

Con relación a la zona 1 con la unidad litológica de andesitas Qan-br, se tiene en promedio un RMR de 80 con calificación de "Bueno", con una resistencia a la compresión de  $\sigma_c$  y un Módulo de Elasticidad en el macizo rocoso de  $E_m=8.02$  GPa., con un tratamiento de anclaje con arreglo de 1.5x1.5 y concreto lanzado con espesor de 0.10 m.

En la zona 2 ó zona de brecha, dentro de la unidad litológica de brechas andesitas (Qan-br) y tobáceas, se tiene en promedio un v.B.P. de 25-50 %, a la cual le corresponde un tratamiento de marcos metálicos a cada metro y concreto lanzado con un espesor de 0.10 m.

## REFERENCIAS

1. COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Estudio para el modelo geológico y geotécnico y sistemas de auscultación Tren Interurbano Toluca-México (TIMT), Condiciones Geológicas Geohidrológicas y Geotécnicas en los Túneles del Tramo II, 2015.
2. COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Manual de Diseño de Obras Civiles, Tomo B.3.4. Pruebas de campo y laboratorio.
3. GONZÁLEZ DE VALLEJO, LUIS I., Ingeniería Geológica, Editorial Pearson Prentice Hall, 2002, Pearson Educación. Madrid, España
4. BIENIAWSKI, Z. T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons, 1989.
5. PALMTRÖM A. RMI - a rock mass characterization system for rock engineering purposes. Testis de Doctorado Universidad de Oslo, 1995.
6. ARILD PALMTRÖM. Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 2005.
7. BARTON, N. & CHOUBEY, V. The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics 1/2:1-54, 1977.
8. HOEK, E., CARTER, T.G., DIEDERICHS. Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, 2013, San Francisco, CA, USA.
9. HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C.T., and Corkum, B. (2002): Hoek-Brown failure criterion, edition. Proc. North American Rock Mechanics Society, 2002.
10. DEERE, D. U., & MILLER, R. P. Engineering classification and index properties for intact rock. Illinois Univ. At Urbana Dept. Of Civil Engineering, 1966.