

CONCLUSIONES

- 1.- La ejecución de los ensayos se realizó sobre probetas extraídas de muestras rocosas, en algunos casos de minerales; considerando los estándares del **ISRM** (Society International For Rock Mechanic's).
- 2.- En el cuadro adjunto se presenta resultados promedios de las **Propiedades Físicas de las Rocas** más representativas de las Minas del Perú; como también de Obras Civiles de mayor relevancia, tomando en cuenta la ubicación geográfica de estas minas y obras civiles, estos resultados promedios son consecuencia de una serie de ensayos por muestra, no se ha considerado resultado de menor de 5 ensayos por muestra de roca, para un mejor análisis y representatividad; En el caso específico de las muestras de Mineral de la Minas Raura, Quiruvilca, Iscaycruz, San Nicolás, Huanzala, Juanita, varía en función a sus componentes del masivo, siendo sus rangos:

Muestra	Densidad gr/cm ³	P.E.a. KN/m ³	P.a. %	Absorción %
Mineral	2.52 – 4.10	24.73 - 40.22	0.58 - 4.71	0.15 - 1.46

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS

TIPO DE ROCA	Densidad gr/cm ³	P.E.a. KN/m ³	P.a. %	Absorción %
Aglomerado Volcánico	2.66	26.13	2.39	0.90
Andesita	2.75	26.83	1.85	0.97
Arenisca	2.59	25.38	0.93	0.36
Argilica	1.92	18.87	24.84	12.60
Brecha	2.70	26.57	1.15	0.42
Caliza	2.66	26.07	2.46	0.93
Conglomerado	2.68	26.31	1.23	0.46
Cuarcita	2.64	25.91	2.04	0.78
Cuarzo Alunita	2.27	22.31	5.21	2.29
Dacita	2.69	26.36	3.94	1.47
Doleritas y Porfidos	2.74	26.93	0.52	0.18
Dolomita	2.64	25.90	0.60	0.22
Granodiorita	2.39	23.48	4.31	1.66
Mármol	2.75	26.98	0.96	0.36
Pirita	4.35	42.77	4.45	1.25
Skarn	3.31	32.50	3.70	1.14
Steam head	2.14	21.02	11.70	5.31
Vuggi Silica	1.95	19.16	5.96	2.91

- 3.- En el cuadro adjunto se presenta resultados promedios de las **Propiedades Mecánicas de las Rocas** más representativas de las Minas del Perú; como también de Obras Civiles de mayor relevancia, tomando en cuenta la ubicación geográfica de estas minas y obras civiles, estos resultados promedios son consecuencia de una serie de ensayos por muestra, no se ha considerado resultado de menor de 5 ensayos por muestra de roca, para un mejor análisis y representatividad; En el caso específico de las muestras de Mineral de la Minas Raura, Quiruvilca, Iscaycruz, San Nicolás, Huanzala, y Juanita, varia en función a sus componentes del masivo, siendo sus rangos de:

Muestra	dc Kg/cm ²	dt Kg/cm ²	Constantes Elásticas		Corte Directo	
			"E" Kg/cm ²	"?"	"C" Kg/cm ²	"Fi" °
Mineral	340.09 - 2135.98	52.55 - 60.3	1.66 - 3.12x10 ⁵	0.22 - 0.48	0.9	49

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ROCAS

TIPO DE ROCA	dc Kg/cm ²	dt Kg/cm ²	Is Kg/cm ²	Constantes Elásticas		Corte Directo	
				"E" Kg/cm ²	"?"	"C" Kg/cm ²	"Fi" °
Aglomerado Volcánico	599.75	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Andesita	1505.24	134.87	.....	2.797 x 10 ⁵	0.25	1.65	37.88
Arenisca	.....	15.90	.....	2.850 x 10 ⁵	0.19	.....	.....
Argilica	686.10	13.70	.....	0.319 x 10 ⁵	0.32	0.30	28.90
Brecha	135.65	10.12	.....	1.380 x 10 ⁵	0.26	1.97	56
Caliza	1102.06	.....	75.97	1.636 x 10 ⁵	0.21	0.80	31.50
Conglomerado	191.74	8.95	.....	2.113 x 10 ⁵	0.29	2.94	57
Cuarcita	.....	84.50	.....	2.590 x 10 ⁵	0.24	.....	.....
Cuarzo Alunita	1138.30	95.10	.....	2.021 x 10 ⁵	0.25	1.00	31.94
Dacita Pofiritica	118.89	8.46	.....	1.412 x 10 ⁵	0.23	2.11	55
Doleritas y Porfidos	1778.30	115.20	.....	6.530 x 10 ⁵	0.35	2.23	57
Dolomita	618.84	.....	44.43	.....	.....	.....	.....
Filita	469.15	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Granito	1832.23	.....	.....	.....	.....	.....	26
Granodiorita	753.94	75.08	84.30	0.720 x 10 ⁵	0.18	1.40	41.05
Marga Arcillosa	.....	.....	3.04	.....	.....	.....	.....
Mármol	492.10	.....	.....	0.910 x 10 ⁵	0.18	.....	.....
Pirita	.....	30.71	.....	1.440 x 10 ⁵	0.28	.....	.....
Skarn	580.09	.....	.....	1.420 x 10 ⁵	0.25	0.27	30.70
Steam head	250.60	23.20	.....	0.702 x 10 ⁵	0.28	1.1	30.29
Vuggi Silica	738.70	87.10	.....	1.206 x 10 ⁵	0.28	0.7	28.98

- 4.- En el cuadro adjunto se presenta la [Clasificación de la resistencia de la Roca Inalterada](#) de Acuerdo a Deere and Miller (Fuente: E. Hoek / E.T. Brown.), esta clasificación se calcula en función a la Resistencia Compresiva de la Roca, En el caso específico de las muestras de Mineral de las Minas: Raura, Quiruvilca, Iscaycruz, San Nicolás, Huanzala y Juanita, varía en función a sus componentes del masivo, siendo sus rangos que va desde [la Resistencia Baja hasta Resistencia Alta](#).

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS DE ACUERDO A DEERE AND MILLER

TIPO DE ROCA	dc Kg/cm ²	DESCRIPCION
Andesita	1505.24	Resistencia Alta
Caliza	1102.06	Resistencia Alta
Cuarzo Alunita	1138.30	Resistencia Alta
Doleritas y Porfidos	1778.30	Resistencia Alta
Granito	1832.23	Resistencia Alta
Aglomerado Volcánico	599.75	Resistencia Media
Argilica	686.10	Resistencia Media
Dolomita	618.84	Resistencia Media
Granodiorita	753.94	Resistencia Media
Skarn	580.09	Resistencia Media
Vuggi Silica	738.70	Resistencia Media
Filita	469.15	Resistencia Baja
Mármol	492.10	Resistencia Baja
Steam head	250.60	Resistencia Baja
Brecha	135.65	Resistencia Muy Baja
Conglomerado	191.74	Resistencia Muy Baja
Dacita Pofiritica	118.89	Resistencia Muy baja

- 5.- En el cuadro adjunto se presenta la clasificación de las rocas de acuerdo a su [Modulo Relativo](#), la cual se determina en función al Modulo tangencial al 50% de la Resistencia Compresiva de la roca, (Fuente: E. Hoek/ E.T. Brown.), siguiendo los criterios de Deere and Miller. En el caso específico de las muestras de Mineral de las Minas Raura, Quiruvilca, Iscaycruz, San Nicolás, Huanzala y Juanita, varía en función a sus componentes del masivo, siendo sus rangos que va desde:

Muestra	Clase	Descripción
Mineral	M - H	Modulo Relativo Medio - Elevado

MODULO RELATIVO DE LAS ROCAS

TIPO DE ROCA	DESCRIPCION	CLASE
Andesita	Modulo Relativo Alto	H
Caliza	Modulo Relativo Alto	H
Cuarzo Alunita	Modulo Relativo Alto	H
Doleritas y Porfidos	Modulo Relativo Alto	H
Granito	Modulo Relativo Alto	H
Aglomerado Volcánico	Modulo Relativo Medio	M
Argilica	Modulo Relativo Medio	M
Dolomita	Modulo Relativo Medio	M
Granodiorita	Modulo Relativo Medio	M
Skarn	Modulo Relativo Medio	M
Vuggi Silica	Modulo Relativo Medio	M
Filita	Modulo Relativo Medio	M
Mármol	Modulo Relativo Medio	M
Steam head	Modulo Relativo Bajo	L
Brecha	Modulo Relativo Bajo	L
Conglomerado	Modulo Relativo Bajo	L
Dacita Pofirítica	Modulo Relativo Bajo	L

6.- En el cuadro adjunto se presenta la clasificación de las rocas de acuerdo a su **Modulo de Deformación**, la cual se determina en función al modulo tangencial inicial E_i , (Fuente: Farmer), calculado mediante la expresión matemática siguiente:

$$E_i = 350 \times d_c \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

En el caso específico de las muestras de Mineral de las Minas Raura, Quiruvilca, Iscaycruz, San Nicolás, Huanzala y Juanita, varia en función a sus componentes del masivo, siendo sus rangos que va desde:

Muestra	Descripción	Clase
Mineral	No Elástica - Cuasi Elástica	NE - QE

MODULO DE DEFORMACIÓN

TIPO DE ROCA	DESCRIPCION	CLASE
Doleritas y Porfidos	Cuasi Elástica	QE
Granito	Cuasi Elástica	QE
Andesita	Semi Elástica	SE
Aglomerado Volcánico	No Elástica	NE
Argilica	No Elástica	NE
Brecha	No Elástica	NE
Caliza	No Elástica	NE
Conglomerado	No Elástica	NE
Cuarzo Alunita	No Elástica	NE
Dacita Pofiritica	No Elástica	NE
Dolomita	No Elástica	NE
Filita	No Elástica	NE
Granodiorita	No Elástica	NE
Mármol	No Elástica	NE
Skarn	No Elástica	NE
Steam head	No Elástica	NE
Vuggi Silica	No Elástica	NE

- 7.- En función a los parámetros del [Modulo de Deformación y/o Elasticidad](#) y la [Relación de Poisson](#) de la roca, se puede calcular: los parámetros de la [Constante de Lamé "I"](#), el [Modulo de Rigidez "G"](#) y el [Modulo de Bulk - Incompresibilidad o Expansión "K"](#), para ser aplicado dichos Parámetros en el diseño de proyectos de ingeniería con la aplicación de la Mecánica de Rocas.
- 8.- En función a los parámetros de la Resistencia Compresiva y la Resistencia a la Tracción Indirecta de la roca se puede calcular el [Indice de Volabilidad](#) de la roca, con la finalidad de analizar la calidad de la fragmentación de la roca después de la voladura, teniendo en consideración su ratio.
- 9.- Las propiedades Físico-Mecánicas de las rocas y de algunos minerales determinados en el Laboratorio de Mecánica de rocas se ejecutaron en condiciones normales tanto de humedad y temperatura, para el presente trabajo técnico; conllevando un mejor análisis; no se han tomado en cuenta muestras rocosas y minerales, en condiciones húmedas y secas.
- 10.- Es necesario para un mejor entendimiento del comportamiento de las rocas, en función a su [Resistencia](#) y [Calidad](#), coadyuvado por la determinación de sus Propiedades Físico-Mecánicas, considerando

además el tipo de roca, tamaño de grano, textura, estructura, condición de fractura, relleno de fracturas, rugosidad de las discontinuidades, la Meteorización e intemperismo, en general, con la finalidad de tener datos reales de campo, [realizar investigaciones integrales sobre este evento](#), considerando los estándares del ISRM, para su posterior aplicación en el diseños de labores mineras subterráneas y superficiales, así como también en obras civiles.

- 11.- La Calidad del Macizo Rocoso, se determina mediante la aplicación de las Clasificaciones Geomecánicas: como la Clasificación de [Bieniawski "RMR" \(Rock Mass Rating\)](#) cuyo objetivo, en función a la calidad del macizo rocoso, es determinar aproximadamente cuanto tiempo puede una excavación subterránea autosoportarse; la Corrección realizada por [Laubscher and Taylor](#) a la Clasificación de Bieniawski nos diagnóstica, el tipo de sostenimiento que requiere una excavación subterránea en función al recalcu de los datos originales, la Clasificación de [Barton "Q" \(Índice de Calidad Tunelera\)](#) en función a los seis parámetros ($RQD, J_n, J_r, J_a, J_w, SRF$) y a la Dimensión Equivalente " D_e ", nos determina el tipo de Sostenimiento a ser utilizado, la Clasificación "[SMR" \(Slope Mass Rating\)](#), es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación [RMR de Bieniawski](#) a los taludes, El [GSI \(Strength Geological Index\)](#). de [Paul Marinos](#), y [Evert Hoek](#) en este escrito presenta una revisión de la estimación de propiedades de resistencia del macizo rocoso a través de su aplicación.
- 12.- Las Propiedades Físico-Mecánicas del macizo rocoso, se determina mediante las Clasificaciones Geomecánicas de [Bieniawski "RMR"](#) y de [Barton "Q"](#), Resistencia Compresiva " d_c " de la roca Intacta y el calculo de las constantes m, s, A y B , coadyuvado por las relaciones aproximadas entre la calidad del macizo rocoso y las constantes empíricas, y en función al criterio de fallamiento de Hoek and Brown; en el presente trabajo en el [Cuadro N° 70](#) y [Cuadro N° 71](#), se presenta las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso de las minas de Raura y de la mina el Gigante de la División Norte de la Compañía Minera Marsa, donde se puede notar que los parámetros cuantificados de resistencia del macizo rocoso, pueden ser aplicados desde el punto de la Mecánica de rocas, para el análisis de estabilidad global, que constituye la parte final de la modelización de la operación minera.
- 13.- En relación al comportamiento de la Labor Minera, se debe tener en cuenta [el Sistema de Control Instrumental \(monitoreo\) de los componentes estructurales rocosos](#), hoy en día han llegado a constituirse en una parte integrante de las operaciones mineras, para la detección de signos de inestabilidad potencial y el control de los problemas de inestabilidad, antes, durante y después de la construcción de dicha labor minera, con la finalidad de garantizar la

seguridad, verificación de la validez de los modelos conceptuales; propiedades del macizo rocoso. usados en los cálculos para el diseño; y, para el control de la implementación del tratamiento para remediar y/o mitigar el ecosistema impactado.

- 14.- El Dr. E. Schmidt, ideó el ensayo respectivo de rebote, empleando el Martillo Schmidt de dureza, un proceso no destructivo de la roca, que puede estimar la Resistencia Compresiva, considerando los estándares del ISRM; durante la voladura se producen vibraciones a través del macizo rocoso, estas vibraciones son detectadas mediante el registro de las ondas: longitudinal, vertical y transversal, el registro de estas ondas nos permite predecir el efecto que producirán al efectuarse la voladura, según Langerford la Velocidad de Onda debe ser $V < 2''/\text{seg.}$, para que no afecte la operación minera, estas ondas pueden ser medidas por el sismógrafo y/o blaster, la instalación de Piezómetros nos permiten analizar las formaciones geológicas, zonas de fallas y zonas productoras de agua (Nivel Freático), así como también nos permite medir la columna de agua, los [piezómetros](#) construidos hasta la fecha y previstos a futuro, puede considerarse como instalaciones "[profundas](#)" (es decir, mayores de 50 metros). se ha utilizado la circulación invertida, la perforación de roto - percusión para pozo de sondeo; el [Sistema de Control Instrumental subterráneo](#), actualmente el método más adecuado y útil para el control de las deformaciones son las mediciones de "[Convergencia](#)", las cuales consisten en medir los cambios del contorno de la excavación a través de mediciones periódicas de las distancias de un punto de referencia respecto a otros y viceversa, para este tipo de mediciones se utiliza el [Extensómetro de Cinta](#), el [Extensómetro de varillas mecánico de 6 posiciones](#), la [Barra Telescópica Extensométrica](#) e [Inclinómetro](#).
- 15.- Los trabajos relacionados a los objetivos y alcances planteados han sido cumplidos en su totalidad según el cronograma pre-establecido, las interpretaciones y evaluaciones de los resultados de los ensayos ejecutados sobre muestras rocosas y minerales; son provenientes de las minas y obras civiles representativas de nuestro país; esperando además que el presente trabajo técnico [sea el inicio de muchas investigaciones referidas a la Determinación de las Propiedades Físico-Mecánicas de las Rocas y Monitoreo de la Masa Roca de minas y obras civiles](#); para ser aplicado en el diseño de construcción de labores mineras Subterráneas y Superficiales; y, obras civiles de gran envergadura, mediante la Ciencia de la Mecánica de Rocas, así como también relevando lo más importante [se dio el primer paso](#).