

**CONTENIDO GENERAL DEL INFORME**

| Volumen | Componente   | Contenido   |
|---------|--------------|---|
| s/n     | General      | Resumen Ejecutivo   |
| 1       | Componente 1 | Actualización del Estudio Hidrológico, Planteamiento y Análisis de Alternativas, Geología y Geotecnia |
| 2       | Componente 1 | Actualización y Complementación de los Estudios de Ingeniería Presa Pomacocha                         |
| 3       | Componente 1 | Actualización y Complementación de los Estudios de Ingeniería Obras de Captación y Conducción.        |
| 4       | Componente 1 | Actualización y Complementación de los Estudios de Ingeniería Túnel Trasandino                        |
| 5       | Componente 1 | Evaluación Ambiental, Arqueológica y Social de las Obras y Plan de Saneamiento Físico-Legal           |
| 6       | Componente 2 | Planteamiento y Análisis de Alternativas y Desarrollo del Estudio de Ingeniería                       |
| 7       | Componente 2 | Geotecnia y Memoria de Calculo Estructural  |
| 8       | Componente 2 | Evaluación Ambiental, Arqueológica y Social de las Obras y Plan de Saneamiento Físico Legal           |
| 9       | Componente 3 | Diseño a Nivel de Factibilidad del Estudio de Ingeniería  |
| 10      | Componente 3 | Diseño a Nivel de Factibilidad del Estudio de Ingeniería - Equipamiento Electromecánico               |
| 11      | Componente 3 | Caminos de Acceso, Geología   |
| 12      | Componente 3 | Geología y Geotecnia Túneles  |
| 13      | Componente 3 | Memoria de Calculo Estructural  |
| 14      | Componente 3 | Evaluación Ambiental, Arqueológica y Social   |
| 15      | Componente 3 | Plan de Saneamiento Físico Legal  |
| 16      | Componente 4 | Inventario y Diagnóstico de la PTAP HUACHIPA I y el Ramal Norte (1 de 3)                              |
| 17      | Componente 4 | Inventario y Diagnóstico de la PTAP HUACHIPA I y el Ramal Norte (2 de 3)                              |
| 18      | Componente 4 | Inventario y Diagnóstico de la PTAP HUACHIPA I y el Ramal Norte (3 de 3)                              |
| 19      | General      | Costos de Inversión y Operación (1 de 2)  |
| 20      | General      | Costos de Inversión y Operación (2 de 2)  |
| 21      | General      | Sustento Metrados   |
| 22      | General      | Cotizaciones  |

  
 Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP N°. 36229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

  
 Ing. María Alejandra Tallo González  
 Consorcio Agua para Lir.a  
 Representante Legal

**ACTUALIZACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS  
TÉCNICOS DEL PROYECTO “OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN  
PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA”**

**COMPONENTE 3**

**INFORME GEOTÉCNICO**

**TÚNELES**

**INFORME FINAL**



**Contenido**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Introducción .....   | 5  |
| 2   | Objetivos.....   | 5  |
| 3   | Ubicación del área de estudio .....  | 5  |
| 4   | Geología.....  | 6  |
| 4.1 | Marco geológico regional.....  | 6  |
| 4.2 | Geología local.....  | 7  |
| 5   | Investigaciones geotécnicas en campo .....                                   | 7  |
| 5.1 | Ensayo Medición de Ondas de Superficie en Arreglos Multicanales – MASW ..... | 7  |
| 5.2 | Análisis de Micro trepidaciones en Arreglos Multicanal - MAM.....            | 18 |

**Informe Final (No. 04)** Actualización y Complementación de los Estudios Técnicos del Proyecto “Obras De Cabecera Y Conducción Para El Abastecimiento De Agua Potable Para Lima”

1



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.3   | Estaciones Geomecánicas.....   | 41 |
| 6     | Ensayos de Laboratorio .....   | 46 |
| 6.1   | Ensayo de carga puntual.....   | 46 |
| 6.2   | Ensayo de propiedades físicas .....                                    | 47 |
| 7     | Perfil litológico del túnel.....                                       | 48 |
| 8     | Análisis de cimentación en rocas .....                                 | 50 |
| 8.1   | Parámetros de resistencia de los macizos rocosos .....                 | 50 |
| 8.1.1 | Criterio de Resistencia Hoek-Brown (2002).....                         | 50 |
| 8.1.2 | Determinación de la constante $m_i$ de la Matriz de Roca.....          | 51 |
| 8.1.3 | Resistencia a la Compresión de la Matriz Rocosa ( $\sigma_{ci}$ )..... | 52 |
| 8.1.4 | Índice Geológico de Resistencia, GSI.....                              | 53 |
| 8.1.5 | Criterio de Deformación de Macizos Rocosos .....                       | 55 |
| 8.1.6 | Capacidad admisible en el macizo rocoso .....                          | 55 |
| 9     | Diseño de sostenimiento .....  | 57 |
| 10    | Conclusiones .....   | 60 |
| 11    | Bibliografía .....   | 66 |

## Contenido Cuadros

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| Cuadro No. 1:  | Coordenadas UTM – WGS 84, de las líneas de MASW. ....                      | 10 |
| Cuadro No. 2:  | Clasificación del IBC. ....  | 11 |
| Cuadro No. 3:  | Líneas de MASW. ....   | 11 |
| Cuadro No. 4:  | Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW07(PST01).....    | 12 |
| Cuadro No. 5:  | Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW08(PIT01).....    | 13 |
| Cuadro No. 6:  | Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW01(PIT02).....    | 14 |
| Cuadro No. 7:  | Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW03 (PST02). ....  | 15 |
| Cuadro No. 8:  | Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW13 (PIT03).....   | 16 |
| Cuadro No. 9:  | Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW14. (PST03). .... | 17 |
| Cuadro No. 10: | Coordenadas UTM – WGS 84, de las líneas de MAM. ....                       | 21 |
| Cuadro No. 11: | Clasificación del IBC. ....  | 22 |
| Cuadro No. 12: | Líneas de MAM.....   | 22 |



|  |    |
|--|----|
| Cuadro No. 13: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM10 (Túnel 01).....                | 23 |
| Cuadro No. 14: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM11 (Túnel 01).....                | 25 |
| Cuadro No. 15: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM12 (Túnel 02).....                | 27 |
| Cuadro No. 16: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM13 (Túnel 02).....                | 28 |
| Cuadro No. 17: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM14 (Túnel 02).....                | 30 |
| Cuadro No. 18: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM15 (Túnel 02).....                | 32 |
| Cuadro No. 19: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM02 (Túnel 03).....                | 34 |
| Cuadro No. 20: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM03. (Túnel 03).....               | 36 |
| Cuadro No. 21: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM13. (Túnel 03).....               | 37 |
| Cuadro No. 22: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM14. (Túnel 03).....               | 39 |
| Cuadro No. 23: Estación Geomecánica.....   | 41 |
| Cuadro No. 24: Valoración RMR.....   | 43 |
| Cuadro No. 25: Descripción generada del puntaje total.....   | 44 |
| Cuadro No. 26: Valoración SMR.....   | 45 |
| Cuadro No. 27: Resultados del Ensayo de Carga Puntual.....   | 46 |
| Cuadro No. 28: Resumen de Ensayo de Propiedades Físicas.....   | 48 |
| Cuadro No. 29: Resumen del macizo por donde atraviesa la tubería en el Túnel 01.....                     | 49 |
| Cuadro No. 30: Resumen del macizo por donde atraviesa la tubería en el Túnel 01.....                     | 49 |
| Cuadro No. 31: Resumen del macizo por donde atraviesa la tubería en el Túnel 01.....                     | 50 |
| Cuadro No. 32: Determinación de la constante $m_i$ .....   | 51 |
| Cuadro No. 33: Resistencia a la Compresión Uniaxial de la Matriz Rocosa, $\sigma_{ci}$ .....             | 52 |
| Cuadro No. 34: Parámetros de Entrada al Criterio de Resistencia de Hoek Brown.....                       | 54 |
| Cuadro No. 35: Capacidad admisible y parámetros de resistencia.....                                      | 56 |
| Cuadro No. 36: Resumen del sostenimiento en el túnel 01.....   | 58 |
| Cuadro No. 37: Resumen del sostenimiento en el túnel 02.....   | 58 |
| Cuadro No. 38: Resumen del sostenimiento en el túnel 03.....   | 59 |
| Cuadro No. 39: Resumen el perfil litológico a la cota del trazo de la tubería.....                       | 60 |
| Cuadro No. 40: Cuadro Resumen del metrado de la calidad del macizo rocoso.....                           | 62 |
| Cuadro No. 41: Cuadro Resumen parámetros de resistencia cortante, deformación y capacidad admisible..... | 62 |
| Cuadro No. 42: Resumen del sostenimiento en el túnel 01.....   | 64 |
| Cuadro No. 43: Resumen del sostenimiento en el túnel 02.....   | 64 |
| Cuadro No. 44: Resumen del sostenimiento en el túnel 03.....   | 65 |



## Contenido Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura No. 1: Distribución de puntos de disparo del ensayo MASW. ....                 | 8  |
| Figura No. 2: Procesamiento del registro de campo del ensayo MASW.....                | 9  |
| Figura No. 3: Variación de la velocidad de la onda S con la profundidad. ....         | 9  |
| Figura No. 4: Distribución de puntos de geófonos en el ensayo MAM, fuente pasiva..... | 19 |
| Figura No. 5: Procesamiento del registro de campo del ensayo MAM.....                 | 20 |
| Figura No. 6: <i>Variación de la velocidad de la onda S con la profundidad.</i> ....  | 20 |
| Figura No. 7: Índice Geológico.....   | 53 |

## Contenido Imagen

|  |   |
|--|---|
| Imagen No. 1: Túnel 1, de ATE hasta La Molina. (Fuente: Google Earth) .....                  | 6 |
| Imagen No. 2: Túnel de La Molina hasta La Molina hasta Manchay. (Fuente: Google Earth) ..... | 6 |
| Imagen No. 3: Túnel 3, de Manchay hasta Villa María del Triunfo. (Fuente: Google Earth)..... | 6 |

## Anexos

### **Anexo a: Investigaciones de campo**

Anexo a1: Ensayo MASW

Anexo a2: Ensayo MAM

Anexo a3: Geomecánica

### **Anexo b: Ensayo de laboratorio**

Anexo b1: Carga puntual

Anexo b2: Propiedades físicas

### **Anexo c: Análisis de ingeniería**

Anexo c1: Parámetros de resistencia y deformación

Anexo c2: Diseño del sostenimiento del túnel

### **Anexo d: Panel fotográfico**

### **Anexo e: Planos**



## 1 Introducción

El presente informe fue realizado por Sotelo & Asociados S.A.C., con la finalidad de clasificar el macizo rocoso de los 03 túneles por donde atravesará la tubería de conducción del proyecto “Obras de Cabecera y Conducción para Abastecimiento de Agua Potable para Lima”

La investigación de campo consiste en evaluar a nivel superficial las condiciones del macizo rocoso a través de Estaciones Geomecánicas y estimar la alteración de la roca a la profundidad del trazo de la tubería a través de la geofísica (MASW y MAM).

En el portal de entrada y de salida del túnel se ha intensificado el estudio geotécnico por ser una zona donde la calidad de la roca no es buena y mayormente se exige el diseño sostenimiento en la etapa de perforación.

## 2 Objetivos

Evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo y la roca

- Conocer a profundidad las condiciones del macizo rocosa a través de ensayos de geofísica.
- Clasificar la calidad del macizo rocoso por donde atravesará la tubería de conducción
- Determinar los paramentos de resistencia y deformación del tipo de roca identificada.
- Elaborar un plano en perfil indicando la clasificación del macizo rocoso a lo largo del túnel.

## 3 Ubicación del área de estudio

Los 03 túneles en estudio se encuentran ubicado entre los siguientes distritos:

- **Túnel 1:** Portal de entrada en Ate-Vitarte y Portal de salida en La Molina
- **Túnel 2:** Porta de entrada en La Molina y Portal de salida en Pachacamac
- **Túnel 3:** Portal de entrada en Villa María del Triunfo y Portal de salida en Villa María del Triunfo.



La longitud de los túneles 1, 2 y 3 son aproximadamente 2.3, 4.4 y 3 Kilómetros respectivamente. En las imágenes N°1, 2 y 3, se muestran el trazo de los 03 túneles.

**Informe Final (No. 04) Actualización y Complementación de los Estudios Técnicos del Proyecto “Obras De Cabecera Y Conducción Para El Abastecimiento De Agua Potable Para Lima”**

5

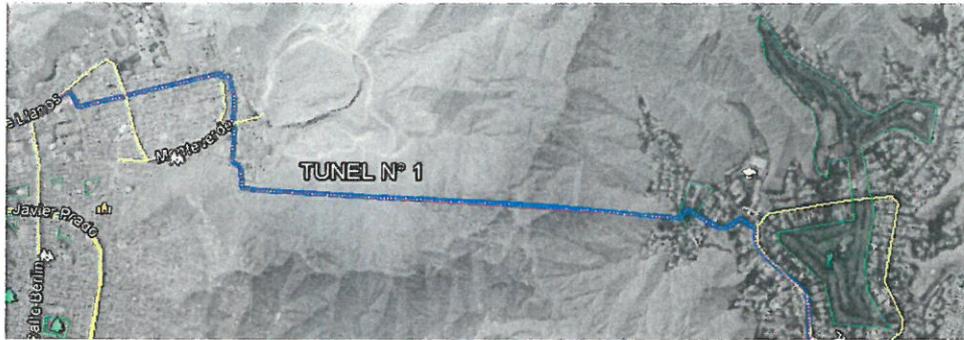


Imagen No. 1: Túnel 1, de ATE hasta La Molina. (Fuente: Google Earth)

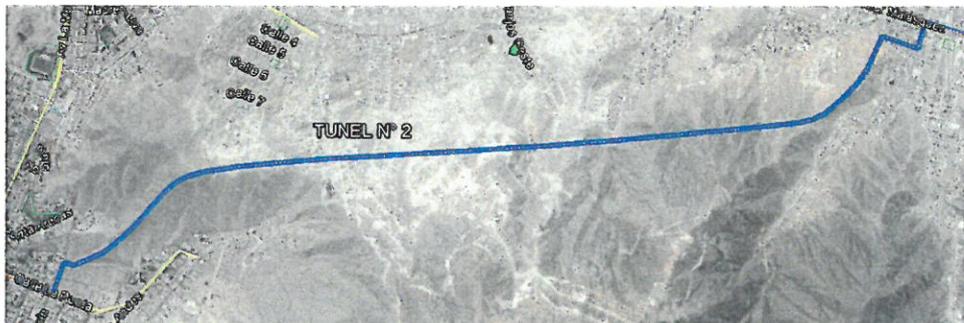


Imagen No. 2: Túnel de La Molina hasta La Molina hasta Manchay. (Fuente: Google Earth)

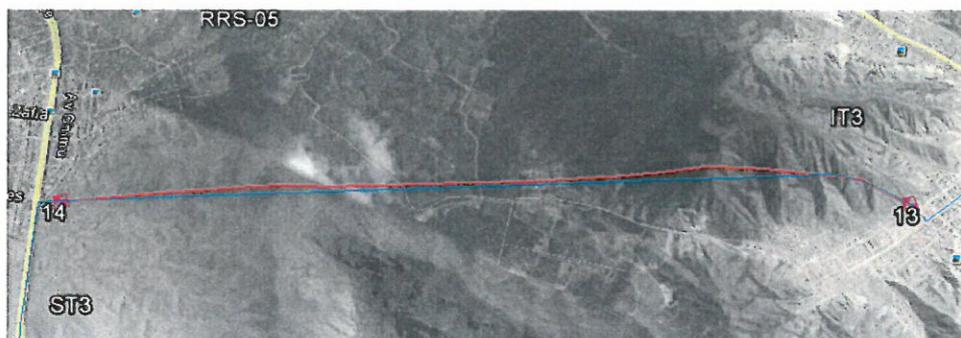


Imagen No. 3: Túnel 3, de Manchay hasta Villa María del Triunfo. (Fuente: Google Earth)

## 4 Geología

### 4.1 Marco geológico regional

La geología a escala regional, se ha basado en los levantamientos geológicos a escala 1:100,000 realizado por INGEMMET.

Las características geológicas que afloran en la zona de estudio comprenden rocas sedimentarias, metamórficas, volcánicas e intrusivas, con edades que fluctúan entre el Jurásico y el Cuaternario Reciente.

La litología regional del área donde se desarrollará el Proyecto, está conformada por materiales inconsolidados de edad geológica del Cuaternario, constituidos por materiales acarreados por los ríos Rímac y Lurín, los que a su vez, están conformado por cantos rodados de diversa jerarquía, material coluvial, formando paquetes de roca en matriz areno, gravosa-arcillosa, conglomerados y semi consolidados, generalmente horizontales, y por acción eólica la cual transporta granos finos que se acumulan en las proximidades de la llanura costanera. El área de estudio se localiza en los cuadrángulos geológicos de Lima, Lurín, y Chosica

#### **4.2 Geología local**

El área de estudio comprende diversos distritos con variaciones en la Geología. A continuación se presenta una descripción de la Geología de cada uno de los tres túneles basados en los estudios realizados en terreno. Para la caracterización se realizaron observaciones en terreno, estaciones geo mecánicas y ensayos geofísicos como el MASW y el MAM.

- La geología local en el túnel 01 está comprendida por roca ígnea intrusiva, con presencia de Diorita y Tonalita – Diorita.
- La geología local en el túnel 02 está comprendida por roca ígnea intrusiva, con presencia de Diorita y Tonalita – Gabro.
- La geología local en el túnel 03 está comprendida por roca ígnea intrusiva, con presencia Diorita y Adamelita.

#### **5 Investigaciones geotécnicas en campo**

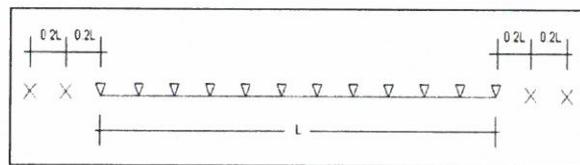
En el proyecto se tiene programado ejecutar 03 túneles, los cuales atravesaran rocas ígneas intrusivas, por lo tanto las investigaciones geotécnicas en campo están comprendidas por estaciones geomecánicas, ensayos MASW y ensayos MAM

##### **5.1 Ensayo Medición de Ondas de Superficie en Arreglos Multicanales – MASW**

Se realizaron ensayos MASW en el Portal de Entrada y Salida de los túneles con el objetivo de determinar los perfiles sísmicos en función a las velocidades de ondas de corte Vs.

### Método de Ensayo

El ensayo es similar al de refracción sísmica, consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de corte ( $V_s$ ) generadas por un golpe de impacto producidas por una comba. La diferencia principal radica que para este método se emplean geófonos de 4.5 Hz de frecuencia, además los puntos de shot se ubican a 0,2 y 0,4 L a los extremos de la línea, tal y como se muestra en la siguiente figura:



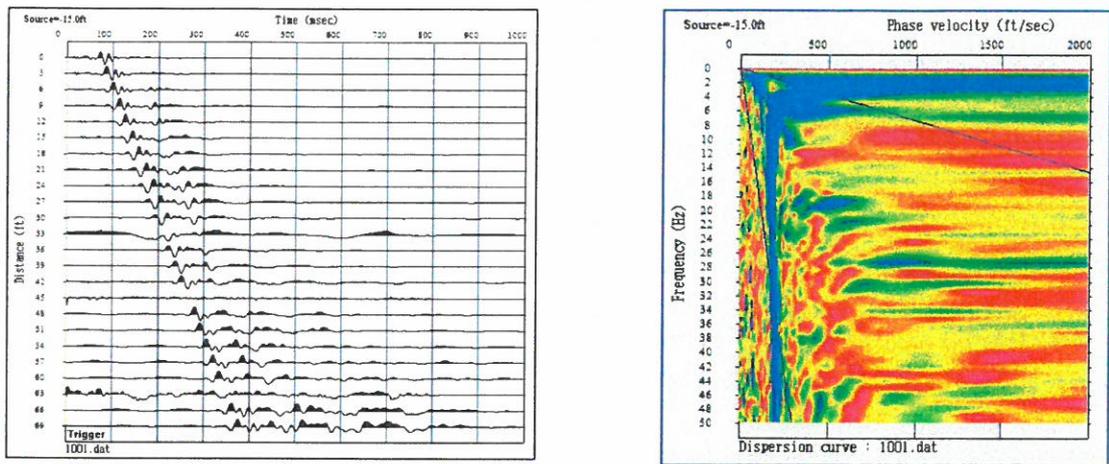
**Figura No. 1: Distribución de puntos de disparo del ensayo MASW.**

### Procesamiento

Para el procesamiento de los registros de campo, se realiza la inversión de velocidades de las ondas S mediante el análisis de la dispersión de las ondas de superficie. Esto se debe a que éstas cuentan con un 98% de componente de onda S y menos del 2% de onda P. Las ondas de superficie pierden velocidad de fase de manera significativa mientras la frecuencia de las mismas aumenta. Por esto, la dispersión de la onda de superficie (o Rayleigh) ocurre por lo general entre 5 Hz y 30 Hz. Se hizo el procesamiento haciendo uso para ello de los programas Surface Wave Analysis Wizard y Wave Eq (Surface Wave Analysis).

El primer programa (Surface Wave Analysis Wizard) nos muestra el gráfico de distancia versus tiempo que luego mediante las transformadas de Fourier se obtiene las curvas de velocidad de fase versus frecuencia en donde se puede ver la tendencia de la onda de fase que define la velocidad de la onda S que nos permite obtener la curva de dispersión en el modo fundamental generada en el ensayo.

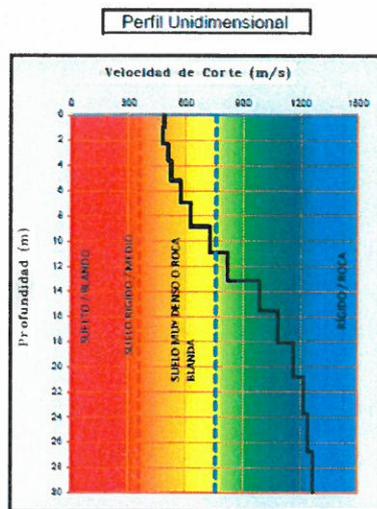




a) Tiempo de llegada de la onda de corte para diferentes distancias. b) Curva de la velocidad de fase vs modo fundamental.

**Figura No. 2: Procesamiento del registro de campo del ensayo MASW.**

El segundo programa (Wave Eq - Surface Wave Analysis) permite obtener la variación de las velocidades de onda S con la profundidad mediante el proceso de inversión de ondas lo cual se desarrolla por procesos iterativos.



**Figura No. 3: Variación de la velocidad de la onda S con la profundidad.**

### Equipo Utilizado

El equipo utilizado para realizar el trabajo de Prospección Sísmica por el ensayo MASW es el mismo que el equipo utilizado para realizar el ensayo de refracción sísmica con la diferencia que los geófonos empleados son de 4.5 Hz de frecuencia y se cambió de la configuración de los periodos de registro e intervalo de muestreo.

### Trabajos de campo

Como parte del estudio geofísico se realizaron tres líneas de MASW, siendo la distribución de la línea MASW la siguiente:

**Cuadro No. 1: Coordenadas UTM – WGS 84, de las líneas de MASW.**

| Descripción |                | Ensayo MASW | Longitud (m) | Coordenadas Pto. Central |         |
|-------------|----------------|-------------|--------------|--------------------------|---------|
|             |                |             |              | Este                     | Norte   |
| Túnel 01    | Portal Salida  | MASW 07     | 75           | 291818                   | 8665281 |
|             | Portal Entrada | MASW 08     | 75           | 291084                   | 8667436 |
| Túnel 02    | Portal Entrada | MASW 01     | 75           | 293412                   | 8662715 |
|             | Portal Salida  | MASW 03     | 75           | 296073                   | 8659448 |
| Túnel 03    | Portal Entrada | MASW 13     | 75           | 294192                   | 8654825 |
|             | Portal Salida  | MASW 14     | 75           | 291596                   | 8655570 |

Para clasificar sísmicamente el suelo se aplicó el código internacional IBC del 2009 que define el tipo y nombre de suelo de acuerdo a la velocidad promedio de los 30 m más superficiales Vs 30, tal como se muestra en la siguiente cuadro:



**Cuadro No. 2: Clasificación del IBC.**

| Tipo de Suelo | Clasificación del Suelo       | Propiedades Promedio en los primeros 30 metros |   |
|---------------|-------------------------------|--|---|
|               |                               | Velocidad Vs (m/s)                             | Resistencia a la Penetración estándar, NSPT |
| A             | Roca muy dura                 | $V_s > 1500$                                   | N/A   |
| B             | Roca                          | $760 < V_s \leq 1500$                          | N/A   |
| C             | Suelo muy denso o roca blanda | $360 < V_s \leq 760$                           | NSPT > 50                                   |
| D             | Suelo rígido/suelo intermedio | $180 \leq V_s \leq 360$                        | $15 \leq \text{NSPT} \leq 50$               |
| E             | Suelo blando                  | $V_s < 180$                                    | NSPT < 15                                   |

Para el presente informe, se ha propuesto calificar la rigidez del material identificado en función de la velocidad Vs y de acuerdo a los siguientes rangos de velocidades:

**Cuadro No. 3: Líneas de MASW.**

| Descripción |                | Ensayo MASW | Tipo Onda | Vs 30 (m/s) | IBC | Tipo de Suelo           |
|-------------|----------------|-------------|-----------|-------------|-----|-------------------------|
| Túnel 01    | Portal salida  | MASW 07     | S         | 606         | C   | Roca o suelo muy rígido |
|             | Portal entrada | MASW 08     | S         | 509         | C   | Roca o suelo muy rígido |
| Túnel 02    | Portal entrada | MASW 01     | S         | 493         | C   | Roca o suelo muy rígido |
|             | Portal salida  | MASW 03     | S         | 491         | C   | Roca o suelo muy rígido |

| Descripción | Ensayo MASW    | Tipo Onda | Vs 30 (m/s) | IBC | Tipo de Suelo |                               |
|-------------|----------------|-----------|-------------|-----|---------------|-------------------------------|
|             |                |           |             |     | rígido        |                               |
| Túnel 03    | Portal entrada | MASW 13   | S           | 290 | D             | Suelo rígido/suelo intermedio |
|             | Portal salida  | MASW 14   | S           | 491 | C             | Suelo muy denso o roca blanda |

Los perfiles unidimensionales de ondas de corte, son presentados en el Anexo A2: Perfil Unidimensional de Ondas de Corte - MASW.

**Cuadro No. 4: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW07(PST01).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1.07                             | 284.75                     |
| 2.31                             | 249.75                     |
| 3.71                             | 408.50                     |
| 5.28                             | 467.25                     |
| 7.01                             | 493.00                     |
| 8.90                             | 547.75                     |
| 10.96                            | 616.75                     |
| 13.19                            | 690.50                     |
| 15.58                            | 745.00                     |
| 18.13                            | 769.25                     |
| 20.85                            | 822.00                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 23.74                            | 828.25                     |
| 26.79                            | 886.25                     |
| 30.00                            | 916.00                     |

Se tiene desde superficie un suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 2 m aproximadamente con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 284 - 249 m/s, subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 16 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 408 y 745 m/s, por último se infiere roca con velocidades de corte que varía entre 769 – 916 m/s la compacidad de los materiales aumenta según la profundidad.

**Cuadro No. 5: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW08(PIT01).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1.07                             | 165.75                     |
| 2.31                             | 233.50                     |
| 3.71                             | 348.00                     |
| 5.28                             | 369.00                     |
| 7.01                             | 454.00                     |
| 8.90                             | 530.75                     |
| 10.96                            | 558.50                     |
| 13.19                            | 580.00                     |
| 15.58                            | 608.75                     |
| 18.13                            | 670.25                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 20.85                            | 697.75                     |
| 23.74                            | 736.75                     |
| 26.79                            | 745.50                     |
| 30.00                            | 803.25                     |

Se tiene desde superficie un suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 4 m aproximadamente con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 165 - 348 m/s, subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 27 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 369 y 745 m/s, por último se infiere roca con velocidad de corte de 803 m/s la compacidad de los materiales aumenta según la profundidad.

**Cuadro No. 6: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW01(PIT02).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1.07                             | 261.75                     |
| 2.31                             | 295.00                     |
| 3.71                             | 344.75                     |
| 5.28                             | 389.50                     |
| 7.01                             | 423.50                     |
| 8.90                             | 478.25                     |
| 10.96                            | 510.00                     |
| 13.19                            | 543.00                     |
| 15.58                            | 596.50                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 18.13                            | 620.75                     |
| 20.85                            | 667.50                     |
| 23.74                            | 684.75                     |
| 26.79                            | 702.75                     |
| 30.00                            | 812.50                     |

Se tiene desde superficie un suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 4 m aproximadamente con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 261 - 344 m/s, subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 27 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 389 y 702 m/s, por último se infiere roca con velocidad de corte de 812 m/s la compacidad de los materiales aumenta según la profundidad.

**Cuadro No. 7: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW03 (PST02).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1.07                             | 203.00                     |
| 2.31                             | 214.50                     |
| 3.71                             | 363.75                     |
| 5.28                             | 373.00                     |
| 7.01                             | 439.25                     |
| 8.90                             | 507.50                     |
| 10.96                            | 547.50                     |
| 13.19                            | 594.75                     |
| 15.58                            | 631.75                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 18.13                            | 675.25                     |
| 20.85                            | 732.50                     |
| 23.74                            | 748.00                     |
| 26.79                            | 758.25                     |
| 30.00                            | 859.00                     |

Se tiene desde superficie un suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 2 m aproximadamente con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 203 - 214 m/s, subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 27 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 363 y 758 m/s, por último se infiere roca con velocidad de corte de 859 m/s la compacidad de los materiales aumenta según la profundidad.

**Cuadro No. 8: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW13 (PIT03)**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1.07                             | 97.00                      |
| 2.31                             | 117.00                     |
| 3.71                             | 167.00                     |
| 5.28                             | 225.00                     |
| 7.01                             | 271.00                     |
| 8.90                             | 317.00                     |
| 10.96                            | 319.00                     |
| 13.19                            | 370.00                     |
| 15.58                            | 376.00                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 18.13                            | 398.00                     |
| 20.85                            | 404.00                     |
| 23.74                            | 408.00                     |
| 26.79                            | 411.00                     |
| 30.00                            | 414.00                     |

Se tiene desde superficie un material blando, sedimentos medianamente compactos, hasta una profundidad aproximada de 3.7 m aproximadamente con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 97 - 167 m/s, subyaciendo se infiere un suelo intermedio (material más denso) con una profundidad aproximada de 16 m aproximadamente, con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 225 y 376 m/s. y por último se infiere un suelo muy denso o roca blanda con velocidades de corte entre 298 – 414 m/s la compacidad de los materiales aumenta según la profundidad.

**Cuadro No. 9: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MASW14. (PST03).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1.07                             | 174.00                     |
| 2.31                             | 260.75                     |
| 3.71                             | 369.00                     |
| 5.28                             | 396.25                     |
| 7.01                             | 440.00                     |
| 8.90                             | 501.75                     |
| 10.96                            | 554.50                     |
| 13.19                            | 587.25                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 15.58                            | 606.75                     |
| 18.13                            | 617.00                     |
| 20.85                            | 621.25                     |
| 23.74                            | 621.50                     |
| 26.79                            | 621.00                     |
| 30.00                            | 620.25                     |

Se tiene desde superficie un suelo compuesto de un material blando (sedimentos compactos), hasta una profundidad aproximada de 2.0m aproximadamente, con una velocidad de corte Vs, que oscila entre 174 m/s, (Se infiere suelo intermedio de 2.5 a 3.8 m, con velocidad de 260 a 369 m/s), subyaciendo se infiere un suelo intermedio con características parecidas a nuestro primer horizonte solo más estable y más denso(roca) desde una profundidad de 6.0 m aproximadamente, con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 396 - 620m/s. los materiales en este ensayo aumentan su compacidad y densidad según su profundidad ya que se infiere de un material con características a roca a profundidad.

## 5.2 Análisis de Micro trepidaciones en Arreglos Multicanal - MAM

La técnica de Análisis de Micro trepidaciones en arreglos multicanal utiliza un tendido y equipo para registro similar al de la prueba de refracción sísmica, pero se analizan las ondas con una técnica que permite separar las ondas Rayleigh de otras ondas elásticas y finalmente determina la variación de velocidad de la onda de corte (VS) en profundidad.

Para la realización de la prueba ReMi se coloca un tendido lineal con 12 o más geófonos, el registro de la vibración se realiza con un sismógrafo digital, y se registra tanto vibración ambiental (micro tremores) como vibración superficial inducida (impactos, vehículos en circulación, etc.)

A diferencia de la prueba tradicional de refracción sísmica, MAM puede usarse sin problemas en ambientes urbanos, y de hecho mientras más ruido haya, funciona mejor. Además, ReMi puede detectar estratos blandos entre estratos con rigidez mayor.

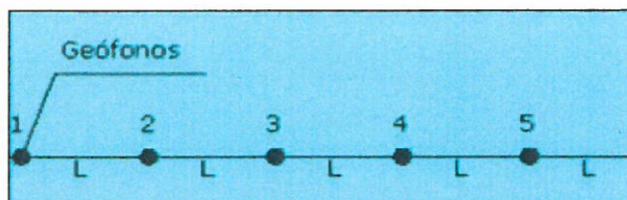


Figura No. 4: Distribución de puntos de geófonos en el ensayo MAM, fuente pasiva.

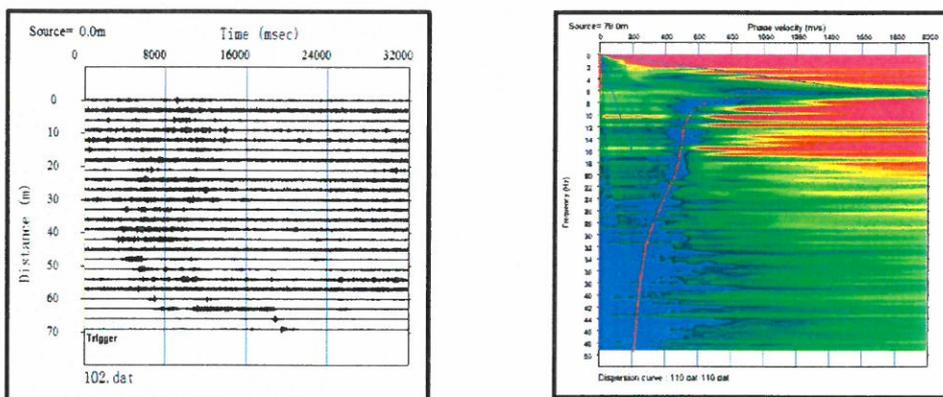
#### Equipo utilizado:

- Sismógrafo GEODE de 24 canales
- 24 Geófonos de 4.5 Hz
- 1 Cable de transmisión de geófonos al Sismógrafo, de 24 canales
- 1 Cable trigger, (terminales libres para generar los disparos)
- 1 batería de 12 V
- 1 Computador Portatil, con software Geometrics Seismodule Controller
- 1 Cable de sincronización del sismógrafo al switch
- 1 switch, que sincroniza el sismógrafo y el computador
- 1 GPS
- 1 Cámara fotográfica

#### Procesamiento

Para el procesamiento de los registros de campo, se realiza la inversión de velocidades de las ondas S mediante el análisis de la dispersión de las ondas de superficie. Esto se debe a que éstas cuentan con un 98% de componente de onda S y menos del 2% de onda P. Las ondas de superficie pierden velocidad de fase de manera significativa mientras la frecuencia de las mismas aumenta. Por esto, Hz. Se hizo el procesamiento haciendo uso para ello de los programas Surface Wave Analysis Wizard y Wave Eq (Surface Wave Analysis).

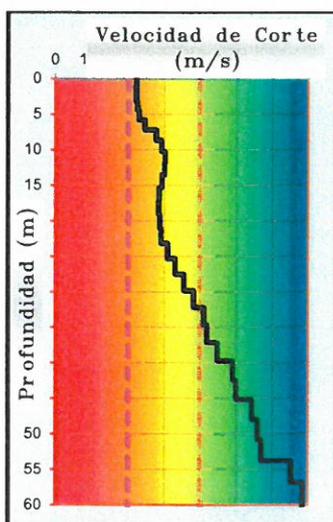
El primer programa (Surface Wave Analysis Wizard) nos muestra el gráfico de distancia versus tiempo que luego mediante las transformadas de Fourier se obtiene las curvas de velocidad de fase versus frecuencia en donde se puede ver la tendencia de la onda de fase que define la velocidad de la onda S que nos permite obtener la curva de dispersión en el modo fundamental generada en el ensayo.



a) Tiempo de llegada de la onda superficial para diferentes distancias.      b) Curva de la velocidad de fase vs modo fundamental.

**Figura No. 5: Procesamiento del registro de campo del ensayo MAM.**

El segundo programa (Wave Eq - Surface Wave Analysis) permite obtener la variación de las velocidades de onda S con la profundidad mediante el proceso de inversión de ondas lo cual se desarrolla por procesos iterativos.



**Figura No. 6: Variación de la velocidad de la onda S con la profundidad.**

### Equipo Utilizado

El equipo utilizado para realizar el trabajo de Prospección Sísmica por el ensayo MAM es el mismo que el equipo utilizado para realizar el ensayo de refracción sísmica con la diferencia que los geófonos empleados son de 4.5 Hz de frecuencia y se cambió de la configuración de los periodos de registro e intervalo de muestreo.

### Trabajos de campo

Como parte del estudio geofísico se realizó dos líneas de MAM, siendo la distribución de las líneas MAM la siguiente:

**Cuadro No. 10: Coordenadas UTM – WGS 84, de las líneas de MAM.**

| Túnel    | Ensayo MAM | Longitud (m) | Coordenadas Pto. Inicial |         |
|----------|------------|--------------|--------------------------|---------|
|          |            |              | Este                     | Norte   |
| Túnel 01 | MAM 10     | 100          | 291296                   | 8666838 |
|          | MAM 11     | 100          | 291439                   | 8666389 |
| Túnel 02 | MAM 12     | 75           | 294942                   | 8660799 |
|          | MAM 13     | 75           | 294614                   | 8661210 |
|          | MAM 14     | 75           | 295168                   | 8660516 |
|          | MAM 15     | 75           | 294283                   | 8661627 |
| Túnel 03 | MAM 02     | 75           | 293763                   | 8654632 |
|          | MAM 03     | 75           | 293528                   | 8654520 |

Para clasificar sísmicamente el suelo se aplicó el código internacional IBC del 2009 que define el tipo y nombre de suelo de acuerdo a la velocidad promedio de los 30 m más superficiales Vs 30, tal como se muestra en la siguiente cuadro:



**Cuadro No. 11: Clasificación del IBC.**

| Tipo de Suelo | Clasificación del Suelo       | Propiedades Promedio en los primeros 30 metros |   |
|---------------|-------------------------------|--|---|
|               |                               | Velocidad Vs (m/s)                             | Resistencia a la Penetración estándar, NSTP |
| A             | Roca muy dura                 | $V_s > 1500$                                   | N/A   |
| B             | Roca                          | $760 < V_s \leq 1500$                          | N/A   |
| C             | Suelo muy denso o roca blanda | $360 < V_s \leq 760$                           | NSPT > 50                                   |
| D             | Suelo rígido/suelo intermedio | $180 \leq V_s \leq 360$                        | $15 \leq \text{NSPT} \leq 50$               |
| E             | Suelo blando                  | $V_s < 180$                                    | NSPT < 15                                   |

Para el presente informe, se ha propuesto calificar la rigidez del material identificado en función de la velocidad Vs y de acuerdo a los siguientes rangos de velocidades:

**Cuadro No. 12: Líneas de MAM.**

| Descripción | Ensayo MAM | Tipo Onda | Vs 30 (m/s) | IBC | Tipo de Suelo                 |
|-------------|------------|-----------|-------------|-----|-------------------------------|
| Túnel 01    | MAM 10     | S         | 801         | B   | Roca                          |
|             | MAM 11     | S         | 691         | C   | Suelo muy denso o roca blanda |
| Túnel 02    | MAM 12     | S         | 598         | C   | Suelo muy denso o roca blanda |

| Descripción     | Ensayo MAM | Tipo Onda | Vs 30 (m/s) | IBC | Tipo de Suelo                 |
|-----------------|------------|-----------|-------------|-----|-------------------------------|
|                 | MAM 13     | S         | 468         | C   | Suelo muy denso o roca blanda |
|                 | MAM 14     | S         | 738         | C   | Suelo muy denso o roca blanda |
|                 | MAM 15     | S         | 575         | C   | Suelo muy denso o roca blanda |
| <b>Túnel 03</b> | MAM 02     | S         | 531         | A   | Roca muy dura                 |
|                 | MAM 03     | S         | 1035        | B   | Roca                          |

Los perfiles unidimensionales de ondas de corte, son presentados en el Anexo A2: Perfil Unidimensional de Ondas de Corte - MAM.

**Cuadro No. 13: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM10 (Túnel 01).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 500.3                      |
| 1.7                              | 545.7                      |
| 3.6                              | 675.1                      |
| 5.5                              | 727.8                      |
| 7.6                              | 890.1                      |
| 9.9                              | 979.9                      |
| 12.2                             | 1014.2                     |
| 14.7                             | 929.4                      |
| 17.2                             | 1063.3                     |
| 20.0                             | 1194.0                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 22.8                             | 1172.3                     |
| 25.7                             | 1322.1                     |
| 28.8                             | 1339.1                     |
| 32.0                             | 1468.3                     |
| 35.3                             | 1513.0                     |
| 38.8                             | 1541.6                     |
| 42.4                             | 1718.1                     |
| 46.1                             | 1778.1                     |
| 49.9                             | 1841.7                     |
| 53.8                             | 1897.4                     |
| 57.9                             | 2054.3                     |
| 62.1                             | 2083.3                     |
| 66.4                             | 2113.2                     |
| 70.8                             | 2124.9                     |
| 75.4                             | 2215.5                     |
| 80.0                             | 2222.0                     |
| 84.9                             | 2205.4                     |
| 89.8                             | 2195.7                     |
| 94.8                             | 2384.9                     |
| 110.3                            | 2386.0                     |



Se tiene desde superficie roca blanda, hasta una profundidad aproximada de 5.0 m con velocidades de corte  $V_s$ , que oscilan entre 500 - 727 m/s, Subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad de 32.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 890 m/s y 1468 m/s, por último se infiere roca muy dura con velocidades de corte entre 1513 – 2386 m/s.

**Cuadro No. 14: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM11 (Túnel 01).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte $V_s$ (m/s) |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 0.0                              | 588.0                          |
| 1.7                              | 557.3                          |
| 3.6                              | 606.2                          |
| 5.5                              | 610.4                          |
| 7.6                              | 629.6                          |
| 9.9                              | 757.8                          |
| 12.2                             | 808.0                          |
| 14.7                             | 767.8                          |
| 17.2                             | 804.4                          |
| 20.0                             | 900.8                          |
| 22.8                             | 907.8                          |
| 25.7                             | 924.2                          |
| 28.8                             | 1095.6                         |
| 32.0                             | 1129.1                         |
| 35.3                             | 1161.6                         |
| 38.8                             | 1346.1                         |
| 42.4                             | 1367.4                         |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 46.1                             | 1390.7                     |
| 49.9                             | 1412.1                     |
| 53.8                             | 1427.8                     |
| 57.9                             | 1581.1                     |
| 62.1                             | 1593.8                     |
| 66.4                             | 1600.6                     |
| 70.8                             | 1605.1                     |
| 75.4                             | 1608.9                     |
| 80.0                             | 1606.9                     |
| 84.9                             | 1657.7                     |
| 89.8                             | 1648.1                     |
| 94.8                             | 1832.1                     |
| 100.0                            | 2152.7                     |

Se tiene desde superficie roca blanda, hasta una profundidad aproximada de 10.0 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 557 - 757 m/s, Subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad de 53.0 m con velocidad que oscilan entre 808 m/s y 1427 m/s, por último se infiere roca muy dura con velocidades de corte entre 1581 – 2152 m/s.



**Cuadro No. 15: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM12 (Túnel 02)**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 260.3                      |
| 1.7                              | 297.0                      |
| 3.6                              | 498.6                      |
| 5.5                              | 408.5                      |
| 7.6                              | 532.7                      |
| 9.9                              | 680.3                      |
| 12.2                             | 666.0                      |
| 14.7                             | 751.3                      |
| 17.2                             | 821.3                      |
| 20.0                             | 956.8                      |
| 22.8                             | 956.9                      |
| 25.7                             | 1048.1                     |
| 28.8                             | 1021.3                     |
| 32.0                             | 1070.3                     |
| 35.3                             | 1131.1                     |
| 38.8                             | 1156.6                     |
| 42.4                             | 1147.1                     |
| 46.1                             | 1270.3                     |
| 49.9                             | 1301.0                     |
| 53.8                             | 1470.0                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 57.9                             | 1522.3                     |
| 62.1                             | 1517.3                     |
| 66.4                             | 1550.6                     |
| 70.8                             | 1550.3                     |
| 75.4                             | 1595.1                     |
| 80.0                             | 1610.2                     |
| 84.9                             | 1563.2                     |
| 89.8                             | 1573.2                     |
| 94.8                             | 1728.9                     |
| 100.0                            | 1728.9                     |

Se tiene desde superficie suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 2.0 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 260 - 297 m/s, Subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad de 15.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 498 m/s y 751 m/s, subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad de 53.0 m con velocidades de corte entre 821 m/s y 1470 m/s ,por último se infiere roca muy dura con velocidades de corte entre 1522 – 1728 m/s.

**Cuadro No. 16: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM13 (Túnel 02).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 181.5                      |
| 1.7                              | 325.2                      |
| 3.6                              | 309.2                      |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 5.5                              | 377.6                      |
| 7.6                              | 483.0                      |
| 9.9                              | 519.0                      |
| 12.2                             | 510.4                      |
| 14.7                             | 561.2                      |
| 17.2                             | 592.1                      |
| 20.0                             | 678.4                      |
| 22.8                             | 729.7                      |
| 25.7                             | 749.5                      |
| 28.8                             | 791.0                      |
| 32.0                             | 797.2                      |
| 35.3                             | 795.1                      |
| 38.8                             | 783.2                      |
| 42.4                             | 845.0                      |
| 46.1                             | 906.6                      |
| 49.9                             | 893.0                      |
| 53.8                             | 907.3                      |
| 57.9                             | 910.5                      |
| 62.1                             | 917.2                      |
| 66.4                             | 925.6                      |
| 70.8                             | 965.2                      |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 75.4                             | 1016.4                     |
| 80.0                             | 1007.4                     |
| 84.9                             | 1011.4                     |
| 89.8                             | 997.6                      |
| 94.8                             | 1038.0                     |
| 100.0                            | 1085.9                     |

Se tiene desde superficie suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 4.0 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 181 - 325 m/s, Subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad de 12.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 377 m/s y 749 m/s, por último se infiere roca velocidades de corte entre 791 – 1085 m/s.

**Cuadro No. 17: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM14 (Túnel 02)**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 329.6                      |
| 1.7                              | 359.3                      |
| 3.6                              | 361.0                      |
| 5.5                              | 736.3                      |
| 7.6                              | 839.2                      |
| 9.9                              | 739.4                      |
| 12.2                             | 690.7                      |
| 14.7                             | 754.6                      |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 17.2                             | 854.6                      |
| 20.0                             | 1041.3                     |
| 22.8                             | 1085.6                     |
| 25.7                             | 1202.4                     |
| 28.8                             | 1203.8                     |
| 32.0                             | 1306.6                     |
| 35.3                             | 1283.0                     |
| 38.8                             | 1277.5                     |
| 42.4                             | 1409.2                     |
| 46.1                             | 1430.4                     |
| 49.9                             | 1455.7                     |
| 53.8                             | 1475.8                     |
| 57.9                             | 1508.4                     |
| 62.1                             | 1705.1                     |
| 66.4                             | 1712.4                     |
| 70.8                             | 1732.4                     |
| 75.4                             | 1741.9                     |
| 80.0                             | 1755.8                     |
| 84.9                             | 1771.8                     |
| 89.8                             | 1800.7                     |
| 94.8                             | 2020.2                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 100.0                            | 2138.2                     |

Se tiene desde superficie suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 2.0 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 329 - 359 m/s, Subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 15.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 361 m/s y 739 m/s, subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad de 53.0 m con velocidades de corte entre 854 m/s-1475 m/s ,por último se infiere roca dura con velocidades de corte que varían entre 1508-2138 m/s.

**Cuadro No. 18: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM15 (Túnel 02).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 310.1                      |
| 1.7                              | 318.8                      |
| 3.6                              | 373.2                      |
| 5.5                              | 452.9                      |
| 7.6                              | 538.8                      |
| 9.9                              | 563.0                      |
| 12.2                             | 607.3                      |
| 14.7                             | 766.7                      |
| 17.2                             | 893.3                      |
| 20.0                             | 939.9                      |
| 22.8                             | 966.4                      |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 25.7                             | 978.2                      |
| 28.8                             | 1167.5                     |
| 32.0                             | 1160.8                     |
| 35.3                             | 1154.5                     |
| 38.8                             | 1147.7                     |
| 42.4                             | 1384.5                     |
| 46.1                             | 1400.3                     |
| 49.9                             | 1438.1                     |
| 53.8                             | 1463.6                     |
| 57.9                             | 1503.5                     |
| 62.1                             | 1700.0                     |
| 66.4                             | 1730.7                     |
| 70.8                             | 1741.3                     |
| 75.4                             | 1770.3                     |
| 80.0                             | 1763.4                     |
| 84.9                             | 1780.3                     |
| 89.8                             | 1796.6                     |
| 94.8                             | 2120.7                     |
| 100.0                            | 2148.4                     |



Se tiene desde superficie suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 2.0 m con velocidades de corte  $V_s$ , que oscilan entre 310 - 318 m/s, Subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 12.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 373 m/s y 607 m/s, subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad aproximada de 53.0 m con velocidades de corte entre 766 m/s-1463 m/s, por último se infiere roca dura con velocidades de corte que varían entre 1503-2148 m/s.

**Cuadro No. 19: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM02 (Túnel 03).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte $V_s$ (m/s) |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 0.0                              | 415.4                          |
| 1.7                              | 158.2                          |
| 3.6                              | 475.8                          |
| 5.5                              | 635.0                          |
| 7.6                              | 457.1                          |
| 9.9                              | 380.7                          |
| 12.2                             | 506.6                          |
| 14.7                             | 733.4                          |
| 17.2                             | 807.4                          |
| 20.0                             | 926.4                          |
| 22.8                             | 980.9                          |
| 25.7                             | 943.7                          |
| 28.8                             | 996.1                          |
| 32.0                             | 1060.2                         |
| 35.3                             | 1072.2                         |
| 38.8                             | 1180.1                         |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 42.4                             | 1229.8                     |
| 46.1                             | 1293.8                     |
| 49.9                             | 1417.6                     |
| 53.8                             | 1445.9                     |
| 57.9                             | 1502.9                     |
| 62.1                             | 1586.7                     |
| 66.4                             | 1598.4                     |
| 70.8                             | 1612.3                     |
| 75.4                             | 1608.0                     |
| 80.0                             | 1604.6                     |
| 84.9                             | 1597.1                     |
| 89.8                             | 1580.3                     |
| 94.8                             | 1844.8                     |
| 100.0                            | 1937.6                     |

Se tiene desde la superficie roca blanda, hasta una profundidad aproximada de 15.0 m con velocidades de corte Vs, que oscilan entre 415 - 733 m/s, subyaciendo Se infiere roca hasta una profundidad de 58.0 con velocidad de corte que oscilan entre 807 m/s y 1502 por ultimo se infiere roca dura con velocidades de corte entre 1586 – 1937 m/s.



**Cuadro No. 20: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM03. (Túnel 03).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 298.2                      |
| 1.7                              | 378.8                      |
| 3.6                              | 788.3                      |
| 5.5                              | 931.5                      |
| 7.6                              | 1002.4                     |
| 9.9                              | 1093.4                     |
| 12.2                             | 1191.6                     |
| 14.7                             | 1267.1                     |
| 17.2                             | 1334.1                     |
| 20.0                             | 1393.2                     |
| 22.8                             | 1484.1                     |
| 25.7                             | 1558.8                     |
| 28.8                             | 1673.8                     |
| 32.0                             | 1749.6                     |
| 35.3                             | 1814.9                     |
| 38.8                             | 1925.7                     |
| 42.4                             | 1992.0                     |
| 46.1                             | 2095.8                     |
| 49.9                             | 2201.9                     |
| 53.8                             | 2241.4                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 57.9                             | 2316.5                     |
| 62.1                             | 2379.3                     |
| 66.4                             | 2389.4                     |
| 70.8                             | 2408.7                     |
| 75.4                             | 2387.2                     |
| 80.0                             | 2384.9                     |
| 84.9                             | 2374.6                     |
| 89.8                             | 2347.5                     |
| 94.8                             | 2614.6                     |
| 100.0                            | 2629.9                     |

Se tiene desde la superficie suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 2.0 m con velocidades de corte Vs igual a 298, Subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 4.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 378-788 m/s, subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad aproximada de 22.0 m con velocidades de corte entre 788 m/s-1484 m/s, por último se infiere roca dura con velocidades de corte que varían entre 1558-2629 m/s.

**Cuadro No. 21: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM13. (Túnel 03).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 252.5                      |
| 1.7                              | 218.4                      |
| 3.6                              | 297.6                      |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 5.5                              | 602.6                      |
| 7.6                              | 519.7                      |
| 9.9                              | 411.1                      |
| 12.2                             | 473.8                      |
| 14.7                             | 633.1                      |
| 17.2                             | 751.8                      |
| 20.0                             | 864.2                      |
| 22.8                             | 826.6                      |
| 25.7                             | 895.9                      |
| 28.8                             | 859.0                      |
| 32.0                             | 1042.1                     |
| 35.3                             | 1048.3                     |
| 38.8                             | 1178.1                     |
| 42.4                             | 1231.6                     |
| 46.1                             | 1264.1                     |
| 49.9                             | 1401.3                     |
| 53.8                             | 1438.7                     |
| 57.9                             | 1474.5                     |
| 62.1                             | 1585.2                     |
| 66.4                             | 1616.8                     |
| 70.8                             | 1640.3                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 75.4                             | 1643.4                     |
| 80.0                             | 1658.3                     |
| 84.9                             | 1657.1                     |
| 89.8                             | 1659.1                     |
| 94.8                             | 1915.2                     |
| 100.0                            | 2231.7                     |

Se tiene desde la superficie suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 4.0 m con velocidades de corte Vs que varían entre 252-297, Subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 17.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 602-751 m/s, subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad aproximada de 58.0 m con velocidades de corte entre 864 m/s-1474 m/s, por último se infiere roca dura con velocidades de corte que varían entre 1585-2331 m/s.

**Cuadro No. 22: Velocidades de corte, calculadas a partir del ensayo MAM14. (Túnel 03).**

| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0.0                              | 309.1                      |
| 1.7                              | 374.6                      |
| 3.6                              | 714.4                      |
| 5.5                              | 1020.5                     |
| 7.6                              | 1009.7                     |
| 9.9                              | 1028.4                     |
| 12.2                             | 1178.6                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 14.7                             | 1314.6                     |
| 17.2                             | 1389.6                     |
| 20.0                             | 1467.2                     |
| 22.8                             | 1475.7                     |
| 25.7                             | 1524.0                     |
| 28.8                             | 1568.1                     |
| 32.0                             | 1634.6                     |
| 35.3                             | 1773.4                     |
| 38.8                             | 1880.2                     |
| 42.4                             | 1977.2                     |
| 46.1                             | 2069.2                     |
| 49.9                             | 2154.6                     |
| 53.8                             | 2188.7                     |
| 57.9                             | 2220.2                     |
| 62.1                             | 2213.8                     |
| 66.4                             | 2236.4                     |
| 70.8                             | 2221.2                     |
| 75.4                             | 2186.5                     |
| 80.0                             | 2152.1                     |
| 84.9                             | 2139.0                     |
| 89.8                             | 2104.1                     |



| Profundidad de investigación (m) | Velocidad de corte Vs(m/s) |
|----------------------------------|----------------------------|
| 94.8                             | 2380.0                     |
| 100.0                            | 2424.8                     |

Se tiene desde la superficie suelo rígido, hasta una profundidad aproximada de 2.0 m con velocidades de corte Vs igual a 309, Subyaciendo se infiere roca blanda hasta una profundidad aproximada de 4.0 m con velocidad de corte que oscilan entre 374-714 m/s, subyaciendo se infiere roca hasta una profundidad aproximada de 23.0 m con velocidades de corte entre 1020 m/s-1475 m/s, por último se infiere roca dura con velocidades de corte que varían entre 1524-2424 m/s.

### 5.3 Estaciones Geomecánicas

De los 07 reservorios propuestos en el proyecto se determinó que 06 de ellos estarían cimentado sobre roca y 01 en suelo, por lo tanto para determinar los parámetros de resistencia y deformación del macizo rocoso se realizaron Estaciones Geomecánicas para los 06 reservorios.

En el cuadro 23 se presenta un resumen de la ubicación de las estaciones evaluadas:

**Cuadro No. 23: Estación Geomecánica.**

| Túnel   | Estación geomecánica | Ubicación         | Coordenadas UTM |         | Litología        |
|---------|----------------------|-------------------|-----------------|---------|------------------|
|         |                      |                   | Este            | Norte   |                  |
| Túnel 1 | EG-01                | Portal de Entrada | 291101          | 8667427 | Tonalita/Diorita |
|         | EG-02                | Parte Central     | 291654          | 8666150 | Tonalita/Diorita |
|         | EG-03                | Portal de Salida  | 291450          | 8665863 | Diorita          |
| Túnel 2 | EG-01                | Portal de Entrada | 293385          | 8662761 | Tonalita/Gabro   |

| Túnel   | Estación geomecánica | Ubicación         | Coordenadas UTM |         | Litología      |
|---------|----------------------|-------------------|-----------------|---------|----------------|
|         |                      |                   | Este            | Norte   |                |
| Túnel 3 | EG-03                | Parte Central     | 294928          | 8660732 | Diorita        |
|         | EG-05                | Portal de Salida  | 296070          | 8659444 | Tonalita/Gabro |
|         | EG-01                | Portal de Entrada | 294163          | 8654848 | Diorita        |
| Túnel 3 | EG-03                | Parte Central     | 293501          | 8654545 | Diorita        |
|         | EG-04                | Portal de Salida  | 291591          | 8653599 | Adamelita      |

Ver Anexo A3 "Estación Geomecánica".



Fotografía No. 1: Vista de la Estación Geomecánica.

### Caracterización del Macizo Rocoso

Con la finalidad de realizar la clasificación del macizo rocoso, según la teoría de Bieniawski, y determinar sus propiedades de resistencia, se realizaron estaciones geomecánicas en los afloramientos donde se construirá los reservorios, en el cual se han evaluado las siguientes propiedades del macizo:

- Resistencia de la roca intacta
- Razón de calidad de la roca (RQD)
- Espaciamiento de las discontinuidades
- Condición de las discontinuidades (rugosidad)
- Separación de las discontinuidades (apertura)
- Persistencia
- Relleno
- Meteorización
- Presencia de agua subterránea

Con la información lito-estructural y la caracterización de la masa rocosa, se ha clasificado a los afloramientos involucrados utilizando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR: Rock Mass Rating 1989).

**Cuadro No. 24: Valoración RMR**

| Túnel   | Estación geomecánica | Ubicación         | Litología        | Básico | Ajustado | RMR <sub>89</sub> |
|---------|----------------------|-------------------|------------------|--------|----------|-------------------|
| Túnel 1 | EG-01                | Portal de Entrada | Tonalita/Diorita | 54     | 49       | 54                |
|         | EG-02                | Parte Central     | Tonalita/Diorita | 60     | 55       | 60                |
|         | EG-03                | Portal de Salida  | Diorita          | 45     | 40       | 45                |
| Túnel 2 | EG-01                | Portal de Entrada | Tonalita/Gabro   | 51     | 46       | 51                |
|         | EG-03                | Parte Central     | Diorita          | 51     | 46       | 51                |
|         | EG-05                | Portal de Salida  | Tonalita/Gabro   | 62     | 60       | 62                |
| Túnel 3 | EG-01                | Portal de Entrada | Diorita          | 49     | 44       | 49                |

| Túnel | Estación geomecánica | Ubicación        | Litología | Básico | Ajustado | RMR <sub>89</sub> |
|-------|----------------------|------------------|-----------|--------|----------|-------------------|
|       | EG-03                | Parte Central    | Diorita   | 43     | 38       | 48                |
|       | EG-04                | Portal de Salida | Adamelita | 53     | 48       | 53                |

La clasificación de “Básico” corresponde a la clasificación RMR propuesta originalmente por Bieniawski en el año 1976, la clasificación de “Ajustado” considera la finalidad para lo cual este valor de RMR será usado y el RMR<sub>89</sub> es una modificación realizada en el año 1989 donde considera un valor de RMR en condiciones secas, este valor es utilizado para la determinación de las propiedades de resistencia del macizo rocoso.

#### Estabilidad de taludes rocosos

La clasificación RMR descrita anteriormente ha sido complementada con factores de reducción que dependen de la interrelación de los elementos de orientación de las discontinuidades con la obra de ingeniería, así como de los métodos de excavación. En función al sistema de valoración propuesto por Bieniawski en 1979, Romana en 1985, propuso un sistema de valoración de aplicación a taludes, este sistema llamado SMR (Slope Mass Rating), considera el efecto de la discontinuidad del macizo rocoso en función al corte del talud, por otro lado considera, el tipo de falla predominante y método de excavación, el siguiente cuadro resume la valoración propuesta y la que utilizaremos en la evaluación:

**Cuadro No. 25: Descripción generada del puntaje total**

| Clase              | V             | IV             | III                     | II      | I                  |
|--------------------|---------------|----------------|-------------------------|---------|--------------------|
| <b>SMR</b>         | 0 - 20        | 21 - 40        | 41 - 60                 | 61 - 80 | 81 - 100           |
| <b>Descripción</b> | Muy Mala      | Mala           | Regular                 | Buena   | Muy Buena          |
| <b>Estabilidad</b> | Muy inestable | Inestable      | Parcialmente Estable    | Estable | Totalmente Estable |
| <b>Falla</b>       | Planar o como | Planar o cuñas | Algunas juntas o muchas | Algunos | Ninguno            |

| Clase          | V             | IV                    | III         | II        | I       |
|----------------|---------------|-----------------------|-------------|-----------|---------|
|                | suelo         | grandes               | cuñas       | bloques   |         |
| <b>Soporte</b> | Re-excavación | Correctivos<br>Vastos | Sistemático | Ocasional | Ninguno |

Considerando la evaluación bajo el sistema RMR realizado, se ha estimado la situación de estabilidad actual de los taludes rocosos, obteniendo los siguientes resultados:

**Cuadro No. 26: Valoración SMR**

| Túnel   | Estación geomecánica | Ubicación         | Litología        | Rmr <sub>89</sub> | SMR   |             |                      |                               |
|---------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------|-------------|----------------------|-------------------------------|
|         |                      |                   |                  |                   | Valor | Descripción | Grado                | Roturas                       |
| Túnel 1 | EG-01                | Portal de Entrada | Tonalita/Diorita | 54                | 64    | Buena       | Estable              | Algunos bloques               |
|         | EG-02                | Parte Central     | Tonalita/Diorita | 60                | 70    | Buena       | Estable              | Algunos bloques               |
|         | EG-03                | Portal de Salida  | Diorita          | 45                | 55    | Regular     | Parcialmente Estable | Algunas juntas o muchas cuñas |
| Túnel 2 | EG-01                | Portal de Entrada | Tonalita/Gabro   | 51                | 60    | Regular     | Parcialmente Estable | Algunas juntas o muchas cuñas |
|         | EG-03                | Parte Central     | Diorita          | 51                | 61    | Buena       | Estable              | Algunos bloques               |
|         | EG-05                | Portal de Salida  | Tonalita/Gabro   | 62                | 63    | Buena       | Estable              | Algunos bloques               |
| Túnel 3 | EG-01                | Portal de Entrada | Diorita          | 49                | 58    | Regular     | Parcialmente         | Algunas juntas o              |

| Túnel | Estación geomecánica | Ubicación        | Litología | Rmr <sub>89</sub> | SMR   |             |                      |                               |
|-------|----------------------|------------------|-----------|-------------------|-------|-------------|----------------------|-------------------------------|
|       |                      |                  |           |                   | Valor | Descripción | Grado                | Roturas                       |
|       |                      |                  |           |                   |       |             | Estable              | muchas cuñas                  |
|       | EG-03                | Parte Central    | Diorita   | 48                | 58    | Regular     | Parcialmente Estable | Algunas juntas o muchas cuñas |
|       | EG-04                | Portal de Salida | Adamelita | 53                | 63    | Buena       | Estable              | Algunos bloques               |

El registro de los cálculos de RMR y SMR se muestran en el Anexo A3: Estaciones Geomecánicas.

## 6 Ensayos de Laboratorio

### 6.1 Ensayo de carga puntual

El ensayo de carga puntual, tiene como objetivo estimar la resistencia de la compresión simple de la roca intacta, con la finalidad de determinar los parámetros físicos mecánicos del macizo rocoso. El ensayo se realizó siguiendo la norma ASTM D-5731 los cuales han sido procesados en el laboratorio geotécnico de la empresa Geolab.

El cuadro siguiente muestra los resultados obtenidos.

**Cuadro No. 27: Resultados del Ensayo de Carga Puntual**

| Túnel   | Estación Geomecánica | Profundidad (m)   | Litología        | Dureza | Resistencia a la compresión simple (MPa) |      |          |
|---------|----------------------|-------------------|------------------|--------|--|------|----------|
|         |                      |                   |                  |        | Máx.                                     | Mín. | Promedio |
| Túnel 1 | EG-1                 | Portal de Entrada | Tonalita/Diorita | R4     | 106.1                                    | 25.7 | 61.4     |
|         | EG-2                 | Parte Central     | Tonalita/Diorita | R5     | 157.0                                    | 80.2 | 113.0    |
|         | EG-3                 | Portal de Salida  | Diorita          | R5     | 209.4                                    | 65.2 | 105.0    |

| Túnel   | Estación Geomecánica | Profundidad (m)   | Litología      | Dureza | Resistencia a la compresión simple (MPa) |       |          |
|---------|----------------------|-------------------|----------------|--------|--|-------|----------|
|         |                      |                   |                |        | Máx.                                     | Mín.  | Promedio |
| Túnel 2 | EG-1                 | Portal de Entrada | Tonalita/Gabro | R4     | 124.2                                    | 17.1  | 71.2     |
|         | EG-3                 | Parte Central     | Diorita        | R5     | 222.2                                    | 57.3  | 133.4    |
|         | EG-5                 | Portal de Salida  | Tonalita/Gabro | R5     | 510.4                                    | 43.8  | 178.0    |
| Túnel 3 | EG-1                 | Portal de Entrada | Diorita        | R4     | 171.5                                    | 12.2  | 73.6     |
|         | EG-3                 | Parte Central     | Diorita        | R5     | 195.3                                    | 121.9 | 166.7    |
|         | EG-4                 | Portal de Salida  | Adamelita      | R4     | 139.7                                    | 67.3  | 98.5     |

Ver Anexo B "Ensayos de laboratorio". (Fuente: elaboración propia)

Dónde:

R3, Roca Media (25.0 – 50.0 Mpa)

R4, Roca Dura (50.0 – 100.0 Mpa)

R5, Roca Muy dura (100.0 – 250.0 Mpa)

Se ha tomado los valores promedio de resistencia, considerado como condiciones conservadoras.

## 6.2 Ensayo de propiedades físicas

Adicionalmente al ensayo de carga puntual, las muestras de roca obtenidas, han sido ensayadas en el Laboratorio Geotécnico de la Empresa GEOLAB, siguiendo las normas ASTM respectivas.

- Densidad (ASTM D- 2397).
- Gravedad específica y absorción de la roca (ASTM D6473-10)



**Cuadro No. 28: Resumen de Ensayo de Propiedades Físicas**

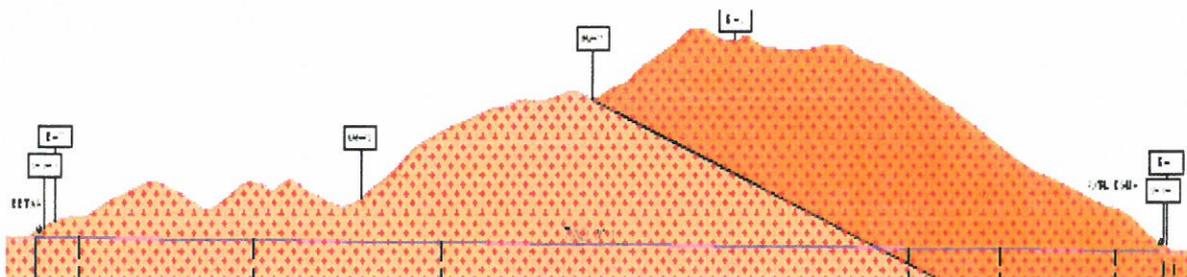
| Túnel   | Estación | Ubicación         | Profundidad | Tipo de roca       | Gravedad Específica (s.s.s.) | Absorción (%) | Porosidad (%) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|----------|-------------------|-------------|--------------------|------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| Túnel 1 | EG-1     | Portal de Entrada | Superficial | Tonalita / Diorita | 2.72                         | 0.82          | 2.20          | 2.70                          |
|         | EG-2     | Parte Central     | Superficial | Tonalita / Diorita | -                            | -             | -             | 2.77                          |
|         | EG-3     | Portal de Salida  | Superficial | Diorita            | -                            | -             | -             | 2.74                          |
| Túnel 2 | EG-1     | Portal de Entrada | Superficial | Tonalita / Gabro   | -                            | -             | -             | 2.74                          |
|         | EG-3     | Parte Central     | Superficial | Diorita            | -                            | -             | -             | 2.89                          |
|         | EG-5     | Portal de Salida  | Superficial | Tonalita / Gabro   | -                            | -             | -             | 2.83                          |
| Túnel 3 | EG-1     | Portal de Entrada | Superficial | Diorita            | 2.81                         | 0.48          | 1.33          | 2.81                          |
|         | EG-3     | Parte Central     | Superficial | Diorita            | 2.65                         | 0.29          | 0.77          | 2.67                          |
|         | EG-4     | Portal de Salida  | Superficial | Adamelita          | 2.64                         | 1.99          | 2.80          | 2.59                          |

Fuente: Ver Anexo B "Ensayos de laboratorio".

## 7 Perfil litológico del túnel

Con resultados de la evaluación geomecánica y los ensayos de geofísica (MASW y MAM), se realizó los perfiles litológicos de los 03 túneles, los cuales se presentan en el Anexo E: Planos.





**Cuadro No. 29: Resumen del macizo por donde atraviesa la tubería en el Túnel 01**

|                           |                  |                  |                  |                  |         |         |         |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|---------|---------|
| Longitud                  | 72.5             | 354              | 380              | 949.5            | 184     | 235     | 94      |
| Litología                 | Tonalita/Diorita | Tonalita/Diorita | Tonalita/Diorita | Tonalita/Diorita | Diorita | Diorita | Diorita |
| Calidad del macizo rocoso | IV               | III              | II               | I                | II      | III     | IV      |

**Cuadro No. 30: Resumen del macizo por donde atraviesa la tubería en el Túnel 01**

|                           |                |         |         |         |         |         |                |
|---------------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|
| Longitud                  | 46             | 630     | 184     | 2398    | 601     | 525     | 27             |
| Litología                 | Tonalita/Gabro | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Tonalita/Gabro |
| Calidad del macizo rocoso | IV             | III     | II      | I       | II      | III     | IV             |

**Cuadro No. 31: Resumen del macizo por donde atraviesa la tubería en el Túnel 01**

|                           |         |         |         |         |         |                   |           |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|-----------|
| Longitud                  | 74      | 333     | 147     | 213     | 260     | 1621              | 165       |
| Litología                 | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita/Adamelita | Adamelita |
| Calidad del macizo rocoso | IV      | III     | II      | I       | II      | III               | IV        |

Los cuadros anteriores muestran el resumen del metrado de la litología y calidad de la roca por donde atraviesa la tubería de conducción. Ver Anexo E: Planos.

## 8 Análisis de cimentación en rocas

### 8.1 Parámetros de resistencia de los macizos rocosos

#### 8.1.1 Criterio de Resistencia Hoek-Brown (2002)

El criterio de mayor aplicación es el de Hoek-Brown. El criterio generalizado de Hoek-Brown es el que reúne todas las modificaciones en su formulación (desde 1980 hasta el 2002). Este criterio es expresado en términos de los esfuerzos efectivos principales mayor y menor y la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dónde:  $\sigma_1'$  y  $\sigma_3'$ , esfuerzos efectivos principales mayor y menor respectivamente,  $\sigma_{ci}$ , resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa,  $m_b$ ,  $s$  y  $a$ , constantes del macizo rocoso, determinados por:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right), \quad s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right), \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( \exp^{-GSI/15} - \exp^{-20/3} \right)$$



Dónde:  $m_i$ , constante de la matriz rocosa, GSI, Índice de Resistencia Geológica, y D factor de perturbación.

El GSI se determina en función de las características estructurales del macizo rocoso (trabazón, perturbación y sistemas de discontinuidades) y características de las discontinuidades (rugosidad, relleno, persistencia, alteración, etc.), y D tiene en cuenta los efectos debido a los procesos de detonación en las operaciones de excavación y alivio de tensiones. Los valores del GSI varían de 0 a 100 y los de D varían de 0 (no perturbado) a 1 (perturbado). La constante  $m_i$  es determinada a través de ensayos de compresión triaxial. Valores referenciales de algunos tipos de roca fueron publicados en la literatura Hoek y Brown (1997) y Hoek, Marinos y Beniski (1998), Hoek y Marinos (2000), y Marinos y Hoek (2000).

### 8.1.2 Determinación de la constante $m_i$ de la Matriz de Roca

Para la determinación de  $m_i$  se han utilizado las tablas sugeridas por Hoek y Brown (1997) y Hoek, Marinos y Beniski (1998), Hoek y Marinos (2000), y Marinos y Hoek (2000). Los valores adoptados corresponden a las rocas, de tipo Ígneas intrusivas y se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro No. 32: Determinación de la constante  $m_i$**

| Reservorio | Calidad de macizo rocoso | Tipo de roca           | $M_i$ |
|------------|--------------------------|------------------------|-------|
| Túnel 1    | I                        | Tonalita-Diorita       | 28    |
|            | II                       | Tonalita-Diorita       | 28    |
|            | III                      | Tonalita-Diorita       | 28    |
|            | IV                       | Tonalita-Diorita       | 28    |
| Túnel 2    | I                        | Gabro-Diorita          | 28    |
|            | II                       | Gabro-Diorita          | 28    |
|            | III                      | Gabro-Diorita          | 28    |
|            | IV                       | Gabro-Diorita          | 28    |
| Túnel 3    | I                        | Gabrodiorita-Adamelita | 27    |



| Reservorio | Calidad de macizo rocoso | Tipo de roca           | Mi |
|------------|--------------------------|------------------------|----|
|            | II                       | Gabrodiorita-Adamelita | 27 |
|            | III                      | Gabrodiorita-Adamelita | 27 |
|            | IV                       | Gabrodiorita-Adamelita | 27 |

Nota: el valor (mi) asumido de texto para el tipo de roca caliza. (Fuente: elaboración propia)

Se hace el análisis de parámetros de resistencia tomando como referencia los datos tomados en la estación geomecánica EG-2, por ser la más representativa dentro del área operativa.

### 8.1.3 Resistencia a la Compresión de la Matriz Rocosa ( $\sigma_{ci}$ )

Cuadro No. 33: Resistencia a la Compresión Uniaxial de la Matriz Rocosa,  $\sigma_{ci}$

| Túnel   | Calidad de macizo rocoso | Tipo de Roca     | $\sigma_{ci}$ (MPa) |
|---------|--------------------------|------------------|---------------------|
| túnel 1 | I                        | Tonalita-Diorita | 200                 |
|         | II                       | Tonalita-Diorita | 100                 |
|         | III                      | Tonalita-Diorita | 60                  |
|         | IV                       | Tonalita-Diorita | 30                  |
| túnel 2 | I                        | Gabro-Diorita    | 225                 |
|         | II                       | Gabro-Diorita    | 200                 |
|         | III                      | Gabro-Diorita    | 100                 |



| Túnel   | Calidad de macizo rocoso | Tipo de Roca           | $\sigma_{ci}$ (MPa) |
|---------|--------------------------|------------------------|---------------------|
|         | IV                       | Gabro-Diorita          | 40                  |
| túnel 3 | I                        | Gabrodiorita-Adamelita | 196                 |
|         | II                       | Gabrodiorita-Adamelita | 196                 |
|         | III                      | Gabrodiorita-Adamelita | 100                 |
|         | IV                       | Gabrodiorita-Adamelita | 50                  |

### 8.1.4 Índice Geológico de Resistencia, GSI

La determinación del índice GSI se realizó sobre la base de las tablas mostradas en la figura N° 7. En el cuadro N° 34 se presentan los resultados asumidos y otros parámetros de entrada para acceder al criterio de resistencia de Hoek-Brown.

Figura No. 7: Índice Geológico

| CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO PARA EVALUAR SU RESISTENCIA   |      | CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES   |     | INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA     |    | CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES   |    |
|---|------|---|-----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|----|
| <p>Basándose en la observación de afloramientos de roca propia la categoría que según se trate mejor describe la condición típica del macizo rocoso en una excavación no perturbada. Hasta que superficies discontinuas de roca que han sido generadas por la obra pueden dar una impresión errónea de la calidad de la roca subyacente. Puede ser necesario hacer algunas sondas de penetración y un número de tests de sondas y/o superficies distintas con respecto a los resultados obtenidos para ayudar a la definición de esta opción. Es también importante considerar que el criterio de Hoek-Brown solo debe aplicarse a macizos rocosos en que el tamaño del bloque típico es pequeño con respecto al tamaño de la excavación considerada.</p> |      | <p>INDICAR LA CALIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES</p> <p>INDICAR LA CALIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES</p> |     | <p>ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO</p> |    | <p>ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO</p> |    |
| <p><b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO CON UN NÚMERO DE FRATURAS QUE SE MANIFIESTA EN BLOQUES DE TAMAÑO MEDIANO A PEQUEÑO. LAS FRATURAS SON GENERALMENTE RECTAS Y PERPENDICULARES ENTRE SÍ.</p>  | FBDS | FBS   | FBS | FBS                                 | 80 | 75                                  | 80 |
| <p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (HEAVY BLOCKY)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO CON UN NÚMERO DE FRATURAS QUE SE MANIFIESTA EN BLOQUES DE TAMAÑO PEQUEÑO A MEDIANO. LAS FRATURAS SON GENERALMENTE RECTAS Y PERPENDICULARES ENTRE SÍ.</p>  | FFBS | FFS   | FFR | FFM                                 | 75 | 70                                  | 75 |
| <p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY &amp; DISTURBED)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO CON UN NÚMERO DE FRATURAS QUE SE MANIFIESTA EN BLOQUES DE TAMAÑO PEQUEÑO A MEDIANO. LAS FRATURAS SON GENERALMENTE RECTAS Y PERPENDICULARES ENTRE SÍ. EL MACIZO ROCOSO ESTÁ PERTURBADO POR LA PRESENCIA DE FRATURAS DE TAMAÑO PEQUEÑO A MEDIANO.</p>   | FRBS | FRS   | FRR | FRM                                 | 70 | 65                                  | 70 |
| <p><b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO CON UN NÚMERO DE FRATURAS QUE SE MANIFIESTA EN BLOQUES DE TAMAÑO PEQUEÑO A MEDIANO. EL MACIZO ROCOSO ESTÁ DESINTEGRADO POR LA PRESENCIA DE FRATURAS DE TAMAÑO PEQUEÑO A MEDIANO.</p>  | DBS  | DS  | DR  | DSM                                 | 65 | 60                                  | 65 |



(Fuente: Geología-Luís Gonzales de Vallejo)

**Cuadro No. 34: Parámetros de Entrada al Criterio de Resistencia de Hoek Brown**

| Reservorio | Calidad del macizo rocoso | Tipo de Roca           | $\sigma_{ci}(MPa)$ | GSI | MR* | D** |
|------------|---------------------------|------------------------|--------------------|-----|-----|-----|
| Túnel 1    | I                         | Tonalita-Diorita       | 200                | 76  | 300 | 0.8 |
|            | II                        | Tonalita-Diorita       | 100                | 56  | 300 | 0.7 |
|            | III                       | Tonalita-Diorita       | 60                 | 36  | 300 | 0.5 |
|            | IV                        | Tonalita-Diorita       | 30                 | 16  | 300 | 0.0 |
| Túnel 2    | I                         | Gabro-Diorita          | 225                | 76  | 300 | 0.8 |
|            | II                        | Gabro-Diorita          | 200                | 56  | 300 | 0.7 |
|            | III                       | Gabro-Diorita          | 100                | 36  | 300 | 0.5 |
|            | IV                        | Gabro-Diorita          | 40                 | 16  | 300 | 0.0 |
| Túnel 3    | I                         | Gabrodiorita-Adamelita | 196                | 76  | 400 | 0.8 |
|            | II                        | Gabrodiorita-Adamelita | 196                | 56  | 400 | 0.7 |
|            | III                       | Gabrodiorita-Adamelita | 100                | 36  | 400 | 0.5 |
|            | IV                        | Gabrodiorita-Adamelita | 50                 | 16  | 400 | 0.0 |

(Fuente: elaboración propia)

MR\*: Relación modular, asumido sobre la base de las sugerencias de Hoek y Diederichs (2006).

D\*\*: Factor de perturbación del macizo rocoso, Hoek et al. (2002).



### 8.1.5 Criterio de Deformación de Macizos Rocosos

Basándose en la clasificación geomecánica, varios autores han propuesto criterios empíricos para estimar el módulo de deformación del macizo rocoso, tales como, Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983), Kulhawy y Goodman (1980), Hoek (1995), Grimstad y Barton (1993), Gokceoglu et al. (2003), etc. Recientemente, en base a una revisión de varios criterios, resultados de ensayos in situ en China y Taiwán, Hoek y Diederichs (2006) propusieron una relación para determinar el módulo de deformación del macizo rocoso ( $E_m$ ) en función del GSI, módulo de elasticidad de la roca intacta ( $E_i$ ) y el grado de perturbación del macizo ( $D$ ) por causa de la detonación de las voladuras y alivio de tensiones. La relación se expresa por:

$$E_m = E_i \left( 0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

### 8.1.6 Capacidad admisible en el macizo rocoso

Para estimar la carga admisible del macizo rocoso se han empleado criterios que llevan en cuenta las características de la matriz rocosa y del macizo rocoso en general. Dichos criterios se describen a continuación.

#### Criterio de Hoek et al. (2002)

Según Hoek et al. (2002) el inicio de la rotura en el contorno de la excavación se produce cuando los esfuerzos inducidos por la excavación sobrepasan la resistencia del macizo. Esta resistencia es dada por la siguiente expresión:

$$\sigma_{cm}' = \sigma_{ci} \cdot S^a$$

Cuando es necesario evaluar la rotura global del macizo rocoso, antes que el inicio de la ruptura del mismo, como es el caso de los pilares, entonces la resistencia es dada por:

$$\sigma_{cm}' = \sigma_{ci} \cdot \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Dónde:  $\sigma_{cm}'$  = Resistencia a la compresión del macizo rocoso



**Criterio AASHTO (1996)**

La carga admisible del macizo rocoso es estimada en función de la resistencia a la compresión simple de la roca intacta. En los cuadros siguientes se presenta el resumen de los valores de la carga admisible del macizo rocoso en cada estructura, dichos valores han sido determinados utilizando el criterio de Hoek-Brown.

**Cuadro No. 35: Capacidad admisible y parámetros de resistencia**

| Túnel   | Calidad del macizo rocoso | Clase de roca    | $E_m$ (MPa) | Parámetros Hoek & Brown |        |       | Parámetros de Resistencia Cortante |              | $q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Coeficiente de Balasto Kv(kg/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|---------------------------|------------------|-------------|-------------------------|--------|-------|------------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|--|
|         |                           |                  |             | $m_b$                   | $s$    | $a$   | $c_m$ kg/cm <sup>2</sup>           | $\phi_m$ (°) |                             |                              |  |
| Túnel 1 | I                         | Tonalita-Diorita | 63171       | 6.710                   | 0.026  | 0.501 | 32.7                               | 64.9         | 23.1                        | 33.3                         | <b>49.13</b>                                   |
|         | II                        | Tonalita-Diorita | 14125       | 2.496                   | 0.002  | 0.504 | 4.8                                | 63.3         | 23.1                        | 16.7                         | <b>11.26</b>                                   |
|         | III                       | Tonalita-Diorita | 3460        | 1.329                   | 0.0002 | 0.515 | 2.7                                | 53.7         | 9.3                         | 10                           | <b>3.47</b>                                    |
|         | IV                        | Tonalita-Diorita | 774         | 1.394                   | 0.002  | 0.557 | 1                                  | 53           | 1.1                         | 5                            | <b>1.4</b>                                     |
| Túnel 2 | I                         | Gabro-Diorita    | 67003       | 6.710                   | 0.026  | 0.501 | 36.5                               | 65.1         | 23.1                        | 37.5                         | <b>52.11</b>                                   |
|         | II                        | Gabro-Diorita    | 199976      | 2.496                   | 0.002  | 0.504 | 7.8                                | 66.4         | 23.1                        | 33.3                         | <b>32.67</b>                                   |
|         | III                       | Gabro-Diorita    | 4467        | 1.329                   | 0.0002 | 0.515 | 3.4                                | 57.6         | 15.5                        | 16.7                         | <b>16.33</b>                                   |
|         | IV                        | Gabro-Diorita    | 893         | 1.394                   | 0.0002 | 0.557 | 1.2                                | 54.3         | 1.4                         | 6.7                          | <b>6.53</b>                                    |

| Túnel   | Calidad del macizo rocoso | Clase de roca          | $E_m$ (MPa) | Parámetros Hoek & Brown |            |           | Parámetros de Resistencia Cortante |              | $q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Coeficiente de Balasto Kv(kg/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|---------------------------|------------------------|-------------|-------------------------|------------|-----------|------------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|--|
|         |                           |                        |             | $m_b$                   | $s$        | $a$       | $c_m$ kg/cm <sup>2</sup>           | $\phi_m$ (°) |                             |                              |  |
| Túnel 2 | I                         | Gabrodiorita-Adamelita | 62536       | 6.47<br>1               | 0.026      | 0.50<br>1 | 32.8                               | 64.3         | 23.1                        | 32.7                         | <b>48.64</b>                                   |
|         | II                        | Gabrodiorita-Adamelita | 19776       | 2.40<br>7               | 0.002      | 0.50<br>4 | 7.8                                | 66           | 23.1                        | 32.7                         | <b>15.38</b>                                   |
|         | III                       | Gabrodiorita-Adamelita | 4467        | 1.28<br>2               | 0.000<br>2 | 0.51<br>5 | 3.3                                | 57.3         | 231                         | 16.7                         | <b>9.33</b>                                    |
|         | IV                        | Gabrodiorita-Adamelita | 999         | 1.34<br>4               | 0.000<br>2 | 0.55<br>7 | 1.2                                | 55.4         | 18.8                        | 8.3                          | <b>6.22</b>                                    |

(Fuente: elaboración propia)

La memoria de cálculo de los parámetros de resistencia y deformación en roca se presenta en el Anexo C “Análisis de Ingeniería”.

## 9 Diseño de sostenimiento

El diseño empírico del sostenimiento se realiza según la metodología de Grimstad y Barton (1993), a partir de las propiedades del macizo rocoso obtenido de la exploración geotécnica, resultados de laboratorio (litología de la roca, densidad, RMR89, Índice de Q y número de familias) y geometría del túnel.

Los cálculos de Grimstad y Barton nos permiten proponer el sostenimiento según sea la categoría del sostenimiento, Pernos con shotcrete, pernos sin shotcrete, y longitud de pernos

**Cuadro No. 36: Resumen del sostenimiento en el túnel 01**

|                                  |                               |                       |                           |                 |                           |                              |                           |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Longitud</b>                  | <b>74</b>                     | <b>333</b>            | <b>147</b>                | <b>213</b>      | <b>260</b>                | <b>1621</b>                  | <b>165</b>                |
| <b>Litología</b>                 | Diorita                       | Diorita               | Diorita                   | Diorita         | Diorita                   | Diorita /<br>Adamelita       | Adamelita                 |
| <b>Calidad del macizo rocoso</b> | IV                            | III                   | II                        | I               | II                        | III                          | IV                        |
| <b>Marco de acero</b>            | Cada 1 metro los primeros 20m |                       |                           |                 |                           | Cada 1 metro los últimos 20m |                           |
| <b>Espesor Shotcrete</b>         | 14cm con fibra                | 7.5cm con fibra       | 3cm-5cm                   | No es necesario | 3cm-5cm                   | 7.5cm con fibra              | 14cm con fibra            |
| <b>Malla</b>                     | 100x100x6 mm                  | 100x100x6 m           | 100x100x6 mm              | No es necesario | 100x100x6 mm              | 100x100x6 mm                 | 100x100x6 mm              |
| <b>Pernos de Anclaje</b>         | L=4m en patrón de 1.5x1.5     | L=4m en patrón de 2x2 | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | Ocasional       | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | L=4m en patrón de 2x2        | L=4m en patrón de 1.5x1.5 |

**Cuadro No. 37: Resumen del sostenimiento en el túnel 02**

|                                  |                               |                 |            |                 |            |                              |                 |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|------------------------------|-----------------|
| <b>Longitud</b>                  | <b>46</b>                     | <b>630</b>      | <b>184</b> | <b>2398</b>     | <b>601</b> | <b>525</b>                   | <b>27</b>       |
| <b>Litología</b>                 | Tonalita/G abro               | Diorita         | Diorita    | Diorita         | Diorita    | Diorita                      | Tonalita/G abro |
| <b>Calidad del macizo rocoso</b> | IV                            | III             | II         | I               | II         | III                          | IV              |
| <b>Marco de acero</b>            | Cada 1 metro los primeros 20m |                 |            |                 |            | Cada 1 metro los últimos 20m |                 |
| <b>Espesor Shotcrete</b>         | 14cm con fibra                | 7.5cm con fibra | 3cm-5cm    | No es necesario | 3cm-5cm    | 7.5cm con fibra              | 14cm con fibra  |

|                          |                           |                       |                           |                 |                           |                       |                           |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Longitud</b>          | <b>46</b>                 | <b>630</b>            | <b>184</b>                | <b>2398</b>     | <b>601</b>                | <b>525</b>            | <b>27</b>                 |
| <b>Malla</b>             | 100x100x6 mm              | 100x100x6m m          | 100x100x6 mm              | No es necesario | 100x100x6 mm              | 100x100x6 mm          | 100x100x6 mm              |
| <b>Pernos de Anclaje</b> | L=4m en patrón de 1.5x1.5 | L=4m en patrón de 2x2 | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | Ocasional       | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | L=4m en patrón de 2x2 | L=4m en patrón de 1.5x1.5 |

**Cuadro No. 38: Resumen del sostenimiento en el túnel 03**

|                                  |                               |                       |                           |                 |                           |                              |                           |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Longitud</b>                  | <b>74</b>                     | <b>333</b>            | <b>147</b>                | <b>213</b>      | <b>260</b>                | <b>1621</b>                  | <b>165</b>                |
| <b>Litología</b>                 | Diorita                       | Diorita               | Diorita                   | Diorita         | Diorita                   | Diorita/Adamelita            | Adamelita                 |
| <b>Calidad del macizo rocoso</b> | IV                            | III                   | II                        | I               | II                        | III                          | IV                        |
| <b>Marco de acero</b>            | Cada 1 metro los primeros 20m |                       |                           |                 |                           | Cada 1 metro los últimos 20m |                           |
| <b>Espesor Shotcrete</b>         | 14cm con fibra                | 7.5cm con fibra       | 3cm-5cm                   | No es necesario | 3cm-5cm                   | 7.5cm con fibra              | 14cm con fibra            |
| <b>Malla</b>                     | 100x100x6 mm                  | 100x100x6m m          | 100x100x6 mm              | No es necesario | 100x100x6 mm              | 100x100x6 mm                 | 100x100x6 mm              |
| <b>Pernos de Anclaje</b>         | L=4m en patrón de 1.5x1.5     | L=4m en patrón de 2x2 | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | Ocasional       | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | L=4m en patrón de 2x2        | L=4m en patrón de 1.5x1.5 |

En el anexo de E: Planos se muestra un cuadro con los resúmenes totales de los resultados de parámetros topográficos, geológicos, parámetros geomecánicos, Sostenimiento y metrados.

## 10 Conclusiones

- La geología local indica la presencia de rocas ígneas intrusivas en las zonas de estudio donde se encuentra los túneles:
  - El túnel 01 está comprendida por roca ígnea intrusiva, con presencia de Diorita y Tonalita – Diorita.
  - El túnel 02 está comprendida por roca ígnea intrusiva, con presencia de Diorita y Tonalita – Gabro
  - El túnel 03 está comprendida por roca ígnea intrusiva, con presencia Diorita y Adamelita.
  
- Con resultados de la evaluación geomecánica y los ensayos de geofísica (MASW y MAM), se realizó los perfiles litológicos de los 03 túneles, los cuales se presentan en el Anexo E: Planos. El los cuadros siguientes se muestra la longitud, litología y calidad de la roca a la profundidad donde está proyectado la tubería de conducción.

**Cuadro No. 39: Resumen el perfil litológico a la cota del trazo de la tubería**

| Túnel 01                  |                  |                  |                  |                  |         |         |         |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|---------|---------|
| Longitud                  | 72.5             | 354              | 380              | 949.5            | 184     | 235     | 94      |
| Litología                 | Tonalita/Diorita | Tonalita/Diorita | Tonalita/Diorita | Tonalita/Diorita | Diorita | Diorita | Diorita |
| Calidad del macizo rocoso | IV               | III              | II               | I                | II      | III     | IV      |



| Túnel 02                  |                |         |         |         |         |         |                |
|---------------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|
| Longitud                  | 46             | 630     | 184     | 2398    | 601     | 525     | 27             |
| Litología                 | Tonalita/Gabro | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Tonalita/Gabro |
| Calidad del macizo rocoso | IV             | III     | II      | I       | II      | III     | IV             |

| Túnel 03                  |         |         |         |         |         |                   |           |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|-----------|
| Longitud                  | 74      | 333     | 147     | 213     | 260     | 1621              | 165       |
| Litología                 | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita | Diorita/Adamelita | Adamelita |
| Calidad del macizo rocoso | IV      | III     | II      | I       | II      | III               | IV        |

- El cuadro N° 40, muestra el resumen de metrado de la calidad del macizo rocoso por donde atraviesa la tubería de conducción a la profundidad establecida en el proyecto.



**Cuadro No. 40: Cuadro Resumen del metrado de la calidad del macizo rocoso**

| Túnel    | Calidad del macizo rocoso |     |     |    |
|----------|---------------------------|-----|-----|----|
|          | I                         | II  | III | IV |
| Túnel 01 | 41%                       | 26% | 26% | 7% |
| Túnel 02 | 54%                       | 18% | 26% | 2% |
| Túnel 03 | 8%                        | 14% | 69% | 8% |

- El resumen de los parámetros de resistencia cortante, deformación y capacidad admisible de los tipo de roca identificados en los túneles se muestra en el cuadro siguiente:

**Cuadro No. 41: Cuadro Resumen parámetros de resistencia cortante, deformación y capacidad admisible**

| Túnel   | Calidad del macizo rocoso | Clase de roca    | $E_m$ (MPa) | Parámetros Hoek & Brown |        |       | Parámetros de Resistencia Cortante |              | $q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Coeficiente de Balasto $K_v$ (kg/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|---------------------------|------------------|-------------|-------------------------|--------|-------|------------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|--|
|         |                           |                  |             | $m_b$                   | $s$    | $a$   | $C_m$ kg/cm <sup>2</sup>           | $\phi_m$ (°) |                             |                              |  |
| Túnel 1 | I                         | Tonalita-Diorita | 63171       | 6.710                   | 0.026  | 0.501 | 32.7                               | 64.9         | 23.1                        | 33.3                         | <b>49.13</b>                                       |
|         | II                        | Tonalita-Diorita | 14125       | 2.496                   | 0.002  | 0.504 | 4.8                                | 63.3         | 23.1                        | 16.7                         | <b>11.26</b>                                       |
|         | III                       | Tonalita-Diorita | 3460        | 1.329                   | 0.0002 | 0.515 | 2.7                                | 53.7         | 9.3                         | 10                           | <b>3.47</b>  |

| Túnel   | Calidad del macizo rocoso | Clase de roca          | $E_m$ (MPa) | Parámetros Hoek & Brown |            |           | Parámetros de Resistencia Cortante |              | $q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Coeficiente de Balasto Kv(kg/cm3) |
|---------|---------------------------|------------------------|-------------|-------------------------|------------|-----------|------------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
|         |                           |                        |             | $m_b$                   | $s$        | $a$       | $c_m$ kg/cm <sup>2</sup>           | $\phi_m$ (°) |                             |                              |                                   |
|         | IV                        | Tonalita-Diorita       | 774         | 1.39<br>4               | 0.002      | 0.55<br>7 | 1                                  | 53           | 1.1                         | 5                            | 1.4                               |
| Túnel 2 | I                         | Gabro-Diorita          | 67003       | 6.71<br>0               | 0.026      | 0.50<br>1 | 36.5                               | 65.1         | 23.1                        | 37.5                         | 52.11                             |
|         | II                        | Gabro-Diorita          | 19997<br>6  | 2.49<br>6               | 0.002      | 0.50<br>4 | 7.8                                | 66.4         | 23.1                        | 33.3                         | 32.67                             |
|         | III                       | Gabro-Diorita          | 4467        | 1.32<br>9               | 0.000<br>2 | 0.51<br>5 | 3.4                                | 57.6         | 15.5                        | 16.7                         | 16.33                             |
|         | IV                        | Gabro-Diorita          | 893         | 1.39<br>4               | 0.000<br>2 | 0.55<br>7 | 1.2                                | 54.3         | 1.4                         | 6.7                          | 6.53                              |
| Túnel 3 | I                         | Gabrodiorita-Adamelita | 62536       | 6.47<br>1               | 0.026      | 0.50<br>1 | 32.8                               | 64.3         | 23.1                        | 32.7                         | 48.64                             |
|         | II                        | Gabrodiorita-Adamelita | 19776       | 2.40<br>7               | 0.002      | 0.50<br>4 | 7.8                                | 66           | 23.1                        | 32.7                         | 15.38                             |
|         | III                       | Gabrodiorita-Adamelita | 4467        | 1.28<br>2               | 0.000<br>2 | 0.51<br>5 | 3.3                                | 57.3         | 231                         | 16.7                         | 9.33                              |
|         | IV                        | Gabrodiorita-Adamelita | 999         | 1.34<br>4               | 0.000<br>2 | 0.55<br>7 | 1.2                                | 55.4         | 18.8                        | 8.3                          | 6.22                              |

- El resumen del sostenimiento propuesto en cada uno de los túneles durante la etapa perforación se muestran en los cuadros siguientes:

**Cuadro No. 42: Resumen del sostenimiento en el túnel 01**

|                                  |                               |                       |                           |                 |                           |                              |                           |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Longitud</b>                  | <b>74</b>                     | <b>333</b>            | <b>147</b>                | <b>213</b>      | <b>260</b>                | <b>1621</b>                  | <b>165</b>                |
| <b>Litología</b>                 | Diorita                       | Diorita               | Diorita                   | Diorita         | Diorita                   | Diorita /<br>Adamelita       | Adamelita                 |
| <b>Calidad del macizo rocoso</b> | IV                            | III                   | II                        | I               | II                        | III                          | IV                        |
| <b>Marco de acero</b>            | Cada 1 metro los primeros 20m |                       |                           |                 |                           | Cada 1 metro los últimos 20m |                           |
| <b>Espesor Shotcrete</b>         | 14cm con fibra                | 7.5cm con fibra       | 3cm-5cm                   | No es necesario | 3cm-5cm                   | 7.5cm con fibra              | 14cm con fibra            |
| <b>Malla</b>                     | 100x100x6 mm                  | 100x100x6m m          | 100x100x6 mm              | No es necesario | 100x100x6 mm              | 100x100x6 mm                 | 100x100x6 mm              |
| <b>Pernos de Anclaje</b>         | L=4m en patrón de 1.5x1.5     | L=4m en patrón de 2x2 | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | Ocasional       | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | L=4m en patrón de 2x2        | L=4m en patrón de 1.5x1.5 |

**Cuadro No. 43: Resumen del sostenimiento en el túnel 02**

|                                  |                 |            |            |             |            |            |                 |
|----------------------------------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-----------------|
| <b>Longitud</b>                  | <b>46</b>       | <b>630</b> | <b>184</b> | <b>2398</b> | <b>601</b> | <b>525</b> | <b>27</b>       |
| <b>Litología</b>                 | Tonalita/G abro | Diorita    | Diorita    | Diorita     | Diorita    | Diorita    | Tonalita/G abro |
| <b>Calidad del macizo rocoso</b> | IV              | III        | II         | I           | II         | III        | IV              |

|                          |                               |                       |                           |                 |                           |                              |                           |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Longitud</b>          | <b>46</b>                     | <b>630</b>            | <b>184</b>                | <b>2398</b>     | <b>601</b>                | <b>525</b>                   | <b>27</b>                 |
| <b>Marco de acero</b>    | Cada 1 metro los primeros 20m |                       |                           |                 |                           | Cada 1 metro los últimos 20m |                           |
| <b>Espesor Shotcrete</b> | 14cm con fibra                | 7.5cm con fibra       | 3cm-5cm                   | No es necesario | 3cm-5cm                   | 7.5cm con fibra              | 14cm con fibra            |
| <b>Malla</b>             | 100x100x6 mm                  | 100x100x6 m           | 100x100x6 mm              | No es necesario | 100x100x6 mm              | 100x100x6 mm                 | 100x100x6 mm              |
| <b>Pernos de Anclaje</b> | L=4m en patrón de 1.5x1.5     | L=4m en patrón de 2x2 | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | Ocasional       | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | L=4m en patrón de 2x2        | L=4m en patrón de 1.5x1.5 |

**Cuadro No. 44: Resumen del sostenimiento en el túnel 03**

|                                  |                               |                       |                           |                 |                           |                              |                           |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Longitud</b>                  | <b>74</b>                     | <b>333</b>            | <b>147</b>                | <b>213</b>      | <b>260</b>                | <b>1621</b>                  | <b>165</b>                |
| <b>Litología</b>                 | Diorita                       | Diorita               | Diorita                   | Diorita         | Diorita                   | Diorita/Adamelita            | Adamelita                 |
| <b>Calidad del macizo rocoso</b> | IV                            | III                   | II                        | I               | II                        | III                          | IV                        |
| <b>Marco de acero</b>            | Cada 1 metro los primeros 20m |                       |                           |                 |                           | Cada 1 metro los últimos 20m |                           |
| <b>Espesor Shotcrete</b>         | 14cm con fibra                | 7.5cm con fibra       | 3cm-5cm                   | No es necesario | 3cm-5cm                   | 7.5cm con fibra              | 14cm con fibra            |
| <b>Malla</b>                     | 100x100x6 mm                  | 100x100x6 m           | 100x100x6 mm              | No es necesario | 100x100x6 mm              | 100x100x6 mm                 | 100x100x6 mm              |
| <b>Pernos de Anclaje</b>         | L=4m en patrón de 1.5x1.5     | L=4m en patrón de 2x2 | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | Ocasional       | L=3m en patrón de 2.5x2.5 | L=4m en patrón de 2x2        | L=4m en patrón de 1.5x1.5 |

- Se elaboró un plano de perfil litológico de los túneles donde se muestra a detalle los parámetros topográficos, geología, parámetros geotécnicos, sostenimiento y metrado del tipo de roca. Ver Anexo E: Planos.
- El estudio de factibilidad anterior no contenía la información geológica suficiente requerida para el presente estudio.
  - La información que aportaba era principalmente geología a nivel regional y no contenía geología a nivel local.
  - La clasificación del tipo de roca era de solo tres tipos (buena, buena a media y media a mala).
  - Adicionalmente el trazo final que se ha seleccionado, varía en algunos tramos respecto al trazo anterior principalmente debido al desarrollo de Lima Metropolitana desde que se realizó el primer estudio.
  - El nuevo estudio contiene además de la inspección de campo del trazo de un geólogo, análisis de resultados de nuevas investigaciones mediante geofísica (MASW y MAN) de los portales y el trazo de los túneles para precisar las proporciones de cada tipo de roca (5 tipos: I, II, III, IV y V, aunque no se encontró tipo V) que se espera encontrar en la perforación de los túneles.
  - Los trabajos de campo han permitido reducir significativamente el riesgo geológico a un rango aceptable y poder realizar un presupuesto referencial.
  - Un mayor grado de precisión en la clasificación del tipo de roca implica un presupuesto referencial menor, al disminuir el riesgo.

## 11 Bibliografía

- Alva Hurtado J. (1992), "Mecánica de Suelos Aplicada a Cimentaciones", Capítulo de Estudiantes ACI-UNI, Lima.
- Lambe T.W. y Whitman R.V. (1969), "Soil Mechanics", John Wiley, New York.
- Terzaghi K. y Peck R.B. (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley, New York.
- Vesic A. (1973), "Análisis de la Capacidad de Carga de Cimentaciones Superficiales", JSMFED, ASCE, Vol. 99.
- Reglamento Nacional de Construcciones (1997)", "Norma Técnica de Edificaciones E-30- Diseño Sismo resistente", Lima - Perú.



- Reglamento Nacional de Cimentaciones (1997), “Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones”, Lima- Perú.
- INGEMMET (1992), “Geología de los Cuadrángulos de Lima”, Boletín N°43, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
- GRIMSTAD Y BARTON (1993), Diseño Empírico del Sostenimiento de túnel.

**A  
n  
e  
x  
o  
A**

**EXPLORACIONES DE CAMPO**



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua para Lima





**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y CIENCIA DE PROYECTOS

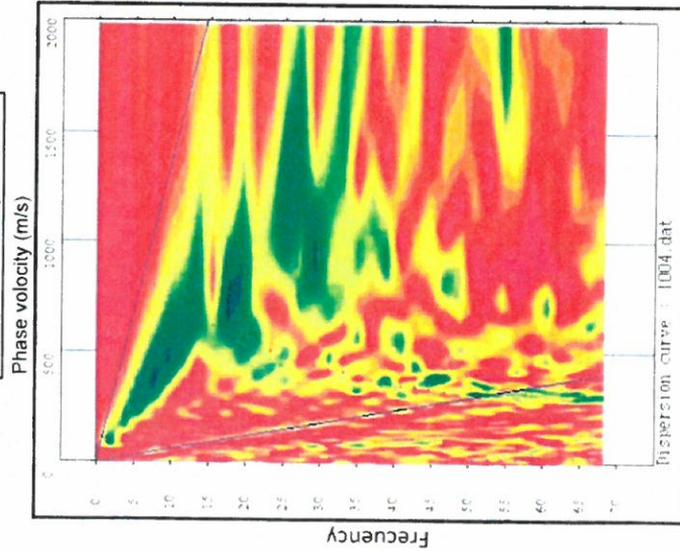
**ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES**

**MASW-07 (Portal de Salida - Tunel 1)**

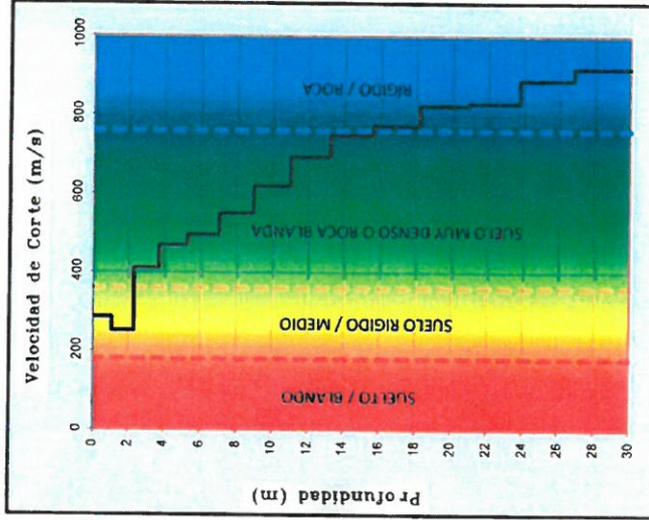
Proyecto: Obras de Cabecera y Conducción Para Abastecimiento de Agua Potable para Lima  
Ubicación: LIMA  
Coordenadas: 291818 E; 8665281 N  
Fecha: Setiembre\_2014

Realizado: A.F.A.  
Revisado: H.S.A.  
Longitud de la línea: 75 m

**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



**Cuadro Resumen**

| D(m)     | Vs(m/s) | D/Vs    |
|----------|---------|---------|
| 1.07     | 284.75  | 0.00379 |
| 2.31     | 249.75  | 0.00502 |
| 3.71     | 408.50  | 0.00344 |
| 5.28     | 467.25  | 0.00336 |
| 7.01     | 493.00  | 0.00352 |
| 8.90     | 547.75  | 0.00348 |
| 10.96    | 616.75  | 0.00335 |
| 13.19    | 690.50  | 0.00323 |
| 15.58    | 745.00  | 0.00322 |
| 18.13    | 769.25  | 0.00334 |
| 20.85    | 822.00  | 0.00333 |
| 23.74    | 828.25  | 0.00350 |
| 26.79    | 886.25  | 0.00346 |
| 30.00    | 916.00  | 0.00352 |
| $\Sigma$ |         | 0.04954 |

|               |            |
|---------------|------------|
| Vs30 (m/s)    | <b>606</b> |
| Tipo de Suelo | <b>C</b>   |

|                                |             |           |
|--------------------------------|-------------|-----------|
| Periodo fundamental (Ts)       | <b>0.25</b> | <b>S1</b> |
| <b>Roca o suelo muy rigido</b> |             |           |



**Ing. David Valenzuela Cribbens**  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



**SOTELLO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y SERVICIO DE PROYECTOS

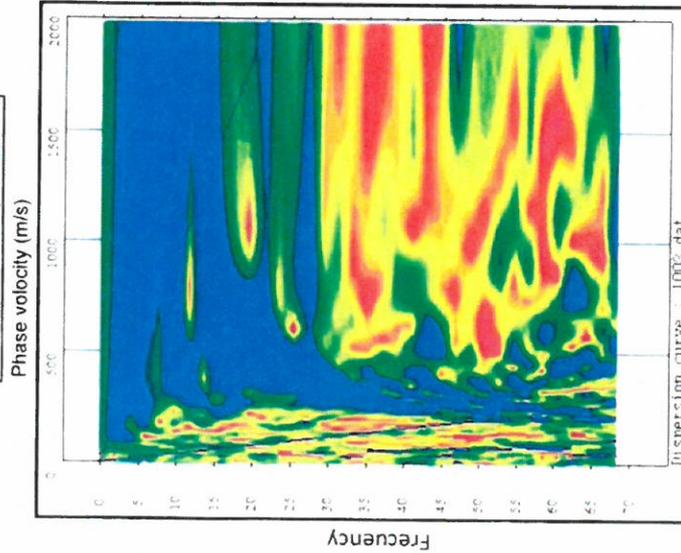
**ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES**

**MASW-08 (Portal de Entrada - Tunel 1)**

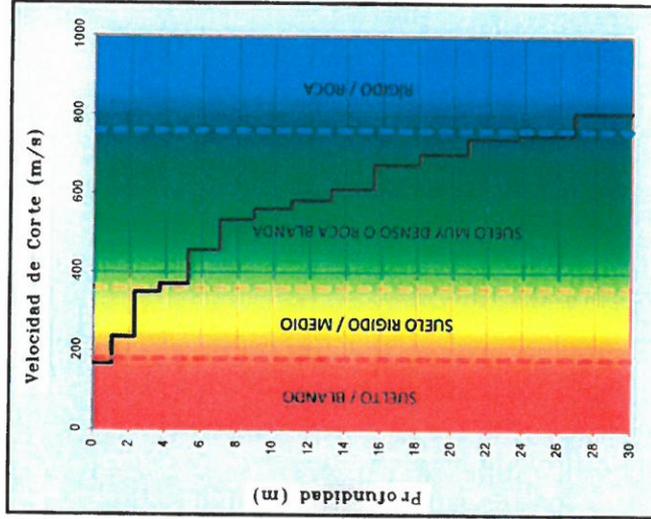
Proyecto: OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA  
Ubicación: LIMA  
Coordenadas: 291084 E; 8667436 N  
Fecha: Setiembre\_2014

Realizado: A.F.A.  
Revisado: H.S.A.  
Longitud de la línea: 75 m

**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



| Cuadro Resumen |         |         |
|----------------|---------|---------|
| D(m)           | Vs(m/s) | DVs     |
| 1.07           | 165.75  | 0.00671 |
| 2.31           | 233.50  | 0.00535 |
| 3.71           | 348.00  | 0.00403 |
| 5.28           | 369.00  | 0.00425 |
| 7.01           | 454.00  | 0.00383 |
| 8.90           | 530.75  | 0.00358 |
| 10.96          | 558.50  | 0.00369 |
| 13.19          | 580.00  | 0.00384 |
| 15.58          | 608.75  | 0.00393 |
| 18.13          | 670.25  | 0.00382 |
| 20.85          | 697.75  | 0.00391 |
| 23.74          | 736.75  | 0.00392 |
| 26.79          | 745.50  | 0.00410 |
| 30.00          | 803.25  | 0.00401 |
|                |         | Σ       |
|                |         | 0.05897 |

|               |     |
|---------------|-----|
| Vs 30 (m/s)   | 509 |
| Tipo de Suelo | C   |

Periodo fundamental (Ts)    0.29    S1

Roca o suelo muy rigido



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y SERVICIOS DE PROYECTOS

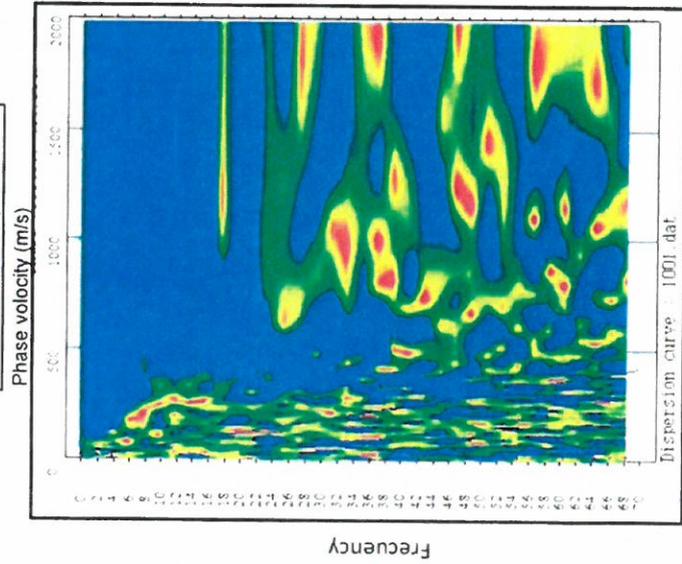
**ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES**

**MASW-01 (Portal Entrada - Tunel 2)**

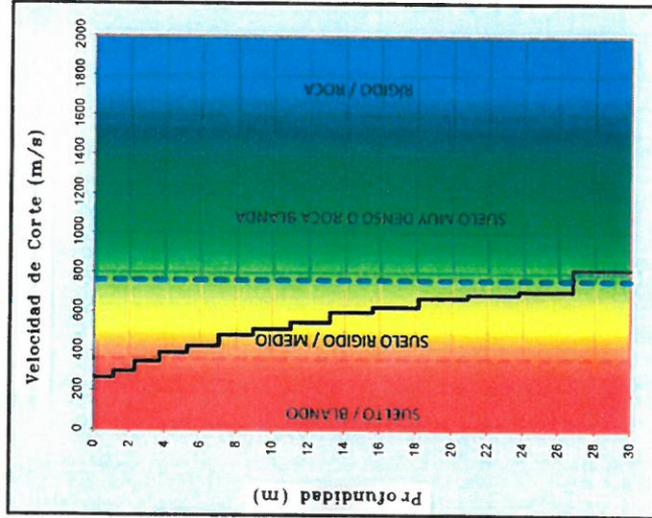
Proyecto: OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA  
Ubicación: Lima  
Coordenadas: 293412 E; 8662715. N  
Fecha: Setiembre\_2014

Realizado: A.F.A.  
Revisado: H.S.A.  
Longitud de la línea: 75 m

**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



**Cuadro Resumen**

| D(m)  | Vs(m/s)  | DVs     |
|-------|----------|---------|
| 1.07  | 261.75   | 0.00700 |
| 2.31  | 295.00   | 0.00442 |
| 3.71  | 344.75   | 0.00415 |
| 5.28  | 389.50   | 0.00411 |
| 7.01  | 423.50   | 0.00413 |
| 8.90  | 478.25   | 0.00397 |
| 10.96 | 510.00   | 0.00404 |
| 13.19 | 543.00   | 0.00411 |
| 15.58 | 596.50   | 0.00402 |
| 18.13 | 620.75   | 0.00415 |
| 20.85 | 667.50   | 0.00412 |
| 23.74 | 684.75   | 0.00426 |
| 26.79 | 702.75   | 0.00439 |
| 30.00 | 812.50   | 0.00398 |
|       | $\Sigma$ | 0.06085 |

|               |     |
|---------------|-----|
| Vs 30 (m/s)   | 493 |
| Tipo de Suelo | C   |

|                          |      |    |
|--------------------------|------|----|
| Periodo fundamental (Ts) | 0.30 | S1 |
| Roca o suelo muy rígido  |      |    |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Comando Agua Para Lima



**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y ARQUITECTURA DE PROYECTOS

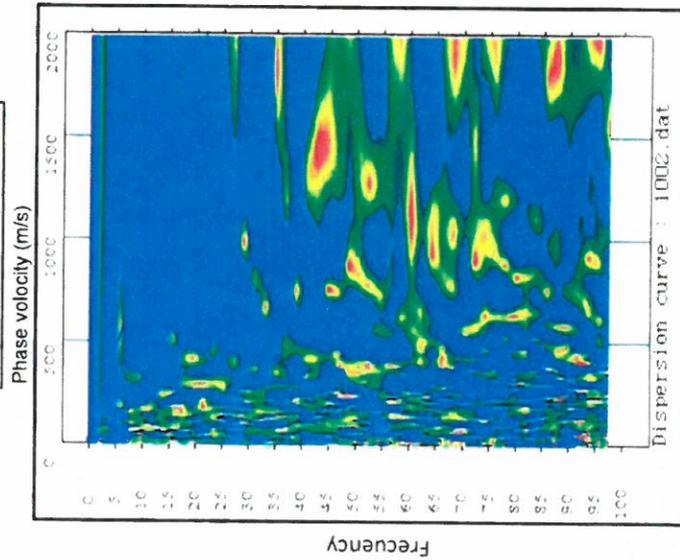
**ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES**

**MASW-03 (Portal de Salida - Tunel 2)**

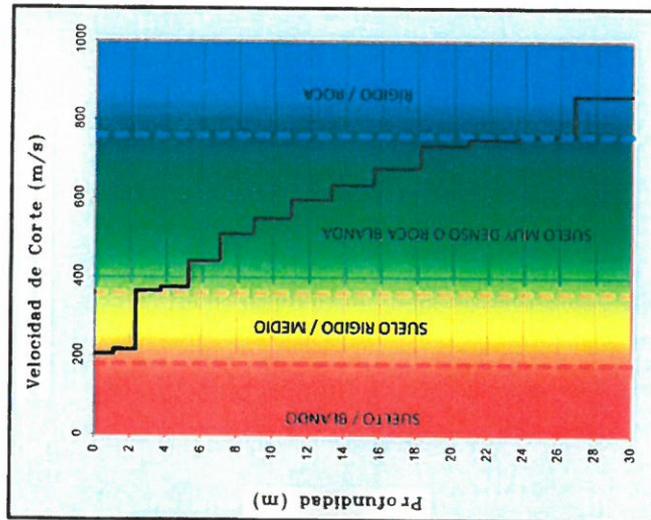
**Proyecto:** OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA  
**Ubicación:** Lima  
**Coordenadas:** 296073 E; 8659448 N  
**Fecha:** Setiembre\_2014

**Realizado:** A.F.A.  
**Revisado:** H.S.A.  
**Longitud de la línea:** 50 m

**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



**Cuadro Resumen**

| D(m)  | Vs(m/s) | DVs     |
|-------|---------|---------|
| 1.07  | 203.00  | 0.00546 |
| 2.31  | 214.50  | 0.00594 |
| 3.71  | 363.75  | 0.00419 |
| 5.28  | 373.00  | 0.00443 |
| 7.01  | 439.25  | 0.00414 |
| 8.90  | 507.50  | 0.00402 |
| 10.96 | 547.50  | 0.00407 |
| 13.19 | 594.75  | 0.00398 |
| 15.58 | 631.75  | 0.00405 |
| 18.13 | 675.25  | 0.00411 |
| 20.85 | 732.50  | 0.00400 |
| 23.74 | 748.00  | 0.00419 |
| 26.79 | 758.25  | 0.00437 |
| 30.00 | 859.00  | 0.00411 |
|       |         | Σ       |
|       |         | 0.06105 |

|               |     |
|---------------|-----|
| Vs30 (m/s)    | 491 |
| Tipo de Suelo | C   |



**Ing. David Valenzuela Chiribos**  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

|                          |      |    |
|--------------------------|------|----|
| Periodo fundamental (Ts) | 0.31 | S1 |
| Roca o suelo muy rígido  |      |    |



**SOTELLO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y CONSULTORIA EN PROYECTOS

**ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES**

**MASW-13 (Portal de Entrada - Tunel 3)**

**Proyecto:** Obra de cabecera y Conducción Para abastecimiento de Agua Potable para Lima

**Ubicación:** Lima - Villa Maria del Triunfo

**Coordenadas:** 294192 E, 8654825 N

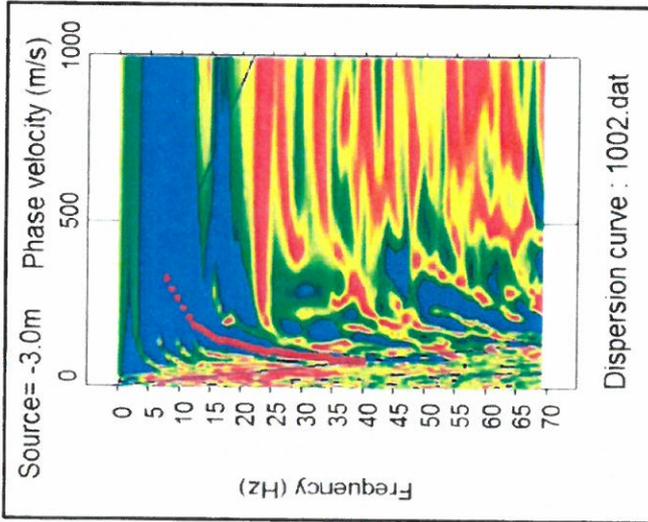
**Fecha:** Setiembre 2014

**Realizado:** N.H.C.

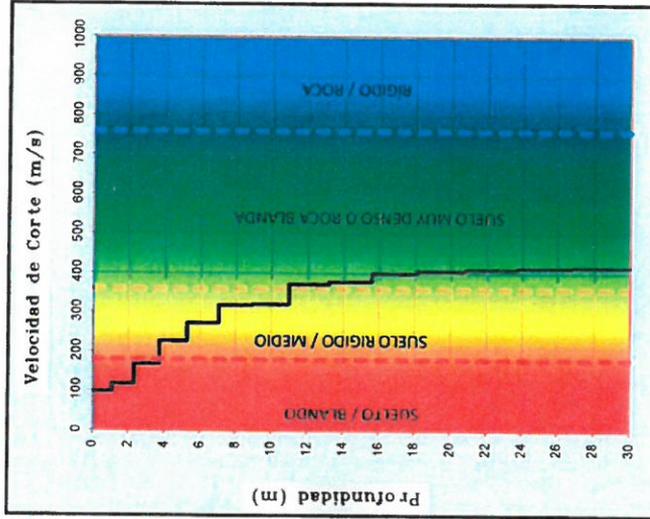
**Revisado:** H.S.A.

**Longitud de la línea:** 75m

**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



**Cuadro Resumen**

| D(m)  | Vs(m/s) | DVs     |
|-------|---------|---------|
| 1.07  | 97.00   | 0.01104 |
| 2.31  | 117.00  | 0.01056 |
| 3.71  | 167.00  | 0.00839 |
| 5.28  | 225.00  | 0.00696 |
| 7.01  | 271.00  | 0.00639 |
| 8.90  | 317.00  | 0.00598 |
| 10.96 | 319.00  | 0.00646 |
| 13.19 | 370.00  | 0.00601 |
| 15.58 | 376.00  | 0.00636 |
| 18.13 | 398.00  | 0.00642 |
| 20.85 | 404.00  | 0.00673 |
| 23.74 | 408.00  | 0.00707 |
| 26.79 | 411.00  | 0.00742 |
| 30.00 | 414.00  | 0.00776 |
|       |         | Σ       |
|       |         | 0.10356 |

|               |            |
|---------------|------------|
| Vs30 (m/s)    | <b>290</b> |
| Tipo de Suelo | <b>D</b>   |

|                          |             |           |
|--------------------------|-------------|-----------|
| Periodo fundamental (Ts) | <b>0.52</b> | <b>S2</b> |
| <b>Suelo intermedio</b>  |             |           |



Ing. David Valenzuela Cárdenas  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua para Lima



**SOTELLO & ASOCIADOS**  
INGENIERÍA Y SERVICIO DE PROYECTOS

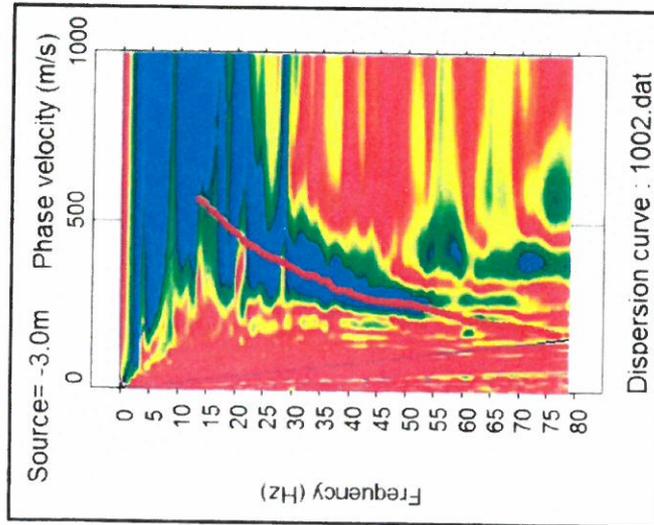
**ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES**

**MASW-14 (Portal de Salida - Tunel 3)**

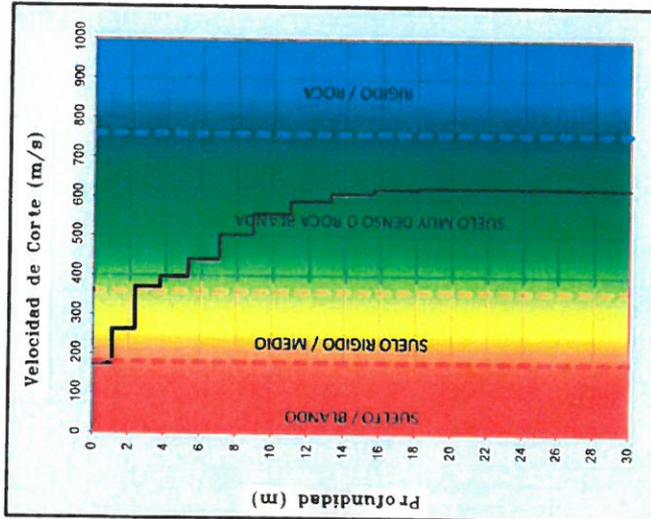
**Proyecto:** Obra de cabecera y Conducción Para abastecimiento de Agua Potable para Lima  
**Ubicación:** Lima - Villa Maria del Triunfo  
**Coordenadas:** 291596 E, 8655570 N  
**Fecha:** Setiembre 2014

**Realizado:** N.H.C.  
**Revisado:** H.S.A.  
**Longitud de la línea:** 75m

**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



| Cuadro Resumen |         |         |
|----------------|---------|---------|
| D(m)           | Vs(m/s) | DVs     |
| 1.07           | 174.00  | 0.00616 |
| 2.31           | 260.75  | 0.00474 |
| 3.71           | 369.00  | 0.00383 |
| 5.28           | 396.25  | 0.00397 |
| 7.01           | 440.00  | 0.00395 |
| 8.90           | 501.75  | 0.00378 |
| 10.96          | 554.50  | 0.00372 |
| 13.19          | 587.25  | 0.00379 |
| 15.58          | 606.75  | 0.00394 |
| 18.13          | 617.00  | 0.00414 |
| 20.85          | 621.25  | 0.00438 |
| 23.74          | 621.50  | 0.00465 |
| 26.79          | 621.00  | 0.00492 |
| 30.00          | 620.25  | 0.00519 |
|                |         | Σ       |
|                |         | 0.06114 |

|               |     |
|---------------|-----|
| Vs30 (m/s)    | 491 |
| Tipo de Suelo | C   |

|                          |      |    |
|--------------------------|------|----|
| Periodo fundamental (Ts) | 0.31 | S1 |
| Roca o suelo muy rígido  |      |    |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
Jefe de Proyecto  
CIP No. 38229  
Consortio Agua Para Lima

**A  
n  
e  
x  
o**

**A 2**

**MAM**



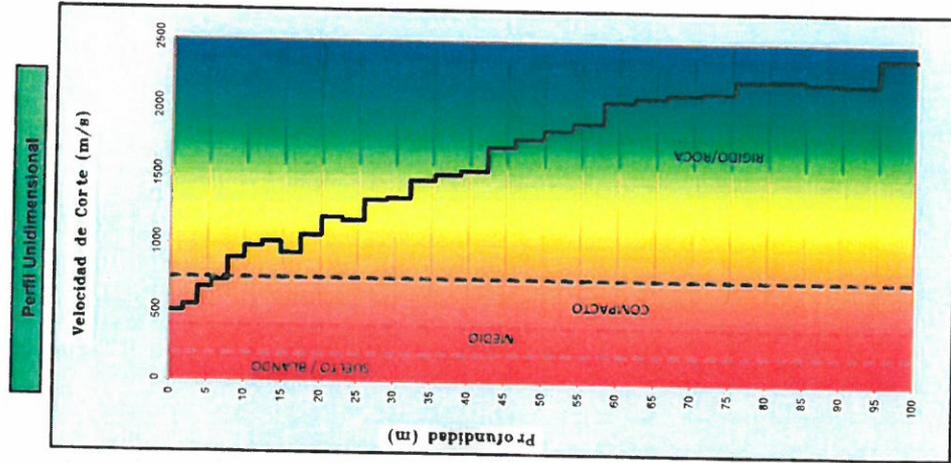
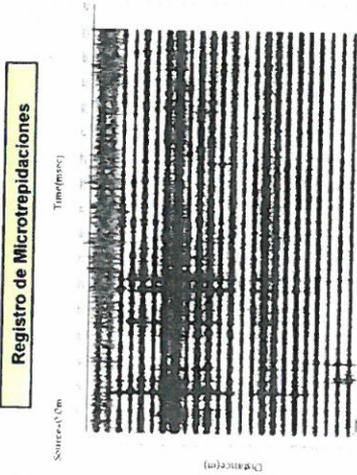
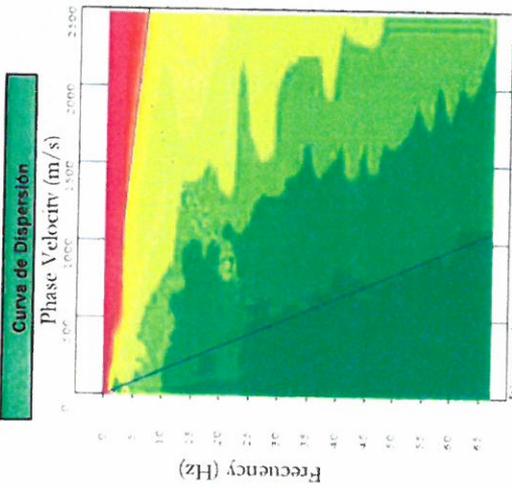
  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
**CIP No. 38228**  
**Jefe de Proyecto**  
**Consejo Agua Para Lima**

**ENSAYO MAM 10 (Tunel 1)**

PROYECTO : Obras de Cabecera y conducción para abastecimiento de agua potable para Lima  
UBICACIÓN : LIMA

COORDENADAS : 291296 , 8666838  
FECHA : Setiembre 2014

REALIZADO : A.F.A.  
REVISADO : H.S.A  
LONG. DE LINEA: 100m



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 500.3    |
| 1.7       | 545.7    |
| 3.6       | 675.1    |
| 5.5       | 727.8    |
| 7.6       | 890.1    |
| 9.9       | 979.9    |
| 12.2      | 1014.2   |
| 14.7      | 929.4    |
| 17.2      | 1063.3   |
| 20.0      | 1194.0   |
| 22.8      | 1172.3   |
| 25.7      | 1322.1   |
| 28.8      | 1339.1   |
| 32.0      | 1468.3   |
| 35.3      | 1513.0   |
| 38.8      | 1541.6   |
| 42.4      | 1718.1   |
| 46.1      | 1778.1   |
| 49.9      | 1841.7   |
| 53.8      | 1897.4   |
| 57.9      | 2054.3   |
| 62.1      | 2083.3   |
| 66.4      | 2113.2   |
| 70.8      | 2124.9   |
| 75.4      | 2215.5   |
| 80.0      | 2222.0   |
| 84.9      | 2205.4   |
| 89.8      | 2195.7   |
| 94.8      | 2384.9   |
| 110.3     | 2386.0   |

**Clasificación IBC -2009**

\* El parámetro Vs30 es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno para realizar la clasificación del terreno mediante la aplicación de ondas de corte recurrimos al código internacional IBC 2009 que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A" hasta la letra "E", seguim el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parámetro Vs 30 (m/s) 801.50  
Tipo de suelo B

ROCA



Ing. David Viterzuela Ojeda  
Jefe de Proyecto  
CIP No. 30229  
Consorcio Agua para Lima



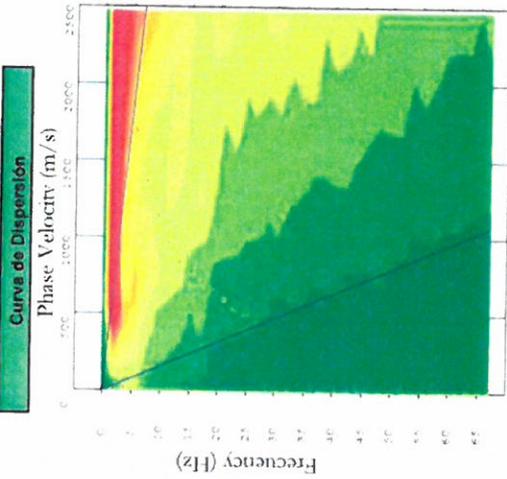
**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y GERENCIA DE PROYECTOS

## ENSAYO MAM II (Tunel 1)

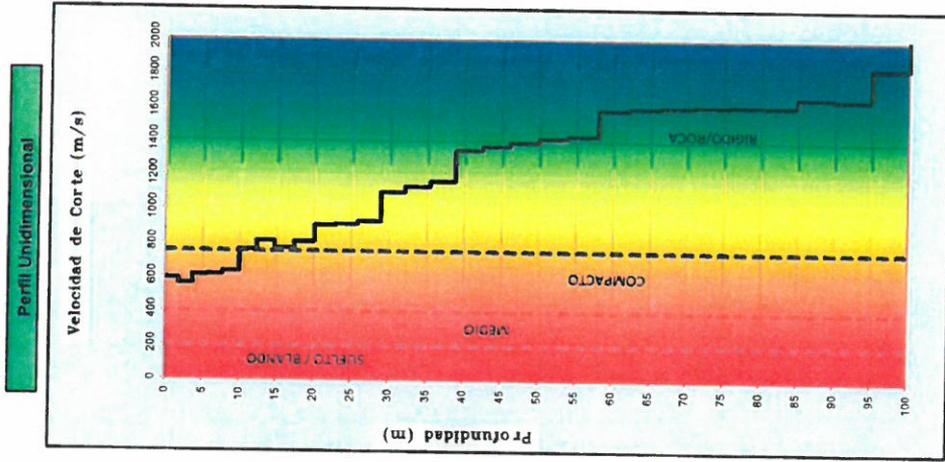
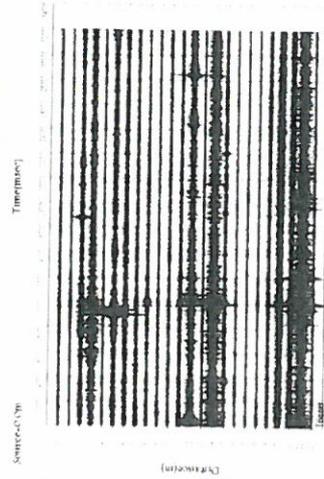
PROYECTO : Obras de Cabeceza y Conduccion para abastecimiento de agua Potable para Lima  
UBICACION : LIMA

COORDENADAS : 291439 , 8666389  
FECHA : Setiembre 2014

REALIZADO : A.F.A.  
REVISADO : H.S.A  
LONG DE LINEA: 100m



Registro de Microtrepidaciones



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 588.0    |
| 1.7       | 557.3    |
| 3.6       | 606.2    |
| 5.5       | 610.4    |
| 7.6       | 629.6    |
| 9.9       | 757.8    |
| 12.2      | 808.0    |
| 14.7      | 767.8    |
| 17.2      | 804.4    |
| 20.0      | 900.8    |
| 22.8      | 907.8    |
| 25.7      | 924.2    |
| 28.8      | 1095.6   |
| 32.0      | 1129.1   |
| 35.3      | 1161.6   |
| 38.8      | 1346.1   |
| 42.4      | 1367.4   |
| 46.1      | 1390.7   |
| 49.9      | 1412.1   |
| 53.8      | 1427.8   |
| 57.9      | 1581.1   |
| 62.1      | 1593.8   |
| 66.4      | 1600.6   |
| 70.8      | 1605.1   |
| 75.4      | 1608.9   |
| 80.0      | 1606.9   |
| 84.9      | 1657.7   |
| 89.8      | 1648.1   |
| 94.8      | 1832.1   |
| 100.0     | 2152.7   |

### Clasificacion IBC -2009

\* El parametro Vs30 es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno, para realizar la clasificacion del terreno mediante la aplicacion de ondas de corte recurrimos al codigo internacional IBC 2009 que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A" hasta la letra "E" segun el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parametro Vs 30 (m/s)  
681.20  
Tipo de suelo  
C

SUELO MUY DENSO O ROCA BLANDA



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No.: 36229  
Consejo Agua para Lima

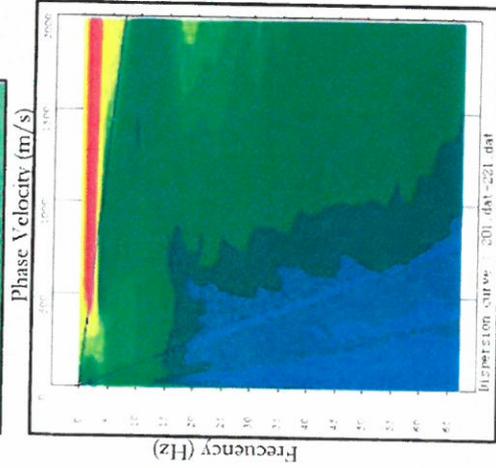
**ENSAYO MAM 12 (Tunel 2)**

**PROYECTO :** Obras de Cabecera y Conduccion para abastecimiento de agua Potable para Lima  
**UBICACION :** LIMA

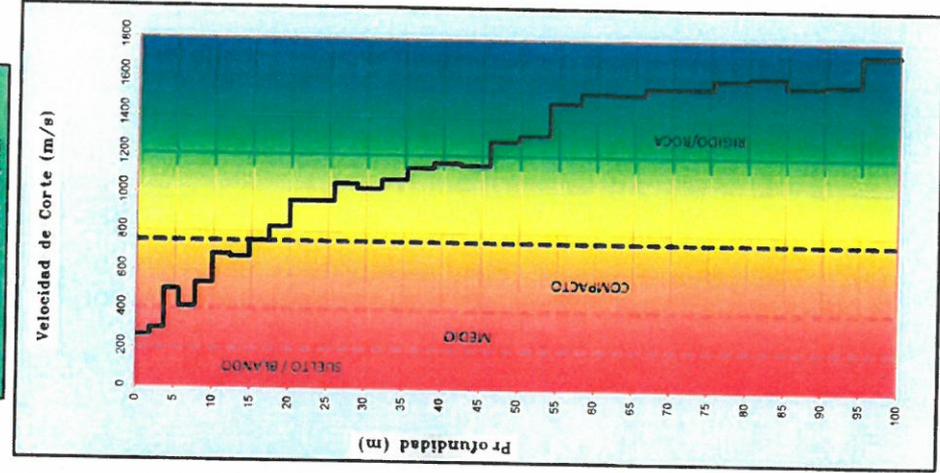
**COORDENADAS :** 294942 ; 8660799  
**FECHA :** Setiembre 2014

**REALIZADO :** A.F.A.  
**REVISADO :** H.S.A  
**LONG DE LINEA** 75m

**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 260.3    |
| 1.7       | 297.0    |
| 3.6       | 498.6    |
| 5.5       | 408.5    |
| 7.6       | 532.7    |
| 9.9       | 680.3    |
| 12.2      | 666.0    |
| 14.7      | 751.3    |
| 17.2      | 821.3    |
| 20.0      | 956.8    |
| 22.8      | 956.9    |
| 25.7      | 1048.1   |
| 28.8      | 1021.3   |
| 32.0      | 1070.3   |
| 35.3      | 1131.1   |
| 38.8      | 1156.6   |
| 42.4      | 1147.1   |
| 46.1      | 1270.3   |
| 49.9      | 1301.0   |
| 53.8      | 1470.0   |
| 57.9      | 1522.3   |
| 62.1      | 1517.3   |
| 66.4      | 1550.6   |
| 70.8      | 1550.3   |
| 75.4      | 1595.1   |
| 80.0      | 1610.2   |
| 84.9      | 1563.2   |
| 89.8      | 1573.2   |
| 94.8      | 1728.9   |
| 100.0     | 1728.9   |

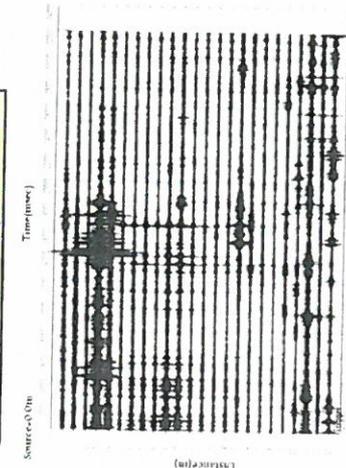
**Clasificación IBC -2009**

\* El parametro **Vs30** es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno, para realizar la clasificación del terreno mediante la aplicación de ondas de corte recurrentes al código internacional **IBC 2009** que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A", hasta la letra "E", según el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parametro Vs 30 (m/s)  
Tipo de suelo

|        |   |
|--------|---|
| 956.70 | C |
|--------|---|

**Registro de Microtrepidaciones**



**SUELO MUY DENSO O ROCA BLANDA**



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38278  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua para Lima

**ENSAYO MAM 13 (Tunel 2)**

PROYECTO : Obras de Cabeceza y Conducción para abastecimiento de agua Potable para Lima

UBICACIÓN : LIMA

COORDENADAS : 294614 ; 8661210

FECHA : Setiembre 2014

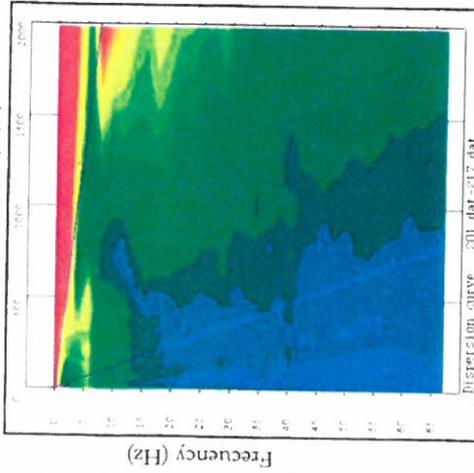
REALIZADO : A.F.A.

REVISADO : H.S.A

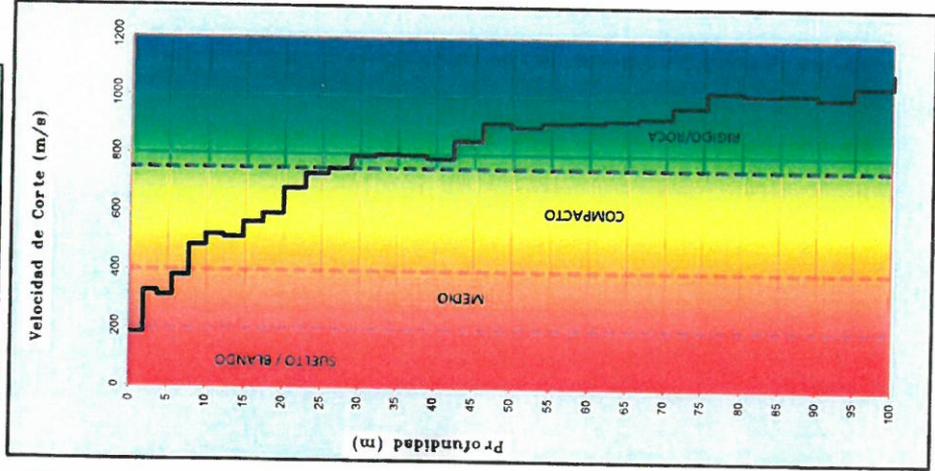
LONG. DE LINEA 75m

**Curva de Dispersión**

Phase Velocity (m/s)



**Perfil Unidimensional**



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 181.5    |
| 1.7       | 325.2    |
| 3.6       | 309.2    |
| 5.5       | 377.6    |
| 7.6       | 483.0    |
| 9.9       | 519.0    |
| 12.2      | 510.4    |
| 14.7      | 561.2    |
| 17.2      | 592.1    |
| 20.0      | 678.4    |
| 22.8      | 729.7    |
| 25.7      | 749.5    |
| 28.8      | 791.0    |
| 32.0      | 797.2    |
| 35.3      | 795.1    |
| 38.8      | 783.2    |
| 42.4      | 845.0    |
| 46.1      | 906.6    |
| 49.9      | 893.0    |
| 53.8      | 907.3    |
| 57.9      | 910.5    |
| 62.1      | 917.2    |
| 66.4      | 925.6    |
| 70.8      | 965.2    |
| 75.4      | 1016.4   |
| 80.0      | 1007.4   |
| 84.9      | 1011.4   |
| 89.8      | 997.6    |
| 94.8      | 1038.0   |
| 100.0     | 1085.9   |

**Clasificación IBC -2009**

\* El parametro Vs30 es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno, para realizar la clasificación del terreno mediante la aplicación de ondas de corte recurrimos al código internacional IBC 2009 que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A" hasta la letra "E" según el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parametro Vs 30 (m/s)

Tipo de suelo

|        |   |
|--------|---|
| 488.50 | C |
|--------|---|

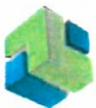
**Registro de Microtrepidaciones**



SUELO MUY DENSO O ROCA BLANDA



Ing. David Valenzuela Cármon  
Jefe de Proyecto  
CIP No. 38229  
Gerencia Agua para Lima



**SOTELLO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y GERENCIA DE PROYECTOS

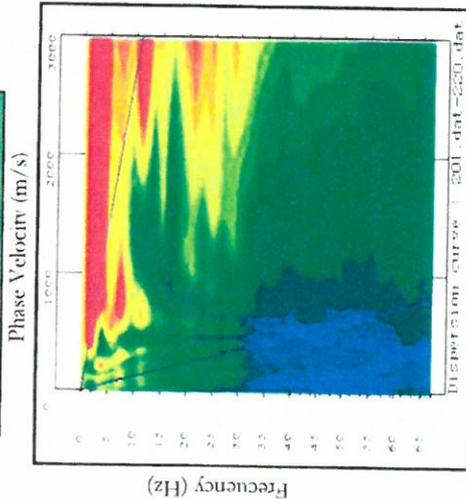
**ENSAYO MAM 14 (Tunel 2)**

PROYECTO : Obras de Cabeceza y Conducción para abastecimiento de agua Potable para Lima  
UBICACIÓN : LIMA

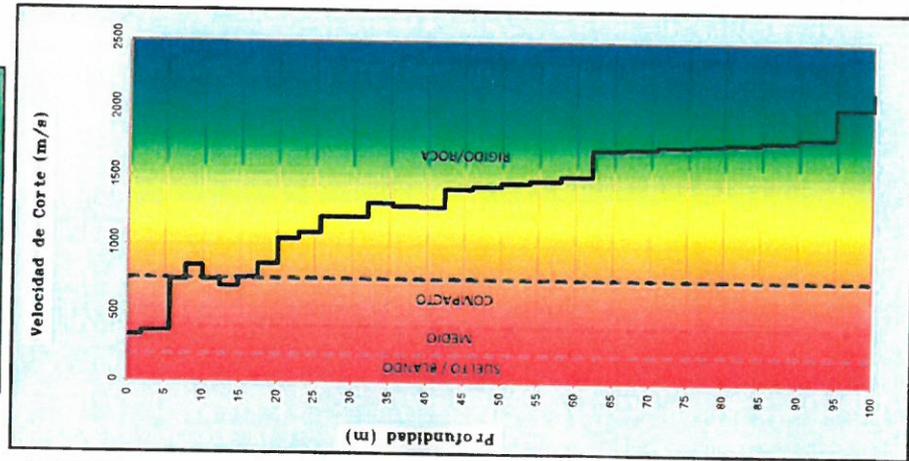
COORDENADAS : 29°51'68" S, 86°00'51"6" W  
FECHA : Setiembre 2014

REALIZADO : A.F.A.  
REVISADO : H.S.A  
LONG. DE LINEA: 75m

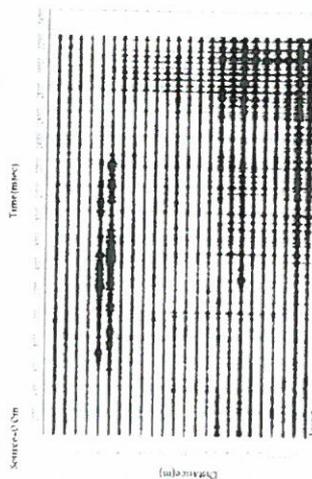
**Curva de Dispersión**



**Perfil Unidimensional**



**Registro de Microtrepidaciones**



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 329.6    |
| 1.7       | 359.3    |
| 3.6       | 361.0    |
| 5.5       | 736.3    |
| 7.6       | 839.2    |
| 9.9       | 739.4    |
| 12.2      | 690.7    |
| 14.7      | 754.6    |
| 17.2      | 854.6    |
| 20.0      | 1041.3   |
| 22.8      | 1085.6   |
| 25.7      | 1202.4   |
| 28.8      | 1203.8   |
| 32.0      | 1306.6   |
| 35.3      | 1283.0   |
| 38.8      | 1277.5   |
| 42.4      | 1409.2   |
| 46.1      | 1430.4   |
| 49.9      | 1455.7   |
| 53.8      | 1475.8   |
| 57.9      | 1508.4   |
| 62.1      | 1705.1   |
| 66.4      | 1712.4   |
| 70.8      | 1732.4   |
| 75.4      | 1741.9   |
| 80.0      | 1755.8   |
| 84.9      | 1771.8   |
| 89.8      | 1800.7   |
| 94.8      | 2020.2   |
| 100.0     | 2138.2   |

**Clasificación IBC -2009**

\* El parámetro Vs30 es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno, para realizar la clasificación del terreno mediante la aplicación de ondas de corte recurrimos al código internacional IBC 2009 que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A" hasta la letra "E", según el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parámetro Vs 30 (m/s) **738.50**  
Tipo de suelo **C**

**SUELO MUY DENSO O ROCA BLANDA**



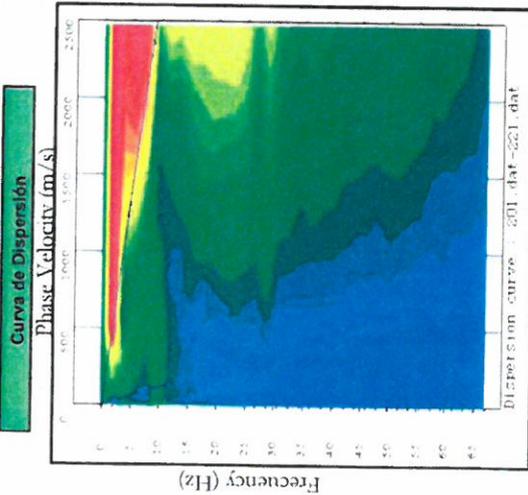
Ing. David Valenzuela Chirinos  
Jefe de Proyecto  
C/P No. 38228  
Consortio Agua Para Lima

**ENSAYO MAM 15 (Tunel 2)**

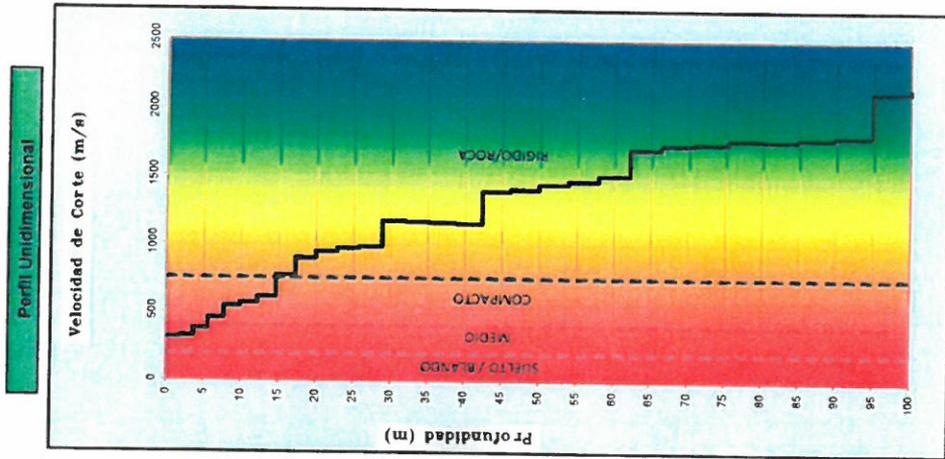
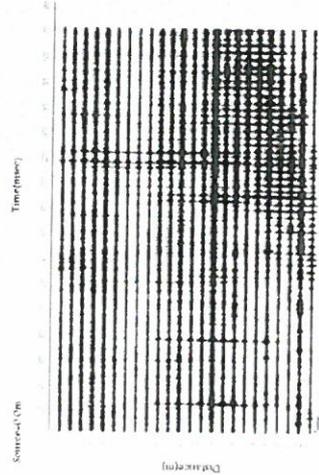
PROYECTO : Obras de Cabecera y Conduccion para abastecimiento de agua Potable para Lima  
UBICACION : LIMA

COORDENADAS : 294283 , 8661627  
FECHA : Setiembre 2014

REALIZADO : A.F.A.  
REVISADO : H.S.A  
LONG. DE LINEA: 75m



Registro de Microtrepidaciones



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 310.1    |
| 1.7       | 318.8    |
| 3.6       | 373.2    |
| 5.5       | 452.9    |
| 7.6       | 538.8    |
| 9.9       | 563.0    |
| 12.2      | 607.3    |
| 14.7      | 766.7    |
| 17.2      | 893.3    |
| 20.0      | 930.9    |
| 22.8      | 966.4    |
| 25.7      | 978.2    |
| 28.8      | 1167.5   |
| 32.0      | 1160.8   |
| 35.3      | 1154.5   |
| 38.8      | 1147.7   |
| 42.4      | 1384.5   |
| 46.1      | 1400.3   |
| 49.9      | 1438.1   |
| 53.8      | 1463.6   |
| 57.9      | 1503.5   |
| 62.1      | 1700.0   |
| 66.4      | 1730.7   |
| 70.8      | 1741.3   |
| 75.4      | 1770.3   |
| 80.0      | 1763.4   |
| 84.9      | 1780.3   |
| 89.8      | 1796.6   |
| 94.8      | 2120.7   |
| 100.0     | 2148.4   |

**Clasificacion IBC -2009**

\* El parametro Vs30 es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno, para realizar la clasificacion del terreno mediante la aplicacion de ondas de corte recurrimos al codigo internacional IBC 2009 que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A" hasta la letra "E" segun el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parametro Vs 30 (m/s) **575.40**  
Tipo de suelo **C**

**SUELO MUY DENSO O ROCA BLANDA**

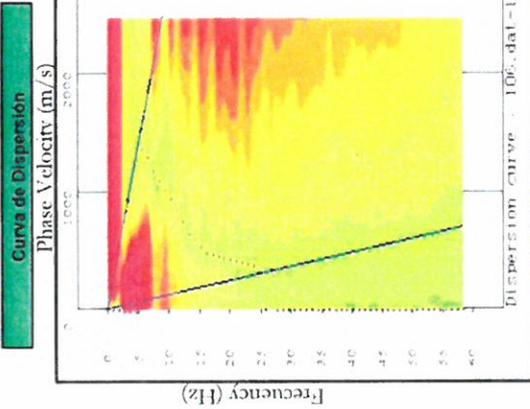


Ing. David Valenzuela Ortigas  
Jefe de Proyecto  
C/P No. 38229  
Comando Agua para Lima

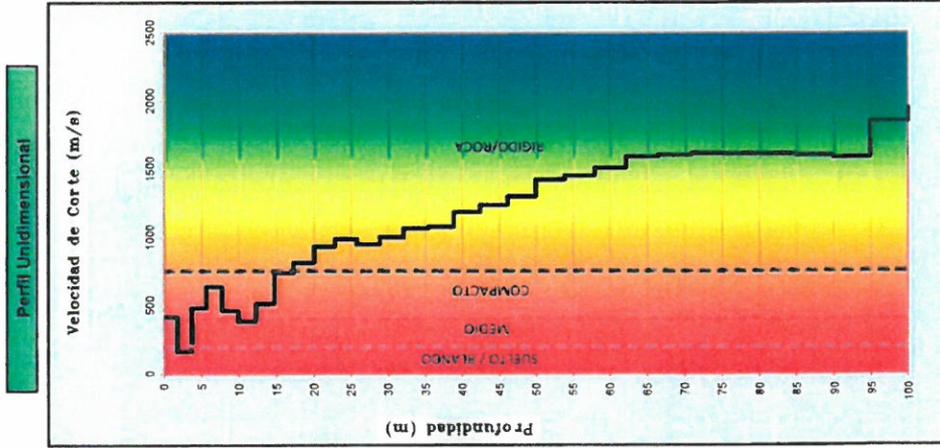
**ENSAYO MAM 02(Tunel 03)**

PROYECTO : Obras de Cabeceera y Conduccion para Abastecimiento de Agua Potable para Lima  
 UBICACION : LIMA  
 COORDENADAS : 0293726 ; 8654627  
 FECHA : Setiembre 2014

REALIZADO : A.F.A.  
 REVISADO : H.S.A  
 LONG. DE LINEA: 75m



Registro de Microtrepidaciones



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 415.4    |
| 1.7       | 158.2    |
| 3.6       | 475.8    |
| 5.5       | 635.0    |
| 7.6       | 457.1    |
| 9.9       | 380.7    |
| 12.2      | 506.6    |
| 14.7      | 733.4    |
| 17.2      | 807.4    |
| 20.0      | 926.4    |
| 22.8      | 980.9    |
| 25.7      | 943.7    |
| 28.8      | 996.1    |
| 32.0      | 1060.2   |
| 35.3      | 1072.2   |
| 38.8      | 1180.1   |
| 42.4      | 1229.8   |
| 46.1      | 1293.8   |
| 49.9      | 1417.6   |
| 53.8      | 1445.9   |
| 57.9      | 1502.9   |
| 62.1      | 1586.7   |
| 66.4      | 1598.4   |
| 70.8      | 1612.3   |
| 75.4      | 1608.0   |
| 80.0      | 1604.6   |
| 84.9      | 1597.1   |
| 89.8      | 1580.3   |
| 94.8      | 1844.8   |
| 100.0     | 1937.6   |

**Clasificacion IBC -2009**

\* El parametro Vs30 es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno, para realizar la clasificacion del terreno mediante la aplicacion de ondas de corte recurrimos al codigo internacional IBC 2009 que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A" hasta la letra "E", segun el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parametro Vs 30 (m/s) **930.7 m/s**  
 Tipo de suelo **A**

**ROCA MUY DURA**



Ing. David Valenzuela Cárdenas  
 Jefe de Proyecto  
 CIP No. 30229  
 Comandante en Jefe para Lima

**ENSAYO MAM 03(Tunel 03)**

PROYECTO : Obras de Cabecera y Conduccion para Abastecimiento de Agua Potable para Lima  
UBICACION : LIMA

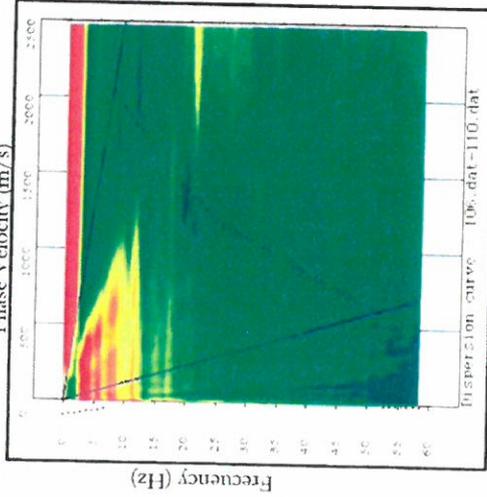
COORDENADAS : 0293528 - 8654520  
FECHA : Setiembre 2014

REALIZADO : A.F.A.

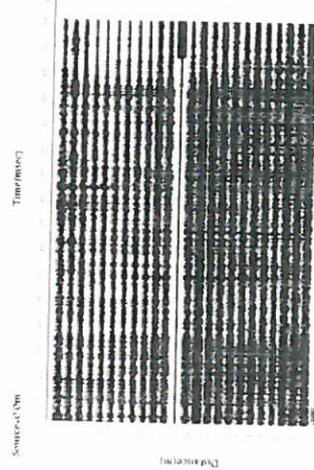
REVISADO : H.S.A

LONG. DE LINEA: 75m

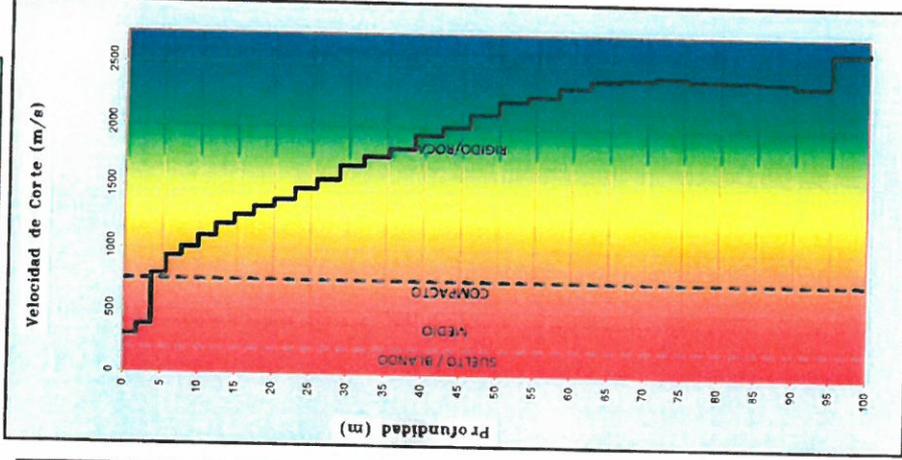
**Curva de Dispersión**  
Phase Velocity (m/s)



**Registro de Microtremedaciones**  
Time (msec)



**Perfil Unidimensional**



| Prof. (m) | Vs (m/s) |
|-----------|----------|
| 0.0       | 298.2    |
| 1.7       | 378.8    |
| 3.6       | 788.3    |
| 5.5       | 931.5    |
| 7.6       | 1002.4   |
| 9.9       | 1093.4   |
| 12.2      | 1191.6   |
| 14.7      | 1267.1   |
| 17.2      | 1334.1   |
| 20.0      | 1393.2   |
| 22.8      | 1484.1   |
| 25.7      | 1558.8   |
| 28.8      | 1673.8   |
| 32.0      | 1749.6   |
| 35.3      | 1814.9   |
| 38.8      | 1925.7   |
| 42.4      | 1992.0   |
| 46.1      | 2095.8   |
| 49.9      | 2201.9   |
| 53.8      | 2241.4   |
| 57.9      | 2316.5   |
| 62.1      | 2379.3   |
| 66.4      | 2389.4   |
| 70.8      | 2408.7   |
| 75.4      | 2387.2   |
| 80.0      | 2384.9   |
| 84.9      | 2374.6   |
| 89.8      | 2347.5   |
| 94.8      | 2614.6   |
| 100.0     | 2629.9   |

**Clasificación IBC -2009**

\* El parametro Vs30 es obtenido como un promedio de la velocidad de las ondas de corte de los 30m mas superficiales del terreno, para realizar la clasificación del terreno mediante la aplicación de ondas de corte recurrimos al código internacional IBC 2009 que clasifica al terreno en cinco tipos de suelos desde la letra "A" hasta la letra "E" según el promedio de las velocidades obtenidas del perfil unidimensional

Parametro Vs 30 (m/s) **1036.20**  
Tipo de suelo **B**

**ROCA**



Ing. David Valenzuela Grijalva  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consejo Asesor para Lima

A  
n  
e  
x  
o  
  
A 3

**ESTACIÓN GEOMECÁNICA**



  
Ing. David Valenzuela Córdova  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA  
ANALISIS : RMR  
ESTACION : EG-01 (Portal de Entrada)  
COORDENADAS : E: 291101 - N: 8667427

FECHA : 15-sep-14

REALIZADO : FJC  
REVISADO : MRL

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

|   |       |           |          |         |        |                 |
|---|-------|-----------|----------|---------|--------|-----------------|
| <b>1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b> |       |           |          |         |        | <b>61.4 Mpa</b> |
| Rango de valores  | > 250 | 100 - 250 | 50 - 100 | 25 - 50 | 5 - 25 | 1 - 5           |
| Puntaje   | 15    | 12        | 7        | 4       | 2      | 0               |
| Valoración :  |       |           |          |         |        | 5               |

|  |          |         |         |         |      |             |
|--|----------|---------|---------|---------|------|-------------|
| <b>2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b> |          |         |         |         |      | <b>52 %</b> |
| Rango de valores                             | 90 - 100 | 75 - 90 | 50 - 75 | 25 - 50 | < 25 |             |
| Puntaje                                      | 20       | 17      | 13      | 8       | 3    |             |
| Valoración :                                 |          |         |         |         |      | 8           |

|  |     |         |           |            |        |               |
|--|-----|---------|-----------|------------|--------|---------------|
| <b>3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b> |     |         |           |            |        | <b>0.52 m</b> |
| Rango de valores                             | > 2 | 0.6 - 2 | 0.2 - 0.6 | 0.06 - 0.2 | < 0.06 |               |
| Puntaje                                      | 20  | 15      | 10        | 8          | 5      |               |
| Valoración :                                 |     |         |           |            |        | 10            |

|  |     |       |        |         |      |              |
|--|-----|-------|--------|---------|------|--------------|
| <b>4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b> |     |       |        |         |      |              |
| <b>Persistencia de las discontinuidades</b>  |     |       |        |         |      | <b>2.8 m</b> |
| Rango de valores                             | < 1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | > 20 |              |
| Puntaje                                      | 6   | 4     | 2      | 1       | 0    |              |
| Valoración :                                 |     |       |        |         |      | 0            |

|                              |         |       |           |       |     |              |
|------------------------------|---------|-------|-----------|-------|-----|--------------|
| <b>Separación (apertura)</b> |         |       |           |       |     | <b>80 mm</b> |
| Rango de valores             | Ninguno | < 0.1 | 0.1 - 1.0 | 1 - 5 | > 5 |              |
| Puntaje                      | 6       | 5     | 4         | 1     | 0   |              |
| Valoración :                 |         |       |           |       |     | 0            |

|                  |                  |             |                          |           |                         |          |
|------------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|
| <b>Rugosidad</b> |                  |             |                          |           |                         | <b>R</b> |
| Condición        | Muy rugosa<br>VF | Rugosa<br>R | Ligeramente rugosa<br>SR | Lisa<br>L | Superficie pulida<br>SK |          |
| Puntaje          | 6                | 5           | 3                        | 1         | 0                       |          |
| Valoración :     |                  |             |                          |           |                         | 5        |

|   |         |          |          |            |            |                |
|---|---------|----------|----------|------------|------------|----------------|
| <b>Relleno</b>                                      |         |          |          |            |            | <b>0 mm</b>    |
| Rango de valores                                    | Ninguno | Duro < 5 | Duro > 5 | Blando < 5 | Blando > 5 |                |
| Puntaje   | 6       | 4        | 2        | 2          | 0          |                |
| Marque con X el tipo de relleno : Blando : x Duro : |         |          |          |            |            | Valoración : 6 |

|                      |                        |                                 |                                   |                               |                                   |           |
|----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| <b>Meteorización</b> |                        |                                 |                                   |                               |                                   | <b>SW</b> |
| Condición            | No Intemperizada<br>LW | Ligeramente intemperizada<br>SW | Moderadamente intemperizada<br>MW | Altamente intemperizada<br>HW | Completamente intemperizada<br>CW |           |
| Puntaje              | 6                      | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |           |
| Valoración :         |                        |                                 |                                   |                               |                                   | 5         |

|   |                          |              |              |             |             |           |
|---|--------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-----------|
| <b>5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA</b> |                          |              |              |             |             | <b>CD</b> |
| Condición   | Completamente seca<br>CD | Húmeda<br>DM | Mojada<br>WT | Gateo<br>DP | Flujo<br>FW |           |
| Puntaje   | 15                       | 10           | 7            | 4           | 0           |           |
| Valoración :  |                          |              |              |             |             | 15        |

|   |                     |                 |               |                    |                        |                 |
|---|---------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------------|-----------------|
| <b>6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES</b> |                     |                 |               |                    |                        | <b>FR</b>       |
| Orientaciones del rumbo y buzamiento                      | Muy Favorable<br>VF | Favorable<br>FV | Regular<br>FR | Desfavorable<br>UF | Muy desfavorable<br>VU |                 |
| Puntaje según el tipo de trabajo                          | Túneles y minas (T) | -2              | -5            | -10                | -12                    |                 |
|   | Cimentaciones (F)   | -2              | -7            | -15                | -25                    |                 |
|   | Taludes (S)         | -5              | -25           | -50                | -60                    |                 |
| Indique el tipo de trabajo : T                            |                     |                 |               |                    |                        | Valoración : -5 |

FR-VF

| VALOR DE RMR                               |         |
|--|---------|
| RMR Básico                                 | 54      |
| RMR Ajustado                               | 49      |
| RMR89 (condiciones secas y muy favorables) | 54      |
| Cohesión (c)                               | 270 KPa |
| Angulo de fricción interna (°)             | 32°     |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGÍA DEL SMR**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LI      FECHA : 15-sep-14  
ANÁLISIS : SMR, FALLA PLANAR      REALIZADO : FJC  
ESTACIÓN : EG-01 (Portal de Entrada)      REVISADO : MRL  
UBICACIÓN : E: 291101 - N: 8667427

**DETERMINACION DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{x_0} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| <b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b> |                      |
| Dirección de buzamiento (a) :         | 325 Buzamiento (b) : |
|                                       | 80                   |

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| <b>2.- DATOS DEL TALUD</b>     |                      |
| Dirección de buzamiento (a*) : | 58 Buzamiento (b*) : |
|                                | 38                   |

|   |          |
|---|----------|
| <b>3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar (P) - Volteo (V)</b> | <b>P</b> |
|---|----------|

**4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS**

|   |               |               |           |         |              |                  |
|---|---------------|---------------|-----------|---------|--------------|------------------|
| <b>Determinación de factor de ajuste F1</b> |               |               |           |         |              |                  |
| Caso  |               | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |
| Planar                                      | bs - aj       | > 30          | 30 - 20   | 20 - 10 | 10 - 5       | < 5              |
| Volteo                                      | as - aj - 180 |               |           |         |              |                  |
| Valores de F1                               |               | 0.15          | 0.40      | 0.70    | 0.85         | 1.00             |
| <b>Valor de F1 : 0.15</b>                   |               |               |           |         |              |                  |

|   |               |               |           |         |              |                  |
|---|---------------|---------------|-----------|---------|--------------|------------------|
| <b>Determinación de factor de ajuste F2</b> |               |               |           |         |              |                  |
| Caso  |               | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |
| Planar                                      | bj            | < 20          | 20 - 30   | 30 - 35 | 35 - 45      | > 45             |
| Volteo                                      | bs - aj - 180 |               |           |         |              |                  |
| Valores de F2                               |               | 0.15          | 0.40      | 0.70    | 0.85         | 1.00             |
| <b>Valor de F2 : 1.00</b>                   |               |               |           |         |              |                  |

|   |         |               |           |         |              |                  |
|---|---------|---------------|-----------|---------|--------------|------------------|
| <b>Determinación de factor de ajuste F3</b> |         |               |           |         |              |                  |
| Caso  |         | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |
| Planar                                      | bj - bs | > 10          | 10 - 0    | 0       | 0 - (-10)    | < -10            |
| Volteo                                      | bj + bs | < 110         | 110 - 120 | > 120   | ---          | ---              |
| Valores de F3                               |         | 0             | -6        | -25     | -50          | -60              |
| <b>Valor de F3 : 0</b>                      |         |               |           |         |              |                  |

|   |                     |                 |                           |                        |                           |           |
|---|---------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-----------|
| <b>5.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL METODO DE EXCAVACION</b> |                     |                 |                           |                        |                           |           |
| <b>Determinación de factor de ajuste F4</b>               |                     |                 |                           |                        |                           | <b>PS</b> |
| Método  | Talud Natural<br>NS | Pre-Corte<br>PS | Voladura controlada<br>SB | Voladura regular<br>RB | Voladura deficiente<br>DB |           |
| Valores de F4   | 15                  | 10              | 8                         | 0                      | -8                        |           |
| <b>Valor de F4 : 10</b>                                   |                     |                 |                           |                        |                           |           |

| VALOR DE SMR |                 |
|--------------|-----------------|
| SMR          | 64              |
| Descripción  | Buena           |
| Estabilidad  | Estable         |
| Roturas      | Algunos bloques |
| Tratamiento  | Ocasional       |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Comisaría Agua Para Lima

Versión 1.1

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE PARA LIMA-RAMAL SUR  
ANÁLISIS ; RMR  
ESTACIÓN : EG-1 (Portal Entrada)  
COORDENADAS : E: 293385 - N: 8662761

FECHA : 03-sep-14  
REALIZADO : MRL  
REVISADO : HSA

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

|  |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                 |
|--|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| <b>1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>71.2 Mpa</b> |
| Rango de valores   | > 250                    | 100 - 250                       | 50 - 100                          | 25 - 50                       | 5 - 25                            | 1 - 5           |
| Puntaje  | 15                       | 12                              | 7                                 | 4                             | 2                                 | 0               |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 5               |
| <b>2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>41 %</b>     |
| Rango de valores   | 90 - 100                 | 75 - 90                         | 50 - 75                           | 25 - 50                       | < 25                              |                 |
| Puntaje  | 20                       | 17                              | 13                                | 8                             | 3                                 |                 |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 6               |
| <b>3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>0.10 m</b>   |
| Rango de valores   | > 2                      | 0.6 - 2                         | 0.2 - 0.6                         | 0.06 - 0.2                    | < 0.06                            |                 |
| Puntaje  | 20                       | 15                              | 10                                | 8                             | 5                                 |                 |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 6               |
| <b>4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                 |
| <b>Persistencia de las discontinuidades</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>1.5 m</b>    |
| Rango de valores   | < 1                      | 1 - 3                           | 3 - 10                            | 10 - 20                       | > 20                              |                 |
| Puntaje  | 6                        | 4                               | 2                                 | 1                             | 0                                 |                 |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 4               |
| <b>Separación (apertura)</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>2 mm</b>     |
| Rango de valores   | Ninguno                  | < 0.1                           | 0.1 - 1.0                         | 1 - 5                         | > 5                               |                 |
| Puntaje  | 6                        | 5                               | 4                                 | 1                             | 0                                 |                 |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 1               |
| <b>Rugosidad</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>R</b>        |
| Condición  | Muy rugosa<br>VR         | Rugosa<br>R                     | Ligeramente rugosa<br>SR          | Lisa<br>L                     | Superficie pulida<br>SK           |                 |
| Puntaje  | 6                        | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |                 |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 5               |
| <b>Relleno</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>0 mm</b>     |
| Rango de valores   | Ninguno                  | Duro < 5                        | Duro > 5                          | Blando < 5                    | Blando > 5                        |                 |
| Puntaje  | 6                        | 4                               | 2                                 | 2                             | 0                                 |                 |
| Marque con X el tipo de relleno : Blando : <input checked="" type="checkbox"/> Duro : <input type="checkbox"/> |                          |                                 |                                   |                               |                                   | Valoración :    |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 6               |
| <b>Meteorización</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>MW</b>       |
| Condición  | No Intemperizada<br>LW   | Ligeramente intemperizada<br>SW | Moderadamente intemperizada<br>MW | Altamente intemperizada<br>HW | Completamente intemperizada<br>CW |                 |
| Puntaje  | 6                        | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |                 |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 3               |
| <b>5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>CD</b>       |
| Condición  | Completamente seca<br>CD | Húmeda<br>DM                    | Mojada<br>WT                      | Goteo<br>DP                   | Flujo<br>FW                       |                 |
| Puntaje  | 15                       | 10                              | 7                                 | 4                             | 0                                 |                 |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | 15              |
| <b>6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>FR</b>       |
| Orientaciones del rumbo y buzamiento   | Muy Favorable<br>VF      | Favorable<br>FV                 | Regular<br>FR                     | Desfavorable<br>UF            | Muy desfavorable<br>VU            |                 |
| Puntaje según el tipo de trabajo   | Túneles y minas (T)      | 0                               | -2                                | -5                            | -10                               | -12             |
|  | Cimentaciones (F)        | 0                               | -2                                | -7                            | -15                               | -25             |
|  | Taludes (S)              | 0                               | -5                                | -25                           | -50                               | -60             |
| Indique el tipo de trabajo : <input checked="" type="checkbox"/> T   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | Valoración :    |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | -5              |

| VALOR DE RMR                               |         |
|--|---------|
| RMR Básico                                 | 51      |
| RMR Ajustado                               | 46      |
| RMR89 (condiciones secas y muy favorables) | 51      |
| Cohesión (c)                               | 255 KPa |
| Angulo de fricción interna (°)             | 31°     |



  
 Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP No. 36229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

| ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS<br>METODOLOGIA DEL SMR |  |                   |
|---|--|-------------------|
| PROYECTO :  | OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE PARA I | FECHA : 03-sep-14 |
| ANÁLISIS :  | SMR, FALLA PLANAR  | REALIZADO : MRL   |
| ESTACIÓN :  | EG-1 (Portal Entrada)  | REVISADO :        |
| UBICACIÓN :   | E: 293385 - N: 8662761   |                   |

**DETERMINACION DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{80} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

|   |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
|---|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------|
| <b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>                           |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| Dirección de buzamiento (a <sub>j</sub> ) :                     |                                       | 80              | Buzamiento (b <sub>j</sub> ) : |                        | 45                              |                  |
| <b>2.- DATOS DEL TALUD</b>                                      |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| Dirección de buzamiento (a <sub>s</sub> ) :                     |                                       | 243             | Buzamiento (b <sub>s</sub> ) : |                        | 36                              |                  |
| <b>3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar (P) - Volteo (V)</b> |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>P</b>  |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>                        |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F1</b>                     |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| Caso  |                                       | Muy favorable   | Favorable                      | Regular                | Desfavorable                    | Muy desfavorable |
| Planar  | a <sub>s</sub> - a <sub>j</sub>       | > 30            | 30 - 20                        | 20 - 10                | 10 - 5                          | < 5              |
| Volteo  | a <sub>s</sub> - a <sub>j</sub> - 180 |                 |                                |                        |                                 |                  |
| Valores de F1   |                                       | 0.15            | 0.40                           | 0.70                   | 0.85                            | 1.00             |
| <b>Valor de F1 : 0.15</b>                                       |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F2</b>                     |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| Caso  |                                       | Muy favorable   | Favorable                      | Regular                | Desfavorable                    | Muy desfavorable |
| Planar  | b <sub>j</sub>                        | < 20            | 20 - 30                        | 30 - 35                | 35 - 45                         | > 45             |
| Valores de F2   |                                       | 0.15            | 0.40                           | 0.70                   | 0.85                            | 1.00             |
| Nota: Para el caso de falla por volteo considerar F2 = 1        |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>Valor de F2 : 0.85</b>                                       |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F3</b>                     |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| Caso  |                                       | Muy favorable   | Favorable                      | Regular                | Desfavorable                    | Muy desfavorable |
| Planar  | b <sub>j</sub> - b <sub>s</sub>       | > 10            | 10 - 0                         | 0                      | 0 - (-10)                       | < -10            |
| Volteo  | b <sub>j</sub> + b <sub>s</sub>       | < 110           | 110 - 120                      | > 120                  | ---                             | ---              |
| Valores de F3   |                                       | 0               | -6                             | -25                    | -50                             | -60              |
| <b>Valor de F3 : -6</b>   |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>5.- FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL METODO DE EXCAVACION</b>       |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F4</b>                     |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |
| Método  | Talud Natural<br>NS                   | Pre-Corte<br>PS | Voladura controlada<br>SB      | Voladura regular<br>RB | PS<br>Voladura deficiente<br>DB |                  |
| Valores de F4   |                                       | 15              | 10                             | 8                      | 0                               | -8               |
| <b>Valor de F4 : 10</b>   |                                       |                 |                                |                        |                                 |                  |

| VALOR DE SMR |                               |
|--------------|-------------------------------|
| SMR          | 60                            |
| Descripción  | Regular                       |
| Estabilidad  | Parcialmente estable          |
| Roturas      | Algunas juntas o muchas cuñas |
| Tratamiento  | Sistemático                   |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 36228  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE PARA LIMA-RAMAL SUR  
ANALISIS : RMR  
ESTACION : EG-3 (Parte Central)  
COORDENADAS : E: 294928 - N: 8660732

FECHA : 04-sep-14  
REALIZADO : MRL  
REVISADO : HSA

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

|   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  |
|---|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| <b>1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b> |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>133.4 Mpa</b> |
| Rango de valores  | > 250                    | 100 - 250                       | 50 - 100                          | 25 - 50                       | 5 - 25                            | < 1              |
| Puntaje   | 15                       | 12                              | 7                                 | 4                             | 2                                 | 0                |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>8</b>         |
| <b>2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>                        |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>41 %</b>      |
| Rango de valores  | 90 - 100                 | 75 - 90                         | 50 - 75                           | 25 - 50                       | < 25                              |                  |
| Puntaje   | 20                       | 17                              | 13                                | 8                             | 3                                 |                  |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>6</b>         |
| <b>3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>                        |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>0.24 m</b>    |
| Rango de valores  | > 2                      | 0.6 - 2                         | 0.2 - 0.6                         | 0.06 - 0.2                    | < 0.06                            |                  |
| Puntaje   | 20                       | 15                              | 10                                | 8                             | 5                                 |                  |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>8</b>         |
| <b>4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>                        |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  |
| <b>Persistencia de las discontinuidades</b>                         |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>3 m</b>       |
| Rango de valores  | < 1                      | 1 - 3                           | 3 - 10                            | 10 - 20                       | > 20                              |                  |
| Puntaje   | 6                        | 4                               | 2                                 | 1                             | 0                                 |                  |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>2</b>         |
| <b>Separación (apertura)</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>12.1 mm</b>   |
| Rango de valores  | Ninguno                  | < 0.1                           | 0.1 - 1.0                         | 1 - 5                         | > 5                               |                  |
| Puntaje   | 6                        | 5                               | 4                                 | 1                             | 0                                 |                  |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>0</b>         |
| <b>Rugosidad</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>SR</b>        |
| Condición   | Muy rugosa<br>VR         | Rugosa<br>R                     | Ligeramente rugosa<br>SR          | Lisa<br>L                     | Superficie pulida<br>SK           |                  |
| Puntaje   | 6                        | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |                  |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>3</b>         |
| <b>Relleno</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>0 mm</b>      |
| Rango de valores  | Ninguno                  | Duro < 5                        | Duro > 5                          | Blando < 5                    | Blando > 5                        |                  |
| Puntaje   | 6                        | 4                               | 2                                 | 2                             | 0                                 |                  |
| Marque con X el tipo de relleno : Blando : x Duro :                 |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>6</b>         |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>6</b>         |
| <b>Meteorización</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>MW</b>        |
| Condición   | No Intemperizada<br>LW   | Ligeramente intemperizada<br>SW | Moderadamente intemperizada<br>MW | Altamente intemperizada<br>HW | Completamente intemperizada<br>CW |                  |
| Puntaje   | 6                        | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |                  |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>3</b>         |
| <b>5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA</b>               |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>CD</b>        |
| Condición   | Completamente seca<br>CD | Húmeda<br>DM                    | Mojada<br>WT                      | Goteo<br>DP                   | Flejo<br>FW                       |                  |
| Puntaje   | 15                       | 10                              | 7                                 | 4                             | 0                                 |                  |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>15</b>        |
| <b>6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>           |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>FR</b>        |
| Orientaciones del rumbo y buzamiento                                | Muy Favorable<br>VF      | Favorable<br>FV                 | Regular<br>FR                     | Desfavorable<br>UF            | Muy desfavorable<br>VU            |                  |
| Puntaje segun el tipo de trabajo                                    | Túneles y minas (T)      | -2                              | -5                                | -10                           | -12                               |                  |
|   | Cimentaciones (F)        | -2                              | -7                                | -15                           | -25                               |                  |
|   | Taludes (S)              | 0                               | -5                                | -25                           | -60                               |                  |
| Indique el tipo de trabajo : T                                      |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>-5</b>        |
| Valoración :  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>-5</b>        |

| VALOR DE RMR                               |         |
|--|---------|
| RMR Básico                                 | 51      |
| RMR Ajustado                               | 46      |
| RMR89 (condiciones secas y muy favorables) | 51      |
| Cohesión (c)                               | 255 KPa |
| Angulo de fricción interna (°)             | 31°     |



  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 36229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

| ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS<br>METODOLOGIA DEL SMR |  |                   |
|---|--|-------------------|
| PROYECTO :  | OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE PARA I | FECHA : 04-sep-14 |
| ANÁLISIS :  | SMR, FALLA PLANAR  | REALIZADO : MRL   |
| ESTACIÓN :  | EG-3 (Parte Central)   | REVISADO :        |
| UBICACIÓN :   | E: 294928 - N: 8660732   |                   |

**DETERMINACION DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

|   |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
|---|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>                               |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| Dirección de buzamiento (a <sub>j</sub> ) :                         |                                       | 285                 | Buzamiento (b <sub>j</sub> ) : |                           | 75                     |                           |
| <b>2.- DATOS DEL TALUD</b>  |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| Dirección de buzamiento (a <sub>s</sub> ) :                         |                                       | 25                  | Buzamiento (b <sub>s</sub> ) : |                           | 36                     |                           |
| <b>3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar ( P ) - Volteo ( V )</b> |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>P</b>  |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>                            |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>Determinación de factor de ajuste F1</b>                         |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| Caso  |                                       | Muy favorable       | Favorable                      | Regular                   | Desfavorable           | Muy desfavorable          |
| Planar  | a <sub>s</sub> - a <sub>j</sub>       | > 30                | 30 - 20                        | 20 - 10                   | 10 - 5                 | < 5                       |
| Volteo  | a <sub>s</sub> - a <sub>j</sub> - 180 |                     |                                |                           |                        |                           |
| Valores de F1   |                                       | 0.15                | 0.40                           | 0.70                      | 0.85                   | 1.00                      |
| <b>Valor de F1 : 0.15</b>   |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>Determinación de factor de ajuste F2</b>                         |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| Caso  |                                       | Muy favorable       | Favorable                      | Regular                   | Desfavorable           | Muy desfavorable          |
| Planar  | b <sub>j</sub>                        | < 20                | 20 - 30                        | 30 - 35                   | 35 - 45                | > 45                      |
| Valores de F2   |                                       | 0.15                | 0.40                           | 0.70                      | 0.85                   | 1.00                      |
| <i>Nota: Para el caso de falla por volteo considerar F2 = 1</i>     |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>Valor de F2 : 1.00</b>   |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>Determinación de factor de ajuste F3</b>                         |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| Caso  |                                       | Muy favorable       | Favorable                      | Regular                   | Desfavorable           | Muy desfavorable          |
| Planar  | b <sub>j</sub> - b <sub>s</sub>       | > 10                | 10 - 0                         | 0                         | 0 - (-10)              | < -10                     |
| Volteo  | b <sub>j</sub> + b <sub>s</sub>       | < 110               | 110 - 120                      | > 120                     | ---                    | ---                       |
| Valores de F3   |                                       | 0                   | -6                             | -25                       | -50                    | -60                       |
| <b>Valor de F3 : 0</b>  |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>5.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL METODO DE EXCAVACION</b>           |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| <b>Determinación de factor de ajuste F4</b>                         |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |
| Método  |                                       | Talud Natural<br>NS | Pre-Corte<br>PS                | Voladura controlada<br>SB | Voladura regular<br>RB | Voladura deficiente<br>DB |
| Valores de F4   |                                       | 15                  | 10                             | 8                         | 0                      | -8                        |
| <b>Valor de F4 : 10</b>   |                                       |                     |                                |                           |                        |                           |

| VALOR DE SMR |                 |
|--------------|-----------------|
| SMR          | 61              |
| Descripción  | Buena           |
| Estabilidad  | Estable         |
| Roturas      | Algunos bloques |
| Tratamiento  | Ocasional       |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 38229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

 PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE PARA LIMA-RAMAL SUR  
 ANALISIS : RMR  
 ESTACION : EG-5 (Portal de Salida)  
 COORDENADAS : E: 296070 - N: 8659444

 FECHA : 04-sep-14  
 REALIZADO : MRL  
 REVISADO : HSA

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

| 1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual) |       |           |          |         |        |       | 178.0 Mpa |
|--|-------|-----------|----------|---------|--------|-------|-----------|
| Rango de valores   | > 250 | 100 - 250 | 50 - 100 | 25 - 50 | 5 - 25 | 1 - 5 | < 1       |
| Puntaje  | 15    | 12        | 7        | 4       | 2      | 1     | 0         |
| Valoración :   |       |           |          |         |        |       | 10        |

| 2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index) |          |         |         |         |      |  | 74 % |
|---------------------------------------|----------|---------|---------|---------|------|--|------|
| Rango de valores                      | 90 - 100 | 75 - 90 | 50 - 75 | 25 - 50 | < 25 |  |      |
| Puntaje                               | 20       | 17      | 13      | 8       | 3    |  |      |
| Valoración :                          |          |         |         |         |      |  | 13   |

| 3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES |     |         |           |            |        |  | 0.22 m |
|---------------------------------------|-----|---------|-----------|------------|--------|--|--------|
| Rango de valores                      | > 2 | 0.6 - 2 | 0.2 - 0.6 | 0.06 - 0.2 | < 0.06 |  |        |
| Puntaje                               | 20  | 15      | 10        | 6          | 5      |  |        |
| Valoración :                          |     |         |           |            |        |  | 8      |

| 4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES       |     |       |        |         |      |  |     |
|---|-----|-------|--------|---------|------|--|-----|
| <b>Persistencia de las discontinuidades</b> |     |       |        |         |      |  | 5 m |
| Rango de valores                            | < 1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | > 20 |  |     |
| Puntaje                                     | 6   | 4     | 2      | 1       | 0    |  |     |
| Valoración :                                |     |       |        |         |      |  | 2   |

| Separación (apertura) |         |       |           |       |     |  | 11 mm |
|-----------------------|---------|-------|-----------|-------|-----|--|-------|
| Rango de valores      | Ninguno | < 0.1 | 0.1 - 1.0 | 1 - 5 | > 5 |  |       |
| Puntaje               | 6       | 5     | 4         | 1     | 0   |  |       |
| Valoración :          |         |       |           |       |     |  | 0     |

| Rugosidad    |                  |             |                          |           |                         |  | R |
|--------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--|---|
| Condición    | Muy rugosa<br>VR | Rugosa<br>R | Ligeramente rugosa<br>SR | Lisa<br>L | Superficie pulida<br>SK |  |   |
| Puntaje      | 6                | 5           | 3                        | 1         | 0                       |  |   |
| Valoración : |                  |             |                          |           |                         |  | 5 |

| Relleno  |         |          |          |            |            |  | 0 mm |
|--|---------|----------|----------|------------|------------|--|------|
| Rango de valores   | Ninguno | Duro < 5 | Duro > 5 | Blando < 5 | Blando > 5 |  |      |
| Puntaje  | 6       | 4        | 2        | 2          | 0          |  |      |
| Marque con X el tipo de relleno : Blando : <input checked="" type="checkbox"/> Duro : <input type="checkbox"/> |         |          |          |            |            |  | 6    |
| Valoración :   |         |          |          |            |            |  | 6    |

| Meteorización |                        |                                 |                                   |                               |                                   |  | MW |
|---------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|----|
| Condición     | No Intemperizada<br>UW | Ligeramente intemperizada<br>SW | Moderadamente intemperizada<br>MW | Altamente Intemperizada<br>HW | Completamente Intemperizada<br>CW |  |    |
| Puntaje       | 6                      | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |  |    |
| Valoración :  |                        |                                 |                                   |                               |                                   |  | 3  |

| 5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA |                          |              |              |             |             |  | CD |
|--|--------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--|----|
| Condición                                      | Completamente seca<br>CD | Húmeda<br>DM | Mojada<br>WT | Goteo<br>DP | Flujo<br>FW |  |    |
| Puntaje  | 15                       | 10           | 7            | 4           | 0           |  |    |
| Valoración :                                   |                          |              |              |             |             |  | 15 |

| 6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES |                     |                 |               |                    |                        |     | FV |
|--|---------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------------|-----|----|
| Orientaciones del rumbo y buzamiento               | Muy Favorable<br>VF | Favorable<br>FV | Regular<br>FR | Desfavorable<br>UF | Muy desfavorable<br>VU |     |    |
| Puntaje según el tipo de trabajo                   | Túneles y minas (T) | 0               | -2            | -5                 | -10                    | -12 |    |
|  | Cimentaciones (F)   | 0               | -2            | -7                 | -15                    | -25 |    |
|  | Taludes (S)         | 0               | -5            | -25                | -50                    | -60 |    |
| Indique el tipo de trabajo T                       |                     |                 |               |                    |                        |     | -2 |
| Valoración :                                       |                     |                 |               |                    |                        |     | -2 |

| VALOR DE RMR                               |         |
|--|---------|
| RMR Básico                                 | 62      |
| RMR Ajustado                               | 60      |
| RMR89 (condiciones secas y muy favorables) | 62      |
| Cohesión (c)                               | 310 KPa |
| Angulo de fricción interna (°)             | 36°     |



  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 38228  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

| ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS<br>METODOLOGÍA DEL SMR |  |                   |
|---|--|-------------------|
| PROYECTO :  | OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE PARA I | FECHA : 04-sep-14 |
| ANÁLISIS :  | SMR, FALLA PLANAR  | REALIZADO : MRL   |
| ESTACIÓN :  | EG-5 (Portal de Salida)  | REVISADO :        |
| UBICACIÓN :   | E: 296070 - N: 8659444   |                   |

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{xy} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

|   |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
|---|---------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------|
| <b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>                           |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| Dirección de buzamiento (aj) :                                  |                     | 337             | Buzamiento (bj) :         |                        | 53                        |                  |
| <b>2.- DATOS DEL TALUD</b>                                      |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| Dirección de buzamiento (as) :                                  |                     | 145             | Buzamiento (bs) :         |                        | 82                        |                  |
| <b>3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar (P) - Volteo (V)</b> |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>P</b>  |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>                        |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F1</b>                     |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| Caso  |                     | Muy favorable   | Favorable                 | Regular                | Desfavorable              | Muy desfavorable |
| Planar  | as - aj             | > 30            | 30 - 20                   | 20 - 10                | 10 - 5                    | < 5              |
| Volteo  | as - aj - 180       |                 |                           |                        |                           |                  |
| Valores de F1   |                     | 0.15            | 0.40                      | 0.70                   | 0.85                      | 1.00             |
| <b>Valor de F1 : 0.15</b>                                       |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F2</b>                     |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| Caso  |                     | Muy favorable   | Favorable                 | Regular                | Desfavorable              | Muy desfavorable |
| Planar  | bj                  | < 20            | 20 - 30                   | 30 - 35                | 35 - 45                   | > 45             |
| Volteo  | bj + bs             | < 110           | 110 - 120                 | > 120                  |                           |                  |
| Valores de F2   |                     | 0.15            | 0.40                      | 0.70                   | 0.85                      | 1.00             |
| Nota: Para el caso de falla por volteo considerar F2 = 1        |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>Valor de F2 : 1.00</b>                                       |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F3</b>                     |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| Caso  |                     | Muy favorable   | Favorable                 | Regular                | Desfavorable              | Muy desfavorable |
| Planar  | bj - bs             | > 10            | 10 - 0                    | 0                      | 0 - (-10)                 | < -10            |
| Volteo  | bj + bs             | < 110           | 110 - 120                 | > 120                  |                           |                  |
| Valores de F3   |                     | 0               | -6                        | -25                    | -50                       | -60              |
| <b>Valor de F3 : -60</b>  |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>5.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL METODO DE EXCAVACION</b>       |                     |                 |                           |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F4</b>                     |                     |                 |                           |                        |                           | <b>PS</b>        |
| Método  | Talud Natural<br>NS | Pre-Corte<br>PS | Voladura controlada<br>SB | Voladura regular<br>RB | Voladura deficiente<br>DB |                  |
| Valores de F4   | 15                  | 10              | 8                         | 0                      | -8                        |                  |
| <b>Valor de F4 : 10</b>   |                     |                 |                           |                        |                           |                  |

| VALOR DE SMR |                 |
|--------------|-----------------|
| <b>SMR</b>   | <b>63</b>       |
| Descripción  | Buena           |
| Estabilidad  | Estable         |
| Roturas      | Algunos bloques |
| Tratamiento  | Ocasional       |



  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 38229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

 PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA  
 ANALISIS : RMR  
 ESTACION : EG-1 (Portal de Entrada)  
 COORDENADAS : E: 294163 - N: 8654848

 FECHA : 05-sep-14  
 REALIZADC : MRL  
 REVISADO :

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

|  |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  |     |
|--|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|-----|
| <b>1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>172.4 Mpa</b> |     |
| Rango de valores   | > 250                    | 100 - 250                       | 50 - 100                          | 25 - 50                       | 5 - 25                            | 1 - 5            | < 1 |
| Puntaje  | 15                       | 12                              | 7                                 | 4                             | 2                                 | 1                | 0   |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 9   |
| <b>2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>21 %</b>      |     |
| Rango de valores   | 90 - 100                 | 75 - 90                         | 50 - 75                           | 25 - 50                       | < 25                              |                  |     |
| Puntaje  | 20                       | 17                              | 13                                | 8                             | 3                                 |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 3   |
| <b>3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>0.15 m</b>    |     |
| Rango de valores   | > 2                      | 0.6 - 2                         | 0.2 - 0.6                         | 0.06 - 0.2                    | < 0.06                            |                  |     |
| Puntaje  | 20                       | 15                              | 10                                | 8                             | 5                                 |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 7   |
| <b>4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  |     |
| <b>Persistencia de las discontinuidades</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>7 m</b>       |     |
| Rango de valores   | < 1                      | 1 - 3                           | 3 - 10                            | 10 - 20                       | > 20                              |                  |     |
| Puntaje  | 6                        | 4                               | 2                                 | 1                             | 0                                 |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 1   |
| <b>Separación (apertura)</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>4 mm</b>      |     |
| Rango de valores   | Ninguno                  | < 0.1                           | 0.1 - 1.0                         | 1 - 5                         | > 5                               |                  |     |
| Puntaje  | 6                        | 5                               | 4                                 | 1                             | 0                                 |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 0   |
| <b>Rugosidad</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>R</b>         |     |
| Condición  | Muy rugosa<br>VR         | Rugosa<br>R                     | Ligeramente rugosa<br>SR          | Lisa<br>L                     | Superficie pulida<br>SK           |                  |     |
| Puntaje  | 6                        | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 5   |
| <b>Relleno</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>0 mm</b>      |     |
| Rango de valores   | Ninguno                  | Duro < 5                        | Duro > 5                          | Blando < 5                    | Blando > 5                        |                  |     |
| Puntaje  | 6                        | 4                               | 2                                 | 2                             | 0                                 |                  |     |
| Marque con 'X' el tipo de relleno : Blando : <input checked="" type="checkbox"/> Duro : <input type="checkbox"/> |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 6   |
| <b>Meteorización</b>   |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>MW</b>        |     |
| Condición  | No intemperizada<br>UV   | Ligeramente intemperizada<br>SW | Moderadamente intemperizada<br>MW | Altamente intemperizada<br>HW | Completamente intemperizada<br>CW |                  |     |
| Puntaje  | 6                        | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 3   |
| <b>5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>CD</b>        |     |
| Condición  | Completamente seca<br>CD | Húmeda<br>DM                    | Mojada<br>WT                      | Goteo<br>DP                   | Flujo<br>FW                       |                  |     |
| Puntaje  | 15                       | 10                              | 7                                 | 4                             | 0                                 |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | 15  |
| <b>6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>  |                          |                                 |                                   |                               |                                   | <b>FR</b>        |     |
| Orientaciones del rumbo y buzamiento   | Muy Favorable<br>VF      | Favorable<br>FV                 | Regular<br>FR                     | Desfavorable<br>UF            | Muy desfavorable<br>VU            |                  |     |
| Puntaje según el tipo de trabajo   | Túneles y minas (T)      | 0                               | -2                                | -5                            | -10                               | -12              |     |
|  | Cimentaciones (F)        | 0                               | -2                                | -7                            | -15                               | -25              |     |
|  | Taludes (S)              | 0                               | -5                                | -25                           | -50                               | -60              |     |
| Indique el tipo de trabajo : <input checked="" type="checkbox"/> T   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  |     |
| Valoración :   |                          |                                 |                                   |                               |                                   |                  | -5  |

| VALOR DE RMR                               |         |
|--|---------|
| RMR Básico                                 | 49      |
| RMR Ajustado                               | 44      |
| RMR89 (condiciones secas y muy favorables) | 49      |
| Cohesión (c)                               | 245 KPa |
| Angulo de fricción interna (°)             | 30°     |



  
 Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP No. 36222  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

|                                       |  |                   |
|---------------------------------------|--|-------------------|
| <b>ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS</b> |  |                   |
| <b>METODOLOGIA DEL SMR</b>            |  |                   |
| PROYECTO :                            | OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LI | FECHA : 05-sep-14 |
| ANALISIS :                            | SMR, FALLA PLANAR  | REALIZADO : MRL   |
| ESTACION :                            | EG-1 (Portal de Entrada)   | REVISADO :        |
| UBICACION :                           | E: 294163 - N: 8654848   |                   |

**DETERMINACION DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{K_{90}} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

|   |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
|---|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------|
| <b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>                               |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| Direccion de buzamiento (a <sub>j</sub> ) :                         |                                 | 326             | Buzamiento (b <sub>j</sub> ) : |                        | 16                        |                  |
| <b>2.- DATOS DEL TALUD</b>  |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| Direccion de buzamiento (a <sub>s</sub> ) :                         |                                 | 111             | Buzamiento (b <sub>s</sub> ) : |                        | 60                        |                  |
| <b>3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar ( P ) - Volteo ( V )</b> |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <b>P</b>  |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <b>4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>                            |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F1</b>                         |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| Caso  |                                 | Muy favorable   | Favorable                      | Regular                | Desfavorable              | Muy desfavorable |
| Planar  | as - aj                         | > 30            | 30 - 20                        | 20 - 10                | 10 - 5                    | < 5              |
| Volteo  | as - aj - 180                   |                 |                                |                        |                           |                  |
| Valores de F1   |                                 | 0.15            | 0.40                           | 0.70                   | 0.85                      | 1.00             |
| <b>Valor de F1 : 0.15</b>   |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F2</b>                         |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| Caso  |                                 | Muy favorable   | Favorable                      | Regular                | Desfavorable              | Muy desfavorable |
| Planar  | b <sub>j</sub>                  | < 20            | 20 - 30                        | 30 - 35                | 35 - 45                   | > 45             |
| Valores de F2   |                                 | 0.15            | 0.40                           | 0.70                   | 0.85                      | 1.00             |
| <b>Valor de F2 : 0.15</b>   |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <i>Nota: Para el caso de falla por volteo considerar F2 = 1</i>     |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F3</b>                         |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| Caso  |                                 | Muy favorable   | Favorable                      | Regular                | Desfavorable              | Muy desfavorable |
| Planar  | b <sub>j</sub> - b <sub>s</sub> | > 10            | 10 - 0                         | 0                      | 0 - (-10)                 | < -10            |
| Volteo  | b <sub>j</sub> + b <sub>s</sub> | < 110           | 110 - 120                      | > 120                  |                           |                  |
| Valores de F3   |                                 | 0               | -6                             | -25                    | -50                       | -60              |
| <b>Valor de F3 : -60</b>  |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <b>5.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL METODO DE EXCAVACION</b>           |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |
| <b>Determinación de factor de ajuste F4</b>                         |                                 |                 |                                |                        |                           | <b>PS</b>        |
| Método  | Talud Natural<br>NS             | Pre-Corte<br>PS | Voladura controlada<br>SB      | Voladura regular<br>RB | Voladura deficiente<br>DB |                  |
| Valores de F4   |                                 | 15              | 10                             | 6                      | 0                         | -8               |
| <b>Valor de F4 : 10</b>   |                                 |                 |                                |                        |                           |                  |

| VALOR DE SMR |                               |
|--------------|-------------------------------|
| SMR          | 58                            |
| Descripción  | Regular                       |
| Estabilidad  | Parcialmente estable          |
| Roturas      | Algunas juntas o muchas cuñas |
| Tratamiento  | Sistemático                   |



  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 36229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima



Version 1.1

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
PARA LIMA  
ANALISIS : RMR  
ESTACION : EG-3 (Parte Central)  
COORDENADAS : E: 293501 - N: 8654545

FECHA : 05-sep-14  
REALIZADC : MRL  
REVISADO :

DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)

| 1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual) |       |           |          |         |        | 166.7 Mpa |     |
|--|-------|-----------|----------|---------|--------|-----------|-----|
| Rango de valores   | > 250 | 100 - 250 | 50 - 100 | 25 - 50 | 5 - 25 | 1 - 5     | < 1 |
| Puntaje  | 15    | 12        | 7        | 4       | 2      | 1         | 0   |
| Valoración :   |       |           |          |         |        |           | 9   |

| 2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index) |          |         |         |         |      | 15 % |   |
|---------------------------------------|----------|---------|---------|---------|------|------|---|
| Rango de valores                      | 90 - 100 | 75 - 90 | 50 - 75 | 25 - 50 | < 25 |      |   |
| Puntaje                               | 20       | 17      | 13      | 8       | 3    |      |   |
| Valoración :                          |          |         |         |         |      |      | 3 |

| 3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES |     |         |           |            |        | 0.10 | 0.09 |
|---------------------------------------|-----|---------|-----------|------------|--------|------|------|
| Rango de valores                      | > 2 | 0.6 - 2 | 0.2 - 0.6 | 0.06 - 0.2 | < 0.06 |      |      |
| Puntaje                               | 20  | 15      | 10        | 8          | 5      |      |      |
| Valoración :                          |     |         |           |            |        |      | 6    |

| 4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES |     |       |        |         |      | 12 m |   |
|---------------------------------------|-----|-------|--------|---------|------|------|---|
| Persistencia de las discontinuidades  |     |       |        |         |      | 12 m |   |
| Rango de valores                      | < 1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | > 20 |      |   |
| Puntaje                               | 6   | 4     | 2      | 1       | 0    |      |   |
| Valoración :                          |     |       |        |         |      |      | 1 |

| Separación (apertura) |         |       |           |       |     | 35 mm |   |
|-----------------------|---------|-------|-----------|-------|-----|-------|---|
| Rango de valores      | Ninguno | < 0.1 | 0.1 - 1.0 | 1 - 5 | > 5 |       |   |
| Puntaje               | 6       | 5     | 4         | 1     | 0   |       |   |
| Valoración :          |         |       |           |       |     |       | 0 |

| Rugosidad    |                  |             |                          |           |                         | R |   |
|--------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------|-------------------------|---|---|
| Condición    | Muy rugosa<br>VR | Rugosa<br>R | Ligeramente rugosa<br>SR | Lisa<br>L | Superficie pulida<br>SK |   |   |
| Puntaje      | 6                | 5           | 3                        | 1         | 0                       |   |   |
| Valoración : |                  |             |                          |           |                         |   | 5 |

| Relleno   |         |          |          |            |            | 0 mm |   |
|---|---------|----------|----------|------------|------------|------|---|
| Rango de valores                                    | Ninguno | Duro < 5 | Duro > 5 | Blando < 5 | Blando > 5 |      |   |
| Puntaje   | 6       | 4        | 2        | 2          | 0          |      |   |
| Marque con X el tipo de relleno : Blando : x Duro : |         |          |          |            |            |      | 6 |
| Valoración :  |         |          |          |            |            |      | 6 |

| Meteorización |                        |                                    |                                      |                                  |                                      | MW |   |
|---------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----|---|
| Condición     | No Intemperizada<br>UW | Ligeramente<br>intemperizada<br>SW | Moderadamente<br>intemperizada<br>MW | Altamente<br>intemperizada<br>HW | Completamente<br>intemperizada<br>CW |    |   |
| Puntaje       | 6                      | 5                                  | 3                                    | 1                                | 0                                    |    |   |
| Valoración :  |                        |                                    |                                      |                                  |                                      |    | 3 |

| 5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA |                          |              |              |             |             | DM |    |
|--|--------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----|----|
| Condición                                      | Completamente seca<br>CD | Humeda<br>DM | Mojada<br>WT | Goteo<br>DP | Flujo<br>FW |    |    |
| Puntaje  | 15                       | 10           | 7            | 4           | 0           |    |    |
| Valoración :                                   |                          |              |              |             |             |    | 10 |

| 6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES |                     |                 |               |                    |                        | FR |    |
|--|---------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------------|----|----|
| Orientaciones del rumbo y buzamiento               | Muy Favorable<br>VF | Favorable<br>FV | Regular<br>FR | Desfavorable<br>UF | Muy desfavorable<br>VU |    |    |
| Puntaje según el tipo de trabajo                   | Túneles y minas (T) | -2              | -5            | -10                | -12                    |    |    |
|  | Cimentaciones (F)   | -2              | -7            | -15                | -25                    |    |    |
|  | Taludes (S)         | 0               | -5            | -25                | -60                    |    |    |
| Indique el tipo de trabajo T                       |                     |                 |               |                    |                        |    | -5 |
| Valoración :                                       |                     |                 |               |                    |                        |    | -5 |

| VALOR DE RMR                               |         |
|--|---------|
| RMR Básico                                 | 43      |
| RMR Ajustado                               | 38      |
| RMR89 (condiciones secas y muy favorables) | 48      |
| Cohesión (c)                               | 215 KPa |
| Angulo de fricción interna (°)             | 27°     |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima

| ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS<br>METODOLOGIA DEL SMR |  |                   |
|---|--|-------------------|
| PROYECTO :  | OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LI | FECHA : 06-sep-14 |
| ANALISIS :  | SMR, FALLA PLANAR  | REALIZADO : MRL   |
| ESTACION :  | EG-3 (Parte Central)   | REVISADO : 0      |
| UBICACION :   | E: 293501 - N: 8654545   |                   |

**DETERMINACION DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{SV} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

|   |     |                                |
|---|-----|--------------------------------|
| <b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>       |     |                                |
| Direccion de buzamiento (a <sub>j</sub> ) : | 340 | Buzamiento (b <sub>j</sub> ) : |
|   |     | 52                             |

|   |     |                                |
|---|-----|--------------------------------|
| <b>2.- DATOS DEL TALUD</b>                  |     |                                |
| Direccion de buzamiento (a <sub>s</sub> ) : | 190 | Buzamiento (b <sub>s</sub> ) : |
|   |     | 30                             |

|  |   |
|--|---|
| 3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar (P) - Volteo (V) | P |
|--|---|

**4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS**

|   |                           |           |         |              |                  |  |
|---|---------------------------|-----------|---------|--------------|------------------|--|
| <b>Determinación de factor de ajuste F1</b> |                           |           |         |              |                  |  |
| Caso  | Muy favorable             | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |  |
| Planar                                      | as - a <sub>j</sub>       | > 30      | 30 - 20 | 20 - 10      | 10 - 5           | < 5  |
| Volteo                                      | as - a <sub>j</sub> - 180 |           |         |              |                  |  |
| Valores de F1                               |                           |           |         |              |                  | 0.15      0.40      0.70      0.85      1.00 |
|   |                           |           |         |              |                  | <b>Valor de F1 : 0.15</b>                    |

|  |                           |           |         |              |                  |  |
|--|---------------------------|-----------|---------|--------------|------------------|--|
| <b>Determinación de factor de ajuste F2</b>              |                           |           |         |              |                  |  |
| Caso   | Muy favorable             | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |  |
| Planar   | b <sub>j</sub>            | < 20      | 20 - 30 | 30 - 35      | 35 - 45          | > 45   |
| Volteo   | as - a <sub>j</sub> - 180 |           |         |              |                  |  |
| Valores de F2  |                           |           |         |              |                  | 0.15      0.40      0.70      0.85      1.00 |
| Nota: Para el caso de falla por volteo considerar F2 = 1 |                           |           |         |              |                  | <b>Valor de F2 : 1.00</b>                    |

|   |                                 |           |           |              |                  |                                      |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|--------------|------------------|--------------------------------------|
| <b>Determinación de factor de ajuste F3</b> |                                 |           |           |              |                  |                                      |
| Caso  | Muy favorable                   | Favorable | Regular   | Desfavorable | Muy desfavorable |                                      |
| Planar                                      | b <sub>j</sub> - b <sub>s</sub> | > 10      | 10 - 0    | 0            | 0 - (-10)        | < -10                                |
| Volteo                                      | b <sub>j</sub> + b <sub>s</sub> | < 110     | 110 - 120 | > 120        |                  |                                      |
| Valores de F3                               |                                 |           |           |              |                  | 0      -6      -25      -50      -60 |
|   |                                 |           |           |              |                  | <b>Valor de F3 : 0</b>               |

**5.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL METODO DE EXCAVACION**

|   |                     |                 |                           |                        |                           |
|---|---------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>Determinación de factor de ajuste F4</b> |                     |                 |                           |                        |                           |
|   | Talud Natural<br>NS | Pre-Corte<br>PS | Voladura controlada<br>SB | Voladura regular<br>RB | Voladura deficiente<br>DB |
| Valores de F4                               | 15                  | 10              | 8                         | 0                      | -8                        |
| <b>Valor de F4 : 10</b>                     |                     |                 |                           |                        |                           |

| VALOR DE SMR |                               |
|--------------|-------------------------------|
| SMR          | 58                            |
| Descripción  | Regular                       |
| Estabilidad  | Parcialmente estable          |
| Roturas      | Algunas juntas o muchas cuñas |
| Tratamiento  | Sistemático                   |



  
 Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP No. 38229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima



Version: 1

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
PARA LIMA  
ANALISIS : RMR  
ESTACION : EG-4 (Portal de Salida)  
COORDENADAS : E: 291591 - N: 8653599

FECHA : 29-sep-14  
REALIZAD C FJCM  
REVISADO :

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

| 1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual) |       |           |          |         |        | 98.5 Mpa |     |
|--|-------|-----------|----------|---------|--------|----------|-----|
| Rango de valores   | > 250 | 100 - 250 | 50 - 100 | 25 - 50 | 5 - 25 | 1 - 5    | < 1 |
| Puntaje  | 15    | 12        | 7        | 4       | 2      | 1        | 0   |
| Valoración :   |       |           |          |         |        |          | 7   |

| 2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index) |          |         |         |         |      | 30 % |   |
|---------------------------------------|----------|---------|---------|---------|------|------|---|
| Rango de valores                      | 90 - 100 | 75 - 90 | 50 - 75 | 25 - 50 | < 25 |      |   |
| Puntaje                               | 20       | 17      | 13      | 8       | 3    |      |   |
| Valoración :                          |          |         |         |         |      |      | 4 |

| 3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES |     |         |           |            |        | 0.42 m |   |
|---------------------------------------|-----|---------|-----------|------------|--------|--------|---|
| Rango de valores                      | > 2 | 0.6 - 2 | 0.2 - 0.6 | 0.06 - 0.2 | < 0.06 |        |   |
| Puntaje                               | 20  | 15      | 10        | 8          | 5      |        |   |
| Valoración :                          |     |         |           |            |        |        | 8 |

| 4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES       |     |       |        |         |      | 1.5 m |   |
|---|-----|-------|--------|---------|------|-------|---|
| <b>Persistencia de las discontinuidades</b> |     |       |        |         |      |       |   |
| Rango de valores                            | < 1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | > 20 |       |   |
| Puntaje                                     | 6   | 4     | 2      | 1       | 0    |       |   |
| Valoración :                                |     |       |        |         |      |       | 4 |

| Separación (apertura) |         |       |           |       |     | 120 mm |   |
|-----------------------|---------|-------|-----------|-------|-----|--------|---|
| Rango de valores      | Ninguno | < 0.1 | 0.1 - 1.0 | 1 - 5 | > 5 |        |   |
| Puntaje               | 6       | 5     | 4         | 1     | 0   |        |   |
| Valoración :          |         |       |           |       |     |        | 0 |

| Rugosidad    |                  |             |                          |           |                         | SR |   |
|--------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----|---|
| Condición    | Muy rugosa<br>VR | Rugosa<br>R | Ligeramente rugosa<br>SR | Lisa<br>L | Superficie pulida<br>SK |    |   |
| Puntaje      | 6                | 5           | 3                        | 1         | 0                       |    |   |
| Valoración : |                  |             |                          |           |                         |    | 3 |

| Relleno  |         |          |          |            |            | 0 mm |   |
|--|---------|----------|----------|------------|------------|------|---|
| Rango de valores   | Ninguno | Duro > 5 | Duro > 5 | Blando < 5 | Blando > 5 |      |   |
| Puntaje  | 6       | 4        | 2        | 2          | 0          |      |   |
| Marque con X el tipo de relleno : Blando : <input checked="" type="checkbox"/> Duro : <input type="checkbox"/> |         |          |          |            |            |      |   |
| Valoración :   |         |          |          |            |            |      | 6 |

| Meteorización |                        |                                 |                                   |                               |                                   | SW |   |
|---------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----|---|
| Condición     | No intemperizada<br>UW | Ligeramente intemperizada<br>SW | Moderadamente intemperizada<br>MW | Altamente intemperizada<br>HW | Completamente intemperizada<br>CW |    |   |
| Puntaje       | 6                      | 5                               | 3                                 | 1                             | 0                                 |    |   |
| Valoración :  |                        |                                 |                                   |                               |                                   |    | 5 |

| 5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA |                          |              |              |             |             | CD |    |
|--|--------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----|----|
| Condición                                      | Completamente seca<br>CO | Húmeda<br>DM | Mojada<br>WT | Goteo<br>DP | Flujo<br>FW |    |    |
| Puntaje  | 15                       | 10           | 7            | 4           | 0           |    |    |
| Valoración :                                   |                          |              |              |             |             |    | 15 |

| 6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES |                     |                 |               |                    |                        | FR  |    |
|--|---------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------------|-----|----|
| Orientaciones del rumbo y buzamiento               | Muy Favorable<br>VF | Favorable<br>FV | Regular<br>FR | Desfavorable<br>UF | Muy desfavorable<br>VU |     |    |
| Puntaje según el tipo de trabajo                   | Túneles y minas (T) | 0               | -2            | -5                 | -10                    | -12 |    |
|  | Cimentaciones (F)   | 0               | -2            | -7                 | -15                    | -25 |    |
|  | Taludes (S)         | 0               | -5            | -25                | -50                    | -60 |    |
| Indique el tipo de trabajo : <b>T</b>              |                     |                 |               |                    |                        |     |    |
| Valoración :                                       |                     |                 |               |                    |                        |     | -8 |

| VALOR DE RMR                               |         |
|--|---------|
| RMR Básico                                 | 53      |
| RMR Ajustado                               | 48      |
| RMR89 (condiciones secas y muy favorables) | 53      |
| Cohesión (c)                               | 265 KPa |
| Angulo de fricción interna (°)             | 32°     |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima

|                                       |  |                   |
|---------------------------------------|--|-------------------|
| <b>ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS</b> |  |                   |
| <b>METODOLOGÍA DEL SMR</b>            |  |                   |
| PROYECTO :                            | OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LI | FECHA : 29-sep-14 |
| ANÁLISIS :                            | SMR, FALLA PLANAR  | REALIZADO : FJCM  |
| ESTACIÓN :                            | EG-4 (Portal de Salida)  | REVISADO : 0      |
| UBICACIÓN :                           | E: 291591 - N: 8653599   |                   |

**DETERMINACION DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{K9} + F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4$$

|                                       |     |                   |
|---------------------------------------|-----|-------------------|
| <b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b> |     |                   |
| Dirección de buzamiento (aj) :        | 245 | Buzamiento (bj) : |
|                                       |     | 84                |

|                                |     |                   |
|--------------------------------|-----|-------------------|
| <b>2.- DATOS DEL TALUD</b>     |     |                   |
| Dirección de buzamiento (as) : | 195 | Buzamiento (bs) : |
|                                |     | 14                |

|   |  |          |
|---|--|----------|
| <b>3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar (P) - Volteo (V)</b> |  | <b>P</b> |
|---|--|----------|

|  |               |               |           |         |              |                      |
|--|---------------|---------------|-----------|---------|--------------|----------------------|
| <b>4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>                 |               |               |           |         |              |                      |
| <b>Determinación de factor de ajuste F1</b>              |               |               |           |         |              |                      |
| Caso   |               | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable     |
| Planar   | as - aj       | > 30          | 30 - 20   | 20 - 10 | 10 - 5       | < 5                  |
| Volteo   | as - aj - 180 |               |           |         |              |                      |
| Valores de F1  |               | 0.15          | 0.40      | 0.70    | 0.85         | 1.00                 |
| <b>Valor de F1 :</b>                                     |               |               |           |         |              | <b>0.15</b>          |
| <b>Determinación de factor de ajuste F2</b>              |               |               |           |         |              |                      |
| Caso   |               | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable     |
| Planar   | bj            | < 20          | 20 - 30   | 30 - 35 | 35 - 45      | > 45                 |
| Valores de F2  |               | 0.15          | 0.40      | 0.70    | 0.85         | 1.00                 |
| Nota: Para el caso de fallo por volteo considerar F2 = 1 |               |               |           |         |              | <b>Valor de F2 :</b> |
|  |               |               |           |         |              | <b>1.00</b>          |
| <b>Determinación de factor de ajuste F3</b>              |               |               |           |         |              |                      |
| Caso   |               | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable     |
| Planar   | bj - bs       | > 10          | 10 - 0    | 0       | 0 - (-10)    | < -10                |
| Volteo   | bj + bs       | < 110         | 110 - 120 | > 120   | ---          | ---                  |
| Valores de F3  |               | 0             | -6        | -25     | -50          | -60                  |
| <b>Valor de F3 :</b>                                     |               |               |           |         |              | <b>0</b>             |

|   |                     |                 |                           |                        |                           |
|---|---------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>5.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL METODO DE EXCAVACION</b> |                     |                 |                           |                        |                           |
| <b>Determinación de factor de ajuste F4</b>               |                     |                 |                           |                        |                           |
| Método  | Talud Natural<br>NS | Pre-Corte<br>PS | Voladura controlada<br>SE | Voladura regular<br>RB | Voladura deficiente<br>DE |
| Valores de F4   |                     | 15              | 10                        | 8                      | 0                         |
| <b>Valor de F4 :</b>                                      |                     |                 |                           |                        | <b>10</b>                 |

|                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| <b>VALOR DE SMR</b> |                 |
| SMR :               | 63              |
| Descripción :       | Buena           |
| Estabilidad :       | Estable         |
| Roturas :           | Algunos bloques |
| Tratamiento :       | Ocasional       |



  
 Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP No. 36229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

**A  
n  
e  
x  
o  
B**

**ENSAYO DE LABORATORIO**



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

**A  
n  
e  
x  
o  
  
B 1**

**CARGA PUNTUAL**



**Ing. David Valenzuela Chiribos**  
**CIP No. 38229**  
**Jefe de Proyecto**  
**Consorcio Agua Para Lima**

**ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL EN ROCA  
(ASTM - D 5741)**

**PROYECTO**

OBRAS DE CARECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**UBICACIÓN**

TUNEL 1

**SOLICITANTE**

NIPPON KOEI

**SONDAJE**

EG -1 (Pondal Entrada)

**MUESTRA**

Superficie

F. Ejecución 22-09-2014

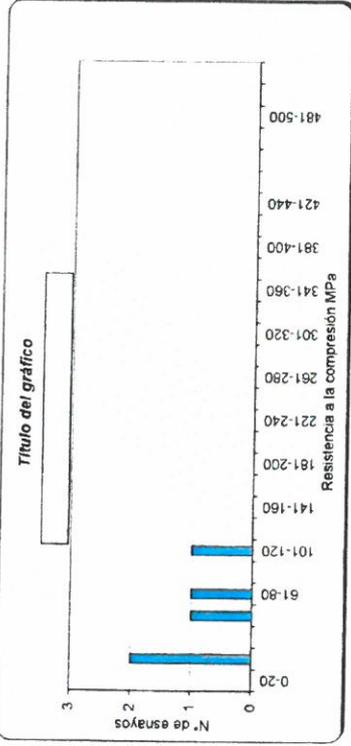
Realizado ADRIAN AGI

Revisado ISA

**PRESA HIDRAULICA UTILIZADA:**

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D <sub>7</sub> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (kN) | Presión Corregida P <sub>cor</sub> (kN) | I <sub>c</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>c</sub> Calculado (Mpa) | I <sub>min</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|----------------|--|---|---|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R3                | 68.00                   | 72.00      | 47.00       | 4069.27        | 4.26                                     | 4.15                                    | 1.02  | 1.02                           | 1.14                             | 27.3                            | 25.7                            | S.F             |
| 2            |              | R4                | 72.00                   | 123.00     | 66.00       | 6233.78        | 17.91                                    | 17.91                                   | 2.87  | 2.87                           | 3.53                             | 84.7                            | 79.9                            | S.F             |
| 3            |              | R5                | 74.00                   | 108.00     | 50.00       | 4710.99        | 19.21                                    | 19.22                                   | 4.08  | 4.08                           | 4.71                             | 112.9                           | 106.1                           | S.F             |
| 4            |              | R3                | 75.80                   | 83.00      | 66.00       | 6386.57        | 8.87                                     | 8.78                                    | 1.38  | 1.38                           | 1.70                             | 40.8                            | 38.5                            | S.F             |
| 5            |              | R4                | 70.00                   | 120.00     | 65.00       | 5793.24        | 12.06                                    | 12.00                                   | 2.07  | 2.07                           | 2.50                             | 60.1                            | 56.6                            | S.F             |
| 6            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |

**Título del gráfico**



- R1 : Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 : Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 : Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 : Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 : Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 : Roca extremadamente dura (> 250 MPa)

Indice de Carga Puntual [I<sub>c</sub>] (MPa)  
 I<sub>c</sub>(máx) = 4.7  
 I<sub>c</sub>(min) = 1.1  
 I<sub>c</sub>(prom) = 2.7

Resistencia a la Compresión (MPa)  
 σ<sub>c</sub> (máx) = 106.1  
 σ<sub>c</sub> (min) = 25.7  
 σ<sub>c</sub> (prom) = 61.4

Realizado por

Revisado por



Ing. David Valenzuela Cármon  
 Jefe de Proyecto  
 CIP No. 342219  
 Mercado Agua para Lima

ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL EN ROCA  
(ASTM - D 6731)

PROYECTO

OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN: TUNEL 1  
SOLICITANTE: NIPPON KOEI  
SONDAJE: EG - 2 (Parte Central)

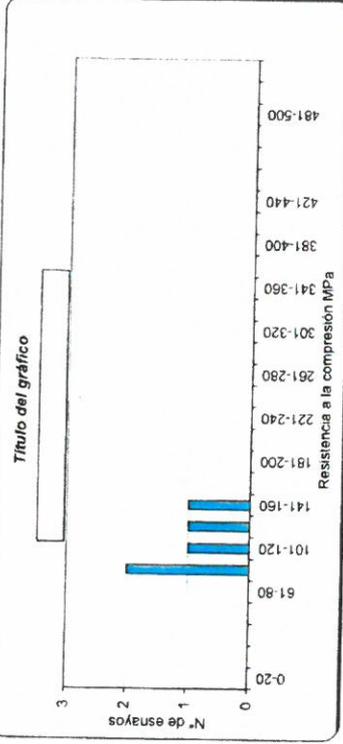
F. Ejecución: 22.09.2014  
Realizado: ADRIAN AGI  
Revisado: HSA

Superficie

PRESNA HIDRAULICA UTILIZADA:

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D <sub>2</sub> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (KN) | Presión Corregida P <sub>hid</sub> (KN) | I <sub>p</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>p</sub> Calculado (Mpa) | I <sub>p</sub> (%) Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|----------------|--|---|---|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                |  |   |   |                                |                                    |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R5                | 78.00                   | 102.00     | 49.00       | 4866.32        | 24.25                                    | 24.34                                   | 5.00  | 5.00                           | 5.81                               | 139.4                           | 131.1                           | S.F             |
| 2            |              | R4                | 67.00                   | 99.00      | 40.00       | 3412.28        | 11.62                                    | 11.56                                   | 3.39  | 3.39                           | 3.63                               | 87.2                            | 82.0                            | S.F             |
| 3            |              | R5                | 81.00                   | 117.00     | 45.00       | 4640.95        | 20.54                                    | 20.57                                   | 4.43  | 4.43                           | 5.09                               | 122.2                           | 114.9                           | S.F             |
| 4            |              | R5                | 75.00                   | 111.00     | 60.00       | 5725.58        | 32.80                                    | 33.02                                   | 5.76  | 5.76                           | 6.95                               | 166.7                           | 157.0                           | N.F             |
| 5            |              | R4                | 68.00                   | 85.00      | 65.00       | 5627.72        | 16.65                                    | 16.63                                   | 2.96  | 2.95                           | 3.55                               | 85.1                            | 80.2                            | S.F             |
| 6            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                    |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                    |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                    |                                 |                                 |                 |

- R1 : Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 : Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 : Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 : Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 : Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 : Roca extremadamente dura (> 250 MPa)



Indice de Carga Puntual (I<sub>p</sub>) (MPa)

I<sub>p</sub>(máx) = 6.9  
I<sub>p</sub>(mín) = 3.5  
I<sub>p</sub>(prom) = 5.0

Resistencia a la Compresión (MPa)

σ<sub>c</sub> (máx) = 157.0  
σ<sub>c</sub> (mín) = 80.2  
σ<sub>c</sub> (prom) = 113.0

Realizado por

Revisado por

Av. Domingo Cruz 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima



Inge. David Valenzuela Chiribasa  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua para Lima

ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL EN ROCA  
(ASTM - D 8751)

PROYECTO

OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

SOLICITANTE

TUNEL 1

SONDAJE

EG - 3 (Portal Salida)

MUESTRA

Superficie

PROFUNDIDAD

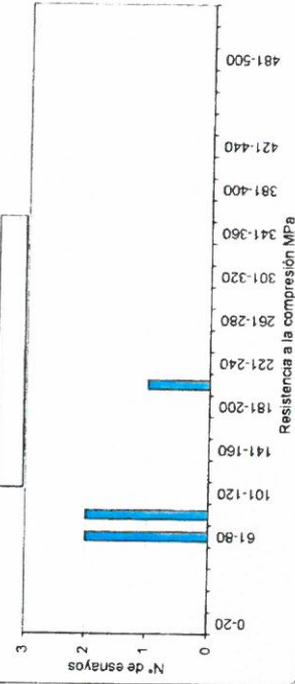
F. Ejecución 22.06.2014  
Realizado ADRIAN AGI  
Revisado ISA

PRESA HIDRAULICA UTILIZADA:

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D <sub>7</sub> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (kN) | Presión Corregida P <sub>cor</sub> (kN) | I <sub>a</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>a</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|----------------|--|---|---|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R4                | 70.00                   | 106.00     | 42.00       | 3743.32        | 13.32                                    | 3.56                                    | 3.90  | 93.5                           | 87.9                            | S.F                             |                 |
| 2            |              | R4                | 58.00                   | 74.00      | 51.00       | 3766.24        | 11.67                                    | 3.10                                    | 3.40  | 81.5                           | 76.6                            | S.F                             |                 |
| 3            |              | R4                | 87.00                   | 112.00     | 70.00       | 7754.03        | 22.64                                    | 2.92                                    | 3.77  | 90.4                           | 85.9                            | S.F                             |                 |
| 4            |              | R4                | 64.00                   | 108.00     | 63.00       | 5133.70        | 12.61                                    | 2.46                                    | 2.89  | 69.3                           | 65.2                            | S.F                             |                 |
| 5            |              | R5                | 67.00                   | 118.00     | 46.00       | 3924.12        | 32.92                                    | 8.39                                    | 9.28  | 222.8                          | 209.4                           | S.F                             |                 |
| 6            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |

- R1 - Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 - Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 - Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 - Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 - Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 - Roca extremadamente dura (> 250 MPa)

Título del gráfico



Indice de Carga Puntual [I<sub>a</sub>] (MPa)

I<sub>a</sub> (máx) = 9.3  
I<sub>a</sub> (min) = 2.9  
I<sub>a</sub> (prom) = 4.6

Resistencia a la Compresión (MPa)

σ<sub>c</sub> (máx) = 209.4  
σ<sub>c</sub> (min) = 65.2  
σ<sub>c</sub> (prom) = 105.0

Realizado por

Revisado por

**ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL EN ROCA  
(ASTM - D 5731)**

**PROYECTO**

OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**UBICACIÓN**

TUNEL 2

**SOLICITANTE**

NIPPON KOEI

**SONDAJE**

EG-1 (Portal Entrada)

**MUESTRA**

Superficie

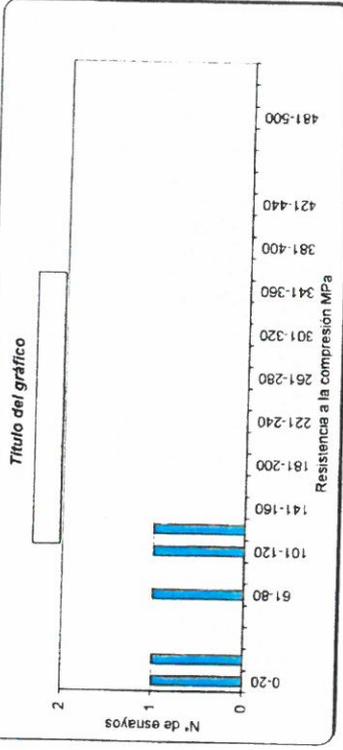
**PROFUNDIDAD**

F. Ejecución 08.09.2014  
Realizado ADRIAN AGI  
Revisado INSA

**PRESNA HIDRAULICA UTILIZADA:**

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D. <sup>2</sup> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (kN) | Presión Corregida P <sub>net</sub> (kN) | I <sub>a</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>a</sub> Calculado (Mpa) | I <sub>100h</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|-----------------|--|---|---|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                 |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R2                | 78.00                   | 102.00     | 57.00       | 5660.82         | 5.07                                     | 0.90                                    | 0.90  | 1.08                           | 25.9                              | 24.3                            |                                 |                 |
| 2            |              | R5                | 83.00                   | 131.00     | 76.00       | 8031.60         | 32.13                                    | 4.00                                    | 4.00  | 5.20                           | 124.9                             | 118.8                           |                                 |                 |
| 3            |              | R5                | 94.00                   | 126.00     | 71.00       | 8497.60         | 35.02                                    | 4.12                                    | 4.12  | 5.43                           | 130.2                             | 124.2                           |                                 |                 |
| 4            |              | R2                | 83.00                   | 137.00     | 76.00       | 8031.60         | 4.63                                     | 0.58                                    | 0.58  | 0.75                           | 18.0                              | 17.1                            |                                 |                 |
| 5            |              | R4                | 78.00                   | 98.00      | 52.00       | 5164.26         | 13.90                                    | 2.69                                    | 2.69  | 3.17                           | 76.0                              | 71.5                            |                                 |                 |
| 6            |              |                   |                         |            |             |                 |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |                 |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |                 |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |

- R1 : Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 : Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 : Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 : Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 : Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 : Roca extremadamente dura (> 250 MPa)



Indice de Carga Puntual [I<sub>a</sub>] (MPa)  
I<sub>a</sub>(máx) = 5.4  
I<sub>a</sub>(mín) = 0.7  
I<sub>a</sub>(prom) = 3.1

Resistencia a la Compresión (MPa)  
σ<sub>c</sub> (máx) = 124.2  
σ<sub>c</sub> (mín) = 17.1  
σ<sub>c</sub> (prom) = 71.2

Realizado por

Revisado por



Ing. David Valenzuela Cárdenas  
Jefe de Proyecto  
CIP No. 38228  
Construcción de Agua para Lima

**ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL EN ROCA  
(ARTM - 0 57M)**

**PROYECTO**

OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**UBICACION**

TUNEL 2

**SOLICITANTE**

NIPPON KOEI

**SONDAJE**

EC -3 (Parte Central)

**MUESTRA**

Superficie

**PROFUNDIDAD**

F. Ejecución 06-09-2014

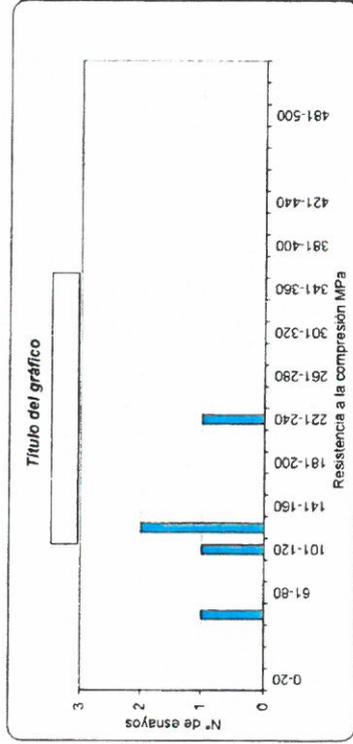
Realizado ADRIAN AGI

Revisado ISA

**PRENSA HIDRAULICA UTILIZADA:**

5 KN  
50 KN

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D <sub>2</sub> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (kN) | Presión Corregida P <sub>hid</sub> (kN) | I <sub>c</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>c</sub> Calculado (Mpa) | I <sub>av</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|----------------|--|---|---|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R4                | 86.00                   | 141.00     | 71.00       | 7774.40        | 15.18                                    | 15.15                                   | 1.95  | 1.95                           | 2.51                            | 60.4                            | 57.3                            |                 |
| 2            |              | R5                | 53.00                   | 155.00     | 33.00       | 2226.50        | 22.18                                    | 22.23                                   | 9.98  | 9.98                           | 9.73                            | 233.4                           | 222.2                           |                 |
| 3            |              | R5                | 72.00                   | 147.00     | 56.00       | 5133.70        | 26.50                                    | 26.61                                   | 5.18  | 5.18                           | 6.09                            | 146.3                           | 137.6                           |                 |
| 4            |              | R5                | 82.00                   | 132.00     | 53.00       | 5533.50        | 22.91                                    | 22.97                                   | 4.15  | 4.15                           | 4.96                            | 119.1                           | 112.1                           |                 |
| 5            |              | R5                | 76.00                   | 128.00     | 82.00       | 5999.50        | 29.81                                    | 29.98                                   | 5.00  | 5.00                           | 6.08                            | 146.0                           | 137.7                           |                 |
| 6            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                 |                                 |                                 |                 |



- R1 : Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 : Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 : Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 : Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 : Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 : Roca extremadamente dura (> 250 MPa)

Indice de Carga Puntual [I<sub>c</sub>] (MPa)

I<sub>c</sub> (máx) = 9.7  
I<sub>c</sub> (mín) = 2.5  
I<sub>c</sub> (prom) = 5.9

Resistencia a la Compresión (MPa)

σ<sub>c</sub> (máx) = 222.2  
σ<sub>c</sub> (mín) = 57.3  
σ<sub>c</sub> (prom) = 133.4

Realizado por

Revisado por

**ENSAYO DE CARGA PUNTUAL EN ROCA  
(ART. 0-0731)**

**PROYECTO**

ORRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

TUNEL 2

SOLICITANTE  
NIPPON KOEI

SONDAJE  
E.G.-5 (Portal Salida)

MUESTRA  
Superficie

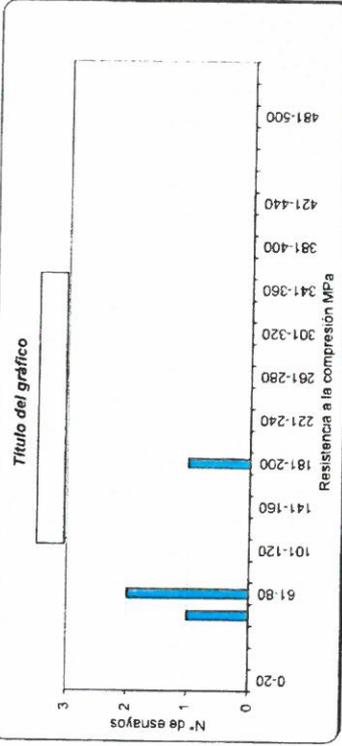
PROFUNDIDAD

F. Ejecución 08.00.2014  
Realizado ADRIAN AGI  
Revisado ISA

**PRENSA HIDRAULICA UTILIZADA:**

| N° de Pruebas | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D <sub>2</sub> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (kN) | Presión Corregida P <sub>hid</sub> (kN) | I <sub>p</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>p</sub> Calculado (Mpa) | I <sub>100</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|----------------|--|---|---|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|               |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |
| 1             | R5           |                   | 60.00                   | 90.00      | 42.00       | 3208.55        | 24.17                                    | 24.25                                   | 7.56  | 7.56                           | 7.99                             | 191.8                           | 186.7                           | ✓               |
| 2             | R4           |                   | 54.00                   | 115.00     | 52.00       | 3575.26        | 11.34                                    | 11.27                                   | 3.15  | 3.15                           | 3.42                             | 82.0                            | 77.1                            | ✓               |
| 3             | R4           |                   | 93.00                   | 158.00     | 41.00       | 4854.86        | 14.46                                    | 14.42                                   | 2.97  | 2.97                           | 3.45                             | 82.8                            | 77.8                            | ✓               |
| 4             | R3           |                   | 68.00                   | 101.00     | 55.00       | 5714.30        | 9.28                                     | 9.20                                    | 1.61  | 1.61                           | 1.94                             | 46.5                            | 43.8                            | ✓               |
| 5             | R6           |                   | 97.00                   | 146.00     | 51.00       | 6298.72        | 112.00                                   | 115.27                                  | 18.30   | 18.30                          | 22.53                            | 540.7                           | 510.4                           | ✓               |
| 6             |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |
| 7             |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |
| 8             |              |                   |                         |            |             |                |  |   |   |                                |                                  |                                 |                                 |                 |

- R1 : Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 : Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 : Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 : Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 : Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 : Roca extremadamente dura (> 250 MPa)



**Indice de Carga Puntual [I<sub>p</sub>] (MPa)**

I<sub>p</sub>(máx) = 22.5  
I<sub>p</sub>(min) = 1.9  
I<sub>p</sub>(prom) = 7.9

**Resistencia a la Compresión (MPa)**

σ<sub>c</sub> (máx) = 510.4  
σ<sub>c</sub> (min) = 43.8  
σ<sub>c</sub> (prom) = 178.0

Realizado por

Revisado por

**PROYECTO**

OBRAS DE CARGERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**UBICACION**

TUNEL 3

**SOLICITANTE**

NIPPON KOFU

**SONDAJE**

EG-1 (Pondal Entrada)

**MUESTRA**

Superficie

F. Ejecución 07-10-2014

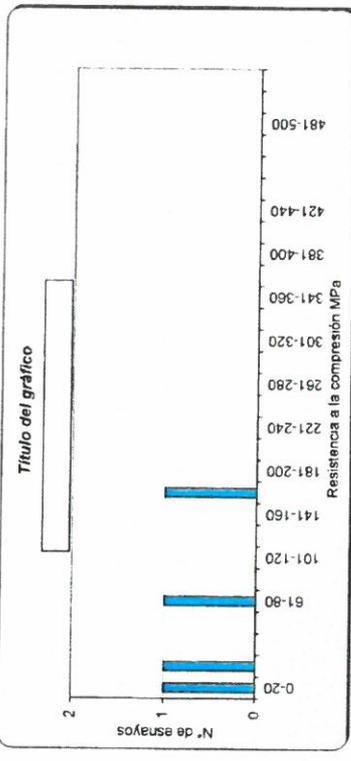
Realizado ADRIAN AGI

Revisado HSA

PRENSA HIDRAULICA UTILIZADA:

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D <sub>50</sub> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (kN) | Presión Corregida P <sub>hid</sub> (kN) | L <sub>i</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | L <sub>i</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|-----------------|--|---|---|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                 |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R5                | 84.00                   | 121.00     | 50.00       | 5547.61         | 33.98                                    | 34.22                                   | 6.40  | 7.59                           | 182.2                           | 171.5                           | ✓               |
| 2            |              | R2                | 86.00                   | 115.00     | 60.00       | 6569.92         | 2.86                                     | 2.84                                    | 0.43  | 0.54                           | 12.9                            | 12.2                            | ✓               |
| 3            |              | R3                | 54.00                   | 150.00     | 45.00       | 3093.97         | 4.37                                     | 4.26                                    | 1.38  | 1.44                           | 34.7                            | 32.7                            | ✓               |
| 4            |              | R4                | 87.00                   | 142.00     | 50.00       | 5538.59         | 15.99                                    | 15.97                                   | 2.88  | 3.45                           | 82.7                            | 77.9                            | ✓               |
| 5            |              |                   |                         |            |             |                 |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |
| 6            |              |                   |                         |            |             |                 |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |                 |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |                 |  |   |   |                                |                                 |                                 |                 |

- R1 : Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 : Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 : Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 : Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 : Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 : Roca extremadamente dura (> 250 MPa)



Indice de Carga Puntual [I<sub>p</sub>] (MPa)

I<sub>p</sub> (máx) = 7.6

I<sub>p</sub> (mín) = 0.5

I<sub>p</sub> (prom) = 3.3

Resistencia a la Compresión (MPa)

σ<sub>c</sub> (máx) = 171.5

σ<sub>c</sub> (mín) = 12.2

σ<sub>c</sub> (prom) = 73.6

Realizado por

Revisado por



Ing. David Valenzuela Chirinos  
Jefe de Proyecto  
CIP No. 38229  
Consortio Agua para Lima

**ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL EN ROCA  
(ASTM - D 5754)**

**PROYECTO**

OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

TUNEL 3

**SOLICITANTE**  
MIPRON KOEI

**SONDAJE**  
EG -3 (Parte Central)

**MUESTRA**

Superficie

F. Ejecución 22-09-2014

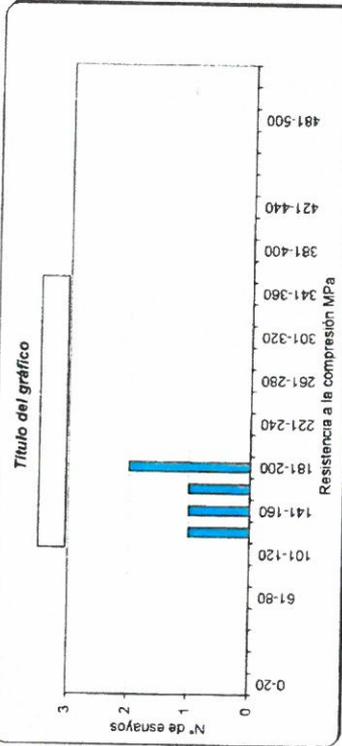
Realizado ADRIAN AGI

Revisado USA

**PRESA HIDRAULICA UTILIZADA:**

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D <sub>50</sub> | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (KN) | Presión Corregida P <sub>hc</sub> (KN) | I <sub>p</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>p</sub> Calculado (Mpa) | I <sub>100h</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|-----------------|--|--|---|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |                 |  |  |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R5                | 60.00                   | 80.00      | 56.00       | 4278.08         | 32.62                                    | 32.84                                  | 7.68  | 7.68                           | 9.66                              | 207.9                           | 195.3                           | N.F             |
| 2            |              | R5                | 96.00                   | 106.00     | 67.00       | 8189.48         | 33.22                                    | 33.45                                  | 4.08  | 4.08                           | 5.33                              | 128.0                           | 121.9                           | N.F             |
| 3            |              | R5                | 79.00                   | 100.00     | 60.00       | 6035.16         | 32.89                                    | 33.11                                  | 5.49  | 5.49                           | 6.69                              | 160.6                           | 151.4                           | N.F             |
| 4            |              | R5                | 71.00                   | 105.00     | 56.00       | 5062.40         | 32.31                                    | 32.52                                  | 6.42  | 6.42                           | 7.53                              | 180.7                           | 189.9                           | N.F             |
| 5            |              | R5                | 68.00                   | 107.00     | 50.00       | 4329.01         | 32.84                                    | 33.06                                  | 7.64  | 7.64                           | 8.64                              | 207.4                           | 194.9                           | N.F             |
| 6            |              |                   |                         |            |             |                 |  |  |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |                 |  |  |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |                 |  |  |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |

- R1 - Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 - Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 - Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 - Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 - Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 - Roca extremadamente dura (> 250 MPa)



Indice de Carga Puntual (I<sub>p</sub>) (MPa)

I<sub>p</sub>(máx) = 8.7  
 I<sub>p</sub>(mín) = 5.3  
 I<sub>p</sub>(prom) = 7.4

Resistencia a la Compresión (MPa)

σ<sub>c</sub> (máx) = 195.3  
 σ<sub>c</sub> (mín) = 121.9  
 σ<sub>c</sub> (prom) = 166.7

Realizado por

Revisado por

Av. Domingo Ortiz 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima



Ing. David Valenzuela Chirinos  
 Jefe de Proyecto  
 CIP No. 382219  
 Consorcio Agua para Lima

**PROYECTO**

OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**UBICACION**

TUNEL 3

**SOLICITANTE**

NIPPON KOEI

**SONDAJE**

EG-4 (Ponjal Salida)

**MUESTRA**

Superficie

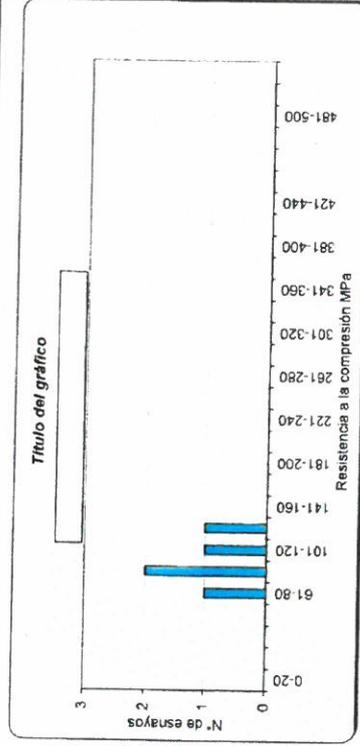
**PROFUNDIDAD**

F. Ejecución 07-10-2014  
Realizado ADRIAN AGUI  
Revisado HSA

**PRESA HIDRAULICA UTILIZADA:**

| N° de Prueba | Tipo de Roca | Dureza de la Roca | GEOMETRIA DE LA MUESTRA |            |             | D. 2    | Presión Hidráulica P <sub>hid</sub> (kN) | Presión Corregida P <sub>hid</sub> (kN) | I <sub>c</sub> Calculado (N/mm <sup>2</sup> ) | I <sub>c</sub> Calculado (Mpa) | I <sub>1000</sub> Corregido (Mpa) | σ <sub>c1</sub> Calculado (Mpa) | σ <sub>c2</sub> Calculado (Mpa) | Forma de rotura |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------|---------|--|---|---|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|              |              |                   | Ancho (mm)              | Largo (mm) | Altura (mm) |         |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 1            |              | R5                | 84.00                   | 134.00     | 71.00       | 7593.60 | 30.67                                    | 30.85                                   | 4.06  | 4.06                           | 5.22                              | 125.2                           | 118.8                           | ✓               |
| 2            |              | R4                | 92.00                   | 111.00     | 63.00       | 7379.70 | 17.11                                    | 17.10                                   | 2.32  | 2.32                           | 2.96                              | 70.9                            | 67.3                            | ✓               |
| 3            |              | R4                | 105.00                  | 154.00     | 52.00       | 6951.89 | 20.02                                    | 20.04                                   | 2.88  | 2.88                           | 3.63                              | 87.1                            | 82.4                            | ✓               |
| 4            |              | R5                | 62.00                   | 181.00     | 40.00       | 3157.63 | 18.50                                    | 18.50                                   | 5.86  | 5.86                           | 6.18                              | 148.2                           | 139.7                           | ✓               |
| 5            |              | R4                | 90.00                   | 151.00     | 66.00       | 7563.04 | 21.74                                    | 21.78                                   | 2.88  | 2.88                           | 3.69                              | 88.7                            | 84.2                            | ✓               |
| 6            |              |                   |                         |            |             |         |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 7            |              |                   |                         |            |             |         |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |
| 8            |              |                   |                         |            |             |         |  |   |   |                                |                                   |                                 |                                 |                 |

- R1 : Roca muy débil (1.0 - 5.0 MPa)
- R2 : Roca débil (5.0 - 25.0 MPa)
- R3 : Roca media (25.0 - 50.0 MPa)
- R4 : Roca dura (50.0 - 100.0 MPa)
- R5 : Roca muy dura (100.0 - 250.0 MPa)
- R6 : Roca extremadamente dura (> 250 MPa)



Indice de Carga Puntual (I<sub>c</sub>) (Mpa)

I<sub>c</sub> (máx) = 6.2  
I<sub>c</sub> (mín) = 3.0  
I<sub>c</sub> (prom) = 4.3

Resistencia a la Compresión (MPa)

σ<sub>c</sub> (máx) = 139.7  
σ<sub>c</sub> (mín) = 67.3  
σ<sub>c</sub> (prom) = 98.5

Realizado por

Revisado por

**A  
n  
e  
x  
o  
  
B 2**

**PROPIEDADES FÍSICAS**



**Ing. David Valenzuela Cárdenas**  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima

**DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN : TUNEL 1

FECHA DE EJECUCIÓN : 23-09-2014

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-1 (Portal de Entrada)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA : Tonalita/Diorita

**MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA**

| DATOS                        |                       | 1      | 2      | 3      |          |
|------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca              | ( g )                 | 287.00 | 327.20 | 666.00 |          |
| Peso roca + parafina         | ( g )                 | 290.00 | 331.90 | 675.20 |          |
| Vroca + parafina             | ( cm <sup>3</sup> )   | 110.70 | 126.30 | 255.70 |          |
| Peso de la parafina          | ( g )                 | 3.00   | 4.70   | 9.20   |          |
| Densidad parafina            | ( g/cm <sup>3</sup> ) | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina       | ( cm <sup>3</sup> )   | 3.30   | 5.16   | 10.11  |          |
| Volumen de la roca           | ( cm <sup>3</sup> )   | 107.40 | 121.14 | 245.59 | Promedio |
| Densidad de la roca          | ( g/cm <sup>3</sup> ) | 2.67   | 2.70   | 2.71   | 2.70     |
| Densidad de la roca          | ( KN/m <sup>3</sup> ) | 26.19  | 26.47  | 26.58  | 26.41    |
| Contenido de humedad natural | ( % )                 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida | ( g/cm <sup>3</sup> ) | 2.67   | 2.70   | 2.71   | 2.70     |
| Densidad roca seca corregida | ( KN/m <sup>3</sup> ) | 26.2   | 26.5   | 26.6   | 26.4     |

Observaciones :

-  
-

Realizado : v.a.r.p.

Revisado : H.S.A.



Av. Domingo Orue 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima

Teléfono -

  
**Ing. David Valenzuela Cruz**  
 CIP No. 38229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION  
ASTM D 6473

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA PORTABLE PARA LIMA

FECHA DE EJECUCIÓN : 22-09-2014

UBICACIÓN : Tunel 1

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-1 (Portal de Entrada)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA: Tonalita/Diorita

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca seca (g)                                    | 286.90 | 327.30 | 666.00 |          |
| Peso de la roca saturada superficialmente seca (s.s.s.) (g) | 289.40 | 330.10 | 670.90 |          |
| Peso de la roca sumergida (g)                               | 183.10 | 209.00 | 424.80 | Promedio |
| Absorción (%)   | 0.87   | 0.86   | 0.74   | 0.82     |
| Gravedad especifica nominal                                 | 2.70   | 2.70   | 2.71   | 2.70     |
| Gravedad especifica nominal (s.s.s.)                        | 2.72   | 2.73   | 2.73   | 2.72     |
| Gravedad especifica aparente                                | 2.76   | 2.77   | 2.76   | 2.76     |
| Porosidad (%)   | 2.33   | 2.29   | 1.98   | 2.20     |

REVISADO

Observaciones :

Realizado :

Revisado :



**DENSIDAD DE LA ROCA**  
NTP 339.139 / ASTM D 2397

**PROYECTO :** OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

**UBICACIÓN :** Tunel 1

**FECHA DE EJECUCIÓN :** 23-09-2014

**SONDAJE :** Geomecánica

**MUESTRA :** EG-2 (Parte Central)

**PROF. (m) :** Superficial

**TIPO DE ROCA :** Tonalita/Diorita

**MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA**

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 276.00 | 470.50 | 323.70 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 281.60 | 479.20 | 330.80 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 105.40 | 177.60 | 125.90 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 5.60   | 8.70   | 7.10   |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 6.15   | 9.56   | 7.80   |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 99.25  | 168.04 | 118.10 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.78   | 2.80   | 2.74   | 2.77     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 27.25  | 27.44  | 26.86  | 27.18    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.78   | 2.80   | 2.74   | 2.77     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 27.3   | 27.4   | 26.9   | 27.2     |

**Observaciones :**

-  
-

**Realizado :** v.a.r.p.

**Revisado :** H.S.A.



**DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN : Tunel 1

FECHA DE EJECUCIÓN : 23-09-2014

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-3 (Portal de Salida)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA : Diorita

**MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA**

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 645.60 | 425.30 | 425.00 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 652.30 | 431.00 | 429.70 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 242.50 | 161.20 | 160.20 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 6.70   | 5.70   | 4.70   |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 7.36   | 6.26   | 5.16   |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 235.14 | 154.94 | 155.04 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.75   | 2.74   | 2.74   | 2.74     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 26.91  | 26.90  | 26.86  | 26.89    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.75   | 2.74   | 2.74   | 2.74     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 26.9   | 26.9   | 26.9   | 26.9     |

Observaciones :

-

Realizado : v.a.r.p.

Revisado : H.S.A.



**DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN : TUNEL 2

FECHA DE EJECUCIÓN : 09-09-2014

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-1 (Portal de Entrada)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA : Tonalita/Gabro

**MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA**

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 448.70 | 387.50 | 817.40 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 450.10 | 394.60 | 827.00 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 164.00 | 151.20 | 305.80 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 1.40   | 7.10   | 9.60   |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 1.54   | 7.80   | 10.55  |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 162.46 | 143.40 | 295.25 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.76   | 2.70   | 2.77   | 2.74     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 27.07  | 26.48  | 27.13  | 26.89    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.76   | 2.70   | 2.77   | 2.74     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 27.1   | 26.5   | 27.1   | 26.9     |

Observaciones :

-

Realizado : v.a.r.p.

Revisado : H.S.A.



Av. Domingo Orue 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima

Teléfono -

  
**Ing. David Valenzuela Gutiérrez**  
 CIP No. 36228  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN : TUNEL 2

FECHA DE EJECUCIÓN : 09-09-2014

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-3 (Parte Central)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA : Diorita

MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 407.90 | 658.20 | 332.00 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 417.50 | 670.10 | 338.90 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 152.70 | 237.90 | 123.20 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 9.60   | 11.90  | 6.90   |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 10.55  | 13.08  | 7.58   |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 142.15 | 224.82 | 115.62 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.87   | 2.93   | 2.87   | 2.89     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 28.12  | 28.69  | 28.14  | 28.32    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.87   | 2.93   | 2.87   | 2.89     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 28.1   | 28.7   | 28.1   | 28.3     |

Observaciones :

-

Realizado : v.a.r.p.

Revisado : H.S.A.



Av. Domingo Orue 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima

Teléfono -

Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36220  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima

DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN : TUNEL 2

FECHA DE EJECUCIÓN : 09-09-2014

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-5 (Portal de Salida)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA : Tonalita/Gabro

MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 805.60 | 445.80 | 320.90 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 815.80 | 459.70 | 326.20 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 289.00 | 174.00 | 120.60 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 10.20  | 13.90  | 5.30   |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 11.21  | 15.27  | 5.82   |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 277.79 | 158.73 | 114.78 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.90   | 2.81   | 2.80   | 2.83     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 28.42  | 27.52  | 27.40  | 27.78    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.90   | 2.81   | 2.80   | 2.83     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 28.4   | 27.5   | 27.4   | 27.8     |

Observaciones :

-

Realizado : v.a.r.p.

Revisado : H.S.A.



Av. Domingo Orue 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima

Teléfono -

Ing. David Valenzuela Cárdenas  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

**DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN : TUNEL 3

FECHA DE EJECUCIÓN : 23-09-2014

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG - 1 (Portal Entrada)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA : Diorita

**MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA**

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 451.50 | 682.60 | 526.00 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 455.90 | 688.20 | 532.00 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 166.60 | 249.00 | 193.40 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 4.40   | 5.60   | 6.00   |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 4.84   | 6.15   | 6.59   |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 161.76 | 242.85 | 186.81 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.79   | 2.81   | 2.82   | 2.81     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 27.35  | 27.55  | 27.59  | 27.50    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.79   | 2.81   | 2.82   | 2.81     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 27.4   | 27.5   | 27.6   | 27.5     |

Observaciones :

-  
-

Realizado : v.a.r.p.

Revisado : H.S.A.



Av. Domingo Orue 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima

Teléfono -

  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 38228  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION  
ASTM D 6473

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

FECHA DE EJECUCIÓN : 22-09-2014

UBICACIÓN : TUNEL 3

SONDAJE : Geomecánica

TIPO DE ROCA Diorita

MUESTRA : EG - 1 (Portal Entrada)

PROF. (m): Superficial

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca seca (g)                                    | 439.30 | 831.30 | 511.80 |          |
| Peso de la roca saturada superficialmente seca (s.s.s.) (g) | 441.50 | 835.00 | 514.30 |          |
| Peso de la roca sumergida (g)                               | 283.70 | 536.70 | 331.80 | Promedio |
| Absorción (%)   | 0.50   | 0.45   | 0.49   | 0.48     |
| Gravedad específica nominal                                 | 2.78   | 2.79   | 2.80   | 2.79     |
| Gravedad específica nominal (s.s.s.)                        | 2.80   | 2.80   | 2.82   | 2.81     |
| Gravedad específica aparente                                | 2.82   | 2.82   | 2.84   | 2.83     |
| Porosidad (%)   | 1.39   | 1.23   | 1.36   | 1.33     |

REVISADO

Observaciones :

-  
-

Realizado :

Revisado :



**DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

UBICACIÓN : Tunel 3

FECHA DE EJECUCIÓN : 23-09-2014

SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-3 (Parte Central)

PROF. (m) : Superficial

TIPO DE ROCA : Diorita

**MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA**

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 633.30 | 528.70 | 816.00 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 641.60 | 535.30 | 825.60 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 246.60 | 206.10 | 316.20 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 8.30   | 6.60   | 9.60   |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 9.12   | 7.25   | 10.55  |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 237.48 | 198.85 | 305.65 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.67   | 2.66   | 2.67   | 2.67     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 26.13  | 26.06  | 26.16  | 26.12    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.67   | 2.66   | 2.67   | 2.67     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 26.1   | 26.1   | 26.2   | 26.1     |

Observaciones :

-

Realizado : v.a.r.p.

Revisado : H.S.A.



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION  
ASTM D 6473

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA PORTABLE PARA LIMA

FECHA DE EJECUCIÓN : 22-09-2014

UBICACIÓN : MANCHAY

SONDAJE : EG - PC 3

TIPO DE ROCA Diorita

MUESTRA : EG-3 (Parte Central)

PROF. (m) : Superficial

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca seca (g)                                    | 617.30 | 516.10 | 796.40 |          |
| Peso de la roca saturada superficialmente seca (s.s.s.) (g) | 619.40 | 517.50 | 798.50 |          |
| Peso de la roca sumergida (g)                               | 385.10 | 322.60 | 498.10 |          |
| Absorción (%)   | 0.34   | 0.27   | 0.26   | Promedio |
| Gravedad específica nominal                                 | 2.63   | 2.65   | 2.65   | 0.29     |
| Gravedad específica nominal (s.s.s.)                        | 2.64   | 2.66   | 2.66   | 2.64     |
| Gravedad específica aparente                                | 2.66   | 2.67   | 2.67   | 2.65     |
| Porosidad (%)   | 0.89   | 0.72   | 0.70   | 2.67     |
|   |        |        |        | 0.77     |

REVISADO

Observaciones :

-

Realizado :

Revisado :



Av. Domingo Orue 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima

Teléfono -

Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36223  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

**DENSIDAD DE LA ROCA  
NTP 339.139 / ASTM D 2397**

**PROYECTO :** OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LIMA

**UBICACIÓN :** Tunel 3

**FECHA DE EJECUCIÓN :** 09-10-2014

**SONDAJE :** Geomecánica

**MUESTRA :** EG-4 (Portal Salida)

**PROF. (m) :** Superficial

**TIPO DE ROCA :** Adamelita

**MÉTODO DE LA INMERSIÓN EN AGUA**

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca (g)                               | 359.30 | 493.10 | 829.20 |          |
| Peso roca + parafina (g)                          | 365.70 | 501.70 | 841.40 |          |
| Vroca + parafina (cm <sup>3</sup> )               | 144.70 | 202.80 | 329.30 |          |
| Peso de la parafina (g)                           | 6.40   | 8.60   | 12.20  |          |
| Densidad parafina (g/cm <sup>3</sup> )            | 0.91   | 0.91   | 0.91   |          |
| Volumen de la parafina (cm <sup>3</sup> )         | 7.03   | 9.45   | 13.41  |          |
| Volumen de la roca (cm <sup>3</sup> )             | 137.67 | 193.35 | 315.89 | Promedio |
| Densidad de la roca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.61   | 2.55   | 2.62   | 2.60     |
| Densidad de la roca (KN/m <sup>3</sup> )          | 25.58  | 24.99  | 25.72  | 25.43    |
| Contenido de humedad natural (%)                  | 0.20   | 0.20   | 0.20   | 0.20     |
| Densidad roca seca corregida (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.60   | 2.55   | 2.62   | 2.59     |
| Densidad roca seca corregida (KN/m <sup>3</sup> ) | 25.5   | 24.9   | 25.7   | 25.4     |

**Observaciones :**

-  
-

**Realizado :** v.a.r.p

**Revisado :** H.S.A.



Av. Domingo Orue 565 Dpto. M 202 Surquillo - Lima

Teléfono -

  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
**CIP No. 36220**  
**Jefe de Proyecto**  
**Consorcio Agua Para Lima**

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION  
ASTM D 6473**

PROYECTO : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

FECHA DE EJECUCIÓN : 09-10-2014

UBICACIÓN : TUNEL 3  
SONDAJE : Geomecánica

MUESTRA : EG-4 (Porta Salida)  
PROF. (m) : Superficial  
TIPO DE ROCA: Adamelita

| DATOS   | 1      | 2      | 3      |          |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Peso de la roca seca (g)                                    | 359.30 | 493.10 | 829.20 |          |
| Peso de la roca saturada superficialmente seca (s.s.s.) (g) | 362.20 | 501.60 | 835.40 |          |
| Peso de la roca sumergida (g)                               | 225.80 | 308.80 | 521.30 | Promedio |
| Absorción (%)   | 0.81   | 1.72   | 0.75   | 1.09     |
| Gravedad específica nominal                                 | 2.63   | 2.56   | 2.64   | 2.61     |
| Gravedad específica nominal (s.s.s.)                        | 2.66   | 2.60   | 2.66   | 2.64     |
| Gravedad específica aparente                                | 2.69   | 2.68   | 2.69   | 2.69     |
| Porosidad (%)   | 2.11   | 4.33   | 1.96   | 2.80     |

- REVISADO -

Observaciones :

Realizado :

Revisado :



**A  
n  
e  
x  
o  
C**

**ANÁLISIS DE INGENIERÍA**



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima

**A  
n  
e  
x  
o  
  
C 1**

**PARÁMETRO DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN**



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
**CIP No. 36228**  
**Jefe de Proyecto**  
**Cambridge Agua Para Lima**



**RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Version 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 1

**TIPO DE ROCA** : TIPO I

**Litología** : TONALITA-DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_r$ | : | 0.027 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 200 (MPa)                  |
| Constante de la roca intacta         | $m_r$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_r$      | : | 22 (MPa)                   |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_r$   | : | 66 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_r$      | : | 60000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_r$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |      |
|--|---|------|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{99}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 81   |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 76   |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 35.0 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.4  |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0.8  |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |       |
|---------|-------|-------|
| Túneles | $z =$ | 100 m |
|---------|-------|-------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 4.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 42.4 °                 |

|                                     |             |                         |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 32.7 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 64.9 °                  |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 6.710   |
| $s =$   | 0.02635 |
| $a =$   | 0.50    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| $\sigma_{tm} =$ | $-5 \sigma_c / m_b$     |
| $\sigma_{tm} =$ | -7.9 Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                          |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c S''$           |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 317.5 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 713.2 Kg/cm <sup>2</sup> |



**DA**  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima

### 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

#### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |       |     |
|---|---------|-------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 52000 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 24000 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 63171 | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | 38604 | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 20907 | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 22437 | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 63171 | MPa |

#### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|                          |                   |  |
|--------------------------|-------------------|--|
| $k =$                    | 1.00              | En rocas fracturadas en superficie                 |
| $k =$                    | 1.50              | En rocas no alteradas en superficie                |
| $k =$                    | 0.25              | En medios homogéneos e isotrópicos en función de m |
| $k =$                    | 1.0               | Valor asumido                                      |
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$      | 2.70 MPa   |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$      | 2.70 MPa   |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma_{1max} =$ | 2.70 MPa   |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma_{3max} =$ | 2.70 MPa   |

#### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

##### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                          |                    |                             |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Hoek et al. (2002)       | $q_{ult} =$        | 713.2 Kg/cm <sup>2</sup>    |
| Serrano y Olalla (2001)  | $q_{ult} =$        | $\beta(N_{\beta} - \zeta')$ |
|                          | $\beta =$          | 167.8 MPa                   |
|                          | $\zeta' =$         | 0.005                       |
|                          | $\sigma_{\beta} =$ | 0.021                       |
|                          | $N_{\beta} =$      | 5.6                         |
|                          | $q_{ult} =$        | 943.8                       |
| AASHTO (1996)            | $q_{ult} =$        | $N_{ms} \cdot U_c$          |
|                          | $N_{ms} =$         | 0.9090                      |
|                          | $U_c =$            | 2000 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|                          | $q_{ult} =$        | 1818.058 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Criterio de comprobación | $q_{ad} <$         | $0.2 \cdot U_c$             |
|                          | $U_c =$            | 2000 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|                          | $q_{ad} <$         | 400.0 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|                          | $q_{ad} <$         | $0.33 \cdot f_c$            |
|                          | $f_c =$            | 210.0 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|                          | $q_{ad} <$         | 69.3 Kg/cm <sup>2</sup>     |

#### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

##### Ubicación: TUNEL 1

##### TIPO DE ROCA: TIPO I

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

$$c'_m = 32.7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 64.9^\circ$$

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$$m_b = 6.710$$

$$s = 0.026$$

$$a = 0.501$$

Parámetros de deformación

$$E_m = 63171 \text{ MPa}$$

Capacidad de soporte última

$$q_{ult} = 69.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Capacidad admisible del macizo rocoso

$$q_{ad} = 23.1 \text{ Kg/cm}^2$$

Coefficiente de Balasto

$$K_v = 49.13 \text{ Kg/cm}^3$$

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

$$\tau = 33.3 \text{ Kg/cm}^2$$



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 1

**TIPO DE ROCA** : TIPO II

**Litología** : TONALITA-DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_i$ | : | 0.027 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_o$ | : | 100 (MPa)                  |
| Constante de la roca intacta         | $m_i$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_i$      | : | 11 (MPa)                   |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_i$   | : | 66 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_i$      | : | 30000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_i$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 61  |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 56  |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 3.8 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.4 |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0.7 |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $z =$ | 30 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 3.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 31.5 °                 |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 4.8 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 63.6 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 2.496   |
| $s =$   | 0.00170 |
| $a =$   | 0.50    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                 |                     |                    |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| $\sigma_{tm} =$ | $-s \sigma_o / m_b$ |                    |
| $\sigma_{tm} =$ | -0.7                | Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                |                    |
|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_o S''$ |                    |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 39.5           | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 205.9          | Kg/cm <sup>2</sup> |



**ISA**  
Ing. David Valenzuela Chiribos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua para Lima

### 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

#### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |       |     |
|---|---------|-------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 12000 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 12000 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 14125 | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | 14476 | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 5652  | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 4717  | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 14125 | MPa |

#### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|                          |                    |  |
|--------------------------|--------------------|--|
| $k =$                    | 1.00               | En rocas fracturadas en superficie                 |
| $k =$                    | 1.50               | En rocas no alteradas en superficie                |
| $k =$                    | 0.25               | En medios homogéneos e isotrópicos en función de m |
| $k =$                    | 1.0                | Valor asumido                                      |
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$       | 0.81 MPa   |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$       | 0.81 MPa   |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma'_{1max} =$ | 0.81 MPa   |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma'_{3max} =$ | 0.81 MPa   |

#### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

##### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                          |                   |                            |
|--------------------------|-------------------|----------------------------|
| Hoek et al. (2002)       | $q_{ult} =$       | 205.9 Kg/cm <sup>2</sup>   |
| Serrano y Olalla (2001)  | $q_{ult} =$       | $\beta(N_\beta - \zeta)$   |
|                          | $\beta =$         | 31.2 MPa                   |
|                          | $\zeta =$         | 0.002                      |
|                          | $\sigma^*_{0j} =$ | 0.028                      |
|                          | $N_\beta =$       | 5.8                        |
|                          | $q_{ult} =$       | 181.0                      |
| AASHTO (1996)            | $q_{ult} =$       | $N_{ms} * U_c$             |
|                          | $N_{ms} =$        | 0.2055                     |
|                          | $U_c =$           | 1000 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|                          | $q_{ult} =$       | 205.537 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Criterio de comprobación | $q_{ad} <$        | $0.2 * U_c$                |
|                          | $U_c =$           | 1000 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|                          | $q_{ad} <$        | 200.0 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                          | $q_{ad} <$        | $0.33 * f_c$               |
|                          | $f_c =$           | 210.0 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                          | $q_{ad} <$        | 69.3 Kg/cm <sup>2</sup>    |

#### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

##### Ubicación: TUNEL 1

##### TIPO DE ROCA: TIPO II

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

$$c'_m = 4.8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 63.6^\circ$$

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$$m_b = 2.496$$

$$s = 0.002$$

$$a = 0.504$$

Parámetros de deformación

$$E_m = 14125 \text{ MPa}$$

Capacidad de soporte última

$$q_{ult} = 69.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Capacidad admisible del macizo rocoso

$$q_{ad} = 23.1 \text{ Kg/cm}^2$$

Coefficiente de Balasto

$$KV = 11.26 \text{ Kg/cm}^2$$

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

$$\tau = 16.7 \text{ Kg/cm}^2$$



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 1

**TIPO DE ROCA** : TIPO III

**Litología** : TONALITA - DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_r$ | : | 0.027 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 60 (MPa)                   |
| Constante de la roca intacta         | $m_i$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_i$      | : | 7 (MPa)                    |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_i$   | : | 65 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_i$      | : | 18000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_i$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{99}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 41  |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 36  |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 0.4 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.2 |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0.5 |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $z =$ | 40 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 2.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 20.6 °                 |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 2.7 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 54.7 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 1.329   |
| $s =$   | 0.00020 |
| $a =$   | 0.51    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| $\sigma_{tm} =$ | $-s \sigma_c / m_b$     |
| $\sigma_{tm} =$ | -0.1 Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                         |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c S^a$          |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 7.3 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 85.2 Kg/cm <sup>2</sup> |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua para Lima

### 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

#### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |      |     |
|---|---------|------|-----|
| - Bienlawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 4467 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 3600 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 3460 | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | -    | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 1528 | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 1089 | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 3460 | MPa |

#### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|                          |                    |  |
|--------------------------|--------------------|--|
| $k =$                    | 1.00               | En rocas fracturadas en superficie                 |
| $k =$                    | 1.50               | En rocas no alteradas en superficie                |
| $k =$                    | 0.25               | En medios homogéneos e isotrópicos en función de m |
| $k =$                    | 1.0                | Valor asumido                                      |
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$       | 1.08 MPa   |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$       | 1.08 MPa   |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma'_{1max} =$ | 1.08 MPa   |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma'_{3max} =$ | 1.08 MPa   |

#### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

##### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                           |                   |                            |
|---------------------------|-------------------|----------------------------|
| Hoek <i>et al.</i> (2002) | $q_{ult} =$       | 85.2 Kg/cm <sup>2</sup>    |
| Serrano y Olalla (2001)   | $q_{ult} =$       | $\beta(N_{\beta} - \zeta)$ |
|                           | $\beta =$         | 10.0 MPa                   |
|                           | $\zeta =$         | 0.001                      |
|                           | $\sigma^*_{ol} =$ | 0.109                      |
|                           | $N_{\beta} =$     | 7.5                        |
|                           | $q_{ult} =$       | 74.8                       |
| AASHTO (1996)             | $q_{ult} =$       | $N_{ms} * U_c$             |
|                           | $N_{ms} =$        | 0.0465                     |
|                           | $U_c =$           | 600 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|                           | $q_{ult} =$       | 27.884 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| Criterio de comprobación  | $q_{ad} <$        | $0.2 * U_c$                |
|                           | $U_c =$           | 600 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|                           | $q_{ad} <$        | 120.0 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                           | $q_{ad} <$        | $0.33 * f_c$               |
|                           | $f_c =$           | 210.0 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                           | $q_{ad} <$        | 69.3 Kg/cm <sup>2</sup>    |

#### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

##### Ubicación: TUNEL 1

##### TIPO DE ROCA: TIPO III

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

$$c'_m = 2.7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 54.7^\circ$$

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$$m_b = 1.329$$

$$s = 0.000$$

$$a = 0.515$$

Parámetros de deformación

$$E_m = 3460 \text{ MPa}$$

Capacidad de soporte última

$$q_{ult} = 27.9 \text{ Kg/cm}^2$$

Capacidad admisible del macizo rocoso

$$q_{ad} = 9.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Coficiente de Balasto

$$K_v = 3.47 \text{ Kg/cm}^2$$

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

$$\tau = 10.0 \text{ Kg/cm}^2$$



Ing. David Valenzuela Chiribos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 1

**TIPO DE ROCA** : TIPO IV

**Litología** : TONALITA - DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_r$ | : | 0.027 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 30 (MPa)                   |
| Constante de la roca intacta         | $m_r$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_r$      | : | 3 (MPa)                    |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_r$   | : | 65 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_r$      | : | 9000 (MPa)                 |
| Relación de Poisson                  | $\nu_r$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocososo**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 21  |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 16  |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 0.0 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.2 |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0   |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $L =$ | 20 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 1.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 9.7 °                  |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 1.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 53.0 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 1.394   |
| $s =$   | 0.00009 |
| $u =$   | 0.56    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                  |                     |                    |
|------------------|---------------------|--------------------|
| $\sigma'_{tm} =$ | $-s \sigma_c / m_b$ |                    |
| $\sigma'_{tm} =$ | 0.0                 | Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                |                    |
|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c s^u$ |                    |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 1.6            | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 36.4           | Kg/cm <sup>2</sup> |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

### 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

#### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |      |     |
|---|---------|------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 1413 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 1800 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 774  | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | -    | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 413  | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 342  | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 774  | MPa |

### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|                          |                   |  |
|--------------------------|-------------------|--|
| $k =$                    | 1.00              | En rocas fracturadas en superficie                 |
| $k =$                    | 1.50              | En rocas no alteradas en superficie                |
| $k =$                    | 0.25              | En medios homogéneos e isotrópicos en función de m |
| $k =$                    | 1.0               | Valor asumido                                      |
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$      | 0.54 MPa   |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$      | 0.54 MPa   |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma_{1max} =$ | 0.54 MPa   |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma_{3max} =$ | 0.54 MPa   |

### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

#### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                           |                   |                          |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|
| Hoek <i>et al.</i> (2002) | $q_{ult} =$       | 36.4 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| Serrano y Olalla (2001)   | $q_{ult} =$       | $\beta(N_\beta - \zeta)$ |
|                           | $\beta =$         | 5.2 MPa                  |
|                           | $\zeta =$         | 0.000                    |
|                           | $\sigma^*_{ij} =$ | 0.104                    |
|                           | $N_\beta =$       | 7.4                      |
|                           | $q_{ult} =$       | 38.7                     |
| AASHTO (1996)             | $q_{ult} =$       | $N_{ms} * U_c$           |
|                           | $N_{ms} =$        | 0.0105                   |
|                           | $U_c =$           | 300 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                           | $q_{ult} =$       | 3.152 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Criterio de comprobación  | $q_{ad} <$        | $0.2 * U_c$              |
|                           | $U_c =$           | 300 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                           | $q_{ad} <$        | 60.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                           | $q_{ad} <$        | $0.33 * f_c$             |
|                           | $f_c =$           | 210.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | $q_{ad} <$        | 69.3 Kg/cm <sup>2</sup>  |

### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

#### Ubicación: TUNEL 1

#### TIPO DE ROCA: TIPO IV

|  |             |                         |
|--|-------------|-------------------------|
| Criterio de resistencia Mohr Coulomb                 | $c'_m =$    | 1.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|  | $\phi'_m =$ | 53.0 °                  |
| Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown         | $m_b =$     | 1.394                   |
|  | $s =$       | 0.000                   |
|  | $u =$       | 0.557                   |
| Parámetros de deformación                            | $E_m =$     | 774 MPa                 |
| Capacidad de soporte última                          | $q_{ult} =$ | 3.2 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| Capacidad admisible del macizo rocoso                | $q_{ad} =$  | 1.1 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| Coefficiente de Balasto                              | $KV =$      | 1.40 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Adherencia con el CONCRETO (Littlejohn y Bruce 1975) | $\tau =$    | 5.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |



Ing. David Valenzuela Chiribos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 2

**TIPO DE ROCA** : TIPO I

**Litología** : GABRO-DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_r$ | : | 0.029 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 225 (MPa)                  |
| Constante de la roca intacta         | $m_r$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_r$      | : | 25 (MPa)                   |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_r$   | : | 66 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_r$      | : | 67500 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_r$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |      |
|--|---|------|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 81   |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 76   |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 35.0 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.7  |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0.8  |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |       |
|---------|-------|-------|
| Túneles | $z =$ | 100 m |
|---------|-------|-------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 4.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 42.4 °                 |

|                                     |             |                         |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 36.5 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 65.1 °                  |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 6.710   |
| $s =$   | 0.02635 |
| $a =$   | 0.50    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                 |                     |                    |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| $\sigma_{tm} =$ | $-s \sigma_c / m_b$ |                    |
| $\sigma_{tm} =$ | -8.8                | Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                |                    |
|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c s^a$ |                    |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 357.2          | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 802.4          | Kg/cm <sup>2</sup> |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

## 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |       |     |
|---|---------|-------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 52000 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 47250 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 67003 | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | 38604 | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 20907 | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 25242 | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 67003 | MPa |

### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|                          |                    |  |
|--------------------------|--------------------|--|
| $k =$                    | 1.00               | En rocas fracturadas en superficie                 |
| $k =$                    | 1.50               | En rocas no alteradas en superficie                |
| $k =$                    | 0.25               | En medios homogéneos e isotrópicos en función de m |
| $k =$                    | 1.0                | Valor asumido                                      |
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$       | 2.90 MPa   |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$       | 2.90 MPa   |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma'_{1max} =$ | 2.90 MPa   |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma'_{3max} =$ | 2.90 MPa   |

### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

#### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                          |                  |                             |
|--------------------------|------------------|-----------------------------|
| Hoek et al. (2002)       | $q_{ult} =$      | 802.4 Kg/cm <sup>2</sup>    |
| Serrano y Olalla (2001)  | $q_{ult} =$      | $\beta(N_p - \zeta)$        |
|                          | $\beta =$        | 188.7 MPa                   |
|                          | $\zeta =$        | 0.005                       |
|                          | $\sigma'_{ij} =$ | 0.020                       |
|                          | $N_p =$          | 5.6                         |
|                          | $q_{ult} =$      | 1058.5                      |
| AASHTO (1996)            | $q_{ult} =$      | $N_{ms} * U_c$              |
|                          | $N_{ms} =$       | 0.9090                      |
|                          | $U_c =$          | 2250 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|                          | $q_{ult} =$      | 2045.316 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Criterio de comprobación | $q_{ad} <$       | $0.2 * U_c$                 |
|                          | $U_c =$          | 2250 Kg/cm <sup>2</sup>     |
|                          | $q_{ad} <$       | 450.0 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|                          | $q_{ad} <$       | $0.33 * f_c$                |
|                          | $f_c =$          | 210.0 Kg/cm <sup>2</sup>    |
|                          | $q_{ad} <$       | 69.3 Kg/cm <sup>2</sup>     |

### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

#### Ubicación: TUNEL 2

#### TIPO DE ROCA: TIPO I

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

$$c'_m = 36.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 65.1^\circ$$

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$$m_b = 6.710$$

$$s = 0.026$$

$$a = 0.501$$

Parámetros de deformación

$$E_m = 67003 \text{ MPa}$$

Capacidad de soporte última

$$q_{ult} = 69.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Capacidad admisible del macizo rocoso

$$q_{ad} = 23.1 \text{ Kg/cm}^2$$

Coefficiente de Balasto

$$K_v = 52.11 \text{ Kg/cm}^2$$

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

$$\tau = 37.5 \text{ Kg/cm}^2$$



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 2

**TIPO DE ROCA** : TIPO II

**Litología** : GABRO-DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_i$ | : | 0.029 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 200 (MPa)                  |
| Constante de la roca intacta         | $m_i$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_i$      | : | 22 (MPa)                   |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_i$   | : | 66 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_i$      | : | 60000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_i$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa. $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 61  |
| Índice Geológico de Resistencia. $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 56  |
| Índice. $Q$ (Barton, 1974)   | : | 3.8 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.7 |
| Factor de perturbación de la roca. $D$                             | : | 0.7 |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $z =$ | 30 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 3.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 31.5 °                 |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 7.8 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 66.4 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 2.496   |
| $s =$   | 0.00170 |
| $a =$   | 0.50    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

$$\sigma'_{tm} = -5 \sigma_c / m_b$$

$$\sigma'_{tm} = -1.4 \text{ Kg/cm}^2$$

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                          |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c s''$           |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 79.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 411.7 Kg/cm <sup>2</sup> |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

## 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |       |     |
|---|---------|-------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 12000 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 42000 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 19976 | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | 14476 | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 5652  | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 9434  | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 19976 | MPa |

### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|       |      |
|-------|------|
| $k =$ | 1.00 |
| $k =$ | 1.50 |
| $k =$ | 0.25 |
| $k =$ | 1.0  |

Esfuerzo vertical  
Esfuerzo horizontal  
Esfuerzo principal mayor  
Esfuerzo principal menor

En rocas fracturadas en superficie  
En rocas no alteradas en superficie  
En medios homogéneos e isotrópicos en función de  $m$   
Valor asumido

|                   |      |     |
|-------------------|------|-----|
| $\sigma_v =$      | 0.87 | MPa |
| $\sigma_h =$      | 0.87 | MPa |
| $\sigma_{1max} =$ | 0.87 | MPa |
| $\sigma_{3min} =$ | 0.87 | MPa |

### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

#### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek *et al.* (2002)

Serrano y Olalla (2001)

|                 |                      |                    |
|-----------------|----------------------|--------------------|
| $q_{ult} =$     | 411.7                | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ult} =$     | $\beta(N_p - \zeta)$ |                    |
| $\beta =$       | 62.4                 | MPa                |
| $\zeta =$       | 0.002                |                    |
| $\sigma_{ai} =$ | 0.016                |                    |
| $N_p =$         | 5.5                  |                    |
| $q_{ult} =$     | 344.3                |                    |

AASHTO (1996)

|             |                    |                    |
|-------------|--------------------|--------------------|
| $q_{ult} =$ | $N_{ms} \cdot U_c$ |                    |
| $N_{ms} =$  | 0.2055             |                    |
| $U_c =$     | 2000               | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ult} =$ | 411.074            | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | $0.2 \cdot U_c$    |                    |
| $U_c =$     | 2000               | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | 400.0              | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | $0.33 \cdot f_c$   |                    |
| $f_c =$     | 210.0              | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | 69.3               | Kg/cm <sup>2</sup> |

Criterio de comprobación

### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 2

TIPO DE ROCA: TIPO II

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

Parámetros de deformación

Capacidad de soporte última

Capacidad admisible del macizo rocoso

Coficiente de Balasto

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

|             |       |                    |
|-------------|-------|--------------------|
| $C_m =$     | 7.8   | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $\phi_m =$  | 66.4  | °                  |
| $m_b =$     | 2.496 |                    |
| $s =$       | 0.002 |                    |
| $a =$       | 0.504 |                    |
| $E_m =$     | 19976 | MPa                |
| $q_{ult} =$ | 69.3  | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} =$  | 23.1  | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $K_v =$     | 32.67 | Kg/cm <sup>3</sup> |
| $\tau =$    | 33.3  | Kg/cm <sup>2</sup> |



Ing. David Valenzuela Chiribos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 2

**TIPO DE ROCA** : TIPO III

**Litología** : GABRO - DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_r$ | : | 0.029 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 100 (MPa)                  |
| Constante de la roca intacta         | $m_r$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_r$      | : | 11 (MPa)                   |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_r$   | : | 66 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_r$      | : | 30000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_r$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 41  |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 36  |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 0.4 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.7 |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0.5 |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $L =$ | 40 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 2.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 20.6 °                 |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 3.4 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 57.6 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 1.329   |
| $s =$   | 0.00020 |
| $a =$   | 0.51    |

Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )

|                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| $\sigma'_{tm} =$ | $-s \sigma_c / m_b$     |
| $\sigma'_{tm} =$ | -0.1 Kg/cm <sup>2</sup> |

Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )

|                             |                  |                          |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c S''$           |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 12.1 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 142.0 Kg/cm <sup>2</sup> |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

## 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |       |     |
|---|---------|-------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 4467  | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 21000 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 4467  | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | -     | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 1528  | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 1815  | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 4467  | MPa |

### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|                          |                    |  |
|--------------------------|--------------------|--|
| $k =$                    | 1.00               | En rocas fracturadas en superficie                 |
| $k =$                    | 1.50               | En rocas no alteradas en superficie                |
| $k =$                    | 0.25               | En medios homogéneos e isotrópicos en función de m |
| $k =$                    | 1.0                | Valor asumido                                      |
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$       | 1.16 MPa   |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$       | 1.16 MPa   |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma'_{1max} =$ | 1.16 MPa   |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma'_{3max} =$ | 1.16 MPa   |

### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

#### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                          |                    |                           |
|--------------------------|--------------------|---------------------------|
| Hoek et al. (2002)       | $q_{ult} =$        | 142.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| Serrano y Olalla (2001)  | $q_{ult} =$        | $\beta(N_{\mu} - \zeta)$  |
|                          | $\beta =$          | 16.6 MPa                  |
|                          | $\zeta =$          | 0.001                     |
|                          | $\sigma^*_{\mu} =$ | 0.071                     |
|                          | $N_{\mu} =$        | 6.7                       |
|                          | $q_{ult} =$        | 112.0                     |
| AASHTO (1996)            | $q_{ult} =$        | $N_{ms} * U_c$            |
|                          | $N_{ms} =$         | 0.0465                    |
|                          | $U_c =$            | 1000 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                          | $q_{ult} =$        | 46.473 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Criterio de comprobación | $q_{ad} <$         | $0.2 * U_c$               |
|                          | $U_c =$            | 1000 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                          | $q_{ad} <$         | 200.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                          | $q_{ad} <$         | $0.33 * f_c$              |
|                          | $f_c =$            | 210.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                          | $q_{ad} <$         | 69.3 Kg/cm <sup>2</sup>   |

### 3.0 Parámetros para el diseño en Ingeniería

Ubicación: TUNEL 2

TIPO DE ROCA: TIPO III

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

$$c'_m = 3.4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 57.6^\circ$$

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$$m_b = 1.329$$

$$s = 0.000$$

$$a = 0.515$$

Parámetros de deformación

$$E_m = 4467 \text{ MPa}$$

Capacidad de soporte última

$$q_{ult} = 46.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Capacidad admisible del macizo rocoso

$$q_{ad} = 15.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Coefficiente de Balasto

$$K_v = 16.33 \text{ Kg/cm}^2$$

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

$$\tau = 16.7 \text{ Kg/cm}^2$$



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 2

**TIPO DE ROCA** : TIPO IV

**Litología** : GABRO - DIORITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_i$ | : | 0.029 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 40 (MPa)                   |
| Constante de la roca intacta         | $m_i$      | : | 28                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 300                        |
| Cohesión                             | $c_i$      | : | 4 (MPa)                    |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_i$   | : | 66 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_i$      | : | 12000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_i$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa. $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 21  |
| Índice Geológico de Resistencia. $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 16  |
| Índice. $Q$ (Barton, 1974)   | : | 0.0 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.7 |
| Factor de perturbación de la roca. $D$                             | : | 0   |

**2.1 Proyecto de Ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $z =$ | 20 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $C'_m =$    | 1.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 9.7 °                  |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $C'_m =$    | 1.2 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 54.3 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 1.394   |
| $s =$   | 0.00009 |
| $a =$   | 0.56    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                  |                     |                    |
|------------------|---------------------|--------------------|
| $\sigma'_{tm} =$ | $-s \sigma_c / m_b$ |                    |
| $\sigma'_{tm} =$ | 0.0                 | Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                |                    |
|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c s^a$ |                    |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 2.2            | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 48.6           | Kg/cm <sup>2</sup> |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

### 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

#### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |      |     |
|---|---------|------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 1413 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 8400 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 893  | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | -    | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 413  | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 456  | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 893  | MPa |

#### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|                          |                   |  |
|--------------------------|-------------------|--|
| $k =$                    | 1.00              | En rocas fracturadas en superficie                 |
| $k =$                    | 1.50              | En rocas no alteradas en superficie                |
| $k =$                    | 0.25              | En medios homogéneos e isotrópicos en función de m |
| $k =$                    | 1.0               | Valor asumido                                      |
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$      | 0.58 MPa   |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$      | 0.58 MPa   |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma_{1max} =$ | 0.58 MPa   |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma_{3min} =$ | 0.58 MPa   |

#### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

##### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                           |                   |                          |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|
| Hoek <i>et al.</i> (2002) | $q_{ult} =$       | 48.6 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| Serrano y Olalla (2001)   | $q_{ult} =$       | $\beta(N_\beta - \zeta)$ |
|                           | $\beta =$         | 7.0 MPa                  |
|                           | $\zeta =$         | 0.000                    |
|                           | $\sigma_{ij}^* =$ | 0.084                    |
|                           | $N_\beta =$       | 7.0                      |
|                           | $q_{ult} =$       | 48.8                     |
| AASHTO (1996)             | $q_{ult} =$       | $N_{ms} * U_c$           |
|                           | $N_{ms} =$        | 0.0105                   |
|                           | $U_c =$           | 400 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                           | $q_{ult} =$       | 4.203 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Criterio de comprobación  | $q_{ad} <$        | $0.2 * U_c$              |
|                           | $U_c =$           | 400 Kg/cm <sup>2</sup>   |
|                           | $q_{ad} <$        | 80.0 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                           | $q_{ad} <$        | $0.33 * f_c$             |
|                           | $f_c =$           | 210.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | $q_{ad} <$        | 69.3 Kg/cm <sup>2</sup>  |

#### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 2

TIPO DE ROCA: TIPO IV

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

Parámetros de deformación

Capacidad de soporte última

Capacidad admisible del macizo rocoso

Coficiente de Balasto

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| $c'_m =$    | 1.2 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| $\phi'_m =$ | 54.3 °                  |
| $m_b =$     | 1.394                   |
| $s =$       | 0.000                   |
| $a =$       | 0.557                   |
| $E_m =$     | 893 MPa                 |
| $q_{ult} =$ | 4.2 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| $q_{ad} =$  | 1.4 Kg/cm <sup>2</sup>  |
| $KV =$      | 6.53 Kg/cm <sup>3</sup> |
| $\tau =$    | 6.7 Kg/cm <sup>2</sup>  |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 3

**TIPO DE ROCA** : TIPO I

**Litología** : GABRODIORITA-ADAMELITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_i$ | : | 0.029 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 196 (MPa)                  |
| Constante de la roca intacta         | $m_i$      | : | 27                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 400                        |
| Cohesión                             | $c_i$      | : | 22 (MPa)                   |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_i$   | : | 65 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_i$      | : | 78400 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_i$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|   |   |      |
|---|---|------|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{95}$ (Bieniawski, 1989) | : | 81   |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek et al., 1995)  | : | 76   |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)                                  | : | 35.0 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                       | : | 0.7  |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                      | : | 0.8  |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |   |       |
|---------|---|-------|
| Túneles | = | 100 m |
|---------|---|-------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 4.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 42.4 °                 |

|                                     |             |                         |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 32.8 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 64.3 °                  |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 6.471   |
| $s =$   | 0.02635 |
| $a =$   | 0.50    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| $\sigma_{tm} =$ | $-s \sigma_c / m_b$     |
| $\sigma_{tm} =$ | -8.0 Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                          |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c s^u$           |
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | 311.2 Kg/cm <sup>2</sup> |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 687.7 Kg/cm <sup>2</sup> |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

### 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

#### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |       |     |
|---|---------|-------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 52000 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 54880 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 62536 | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | 38604 | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 20907 | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 29318 | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 62536 | MPa |

#### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|       |      |
|-------|------|
| $k =$ | 1.00 |
| $k =$ | 1.50 |
| $k =$ | 0.25 |
| $k =$ | 1.0  |

En rocas fracturadas en superficie  
 En rocas no alteradas en superficie  
 En medios homogéneos e isotrópicos en función de m  
 Valor asumido

|                          |                    |      |     |
|--------------------------|--------------------|------|-----|
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$       | 2.90 | MPa |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$       | 2.90 | MPa |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma'_{1max} =$ | 2.90 | MPa |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma'_{3max} =$ | 2.90 | MPa |

#### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

##### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

|                          |                   |                            |                    |
|--------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|
| Hoek et al. (2002)       | $q_{ult} =$       | 687.7                      | Kg/cm <sup>2</sup> |
| Serrano y Olalla (2001)  | $q_{ult} =$       | $\beta(N_{\beta} - \zeta)$ |                    |
|                          | $\beta =$         | 158.5                      | MPa                |
|                          | $\zeta =$         | 0.005                      |                    |
|                          | $\sigma^*_{01} =$ | 0.023                      |                    |
|                          | $N_{\beta} =$     | 5.7                        |                    |
|                          | $q_{ult} =$       | 901.4                      |                    |
| AASHTO (1996)            | $q_{ult} =$       | $N_{ms} * U_c$             |                    |
|                          | $N_{ms} =$        | 1.0000                     |                    |
|                          | $U_c =$           | 1960                       | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                          | $q_{ult} =$       | 1960.000                   | Kg/cm <sup>2</sup> |
| Criterio de comprobación | $q_{ad} <$        | $0.2 * U_c$                |                    |
|                          | $U_c =$           | 1960                       | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                          | $q_{ad} <$        | 392.0                      | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                          | $q_{ad} <$        | $0.33 * f_c$               |                    |
|                          | $f_c =$           | 210.0                      | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                          | $q_{ad} <$        | 69.3                       | Kg/cm <sup>2</sup> |

#### 3.0 Parámetros para el diseño en Ingeniería

Ubicación: TUNEL 3

TIPO DE ROCA: TIPO I

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

|             |      |                    |
|-------------|------|--------------------|
| $c'_m =$    | 32.8 | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $\phi'_m =$ | 64.3 | °                  |

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

|         |       |
|---------|-------|
| $m_b =$ | 6.471 |
| $s =$   | 0.026 |

Parámetros de deformación

Capacidad de soporte última

|         |       |     |
|---------|-------|-----|
| $a =$   | 0.501 |     |
| $E_m =$ | 62536 | MPa |

Capacidad admisible del macizo rocoso

|             |      |                    |
|-------------|------|--------------------|
| $q_{ult} =$ | 69.3 | Kg/cm <sup>2</sup> |
|-------------|------|--------------------|

Coefficiente de Balasto

|            |      |                    |
|------------|------|--------------------|
| $q_{ad} =$ | 23.1 | Kg/cm <sup>2</sup> |
|------------|------|--------------------|

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

|         |       |                    |
|---------|-------|--------------------|
| $K_v =$ | 48.64 | Kg/cm <sup>2</sup> |
|---------|-------|--------------------|

|          |      |                    |
|----------|------|--------------------|
| $\tau =$ | 32.7 | Kg/cm <sup>2</sup> |
|----------|------|--------------------|



Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP No. 38229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

### 2.3 Estimación de las propiedades de

#### a) Criterios de deformación de macizos

- Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1980)
  - Kulhawy y Goodman (1980)
  - Hoek (1995)
  - Grimstad y Barton (1993)
  - Gokceoglu et al. (2003)
  - Hoek y Diederichs (2006)
- Valor asumido

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

## ANÁLISIS Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS

ANÁLISIS Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA

### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|       |                 |
|-------|-----------------|
| $k =$ | 1.00            |
| $k =$ | 1.50 JADAMELITA |
| $k =$ | 0.25            |
| $k =$ | 1.0             |

|                                |            |   |                            |
|--------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Esfuerzo vertical              |            |   |                            |
| Esfuerzo horizontal            | $\gamma_i$ | : | 0.029 (MN/m <sup>4</sup> ) |
| Esfuerzo principal mayor axial | $\sigma_o$ | : | 196 (MPa)                  |
| Esfuerzo principal menor       | $m_i$      | : | 27                         |
|                                | $MR$       | : | 400                        |
|                                | $c_i$      | : | 22 (MPa)                   |
|                                | $\phi_i$   | : | 66 (°)                     |
|                                | $E_i$      | : | 78400 (MPa)                |
|                                | $\nu_i$    | : | 0.2                        |

### 2.5 Carga admisible del macizo roco

#### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

- Hoek et al. (2002)
- Serrano y Olalla (2001)

|                               |   |     |
|-------------------------------|---|-----|
| $RMR_{95}$ (Bieniawski, 1989) | : | 61  |
| $Q_{95}$ (Hoek et al., 1995)  | : | 56  |
| AASHTO (1996)                 | : | 3.8 |
| Ades (m)                      | : | 0.2 |
| Ades (D)                      | : | 0.7 |

Criterio de comprobación

$$z = 30 \text{ m}$$

### Propiedades de resistencia

### 3.0 Parámetros para el diseño en Mohr Coulomb

Ubicación: TUNEL 3

TIPO DE ROCA: TIPO II

Criterio de resistencia Mohr Coulomb-Hoek-Brown

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

Parámetros de deformación

Capacidad de soporte última

Capacidad admisible del macizo roco ( $\sigma'_{um}$ )

Coefficiente de Balasto

Adherencia con el concreto (Lima)

$$c'_m = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 31.5^\circ$$

$$c'_m = 7.8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 66.0^\circ$$

$$m_b = 2.407$$

$$s = 0.00170$$

$$a = 0.50$$

$$\sigma_{tm} = -s \sigma_c / m_b$$

$$\sigma_{tm} = -1.4 \text{ Kg/cm}^2$$

### Resistencia del macizo roco ( $\sigma'_{cm}$ )

$$\sigma'_{cm} = \sigma_c s^u$$

$$\sigma'_{cm} = 77.4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{cm} = 396.3 \text{ Kg/cm}^2$$



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 3

**TIPO DE ROCA** : TIPO III

**Litología** : GABRODIORITA/ADAMELITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_r$ | : | 0.029 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 100 (MPa)                  |
| Constante de la roca intacta         | $m_r$      | : | 27                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 400                        |
| Cohesión                             | $c_r$      | : | 11 (MPa)                   |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_r$   | : | 65 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_r$      | : | 40000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_r$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 41  |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 36  |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 0.4 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.3 |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0.5 |

**2.1 Proyecto de ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $z =$ | 40 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 2.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 20.6 °                 |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 3.3 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 57.3 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 1.282   |
| $s =$   | 0.00020 |
| $a =$   | 0.51    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| $\sigma_{tm} =$  | $-s \sigma_c / m_b$     |
| $\sigma'_{tm} =$ | -0.2 Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                          |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c s^a$           |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 12.1 Kg/cm <sup>2</sup>  |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 139.3 Kg/cm <sup>2</sup> |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

## 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |       |     |
|---|---------|-------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 4467  | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 12000 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 4467  | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | -     | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 1528  | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 2419  | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 4467  | MPa |

### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|       |      |
|-------|------|
| $k =$ | 1.00 |
| $k =$ | 1.50 |
| $k =$ | 0.25 |
| $k =$ | 1.0  |

En rocas fracturadas en superficie  
 En rocas no alteradas en superficie  
 En medios homogéneos e isotrópicos en función de m  
 Valor asumido

|                          |                   |      |     |
|--------------------------|-------------------|------|-----|
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$      | 1.16 | MPa |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$      | 1.16 | MPa |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma_{1max} =$ | 1.16 | MPa |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma_{3max} =$ | 1.16 | MPa |

### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

#### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek *et al.* (2002)

Serrano y Olalla (2001)

|                 |                         |                    |
|-----------------|-------------------------|--------------------|
| $q_{ult} =$     | 139.3                   | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ult} =$     | $\beta(N_{pl} - \zeta)$ |                    |
| $\beta =$       | 16.0                    | MPa                |
| $\zeta =$       | 0.001                   |                    |
| $\sigma_{pl} =$ | 0.073                   |                    |
| $N_{pl} =$      | 6.8                     |                    |
| $q_{ult} =$     | 108.9                   |                    |

AASHTO (1996)

|             |                |                    |
|-------------|----------------|--------------------|
| $q_{ult} =$ | $N_{ms} * U_c$ |                    |
| $N_{ms} =$  | 1.0000         |                    |
| $U_c =$     | 1000           | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ult} =$ | 1000.000       | Kg/cm <sup>2</sup> |

Criterio de comprobación

|            |              |                    |
|------------|--------------|--------------------|
| $q_{ad} <$ | $0.2 * U_c$  |                    |
| $U_c =$    | 1000         | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$ | 200.0        | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$ | $0.33 * f_c$ |                    |
| $f_c =$    | 210.0        | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$ | 69.3         | Kg/cm <sup>2</sup> |

### 3.0 Parámetros para el diseño en Ingeniería

Ubicación: TUNEL 3

TIPO DE ROCA: TIPO III

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

$$c'_m = 3.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi'_m = 57.3^\circ$$

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$$m_b = 1.282$$

$$s = 0.000$$

$$a = 0.515$$

Parámetros de deformación

$$E_m = 4467 \text{ MPa}$$

Capacidad de soporte última

$$q_{ult} = 69.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Capacidad admisible del macizo rocoso

$$q_{ad} = 23.1 \text{ Kg/cm}^2$$

Coefficiente de Balasto

$$K_v = 9.33 \text{ Kg/cm}^2$$

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)

$$\tau = 16.7 \text{ Kg/cm}^2$$



Ing. David Valenzuela Chirinos  
 C.I.P. No. 38229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima



**RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

Versión 1.3

**Proyecto** : OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA

**Ubicación** : TUNEL 3

**TIPO DE ROCA** : TIPO IV

**Litología** : GABRODIORITA/ADAMELITA

**1.0 Roca intacta**

|                                      |            |   |                            |
|--------------------------------------|------------|---|----------------------------|
| Peso específico                      | $\gamma_i$ | : | 0.029 (MN/m <sup>3</sup> ) |
| Resistencia a la compresión uniaxial | $\sigma_c$ | : | 50 (MPa)                   |
| Constante de la roca intacta         | $m_i$      | : | 27                         |
| Relación modular                     | $MR$       | : | 400                        |
| Cohesión                             | $c_i$      | : | 6 (MPa)                    |
| Angulo de fricción interna           | $\phi_i$   | : | 65 (°)                     |
| Módulo de elasticidad                | $E_i$      | : | 20000 (MPa)                |
| Relación de Poisson                  | $\nu_i$    | : | 0.2                        |

**2.0 Macizo Rocoso**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Valoración de la masa rocosa, $RMR_{99}$ (Bieniawski, 1989)        | : | 21  |
| Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995) | : | 16  |
| Índice, $Q$ (Barton, 1974)   | : | 0.0 |
| Espaciamiento de discontinuidades (m)                              | : | 0.4 |
| Factor de perturbación de la roca, $D$                             | : | 0   |

**2.1 Proyecto de Ingeniería**

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| Túneles | $z =$ | 20 m |
|---------|-------|------|

**2.2 Estimación de las propiedades de resistencia**

**a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb**

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| Bieniawski (1976) | $c'_m =$    | 1.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                   | $\phi'_m =$ | 9.7 °                  |

|                                     |             |                        |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| Con criterio de falla de Hoek-Brown | $c'_m =$    | 1.2 Kg/cm <sup>2</sup> |
|                                     | $\phi'_m =$ | 55.4 °                 |

**b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown**

|         |         |
|---------|---------|
| $m_b =$ | 1.344   |
| $s =$   | 0.00009 |
| $u =$   | 0.56    |

**Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )**

|                 |                     |                    |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| $\sigma_{tm} =$ | $-s \sigma_c / m_b$ |                    |
| $\sigma_{tm} =$ | 0.0                 | Kg/cm <sup>2</sup> |

**Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )**

|                             |                  |                |                    |
|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| (Inicio de ruptura)         | $\sigma'_{cm} =$ | $\sigma_c s''$ |                    |
| (Ruptura global del macizo) | $\sigma'_{cm} =$ | 2.7            | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                             | $\sigma'_{cm} =$ | 59.5           | Kg/cm <sup>2</sup> |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

## 2.3 Estimación de las propiedades de deformación

### a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad, $E_m$ )

|   |         |      |     |
|---|---------|------|-----|
| - Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983) | $E_m =$ | 1413 | MPa |
| - Kulhawy y Goodman (1980)                    | $E_m =$ | 8000 | MPa |
| - Hoek (1995)                                 | $E_m =$ | 999  | MPa |
| - Grimstad y Barton (1993)                    | $E_m =$ | -    | MPa |
| - Gokceoglu et al. (2003)                     | $E_m =$ | 413  | MPa |
| - Hoek y Diederichs (2006)                    | $E_m =$ | 760  | MPa |
| Valor asumido                                 | $E_m =$ | 999  | MPa |

### 2.4 Esfuerzos *in situ*

|       |      |
|-------|------|
| $k =$ | 1.00 |
| $k =$ | 1.50 |
| $k =$ | 0.25 |
| $k =$ | 1.0  |

En rocas fracturadas en superficie  
 En rocas no alteradas en superficie  
 En medios homogéneos e isotrópicos en función de m  
 Valor asumido

|                          |                    |      |     |
|--------------------------|--------------------|------|-----|
| Esfuerzo vertical        | $\sigma_v =$       | 0.58 | MPa |
| Esfuerzo horizontal      | $\sigma_h =$       | 0.58 | MPa |
| Esfuerzo principal mayor | $\sigma'_{1max} =$ | 0.58 | MPa |
| Esfuerzo principal menor | $\sigma'_{3max} =$ | 0.58 | MPa |

### 2.5 Carga admisible del macizo rocoso

#### Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek et al. (2002)

Serrano y Olalla (2001)

|                   |                          |                    |
|-------------------|--------------------------|--------------------|
| $q_{ult} =$       | 59.5                     | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ult} =$       | $\beta(N_\beta - \zeta)$ |                    |
| $\beta =$         | 8.4                      | MPa                |
| $\zeta =$         | 0.000                    |                    |
| $\sigma^*_{0j} =$ | 0.069                    |                    |
| $N_\beta =$       | 6.7                      |                    |
| $q_{ult} =$       | 56.4                     |                    |

AASHTO (1996)

|             |                |                    |
|-------------|----------------|--------------------|
| $q_{ult} =$ | $N_{ms} * U_c$ |                    |
| $N_{ms} =$  | 1.0000         |                    |
| $U_c =$     | 500            | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ult} =$ | 500.000        | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | $0.2 * U_c$    |                    |
| $U_c =$     | 500            | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | 100.0          | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | $0.33 * f_c$   |                    |
| $f_c =$     | 210.0          | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} <$  | 69.3           | Kg/cm <sup>2</sup> |

Criterio de comprobación

### 3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 3

TIPO DE ROCA: TIPO IV

Criterio de resistencia Mohr Coulomb

|             |       |                    |
|-------------|-------|--------------------|
| $c'_m =$    | 1.2   | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $\phi'_m =$ | 55.4  | °                  |
| $m_b =$     | 1.344 |                    |
| $s =$       | 0.000 |                    |
| $a =$       | 0.557 |                    |
| $E_m =$     | 999   | MPa                |
| $q_{ult} =$ | 56.4  | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{ad} =$  | 18.8  | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $K_v =$     | 6.22  | Kg/cm <sup>2</sup> |
| $\tau =$    | 8.3   | Kg/cm <sup>2</sup> |

Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

Parámetros de deformación

Capacidad de soporte última

Capacidad admisible del macizo rocoso

Coefficiente de Balasto

Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)



Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP No. 36228  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima

**A  
n  
e  
x  
o  
  
C 2**

**DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DEL TUNEL**



**Ing. David Valenzuela Chiribos**  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



## DISEÑO EMPÍRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TÚNEL GRIMSTAD Y BARTON (1993)

VERSION V1.1

Código del proyecto : -  
 Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : TUNEL 1  
 Tramo : Roca Tipo I  
 Realizado : Ing. H. Sotelo  
 Fecha : octubre del 2014

### A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Tipo de roca                                | : TONALITA - DIORITA     |
| Densidad de la roca                         | : 2700 kg/m <sup>3</sup> |
| Valoración del macizo rocoso ( $IMR_{10}$ ) | : 81                     |
| Índice $Q$ (Barton <i>et al.</i> 1974)      | : 35.0                   |
| Número de familias ( $N^*$ )                | : 3                      |

### B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL

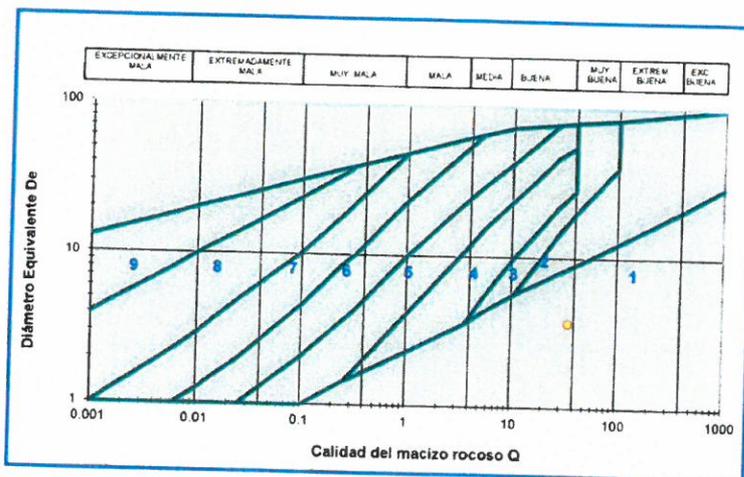
Sección tipo : herradura  
 Ancho o Diámetro : 3.0 m

### C). USO DEL TUNEL

ESR : 0.8

### D). EVALUACION

Diámetro equivalente : 3.75 m  
 Categoría del sostenimiento : 1  
 Calificación de la roca : Buena



### E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO

- No requiere de sostenimiento

### F). VERIFICACION

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976)            | : 0.57 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton <i>et al.</i> , 1974) | : 0.00 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida)                     | : 0.57 m                   |
| Presión vertical sobre la bóveda                                   | : 1539.0 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre los hastiales                               | : 461.7 kg/m <sup>2</sup>  |
| Presión uniforme sobre la solera (piso)                            | : 769.5 kg/m <sup>2</sup>  |



  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 36229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima



**SOTEL & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y ARQUITECTURA

**DISEÑO EMPÍRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TÚNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto : -

Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : **TUNEL 1**

Tramo : **Roca Tipo II**

Realizado : **Ing H. Sotelo**

Fecha : **octubre del 2014**

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

Tipo de roca : **TONALITA - DIORITA**  
Densidad de la roca : **2700 kg/m<sup>3</sup>**  
Valoración del macizo rocoso ( $RMR_{SV}$ ) : **61**  
Índice  $(I)$  (Barton *et al.* 1974) : **3.8**  
Número de familias ( $N^*$ ) : **3**

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

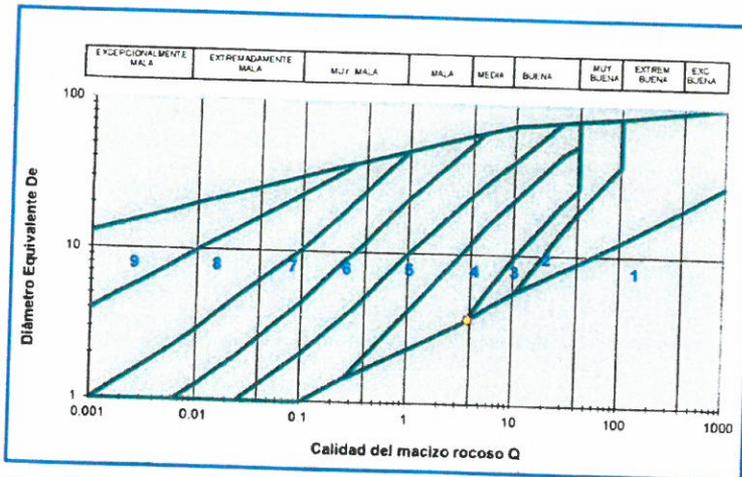
Sección tipo : **herradura**  
Ancho o Diámetro : **3.0 m**

**C). USO DEL TUNEL**

ESR : **0.8**

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : **3.75 m**  
Categoría del sostenimiento : **3**  
Calificación de la roca : **Mala**



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- Shotcrete de 2.2 cm
- Pernos de 1.8 m, espaciado a 2.1 m

Nota: si no se pone shotcrete el sostenimiento debe ser :

- Pernos de 1.8 m, espaciado a 1.5 m

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976) : **1.17 m**  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton *et al.*, 1974) : **0.00 m**  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida) : **1.17 m**  
Presión vertical sobre la bóveda : **3159.0 kg/m<sup>2</sup>**  
Presión uniforme sobre los hastiales : **947.7 kg/m<sup>2</sup>**  
Presión uniforme sobre la solera (piso) : **1579.5 kg/m<sup>2</sup>**



**Ing. David Valenzuela Chiribos**  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**SOTEL & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y SERVICIOS DE PROTECCION

**DISEÑO EMPIRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TUNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto :

Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : **TUNEL**

Tramo : **Roca Tipo III**

Realizado : **Ing H. Sotelo**

Fecha : **OCTUBRE del 2013**

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Tipo de roca                                | : TONALITA - DIORITA     |
| Densidad de la roca                         | : 2700 kg/m <sup>3</sup> |
| Valoración del macizo rocoso ( $RMR_{sv}$ ) | : 41                     |
| Indice $\psi$ (Barton <i>et al.</i> 1974)   | : 0.4                    |
| Número de familias ( $N^*$ )                | : 3                      |

**B). CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TUNEL**

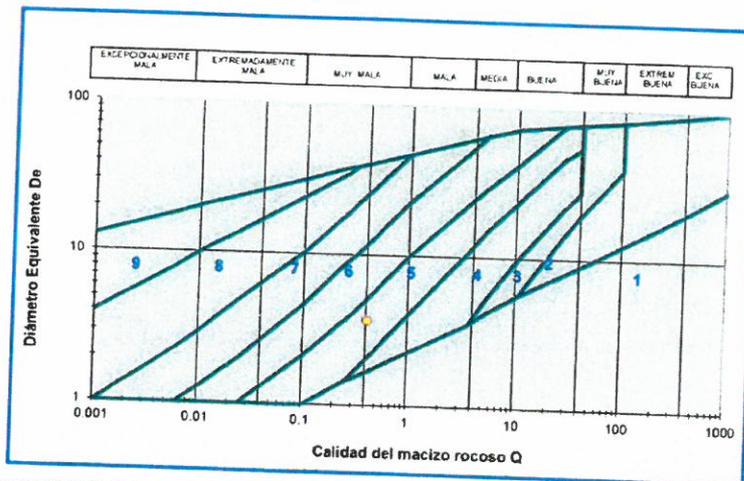
|                  |             |
|------------------|-------------|
| Sección tipo     | : herradura |
| Ancho o Diámetro | : 3.0 m     |

**C). USO DEL TUNEL**

ESR : 0.8

**D). EVALUACION**

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| Diámetro equivalente        | : 3.75 m   |
| Categoría del sostenimiento | : 5        |
| Calificación de la roca     | : Muy mala |



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- Shotcrete de 7.3 cm con fibras
- Pernos de 1.8 m, espaciado a 1.5 m

Nota: si no se pone shotcrete el sostenimiento debe ser :

- Pernos de 1.8 m, espaciado a 1 m

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976)            | : 1.77 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton <i>et al.</i> , 1974) | : 0.00 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida)                     | : 1.77 m                   |
| Presión vertical sobre la bóveda                                   | : 4779.0 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre los hastiales                               | : 1433.7 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre la solera (piso)                            | : 2389.5 kg/m <sup>2</sup> |



**Ing. David Valenzuela Cármon**  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

VERSION V1.1

 Código del proyecto :  
 Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

 Zona : **TUNEL 1**  
 Tramo : **Roca Tipo IV**

 Realizado : **Ing. H. Sotelo**  
 Fecha : **OCTUBRE del 2013**
**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Tipo de roca                                | : TONALITA - DIORITA     |
| Densidad de la roca                         | : 2700 kg/m <sup>3</sup> |
| Valoración del macizo rocoso ( $JMR_{AV}$ ) | : 21                     |
| Índice $\zeta$ (Barton <i>et al.</i> 1974)  | : 0.0                    |
| Número de familias ( $N^*$ )                | : 3                      |

**B). CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TUNEL**

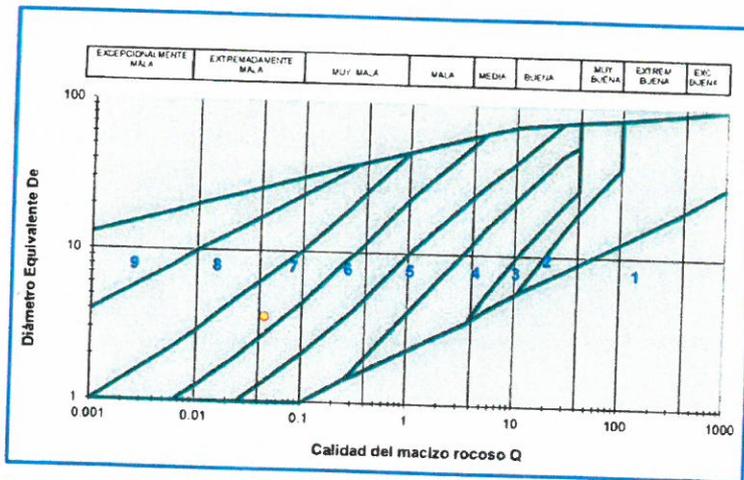
|                  |             |
|------------------|-------------|
| Sección tipo     | : herradura |
| Ancho o Diámetro | : 3.0 m     |

**C). USO DEL TUNEL**

|     |       |
|-----|-------|
| ESR | : 0.8 |
|-----|-------|

**D). EVALUACION**

|                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| Diámetro equivalente        | : 3.75 m              |
| Categoría del sostenimiento | : 7                   |
| Calificación de la roca     | : Extremadamente mala |


**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- Shotcrete de 12.9 cm con fibras
- Pernos de 1.8 m, espaciado a 1.2 m

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976)            | : 2.37 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton <i>et al.</i> , 1974) | : 0.00 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida)                     | : 2.37 m                   |
| Presión vertical sobre la bóveda                                   | : 6399.0 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre los hastiales                               | : 1919.7 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre la solera (piso)                            | : 3199.5 kg/m <sup>2</sup> |



  
**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
 CIP No. 36228  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima



**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERÍA Y SISTEMAS DE PROYECTOS

**DISEÑO EMPÍRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TÚNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto : -

Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : TUNEL 2  
Tramo : Roca Tipo I

Realizado : Ing H. Sotelo  
Fecha : octubre del 2014

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Tipo de roca                                 | : GABRO - DIORITA        |
| Densidad de la roca                          | : 3000 kg/m <sup>3</sup> |
| Valoración del macizo rocoso ( $RAIR_{Rv}$ ) | : 81                     |
| Índice Q (Barton <i>et al.</i> 1974)         | : 35.0                   |
| Número de familias ( $N^*$ )                 | : 3                      |

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

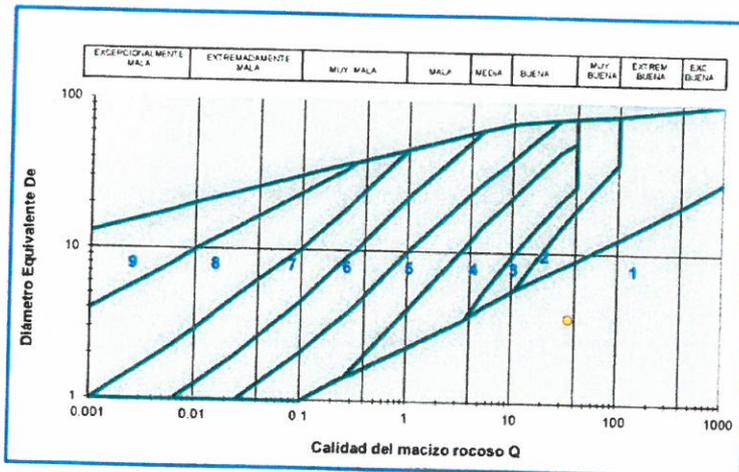
Sección tipo : herradura  
Ancho o Diámetro : 3.0 m

**C). USO DEL TUNEL**

ESR : 0.8

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : 3.75 m  
Categoría del sostenimiento : 1  
Calificación de la roca : Buena



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- No requiere de sostenimiento

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976)            | : 0.57 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton <i>et al.</i> , 1974) | : 0.00 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida)                     | : 0.57 m                   |
| Presión vertical sobre la bóveda                                   | : 1710.0 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre los hastiales                               | : 513 kg/m <sup>2</sup>    |
| Presión uniforme sobre la solera (piso)                            | : 855 kg/m <sup>2</sup>    |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**SOTEL & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y CIENCIAS DEL PASTICERO

**DISEÑO EMPÍRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TÚNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto :

Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : **TUNEL 2**

Tramo : **Roca Tipo II**

Realizado : **Ing H. Sotelo**

Fecha : **octubre del 2014**

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

Tipo de roca : **GABRO - DIORITA**  
Densidad de la roca : **3000 kg/m<sup>3</sup>**  
Valoración del macizo rocoso ( $RMR_{sp}$ ) : **62**  
Índice ( $I$ ) (Barton *et al.* 1974) : **4.2**  
Número de familias ( $N^*$ ) : **3**

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

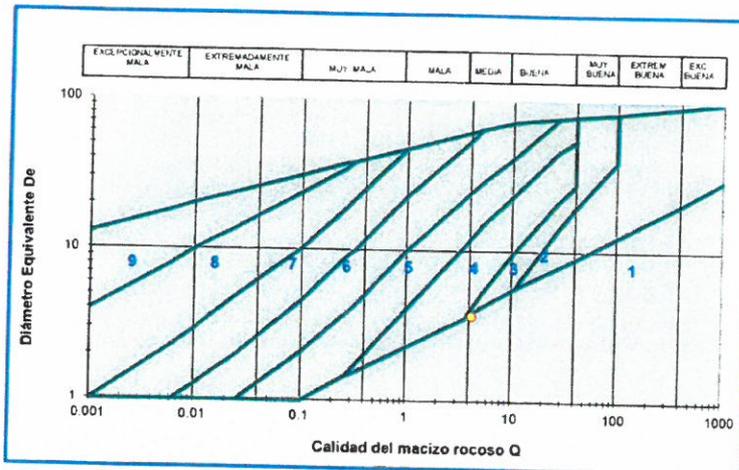
Sección tipo : **herradura**  
Ancho o Diámetro : **3.0 m**

**C). USO DEL TUNEL**

ESR : **0.8**

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : **3.75 m**  
Categoría del sostenimiento : **1**  
Calificación de la roca : **Media**



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- No requiere de sostenimiento

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976) : **1.14 m**  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton *et al.*, 1974) : **0.00 m**  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida) : **1.14 m**  
Presión vertical sobre la bóveda : **3420.0 kg/m<sup>2</sup>**  
Presión uniforme sobre los hastiales : **1026 kg/m<sup>2</sup>**  
Presión uniforme sobre la solera (piso) : **1710 kg/m<sup>2</sup>**



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y SERVICIOS DE PROYECTO

**DISEÑO EMPÍRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TÚNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto : -  
Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : TUNEL 2  
Tramo : Roca Tipo III

Realizado : Ing H. Sotelo  
Fecha : OCTUBRE del 2013

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

Tipo de roca : GABRO - DIORITA  
Densidad de la roca : 3000 kg/m<sup>3</sup>  
Valoración del macizo rocoso ( $RMR_{89}$ ) : 51  
Índice  $Q$  (Barton *et al.* 1974) : 12  
Número de familias ( $N^*$ ) : 3

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

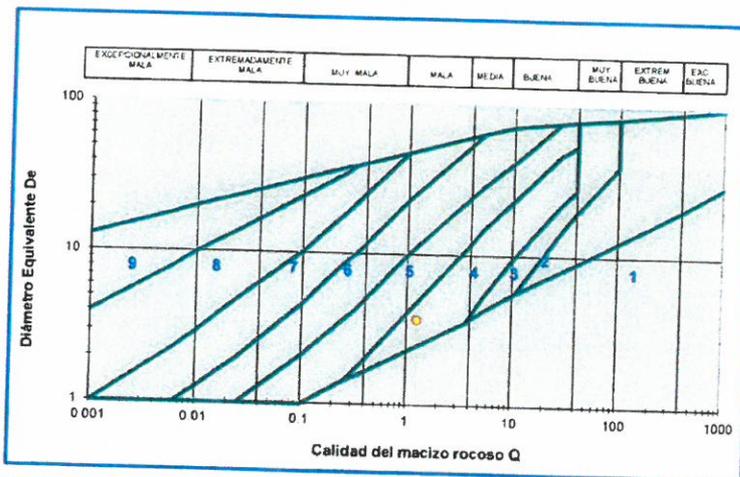
Sección tipo : herradura  
Ancho o Diámetro : 3.0 m

**C). USO DEL TUNEL**

ENR : 0.8

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : 3.75 m  
Categoría del sostenimiento : 4  
Calificación de la roca : Mala



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- Shotcrete de 4.6 cm
- Pernos de 1.8 m, espaciado a 1.7 m

Nota: si no se pone shotcrete el sostenimiento debe ser :  
- Pernos de 1.8 m, espaciado a 1.3 m

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976) : 1.47 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton *et al.*, 1974) : 0.00 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida) : 1.47 m  
Presión vertical sobre la bóveda : 4410.0 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre los hastiales : 1323 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre la solera (piso) : 2205 kg/m<sup>2</sup>



**Ing. David Velazquez Chirinos**  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



VERSION V1.1

Código del proyecto : -  
Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : TUNEL 2  
Tramo : Roca Tipo IV  
Realizado : Ing. H. Sotelo  
Fecha : OCTUBRE del 2013

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

Tipo de roca : GABRO - DIORITA  
Densidad de la roca : 3000 kg/m<sup>3</sup>  
Valoración del macizo rocoso (RMR<sub>93</sub>) : 21  
Índice Q (Barton *et al.* 1974) : 0.0  
Número de familias (N\*) : 4

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

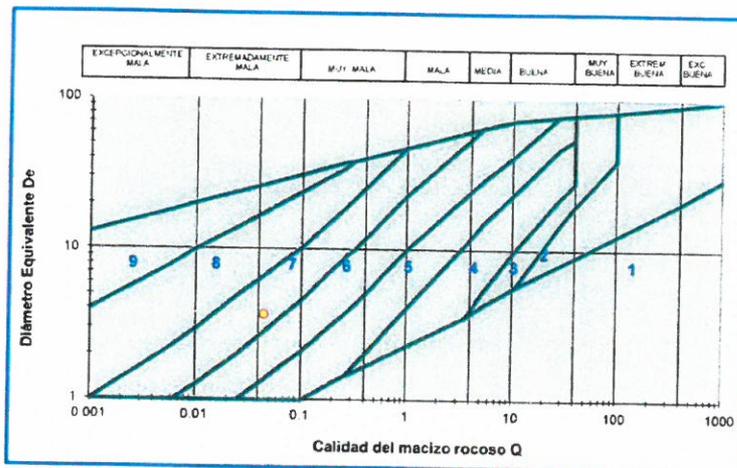
Sección tipo : herradura  
Ancho o Diámetro : 3.0 m

**C). USO DEL TUNEL**

ESR : 0.8

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : 3.75 m  
Categoría del sostenimiento : 7  
Calificación de la roca : Extremadamente mala



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- Shotcrete de 12.9 cm con fibras
- Pernos de 1.8 m, espaciado a 1.2 m

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976) : 2.37 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton *et al.*, 1974) : 0.00 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida) : 2.37 m  
Presión vertical sobre la bóveda : 7110.0 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre los hastiales : 2133 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre la solera (piso) : 3555 kg/m<sup>2</sup>



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y SERVICIOS DE PROYECTO

**DISEÑO EMPÍRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TÚNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto : -  
Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : TUNEL 3  
Tramo : Roca Tipo I

Realizado : Ing. H. Sotelo  
Fecha : octubre del 2014

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

Tipo de roca : GABRO - DIORITA  
Densidad de la roca : 3000 kg/m<sup>3</sup>  
Valoración del macizo rocoso ( $RMR_{sv}$ ) : 81  
Índice  $\rho$  (Barton *et al.* 1974) : 35.0  
Número de familias ( $N^*$ ) : 3

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

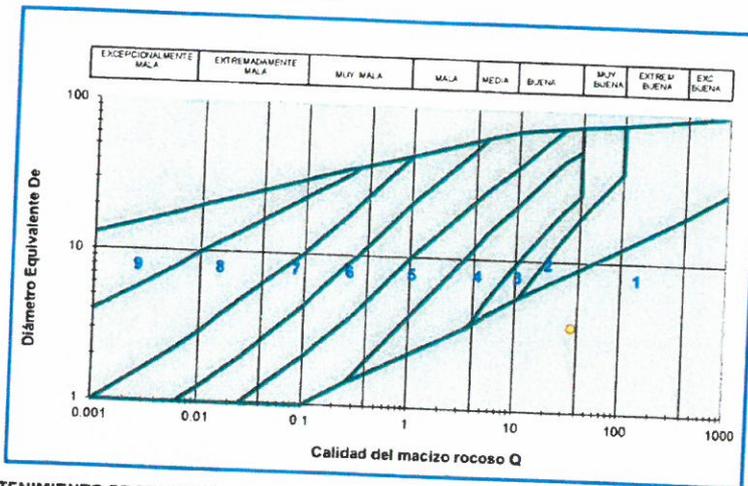
Sección tipo : herradura  
Ancho o Diámetro : 3.0 m

**C). USO DEL TUNEL**

ENR : 0.8

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : 3.75 m  
Categoría del sostenimiento : 1  
Calificación de la roca : Buena



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- No requiere de sostenimiento

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976) : 0.57 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton *et al.*, 1974) : 0.00 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida) : 0.57 m  
Presión vertical sobre la bóveda : 1710.0 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre los hastiales : 513 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre la solera (piso) : 855 kg/m<sup>2</sup>



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**SOTEL & ASOCIADOS**  
INGENIERIA Y GERENCIA DE PROYECTOS

**DISEÑO EMPIRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TUNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto : -  
Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : **TUNEL 3**  
Tramo : **Roca Tipo II**

Realizado : **Ing H. Sotelo**  
Fecha : **octubre del 2014**

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

Tipo de roca : **GABRO - DIORITA**  
Densidad de la roca : **3000 kg/m<sup>3</sup>**  
Valoración del macizo rocoso ( $RMR_{uv}$ ) : **62**  
Indice  $Q$  (Barton *et al.* 1974) : **4.2**  
Número de familias ( $N^*$ ) : **3**

**B). CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TUNEL**

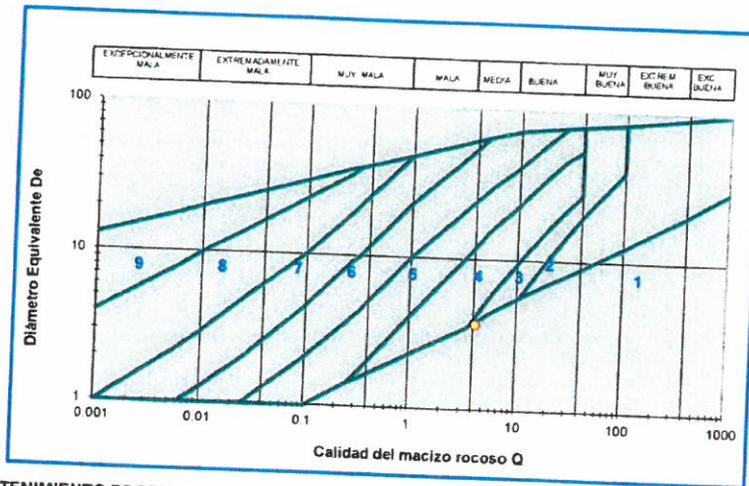
Sección tipo : **herradura**  
Ancho o Diámetro : **3.0 m**

**C). USO DEL TUNEL**

ESR : **0.8**

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : **3.75 m**  
Categoría del sostenimiento : **1**  
Calificación de la roca : **Media**



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- No requiere de sostenimiento

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976)            | : 1.14 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton <i>et al.</i> , 1974) | : 0.00 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida)                     | : 1.14 m                   |
| Presión vertical sobre la bóveda                                   | : 3420.0 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre los hastiales                               | : 1026 kg/m <sup>2</sup>   |
| Presión uniforme sobre la solera (piso)                            | : 1710 kg/m <sup>2</sup>   |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 38228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



VERSION V1.1

Código del proyecto : -

Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : **TUNEL 3**

Tramo : **Roca Tipo III**

Realizado : **Ing H. Sotelo**

Fecha : **OCTUBRE del 2013**

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

|   |   |                        |
|---|---|------------------------|
| Tipo de roca                                      | : | GABRO - DIORITA        |
| Densidad de la roca                               | : | 3000 kg/m <sup>3</sup> |
| Valoración del macizo rocoso (RMR <sub>90</sub> ) | : | 51                     |
| Índice Q (Barton <i>et al.</i> 1974)              | : | 1.2                    |
| Número de familias (N <sup>*</sup> )              | : | 3                      |

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

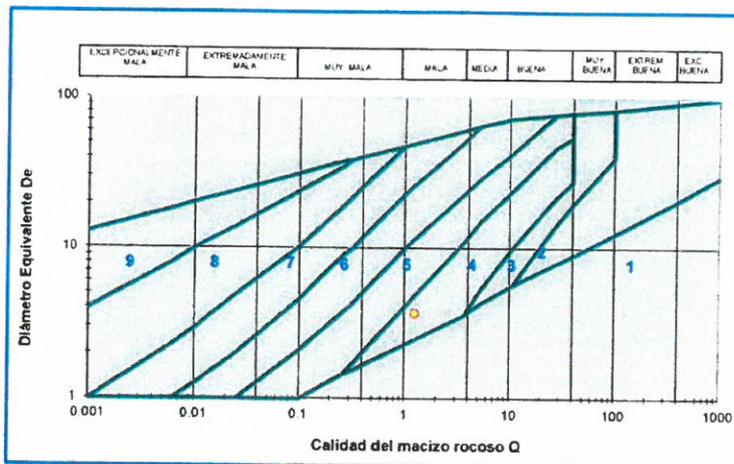
|                  |   |           |
|------------------|---|-----------|
| Sección tipo     | : | herradura |
| Ancho o Diámetro | : | 3.0 m     |

**C). USO DEL TUNEL**

ESR : 0.8

**D). EVALUACION**

|                             |   |        |
|-----------------------------|---|--------|
| Diámetro equivalente        | : | 3.75 m |
| Categoría del sostenimiento | : | 4      |
| Calificación de la roca     | : | Mala   |



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- Shotcrete de 4.6 cm
- Pemos de 1.8 m, espaciado a 1.7 m

Nota: si no se pone shotcrete el sostenimiento debe ser :

- Pemos de 1.8 m, espaciado a 1.3 m

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

|  |   |                          |
|--|---|--------------------------|
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976)            | : | 1.47 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton <i>et al.</i> , 1974) | : | 0.00 m                   |
| Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida)                     | : | 1.47 m                   |
| Presión vertical sobre la bóveda                                   | : | 4410.0 kg/m <sup>2</sup> |
| Presión uniforme sobre los hastiales                               | : | 1323 kg/m <sup>2</sup>   |
| Presión uniforme sobre la solera (piso)                            | : | 2205 kg/m <sup>2</sup>   |



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



**SOTELO & ASOCIADOS**  
INGENIERÍA Y ASISTENCIA DE PROYECTO

**DISEÑO EMPÍRICO DEL SOSTENIMIENTO DE TÚNEL  
GRIMSTAD Y BARTON (1993)**

VERSION V1.1

Código del proyecto : -

Proyecto : **OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCIÓN PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA**

Zona : **TUNEL 3**

Tramo : **Roca Tipo IV**

Realizado : **Ing H. Sotelo**

Fecha : **OCTUBRE del 2013**

**A). PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO**

Tipo de roca : **GABRO - DIORITA**  
Densidad de la roca : **3000 kg/m<sup>3</sup>**  
Valoración del macizo rocoso ( $RMR_{sv}$ ) : **21**  
Índice  $Q$  (Barton *et al.* 1974) : **0.0**  
Número de familias ( $N^*$ ) : **4**

**B). CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TUNEL**

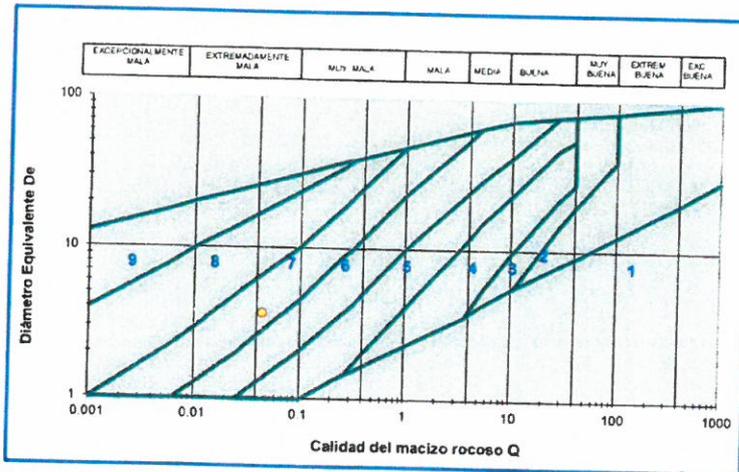
Sección tipo : **herradura**  
Ancho o Diámetro : **3.0 m**

**C). USO DEL TUNEL**

$ESR$  : **0.8**

**D). EVALUACION**

Diámetro equivalente : **3.75 m**  
Categoría del sostenimiento : **7**  
Calificación de la roca : **Extremadamente mala**



**E). SOSTENIMIENTO PROPUESTO**

- Shotcrete de 12.9 cm con fibras
- Pemos de 1.8 m, espaciado a 1.2 m

**F). VERIFICACION**

De acuerdo con Unal (1993) la carga sobre el sostenimiento

Carga de roca sobre el sostenimiento (Bieniawski, 1976) : 2.37 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Barton *et al.*, 1974) : 0.00 m  
Carga de roca sobre el sostenimiento (Asumida) : 2.37 m  
Presión vertical sobre la bóveda : 7110.0 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre los hastiales : 2133 kg/m<sup>2</sup>  
Presión uniforme sobre la solera (piso) : 3555 kg/m<sup>2</sup>



**Ing. David Valenzuela Chirinos**  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

**A  
n  
e  
x  
o  
D**

**PANEL FOTOGRÁFICO**



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

# PANEL FOTOGRÁFICO

## EXPLORACIONES GEOFÍSICAS



FOTO 01: Ubicación de la línea MASW-LS 07 (PORTA DE SALIDA - TUNEL 1)

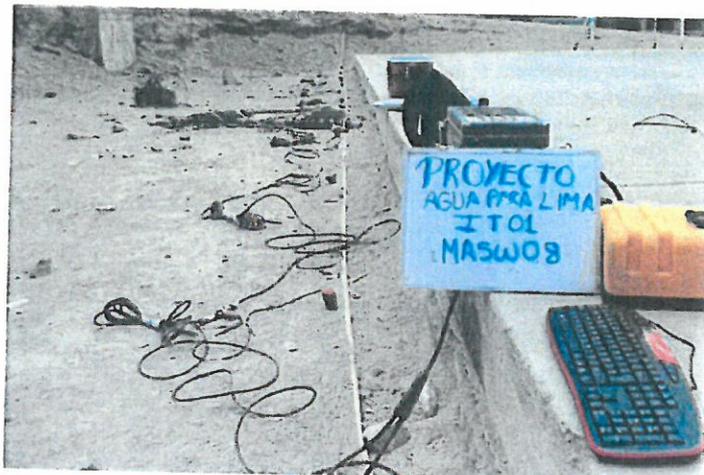


FOTO 02: Ubicación de la línea MASW-LS 08 (PORTAL DE ENTRADA - TUNEL 1)





FOTO 03: Ubicación de la línea MASW-LS 01 (PORTAL DE ENTRADA - TUNEL 02)

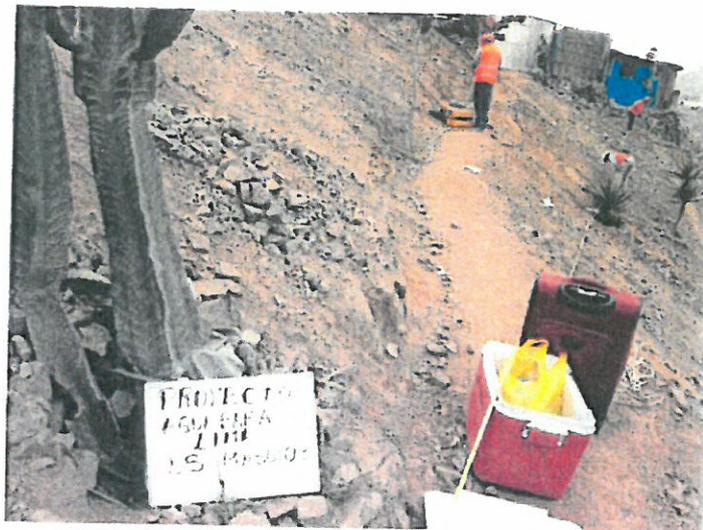


FOTO 04: Ubicación de la línea MASW-LS 03 (PORTAL DE SALIDA - TUNEL 2)





FOTO 05: Ubicacion de la línea MASW-13 (PORTAL DE ENTRADA – TUNEL 3)



FOTO 06: Ubicación de la línea MASW-14. (PORTAL DE SALIDA – TUNEL 3)





FOTO 07: Ubicación de la línea MAM 10 (TUNEL 01)



FOTO 8: Ubicación de la línea MAM 11 (TUNEL 01)





FOTO 9: Ubicación de la línea MAM 12 (TUNEL 02)



FOTO 10: Ubicación de la línea MAM 13 (TUNEL 02)



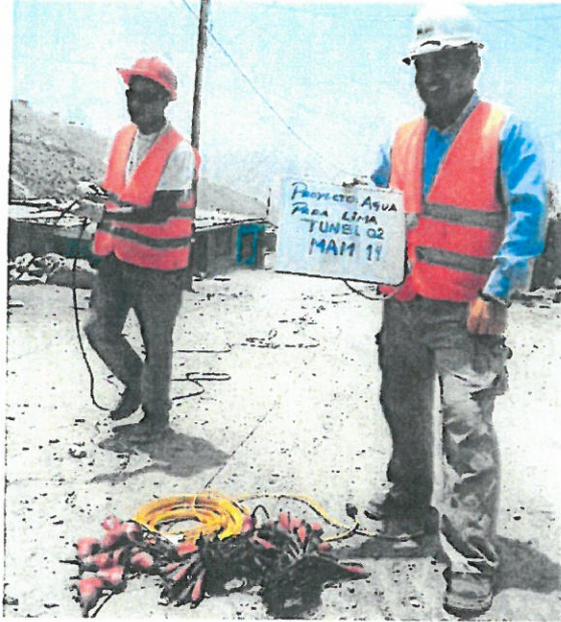


FOTO 11: Ubicación de la línea MAM 14 (TUNEL 02)



FOTO 12: Ubicación de la línea MAM 15 (TUNEL 02)



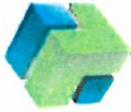


FOTO 13: Ubicacion de la línea MAM-02 (TUNEL 3)



FOTO 14: Ubicación de la línea MAM -03 (TUNEL 3)





## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 291101 E, 8667427 N; ATE-VITARTE  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN  
GEOMECÁNICA N° DE EXPLORACIÓN: EG-1 (Portal Entrada Túnel 1)



FOTO 15: Vista estación geomecánica EG - 1

## PANEL FOTOGRÁFICO

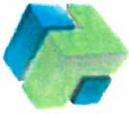
COORDENADAS: 291101 E, 8667427 N; ATE-VITARTE  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA N°  
DE EXPLORACIÓN: EG-1 (PORTAL Entrada Túnel 1)



FOTO 16: Muestras tomadas en estación geomecánica EG- 1



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



### PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 291654 E, 8666150 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN  
GEOMECÁNICA N° DE EXPLORACIÓN: EG-2 (Punto Central Túnel 1)



FOTO 17: Vista estación geomecánica EG-2

### PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 291654 E, 8666150 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
N° DE EXPLORACIÓN: EG-2 (Punto Central Túnel 1)

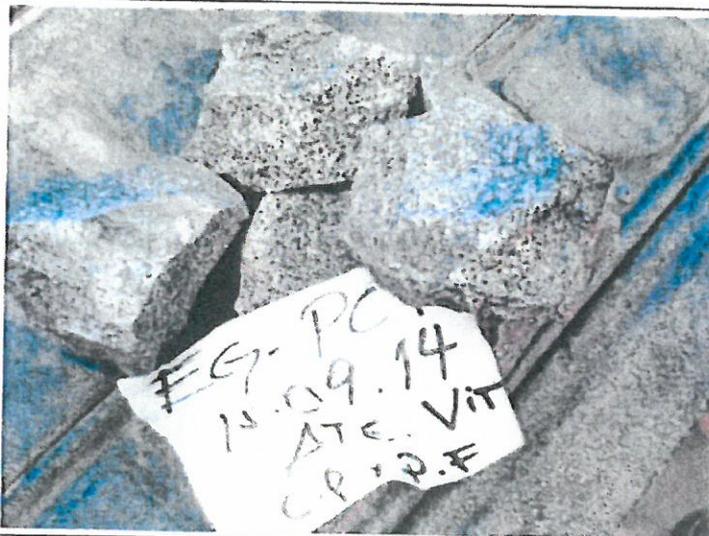


FOTO 18: Muestras tomadas en estación geomecánica EG-2



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 291450 E, 8665863 N; La Molina  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN  
GEOMECÁNICA N° DE EXPLORACIÓN: EG-3 (Portal Salida Túnel 1)



FOTO 19: Vista estación geomecánica EG-3

## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 291450 E, 8665863 N; La Molina  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN  
GEOMECÁNICA N° DE EXPLORACIÓN: EG-3 (Portal Salida Túnel 1)



FOTO 20: Vista acceso a estación EG-3



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36228  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 293385 E, 86627761 N; La Molina  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
Nº DE EXPLORACIÓN: EG-1 (Portal Entrada Túnel 2)



FOTO 21: Vista estación geomecánica EG-1

## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 293385 E, 86627761 N; La Molina  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
Nº DE EXPLORACIÓN: EG-1 (Portal Entrada Túnel 2)

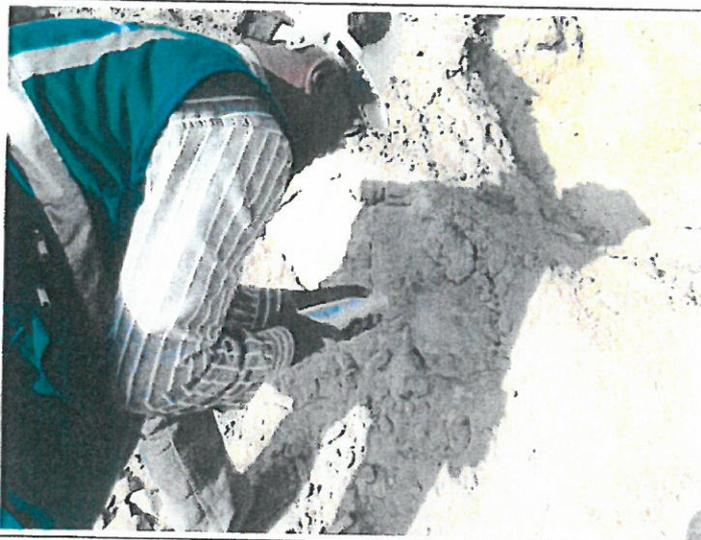


FOTO 22: Ensayo con martillo de Smith estación geomecánica EG-1



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 294928E, 8660732 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
N° DE EXPLORACIÓN: EG-3 (Punto Central Túnel 2)



FOTO 23: Vista estación geomecánica EG-3

## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 294928E, 8660732 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
N° DE EXPLORACIÓN: EG-3 (Punto Central Túnel 2)



FOTO 24: Ensayo con martillo de Smith estación geomecánica EG-3



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 362218  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 296070 E, 8659444 N; Manchay  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
Nº DE EXPLORACIÓN: EG-5 (Punto Salida Túnel 2)



FOTO 25: Vista estación geomecánica EG-5

## PANEL FOTOGRÁFICO

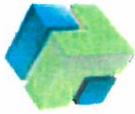
COORDENADAS: 296070 E, 8659444 N; Manchay  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
Nº DE EXPLORACIÓN: EG-5 (Punto Salida Túnel 2)



FOTO 26: Ensayo con martillo de Smith estación geomecánica EG-5



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



## PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 294163 E, 8654848 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
Nº DE EXPLORACIÓN: EG-1 (Portal de Entrada Túnel 3)



FOTO 27: Vista estación geomecánica EG-1

## PANEL FOTOGRÁFICO

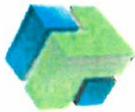
COORDENADAS: 294163 E, 8654848 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
Nº DE EXPLORACIÓN: EG-1 (Portal de Entrada Túnel 3)



FOTO 28: Ensayo con martillo de Smith estación geomecánica EG-1



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima



### PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 293501 E, 8654545 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
N° DE EXPLORACIÓN: EG-3 (Punto Central Túnel 3)



FOTO 29: Vista estación geomecánica EG- 3

### PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 293501 E, 8654545 N  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
N° DE EXPLORACIÓN: EG-3 (Punto Central Túnel 3)

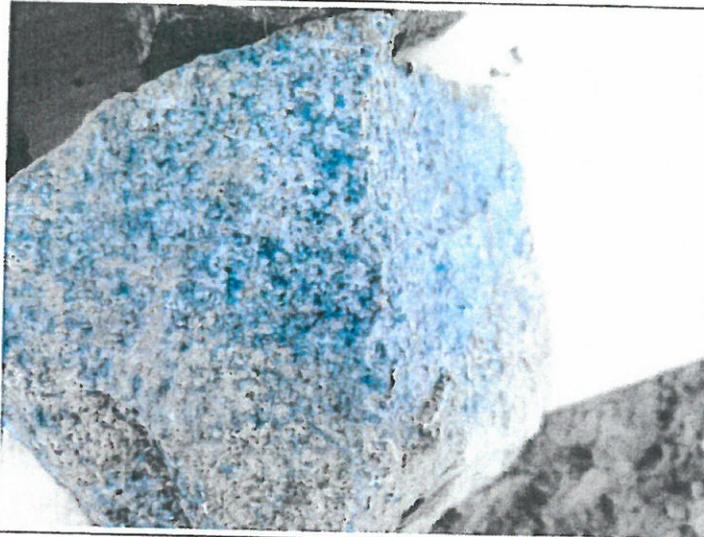


FOTO 30: Muestra de mano en estación geomecánica EG-3



Ing. David Valenzuela Cárminos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima



### PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 291591 E, 8653599 N; VMT  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
N° DE EXPLORACIÓN: EG-4 (Punto Salida Túnel 3)



FOTO 31: Vista estación geomecánica EG-4

### PANEL FOTOGRÁFICO

COORDENADAS: 291591 E, 8653599 N; VMT  
TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: ESTACIÓN GEOMECÁNICA  
N° DE EXPLORACIÓN: EG-4 (Punto Salida Túnel 3)



FOTO 32: Ensayo con martillo de Smith estación geomecánica EG-4



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 36229  
Jefe de Proyecto  
Consorcio Agua Para Lima

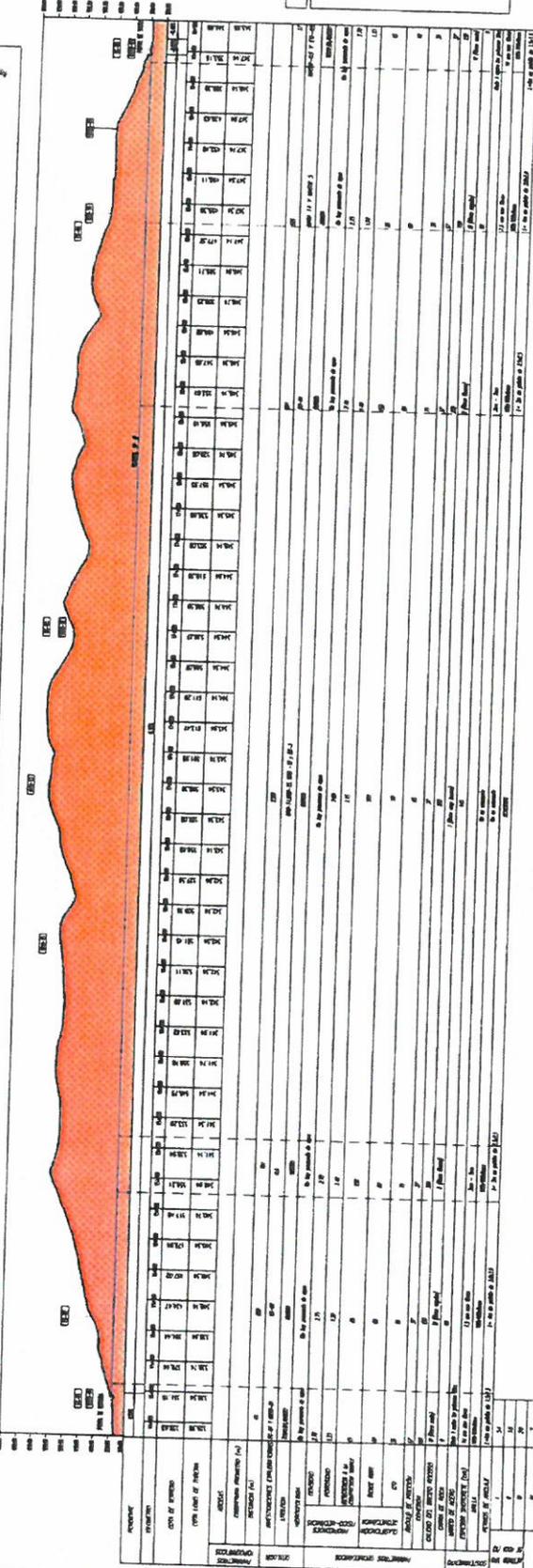
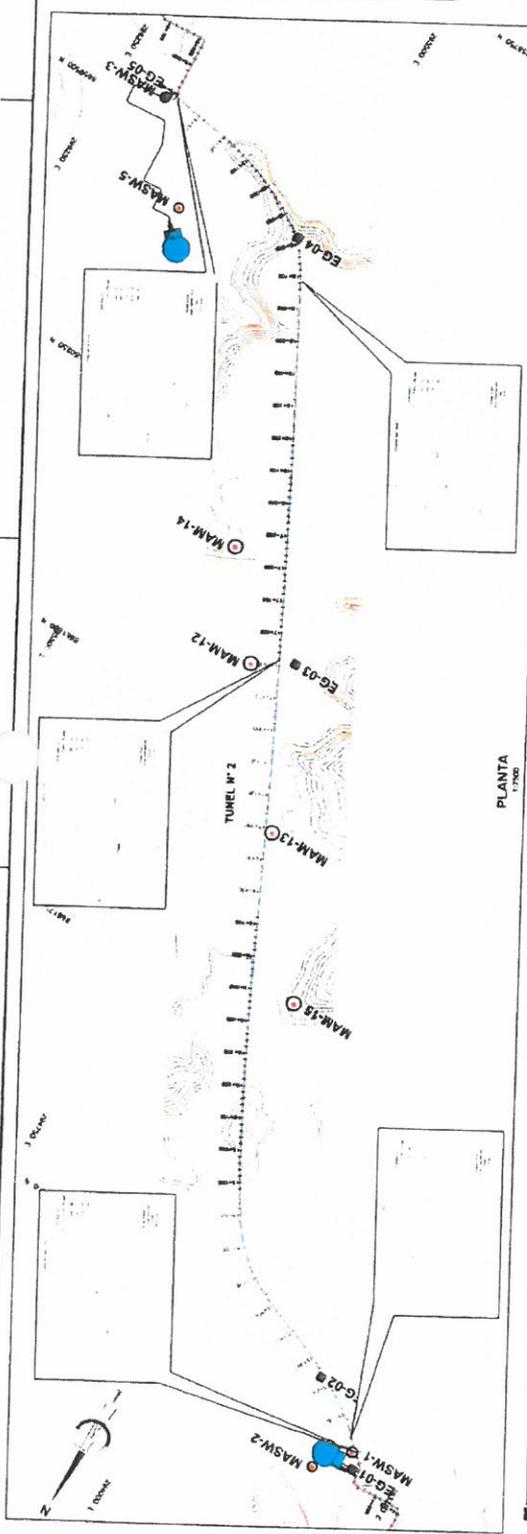
**A  
n  
e  
x  
o  
E**

**PLANOS**



  
Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP No. 38229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima





LEYENDA

| SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN           |
|---------|-----------------------|
| EG-01   | VALVULA DE EMERGENCIA |
| MAM-1   | MANIFUENDEO           |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| PROYECTO                   | OBRAS DE CABECERA Y CONDUCCION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LIMA RAMAL SUR |
| PLANTA Y PERFIL LITOLÓGICO | RS-1016-C-107  |
| FECHA                      | 14/06/2011   |
| PROYECTANTE                | CONSORCIO AGUA PARA LIMA   |
| REVISOR                    | DAVID VALENZUELA CHIRINOS  |
| APROBADO                   | DAVID VALENZUELA CHIRINOS  |
| FECHA APROBACION           | 14/06/2011   |
| ESTADO                     | PROYECTO   |
| ESCALA                     | 1:1000   |
| FECHA                      | 14/06/2011   |
| PROYECTANTE                | CONSORCIO AGUA PARA LIMA   |
| REVISOR                    | DAVID VALENZUELA CHIRINOS  |
| APROBADO                   | DAVID VALENZUELA CHIRINOS  |
| FECHA APROBACION           | 14/06/2011   |
| ESTADO                     | PROYECTO   |
| ESCALA                     | 1:1000   |
| FECHA                      | 14/06/2011   |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
CIP N° 38229  
Jefe de Proyecto  
Consortio Agua Para Lima

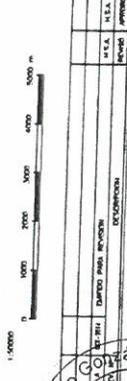
- NOTAS:
- 1.- SE RECOMIENDA UBICAR LOS PERFILES DE LOS TUNEL CON 4 METROS (4m) DE ANCHURA DE RIEGA.
  - 2.- LA PROFUNDIDAD DE LOS TUNEL DEBE SER DE 1.50 METROS (1.50m) PARA EL CONDUCCION DE AGUA.
  - 3.- USAR LOS DIAMETROS INDICADOS EN LOS PLANOS.
  - 4.- DISTANCIA DE CONDUCCION DEL TUNEL DE 11.50 METROS.





| LEYENDA | DESCRIPCION         |
|---------|---------------------|
| EG-01   | ESTACION GEOMETRICA |
| MASW-1  | PIENSA MASW         |
| MAM-1   | PIENSA MAM          |
| MSO     | CENTRO MUESTRA      |
|         | CURVA RECTANGULAR   |

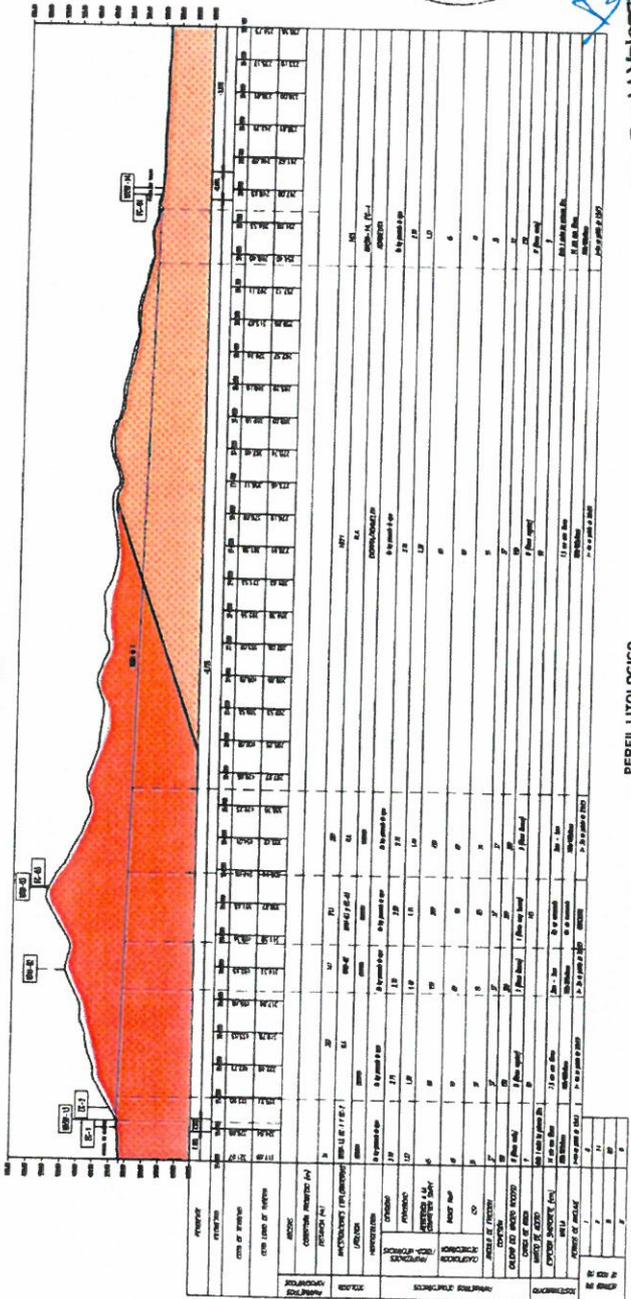
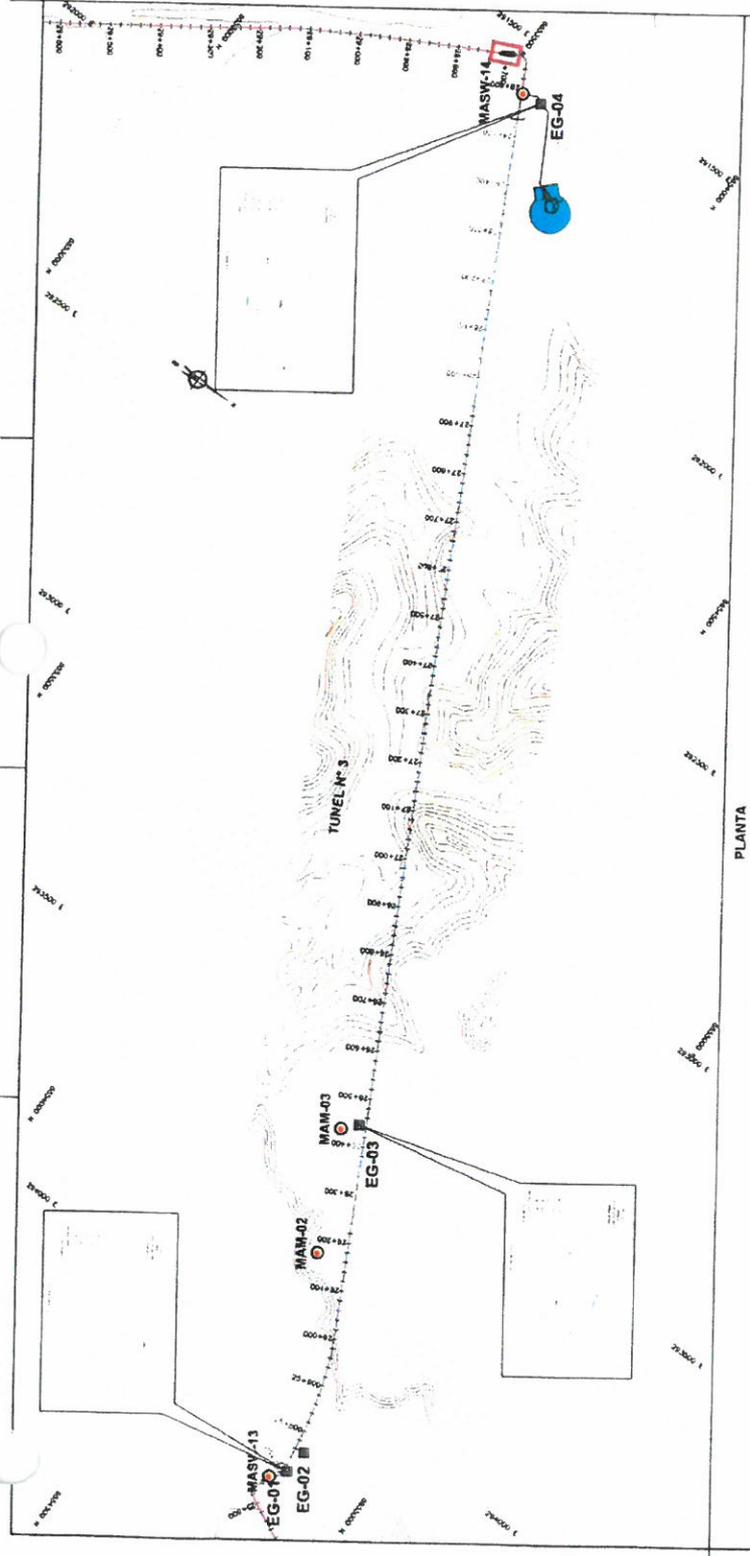
NOTAS:  
 1.- SE RECOMIENDA MARCAR LOS PUNTOS DE LOS TUBOS, CON AL MENOS DOS DE COORDENADAS DE PUNTO.  
 2.- LA LINEA DE MARCA DEBEN MARCARSE PARA EL FORMADO DE LAS CURVAS DE COORDENADAS.  
 3.- PARA LOS MUESTREOS DEBEN MARCARSE LOS PUNTOS DE MUESTREO.  
 4.- SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18Q, UTM.



|                            |                          |           |                          |
|----------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|
| PLANTA Y PERFIL LITOLOGICO |                          | PLANTA N° | 18Q-1006-07-403          |
| ESCALA                     | 1:50000                  | FECHA     | 10/11/2014               |
| PROYECTO                   | CONSORCIO AGUA PARA LIMA | PROYECTO  | CONSORCIO AGUA PARA LIMA |
| CLIENTE                    | CONSORCIO AGUA PARA LIMA | PROYECTO  | CONSORCIO AGUA PARA LIMA |
| FECHA                      | 10/11/2014               | PROYECTO  | CONSORCIO AGUA PARA LIMA |
| PROYECTO                   | CONSORCIO AGUA PARA LIMA | PROYECTO  | CONSORCIO AGUA PARA LIMA |
| PROYECTO                   | CONSORCIO AGUA PARA LIMA | PROYECTO  | CONSORCIO AGUA PARA LIMA |



Ing. David Valenzuela Chirinos  
 CIP No. 36229  
 Jefe de Proyecto  
 Consorcio Agua Para Lima



PERFIL LITOLOGICO  
1:50000