



**ESTUDIO GEOTECNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA UNIDAD
DURANGO, DEL CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
AVANZADOS (CIMAV), EN DURANGO, DGO**

NOVIEMBRE 2014

GEOSOLS
GEOTECNIA & CONTROL DE CALIDAD S.A.de C.V.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUCCION | 3 |
| <u>1.1 LOCALIZACIÓN</u> | 3 |
| <u>1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO</u> | 6 |
| <u>1.3 MARCO DE REFERENCIA</u> | 8 |
| 2 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO | 8 |
| <u>2.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA</u> | 8 |
| <u>2.2 FISIOGRAFÍA</u> | 9 |
| <u>2.3 CLIMA</u> | 10 |
| <u>2.4 EDAFOLOGÍA</u> | 11 |
| <u>2.5 HIDROGRAFÍA</u> | 12 |
| <u>2.6 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN</u> | 12 |
| <u>2.7 GEOLOGÍA</u> | 13 |
| 3 RIESGOS GEOLOGICOS | 17 |
| <u>3.1 RIESGO POR EXPANSIVIDAD:</u> | 17 |
| <u>3.2 RIESGO POR COLAPSO.</u> | 18 |
| <u>3.3 RIESGO POR INESTABILIDAD.</u> | 18 |
| 4 TRABAJOS DE EXPLORACION EN EL PREDIO | 18 |
| <u>4.1 ESTRATIGRAFÍA</u> | 23 |
| 5 CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO | 42 |
| 6 INTERPRETACION DE RESULTADOS | 47 |
| <u>6.1 PRUEBAS DE LABORATORIO</u> | 47 |
| <u>6.2 MATERIALES PARA EL CONTROL DE CALIDAD</u> | 69 |
| <u>6.2 CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE CORTE</u> | 70 |
| <u>6.3 TRABAJOS PREVIOS</u> | 71 |
| 7 CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTOS | 76 |
| 8 DISEÑO DE PAVIMENTOS | 78 |
| <u>8.1 FUNDAMENTO TEÓRICO DE MÉTODOS DE DISEÑO</u> | 78 |
| <u>8.1.1 MÉTODO DE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (A.A.S.H.T.O.)</u> | 78 |
| <u>8.1.2 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (U.N.A.M.)</u> | 80 |
| <u>8.1.3 MÉTODO DE THE PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (P.C.A.)</u> | 80 |
| <u>8.2 DATOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS</u> | 81 |
| <u>8.3 TRABAJOS PREVIOS</u> | 81 |
| <u>8.4 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE</u> | 82 |
| <u>8.4.1 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA U.N.A.M. DISPAV-5</u> | 82 |

| | |
|--|------------|
| 8.4.2 MÉTODO DEL INSTITUTO DE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (A.A.S.H.T.O.) (WINPAS) | 85 |
| 8.5 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO | 88 |
| 8.5.1 MÉTODO DE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (A.A.S.H.T.O.) (WINPAS) | 88 |
| 8.5.2 MÉTODO DE THE PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (P.C.A.) | 89 |
| 8.6 RESUMEN DE RESULTADOS | 92 |
| 8.6.1 ESPESORES PROPUESTOS PARA PAVIMENTO FLEXIBLE | 92 |
| 8.6.2 ESPESORES PROPUESTOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO | 92 |
| 8.6.3 DISEÑO DE JUNTAS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS | 93 |
| 8.7 CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA PAVIMENTOS | 95 |
| 8.7.1 SUBRASANTE | 95 |
| 8.7.2 BASE PARA PAVIMENTO FLEXIBLE | 96 |
| 8.7.3 CARPETA ASFÁLTICA | 98 |
| 8.7.4 BASE PARA PAVIMENTO RÍGIDO | 99 |
| 8.7.5 CONCRETO HIDRÁULICO | 101 |
| 9.0 ALCANCES | 101 |



1 INTRODUCCION

El presente estudio geotécnico tiene por objeto evaluar evaluar y caracterizar el subsuelo correspondiente correspondiente a un predio ubicado al poniente de la ciudad de Durango, sobre el Periférico Sur Durango, muy cercano al entronque con la carretera Durango-El Salto.

De acuerdo con el Lic. Nathanael Martínez Coronel del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), quien solicito el estudio, se trata de la construcción de las instalaciones del CIMAV, en la ciudad de Durango, Dgo.

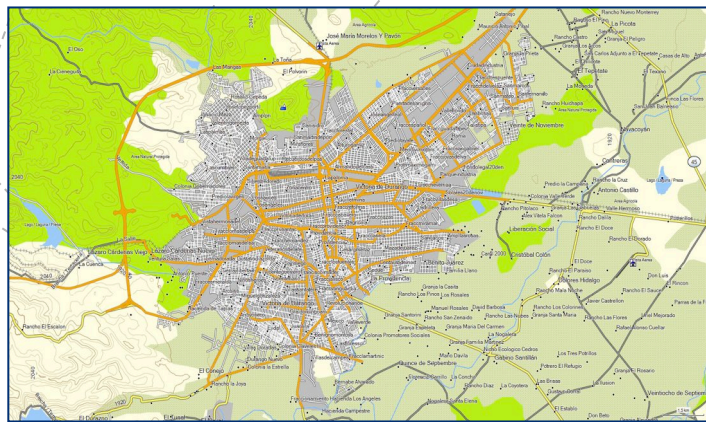
El estudio tiene como base el conocimiento global del suelo o roca de la zona, características y antecedentes del proyecto, la exploración geotécnica y los análisis de laboratorio. Su objetivo es cuantificar las propiedades geomecánicas del subsuelo. De manera general este estudio tiene como objetivos fundamentales los siguientes puntos:

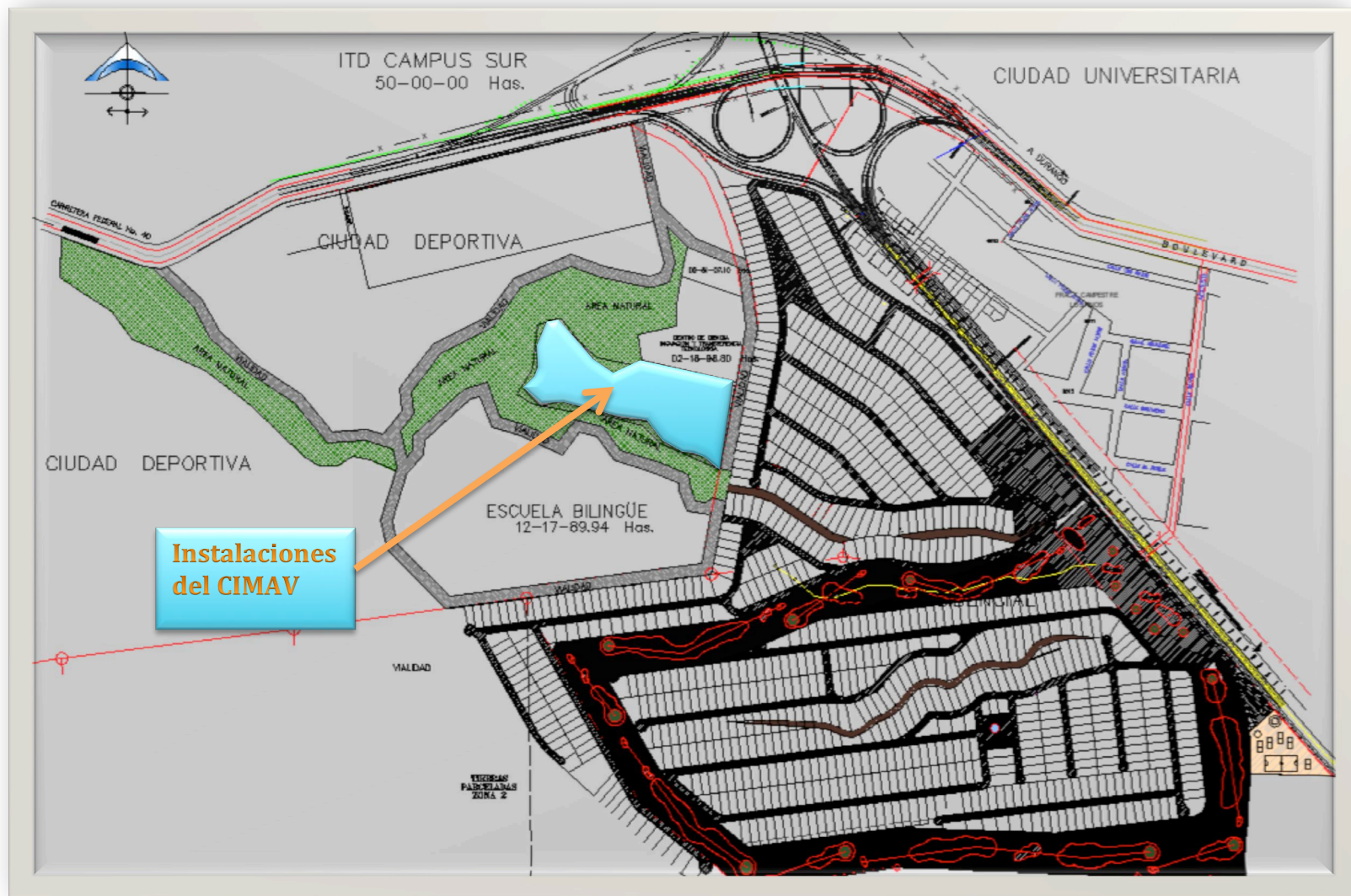
- Caracterización geotécnica del terreno
- Nivel Freático
- Tipo de cimentación recomendable
- Capacidad de carga admisible del terreno
- Sismicidad
- Diseño de pavimentos
- Recomendaciones Generales

1.1 Localización

De acuerdo con la información proporcionada el predio se localiza en una zona de la ciudad, en la cual se tienen proyectados importantes como escuelas, áreas deportivas y fraccionamientos, el predio esta ubicado al poniente de la ciudad de Durango, sobre el Periférico Sur Durango, muy cercano al entronque con la carretera Durango-El Salto.

Colindara al norte con el centro de Ciencia Innovación y Transferencia Tecnológica, al sur con una Escuela Bilingüe, al este por un fraccionamiento y al oeste por un área natural y una parte de la ciudad deportiva, como se puede ver las instalaciones del CIMAV, se encuentran dentro de una zona con proyectos importantes para la ciudad de Durango.



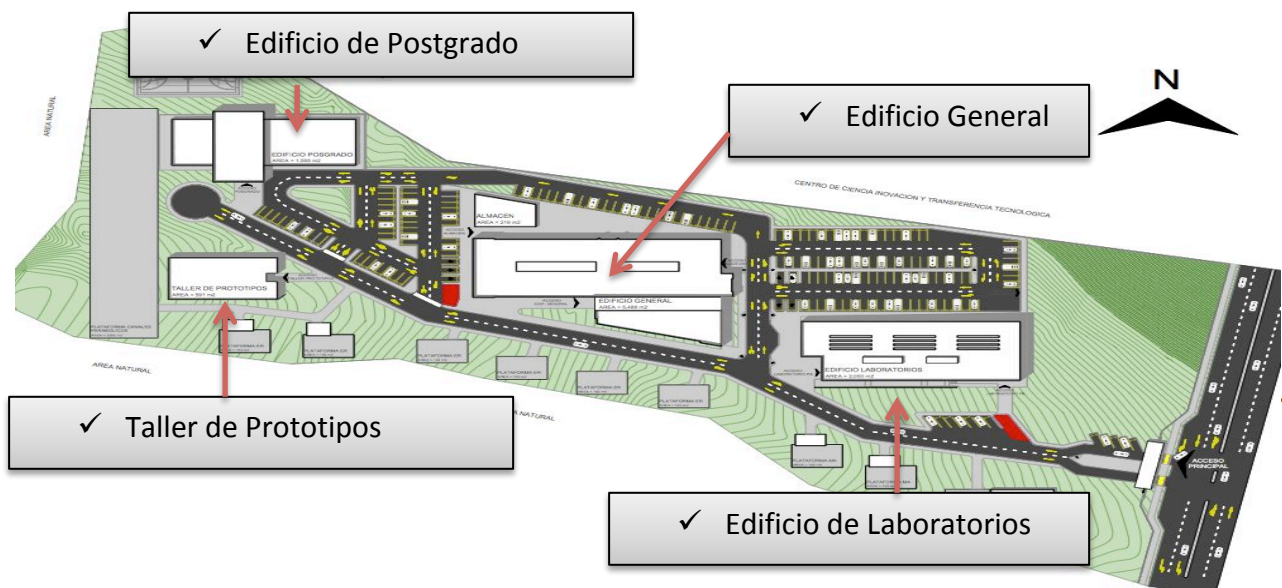


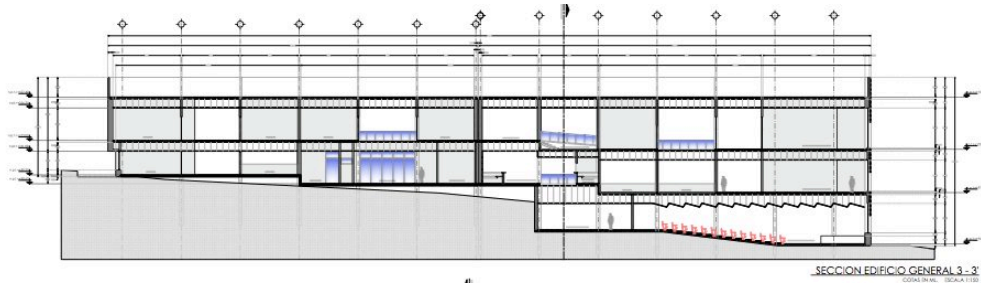
1.2 Características del Proyecto

- ❖ **Terreno:** El terreno presenta una topografía típica de lomerío fuerte, el terreno presenta un desnivel de aproximadamente 14.0 m.

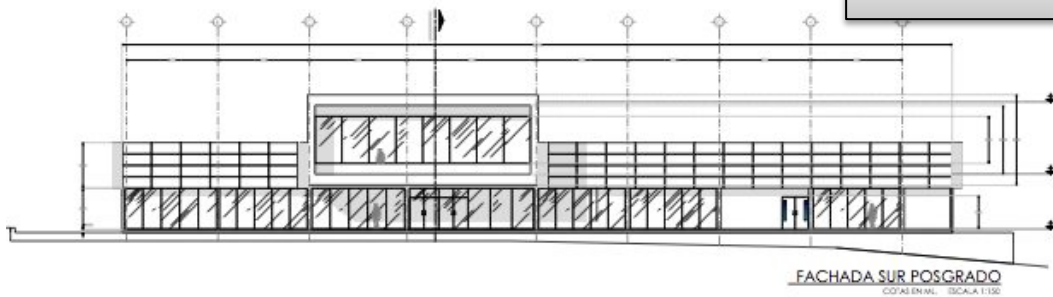


- ❖ **Estructuras:** De acuerdo con la información proporcionada a esta empresa, se trata de la construcción de 4 edificios que se consideran los mas importantes del proyecto aunque tenga mas construcciones de menor importancia, en la siguiente planta se muestra la ubicación de los mismos:

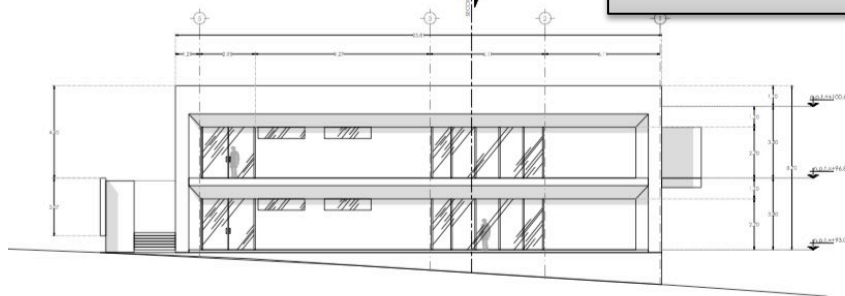




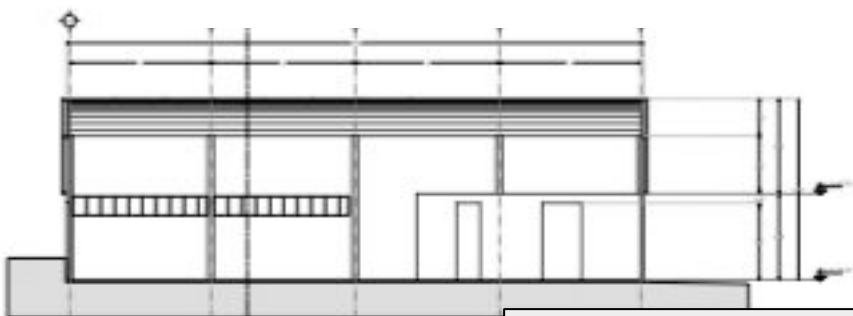
✓ Edificio General



✓ Edificio de Postgrado



✓ Edificio de Laboratorios



✓ Taller de prototipos

Como se puede ver en los cortes de las edificaciones principales la mayoría son de dos niveles con excepción del edificio General el cual es de dos niveles, el resto de las construcciones son de un nivel, se tienen algunas planchas de concreto y una cancha de basquetbol. La mayoría de las estructuras se harán mediante concreto armado.

1.3 Marco de Referencia

El presente estudio se realiza sobre la base de los antecedentes:

- a) Presupuesto del estudio elaborado por esta empresa y debidamente aceptado por el cliente.
- b) Visita previa efectuada al terreno para tomar antecedentes de la situación actual del terreno, las de terrenos circundantes y determinar el método de exploración mas adecuado.
- c) Visita al terreno y exploración geotécnica en la ultima semana de octubre del presente año.
- d) Inspección visual de muestras extraídas del terreno.
- e) Planos del anteproyecto presentados por el cliente

Modificaciones en el proyecto original, pueden introducir cambios importantes en el estudio. Eventualmente, puede ser necesario reorientar la exploración geotécnica, introduciendo nuevos puntos de exploración o profundidades de exploración mayores.

2 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación Geografica

Ubicación geográfica

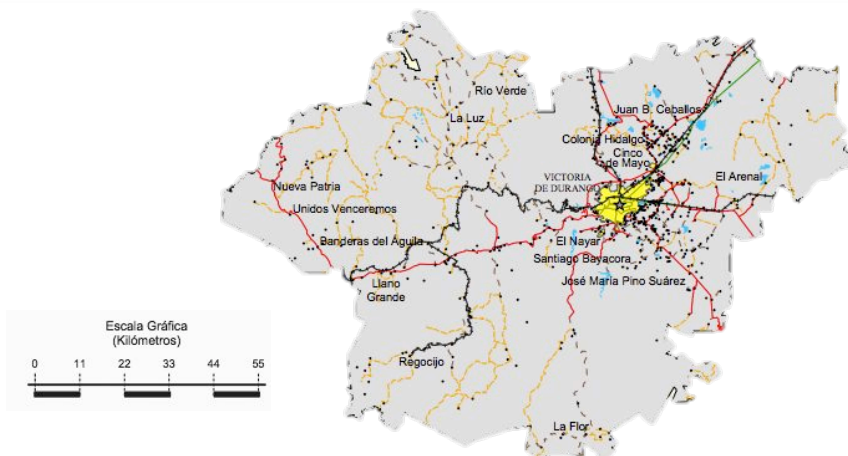
| | |
|--------------|--|
| Coordenadas | Entre los paralelos 23° 28' y 24° 26' de latitud norte; los meridianos 104° 06' y 105° 35' de longitud oeste; altitud entre 1 100 y 3 200 m. |
| Colindancias | Colinda al norte con los municipios de San Dimas, Canatlán y Pánuco de Coronado; al este con los municipios de Guadalupe Victoria, Poanas, Nombre de Dios y Mezquital; al sur con los municipios de Mezquital y Pueblo Nuevo; al oeste con los municipios de Pueblo Nuevo y San Dimas. |
| Otros datos | Ocupa el 7.5% de la superficie del estado Cuenta con 620 localidades y una población total de 526 659 habitantes http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/ ;26 de marzo de 2010. |



2.2 Fisiografía

Fisiografía

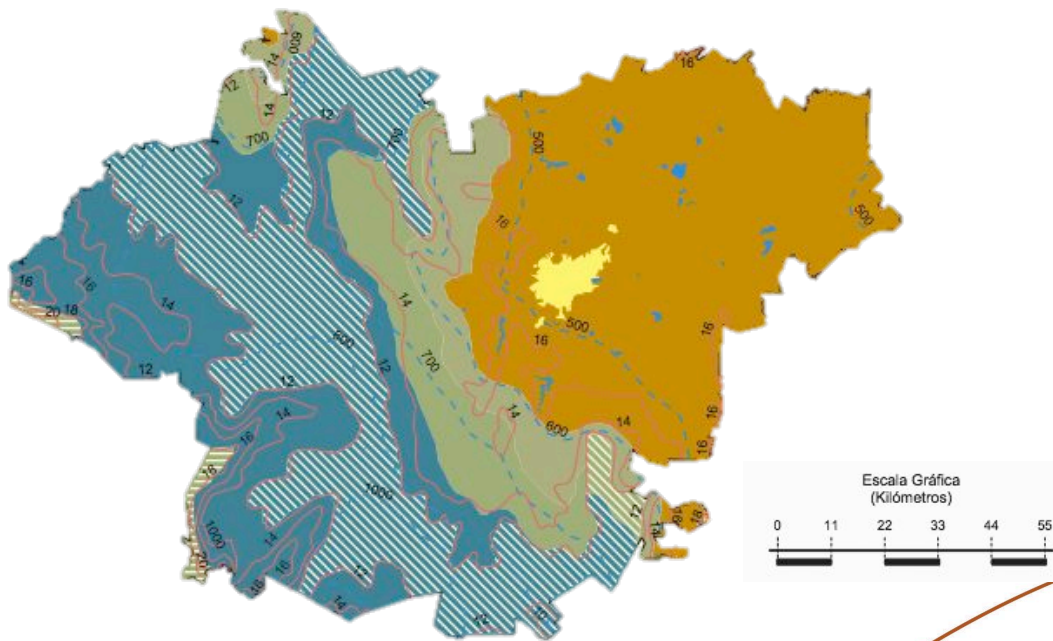
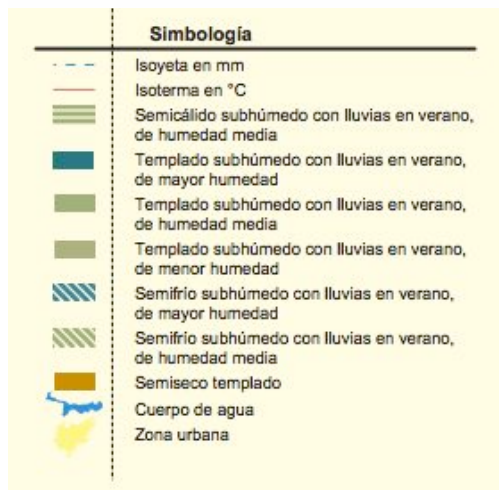
| | |
|-----------------------|---|
| Provincia | Sierra Madre Occidental (99.8%) y No aplicable (0.2%) |
| Subprovincia | Gran Meseta y Cañadas Duranguenses (69.5%), Sierras y Llanuras de Durango (27.2%), Mesetas y Cañadas del Sur (3.1%) y No aplicable (0.2%) |
| Sistema de topoformas | Superficie de gran meseta con cañadas (34.7%), Meseta con cañadas (29.4%), Meseta con malpaís (12.7%), Llanura aluvial (10.7%), Lomerío con cañadas (3.4%), Valle intermontano (1.8%), Sierra alta con cañadas (1.6%), Cañón típico (1.5%), Sierra alta (1.2%), Bajada con lomerío (0.8%), Llanura aluvial salina (0.6%), Valle intermontano con bajadas (0.5%), Sierra baja con lomerío (0.4%), Lomerío con llanuras (0.3%), Valle abierto de montaña (0.2%) y No aplicable (0.2%) |



2.3 Clima

Clima

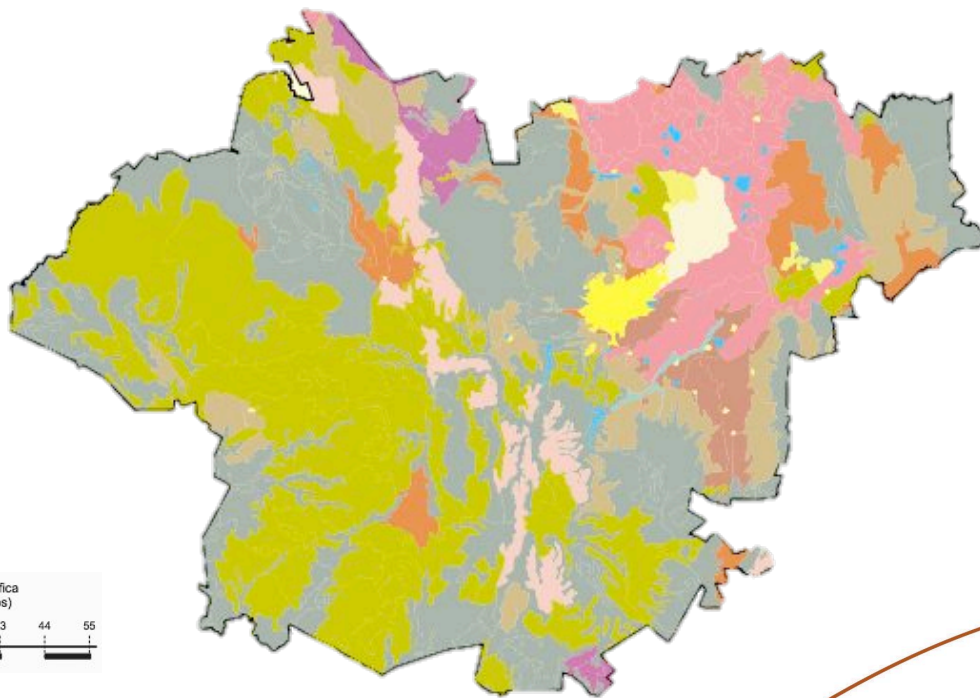
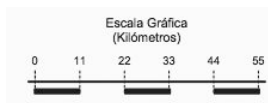
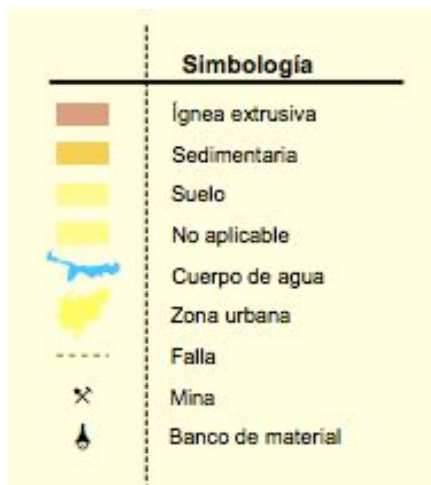
| | |
|------------------------|--|
| Rango de temperatura | 08 – 22°C |
| Rango de precipitación | 400 – 1 200 mm |
| Clima | Semiseco templado (35.4%), semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (24.2%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (21.9%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (9.3%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (7.5%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (0.9%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (0.8%) |



2.4 Edafología

Edafología

| | |
|-----------------|--|
| Suelo dominante | Leptosol (35.2%), Luvisol (30.3%), Vertisol (9.3%), Phaeozem (9.2%), Cambisol (4.6%), Regosol (3.9%), Kastañozem (2.5%), Umbrisol (1.7%), Calcisol (1.1%), Solonetz (0.5%), Fluvisol (0.3%), y No aplicable (0.1%) |
|-----------------|--|



2.5 Hidrografía

Hidrografía

| | |
|--------------------|--|
| Región hidrológica | Presidio – San Pedro (92.8%) y Nazas – Aguanaval (7.2%) |
| Cuenca | R. San Pedro (66.1%), R. Presidio (13.5%), R. Acaponeta (13.2%) y P. Lázaro Cárdenas (7.2%) |
| Subcuenca | R. Durango (28.0%), R. Tunal (19.8%), R. Santiago (10.5%), E. El Jaral (10.5%), R. de Santiago (7.2%), Q. San Vicente (6.9%), R. Saucedá (6.1%), R. Q. Espíritu Santo (3.7%), R. San Diego (2.5%), R. Mezquital (1.8%), A. El Salto (1.6%) y A. Arenales (1.4%) |
| Corrientes de agua | Perennes: Río Chico, El Tunal, San Manuel, Corral de Piedra, Espíritu Santo, La Saucedá, Arroyo de la Vaca, Tablillas, El Varal, El Cigarrero y Santiago |
| Cuerpos de agua | Intermitentes: Santiago Bayacora, La Escalera, El Toro, Las Cabras y Las Casas Perennes (0.1%): Presidente Guadalupe Victoria, Peña del Águila, Santiago Bayacora y Refugio Salcido Intermitentes (0.3%): El Tequesquite, El Toboso, Chapala, El Tule y Laguna Cañas |

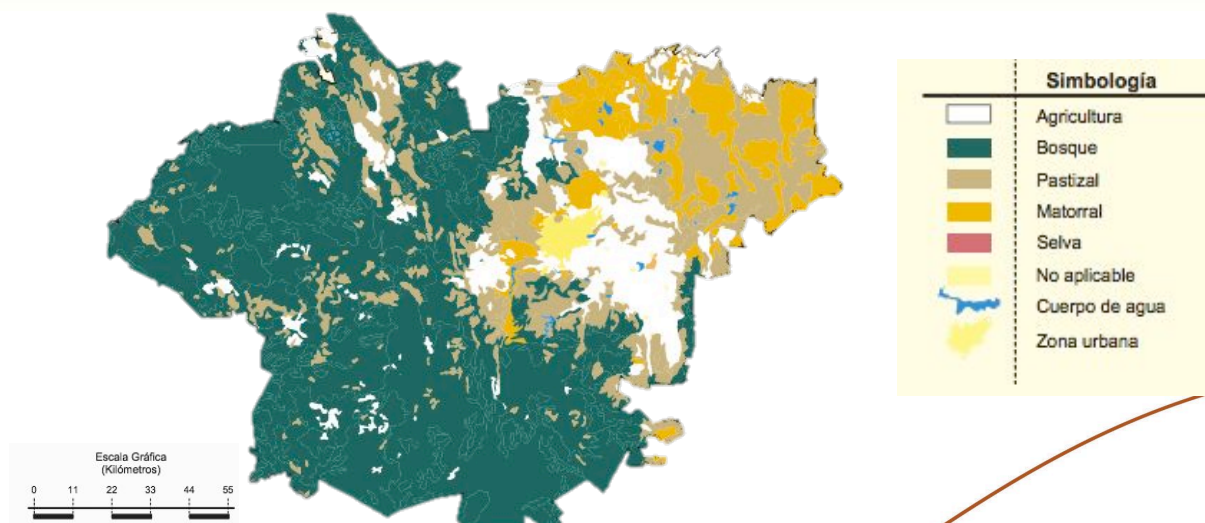
2.6 Uso de suelo y vegetación

Uso del suelo y vegetación

| | |
|---------------|--|
| Uso del suelo | Agricultura (11.1%), zona urbana (0.9%) y no aplicable (0.1%) |
| Vegetación | Bosque (59.4%), pastizal (19.6%), matorral (8.4%) y selva (0.1%) |

Uso potencial de la tierra

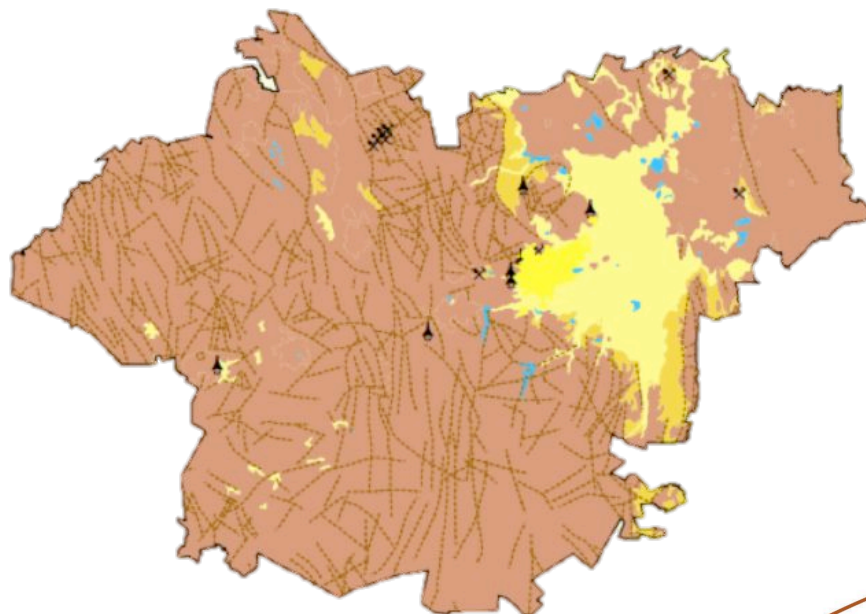
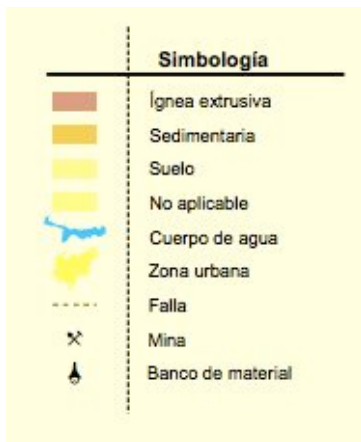
| | |
|----------|--|
| Agrícola | Para la agricultura mecanizada continua (16.4%) Para la agricultura de tracción animal continua (2.7%) Para la agricultura manual estacional (42.1%) No apta para la agricultura (38.8%) |
| Pecuario | Para el desarrollo de praderas cultivadas (16.4%) Para el aprovechamiento de la vegetación de pastizal (6.2%) Para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (4.6%) Para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino (61.1%) No apta para uso pecuario (11.7%) |

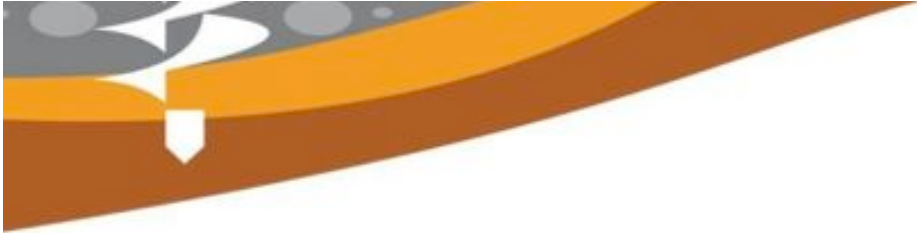


2.7 Geología

Geología

| | |
|-------------------|--|
| Periodo | Terciario (70.9%), Cuaternario (23.6%), Neógeno (4.1%) y Paleógeno (0.1%) |
| Roca | Ígnea extrusiva: riolita-toba ácida (69.8%), basalto (15.9%), toba ácida (0.4%), riolita (0.3%) y brecha volcánica básica (0.2%) |
| Sitios de interés | Suelo: aluvial (7.8%), residual (0.5%), lacustre (0.4%) y eólico (0.1%) Sedimentaria: conglomerado (3.3%) Minas: hierro, estaño, manganeso y fluorita Bancos de material: acabados e industrial |





El área de interés se encuentra ubicada al lado suroeste de la intersección del periférico de Durango con la autopista de Durango Mazatlán como a 300 metros con las coordenadas de 23°59'44.35" Latitud Norte y 104°43'33.55" Longitud Oeste de Greenwich, como se muestra en la siguiente imagen de satélite tomada del Google earth.

La geología del área está formada por al menos tres unidades de rocas ígneas piroclásticas homogéneas y compactas constituidas por ignimbritas con textura eutaxítica. De la roca más antigua a la más reciente la columna estratigráfica se compone de las siguientes unidades:

La unidad litológica A está constituida por una roca piroclástica eutaxítica caolinizada y compacta. Tiene espesores mayores a los 20 metros aflorando en el área de estudio.

La unidad A forma la parte superior de una unidad de enfriamiento ignimbrítica lítico-cristalina. La unidad litológica B está formada por un horizonte vítreo parcialmente devitrificado que constituye el vitrófido de la unidad litológica C.

El vitrófido es compacto y es más frágil al impacto, por lo que durante la barrenación y el intemperismo superficial tiende a fracturarse en esquirlas y fragmentos angulosos. El contacto entre las unidades A y B está marcado por un horizonte fuertemente alterado y quemado o recalentado, que se muestra con un color rojizo. Este contacto se muestra como la superposición de dos unidades piroclásticas, donde la unidad superior caliente quema la unidad preexistente inferior.

En la siguiente figura se muestra que la unidad A es compacta, masiva con alteración parcial a caolinita. Es de color blanco y el contacto es abrupto y corresponde a una superficie de erosión bien marcada y definida. Define un ambiente de depósito para las dos formaciones de carácter continental. El espesor aflorando en el área de interés es superior a los 20 metros.

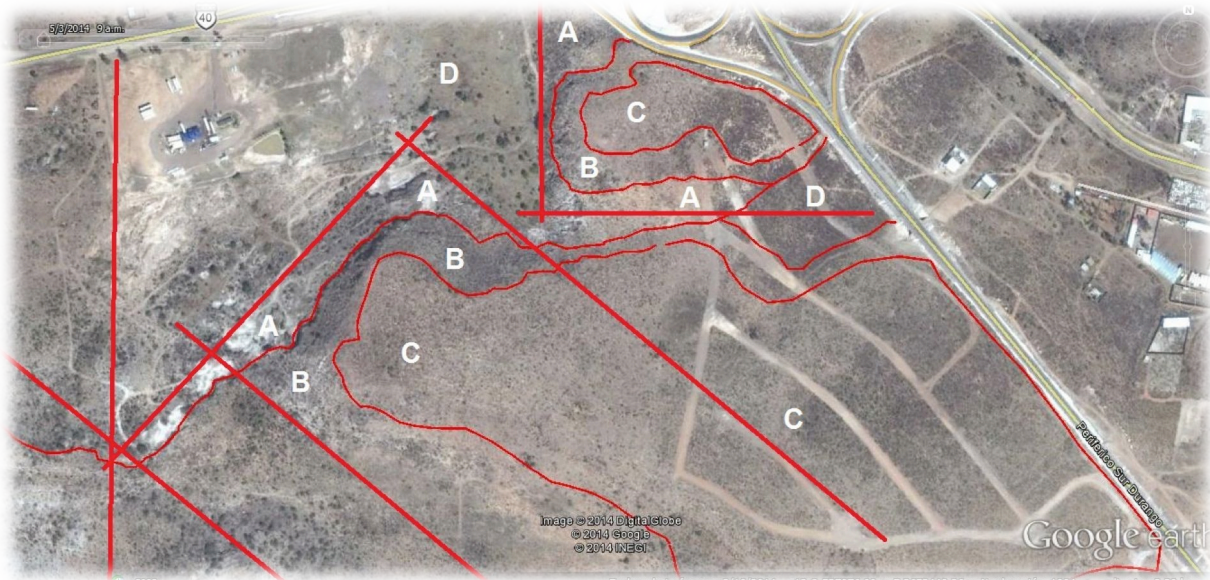


En esta misma imagen se muestra la zona quemada de color rojizo y corresponde al horizonte intemperizado de la unidad A que fue sobrecalentado y deshidratado hasta alcanzar un color rojizo. Inmediatamente encima se encuentra la unidad B, representada por el vitrófido de la ignimbrita sobreyacente. El vitrófido tiene un espesor menor a los 3 metros y se transforma transicionalmente a la unidad C. Se caracteriza la unidad B por ser la parte basal vítrea de una ignimbrita. Parte que fue fuertemente soldada hasta alcanzar un aspecto vítreo, donde las esquirlas de vidrio y fragmentos de pómez fueron aplanados por completo resultante de la alta temperatura y de la columna de roca que tenía encima.

La unidad litológica C está constituida por una roca piroclástica eutaxítica caolinizada y compacta de color blanquecino a crema amarillento muy claro. La unidad C corresponde a la parte bien soldada y soldada de la unidad de enfriamiento piroclástica que se forma sobre el vitrófido y del cual pasa de forma transicional. La unidad C al igual que la unidad A está formada por la parte eutaxítica de la unidad de enfriamiento denominada como ignimbrita lítico-cristalina y lítico-vítrea. Esta unidad es la parte que fue barrenada para recuperar los núcleos.

Del análisis de los núcleos se encuentra que es una roca piroclástica riolítica eutaxítica, clasificada comúnmente como una ignimbrita lítico-vitrea. La ignimbrita está parcialmente caolinizada, lo que le da el aspecto blanquecino a parcialmente crema amarillento en algunos lugares. El espesor remanente en el área de interés sobrepasa los 30 metros. Espesor que por estar en la parte más superior y superficial se considera que ya fue erosionado de manera considerable. Esta ignimbrita es de carácter masivo, presenta fracturamiento por intemperismo superficial y un intemperismo que tiende a ser de exfoliación esférica por el carácter masivo de la roca. Aunque en la parte más inferior se presenta en lajas por el fuerte aplanamiento que muestran los fragmentos de pómez, especialmente en la unidad B, que corresponde al vitrófido de la unidad C. La unidad D corresponde a los materiales sueltos producidos por el intemperismo y erosión de las unidades anteriores.

En la siguiente imagen se muestra en líneas curvas rojas los contactos o límites aproximados de las unidades descritas anteriormente. Las líneas rojas rectas corresponden a las trazas de lineamientos de zonas de fracturamiento preferencial, delimitando bloques de roca con diferente grado de intemperismo o caolinización. Se muestran claramente dos bloques ligeramente basculados hacia el sureste. El primero sobre el cual se encuentra el área de interés y otro bloque más pequeño en dimensiones ubicado hacia el lado norte noreste. Pero ambos en la parte suroeste del periférico de la ciudad de Durango.



Estructuralmente el área de interés se presenta homogénea sin estructuras de falla. La unidad litológica es homogénea, masiva, parcialmente caolinizada, con intemperismo superficial que le da un aspecto redondeado y con un fracturamiento superficial.



3 RIESGOS GEOLOGICOS

A continuación se detallan algunos aspectos generales de los riesgos geológicos que pueden llegar a tener incidencia en una obra de las características de la que ocupa el presente informe.

3.1 Riesgo por expansividad:

Los terrenos expansivos son una de las causas principales de daños que se producen en la edificación. Para que se produzcan problemas de este tipo se deben dar una serie de condiciones.

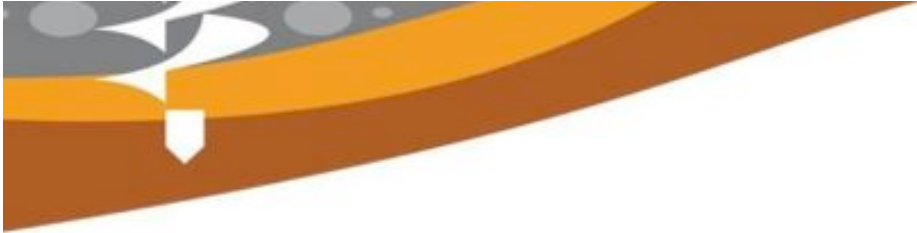
- El terreno debe ser mineralógicamente activo, capaz de variar su volumen por cambios de humedad.
- La climatología debe ser muy específica.
- El edificio debe ser débil, estructuralmente hablando.

Para la localización de este riesgo, no existe ningún ensayo de identificación que permita asegurar que un suelo arcilloso tenga características expansivas. El único ensayo que determina las características expansivas del terreno es el ensayo de lambe, con el que se obtiene el índice PVC que clasifica el terreno según el peligro de expansión.

Este potencial de expansión también se puede determinar con los límites de Atterberg, y en concreto con el índice de plasticidad.

En ambos casos se trata de clasificaciones orientativas que únicamente nos pueden ayudar a desechar la posibilidad de expansividad sin que en el caso contrario nos ofrezcan las presiones de expansión, para lo que se debe realizar un ensayo de consolidación

Este riesgo puede presentarse debido a la geología que se tiene en el área que ocupa el predio, sin embargo, mas adelante se darán recomendaciones para evitarlo.



Sin embargo puesto que el predio esta compuesto prácticamente por roca, no presentando problemas de este tipo para la estructura.

3.2 Riesgo por colapso.

El riesgo de colapso se produce en materiales parcialmente saturados, que sufren asentamientos adicionales con el aumento de la humedad, por lo que la presencia de agua será siempre determinante. Este riesgo es más corriente cuando se trate de terrenos flojos pero cementados de alguna manera (como los limos yesíferos), y cuanta más alta sea la presión a la que se somete el terreno.

En el caso de tratarse de terrenos granulares el colapso aparece por debilitamiento de la estructura por la acción del agua. Cuando se trate de arcillas, los aumentos de humedad provocan incrementos de volumen. Aunque por su estructura floja, todavía pueden presentar en la estructura huecos debidos a agrietamientos anteriores, que a humedades mayores pueden provocar colapso.

En este caso tampoco existe el riesgo por colapso

3.3 Riesgo por inestabilidad.

El riesgo por inestabilidad se da en terrenos con pendientes naturales superiores al 10-15%, ya que en cualquier terreno que no sea horizontal, existe una serie de fuerzas que tienden a nivelarlo, fundamentalmente la gravedad y otras que se oponen a ello.

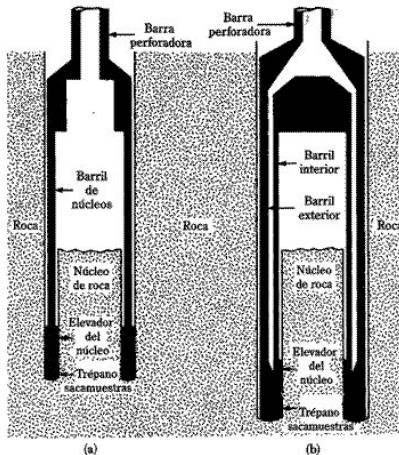
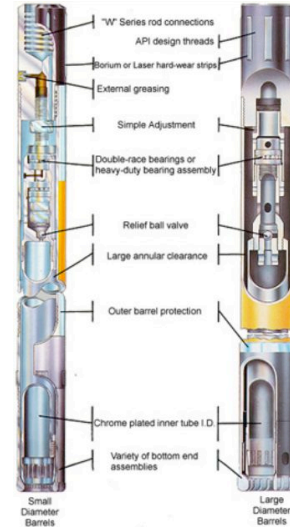
Debido a que el terreno en cuestión presenta una topografía prácticamente de lomerío es altamente susceptible a este riesgo por lo que mas adelante se darán recomendaciones para prevenirlo.

4 TRABAJOS DE EXPLORACION EN EL PREDIO

Para conocer la estratigrafía que forma el suelo y determinar los parámetros geotécnicos del mismo, la exploración del subsuelo se planteo la ejecución de nueve sondeos de penetración estándar en el caso de encontrar suelo y al encontrar roca se extraerían núcleos de roca con barril de corte, sin embargo la capa de suelo (cuando existe), no tiene mas de 0.30 m de espesor, por ello se efectuaron núcleos de roca a profundidades de entre 2.0 m y 3.0 m de profundidad.

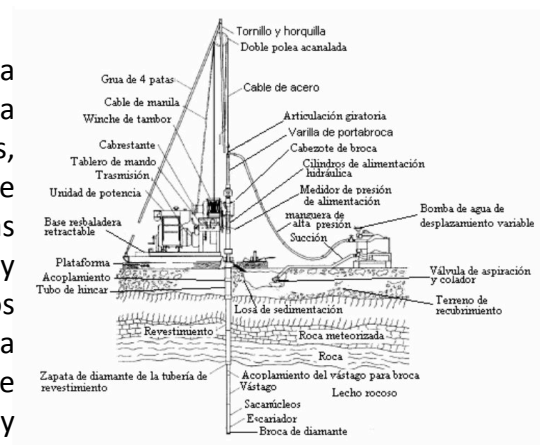
La recuperación de los núcleos de roca permite al ingeniero geotecnista:

- ✓ Comprobar la existencia de unidades rocosas en las profundidades esperadas.
- ✓ Constatar la presencia de estructuras en el subsuelo y sus condiciones, tales como fallas, carsticidad, contactos, ect.
- ✓ Medir la competencia del macizo rocoso (mediante porcentajes de recuperación, RQD, resistencia a la



Enseguida se describen las características mas importantes de la perforación con recuperación de núcleos y el uso que se le da a los datos obtenidos. La perforación exploratoria, es la actividad mas relevante de los métodos directos, pero generalmente es costosa, razón por la cual el ingeniero geotecnista debe optimizar su uso, garantizando que los barrenos que ordene estén justificados plenamente

La perforación con toma de núcleo, empleada en las aplicaciones geotecnicas difiere de la que se utiliza en las exploraciones petroleras, básicamente por sus dimensiones dado que las profundidades que se exploran son cortas (algunos cientos de metros como máximo) y los diámetros de pozo son de solo unos centímetros y con un calado pequeño a diferencia de las maquina petroleras que suelen ser mucho mas grandes, poderosas y caras



En la siguiente tabla se muestran los tipos de perforación

| Tipo de perforación | Indicaciones | Ventajas | Desventajas |
|--------------------------------------|--|--|---|
| Auger Manual | Muestreo en los primeros metros del material consolidado | Portable y operable, muestra sin contaminación | Pobre penetración |
| Auger Mecánico | Muestreo en los primeros metros de material poco consolidado | Maquina ligera y pequeña, vehiculó montado y manual. Rápido y barato | Poco penetración (mejor que la manual). Contaminación de la barrena |
| Neumática sin recuperación de núcleo | Muestra de la base del regolito. Herramienta ideal de muestreo del regolito | Muestra de gran volumen, no hay preparación de la muestra en el sitio. Rápida y relativamente barata | Pobre penetración en rocas duras. Muestra contaminada. Profundidad limitada. No hay datos estructurales |
| Neumática con recuperación de núcleo | Muestreo donde es necesario la correcta caracterización del basamento | Núcleo de retorno de roca pequeña. Mínima contaminación. Relativamente rápido y barato. Puede penetrar lodo (arcilla pesada) | Tamaño de muestra pequeña |
| Circulación Invasiva | Muestreo en rocas duras y blandas de 200 m. Cuerpo mineral proveniente por encima del nivel freático | Grandes volúmenes sin contaminar de muestras de roca relativamente rápido y barato | Plataforma grande y pesada posible necesidad de preparación. Datos estructurales limitados. Pobre control de la orientación |
| Diamante | Entendimiento geológico estructural | Maximizar información geológica. Sin contaminación, sin perturbación con muestras de buena recuperación. Un control de posicionamiento para el inicio de la barrenación en el punto. | Preparación del sitio requerido. Suplemento de agua requerido. Muestra relativamente pequeña. Lento. Caro |

Procedimiento de la prueba

- 1) Se determina el acceso al sitio y la disponibilidad del agua para la operación de perforación. Se debe inspeccionar alrededor del sitio de la perforación para ver si hay obstrucciones o peligros aéreos, tales como líneas eléctricas, antes de izar el mástil. También se requiere una inspección de redes subterráneas y demás servicios públicos antes de la perforación, para evaluar peligros



- 2) Se comienza la perforación empleando un tomamuestras de tubo doble giratorio . Se continúa la perforación de los núcleos hasta que ocurra un bloqueo de los mismos o hasta que la longitud neta del tomamuestras haya sido perforada. Se remueve el tomamuestras del hueco y se desarma si fuere necesario, para extraer el núcleo. Se vuelve a armar y se retorna el tomamuestras al hueco. Se reinicia la toma de los núcleos.



- 3) Se envuelven los núcleos friables o blandos y los que se alteren con la pérdida de humedad, en bolsas plásticas, o se recubren con parafina, o ambos . Se deben emplear bloques espaciadores debidamente marcados, para indicar cualquier vacío notorio en un núcleo recobrado que puede indicar un cambio o un vacío en la formación. Se colocan las piezas y fragmentos en la misma forma como se presentarían en la naturaleza.



CAJAS DE NÚCLEO

LA CAJA SE COMPONE DE TAPA, FONDO Y SEPARADORES
DEPENDIENDO DEL DIÁMETRO DE SU NÚCLEO

DIÁMETRO BWL Y NWL 5 SEPARADORES (3Mts)
DIÁMETRO HWL 4 SEPARADORES (2.40Mts)

| | |
|-----------|----------|
| TAPA | PERN0371 |
| FONDO | PERN0369 |
| SEPARADOR | PERN0370 |



- 4) El transporte de muestras desde el sitio de la perforación hasta el laboratorio u otro sitio de procesamiento deberá realizarse en cajas durables para núcleos y empacadas tal manera, que queden aisladas de choques o de impactos por el transporte en terreno rugoso o sin cuidado.
- 5) Después de los ensayos iniciales o de la inspección en el laboratorio o en otro sitio de procesamiento, los núcleos deberán guardarse en cajas de cartón o en cajas similares menos costosas. Deberán agregarse bloques espaciadores adicionales o tapones si fuere necesario al tiempo del almacenamiento, para explicar la pérdida de núcleos. Los núcleos deberán almacenarse durante un período de tiempo especificado, pero normalmente no deberán desecharse antes de la conclusión del proyecto para el cual fueron tomados.



De acuerdo con la tabla el procedimiento para la perforación efectuada fue el de extracción de núcleos con diamante, a continuación se muestra la ubicación de los sondeos efectuados en el predio:












Arreglo de barrenos perforados en el predio, todos se hicieron a una profundidad de 2.0 m, con excepción de los barrenos B-3, B-4 y B-5, los cuales se hicieron a 3.0 m

4.1 Estratigrafía

Para determinar la estratigrafía de la zona en estudio se realizaron 9 barrenos a una profundidad de entre 2.0 m y 3.0 m, de los barrenos se extrajeron núcleos de roca los cuales fueron remitidos al laboratorio para efectuarles las pruebas correspondientes.

A continuación se muestra una sección idealizada de la estratigrafía encontrada en el lugar y posteriormente se muestran los perfiles estratigráficos de los sondeos realizados en las zonas de estudio:











| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-1 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |

| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | |  | | | | | 67 | 46 | 2.18 | 9253.1 | | | | 128301 | |
| 1.00 | |  | | | | | | | | 9371.7 | | | | 95309 | |
| 1.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | |  | | | | | 85 | 78 | | | | | | | |
| 1.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | | | | | | | Fin del Barreno | | | | | | | | |
| 2.50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | | | | | | | | | | | | | | | |

EJECUCION DE DEL BARRENO B-1




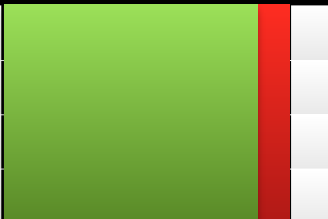

| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-2 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |

| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | | 550 | | | | |
| 0.50 | |  | | | | | | | | | | 769.48 | | | |
| 0.75 | |  | | | | | 73 | 63 | 2.21 | | | | | | |
| 1.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | |  | | | | | 85 | 85 | | | | | | | |
| 1.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | |  | | | | | Fin del Barreno | | | | | | | | |
| 2.50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | | | | | | | | | | | | | | | |

EJECUCION DE DEL BARRENO B-2



| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-3 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |












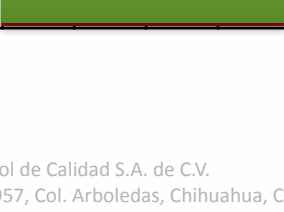

| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | 10913.9 | 458.88 | | | 127430 | |
| 0.50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | | | | | | | 80 | 78 | | | | | | | |
| 1.00 | |  | | | | | | | | | | 328.92 | | | |
| 1.25 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | 90 | 87 | 2.23 | | | | | | |
| 1.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.50 | | | | | | | 92 | 89 | | | | | | | |
| 2.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fin del Barreno

EJECUCION DE DEL BARRENO B-3



| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-4 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |














| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | |  | | | | | 80 | 78 | | | | | | | |
| 1.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | |  | | | | | 91 | 80 | | 11269.7 | | 510.11 | | 129652 | |
| 1.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.50 | |  | | | | | 94 | 79 | 2.23 | | | | | | |
| 2.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |

Fin del Barreno

EJECUCION DE DEL BARRENO B-4



| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-5 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |


| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | |  | | | | | 69 | 58 | | 9727.6 | | 765.17 | | 106355 | |
| 1.00 | |  | | | | | | | | | 824.91 | | | | |
| 1.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | |  | | | | | 89 | 77 | 2.35 | | | | | | |
| 1.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.50 | |  | | | | | 90 | 80 | | | | | | | |
| 2.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |

Fin del Barreno

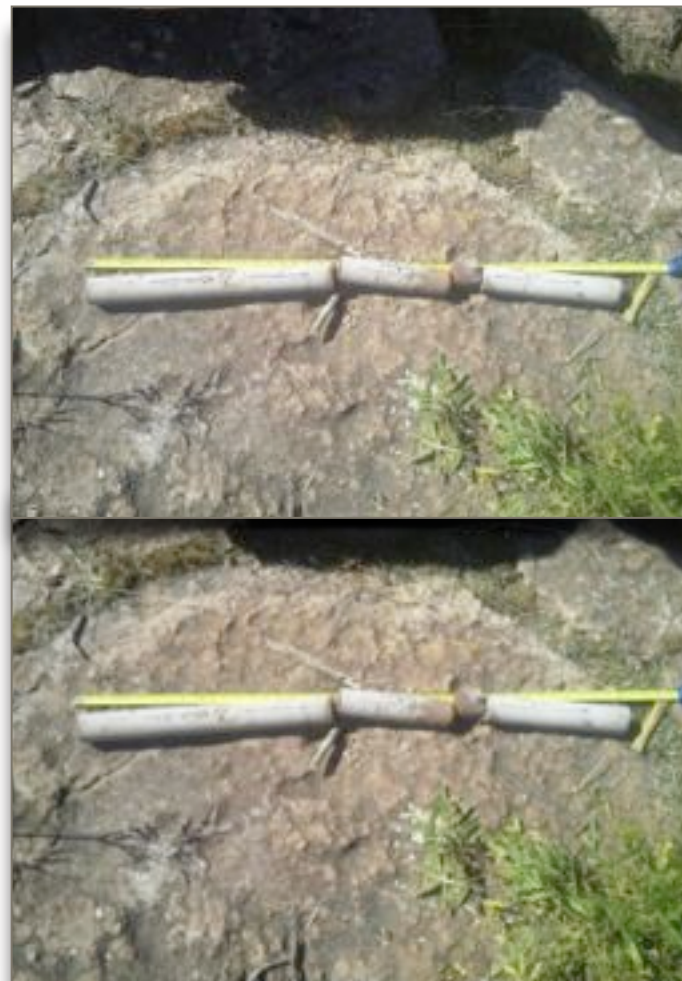
EJECUCION DE DEL BARRENO B-5




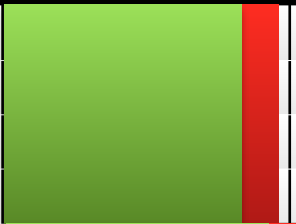

| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-6 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |

| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|--|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | | | | | | | | |
| 0.25 |  | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | | 623.15 | | | | |
| 0.75 | | | | | | | 67 | 52 | 2.26 | 8422.7 | | | | 101944 | |
| 1.00 | | | | | | | | | | | | 628.98 | | | |
| 1.25 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | 80 | 62 | | | | | | | |
| 1.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | | | | | | | Fin del Barreno | | | | | | | | |
| 2.50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | | | | | | | | | | | | | | | |

EJECUCION DE DEL BARRENO B-6














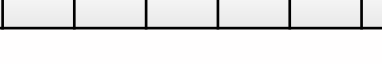

| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-7 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |

| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | | | | | | | 78 | 63 | | 9964.8 | | 562.35 | | 136555 | |
| 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | 85 | 76 | 2.37 | | | | | | |
| 1.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | | | | | | | Fin del Barreno | | | | | | | | |
| 2.50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | | | | | | | | | | | | | | | |

EJECUCION DE DEL BARRENO B-7




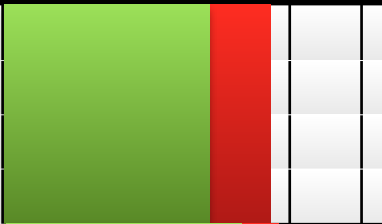
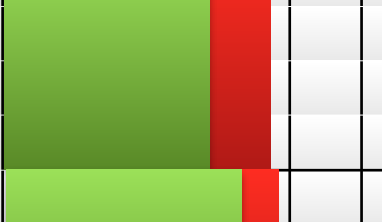
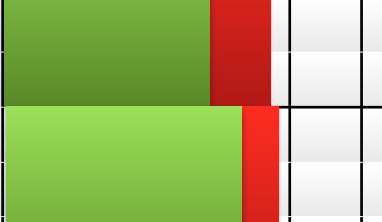
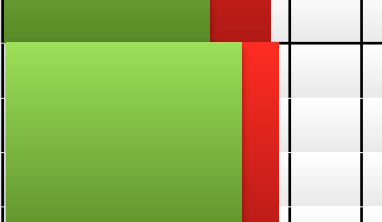
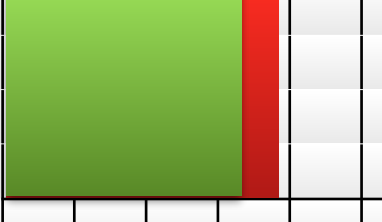
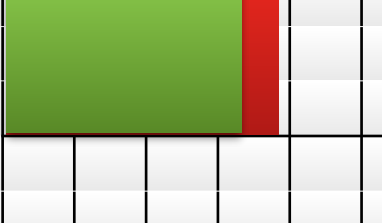


| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-8 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |

| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | 511.34 | | | | | |
| 0.50 | |  | | | | | | | | | | 724.41 | | | |
| 0.75 | |  | | | | | 73 | 58 | | | | | | | |
| 1.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.25 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | |  | | | | | 80 | 65 | 2.33 | | | | | | |
| 1.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | |  | | | | | Fin del Barreno | | | | | | | | |
| 2.50 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |

EJECUCION DE DEL BARRENO B-8



| | | | |
|-------------------|---|-------------------|-------|
| Proyecto: | Edificacion de la unidad Durango CIMAV | | |
| Ubicacion: | Durango, Dgo | | |
| Fecha del sondeo: | 30/10/2014 | Numero de sondeo: | B-9 |
| Tipo de sondeo: | Perforacion con recuperación de nucleo NX | Cliente: | CIMAV |

| Profundidad (m) | Columna litológica | Recuperación de nucleo y RQD (%) | | | | | Recuperación por tramos (%) | RQD por tramos (%) | Peso Volumetrico (ton/m³) | Resistencia a la compresión simple (ton/m²) | Resistencia prueba puntual (ton/m²) | Resistencia a la tensión indirecta (ton/m²) | Coeficiente de Poisson | Modulo de Elasticidad (ton/m²) | Descripción litológica y Observaciones |
|-----------------|--|---|----|----|----|----|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | | | | | | | | | |
| 0.25 |  |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | |  | | | | | 75 | 60 | | | | | | | |
| 1.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 1.25 | |  | | | | | | | | 10795.2 | | 534.97 | | 120227 | |
| 1.50 | |  | | | | | 79 | 63 | 2.35 | | | | | | |
| 1.75 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.00 | |  | | | | | | | | | | | | | |
| 2.25 | | | | | | | Fin del Barreno | | | | | | | | |
| 2.50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.75 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00 | | | | | | | | | | | | | | | |

EJECUCION DE DEL BARRENO B-9



5 CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

En la actualidad, las clasificaciones geomecánicas se emplean de forma generalizada en ingeniería para hacer una predicción del comportamiento de los macizos rocosos frente a excavaciones, principalmente subterráneas, aunque también a cielo abierto.

Su utilidad radica en la facilidad de su aplicación y en los buenos resultados conseguidos en muchos casos. Las clasificaciones geomecánicas han producido notables beneficios a la ingeniería.

Partiendo de la base de que el índice de calidad caracteriza el macizo rocoso, las clasificaciones geomecánicas dan información acerca de ciertas propiedades mecánicas del mismo, que son las básicas para estimar el tipo de técnica de excavación y las necesidades estimativas de sostenimiento.

Clasificaciones más importantes

Las tres clasificaciones más utilizadas actualmente son la de Bieniawski (RMR), la de Barton, Lén y Lunde (Q) y la de Hoek-Brown (GSI). Las dos primeras utilizan un parámetro, RQD (Rock Quality Designation), que constituye la base de la clasificación de Deere.

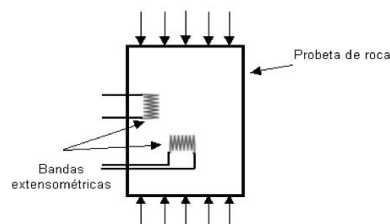
Obtención del índice RMR

Para determinar la calidad del macizo rocoso, se divide éste en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas, dentro de las cuales la estructura es prácticamente homogénea. La estructura del macizo comprende el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas propias de una determinada región. El índice que define la clasificación es el denominado RMR (Rock Mass Rating), que evalúa la calidad del macizo rocoso a partir de los parámetros siguientes:

⊙ Resistencia de la roca intacta

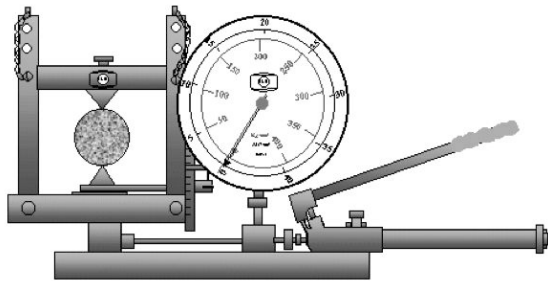
Resistencia a la compresión simple

Este ensayo sirve para determinar la resistencia a compresión uniaxial de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro. Normalmente estas probetas se obtienen a partir de testigos de sondeos.



Ensayo de carga puntual (Ensayo Franklin)

Algunas veces no se dispone de material para preparar probetas adecuadas para los ensayos de compresión simple. También puede suceder que el número de ensayos que haya que realizar sea grande y que éstos tengan que llevarse a cabo “in situ”. En ambos casos, el ensayo de carga puntual puede sustituir al de compresión simple.



☉ R.Q.D. Rock Quality Designation

Se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1.5 m. a partir de los testigos obtenidos en la exploración.

Medida del RQD en testigos de Exploración 150 cm

Se deben incluir los discos del núcleo ocasionados por rotura mecánica de la roca como parte del RQD.

$$RQD = \frac{\Sigma(\text{longitud_fragmentos} \geq 10\text{cm})}{\text{longitud_total_perforada}} \times 100$$

| RQD (%) | Calidad de roca |
|----------|-----------------|
| < 25 | muy mala |
| 25 - 50 | mala |
| 50 - 75 | regular |
| 75 - 90 | buena |
| 90 - 100 | excelente |

☉ **Espaciado de las juntas**

El termino se refiere a discontinuidades estructurales, fallas, planos, diaclasas, planos de estratificación ,etc y su espaciado es la distancia media entre los planos de discontinuidad de cada familia, es decir, que cada conjunto tiene las mismas características geomecánicas.

Las resistencia de un macizo rocoso se va reduciendo al aumentar el numero de juntas, ósea cuando disminuyen el numero de los espacios de cada familia.

| Descripción | Espaciado de las juntas | Tipo de macizo rocoso |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Muy ancho | >3 m | Sólido |
| Ancho | 1-3 m | Masivo |
| Moderadamente cerrado | 0,3-1 m | En bloques |
| Cerrado | 50-300 mm | Fracturado |
| Muy cerrado | <50 mm | Machacado |

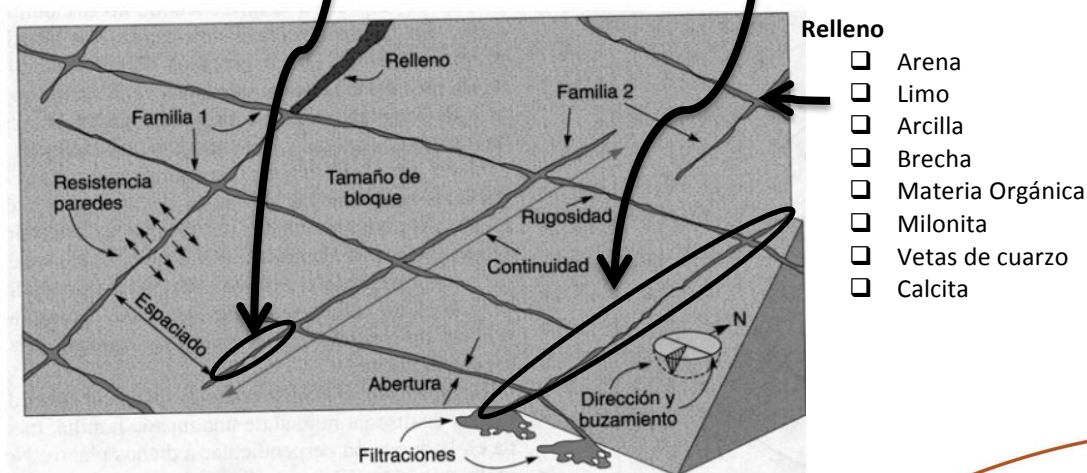
☉ **Condición de las discontinuidades**

Grado de apertura de las discontinuidades: (ISRM)

- muy cerradas ($d < 0.1$ mm)
- cerradas ($0.1 < d < 0.25$ mm)
- parcialmente abiertas ($0.25 < d < 0.5$ mm)
- abiertas ($0.5 < d < 2.5$ mm)
- moderadamente ancha ($2.5 < d < 10$ mm)
- ancha ($10 \text{ mm} < d$)
- muy ancha ($1 < d < 10$ cm)
- extremadamente ancha ($10 < d < 100$ cm)

Continuidad, longitud: (ISRM)

- muy baja continuidad ($L < 1$ m)
- baja continuidad ($1 < L < 3$ m)
- continuidad media ($3 < L < 10$ m)
- alta continuidad ($10 < L < 20$ m)
- muy alta continuidad ($20 \text{ m} < L$)





☉ Condiciones hidrológicas

En una macizo rocoso diaclasado, el agua tiene mucha influencia en su comportamiento.

En un túnel se estima el flujo de agua en litros/minuto a cada 10.0 m de túnel.

- ☐ Completamente seco
- ☐ Húmedo
- ☐ Agua a presión moderada
- ☐ Agua a presión fuerte

☉ Orientación de las discontinuidades

La orientación de las discontinuidades respecto al eje de la estructura subterráneas es un factor importante para determinar el soporte de la estructura. La correcta orientación de la perforación del túnel puede hacer que el sostenimiento que se requiera pueda ser mínimo

| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL | | | | RUMBO PARALELO AL EJE DEL TÚNEL | | BUZAMIENTO 0°-20° (Independiente del rumbo) |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|--|
| DIRECCIÓN SEGÚN BUZAMIENTO | | DIRECCIÓN CONTRA BUZAMIENTO | | | | |
| Buzamiento 45°-90° | Buzamiento 20°-45° | Buzamiento 45°-90° | Buzamiento 20°-45° | Buzamiento 45°-90° | Buzamiento 20°-45° | |
| Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable | Regular | |

Tomando en cuenta lo anterior y considerando las pruebas efectuadas a los materiales se procedió a la clasificación del macizo rocoso. Dicha clasificación de muestra en la siguiente tabla:

| A. Determinación de los parámetros para la determinación del RMR de Bieniawski(1989) | | | | | | | | | Evaluacion | |
|--|---------------------------------------|--|---|---|--|---|---|-----|------------|----|
| 1 | Resistencia de roca intacta. | Índice de esfuerzo de carga puntual (MPa) | >10 | 4-10 | 2-4 | 1-2 | Nivel bajo no es indicativa la prueba de carga puntual. | | | 7 |
| | | Resistencia a la compresión simple (MPa) | >250 | 100-250 | 50-100 | 25-50 | 5-25 | 1-5 | <1 | |
| | Evaluación | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 | RQD % | 90-100 | 75-90 | 50-75 | 25-50 | <25 | | | | 13 |
| | Evaluación | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | | | |
| 3 | Espaciamiento de discontinuidades (m) | >2 | 0.6-2 | 0.2-0.6 | 0.06-0.2 | <0.06 | | | | 10 |
| | Evaluación | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | | | |
| 4 | Condiciones de las discontinuidades | Muy rugosa, no continuas, cerradas, no intemperizada | Ligeramente rugosa, separación < 1 mm, paredes ligeramente intemperizadas | Ligeramente rugosa, separación < 1 mm, paredes altamente intemperizadas | Superficie lisa o con relleno < 5 mm de espesor, con separacion continua de 1 a 5 mm | Relleno blando > 5 mm de espesor o separación continua > 5 mm | | | | 20 |
| | Evaluación | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | | | |
| 5 | Agua subterranea | Condiciones generales | Completamente seco | Ligeramente húmedo | Húmedo | Goteando | Fluyendo | | | 10 |
| | Evaluación | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | | |
| | | | Cuando se calcule la capacidad de carga de roca con el método de Hoek-Brown, utilizando los factores “m” y “s”, la condición de “Completamente seco” tendra un valor de 10. | | | | | | | |
| | | Ajuste de RMR por orientación de grietas | | | | | | | | -2 |
| | | RMR | | | | | | | | 58 |

| B. Ajuste de RMR por orientación de grietas | | | | | |
|---|---------------|-----------|----------------|--------------|------------------|
| Orientación de discontinuidades, rumbo y echado | Muy favorable | Favorable | Poco favorable | Desfavorable | Muy desfavorable |
| Ajuste para cimentaciones | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| Ajuste para taludes | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |
| Ajuste para túneles y minas | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |

| C Determinación de la clase del macizo rocoso | | | | | |
|---|-----------|-------|-------|-------|---------|
| Valor total de RMR | 81-100 | 61-80 | 41-60 | 21-40 | <20 |
| Clase Numero | I | II | III | IV | V |
| Descripcion | Muy bueno | Bueno | Medio | Malo | Regular |

• Fuente: Tabla 7-5, pag. 302, Engineering of Foundations, Rodrigo Salgado.



6 INTERPRETACION DE RESULTADOS

6.1 Pruebas de laboratorio

A los núcleos de roca extraídos de los barrenos realizados en la zona de proyecto se le realizaron las siguientes pruebas de laboratorio con el fin de obtener los parámetros necesarios para su debida identificación geomecánica y evaluar su comportamiento mecánico ante la aplicación de cargas.

Las pruebas realizadas a los núcleos de roca fueron tanto pruebas índice como pruebas mecánicas.

- ✓ Resistencia a la compresión simple
- ✓ Módulo de elasticidad
- ✓ Prueba de punto
- ✓ Resistencia a la tensión indirecta (prueba Brasileña)
- ✓ Determinación de peso volumétrico



| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-4 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 1.50 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

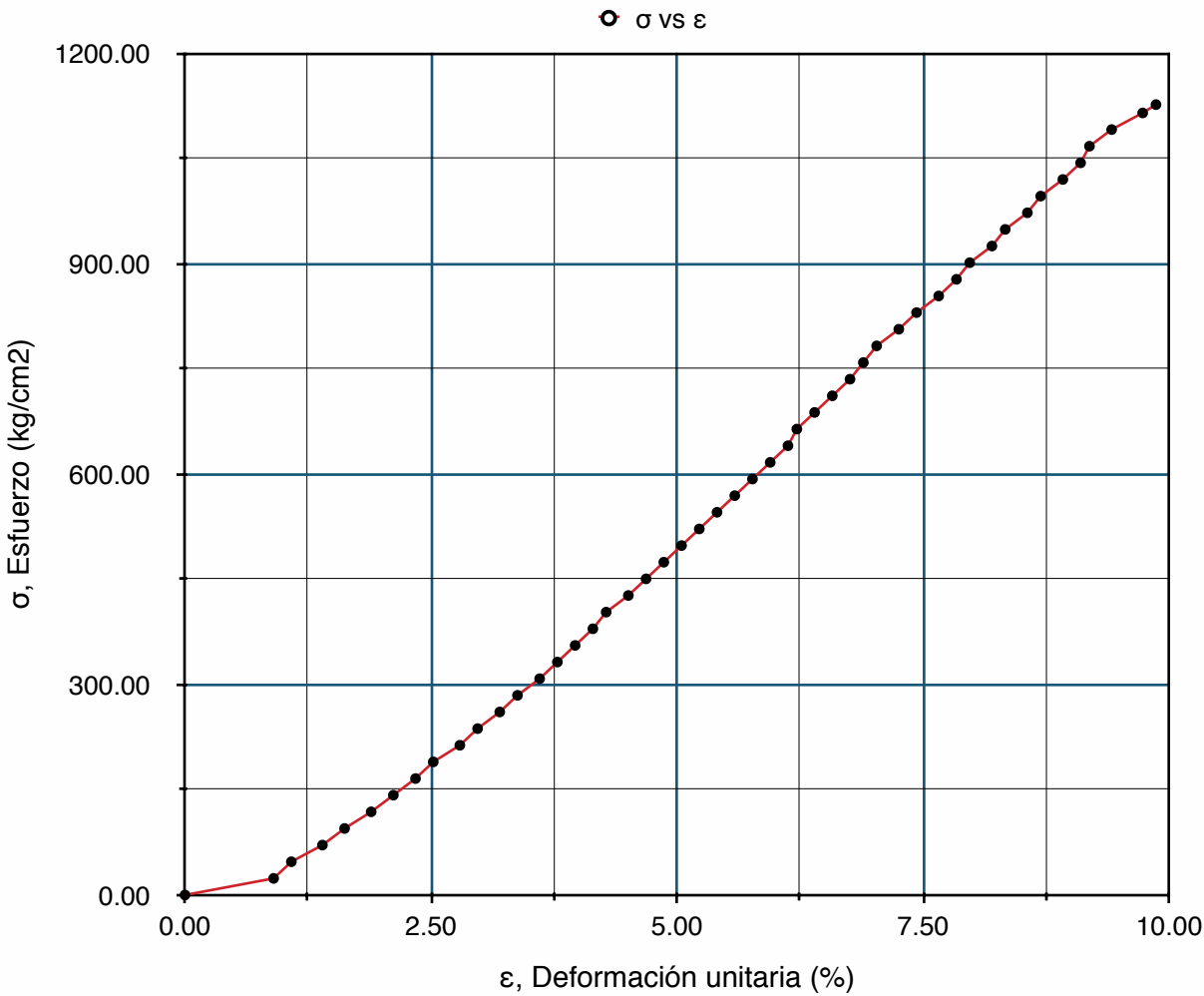
Registro de prueba

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 10 | 23.73 | 0.90 |
| 1000 | 12 | 47.45 | 1.08 |
| 1500 | 15.5 | 71.18 | 1.40 |
| 2000 | 18 | 94.90 | 1.62 |
| 2500 | 21 | 118.63 | 1.89 |
| 3000 | 23.5 | 142.35 | 2.12 |
| 3500 | 26 | 166.08 | 2.34 |
| 4000 | 28 | 189.81 | 2.52 |
| 4500 | 31 | 213.53 | 2.79 |
| 5000 | 33 | 237.26 | 2.97 |
| 5500 | 35.5 | 260.98 | 3.20 |
| 6000 | 37.5 | 284.71 | 3.38 |
| 6500 | 40 | 308.44 | 3.60 |
| 7000 | 42 | 332.16 | 3.78 |
| 7500 | 44 | 355.89 | 3.96 |
| 8000 | 46 | 379.61 | 4.14 |
| 8500 | 47.5 | 403.34 | 4.28 |
| 9000 | 50 | 427.06 | 4.50 |
| 9500 | 52 | 450.79 | 4.68 |
| 10000 | 54 | 474.52 | 4.86 |
| 10500 | 56 | 498.24 | 5.05 |
| 11000 | 58 | 521.97 | 5.23 |
| 11500 | 60 | 545.69 | 5.41 |

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12000 | 62 | 569.42 | 5.59 |
| 12500 | 64 | 593.14 | 5.77 |
| 13000 | 66 | 616.87 | 5.95 |
| 13500 | 68 | 640.60 | 6.13 |
| 14000 | 69 | 664.32 | 6.22 |
| 14500 | 71 | 688.05 | 6.40 |
| 15000 | 73 | 711.77 | 6.58 |
| 15500 | 75 | 735.50 | 6.76 |
| 16000 | 76.5 | 759.23 | 6.89 |
| 16500 | 78 | 782.95 | 7.03 |
| 17000 | 80.5 | 806.68 | 7.25 |
| 17500 | 82.5 | 830.40 | 7.43 |
| 18000 | 85 | 854.13 | 7.66 |
| 18500 | 87 | 877.85 | 7.84 |
| 19000 | 88.5 | 901.58 | 7.97 |
| 19500 | 91 | 925.31 | 8.20 |
| 20000 | 92.5 | 949.03 | 8.33 |
| 20500 | 95 | 972.76 | 8.56 |
| 21000 | 96.5 | 996.48 | 8.69 |
| 21500 | 99 | 1020.21 | 8.92 |
| 22000 | 101 | 1043.93 | 9.10 |
| 22500 | 102 | 1067.66 | 9.19 |
| 23000 | 104.5 | 1091.39 | 9.41 |
| 23500 | 108 | 1115.11 | 9.73 |
| 23750 | 109.5 | 1126.97 | 9.86 |

| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-4 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 1.50 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba



| Datos de espécimen | |
|------------------------|-----------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 1,126.97 |
| E (kg/cm2) | 12,965.23 |

Ensayo de espécimen



Especimen llevado a la falla





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-5 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.80 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

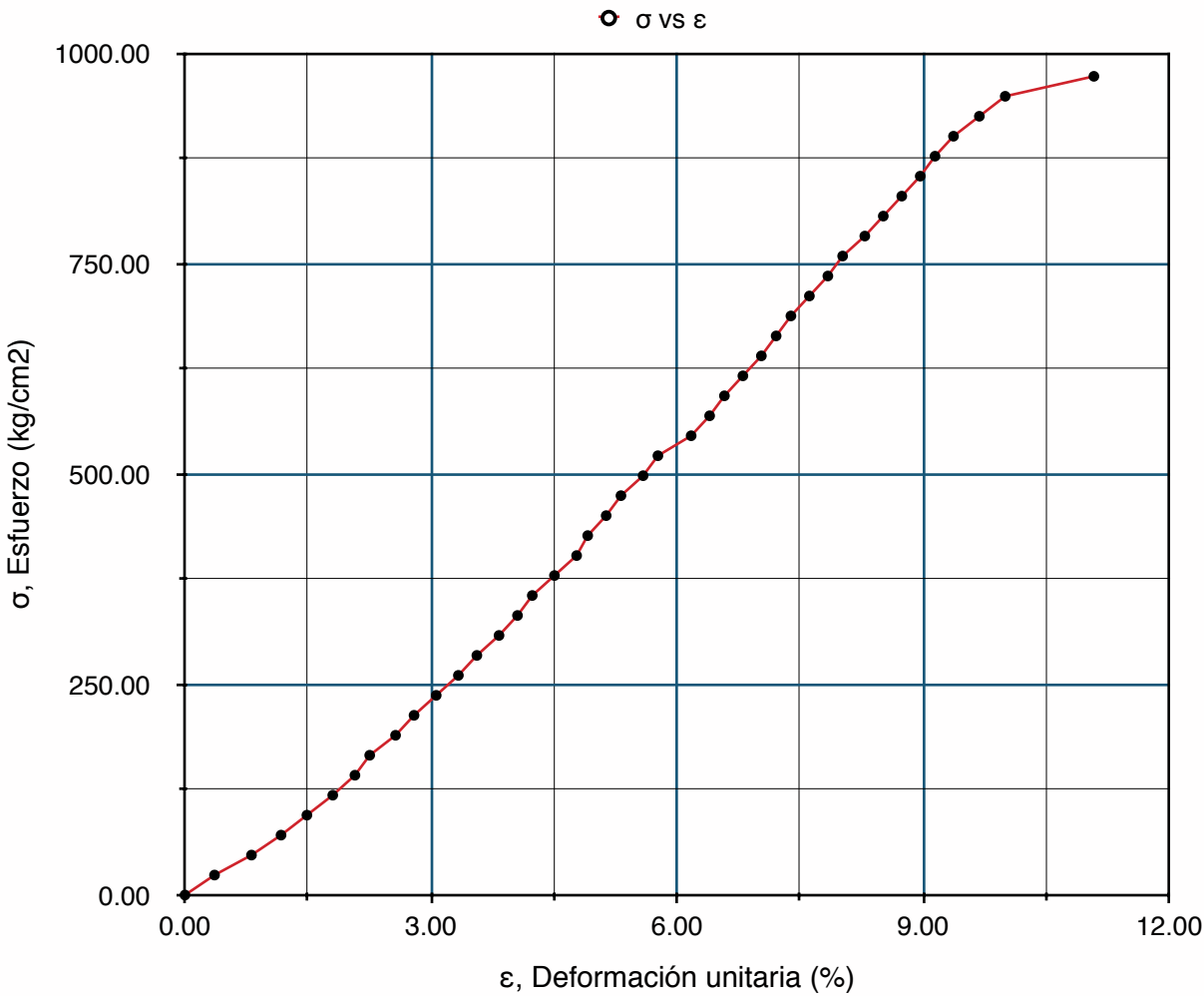
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 4 | 23.73 | 0.36 |
| 1000 | 9 | 47.45 | 0.81 |
| 1500 | 13 | 71.18 | 1.17 |
| 2000 | 16.5 | 94.90 | 1.49 |
| 2500 | 20 | 118.63 | 1.80 |
| 3000 | 23 | 142.35 | 2.07 |
| 3500 | 25 | 166.08 | 2.25 |
| 4000 | 28.5 | 189.81 | 2.57 |
| 4500 | 31 | 213.53 | 2.79 |
| 5000 | 34 | 237.26 | 3.06 |
| 5500 | 37 | 260.98 | 3.33 |
| 6000 | 39.5 | 284.71 | 3.56 |
| 6500 | 42.5 | 308.44 | 3.83 |
| 7000 | 45 | 332.16 | 4.05 |
| 7500 | 47 | 355.89 | 4.23 |
| 8000 | 50 | 379.61 | 4.50 |
| 8500 | 53 | 403.34 | 4.77 |
| 9000 | 54.5 | 427.06 | 4.91 |
| 9500 | 57 | 450.79 | 5.14 |
| 10000 | 59 | 474.52 | 5.32 |
| 10500 | 62 | 498.24 | 5.59 |
| 11000 | 64 | 521.97 | 5.77 |
| 11500 | 68.5 | 545.69 | 6.17 |

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12000 | 71 | 569.42 | 6.40 |
| 12500 | 73 | 593.14 | 6.58 |
| 13000 | 75.5 | 616.87 | 6.80 |
| 13500 | 78 | 640.60 | 7.03 |
| 14000 | 80 | 664.32 | 7.21 |
| 14500 | 82 | 688.05 | 7.39 |
| 15000 | 84.5 | 711.77 | 7.61 |
| 15500 | 87 | 735.50 | 7.84 |
| 16000 | 89 | 759.23 | 8.02 |
| 16500 | 92 | 782.95 | 8.29 |
| 17000 | 94.5 | 806.68 | 8.51 |
| 17500 | 97 | 830.40 | 8.74 |
| 18000 | 99.5 | 854.13 | 8.96 |
| 18500 | 101.5 | 877.85 | 9.14 |
| 19000 | 104 | 901.58 | 9.37 |
| 19500 | 107.5 | 925.31 | 9.68 |
| 20000 | 111 | 949.03 | 10.00 |
| 20500 | 123 | 972.76 | 11.08 |



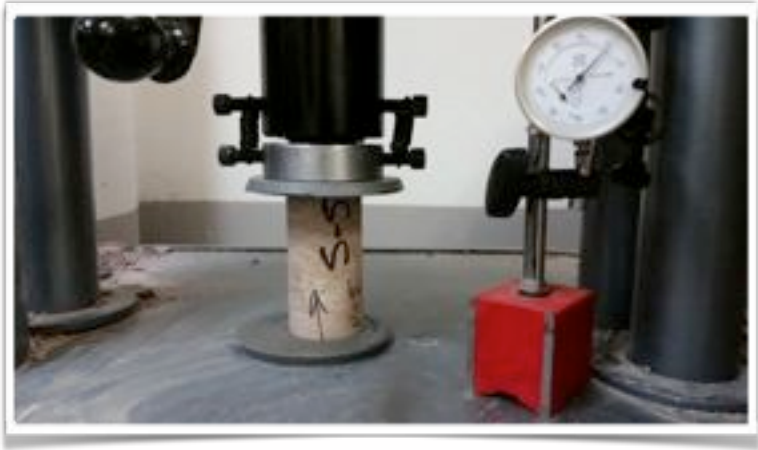
| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-5 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.80 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba



| Datos de espécimen | |
|------------------------|------------------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 972.76 |
| E (kg/cm2) | 10,635.54 |

Ensayo de espécimen



Especimen llevado a la falla





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-7 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.60 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

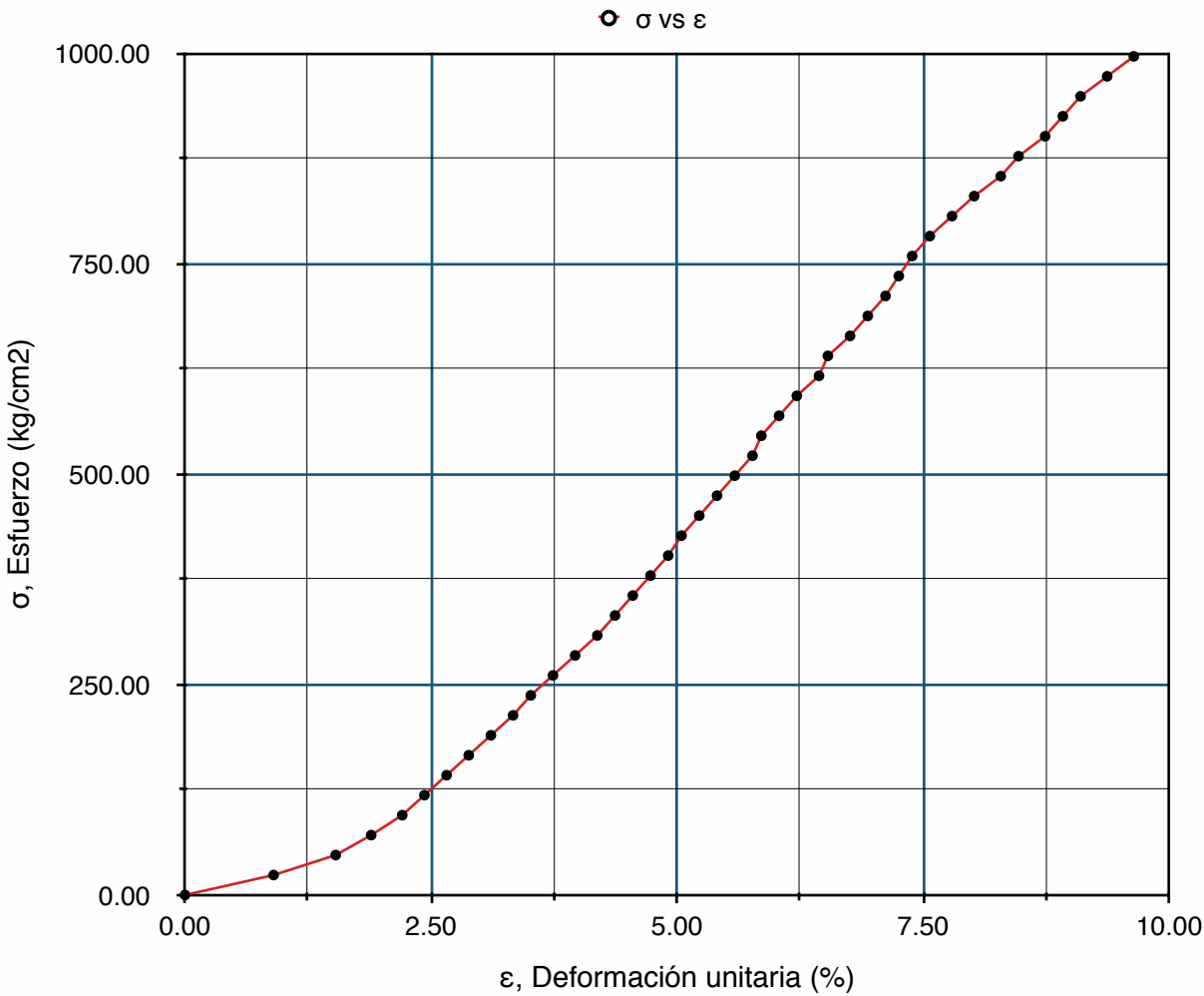
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 10 | 23.73 | 0.90 |
| 1000 | 17 | 47.45 | 1.53 |
| 1500 | 21 | 71.18 | 1.89 |
| 2000 | 24.5 | 94.90 | 2.21 |
| 2500 | 27 | 118.63 | 2.43 |
| 3000 | 29.5 | 142.35 | 2.66 |
| 3500 | 32 | 166.08 | 2.88 |
| 4000 | 34.5 | 189.81 | 3.11 |
| 4500 | 37 | 213.53 | 3.33 |
| 5000 | 39 | 237.26 | 3.51 |
| 5500 | 41.5 | 260.98 | 3.74 |
| 6000 | 44 | 284.71 | 3.96 |
| 6500 | 46.5 | 308.44 | 4.19 |
| 7000 | 48.5 | 332.16 | 4.37 |
| 7500 | 50.5 | 355.89 | 4.55 |
| 8000 | 52.5 | 379.61 | 4.73 |
| 8500 | 54.5 | 403.34 | 4.91 |
| 9000 | 56 | 427.06 | 5.05 |
| 9500 | 58 | 450.79 | 5.23 |
| 10000 | 60 | 474.52 | 5.41 |
| 10500 | 62 | 498.24 | 5.59 |
| 11000 | 64 | 521.97 | 5.77 |
| 11500 | 65 | 545.69 | 5.86 |
| 12000 | 67 | 569.42 | 6.04 |

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12500 | 69 | 593.14 | 6.22 |
| 13000 | 71.5 | 616.87 | 6.44 |
| 13500 | 72.5 | 640.60 | 6.53 |
| 14000 | 75 | 664.32 | 6.76 |
| 14500 | 77 | 688.05 | 6.94 |
| 15000 | 79 | 711.77 | 7.12 |
| 15500 | 80.5 | 735.50 | 7.25 |
| 16000 | 82 | 759.23 | 7.39 |
| 16500 | 84 | 782.95 | 7.57 |
| 17000 | 86.5 | 806.68 | 7.79 |
| 17500 | 89 | 830.40 | 8.02 |
| 18000 | 92 | 854.13 | 8.29 |
| 18500 | 94 | 877.85 | 8.47 |
| 19000 | 97 | 901.58 | 8.74 |
| 19500 | 99 | 925.31 | 8.92 |
| 20000 | 101 | 949.03 | 9.10 |
| 20500 | 104 | 972.76 | 9.37 |
| 21000 | 107 | 996.48 | 9.64 |



| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-7 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.60 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba



| Datos de espécimen | |
|------------------------|------------------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 996.48 |
| E (kg/cm2) | 13,655.51 |

Ensayo de espécimen



Especimen llevado a la falla





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-1 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.70 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 55 | 23.73 | 4.95 |
| 1000 | 58.5 | 47.45 | 5.27 |
| 1500 | 62 | 71.18 | 5.59 |
| 2000 | 65 | 94.90 | 5.86 |
| 2500 | 67 | 118.63 | 6.04 |
| 3000 | 70 | 142.35 | 6.31 |
| 3500 | 72 | 166.08 | 6.49 |
| 4000 | 74.5 | 189.81 | 6.71 |
| 4500 | 76.5 | 213.53 | 6.89 |
| 5000 | 79 | 237.26 | 7.12 |
| 5500 | 81 | 260.98 | 7.30 |
| 6000 | 83 | 284.71 | 7.48 |
| 6500 | 85 | 308.44 | 7.66 |
| 7000 | 87 | 332.16 | 7.84 |
| 7500 | 89 | 355.89 | 8.02 |
| 8000 | 91 | 379.61 | 8.20 |
| 8500 | 93 | 403.34 | 8.38 |
| 9000 | 95 | 427.06 | 8.56 |
| 9500 | 96.5 | 450.79 | 8.69 |
| 10000 | 98 | 474.52 | 8.83 |
| 10500 | 100 | 498.24 | 9.01 |
| 11000 | 102 | 521.97 | 9.19 |
| 11500 | 104 | 545.69 | 9.37 |
| 12000 | 106 | 569.42 | 9.55 |

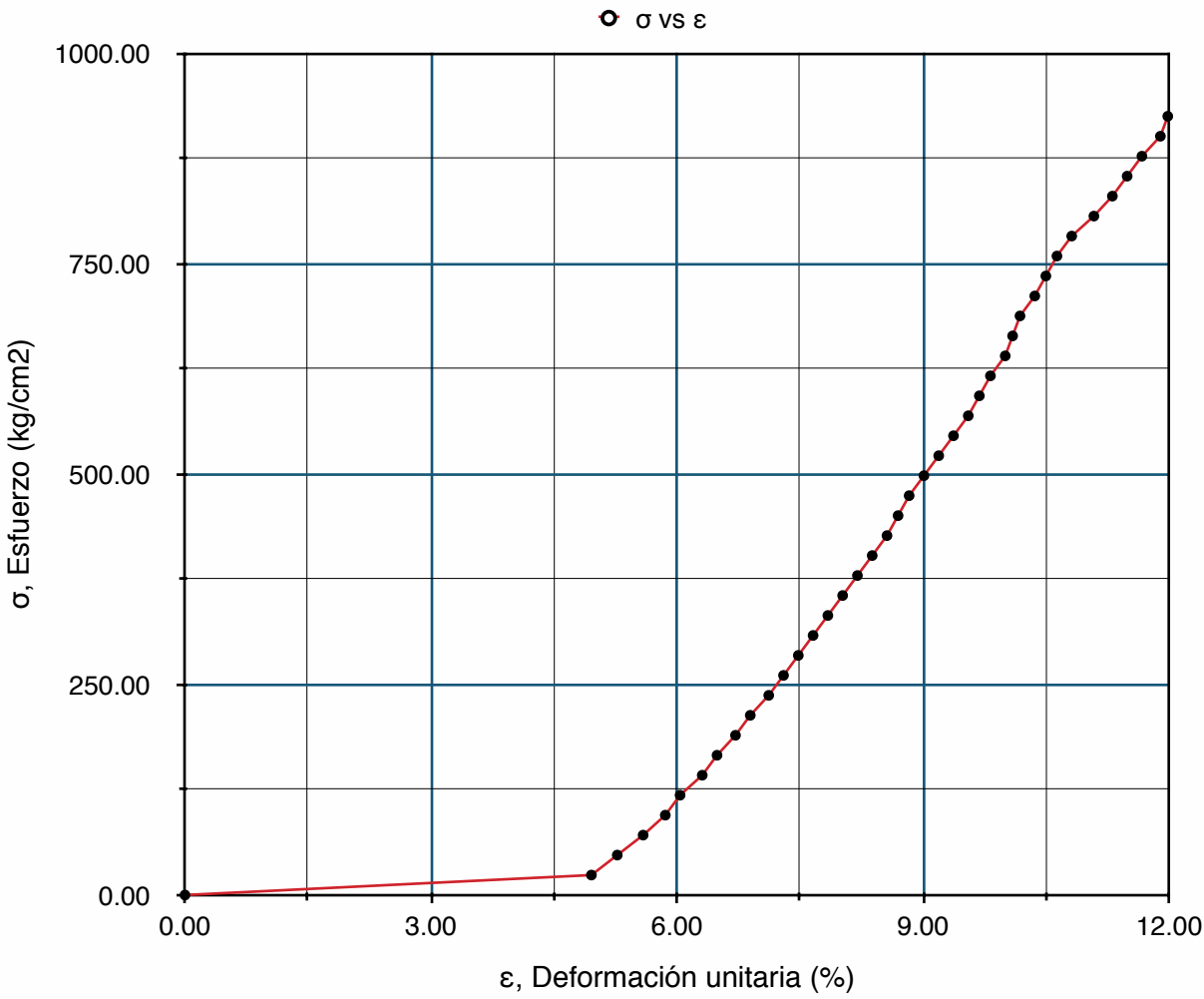
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12500 | 107.5 | 593.14 | 9.68 |
| 13000 | 109 | 616.87 | 9.82 |
| 13500 | 111 | 640.60 | 10.00 |
| 14000 | 112 | 664.32 | 10.09 |
| 14500 | 113 | 688.05 | 10.18 |
| 15000 | 115 | 711.77 | 10.36 |
| 15500 | 116.5 | 735.50 | 10.50 |
| 16000 | 118 | 759.23 | 10.63 |
| 16500 | 120 | 782.95 | 10.81 |
| 17000 | 123 | 806.68 | 11.08 |
| 17500 | 125.5 | 830.40 | 11.31 |
| 18000 | 127.5 | 854.13 | 11.49 |
| 18500 | 129.5 | 877.85 | 11.67 |
| 19000 | 132 | 901.58 | 11.89 |
| 19500 | 133 | 925.31 | 11.98 |





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-1 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.70 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba



| Datos de espécimen | |
|------------------------|------------------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 925.31 |
| E (kg/cm2) | 12,830.17 |

Especimen llevado a la falla





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-9 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 1.20 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

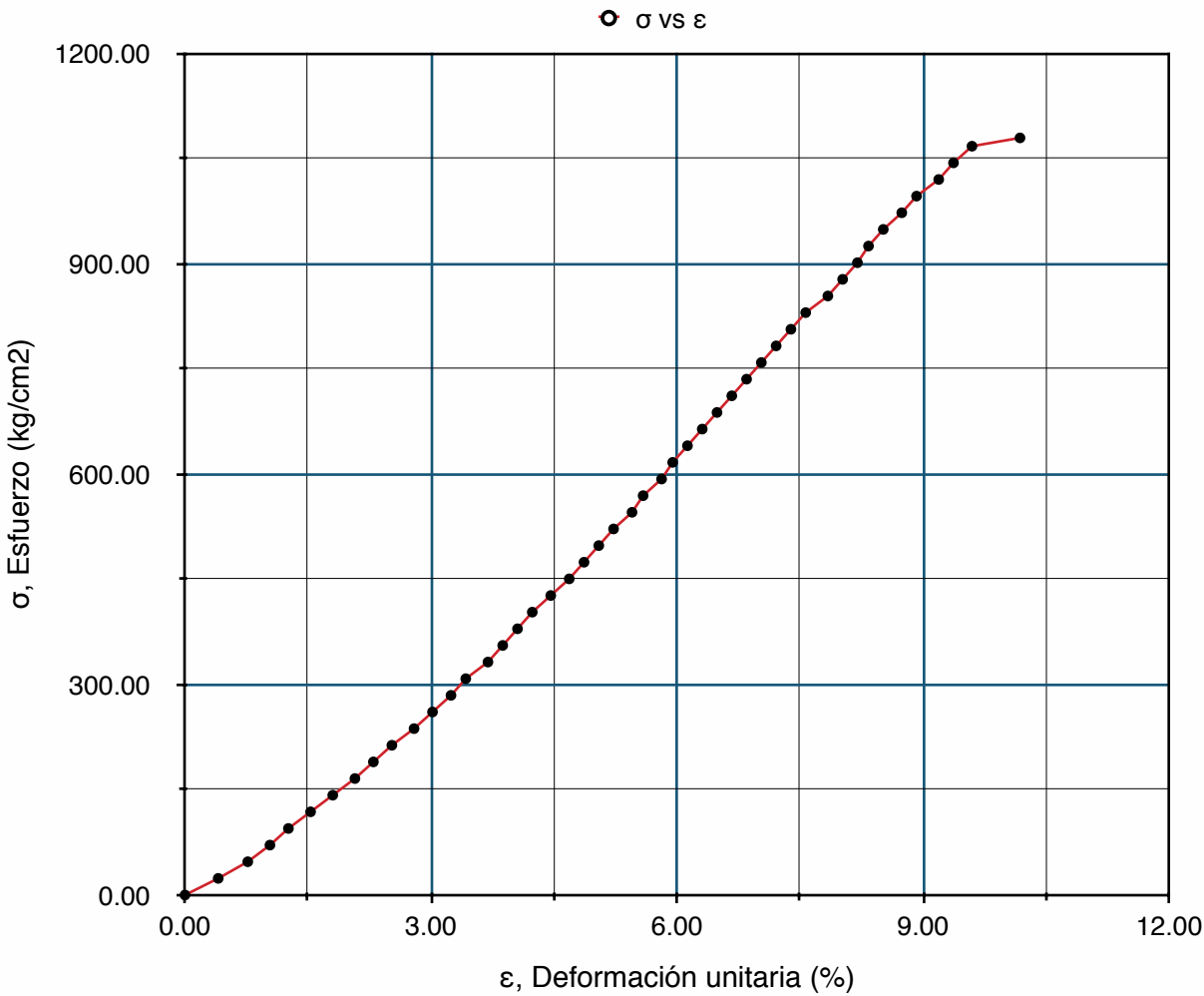
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 4.5 | 23.73 | 0.41 |
| 1000 | 8.5 | 47.45 | 0.77 |
| 1500 | 11.5 | 71.18 | 1.04 |
| 2000 | 14 | 94.90 | 1.26 |
| 2500 | 17 | 118.63 | 1.53 |
| 3000 | 20 | 142.35 | 1.80 |
| 3500 | 23 | 166.08 | 2.07 |
| 4000 | 25.5 | 189.81 | 2.30 |
| 4500 | 28 | 213.53 | 2.52 |
| 5000 | 31 | 237.26 | 2.79 |
| 5500 | 33.5 | 260.98 | 3.02 |
| 6000 | 36 | 284.71 | 3.24 |
| 6500 | 38 | 308.44 | 3.42 |
| 7000 | 41 | 332.16 | 3.69 |
| 7500 | 43 | 355.89 | 3.87 |
| 8000 | 45 | 379.61 | 4.05 |
| 8500 | 47 | 403.34 | 4.23 |
| 9000 | 49.5 | 427.06 | 4.46 |
| 9500 | 52 | 450.79 | 4.68 |
| 10000 | 54 | 474.52 | 4.86 |
| 10500 | 56 | 498.24 | 5.05 |
| 11000 | 58 | 521.97 | 5.23 |
| 11500 | 60.5 | 545.69 | 5.45 |
| 12000 | 62 | 569.42 | 5.59 |

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12500 | 64.5 | 593.14 | 5.81 |
| 13000 | 66 | 616.87 | 5.95 |
| 13500 | 68 | 640.60 | 6.13 |
| 14000 | 70 | 664.32 | 6.31 |
| 14500 | 72 | 688.05 | 6.49 |
| 15000 | 74 | 711.77 | 6.67 |
| 15500 | 76 | 735.50 | 6.85 |
| 16000 | 78 | 759.23 | 7.03 |
| 16500 | 80 | 782.95 | 7.21 |
| 17000 | 82 | 806.68 | 7.39 |
| 17500 | 84 | 830.40 | 7.57 |
| 18000 | 87 | 854.13 | 7.84 |
| 18500 | 89 | 877.85 | 8.02 |
| 19000 | 91 | 901.58 | 8.20 |
| 19500 | 92.5 | 925.31 | 8.33 |
| 20000 | 94.5 | 949.03 | 8.51 |
| 20500 | 97 | 972.76 | 8.74 |
| 21000 | 99 | 996.48 | 8.92 |
| 21500 | 102 | 1020.21 | 9.19 |
| 22000 | 104 | 1043.93 | 9.37 |
| 22500 | 106.5 | 1067.66 | 9.59 |
| 22750 | 113 | 1079.52 | 10.18 |



| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-9 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 1.20 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba



| Datos de espécimen | |
|------------------------|-----------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 1,079.52 |
| E (kg/cm2) | 12,022.78 |

Ensayo de espécimen



Especimen llevado a la falla





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-3 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.30 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 19 | 23.73 | 1.71 |
| 1000 | 23 | 47.45 | 2.07 |
| 1500 | 28 | 71.18 | 2.52 |
| 2000 | 32 | 94.90 | 2.88 |
| 2500 | 35.5 | 118.63 | 3.20 |
| 3000 | 39.5 | 142.35 | 3.56 |
| 3500 | 43 | 166.08 | 3.87 |
| 4000 | 46 | 189.81 | 4.14 |
| 4500 | 49 | 213.53 | 4.41 |
| 5000 | 51.5 | 237.26 | 4.64 |
| 5500 | 54 | 260.98 | 4.86 |
| 6000 | 56.5 | 284.71 | 5.09 |
| 6500 | 59 | 308.44 | 5.32 |
| 7000 | 61.5 | 332.16 | 5.54 |
| 7500 | 64 | 355.89 | 5.77 |
| 8000 | 66 | 379.61 | 5.95 |
| 8500 | 68 | 403.34 | 6.13 |
| 9000 | 70 | 427.06 | 6.31 |
| 9500 | 71.5 | 450.79 | 6.44 |
| 10000 | 73.5 | 474.52 | 6.62 |
| 10500 | 75 | 498.24 | 6.76 |
| 11000 | 77 | 521.97 | 6.94 |
| 11500 | 78 | 545.69 | 7.03 |
| 12000 | 80 | 569.42 | 7.21 |

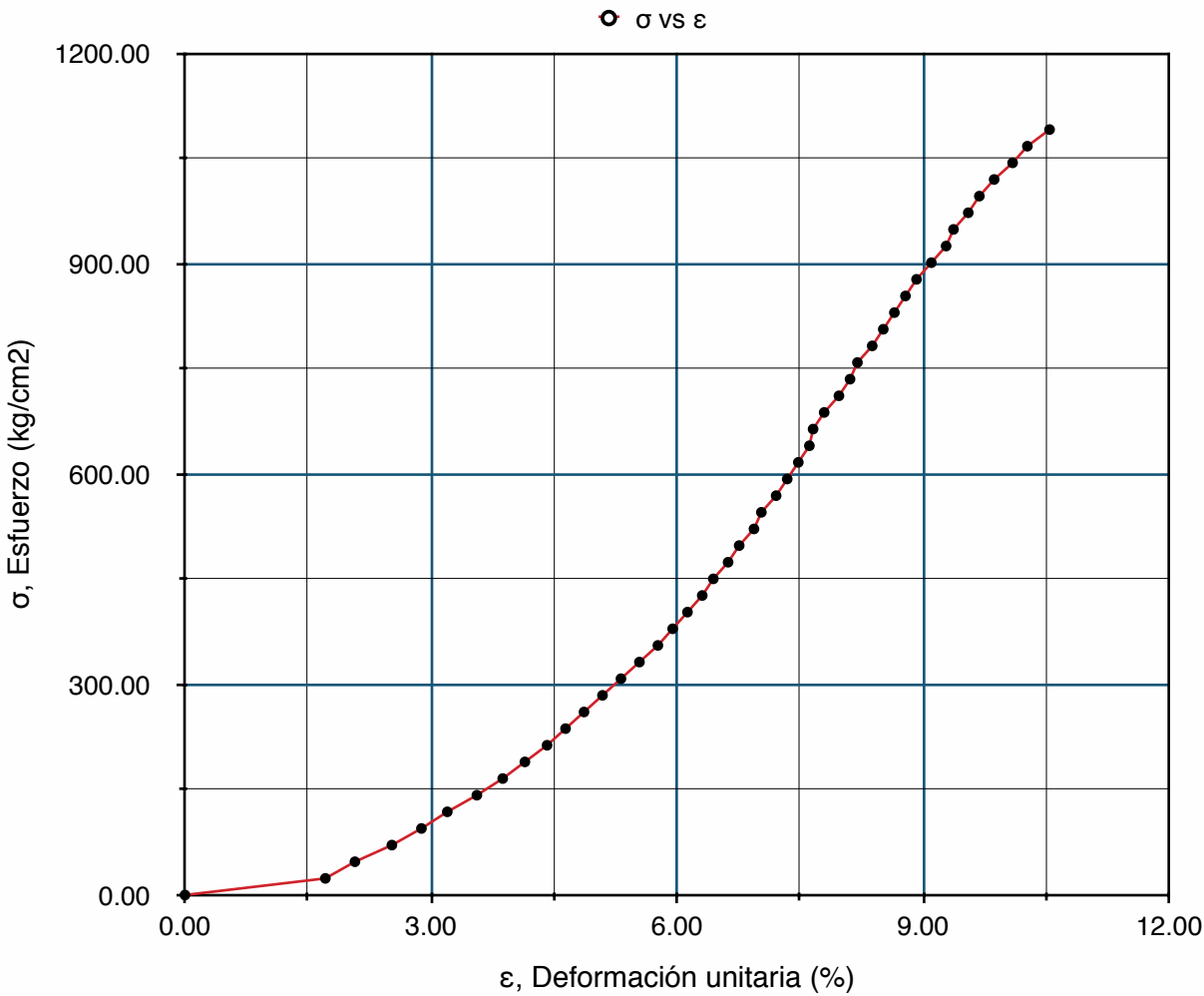
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12500 | 81.5 | 593.14 | 7.34 |
| 13000 | 83 | 616.87 | 7.48 |
| 13500 | 84.5 | 640.60 | 7.61 |
| 14000 | 85 | 664.32 | 7.66 |
| 14500 | 86.5 | 688.05 | 7.79 |
| 15000 | 88.5 | 711.77 | 7.97 |
| 15500 | 90 | 735.50 | 8.11 |
| 16000 | 91 | 759.23 | 8.20 |
| 16500 | 93 | 782.95 | 8.38 |
| 17000 | 94.5 | 806.68 | 8.51 |
| 17500 | 96 | 830.40 | 8.65 |
| 18000 | 97.5 | 854.13 | 8.78 |
| 18500 | 99 | 877.85 | 8.92 |
| 19000 | 101 | 901.58 | 9.10 |
| 19500 | 103 | 925.31 | 9.28 |
| 20000 | 104 | 949.03 | 9.37 |
| 20500 | 106 | 972.76 | 9.55 |
| 21000 | 107.5 | 996.48 | 9.68 |
| 21500 | 109.5 | 1020.21 | 9.86 |
| 22000 | 112 | 1043.93 | 10.09 |
| 22500 | 114 | 1067.66 | 10.27 |
| 23000 | 117 | 1091.39 | 10.54 |





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-3 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.30 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba



| Datos de espécimen | |
|------------------------|------------------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 1,091.39 |
| E (kg/cm2) | 12,743.04 |



| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-6 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.80 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

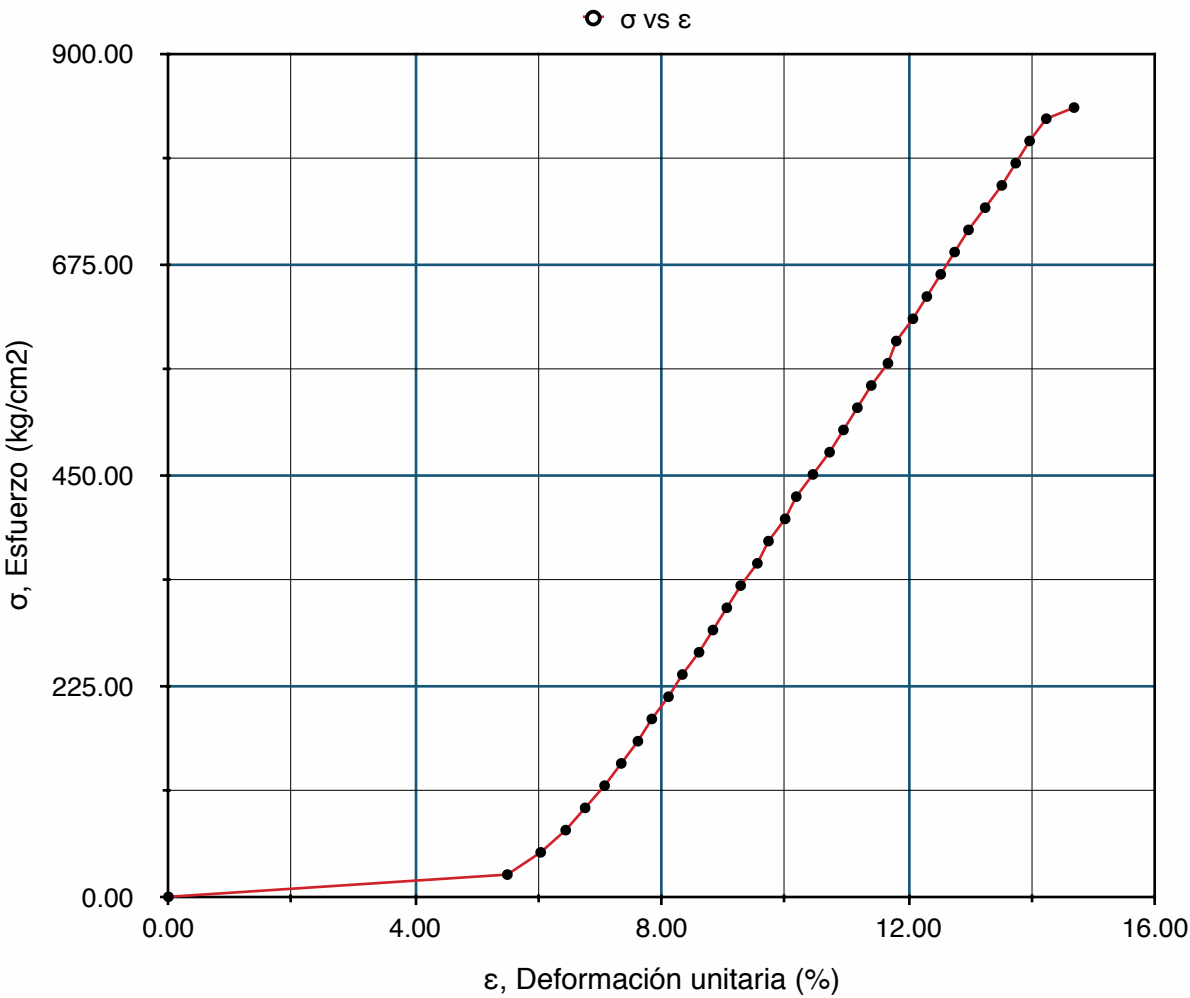
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 61 | 23.73 | 5.50 |
| 1000 | 67 | 47.45 | 6.04 |
| 1500 | 71.5 | 71.18 | 6.44 |
| 2000 | 75 | 94.90 | 6.76 |
| 2500 | 78.5 | 118.63 | 7.07 |
| 3000 | 81.5 | 142.35 | 7.34 |
| 3500 | 84.5 | 166.08 | 7.61 |
| 4000 | 87 | 189.81 | 7.84 |
| 4500 | 90 | 213.53 | 8.11 |
| 5000 | 92.5 | 237.26 | 8.33 |
| 5500 | 95.5 | 260.98 | 8.60 |
| 6000 | 98 | 284.71 | 8.83 |
| 6500 | 100.5 | 308.44 | 9.05 |
| 7000 | 103 | 332.16 | 9.28 |
| 7500 | 106 | 355.89 | 9.55 |
| 8000 | 108 | 379.61 | 9.73 |
| 8500 | 111 | 403.34 | 10.00 |
| 9000 | 113 | 427.06 | 10.18 |
| 9500 | 116 | 450.79 | 10.45 |
| 10000 | 119 | 474.52 | 10.72 |
| 10500 | 121.5 | 498.24 | 10.95 |
| 11000 | 124 | 521.97 | 11.17 |
| 11500 | 126.5 | 545.69 | 11.40 |
| 12000 | 129.5 | 569.42 | 11.67 |

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12500 | 131 | 593.14 | 11.80 |
| 13000 | 134 | 616.87 | 12.07 |
| 13500 | 136.5 | 640.60 | 12.30 |
| 14000 | 139 | 664.32 | 12.52 |
| 14500 | 141.5 | 688.05 | 12.75 |
| 15000 | 144 | 711.77 | 12.97 |
| 15500 | 147 | 735.50 | 13.24 |
| 16000 | 150 | 759.23 | 13.51 |
| 16500 | 152.5 | 782.95 | 13.74 |
| 17000 | 155 | 806.68 | 13.96 |
| 17500 | 158 | 830.40 | 14.23 |
| 17750 | 163 | 842.27 | 14.68 |



| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-6 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.80 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

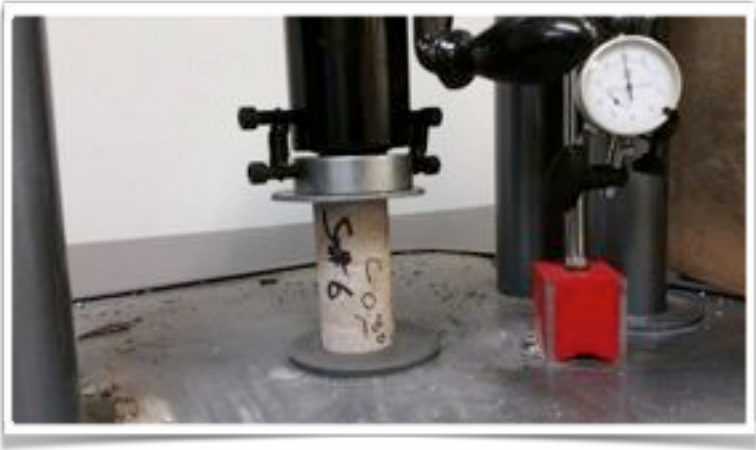
Resultados de prueba



Ensayo de espécimen

| Datos de espécimen | |
|------------------------|------------------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 842.27 |
| E (kg/cm2) | 10,194.43 |

Espécimen llevado a la falla





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-5 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.90 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

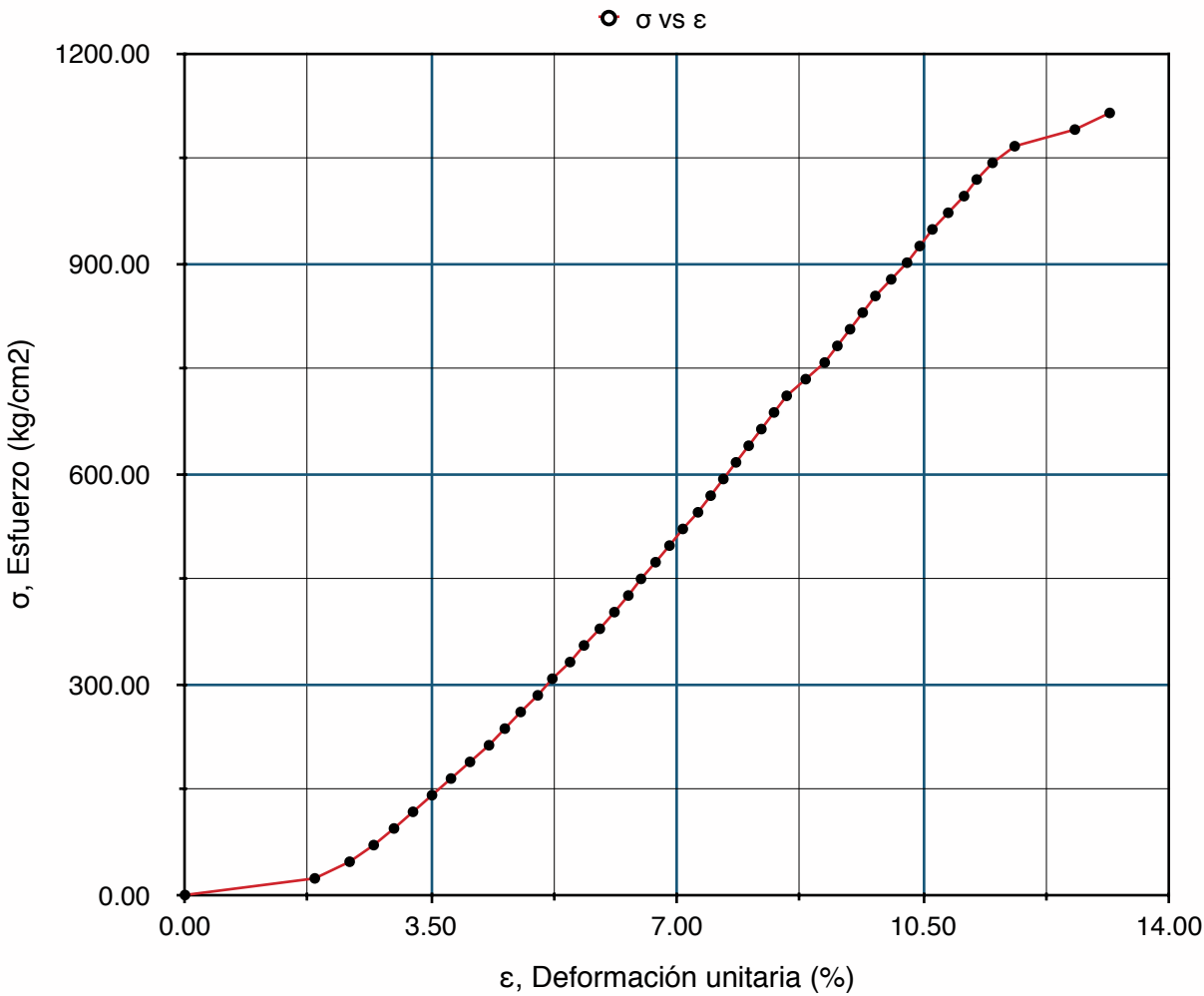
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 20.5 | 23.73 | 1.85 |
| 1000 | 26 | 47.45 | 2.34 |
| 1500 | 29.8 | 71.18 | 2.68 |
| 2000 | 33 | 94.90 | 2.97 |
| 2500 | 36 | 118.63 | 3.24 |
| 3000 | 39 | 142.35 | 3.51 |
| 3500 | 42 | 166.08 | 3.78 |
| 4000 | 45 | 189.81 | 4.05 |
| 4500 | 48 | 213.53 | 4.32 |
| 5000 | 50.5 | 237.26 | 4.55 |
| 5500 | 53 | 260.98 | 4.77 |
| 6000 | 55.7 | 284.71 | 5.02 |
| 6500 | 58 | 308.44 | 5.23 |
| 7000 | 60.8 | 332.16 | 5.48 |
| 7500 | 63 | 355.89 | 5.68 |
| 8000 | 65.5 | 379.61 | 5.90 |
| 8500 | 67.8 | 403.34 | 6.11 |
| 9000 | 70 | 427.06 | 6.31 |
| 9500 | 72 | 450.79 | 6.49 |
| 10000 | 74.3 | 474.52 | 6.69 |
| 10500 | 76.5 | 498.24 | 6.89 |
| 11000 | 78.6 | 521.97 | 7.08 |
| 11500 | 81 | 545.69 | 7.30 |
| 12000 | 83 | 569.42 | 7.48 |

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12500 | 85 | 593.14 | 7.66 |
| 13000 | 87 | 616.87 | 7.84 |
| 13500 | 89 | 640.60 | 8.02 |
| 14000 | 91 | 664.32 | 8.20 |
| 14500 | 93 | 688.05 | 8.38 |
| 15000 | 95 | 711.77 | 8.56 |
| 15500 | 98 | 735.50 | 8.83 |
| 16000 | 101 | 759.23 | 9.10 |
| 16500 | 103 | 782.95 | 9.28 |
| 17000 | 105 | 806.68 | 9.46 |
| 17500 | 107 | 830.40 | 9.64 |
| 18000 | 109 | 854.13 | 9.82 |
| 18500 | 111.5 | 877.85 | 10.05 |
| 19000 | 114 | 901.58 | 10.27 |
| 19500 | 116 | 925.31 | 10.45 |
| 20000 | 118 | 949.03 | 10.63 |
| 20500 | 120.5 | 972.76 | 10.86 |
| 21000 | 123 | 996.48 | 11.08 |
| 21500 | 125 | 1020.21 | 11.26 |
| 22000 | 127.5 | 1043.93 | 11.49 |
| 22500 | 131 | 1067.66 | 11.80 |
| 23000 | 140.5 | 1091.39 | 12.66 |
| 23500 | 146 | 1115.11 | 13.15 |



| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-5 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 0.90 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba

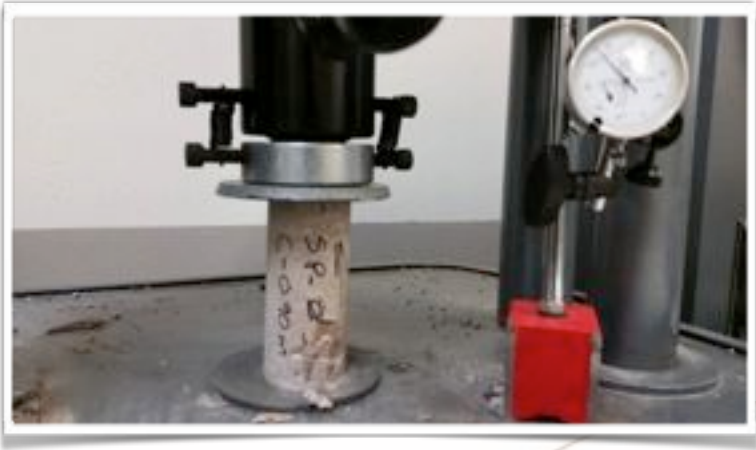


| Datos de espécimen | |
|------------------------|------------------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 1,115.11 |
| E (kg/cm2) | 11,756.97 |

Ensayo de espécimen



Especimen llevado a la falla





| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-1 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 1.00 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Registro de prueba

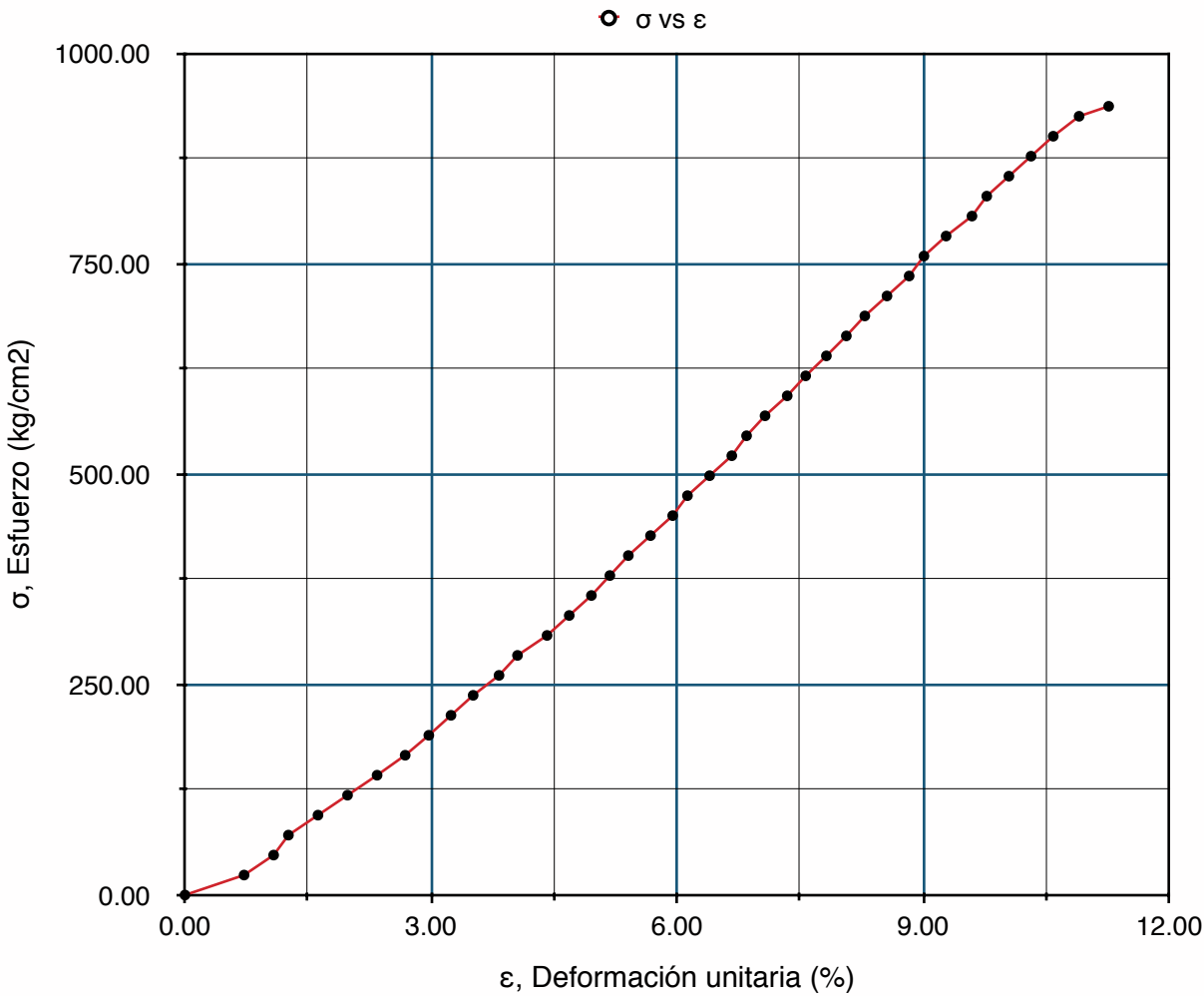
| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 8 | 23.73 | 0.72 |
| 1000 | 12 | 47.45 | 1.08 |
| 1500 | 14 | 71.18 | 1.26 |
| 2000 | 18 | 94.90 | 1.62 |
| 2500 | 22 | 118.63 | 1.98 |
| 3000 | 26 | 142.35 | 2.34 |
| 3500 | 29.8 | 166.08 | 2.68 |
| 4000 | 33 | 189.81 | 2.97 |
| 4500 | 36 | 213.53 | 3.24 |
| 5000 | 39 | 237.26 | 3.51 |
| 5500 | 42.5 | 260.98 | 3.83 |
| 6000 | 45 | 284.71 | 4.05 |
| 6500 | 49 | 308.44 | 4.41 |
| 7000 | 52 | 332.16 | 4.68 |
| 7500 | 55 | 355.89 | 4.95 |
| 8000 | 57.5 | 379.61 | 5.18 |
| 8500 | 60 | 403.34 | 5.41 |
| 9000 | 63 | 427.06 | 5.68 |
| 9500 | 66 | 450.79 | 5.95 |
| 10000 | 68 | 474.52 | 6.13 |
| 10500 | 71 | 498.24 | 6.40 |
| 11000 | 74 | 521.97 | 6.67 |
| 11500 | 76 | 545.69 | 6.85 |
| 12000 | 78.5 | 569.42 | 7.07 |

| Carga (kg) | Deformación (0.01 mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | Defortmación unitaria (%) |
|------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| 12500 | 81.5 | 593.14 | 7.34 |
| 13000 | 84 | 616.87 | 7.57 |
| 13500 | 86.8 | 640.60 | 7.82 |
| 14000 | 89.5 | 664.32 | 8.06 |
| 14500 | 92 | 688.05 | 8.29 |
| 15000 | 95 | 711.77 | 8.56 |
| 15500 | 98 | 735.50 | 8.83 |
| 16000 | 100 | 759.23 | 9.01 |
| 16500 | 103 | 782.95 | 9.28 |
| 17000 | 106.5 | 806.68 | 9.59 |
| 17500 | 108.5 | 830.40 | 9.77 |
| 18000 | 111.5 | 854.13 | 10.05 |
| 18500 | 114.5 | 877.85 | 10.32 |
| 19000 | 117.5 | 901.58 | 10.59 |
| 19500 | 121 | 925.31 | 10.90 |
| 19750 | 125 | 937.17 | 11.26 |



| | | | |
|------------------|---|--------------------------|---------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | S-1 |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | 1 |
| Fecha de prueba | 12/11/2014 | Profundidad | 1.00 m |
| Tipo de prueba | Compresión simple y módulo de elasticidad | Precisión del micrómetro | 0.01 mm |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

Resultados de prueba



Ensayo de espécimen

| Datos de espécimen | |
|------------------------|-----------------|
| Diámetro (cm) | 5.18 |
| Altura (cm) | 11.1 |
| Area transversal (cm2) | 21.07 |
| qu (kg/cm2) | 937.17 |
| E (kg/cm2) | 9,530.99 |



| | | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------|-------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | N/A |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | N/A |
| Fecha de prueba | 11/11/2014 | Profundidad | N/A |
| Tipo de prueba | Índice de carga puntual | Precisión del micrómetro | N/A |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

| Sondeo | Profundidad (m) | Diámetro (cm) | P (kg) | Ip (Kg/cm2) | Ip (Ton/m2) |
|--------|-----------------|---------------|----------|-------------|-------------|
| 6 | 0.60 | 5.2 | 1,685.00 | 62.32 | 623.15 |
| 5 | 1.00 | 5.1 | 2,145.60 | 82.49 | 824.91 |
| 2 | 0.35 | 5.0 | 1,375.00 | 55.00 | 550.00 |
| 3 | 0.00 | 5.2 | 1,240.80 | 45.89 | 458.88 |
| 8 | 0.10 | 5.1 | 1,330.00 | 51.13 | 511.34 |



| | | | |
|------------------|------------------------------------|--------------------------|-------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | N/A |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | N/A |
| Fecha de prueba | 11/11/2014 | Profundidad | N/A |
| Tipo de prueba | Resistencia a la tensión indirecta | Precisión del micrómetro | N/A |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

| Sondeo | Profundidad (m) | Diámetro (cm) | Longitud (cm) | P (kg) | σ_T | σ_T |
|--------|-----------------|---------------|---------------|----------|------------|------------|
| 2 | 0.60 | 5.0 | 11.5 | 6,950.00 | 76.95 | 769.48 |
| 4 | 1.60 | 5.2 | 12.0 | 5,000.00 | 51.01 | 510.11 |
| 5 | 0.80 | 5.2 | 11.0 | 6,875.00 | 76.52 | 765.17 |
| 6 | 0.90 | 5.0 | 12.5 | 6,175.00 | 62.90 | 628.98 |
| 8 | 0.50 | 5.0 | 10.5 | 5,974.00 | 72.44 | 724.41 |
| 9 | 1.20 | 5.0 | 11.9 | 5,000.00 | 53.50 | 534.97 |
| 7 | 0.60 | 5.0 | 12.0 | 5,300.00 | 56.23 | 562.35 |
| 3 | 1.30 | 5.0 | 12.0 | 3,100.00 | 32.89 | 328.92 |



| | | | |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------|
| Proyecto | CIMAV Durango | Sondeo | N/A |
| Ubicación | Durango, Durango | Muestra | N/A |
| Fecha de prueba | 11/11/2014 | Profundidad | N/A |
| Tipo de prueba | Determinación de peso volumétrico | Precisión del micrómetro | N/A |
| Tipo de material | Núcleo de roca | Solicitante | CIMAV |

| Sondeo | P _{mp} | P | γ _p | V | P' | γ _w | V | γ _m |
|--------|-----------------|----------|----------------|---------|----------|----------------|----------|----------------|
| 1 | 298.8 gr | 286.5 gr | 0.87 gr/cm | 14.0 cm | 153.2 gr | 1.0 gr/cm | 131.5 cm | 2.18 ton/m3 |
| 2 | 313.5 gr | 294.4 gr | 0.87 gr/cm | 21.9 cm | 158.6 gr | 1.0 gr/cm | 132.9 cm | 2.21 ton/m3 |
| 3 | 238.54 | 230.2 | 0.87 gr/cm | 9.6 cm | 125.6 gr | 1.0 gr/cm | 103.4 cm | 2.23 ton/m3 |
| 4 | 316.4 | 294 | 0.87 gr/cm | 25.7 cm | 158.6 gr | 1.0 gr/cm | 132.1 cm | 2.23 ton/m3 |
| 5 | 252.19 | 237 | 0.87 gr/cm | 17.5 cm | 133.9 gr | 1.0 gr/cm | 100.8 cm | 2.35 ton/m3 |
| 6 | 315.78 | 295.1 | 0.87 gr/cm | 23.8 cm | 161.6 gr | 1.0 gr/cm | 130.4 cm | 2.26 ton/m3 |
| 7 | 184.22 | 176.1 | 0.87 gr/cm | 9.3 cm | 100.7 gr | 1.0 gr/cm | 74.2 cm | 2.37 ton/m3 |
| 8 | 211.56 | 186.54 | 0.87 gr/cm | 28.8 cm | 102.7 gr | 1.0 gr/cm | 80.1 cm | 2.33 ton/m3 |
| 9 | 115.66 | 110.1 | 0.87 gr/cm | 6.4 cm | 62.4 gr | 1.0 gr/cm | 46.9 cm | 2.35 ton/m3 |

V_p=Volumen de la parafina (cm)
 P_{mp}=El peso del especimen cubierto de parafina (gr)
 P_m=Peso del especimen sin parafina (gr)
 γ_p=Peso volumetrico de la parafina (aprox 0.87gr/cm)
 V_m=Volumen del especimen (cm)
 v_{mp}=Volumen del especimen con parafina (cm)
 V_p=Volumen de la parafina que cubre el especimen (cm)
 P_{mp}=El peso del especimen cubierto de parafina (gr)
 P'_{mp}=El peso del especimen sumergido cubierto de parafina (gr)
 γ_w=Peso volumetrico del agua (1 gr/cm)
 γ_m=Peso volumetrico del especimen humnedo (1 gr/cm)
 P_m=El peso del especimen sin parafina (gr)
 V_m=Volumen del especimen (gr)



6.2 Materiales para el control de calidad

La clasificación del suelo depende del grado de cementación, consistencia del material y dificultad para extraerlo; las características físicas de los suelos se determinan en laboratorio dentro de los estudios de ingeniería que se realizan, los que se apoyan en estudios de mecánica de suelos. Esta clasificación podrá variar según el tipo de terreno estudiado en el sitio.

El contratista deberá seleccionar el procedimiento de ejecución de acuerdo con la clasificación y el grado de dificultad establecidos, indicando en el análisis de precios unitarios la maquinaria en equipo adecuado en accesorios propuestos para ejecutar el concepto. Los materiales se clasifican para efecto de pago para su dificultad de extracción y carga en función de :

- a) Dureza de los materiales
- b) Granulometría de la extracción
- c) Resistencia a la compresión simple
- d) Clasificación visual y al tacto
- e) Dificultad de extracción y carga
- f) Topografía del terreno
- g) Clima
- h) Rendimiento medio de la maquinaria

En forma genérica se clasifica en:

| Material | instrumentos y/o equipo de excavación. |
|-----------------|---|
| TIPO I: | Pico, pala, cincel y marro manual o tractor con cuchilla. |
| TIPO II: | Pico, pala mecánica o tractor con cuchilla. |
| TIPO III: | Con maquina retroexcavadora. |
| TIPO III-A: | Explosivos y/o equipo neumático. |

MATERIAL TIPO I:

- ✓ Es el material blando o suelto que puede ser eficientemente con herramienta manual, pala, pico o herramienta necesaria de capacidad adecuada para ser extraída con tractor de oruga de 90 (noventa) a 110 (ciento diez) H.P. de potencia en la barra, sin el auxilio de arados o tractores empujados, aunque ambos se utilicen para obtener mayores rendimientos
- ✓ Se consideran como materiales tipo I, los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.5 (siete punto cinco) cm. (3"), los suelos agrícolas, arcillas poco compactas, limos y arenas, y en general todo aquel material en el cual, un peón puede rendir 5 (cinco) m³/jornada



MATERIAL TIPO II:

- ✓ Es el material que para excavarlo es necesario el uso de pico o tractor de oruga con cuchilla de inclinación variable, de 140 (ciento cuarenta) a 160 (ciento sesenta) H.P. de potencia en la barra o con pala mecánica de capacidad mínima de 1 (uno) m³, sin el uso de explosivos, aunque por conveniencia se utilicen estos para aumentar el rendimiento; o bien que pueda ser aflojada con arado de 6 (seis) toneladas, tirado con tractor de oruga de 140(ciento cuarenta) a 160(ciento sesenta) HP de potencia en la barra.
- ✓ Corresponden a esta clasificación, las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas y arenas limosas medianamente compactas, y en general se consideran dentro de este tipo II, los materiales en los cuales, un peón puede rendir 3.5 (tres punto cinco) m³/jornada

MATERIAL TIPO III:

- ✓ Es el material que por su dificultad de extracción y sustracción, baja ostensiblemente el rendimiento de la maquinaria. Se consideran como material tipo III las arenas limosas, arenas arcillosas muy cementadas y conglomerados.

MATERIAL TIPO III-A:

- ✓ Es el material que por su dificultad de excavación y sustracción, requiere del uso de explosivos y/o equipo neumático o zanjadores especiales para corte y sustracción; también se consideran como material tipo III-A, las rocas sueltas con dimensión mayor de 75 (setenta y cinco) cm. , las rocas basálticas, riolitas, areniscas, granitos y andesitas sanas.

6.2 Clasificación del material de corte

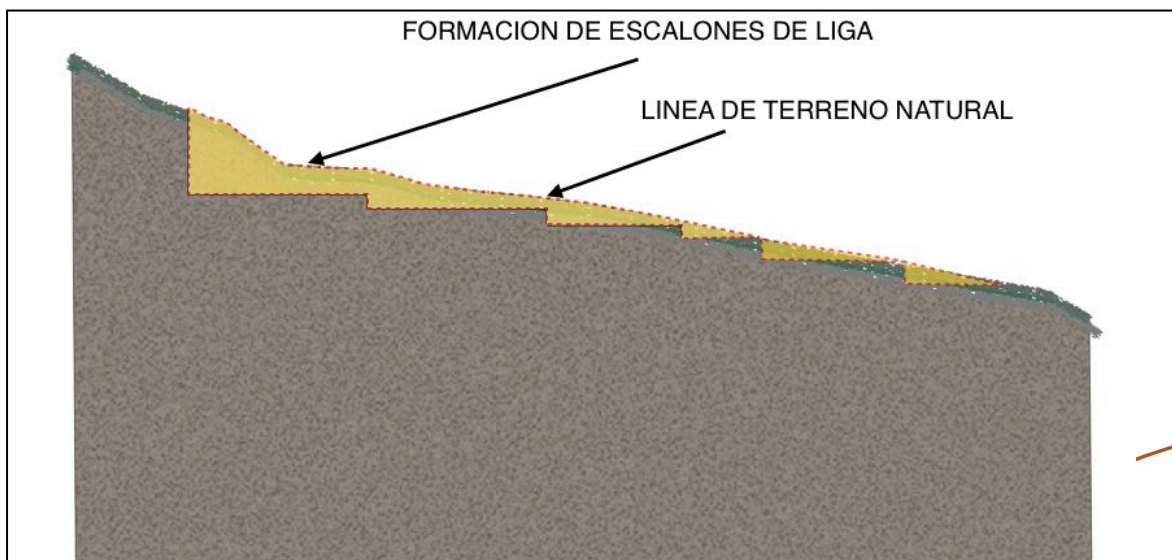
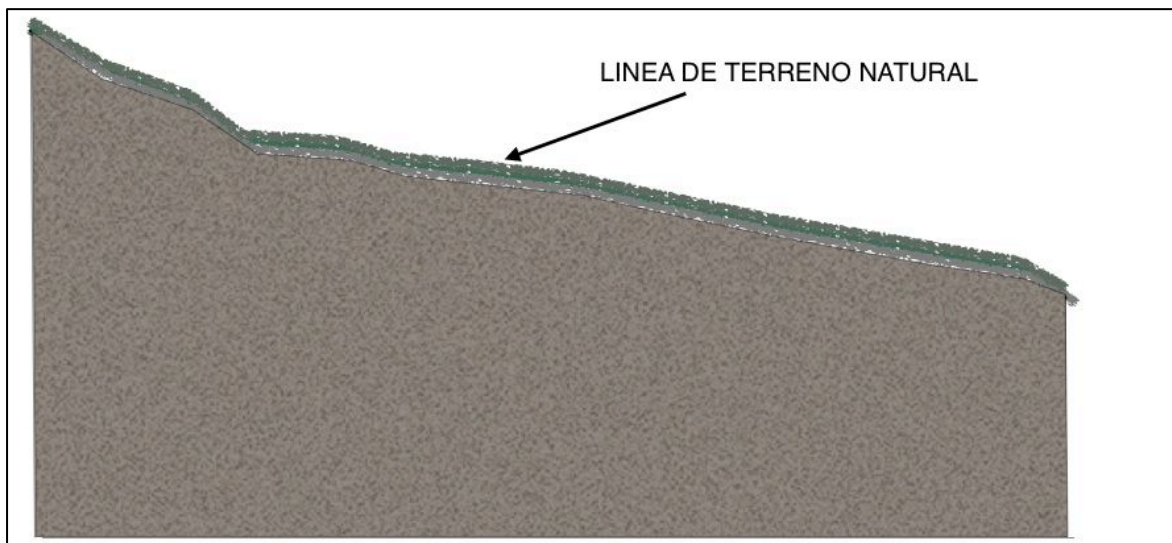
De acuerdo con lo anterior, tomando en cuenta la geología de la zona, y la dificultad para llevar a cabo la exploraciones en campo, el material será clasificado de la siguiente manera considerando su profundidad

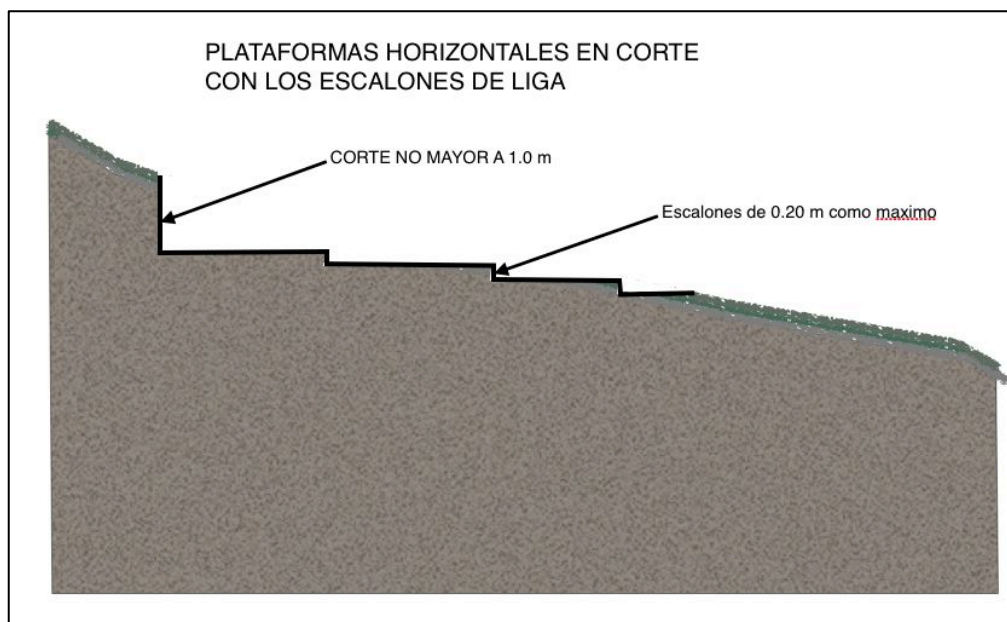
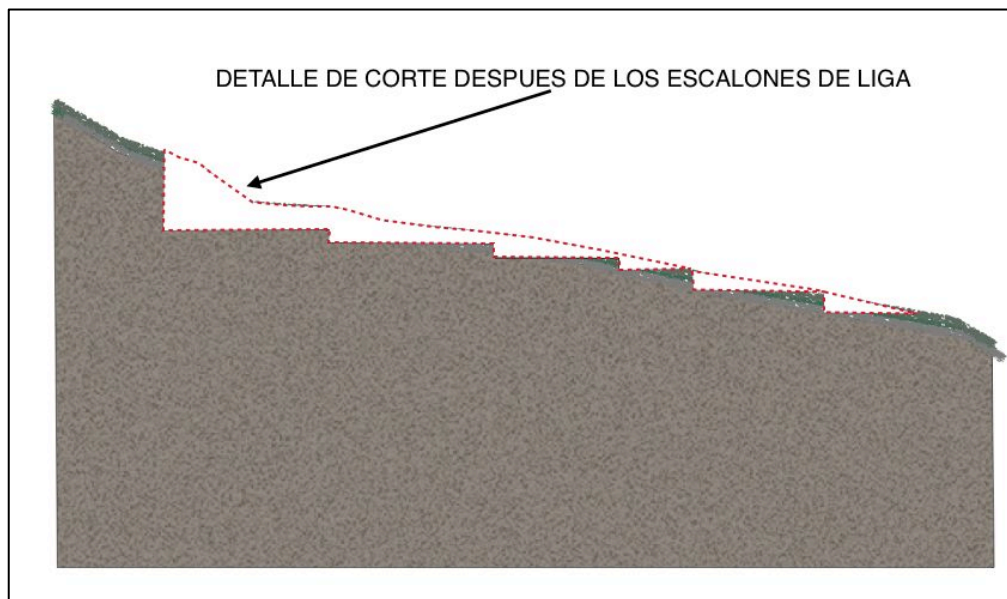
| Clasificación | Profundidad (m) |
|---------------|-----------------|
| 00-00-00-100 | 0.00-4.0 |

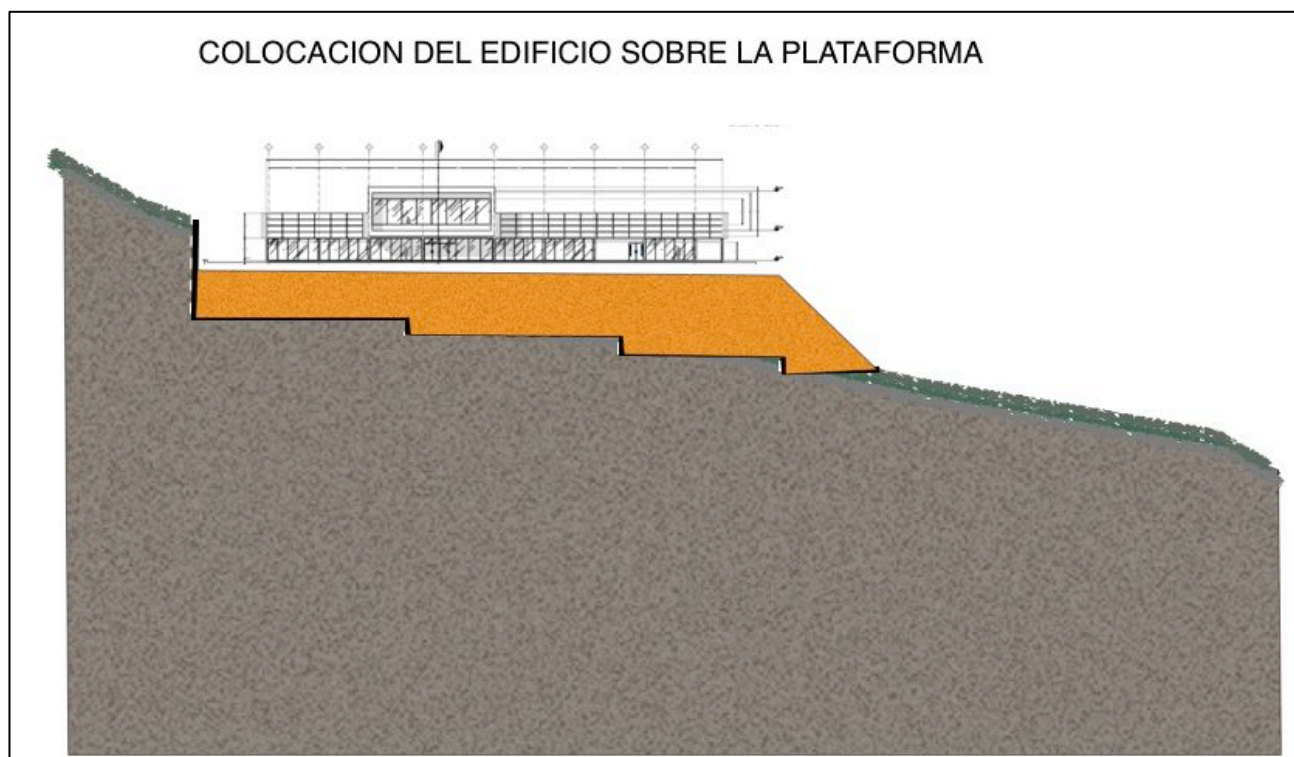
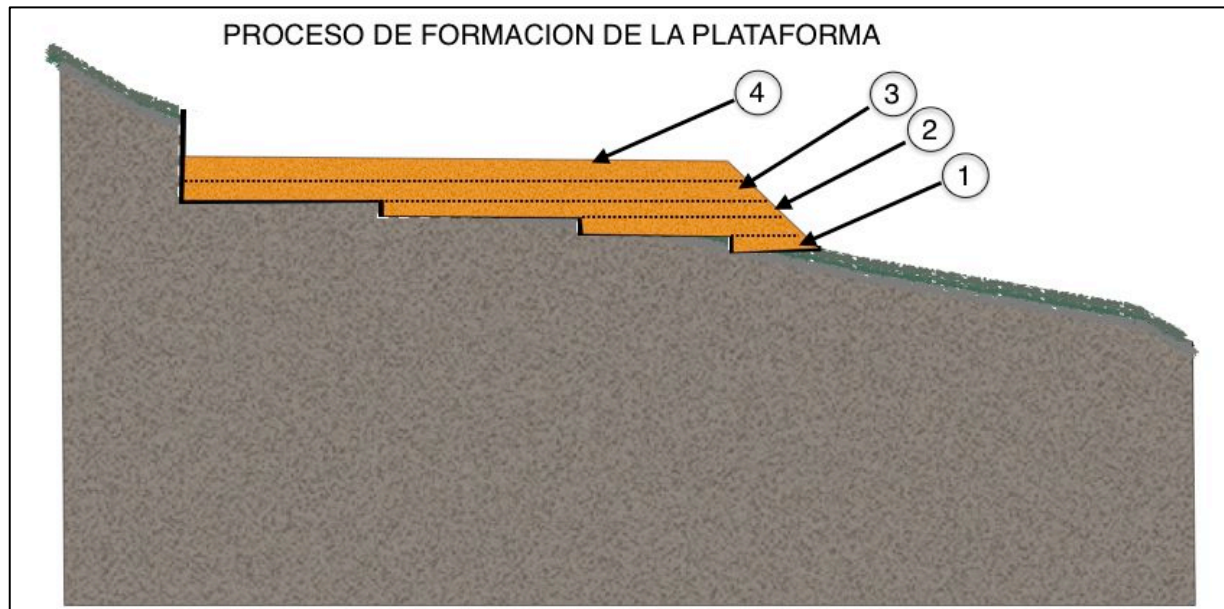
6.3 Trabajos previos

Tomando en cuenta el tipo de materiales encontrados y la topografía, será necesario llevar algunos trabajos previo a la construcción de las edificaciones:

Tomando en cuenta que el material que se tiene en la zona corresponde a material tipo III-A, se considera que se deberá cortar los menos posible con el fin de evitar encarecer la obra, por lo que se considera que las estructuras se coloquen sobre secciones tanto de corte como terraplén, buscando que la profundidades de corte sean las mínimas y asegurando el empotramiento de las zapatas dentro de la roca, a continuación se muestra un ejemplo:







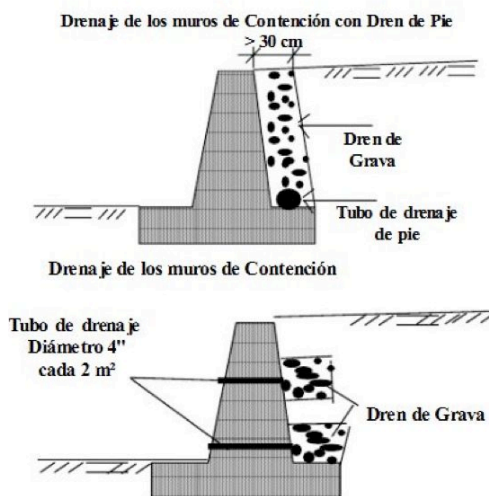
Formación de escalones de liga

- ✓ Realizar un corte o cortes de acuerdo a lo indicado anteriormente, el cual deberá tener una superficie horizontal.
- ✓ Una vez efectuados los escalones de liga, se comenzara la colocación de la plataforma desde el escalon de liga mas bajo (1,2,3 y 4), utilizando material que cumpla con calidad de subbase para pavimento flexible para menos de un millón de ejes equivalentes, compactado al 95% de su P.V.S.M, determinado por la prueba AASTHO modificada, en capas no mayores de 0.20 m, hasta llegar al nivel de plataforma terminada.
- ✓ Sobre la ultima capa compactada se podrá colocar la estructura, llevando las zapatas hasta la roca, la plataforma deberá tener un sobreancho mínimo de 3.0 m, medido desde el perímetro de la edificación.

Recomendaciones para subdrenaje

Para el edificio general en el cual se proyecta un muro de la estructura en colindancia con un corte en roca, se recomienda que se impermeabilice la pared mediante productos asfálticos o geomembranas y después de impermeabilizar, se deberá colocar un subdren longitudinal para desalojar el exceso de agua que pudiera filtrar hacia esa zona, evitando así empujes hidrostáticos en el muro.

Para el caso de zonas de terraplén, se puede colocar un muro de contención para evitar pateos de talud. En el caso de ser necesario colocar este tipo de estructuras de contención se dan las siguientes recomendaciones:



- Se deberá colocar en el respaldo del muro, un material de filtro compuesto por grava arena limpia, en un espesor de 0.30 m.
- El muro deberá contar con dos hileras de drenes, ubicados a un tercio de su altura, y deberán estar colocados en tresbolillo.
- Para el relleno del respaldo del muro, se deberá colocar material que tenga características de material de subbase.
- Tomando en cuenta las características del material recomendado, para el cálculo del empuje para el diseño del muro, se podrá considerar un ángulo de fricción interna de 30° y un peso volumétrico de 2.3 ton/m^3 . Se podrá considerar también un coeficiente activo $k_0=0.33$

Colocación de concreto lanzado

Para el caso de tener cortes en los cuales se proyecten expuestos a la intemperie, se recomienda recubrirlos con concreto lanzado con un espesor mínimo de 10 cm, para la colocación de este recubrimiento se dan las siguientes indicaciones:

Para la preparación de la superficie, inmediatamente antes de la colocación del concreto lanzado, toda la superficie por recubrir, estará debidamente preparada, sin material flojo, exenta de materias extrañas, polvo o grasa, controladas o canalizadas todas las filtraciones que hubieran existido. La limpieza se hará con aire y agua a presión.

Las operaciones de limpieza se deberán llevar de tal forma que se evite aflojar, agrietar o fragmentar los materiales por revestir.

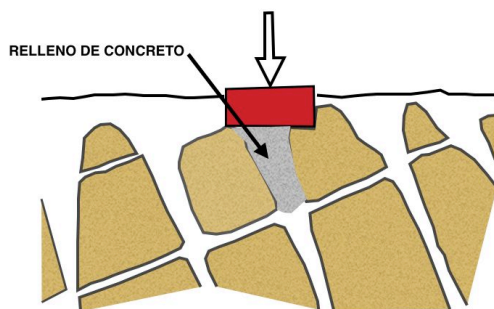
La superficie por recubrir se deberá mantener húmeda previa a la colocación del concreto lanzado.

Se colocará, varillas guía con diámetro mínimo de 4 mm sobre la superficie con el fin de servir como referencia del espesor por colocar, a razón de 1 varilla cada 4 metros cuadrados de superficie por recubrir.

Se utilizará malla electrosoldada, la cual estará anclada a la superficie mediante anclas largas.

Se recomienda que se coloquen drenes transversales en tresbolillo a un tercio de la altura del corte, con tubería perforada de P.V.C. con diámetros mínimos de 2 pulgadas.

Estrato de apoyo



El estrato de apoyo de las zapatas corresponde a bloques de roca clasificada como Ignimbrita Lítica, por lo que es posible que al momento de la construcción de las zapatas sea necesario rellenar con concreto con un $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ las oquedades que se encuentren entre los bloques como se muestra en la figura, esto se realizará en aberturas de 10 cm o mayores.

7 CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTOS

Para determinar la capacidad de carga en el macizo rocoso, se determino con la metodología propuesta por Hoek y Brown, la cual se basa en la clasificación del macizo rocoso mediante el valor de R.M.R. de Bienawski (Rock Mass Rating), resistencia a la compresión simple y la clasificación geológica de la roca, los datos utilizados para el cálculo se presenta a continuación:

$$q_{BL} = q_0 + q_u \left\{ \sqrt{m \cdot \frac{q_0}{q_u} + s} + \sqrt{m \cdot \frac{q_0 + q_u}{q_u} \sqrt{m \cdot \frac{q_0}{q_u} + s} + s} \right\}$$

Donde:

q_{BL} = Capacidad de carga para cemento largo

q_0 = Presión efectiva a nivel de desplante de la cimentación

q_u = Resistencia a la compresión simple

m y s = Parámetros de Hoek y Brown, dependen de la clasificación geológica de la roca y el R.M.R. del macizo rocoso

| | |
|------------------|----------|
| γ (Ton/m) | 2.2 |
| D_f (m) | 0.70 |
| q (Ton/m) | 9,253.00 |
| R.Q.D. (%) | 70 |
| R.M.R. | 58 |
| m | 0.311 |
| s | 0.00009 |

Clasificación de R.M.R.

| Parámetro | Rango de valores | Calificación |
|--|--------------------|--------------|
| Resistencia de la roca intacta (MPa) | 50-100 | 7 |
| R.Q.D. | 50-75 | 13 |
| Espaciamiento entre discontinuidades (m) | 0.2-0.6 | 10 |
| Condición de discontinuidades | | 20 |
| Agua subterránea | Ligeramente húmedo | 10 |

Ajuste de R.M.R. por orientación de juntas

| Parámetro | Rango de valores | Calificación |
|--|------------------|--------------|
| Rumbo y echado de las discontinuidades | Favorable | -2 |

Capacidad de carga del macizo rocoso

| | |
|---|----------|
| q (Ton/m) | 1.54 |
| q (Ton/m) | 9,253.00 |
| q (Ton/m) | 685.44 |
| Factor de forma (Cs), cimentación cuadrada | 1.25 |
| F.S. | 4 |
| q (Ton/m) | 214.20 |

El asentamiento esperado en este tipo de materiales es de tipo elástico, basando el cálculo de este parámetro en los módulos de deformabilidad de la roca específicamente en el módulo de elasticidad (E) y coeficiente de Poisson (v). Los resultados obtenidos son los siguientes:

$$S_e = \frac{q(1 - \nu^2)B \cdot I_p}{E_m}$$

Donde:

S_e = Asentamiento elástico esperado

q = Carga aplicada en la base de la cimentación

ν = Coeficiente de Poisson

I_p = Factor de corrección por geometría de la cimentación

E_m = Módulo de elasticidad del macizo rocoso

$$I_p = \frac{\sqrt{L/B}}{\beta_z}$$

Donde:

L = Largo de la cimentación

B = Ancho de la cimentación

β_z = Factor que depende de la clasificación geológica y el R.Q.D. del macizo rocoso

$$E_m = \alpha_E \cdot E_0$$

Donde:

α_E = Factor de corrección por el índice de calidad de roca (R.Q.D.)


E_0 = Módulo de elasticidad de la roca intacta

$$\alpha_E = 0.0231(R.Q.D.) - 1.32 \geq 0.15$$

R.Q.D. = Índice de calidad de roca

Calculo de asentamiento elástico

| | |
|-----------------------------|-------------|
| q (ton/m2) | 214.20 |
| v | 0.23 |
| Eo (ton/m2) | 101,944.00 |
| α | 0.297 |
| Em (ton/m2) | 30,277.37 |
| β_z | 1.08 |
| Ip | 0.93 |
| Base (m) | 1.2 |
| Se (cm) | 0.74 |



Para una cimentación superficial a base de zapata aislada con un ancho no menor de 1.20 m y desplantada a una profundidad mínima de 0.70 m dentro de la roca se calculó una capacidad de carga de **214.2 Ton/m²** y un asentamiento esperado del orden de **1.0 cm**.

Para zapatas corridas desplantadas bajo las mismas condiciones que las zapatas aisladas se tiene una capacidad de carga de **171.36 Ton/m²** y el asentamiento esperado será del orden de **1.0 cm**.

La profundidad de desplante definitiva deberá ser revisada por el estructurista con el fin de evitar problemas de volteo o succión por cargas de viento.

8 DISEÑO DE PAVIMENTOS

El diseño de pavimentos presentado en esta memoria de calculo se basa en datos obtenidos de pruebas de campo y laboratorio, además de parámetros de los materiales propuestos para definir la estructura de pavimento requerida.

8.1 Fundamento teórico de métodos de diseño

8.1.1 Método de American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.)

Confiabilidad:

La confiabilidad está definida como "la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. Otra manera de entender la confiabilidad, por ejemplo es: si se considera una confiabilidad "R" del 80% estaríamos permitiendo que el 20% de las losas del pavimento alcancen al final de su vida útil una serviciabilidad igual a la serviciabilidad final seleccionada en el diseño.

También podemos entender a la confiabilidad como un Factor de Seguridad y ante esa situación debemos reflexionar en los valores de confiabilidad que debemos utilizar en México, con el mejor de los criterios, al hacer un diseño para un pavimento.

Desviación estándar:

La desviación estándar es la cantidad de error estadístico presente en la ecuación de diseño de AASHTO resultando de la variación en los diferentes parámetros que intervienen en la

formulación, tales como: materiales, calidad de construcción, cuantificación del tráfico, variaciones del soporte en el suelo, etcétera.

La desviación estándar está muy relacionada con la confiabilidad "R", dado que entre ambos valores componen el Factor de Seguridad utilizado en la formulación.

Coeficiente de drenaje:

Es el porcentaje de tiempo que la estructura de pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación, algunos de los problemas que puede causar son los siguientes:

1. Reduce la resistencia de materiales granulares no ligados.
2. Reduce la resistencia de la subrasante
3. Expulsión de Finos.
4. Levantamientos diferenciales de suelos expansivos.
5. Expansión por congelamiento. -----> Asentamientos Grandes

Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (m_x)

| Calidad del drenaje | P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación | | | |
|---------------------|--|-----------|-----------|-------|
| | < 1% | 1% - 5% | 5% - 25% | > 25% |
| Excelente | 1.40-1.35 | 1.35-1.30 | 1.30-1.20 | 1.20 |
| Bueno | 1.35-1.25 | 1.25-1.15 | 1.15-1.00 | 1.00 |
| Regular | 1.25-1.15 | 1.15-1.05 | 1.00-0.80 | 0.80 |
| Pobre | 1.15-1.05 | 1.05-0.80 | 0.80-0.60 | 0.60 |
| Muy pobre | 1.05-0.95 | 0.95-0.75 | 0.75-0.40 | 0.40 |

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

Índice de servicio inicial:

El índice de servicio se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente.

El índice de servicio es una medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles como los son: el índice de perfil, índice de rugosidad internacional, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc.

El índice de servicio inicial representa las condiciones en las que se encuentra el pavimento después de construido.



Serviciabilidad final:

El índice de servicio final representa las condiciones en las que se encontrará el pavimento al final del periodo de diseño.

8.1.2 Método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.)

Este método considera modelos de deterioro para estimar la deformación permanente del pavimento a la falla, basados en pruebas a escala natural en el campo y en laboratorio.

Modelos para determinar el comportamiento a fatiga de las mezclas asfálticas, basados en investigación en el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., tomando en cuenta las condiciones particulares de clima y tránsito de México.

Los cálculos realizados en esta metodología son basados en parámetros de las capas como módulos elásticos o módulos de rigidez de las capas estabilizadas y no estabilizadas del pavimento.

8.1.3 Método de The Portland Cement Association (P.C.A.)

Este método de diseño aplica exclusivamente para pavimentos rígidos, es decir, pavimentos con superficie de rodamiento compuesta por losa de concreto hidráulico.

En los cálculos realizados en este método de diseño se consideran dos aspectos importantes por los cuales puede fallar este tipo de pavimento, la falla por fatiga y la falla por erosión causada por el efecto de bombeo que se produce en las juntas de las losas y producen migración de finos, socavando la capa de apoyo y formándose así agrietamientos de distintos grados de severidad y escalonamientos.

Debido a lo anterior el método calcula el número de repeticiones admisibles para la estructura de pavimento propuesta y lo compara contra el número de repeticiones de cada tipo de eje con sus respectivas cargas.

Para realizar los cálculos en forma adecuada se debe especificar de inicio si se proponen o no un sistema de transferencia de carga en las juntas transversales a través de pasajuntas o también conocidas como barra lisa, además, se debe especificar si el pavimento cuenta con acotamientos o no para considerar este factor en las fallas por erosión.

8.2 Datos generales para el diseño de pavimentos

Se realizó el diseño para pavimento de tipo flexible y pavimento rígido, obteniendo los siguientes resultados.

Los datos utilizados para el diseño del pavimento son los siguientes:

Datos generales de proyecto:

| Parámetro | Valor |
|----------------------------|-------|
| T.D.P.A. (Vehículos) | 718 |
| i (%) | 2 |
| K Subrasante (P.C.I.) | 147 |
| Factor de sentido (FS) | 1 |
| Factor de carril (FC) | 1 |
| C.B.R. (%) Subrasante | 20 |
| C.B.R. (%) Base hidráulica | 100 |

Composición vehicular:

| Tipo de vehículo | Cantidad | % |
|------------------|----------|------|
| A2 | 700 | 97.5 |
| C2 | 10 | 1.4 |
| C3 | 5 | 0.7 |
| T3-S2 | 1 | 0.1 |
| T3-S3 | 2 | 0.3 |
| Total | 718 | 100 |

8.3 Trabajos previos

Debido a que los cortes realizados en el terreno natural para cumplir con los niveles de proyecto serán sobre roca, la superficie descubierta no quedará afinada, por lo que se recomienda colocar

una capa con material que cumpla con calidad de subrasante de por lo menos 0.20 m de espesor compactada al 100% de su P.V.S.M. determinado por la prueba A.A.S.H.T.O. estándar.

8.4 Diseño de pavimento flexible

Para definir los espesores requeridos para el pavimento flexible se utilizaron los siguientes métodos de diseño:

- Método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) (Dispav-5).
- Método de American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.) (WinPAS).

8.4.1 Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. Dispav-5

Datos iniciales:

Rev. 5.0

TRÁNSITO ACUMULADO EN VEHÍCULOS TDPA

Introduzca los siguientes datos :

TDPA en el carril del proyecto (en vehículos) : 718

Tasa de crecimiento anual del tránsito en % : 2

Periodo de proyecto, en años : 15

y el tipo de camino

☒ Utilizar Norma del decreto publicado el 7 de enero de 1997 2. Tipo C

☐ Actualizar pesos según la Norma NOM-012-SCT-2008

Composición vehicular:

Rev. 5.0

COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO

Introduzca el porcentaje de cada tipo de vehículo.

| | |
|--------------------------------------|---|
| Auto | Tractocamión articulado |
| A: <input type="text" value="97.5"/> | T2-S1: <input type="text"/> |
| Autobús | T2-S2: <input type="text"/> |
| B2: <input type="text"/> | T3-S2: <input type="text" value="0.1"/> |
| B3: <input type="text"/> | T3-S3: <input type="text" value="0.3"/> |
| B4: <input type="text"/> | Tractocamión doblemente articulado |
| Camión | T2-S1-R2: <input type="text"/> |
| C2: <input type="text" value="1.4"/> | T3-S1-R2: <input type="text"/> |
| C3: <input type="text" value="0.7"/> | T3-S2-R2: <input type="text"/> |
| C2-R2: <input type="text"/> | T3-S2-R3: <input type="text"/> |
| C3-R2: <input type="text"/> | T3-S2-R4: <input type="text"/> |
| C2-R3: <input type="text"/> | T3-S3-S2: <input type="text"/> |
| C3-R3: <input type="text"/> | |

La suma hasta el momento es de 100.0%
La suma debe ser igual a 100 %

Ejes equivalentes esperados:

Rev. 5.0

TRÁNSITO

El tránsito del proyecto, en millones de ejes estándar es:

| | |
|--|-----|
| a) Por fatiga en las capas estabilizadas : | 0.3 |
| b) Por deformación en capas no estabilizadas : | 0.3 |

Ejes equivalentes admisibles para la estructura de pavimento propuesta:

| RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|--------|----------------------|---------|-----------------|--------|
| Camino normal. | | | | | | |
| Nivel de confianza en el diseño: 90% | | | | | | |
| Capa | H cm | VRSz % | E kg/cm ² | Poisson | Vida Previsible | |
| | | | | | Def | Fatiga |
| Carpeta | 5 | | 30000 | 0.35 | | 1.37 |
| Base granular | 15 | 100 | 3265 | 0.35 | 1.52 | |
| Subrasante | 20 | 20 | 1058 | 0.45 | 1.46 | |
| Terracería | Se... | 20 | 1058 | 0.45 | > 150 | |
| Vida Previsible | | | | | | |
| Deformación | | | 1.46 | | | |
| Fatiga | | | 1.37 | | | |

| Tipo de falla | Millones de ejes esperados | Millones de ejes permisibles |
|---------------|----------------------------|------------------------------|
| Deformación | 0.3 | 1.46 |
| Fatiga | 0.3 | 1.37 |

Por lo tanto los espesores mínimos propuestos son adecuados para el tránsito esperado.

8.4.2 Método del Instituto de American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.) (WinPAS)







Datos iniciales

| | | |
|---------------------------|-----------------------------------|--------|
| Estimated Rigid Thickness | <input type="text" value=""/> | inches |
| Estimated Asphalt SN | <input type="text" value="2.16"/> | |
| Terminal Serviceability | <input type="text" value="2.00"/> | |
| Design Life | <input type="text" value="15"/> | years |
| Annual Growth Rate | <input type="text" value="2.00"/> | % |
| Traffic Input By (M/D/Y) | <input type="text" value="Day"/> | |

| | |
|--|---------------------------------|
| Traffic Input as: | |
| <input checked="" type="radio"/> Design Lane | |
| <input type="radio"/> Total Traffic | |
| <input type="radio"/> 1-way | <input type="radio"/> 2-way |
| Design Lane Distribution | <input type="text" value=""/> % |
| Directional Distribution | <input type="text" value=""/> % |

Composición vehicular

| | | | | | | | |
|--------------------------|--|-------------------|--|--------------------|--|----------|--|
| Estimated Rigid Depth | | Structural Number | | 2.16 | | Pt 2.00 | |
| Traffic Input By (M/D/Y) | | Day | | Design Life | | 15 years | |
| | | | | Annual Growth Rate | | 2.00 % | |

| Vehicle | Axle Load kips | Axle Type | Number | Vehicle | Axle Load kips | Axle Type | Number |
|---|------------------------------------|-----------|------------------------------------|---|------------------------------------|-----------|----------------------------------|
| P | <input type="text" value="2.00"/> | Single | | SU3 | <input type="text" value="12.00"/> | Single | |
|  | <input type="text" value=""/> | | |  | <input type="text" value="16.00"/> | Single | |
| | <input type="text" value="2.00"/> | Single | <input type="text" value="700.0"/> | | <input type="text" value="34.00"/> | Tandem | |
| SU | <input type="text" value="10.00"/> | Single | | WB-50 | <input type="text" value="12.00"/> | Single | |
|  | <input type="text" value=""/> | | |  | <input type="text" value="34.00"/> | Tandem | |
| | <input type="text" value="24.00"/> | Single | <input type="text" value="10.0"/> | | <input type="text" value="34.00"/> | Tandem | <input type="text" value="1.0"/> |
| BUS, SU2 | <input type="text" value="12.00"/> | Single | | WB-60 | <input type="text" value="12.00"/> | Single | |
|  | <input type="text" value=""/> | | |  | <input type="text" value="34.00"/> | Tandem | |
| | <input type="text" value="34.00"/> | Tandem | <input type="text" value="5.0"/> | | <input type="text" value="42.00"/> | Tridem | |
| | | | | | <input type="text" value="0.00"/> | Tandem | |
| | | | | | <input type="text" value="0.00"/> | Tandem | <input type="text" value="2.0"/> |

| | | | |
|------------------|---|---------------------|---------|
| Total Rigid ESAL | 0 | Total Flexible ESAL | 311,605 |
|------------------|---|---------------------|---------|

Calculo del módulo de resiliencia de la capa de apoyo

Empirical relationships have been developed between the CBR (California Bearing Ratio) value (using dynamic compaction), the R-value, and the in-site resilient modulus of the soil.

CBR Value: R-Value:

Resilient Modulus: **15,088.7** psi Resilient Modulus, psi: **0.0** psi

Subgrade Resilient Modulus: **15,088.7**

The correlation used in this program were developed under NCHRP Project 128, 'Evaluation of AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures.' This study found a non-linear relationship between resilient modulus and CBR or R-Value. Although equation 1.5.1 of the AASHTO Guide suggests a relationship of $1500 * \text{CBR}$ for the resilient modulus of the subgrade, this correlation is only valid for fine-grained soils with low CBR value. Other studies (Indiana, Ohio) have shown a correlation as low as $800 * \text{CBR}$, and ranging from 750 to 3,000 times the CBR value. This range agrees with the correlation established in NCHRP Project 128.

Calculo del número estructural SN

Structural Number

Design ESAL

Reliability

Overall Deviation

Soil Resilient Mod. psi

Initial Serviceability, P_o

Terminal Serviceability, P_t

Solve For

Evaluación de espesores de pavimento flexible

| | Layer Material | Layer Coefficient, a | Drainage Coefficient | Layer Thickness inches | Layer Struct No, S _{Ni} | Additional Thickness inches |
|---|----------------|----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | Carpeta | 0.40 | 1.00 | 2.00 | 0.80 | |
| | Base | 0.14 | 1.00 | 6.00 | 0.84 | |
| | Subrasante | 0.08 | 1.00 | 8.00 | 0.64 | |
| ▶ | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Σ SN **2.28**

SN Required **2.17**

OK

Debido a que el número estructural es mayor al requerido, la estructura propuesta es adecuada para soportar las cargas del transito indicado en este informe.

8.5 Diseño de pavimento rígido

Los métodos utilizados para determinar los espesores de las capas que formen al pavimento rígido son:

- Método de American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.) (WinPAS).
- Método de The Portland Cement Association (P.C.A.).

8.5.1 Método de American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.) (WinPAS)

Datos iniciales

| | | |
|---------------------------|------|--------|
| Estimated Rigid Thickness | 5.90 | inches |
| Estimated Asphalt SN | | |
| Terminal Serviceability | 2.00 | |
| Design Life | 20 | years |
| Annual Growth Rate | 2.00 | % |
| Traffic Input By (M/D/Y) | Day | |

Traffic Input as:

☒ Design Lane

☐ Total Traffic

☐ 1-way ☐ 2-way

Design Lane Distribution %

Directional Distribution %

Estimated:
Rigid Depth **5.90** Structural Number Pt **2.00**
Traffic Input By (M/D/Y) **Day** Design Life **20** years Annual Growth Rate **2.00** %

| Vehicle | Axle Load kips | Axle Type | Number | Vehicle | Axle Load kips | Axle Type | Number |
|---------------------------------|-------------------|-----------|--------|------------------------------|-------------------|-----------|--------|
| P | 2.00 | Single | | SU3 | 12.00 | Single | |
| | | | | | 16.00 | Single | |
| | 2.00 | Single | 700.0 | | 34.00 | Tandem | |
| SU | 10.00 | Single | | WB-50 | 12.00 | Single | |
| | | | | | 34.00 | Tandem | |
| | 24.00 | Single | 10.0 | | 34.00 | Tandem | 1.0 |
| BUS, SU2 | 12.00 | Single | | WB-60 | 12.00 | Single | |
| | | | | | 34.00 | Tandem | |
| | 34.00 | Tandem | 5.0 | | 42.00 | Tridem | |
| | | | | | 0.00 | Tandem | |
| | | | | | 0.00 | Tandem | 2.0 |
| Total Rigid ESAL 500,679 | | | | Total Flexible ESAL 0 | | | |

Composición vehicular

Calculo del módulo de resiliencia de la capa de apoyo

Empirical relationships have been developed between the CBR (California Bearing Ratio) value (using dynamic compaction), the R-value, and the in-site resilient modulus of the soil.

CBR Value: R-Value:

Resilient Modulus: **15,088.7** psi Resilient Modulus, psi: **0.0** psi

Subgrade Resilient Modulus: **15,088.7**

The correlation used in this program were developed under NCHRP Project 128, 'Evaluation of AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures.' This study found a non-linear relationship between resilient modulus and CBR or R-Value. Although equation 1.5.1 of the AASHTO Guide suggests a relationship of $1500 * CBR$ for the resilient modulus of the subgrade, this correlation is only valid for fine-grained soils with low CBR value. Other studies (Indiana, Ohio) have shown a correlation as low as $800 * CBR$, and ranging from 750 to 3,000 times the CBR value. This range agrees with the correlation established in NCHRP Project 128.

Calculo del módulo de reacción combinado, proponiendo un espesor de base de 6 pulgadas

Help Screen for Subgrade Analysis - Rigid

| Material Type | Resilient Modulus (psi) |
|---------------------------------|-------------------------|
| Cement Treated Granular Base | 1,000,000 - 2,000,000 |
| Cement Aggregate Mixture | 500,000 - 1,000,000 |
| Asphalt Treated Base | 350,000 - 1,000,000 |
| Bituminous Stabilized Mixture | 40,000 - 300,000 |
| Lime Stabilized Base | 20,000 - 70,000 |
| Unbound Granular Materials | 15,000 - 45,000 |
| Fine Graded or Natural Subgrade | 3,000 - 40,000 |

(1MPa = 145psi)

1) Resilient Modulus of the Subgrade = 15,088.7 psi

2) Resilient Modulus of the Base = 30,000.0 psi (Leave blank if none)

3) Base Thickness (4 to 12 inches) = 6.00 inches

4) Depth to Rigid Foundation = feet (Leave blank if > 10 feet)

5) Loss of Support (0, 1, 2, or 3) = 1.0

>> Modulus Of Subgrade Reaction, k = 185.5 psi/in

Obtención del espesor de losa de concreto hidráulico

Rigid Design Inputs

PCC Thickness 5.93 inches

Design ESAL 500,679

Reliability 90.00 percent

Overall Deviation 0.35

Modulus of Rupture 640.0 psi

Modulus of Elasticity 4,320,000.0 psi

Load Transfer, J 3.20

Mod. Subgrade Reaction, k 185.5 psi/in

Drainage Coefficient 1.00

Initial Serviceability, Po 4.00

Terminal Serviceability, Pt 2.00

Solve For

Pavement Thickness 5.93 inches

Solve For

8.5.2 Método de The Portland Cement Association (P.C.A.)

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Proyecto | Diseño de pavimento CIMAV Durango |
| Espesor de losa propuesto (in) | 7 |
| K combinado (P.C.I.) | 180 |
| Módulo de ruptura (P.S.I.) | 639.5 |
| Factor de seguridad de cargas (LSF) | 1 |

| | | | | |
|--------------------------|----------|--|----|---|
| Juntas con pasajuntas | si | | no | X |
| Acotamiento de concreto | si | | no | X |
| Periodo de diseño (años) | 20 | | | |
| Tipo de base | Granular | | | |
| Espesor de base (in) | 6 | | | |

| Carga por eje (kips) | Multiplicado por LSF=1 | Repeticiones esperadas | Análisis por fatiga | | Análisis por erosión | |
|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | Repeticiones admisibles | Porcentaje de fatiga | Repeticiones admisibles | Porcentaje de daño |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| | | |
|----|---------------------------------|-------|
| 8 | Esfuerzo equivalente | 251 |
| 9 | Factor de relación de esfuerzos | 0.393 |
| 10 | Factor de erosión | 3.45 |

Ejes sencillos

| | | | | | | |
|----|----|-----------|-----------|------|-----------|-------|
| 10 | 10 | 40,430.77 | Ilimitado | 0 | 9,000,000 | 0.45 |
| 12 | 12 | 32,344.62 | Ilimitado | 0 | 2,900,000 | 1.12 |
| 16 | 16 | 0.00 | Ilimitado | 0 | 0 | 0.00 |
| 24 | 24 | 40,430.77 | 100,000 | 40.4 | 60,000 | 67.38 |

| | | |
|----|---------------------------------|---------|
| 11 | Esfuerzo equivalente | 224.394 |
| 12 | Factor de relación de esfuerzos | 0.351 |
| 13 | Factor de erosión | 3.0843 |

Ejes tandem

| | | | | | | |
|----|----|-----------|-----------|---|-----------|------|
| 34 | 34 | 36,387.69 | Ilimitado | 0 | 9,000,000 | 0.40 |
|----|----|-----------|-----------|---|-----------|------|

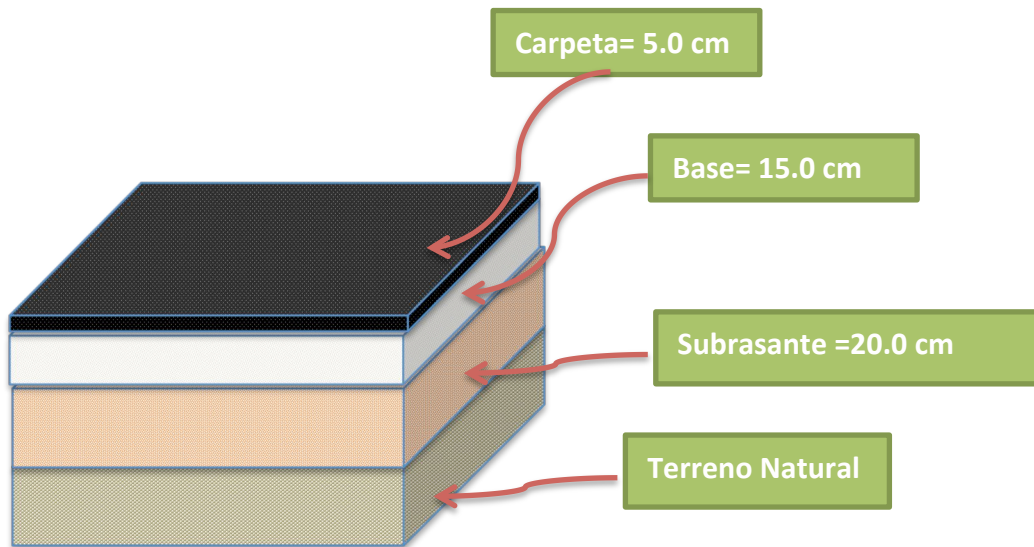
| | | |
|----|---------------------------------|-------|
| 11 | Esfuerzo equivalente | 160 |
| 12 | Factor de relación de esfuerzos | 0.250 |
| 13 | Factor de erosión | 3.35 |

Ejes tridem

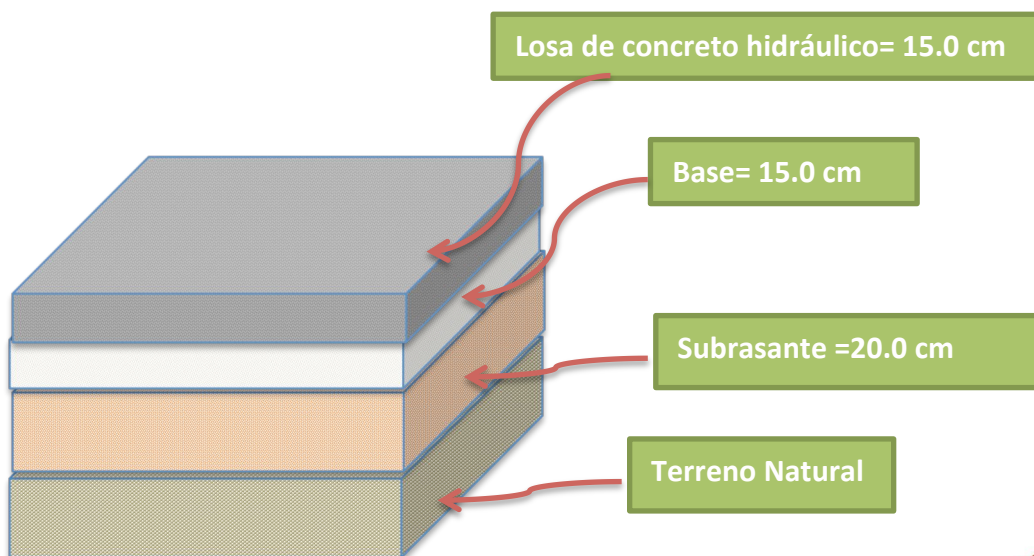
| | | | | | | |
|----|------|----------|-----------|------|-----------|-------|
| 42 | 14.0 | 8,086.15 | Ilimitado | 0 | 9,000,000 | 0.09 |
| | | | Total | 40.4 | Total | 70.11 |

8.6 resumen de resultados

8.6.1 Espesores propuestos para pavimento flexible

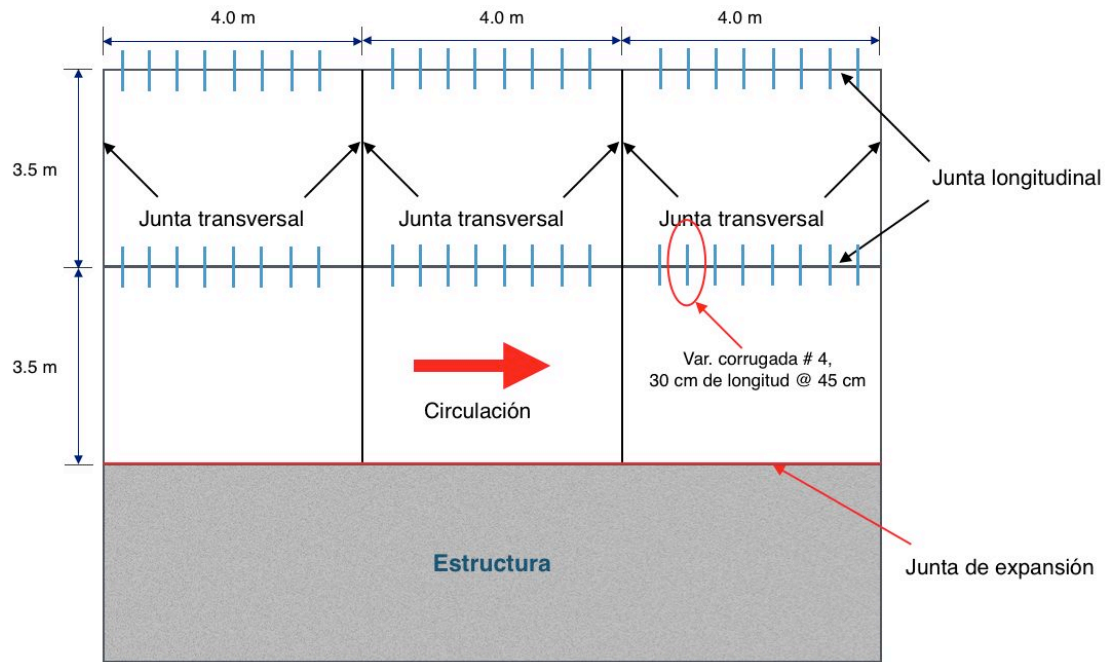


8.6.2 Espesores propuestos para pavimento rígido



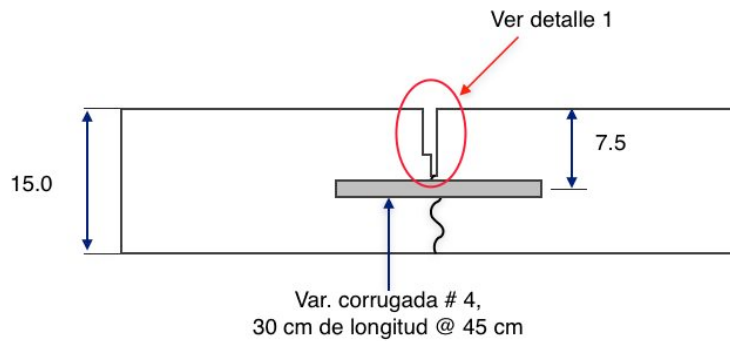
8.6.3 Diseño de juntas para pavimentos rígidos

Arreglo de juntas y modulación de losas en planta



Cotas indicadas.

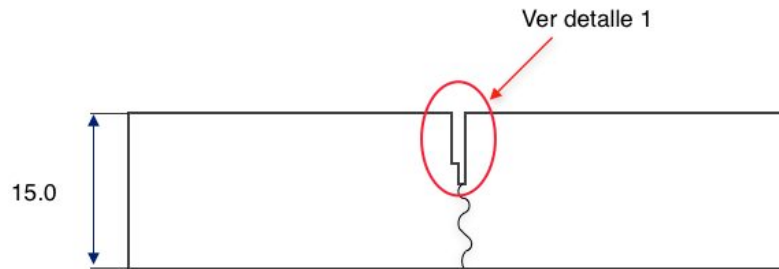
Junta longitudinal



Cotas en centímetros.

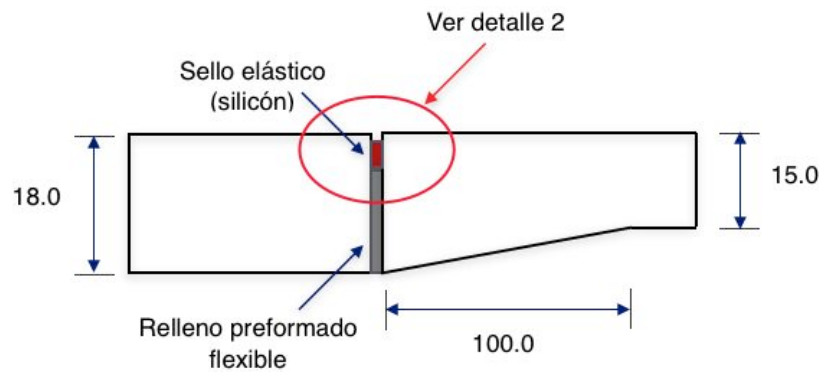


Junta transversal



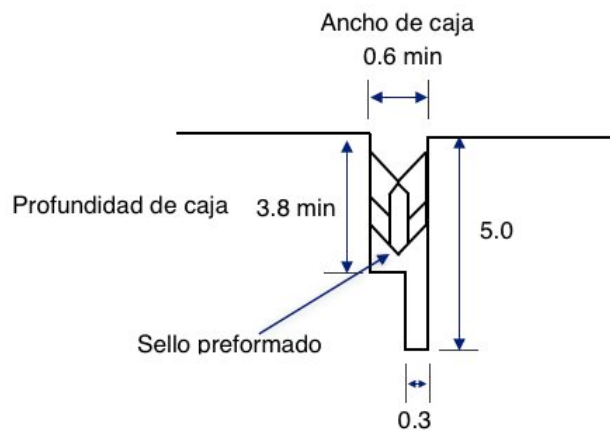
Cotas en centímetros.

Junta de expansión



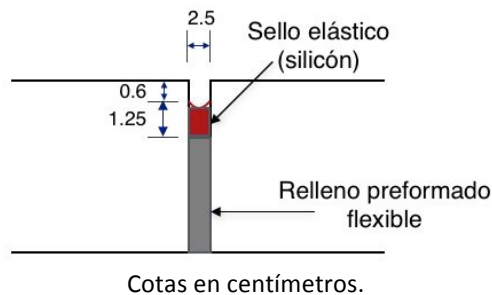
Cotas en centímetros.

Detalle 1 (sellado de juntas transversales y longitudinales)



Cotas en centímetros.

Detalle 2 (sellado de junta de expansión)



Se recomienda utilizar sellos preformados en las juntas transversales y longitudinales. La profundidad y el ancho de la caja indicados en el detalle 1 son propuestos pero deberán ser indicados por el constructor bajo las especificaciones del sello preformado a utilizar, teniendo en cuenta que el éxito de este tipo de sellado es que este trabaje siempre entre un 20% y 50% comprimido, por lo cual es importante definir las dimensiones de la caja para asegurar este comportamiento en el sello.

8.7 Calidad de los materiales para pavimentos

8.7.1 Subrasante

La características que deberá cumplir el material que se utilice para esta capa son las siguiente:

| Característica | Valor |
|---|---------|
| Tamaño máximo; mm | 76 |
| Limite líquido; %, máximo | 40 |
| Índice plástico; %, máximo | 12 |
| Valor Soporte de California (C.B.R.); %, mínimo | 20 |
| Expansión máxima; % | 2 |
| Grado de compactación; % | 100 ± 2 |

Normativa S.C.T. (N-CMT-1-03/02) Tabla 1

El grado de compactación será respecto al peso volumétrico seco máximo obtenido con la prueba A.A.S.H.T.O. estándar.

8.7.2 Base para pavimento flexible

Para esta capa se utilizará la calidad de material para menos de un millón de ejes equivalentes indicada en la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (S.C.T.).

La granulometría que debe cumplir este material es la siguiente:

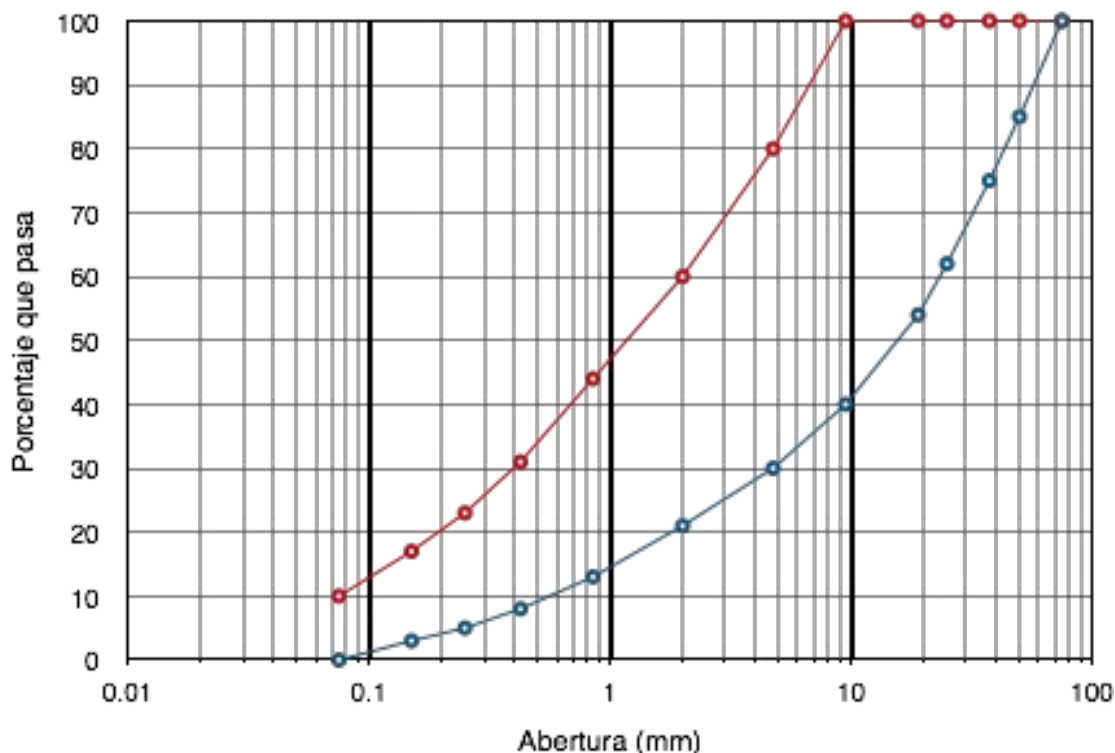
| Malla | | Porcentaje que pasa |
|---------------|-------------|----------------------|
| Abertura (mm) | Designación | $\Sigma L \leq 10^6$ |
| 75 | 3" | 100 |
| 50 | 2" | 85-100 |
| 37.5 | 1 ½" | 75-100 |
| 25 | 1" | 62-100 |
| 19 | ¾" | 54-100 |
| 9.5 | 3/8" | 40-100 |
| 4.75 | No. 4 | 30-80 |
| 2 | No. 10 | 21-60 |
| 0.85 | No. 20 | 13-44 |
| 0.425 | No. 40 | 8-31 |
| 0.25 | No. 60 | 5-23 |
| 0.15 | No. 100 | 3-17 |
| 0.075 | No. 200 | 0-10 |

Normativa S.C.T. (N-CMT-4-02-002/11) Tabla 3

Nota: el tamaño máximo de las partículas no será mayor de 20% del espesor de la base.

El tamaño máximo utilizado para este proyecto será de 1 ½".

Zona granulométrica recomendable del material para base de pavimento flexible con menos de un millón de ejes equivalentes



Normativa S.C.T. (N-CMT-4-02-002/11) Figura 3

Nota: el tamaño máximo de las partículas no será mayor de 20% del espesor de la base.

Las características que debe cumplir este material son las siguientes:

| Característica | Valor |
|---|-------|
| Limite líquido; %, máximo | 25 |
| Índice plástico; %, máximo | 6 |
| Equivalente de arena; %, mínimo | 40 |
| Valor Soporte de California (C.B.R.); %, mínimo | 80 |
| Desgaste de Los Ángeles | 35 |
| Partículas alargadas y lajeadas, máximo | 40 |
| Grado de compactación, mínimo | 100 |

Normativa S.C.T. (N-CMT-4-02-002/11) Tabla 4

El grado de compactación será respecto al peso volumétrico seco máximo obtenido con la prueba A.A.S.H.T.O. modificada.

8.7.3 Carpeta asfáltica

8.7.3.1 Materiales pétreos para mezclas asfálticas

Los requisitos de calidad del material pétreo que se utilizará para la mezcla asfáltica de granulometría densa son los indicados en la normativa de la S.C.T. para menos de un millón de ejes equivalentes, utilizando un tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ ".

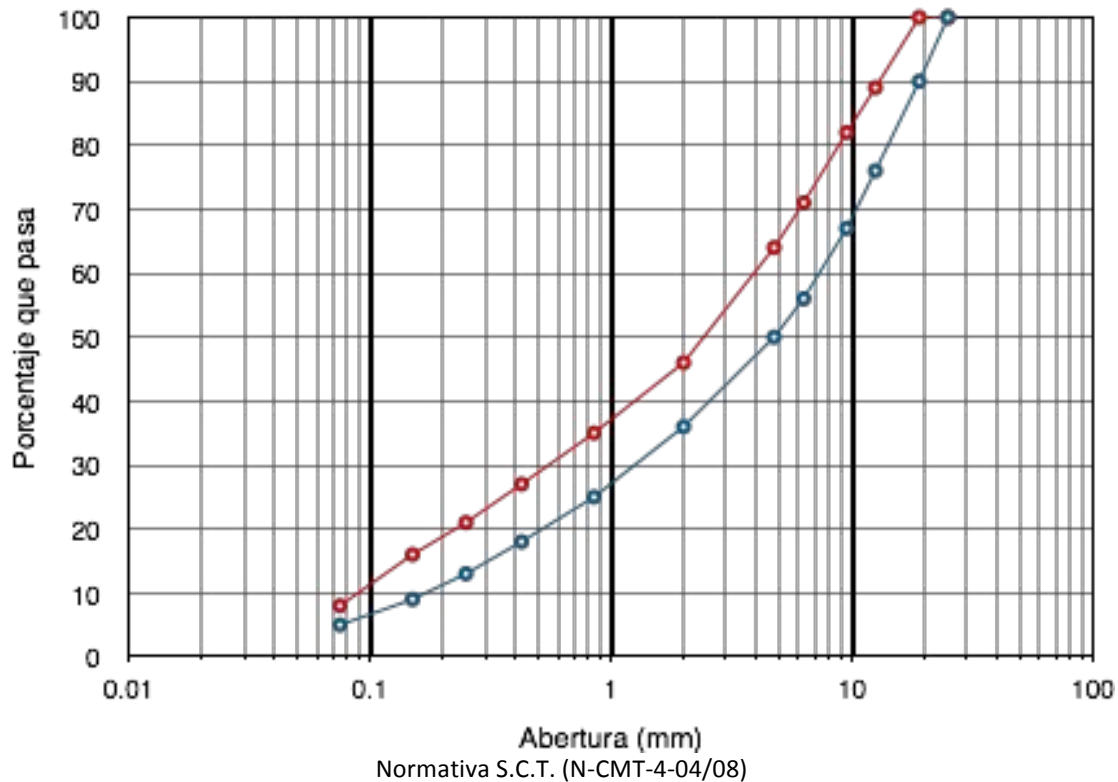
| Característica | Valor |
|---|-------|
| Densidad relativa; mínimo | 2.4 |
| Desgaste de Los Ángeles; %, máximo | 35 |
| Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo | 40 |
| Equivalente de arena; %, mínimo | 50 |
| Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo | 25 |

Normativa S.C.T. (N-CMT-4-04/08) Tabla 2

| Malla | | Porcentaje que pasa |
|------------------|-----------------|----------------------|
| Abertura (mm) | Designación | $\Sigma L \leq 10^6$ |
| 25 | 1" | 100 |
| 19 | $\frac{3}{4}$ " | 90-100 |
| 12.5 | $\frac{1}{2}$ " | 76-89 |
| 9.5 | $\frac{3}{8}$ " | 67-82 |
| 6.3 | $\frac{1}{4}$ " | 56-71 |
| 4.75 | No. 4 | 50-64 |
| 2 | No. 10 | 36-46 |
| 0.85 | No. 20 | 25-35 |
| 0.425 | No. 40 | 18-27 |
| 0.25 | No. 60 | 13-21 |
| 0.15 | No. 100 | 9-16 |
| 0.075 | No. 200 | 5-8 |

Normativa S.C.T. (N-CMT-4-04/08) Tabla 1

Zona granulométrica para material pétro para mezclas asfálticas de granulometría densa con tamaño nominal de 3/4" y menos de un millón de ejes equivalentes



8.7.3.2 Material asfáltico

El tipo de asfalto recomendado para utilizarlo en la mezcla asfáltica es un AC-20, en caso de no estar disponible en el mercado este tipo de asfalto, se recomienda utilizar asfalto tipo PG 64-22.

8.7.4 Base para pavimento rígido

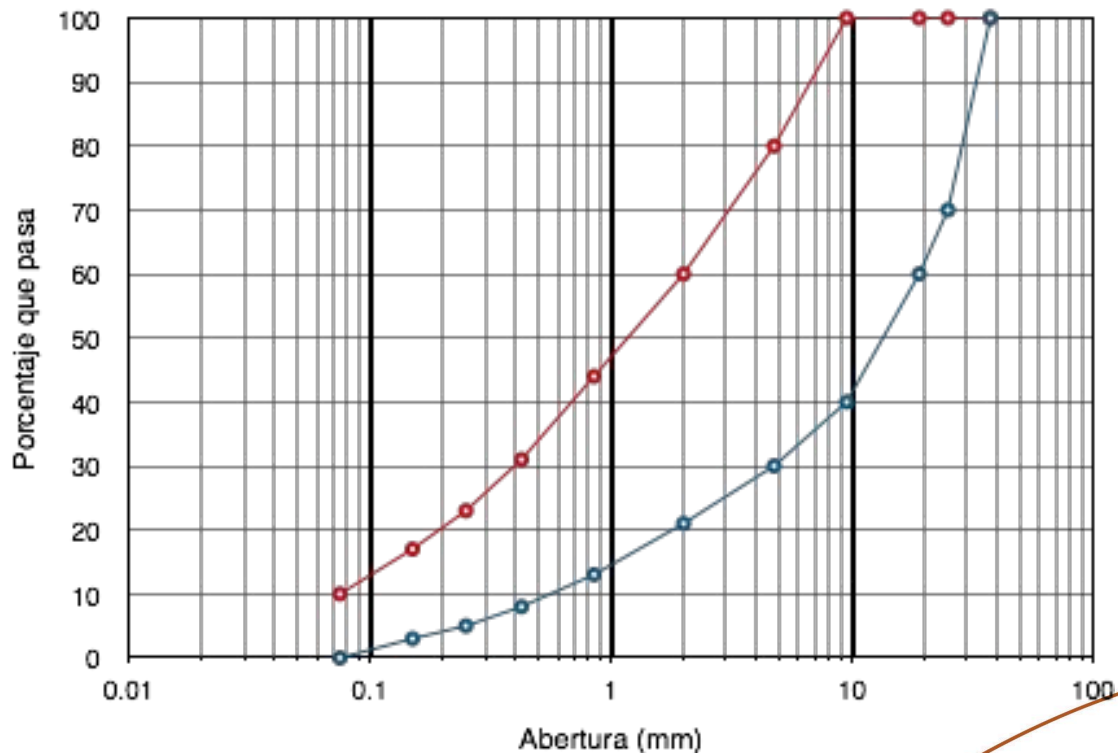
Para esta capa se utilizará la calidad de material especificada en la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (S.C.T.).

La granulometría que debe cumplir este material es la siguiente:

| Malla | | Porcentaje que pasa |
|---------------|-------------|----------------------|
| Abertura (mm) | Designación | $\Sigma L \leq 10^6$ |
| 37.5 | 1 ½" | 100 |
| 25 | 1" | 70-100 |
| 19 | ¾" | 60-100 |
| 9.5 | 3/8" | 40-100 |
| 4.75 | No. 4 | 30-80 |
| 2 | No. 10 | 21-60 |
| 0.85 | No. 20 | 13-44 |
| 0.425 | No. 40 | 8-31 |
| 0.25 | No. 60 | 5-23 |
| 0.15 | No. 100 | 3-17 |
| 0.075 | No. 200 | 0-10 |

Normativa S.C.T. (N-CMT-4-02-002/11) Tabla 1

Zona granulométrica recomendable del material para base de pavimento rígido



Normativa S.C.T. (N-CMT-4-02-002/11) Figura 1



Las características que debe cumplir este material son las siguientes:

| Característica | Valor |
|---|-------|
| Limite líquido; %, máximo | 25 |
| Índice plástico; %, máximo | 6 |
| Equivalente de arena; %, mínimo | 40 |
| Valor Soporte de California (C.B.R.); %, mínimo | 80 |
| Desgaste de Los Ángeles | 35 |
| Partículas alargadas y lajeadas, máximo | 40 |
| Grado de compactación, mínimo | 100 |

Normativa S.C.T. (N-CMT-4-02-002/11) Tabla 2

El grado de compactación será respecto al peso volumétrico seco máximo obtenido con la prueba A.A.S.H.T.O. modificada.

8.7.5 Concreto hidráulico

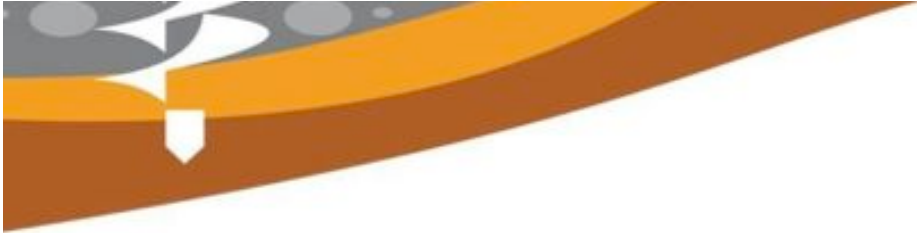
El concreto hidráulico que se utilizará para el pavimento rígido deberá cumplir con un Módulo de Ruptura (M.R.) no menor a 45 kg/cm².

9.0 ALCANCES

La información presentada en este informe, esta limitada por la profundidad de exploración.

Se recomienda realizar un estudio hidrológico para descartar futuros problemas por escurrimientos superficiales.

Cualquier situación no prevista en el presente informe o cualquier modificación que se desee realizar a su contenido, deberá ser revisada y aprobada por los ingenieros que suscriben.



Los resultados aquí expuestos son considerando nueve sondeos con obtención de núcleo de roca, 6 de ellos llevados hasta una profundidad de 2.0 m y el resto hasta 3.0 m, además de un recorrido efectuado en el predio por lo que es posible que la variación del subsuelo no se refleje exactamente hasta que se comience con los trabajos de construcción.

Sin otro particular

Atentamente

M.I JOSE CARLOS MONTER DE ANDA

Atentamente

ING. LUIS E. MORALES GUTIERREZ