

UNIVERSIDAD DE  
GUANAJUATO



CAMPUS CELAYA – SALVATIERRA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA SALUD E INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

**“DISEÑO DE CIMENTACIONES PARA PUENTES EN GUANAJUATO”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

JUAN EDUARDO SALAZAR MARTÍNEZ

**DIRECTOR:**

DR. HIRAM ARROYO CHÁVEZ

**CO-DIRECTOR:**

DR. XAVIER CHÁVEZ CÁRDENAS

CELAYA, GUANAJUATO. ENERO 2021

**“DISEÑO DE CIMENTACIONES PARA PUENTES EN GUANAJUATO”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

JUAN EDUARDO SALAZAR MARTÍNEZ

**DIRECTOR:**

DR. HIRAM ARROYO CHÁVEZ

**CO-DIRECTOR:**

DR. XAVIER CHÁVEZ CÁRDENAS

**SINODALES**

---

Ing. Hiram Arroyo Chávez

---

Ing. Fernando Medina Aguilar

---

Ing. Cirilo Bermúdez Cervantez

Universidad De Guanajuato  
Campus Celaya – Salvatierra  
Celaya, Gto.  
Enero 2021  
México

## Índice.

**Resumen.** \_\_\_\_\_ Pág.5

**Introducción.** \_\_\_\_\_ Pág.6

**Capítulo 1.** \_\_\_\_\_ Antecedentes de la investigación. Pág.7

Estado del arte del diseño de cimentaciones superficiales en puentes.

1. Cimentación superficial en puentes.

1.1 Geometría

1.2 Dimensionamiento

1.3 Armado o diseño

1.3.1 Punzamiento o penetración.

1.3.2 Flexión.

1.3.3 Temperatura.

**Capítulo 2.** \_\_\_\_\_ Lugar de estudio. Pág.13

2. Datos generales del proyecto.

2.1 Ubicación

2.2 Estratigrafía.

2.3 Rasgos hidrológicos.

2.4 Características ambientales.

2.5 Ubicación del lugar de estudio.

**Capítulo 3.** \_\_\_\_\_ Caracterización mecánica del suelo. Pág.19

3. Pruebas de calidad del suelo.

3.1 Pruebas de clasificación de material.

3.1.1 Prueba ASTM D4643-17 (Prueba de contenido de agua).

3.1.2 Pruebas de secado, disgregado y cuarteo de muestra.

3.1.3 Pruebas de granulometría.

3.1.4 Pruebas de límite líquido.

3.1.5 Pruebas de límite plástico.

3.1.6 Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

3.2 Prueba de compresión triaxial rápida.

3.3 ¿Para qué sirve el Angulo de fricción interna y la cohesión?

3.4 ¿Qué relación tienen los resultados obtenidos de las pruebas de compresión triaxial con la resistencia del suelo?

**Capítulo 4.** \_\_\_\_\_ Diseño estructural. Pág. 52

4.1 Proyecto geométrico de puente carretero.

4.2 Análisis de cargas.

4.3 Capacidad de Carga por el método de Terzaghi y Mayerhof.

4.4 Diseño estructural.

4.5 Propuesta de diseño estructural.

**Anexos.** \_\_\_\_\_ Resultados de pruebas de mecánica de suelos. Pág. 69

**Conclusiones.** \_\_\_\_\_ Pág. 85

**Bibliografías.** \_\_\_\_\_ Pág. 95

## Resumen

El contenido presentado es básicamente para cimentaciones superficiales por los procedimientos realizados y se espera que sea de gran ayuda para los estructuristas que pretendan realizar cimientos en el estado de Guanajuato, tomando siempre en cuenta que está enfocado a canales o cauces, esto es principalmente con la finalidad de identificar acertadamente un buen diseño de cimentación superficial para el Rio Iaja en el tramo Santa Fe de la Purísima municipio de Cortazar Gto., donde obtuve información mediante las pruebas necesarias de mecánica de suelos, siempre y cuando cumplieran con las normas éticas. Del tal modo para poder así presentar un modelo de estructuración que se pueda aplicar en el tramo mencionado, y así de esta manera poder tener un diseño que sirva como base en un futuro en la construcción o investigación de las siguientes etapas del proyecto del puente carretero en este tramo.

El diseño se obtendrá partiendo de los resultados del estudio de mecánica de suelos arrojados de cada sondeo del sitio en donde se ubicaran las pilas y/o columnas de la estructura, este estudio se realiza mediante las siguientes pruebas: granulometría, límites de Atterberg, compresión triaxial, de donde se obtendrán datos esenciales para saber el comportamiento del suelo en esa zona en específico (Resistencia del suelo), una vez realizadas estas pruebas se obtendrá la capacidad de carga del suelo y de la estructura el análisis de bajada de cargas.

El análisis de cargas será basado en una estructura proyectada en base a conocimientos obtenidos y diseños de puentes cercanos que se han construido en el Rio Iaja para fines de investigación ya que esta será la primera etapa de una propuesta de un puente en la comunidad, posteriormente se procederá al pre dimensionamiento de la zapata superficial siempre y cuando cumpla con las normas de seguridad, una vez realizado lo anterior se pretenderá dar el modelo de diseño para ver sus comportamientos ante las cargas aplicadas, gastos de aguas máximas extraordinarias, entre otros factores y así poder seleccionar el mejor armado y diseño estructural de cimiento, no dejando atrás el diseño arquitectónico para dar una vista agradable a los usuarios que en su momento lo transiten, de esa manera se obtendrá un mejor confort entre los peatones.

## Introducción

Aquí presento el pre dimensionamiento de la cimentación superficial para el puente en el Rio Laja, tramo; Cortazar - Celaya, Santa Fe de La Purísima, estado de Guanajuato, Cabe mencionar que para esta investigación se trataron varias etapas de diseño, para este proyecto de puente carretero, las cuales se clasificaron de la siguiente manera para fines prácticos de investigación; etapa uno: Revisión del lugar, Mecánica de suelos y pre dimensionamiento de cimentación, etapa dos: Diseño estructural de cimentación y pilas, etapa tres: Diseño estructural de superestructura. Para esta investigación solo tratare la primera etapa de la investigación, dejado abierto a retomar las siguientes etapas en un futuro.

Para entender un poco más sobre el tema de cimentaciones, me he tomado el tiempo de mencionar que este ha sido de gran importancia en la construcción y diseño de cimientos para puentes, por ser la base de toda construcción, ya que ha brindado vastos conocimientos que muestran el comportamiento del suelo una vez que se han sometido a diferentes cargas que se presenten, de esta manera se puede realizar una buena estructuración o armado de una cimentación y evitar fallas o en los peores casos, colapsos.

Con base a lo mencionado es importante realizar las pruebas necesarias de campo, mediante el estudio de mecánica de suelos siempre y cuando cumplan los requisitos requeridos del reglamento de normas de seguridad y poder realizar una cimentación adecuada para cargas y arrastres que puede llevar el rio o canal u otros factores que se puedan presentar.

Fui realizando las pruebas de mecánica de suelo para la estructura propuesta y obteniendo la capacidad de carga del suelo y a su vez las cargas que bajan a la cimentación, una vez hecho todo esto se pudo realizar la propuesta adecuada y así poder presentarla como el pre-dimensionamiento de la cimentación superficial del proyecto del puente carretero o en algunos puentes similares e iguales que cumplan con las mismas características de este estudio.

# CAPÍTULO I

## Antecedentes de la investigación

### Estado del arte del diseño de cimentaciones superficiales en puentes

**Importancia de la cimentación:** La cimentación son losas de concreto armado que se encuentran en contacto directo con el subsuelo y tiene una gran importancia en el diseño de estructuras ya que nos permiten transmitir las cargas que se reciben de la superestructura de una manera uniforme al subsuelo.

*“El objetivo que tienen este tipo de estructuras es transmitir las cargas de la superestructuras y el peso propio de las mismas al terreno, pero presentan otras funciones como apoyar a la construcción, distribuir adecuadamente las cargas considerando, un factor de seguridad adecuado entre la estructura de cimentación y el suelo, limitar los asentamientos totales y diferenciales con la finalidad de controlar los daños en la estructura así como en las construcciones adjuntas y mantener la posición vertical de la estructura ante los diferentes tipos de acciones.”* (Magdaleno, 2015)

Se cuentan con dos tipos de cimentación que son:

- Cimentaciones superficiales
- Cimentaciones profundas

Para este proyecto se trabajara con **cimentación superficial** para fines prácticos.

#### 1. Cimentación superficial en puentes

*“La selección del tipo de cimentación depende fundamentalmente del tipo de construcción, de las cargas o acciones que actúan sobre de ella y del terreno donde se va a ubicar. Se dice que la elección de una cimentación debe estar basada en los conocimientos técnicos y el buen criterio del ingeniero, lo segundo es una cualidad que se desarrolla después de varios años de experiencia.”* (Magdaleno, 2015)

**Zapatas aisladas:** Son bases de concreto hidráulico o mampostería ya sea cuadradas, rectangulares o circulares que permiten transmitir uniformemente las cargas al sub-suelo que reciben de la estructura.

En otras palabras: *“Consiste en bases rígidas de mampostería o concreto, que reciben individualmente las cargas de cada columna o elemento estructural. Su forma en planta puede ser*

circular, cuadrada o rectangular, donde la longitud ( $L$ ) no exceda de cinco veces el ancho ( $B$ ).” (SCT, 2018) De la Norma **N-PRY-CAR-8-01-001/18**.

### 1.1 Geometría

La cimentación superficial para puentes, como lo marcan la norma **N-PRY-CAR-8-01-002 Selección del Tipo de Cimentación Superficial**, de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2018). La geometría o tipo de sección dependerá del diseño del proyectista o las condiciones en las que se pretenda realizar dicha obra, estas secciones varían en sus dimensiones que van desde formas cuadradas, rectangulares o circulares, donde en ocasiones se utilizan

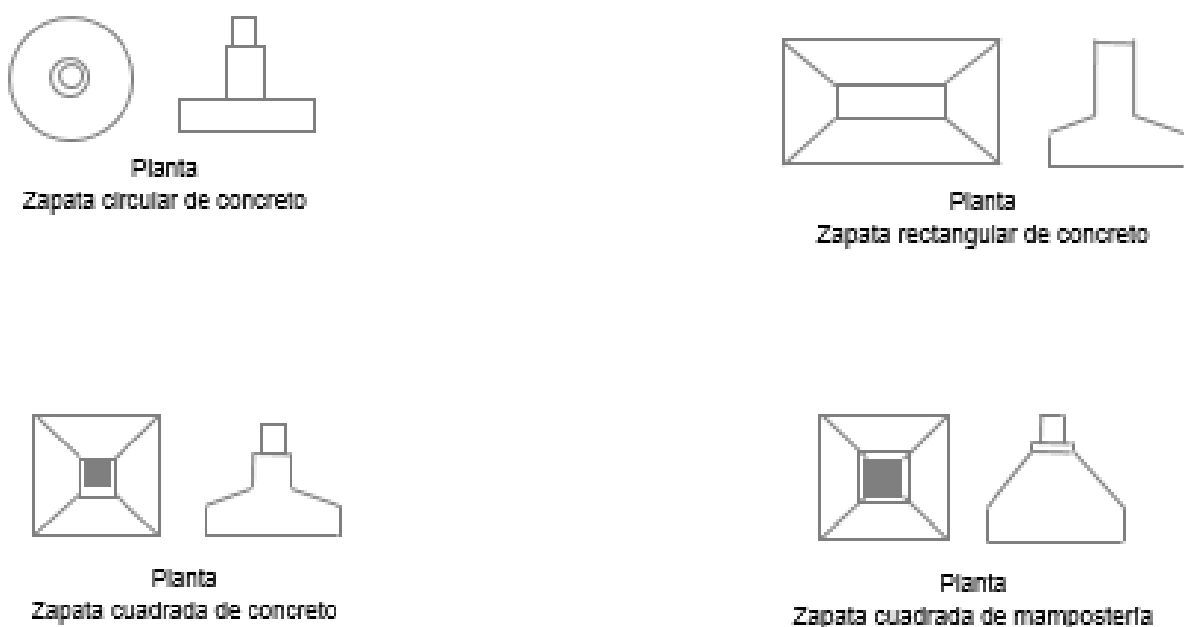


Fig. 1.1 Zapatas Aisla

Comúnmente las zapatas aisladas, suelen tener espesores de losas constantes por la facilidad de trabajo a la hora de armarlas en campo, aunque también se podrían utilizar zapatas escalonadas o con declives, las cuales se pueden emplear si los espesores calculados son mayores a 3 o 4 pies (91.44 o 121.92 cm) como lo marca ACI. A continuación se muestran las zapatas mencionadas. (JACK C. McCORMAC, 2011)



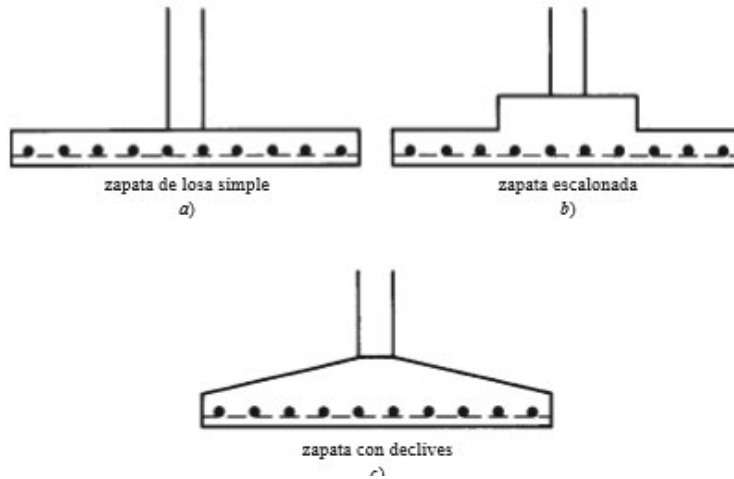


Fig. 1.2 Zapatas Aisladas cuadradas o rectangulares

## 1.2 Dimensionamiento

El dimensionamiento de la zapata aislada dependerá de dos resultados:

1. Bajada de Cargas de la estructura a la cimentación.
2. Resultados del análisis de mecánica de suelos.

Las pruebas de compresión triaxial hechas a los sondeos obtenidos en campo de cada pila nos ayudaran a obtener la capacidad de carga última resistente del suelo en el cual se encuentra el proyecto.

La bajada de cargas de la estructura nos ayudara a obtener las cargas que llegaran a la zapata.

Con base en los resultados anteriores podremos dimensionar la zapata aislada.



Fig. 1.3 Dimensionamiento de Zapata Aislada

### 1.3 Armado o diseño

Armado de cimentación superficial marcadas por la norma de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2018).

Para el armado o diseño de una zapata aislada deben considerarse varios puntos o aspectos como lo son:

- ❖ Puzamiento o penetración.
- ❖ Flexión.
- ❖ Temperatura

#### 1.3.1 Punzamiento o penetración

También conocido como esfuerzo al cortante en dos sentidos, en este caso la carga de la columna que baja se distribuye en toda la losa de la zapata, en la cual se genera una sección crítica donde actuara el esfuerzo cortante máximo como punzamiento, la sección más crítica está localizada a una distancia de  $d/2$  como lo menciona la norma de construcción.

*“La carga de compresión de la columna tiende a extenderse en la zapata, oponiéndose a la tensión diagonal en esa zona, con el resultado de que una columna cuadrada tiende a perforar una porción de losa, que tiene la forma de una pirámide truncada. El código ACI (11.11.1.2) establece que la sección crítica para el cortante en dos sentidos se localiza a una distancia  $d/2$  de la cara de la columna”.* (JACK C. McCORMAC, 2011).

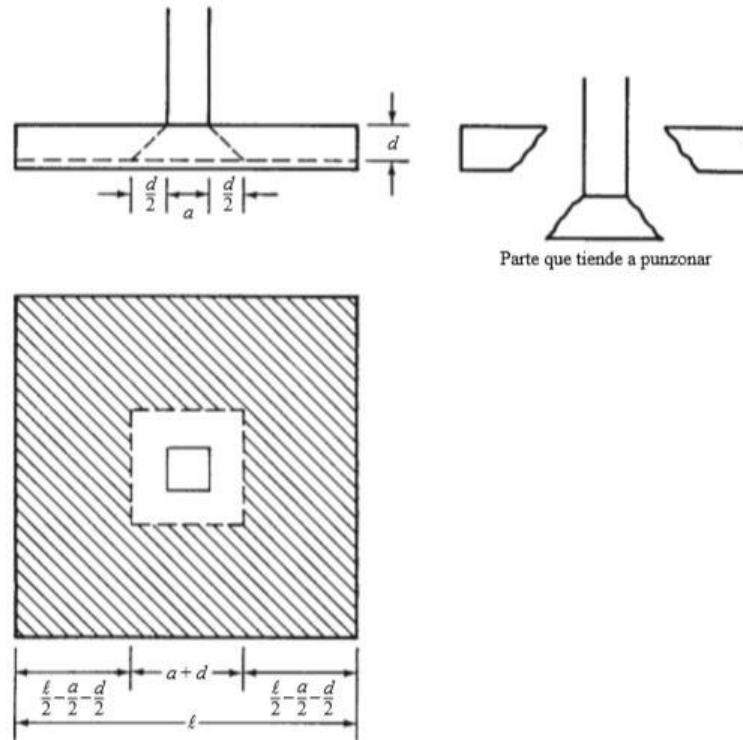


Fig. 1.4 Punzamiento o cortante en dos direcciones.

### 1.3.2 Tensión diagonal

“En una zona cercana al paño de la columna o muro que llega a la zapata se puede presentar una falla por tensión diagonal, ocasiona está a su vez por esfuerzo cortante. Esta revisión se lleva a cabo verificando que la fuerza cortante ultima a una distancia  $d$  del paño de la columna sea menor que la fuerza cortante resistente.” (JACK C. McCORMAC, 2011)

### 1.3.3 Flexión

**Flexión:** La flexión se presenta como una deformación longitudinal en las losas de cimentación, estas deformaciones se originan por las cargas aplicadas a losas con longitudes mayores a lo soportado o en otros casos con refuerzos mínimos y espesores pequeños aunque dependiendo mucho de la carga aplicada.

Aquí se muestra la deformación:

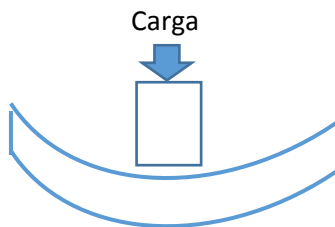


Fig. 1.5 Deformación longitudinal

**Nota:** La deformación que se muestra en la figura 1.5 es un claro ejemplo de la forma que toma al ser sometida a cargas muy altas en relación a los espesores y longitudes de losa.

### 1.3.2 Temperatura:

**Temperatura:** Las deformación por temperatura suelen presentarse por climas muy frio o muy calientes donde se presenta un expansión de volumen en el material lo cual puede provocar fisuras en las losas, para ello es recomendable un refuerzo que absorberá estos cambios volumétricos y evitara problemas.

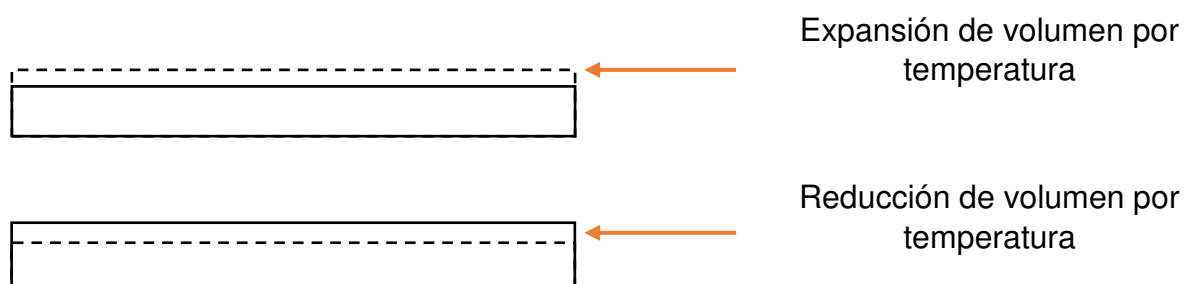


Fig. 1.6 Cambio de volúmenes en losas por temperatura

## CAPÍTULO II

### Lugar de estudio

#### 2. Datos generales del proyecto.

##### 2.1 Ubicación

El estudio se realizó en la localidad de **Santa Fe de la Purísima** la cual es algo pequeña, comparada con el territorio del municipio de Cortázar (en el Estado de Guanajuato México), esta comunidad colinda con Merino del lado este, Bellavista del lado oeste, Palmita de san Gabriel y San Isidro de Crespo al sureste.

La comunidad de Santa Fe de la Purísima se encuentra en las coordenadas GPS:

❖ Longitud (dec): **-100.891389**      Latitud (dec): **20.495556**

Santa Fe de la Purísima está a 1742 metros de altitud a nivel del mar.

A continuación se muestra una breve descripción de las comunidades que colindan con Santa Fe de la Purísima municipio de Cortázar Gto., y las cuales serán beneficiadas.

| <b>LOCALIDADES</b>             | <b>DESCRIPCION</b>  |
|--------------------------------|---|
| <b>Santa Fe de la Purísima</b> | La población total de Santa Fe de la Purísima es de 1030 habitantes, en la localidad hay 499 hombres y 531 mujeres. La relación de mujeres/hombres es de 1,064, y el índice de fecundidad es de 2,84 hijos por mujer. Del total de la población, el 3,59% proviene de fuera del Estado de Guanajuato. El 8,83% de la población es analfabeta (el 7,01% de los hombres y el 10,55% de las mujeres). El grado de escolaridad es del 6.24 (6.68 en hombres y 5.83 en mujeres). |
| <b>Merino</b>                  | La localidad de Merino es una comunidad perteneciente al municipio de Cortázar Gto., con 1044 habitantes ubicado a una altitud de 1740 metros nivel del mar.  |
| <b>Bellavista</b>              | La localidad de Bellavista es una comunidad perteneciente al municipio de Cortázar Gto., con 499  |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
|                               | habitantes ubicado a una altitud de 1747 metros nivel del mar.  |
| <b>Palmita de San Gabriel</b> | La localidad de La Palmita de San Gabriel es una comunidad perteneciente al municipio de Celaya Gto., con 1167 habitantes ubicado a una altitud de 1744 metros nivel del mar.                         |
| <b>Sauz de Merino</b>         | La localidad de El Sauz de Merino es una comunidad perteneciente al municipio de Cortázar Gto., con habitantes ubicado a una altitud de metros nivel del mar.   |
| <b>San Isidro de Crespo</b>   | La localidad de San Isidro de Crespo (Segunda Fracción de Crespo) es una comunidad perteneciente al municipio de Celaya Gto., con 3711 habitantes ubicado a una altitud de 1748 metros nivel del mar. |
| <b>Total de habitantes</b>    | <b>7,451 habitantes</b>   |

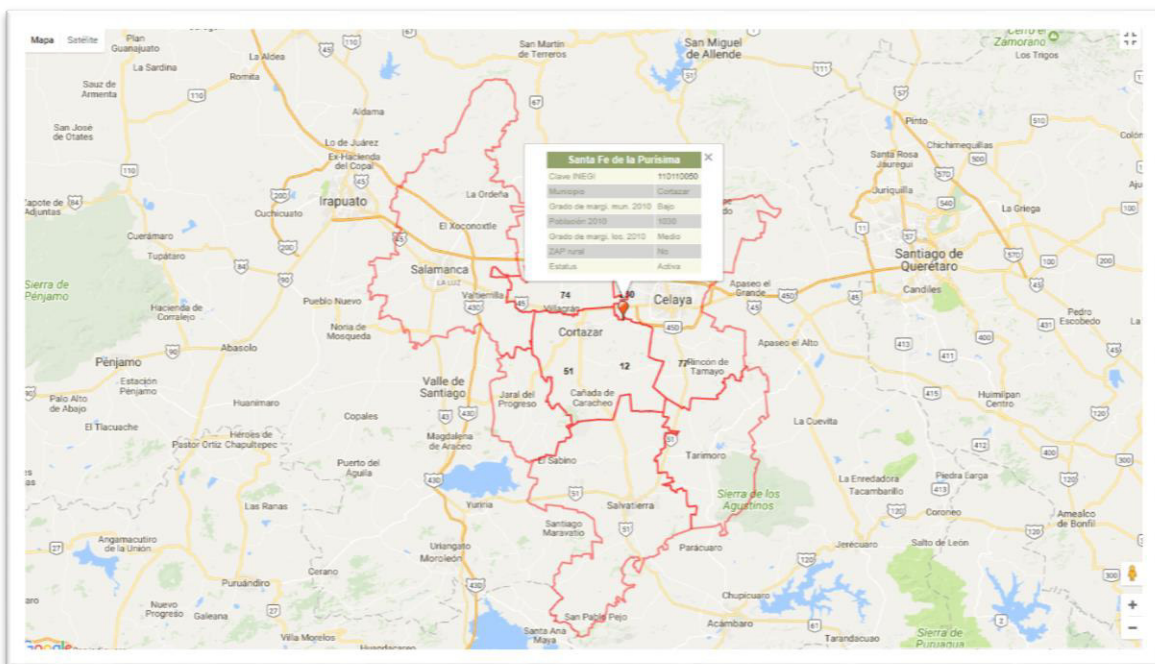


Fig. 2.1 Localización de la comunidad de Santa Fe de la Purísima, Cortázar.

## 2.2 Estratigrafía

La clasificación del suelo más común en el municipio suele tener una *“estructura de agregados en forma de bloques y consistencia de muy firme a firme, con textura de arcillo limosa a arcillo arenosa y pH de 6.8 a 8.9 de origen aluvio coluvial”* (Gobierno del Estado, 2010)

Para la estratigrafía se realizaron las pruebas de clasificación de material en el lugar de estudio (Rio Laja, tramo; Santa fe de la Purísima municipio de Cortázar. Gto.), con el fin de saber los tipos de material que se encuentran en el lugar. Esta estratigrafía se muestra más adelante en el apartado de clasificación.

## 2.3 Rasgos hidrológicos

Los rasgos hidrológicos analizan dos conceptos que lo son: Inundación pluvia e Inundación fluvial.

**Inundación pluvial:** Aquella que se produce por la acumulación de agua de lluvia, nieve o granizo en áreas de topografía plana, que normalmente se encuentran secas, pero que han llegado a su máximo grado de infiltración y que poseen insuficientes sistemas de drenaje natural o artificial.

**Inundación fluvial:** Desbordamiento de las aguas del cauce normal del río, cuya capacidad ha sido excedida o las que invaden sus planicies aledañas normalmente libres de agua.



Fig. 2.2 Presa Neutla

En el Municipio afecta el agua de las presas, Allende y las ubicadas en el estado de Querétaro, que por su sobre almacenamiento, CONAGUA arroja agua controlable al cauce del Río Laja.

**Rio Laja:** *“Cuenta con área de captación de 7,958 km<sup>2</sup> y corresponde al límite oriental del área de estudio, recibe como afluentes al Rio Querétaro y al Arroyo Nautla. Finalmente, el Rio Laja desemboca al Rio Lerma, el cual circula en el extremo sur de la zona Celaya, donde sus escurrimientos continúan hacia el poniente para más adelante desembocar en la Laguna de Chapala”* (Gobierno del Estado, 2010)

El Rio Laja atraviesa por el Norte al de la comunidad de Santa fe de la Purísima teniendo como afluente al arroyo de menor importancia, la comunidad de Merino que colinda al este.



Fig. 2.3. Grafica estadística en porcentajes del aumento de agua basada en encuestas aplicadas a habitantes de las comunidades aledañas al lugar de estudio

## Vulnerabilidad

En el municipio de Cortázar se encuentran varios puntos señalados como vulnerables, pero aquí solo mencionaremos a la comunidad de Santa fe de la Purísima. *En años pasados se tuvo la contingencia por cierre del dren el cual sobrepaso el nivel y el agua desbordo hacia las parcelas provocando que el agua corriera hacia las casas y avenida principal de la comunidad de Santa Fe de la Purísima.* Lo que es un gasto más al cauce que se debe de tomar en cuenta.



Fig.2.4 Comunidad de Santa Fe de La Purísima

## 2.4 Características ambientales

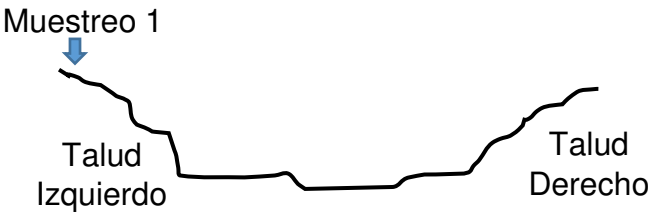

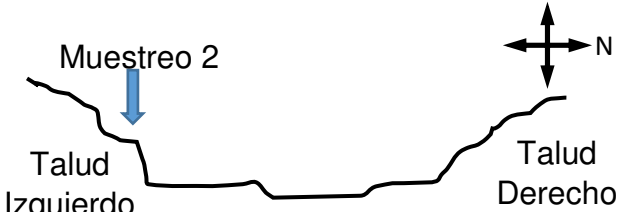

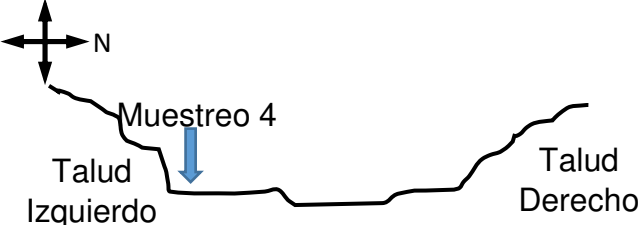


**“Clima:** *El clima que predomina en el municipio es semicálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 19.3 °C, siendo la mínima de 1.1 °C y la máxima de 36.2 °C. La precipitación pluvia promedio es de 630 milímetros anuales. (Gobierno del Estado, 2010)*








**“Flora:** En el municipio crecen diversas especies forrajeras, tales como navajita, zacatón, pata de gallo, flechilla, tres barbas, lanudo y temprano. También hay huizaches, nopales y largoncillo. El mezquite es una especie muy común en toda la región.” (Gobierno del Estado, 2010)

## 2.5 Ubicación del lugar de estudio.

La ubicación de muestreos y sondeos obtenidos en el Rio Laja tramo Celaya – Cortazar para el estudio de cimentación superficial se muestran a continuación en la siguiente tabla.

| <b>Tabla. 2.2 Ubicación de muestreo y sondeos para estudio de mecánica de suelos</b> |   |  |
|--|---|--|
| <b>Muestreo y sondeo</b>   | <b>Fotografía del lugar</b>   | <b>Croquis del perfil del Rio Laja, Santa Fe de la Purísima. Cortazar, Gto.</b>  |
| <p><b>Muestra 1</b><br/>Ubicado en el talud izquierdo, hacia lado sur.</p>           |   |  <p>Muestreo 1</p> <p>Talud Izquierdo</p> <p>Talud Derecho</p> <p>Compass rose with N pointing right.</p> |
| <p><b>Muestra 2</b><br/>Ubicado en el talud izquierdo, hacia lado sur.</p>           |  |  <p>Muestreo 2</p> <p>Talud Izquierdo</p> <p>Talud Derecho</p> <p>Compass rose with N pointing up.</p>   |
| <p><b>Muestra 3</b><br/>Ubicado en el talud izquierdo, hacia lado sur.</p>           |  |  <p>Muestreo 4</p> <p>Talud Izquierdo</p> <p>Talud Derecho</p> <p>Compass rose with N pointing left.</p> |
| <p><b>Muestra 4</b><br/>Ubicado en el talud izquierdo, hacia lado sur.</p>           |  |  <p>Muestreo 4</p> <p>Talud Izquierdo</p> <p>Talud Derecho</p> <p>Compass rose with N pointing left.</p> |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p><b>Muestra 5</b><br/>Ubicado en el centro del cauce.</p>                  |   |  <p>A cross-section diagram of a river channel. At the top left is a north arrow labeled 'N'. Below it, the left bank is labeled 'Talud Izquierdo' and the right bank is labeled 'Talud Derecho'. In the center of the channel, a blue arrow points down to a label 'Muestreo 5'.</p> |
| <p><b>Sondeo 1</b><br/>Ubicado en el talud izquierdo, hacia lado sur.</p>    |  <p>Two photographs showing a person in a trench on the left bank of a river. The left photo shows the person from a side angle, and the right photo shows a top-down view of the trench.</p>      |  <p>A cross-section diagram of a river channel. At the top left is a north arrow labeled 'N'. Below it, the left bank is labeled 'Talud Izquierdo' and the right bank is labeled 'Talud Derecho'. On the left bank, a black arrow points down to a label 'Sondeo 1'.</p>              |
| <p><b>Sondeo 2</b><br/>Ubicado en el talud derecho, hacia el lado norte.</p> |  <p>Two photographs showing a person in a trench on the right bank of a river. The top photo shows an overview of the site near a river, and the bottom photo shows the person in the trench.</p> |  <p>A cross-section diagram of a river channel. At the top left is a north arrow labeled 'N'. Below it, the left bank is labeled 'Talud Izquierdo' and the right bank is labeled 'Talud Derecho'. On the right bank, a black arrow points down to a label 'Sondeo 2'.</p>            |

## **CAPÍTULO III**

### **Caracterización de mecánica del suelo.**

**La mecánica de suelos** es de gran importancia hoy en día ya que al paso de los años las obras de construcción han ido en aumento, con lo cual también las dimensiones y pesos de tales proyecto constructivos, lo que nos ha hecho realizar más estudios detallados del tipo de material en el cual se desplaten y saber el comportamiento que tendrán una vez que los pesos actúen sobre el terreno, todo esto con el fin de optimizar las cimentaciones de cada estructura que se esté realizando.

#### **3. Pruebas de calidad del suelo.**

Las pruebas de calidad se llevan a cabo mediante un registro de resultados de estudio de mecánica de suelos, donde se lleva un control de anotaciones de datos obtenidos en laboratorio de cada material que se está analizando o estudiando, con el fin de saber todas sus características y comportamientos, que ayudaran al dimensionamiento de la zapata aislada superficial.

Con los resultados obtenidos se lleva un mejor control de los tipos de material como se menciona anteriormente, además con los datos se puede dar una mejor propuesta de zapata aislada para el proyecto que se pretenda realizar con el fin de minimizar gastos y procesos constructivos en campo.

Estas pruebas de calidad se constituyen de otras pruebas como los son: pruebas de humedad, granulometría, compresión triaxial, clasificación, Límites de Atterberg entre muchas otras que no se llevaran a cabo en esta investigación para fines prácticos del estudio que se pretende realizar.

#### **3.1 Pruebas de clasificación de material.**

##### **3.1.1 Prueba ASTM D4643-17 (Prueba de contenido de agua).**

Las pruebas de humedad tienen la finalidad de saber el porcentaje exacto de la humedad que presenta el material de estudio. El conocimiento de los contenidos de agua de sitio de los suelos, son esenciales para poder realizar muchas pruebas como lo son Límites de Atterberg, Triaxial y entre muchas más, se podría decir en pocas palabras que es el inicio de las pruebas para poderlas llevar a cabo.

Una vez obtenido la muestra del sondeo y protegerla con plástico para que no pierda humedad se realiza lo siguientes pasos para dicha prueba.



Fig. 3.1 Sondeo



Fig. 3.2 Sondeo 1 agrietado al momento de labrarse.

Se extrajo una porción de material del sondeo que se muestra en la figura 3.2 para realizar la prueba ASTM D4643-17 (Prueba de contenido de agua).

1. Se pesa la charola donde se colocara el material.
2. Se tomaron 500 gr de material de la muestra para esta prueba.
3. Se colocan en la charola.
4. Se pesa el material con charola.



Fig. 3.3 Peso húmedo de material para prueba ASTM.

5. Se meten al horno 24 horas para su secado o se pone en estufa hasta que pierda la humedad y se comprueba con un lente de cristal.



Fig. 3.4 Material expuesto a calor para la pérdida de humedad.

6. Se pesa el material con charola



Fig. 3.5 Peso seco del material.

7. Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W1-W2}{W2-Wt} \times 100 = \frac{Ww}{Ws} \times 100$$

- $W$  = Es el contenido de humedad, (%)
- $Ww$  = Peso del agua.
- $Ws$  = Peso seco del material
- $W1$  = Es el peso de tara más el suelo húmedo, en gramos
- $W2$  = Es el peso de tara más el suelo secado en horno, en gramos:
- $Wt$  = Es el peso de tara, en gramos

**Nota:** Con los pasos anteriores podemos obtener cualquier humedad de material en cualquier punto.

**Esta prueba también se realizó para cada muestra y sondeo mencionados o realizados en campo, para saber el contenido de agua en los límites plásticos.**

Los datos que se muestran a continuación fueron obtenidos del sondeo, utilizados para obtener la humedad natural que se necesita para nuestra prueba de compresión triaxial, con la cual se obtendrá el espécimen que será sometido a carga.

## Humedad natural para remoldeo de muestra

$W_t$  = Peso de tara (gr) = **23.50 gr**

$W_1$  = Peso de tara + el suelo húmedo (gr) = **102.50 gr**

$W_2$  = Peso de tara + el suelo secado en horno (gr) = **86.20 gr**

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{102.50 \text{ gr} - 86.20 \text{ gr}}{86.20 \text{ gr} - 23.50 \text{ gr}} \times 100 = \mathbf{25.84 \%}$$

$W_w$  = Peso del agua (gr) =  $W_1 - W_2 = 102.5 \text{ gr} - 86.20 \text{ gr} = \mathbf{16.20 \text{ gr}}$

$W_s$  = Peso seco del material (gr) =  $W_2 - W_t = 86.20 \text{ gr} - 23.50 \text{ gr} = \mathbf{62.70 \text{ gr}}$

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{16.20 \text{ gr}}{62.70 \text{ gr}} = \mathbf{25.84 \%}$$

### 3.1.2 Prueba de secado, disgregado y cuarteo de muestra.

Este tipo de prueba nos permitirá obtener las cantidades adecuadas para realizar las siguientes pruebas necesarias en laboratorio con el fin de tener un mejor proceso.

*“Permitirá la preparación de las muestras representativa de los materiales de terracerías, mediante su secado, disgregado y cuarteado con el propósito de obtener porciones representativas para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias.”* (U.N.N.E., 2008)

Procedimiento de prueba.

1. Para esta prueba se utilizaron 4190 gr de material extraído del campo.
2. Se cribaron los 4190 gr pasándola por la malla N° 4 (4.75 mm) ya que el material no presentaba granulometría muy grande. *(En caso de contar con una granulometría grande se procederá a pasarla por las mallas que van desde 3”, 2”, 1 ½ “, 1”, ¾ “y 3/8”).*
3. Se checa que cantidad de material ha pasado por esta malla (Peso retenido  $W_{m1}$  y peso de material que pasa  $W_{m2}$ ), en el caso de que todo el material haya pasado se procederá

a los siguientes pasos, si no es así, el material retenido se disgregara con los golpes necesarios verticalmente desde una altura de 20 cm hasta obtener las partículas que no se disgreguen.

4. Una vez cribado el material en la malla N° 4 (4.75 mm) se procede a pesar lo que paso, en este caso los 4,190 gr pasaron.
5. Se reintegra la muestra con todas las porciones obtenidas para el mezclado y cuarteado del material.

En mi caso todo el material fue disgregado correctamente y paso por la malla N° 4 sin problemas.

6. Se mezcló todo el material hasta que presentara un aspecto homogéneo sobre una superficie horizontal.
7. Se formó un cono con la muestra, depositando el material con un cucharón en el vértice de este, procurando tener una distribución uniforme.
8. Se repite el procedimiento anterior para una mejor distribución.
9. Al ser poco material se procedió a encajar una regla metálica en el vértice de cono girándolo alrededor de su eje con el fin de ir desalojando el material hacia la periferia, hasta dejarlo a una altura de 15 a 20 cm como se muestra en las figuras 3.6. *(En caso de ser mucho material estos procedimientos se realizaran en una lona puesto en piso, utilizando una pala limpia).*
10. Con ayuda de la regla utilizada anteriormente se separa el material en cuatro partes iguales tratando de tener un volumen igual como se muestra en las figuras 3.6.
11. Sobre una charola o bola se guardan dos cuartetos opuestos y con los dos sobrantes se realizaran los procedimientos 7, 8, 9 y 10 para alcanzar la porción necesaria para las pruebas que se traten, si es requerido por tener muestras muy grandes de material.







Foto 3.6. Prueba de Secado, Disgregado y Cuarteado

### 3.1.3 Prueba de Granulometría.

La prueba de granulometría se realiza con el fin de saber los diferentes tamaños de partículas que forman una muestra o material obtenida. Es decir, la prueba de granulometría es la separación de material mediante mallas o tamices que van desde 3" hasta la malla #200 que buscan obtener el peso y porcentaje de cada partícula retenida en cada malla, en relación con el peso total para una buena clasificación.

*“Estas pruebas permiten determinar la composición por tamaños de las partículas que integran los materiales empleados para terracerías, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas.”*

*“La granulometría del agregado es la distribución por tamaño de partículas, expresadas en porcentaje del peso total. La misma se determina a través de una serie de tamices apilados, con aberturas que se hacen progresivamente más pequeñas, y el pesaje del material retenido en cada uno de ellos.”* (U.N.N.E., 2008).

### Procedimiento de prueba

1. Se utilizaron todo el material de la prueba anterior para la granulometría grande y después se cuarteo.
2. Ya que como en la prueba anterior no tuvimos retenidos se omitirá pasar el material por la malla N° 4. (*Si esto no cumple se tendrá que pasar el material por esa malla y pesar los retenidos*).
3. Se recolecto el material que paso por dicha malla.
4. En una balanza se tomaron 500 gr del cuarteado para obtener su contenido de agua y registrar su peso seco (P.W. y P.S) como se muestra en la figura 3.7.



Fig. 3.7 Prueba de granulometría.

5. Del material sobrante se tomaran 500 gr al igual se tomaron del cuarteado, para el lavado y poder obtener la granulometría chica, a estos 500 gr se agregaran en vaso metálico donde se pondrá un aproximado de 500 cm<sup>3</sup> de agua y se deja reposar durante 12 horas como mínimo.
6. Con ayuda de una varilla se agito el material en forma de ochos durante 15 segundos para formar una suspensión, se deja reposar durante 30 segundos.
7. Se decantó sobre la malla N° 200 para facilitar el paso de partículas finas, esto se realizó con todo el material del vaso metálico hasta eliminar todas las partículas finas como se muestra en la figura 3.8 (*El agua debe salir limpia para poder pasar con el siguiente paso*)..



Fig. 3.8 Lavado de material.

8. El material que se retuvo en la malla N° 200 se seca en un recipiente metálico.
9. Una vez el material seco se procedió a pasarlo por sus respectivas mallas que son las siguientes: N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100 y N° 200.



Fig. 3.9 Obteniendo material retenido en cada malla.

10. Se pesa el material retenido en cada malla y se registran los pesos retenidos en cada malla como se muestra en la figura 3.10.



Fig. 3.10 Pesando material retenido en cada

11. Se obtuvo el porcentaje de retención de cada malla mediante la siguiente formula:

$W_n$  = Peso retenido en cada respectiva malla.

$W_d$  = Peso total de la muestra.

$$Re(\%) = \frac{W_n}{W_d} \times 100$$

Peso total de la muestra ( $W_d$ ): 4,190.00 gr

Fracción retenida en la malla No. 4 ( $W_{m1}$ ): 0.00 gr

Fracción que pasa la malla No. 4 ( $W_{m2}$ ): 4,190.00 gr

**Tabla 3.1 Registro de calidad de material del sondeo 1 (Clasificación)**

| <b>Granulometría</b>            |           |   |          |
|---------------------------------|-----------|---|----------|
| <b>Granulometría grande</b>     |           |   |          |
| <b>Peso neto (gr):</b>          | 2,120.00  | P:V:S:S=Peso<br>neto/Vol. (gr/m <sup>3</sup> ): | 0.99     |
| <b>Volumen (m<sup>3</sup>):</b> | 2,134.00  |   |          |
| Malla                           | Retenidos | %Re   | %Paso    |
| 3"                              | 0.00      | 0.00 %  | 0.00 %   |
| 2"                              | 0.00      | 0.00 %  | 0.00 %   |
| 1 1/2"                          | 0.00      | 0.00 %  | 0.00 %   |
| 1"                              | 0.00      | 0.00 %  | 0.00 %   |
| 3/4"                            | 0.00      | 0.00 %  | 0.00 %   |
| 3/8"                            | 0.00      | 0.00 %  | 0.00 %   |
| <b>No. 4</b>                    | 0.00      | 0.00 %  | 100.00 % |
| <b>P. No. 4</b>                 | 4,190.00  | 100.00 %  |          |
| <b>Total:</b>                   | 4,190.00  | 100.00 %  |          |
| <b>Granulometría chica</b>      |           |   |          |
| <b>Peso húmedo (P.W gr):</b>    | 500.00    | <b>Peso seco (P.S gr):</b>                      | 446.30   |
| Malla                           | PI        | %Ra   | %Paso    |
| 10                              | 0.10      | 0.00 %  | 100.00 % |
| 20                              | 0.70      | 0.00 %  | 100.00 % |
| 40                              | 11.85     | 3.00 %  | 97.00 %  |
| 60                              | 29.60     | 7.00 %  | 91.00 %  |
| 100                             | 31.50     | 7.00 %  | 83.00 %  |

|               |                 |                 |         |
|---------------|-----------------|-----------------|---------|
| <b>200</b>    | 39.30           | 9.00 %          | 75.00 % |
| <b>P. 200</b> | 333.25          | 75.00 %         | 0.00 %  |
| <b>Total:</b> | <b>4,190.00</b> | <b>100.00 %</b> |         |



Fig. 3.11 Prueba de Granulometría.

### 3.1.4 Prueba ASTM D4318.17e1 (Prueba de Límite líquido).

El fin de la prueba de límite líquido es obtener la plasticidad del material con el que se está trabajando.

*“Conocer las características de plasticidad de los materiales para terracerías empleando para ello una porción que pase la malla indicada.”. (Construsuelos, 2005)*

#### Procedimiento de prueba

1. Se preparó un cuarteto del material obtenido de la prueba de secado, disgregación y cuarteado.
2. Se cribó el material, para esta prueba se utilizó el material que paso por la malla # 200 (0.075 mm) hasta llegar a 300 grs aproximadamente.

3. Se vació el material en un recipiente tipo cenicero para posteriormente agregarle agua hasta saturar el material como se muestra en la figura 3.12.



Fig. 3.12 Material utilizado para determinar el límite líquido del suelo

4. Se cubrió el material del recipiente con una bolsa de plástico para reducir al mínimo la pérdida de humedad por evaporación y se deja reposar por 24 hrs.
5. Una vez pasado las 24 hrs se retiró la bolsa y se tomó una porción pequeña colocándola en otro recipiente similar, para de esta manera poderla trabajar como se muestra en la figura 3.13.
6. Se revolvió el material con una espátula hasta homogenizarlo.
7. Se colocó la cantidad necesaria en la copa de Casagrande extendida de tal forma que con la espátula alcanzara un espesor de 10 mm de la parte central como se muestra en la figura 3.13.



Fig. 3.13 Prueba ASTM D4318.17e1 (Prueba de Límite líquido).

8. Se eliminaron los sobrantes y se enrasa con la espátula.
9. Se realizó un corte al centro del material mediante un ranurador.

10. Se procedió a realizar los golpeteos de la copa realizando dos golpes por segundo y se registran los golpes con los cuales los bordes se tocaron como se muestra en la figura 3.14 (El contacto tendrá que ser de una longitud de 13 mm).



Fig. 3.14 Unión de bordes en prueba de copa de Casagrande.

11. Se tomó con la espátula aproximadamente 10 gr de la porción cerrada de la ranura, se coloca en un vidrio de reloj y se determina su contenido de agua como se muestra en la figura 3.15.



Fig. 3.15 Extracción de material de la copa de Casagrande y pesado.

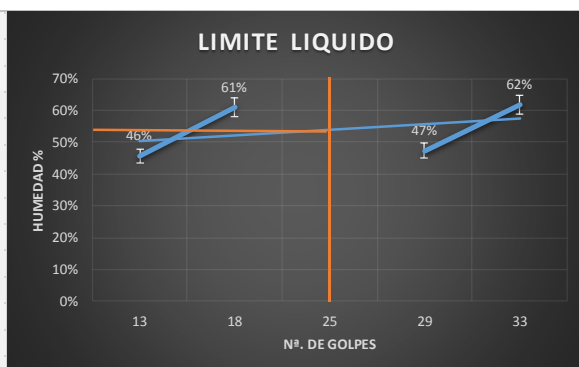
12. Se retiró el material sobrante en la copa de Casagrande para realizar 4 determinaciones más que comprendan entre 10 y 35 golpes.
13. Es necesario obtener dos valores por arriba y dos por debajo de los 25 golpes.
14. Se repitieron el mismo procedimiento para las 4 determinaciones y se realizó la curva de fluidez para saber el contenido de agua correspondiente a 25 golpes.

Resultado de valores de la prueba de límite líquido realizada con los pasos anteriores.

Tabla 3.2 Prueba de limite liquido de sondeo 1

**Limite liquido (LL)**

| Sondeo | N. golpes | N. de vidrio de reloj | Masa tara + suelo húmedo (gr) | Masa tara + suelo seco (gr) | Masa de agua (gr) | Tara (gr) | Masa de suelo seco | Contenido de agua (%) |
|--------|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|--------------------|-----------------------|
| 1      | 13        | 20                    | 11.20                         | 8.22                        | 2.88              | 1.92      | 6.30               | 46 %                  |
|        | 18        | 14                    | 9.24                          | 6.40                        | 2.84              | 1.74      | 4.66               | 61 %                  |
|        | 25        | -                     | -                             | -                           | -                 | -         | -                  | -                     |
|        | 29        | 84                    | 9.59                          | 7.12                        | 2.47              | 1.91      | 5.21               | 47 %                  |
|        | 33        | 91                    | 9.93                          | 6.83                        | 3.10              | 1.81      | 5.02               | 62 %                  |



**Contracción Lineal**

| N. de barra            | M. de barra | Medición     |
|------------------------|-------------|--------------|
| 13                     |             | 99.30        |
| 23                     |             | 99.10        |
| 4                      |             | 99.30        |
| 21                     |             | 98.70        |
| <b>CL:</b>             |             | <b>98.10</b> |
| <b>Limite liquido:</b> |             | <b>54 %</b>  |



Foto. 3.16 Prueba de Limite Líquido.



### 3.1.5 Prueba de Limite Plástico.

Las pruebas de limite plástico tiene la finalidad de saber la plasticidad que contiene cada material.

Procedimiento de prueba.

1. Se tomó el material sobrante de la prueba de límite líquido.
2. Se tomó una porción y se homogenizó en un recipiente.
3. Se extendió el material en papel periódico para quitar humedad si es que cuenta con mucha agua.
4. Se empiezan a realizar los churritos en los cristales hasta llegar al punto de agrietamiento.
5. Los churritos tendrán un radio de 1 o 2 mm con una longitud de 5 cm aproximadamente.
6. Una vez que se agrietaron se colocaron en el cristal de reloj para obtener su contenido de agua como se muestra en la figura 3.17.



Fig. 3.17 Prueba de Limite Plastico

7. Se registran los datos obtenidos y con base al **límite líquido (LL)** y **límite plástico (LP)** obtenido con esta prueba, calculamos el **índice plástico (IP)** con la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

| Tabla 3.3 Prueba de Limite plástico |                       |                   |                   |                   |           |               |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|---------------|-----------------------|
| Limite plástico                     |                       |                   |                   |                   |           |               |                       |
| Sondeo                              | N. de vidrio de reloj | Masa tara + suelo | Masa tara + suelo | Masa de agua (gr) | Tara (gr) | Masa de suelo | Contenido de agua (%) |
|                                     |                       |                   |                   |                   |           |               |                       |

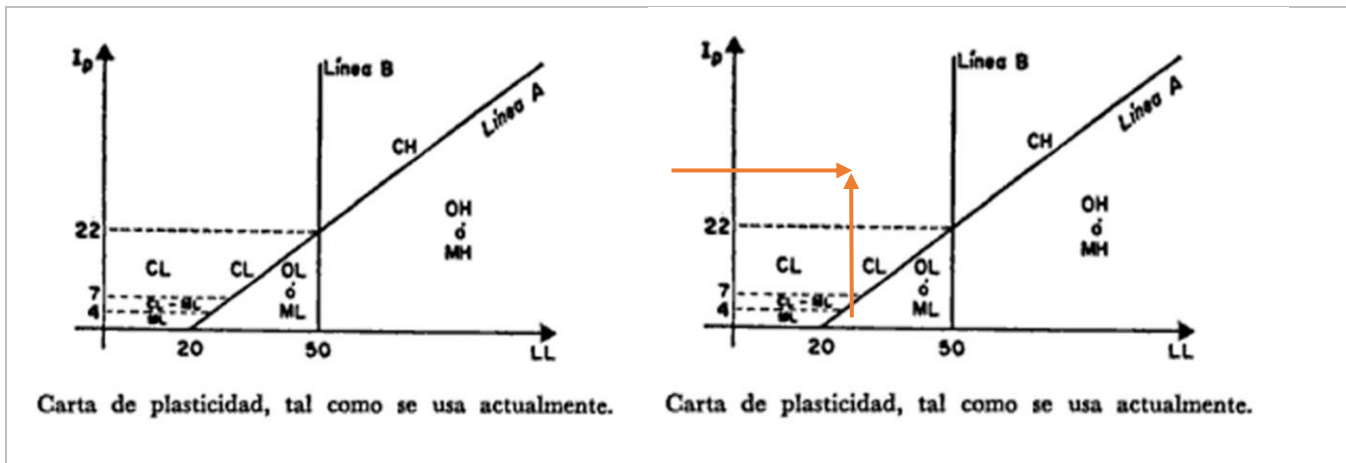
|                              |              |                        |                      |                            |                |                      |                |
|------------------------------|--------------|------------------------|----------------------|----------------------------|----------------|----------------------|----------------|
|                              |              | <b>húmedo<br/>(gr)</b> | <b>seco<br/>(gr)</b> |                            |                | <b>seco<br/>(gr)</b> |                |
| <b>1</b>                     | 15           | 4.56                   | 4.06                 | 0.50                       | 1.50           | 2.16                 | <b>23.00 %</b> |
| <b>Absorción:</b>            |              |                        |                      |                            |                |                      |                |
| <b>Densidad:</b>             |              |                        |                      |                            |                |                      |                |
|                              | <b>P.W:</b>  |                        | <i>Kg</i>            |                            | <b>P.S:</b>    |                      | <i>Kg</i>      |
|                              | <b>P.S:</b>  |                        | <i>Kg</i>            |                            | <b>Vol. n:</b> |                      | <i>Kg</i>      |
| <b>Limite liquido (LL):</b>  | <b>54.00</b> | %                      |                      | <b>Contracción lineal:</b> | <b>99.10</b>   |                      |                |
| <b>Limite plástico (LP):</b> | <b>23.00</b> | %                      |                      |                            |                |                      |                |
| <b>Índice plástico (IP):</b> | <b>31.00</b> | %                      |                      |                            |                |                      |                |
| <b>Observación:</b>          |              |                        |                      |                            |                |                      |                |

### 3.1.6; Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Con base a los resultados obtenidos de las pruebas anteriores se pudo dar la clasificación adecuada y correcta del material extraído de campo.

A continuación se muestra la clasificación del material.

| <b>Tabla 3.4 Clasificación de material del sondeo 1</b>                   |  |               |           |   |                           |   |
|---|--|---------------|-----------|---|---------------------------|---|
| <b>Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)</b>  |  |               |           |   |                           |   |
| <b>Proyecto:</b>  | Cimentación superficial de puentes en el estado de Guanajuato. |               |           | <b>Muestra:</b>                         | Sondeo 1, talud izquierdo |   |
| <b>Tipo de material (Color):</b>  | Café   |               |           | <b>Olor:</b>                            | sin olor                  |   |
| <b>Procedencia de material:</b>   | Rio Laja, tramo; Celaya – Cortazar, Gto.                       |               |           | <b>Fecha:</b>                           | 17 de diciembre del 2018  |   |
| <b>Humedad natural (W)</b>  | <b>P.W:</b>  | <b>260.00</b> | <i>Gr</i> | <b>W:</b>                               | <b>31.06</b>              | % |
|   | <b>P.S:</b>  | <b>198.00</b> | <i>Gr</i> |   |                           |   |
| <b>Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).</b> |  |               |           | <b>CH (Arcilla de alta plasticidad)</b> |                           |   |



Podemos notar que con los valores obtenidos de las pruebas de límites y utilizando el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) nos arroja una **Arcilla de alta plasticidad (CH)** para el sondeo 1.

A continuación se da la clasificación del material por medio de tabla:

| Divisiones mayores <sup>1</sup>  |  |   | Símbolo del grupo               | Nombre del grupo                          |
|--|--|---|---------------------------------|---|
| Suelos granulares gruesos<br>más del 50% retenido en el tamiz n°200 (0.075 mm) | <b>Grava</b><br>> 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz n°4 (4.75 mm) | grava limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200           | GW                              | grava bien graduada, grava fina a gruesa  |
|  |  | grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200 | GP                              | grava pobremente graduada                 |
|  | <b>Arena</b><br>≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n°4                 | Arena limpia  | GM                              | grava limosa                              |
|  |  | Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200 | GC                              | grava arcillosa                           |
|  |  |   | SW                              | Arena bien graduada, arena fina a gruesa. |
|  |  |   | SP                              | Arena pobremente graduada                 |
| Suelos de grano fino<br>más del 50% pasa el tamiz No.200                       | <b>Limos y arcillas</b><br>límite líquido < 50                                 | inorgánico  | SM                              | Arena limosa                              |
|  |  | orgánico  | SC                              | Arena arcillosa                           |
|  | <b>Limos y arcillas</b><br>límite líquido ≥ 50                                 | inorgánico  | ML                              | limo                                      |
|  |  | orgánico  | CL                              | arcilla                                   |
|  |  | inorgánico  | OL                              | Limo orgánico, arcilla orgánica           |
|  |  | orgánico  | MH                              | limo de alta plasticidad, limo elástico   |
| Suelos altamente orgánicos   |  | OH  | Arcilla orgánica, Limo orgánico |   |
|  |  | Pt  | turba                           |   |

Fig. 3.18 Aquí podemos comprobar que el resultado obtenido de la carta de plasticidad es correcto ya que se ha obteniendo un CH (Arcilla de alta plasticidad).

### **Clasificación del sondeo 1.**

El extracto sometido a carga en triaxial, se clasifico como una arcilla de alta plasticidad (CH) con el 39.30 % de finos. Su LL fue 54.00 % y su LP de 23.15 %, IP de 30.85% con un contenido de humedad natural de 26.00%.

El extracto 1, se clasifico como una arcilla de alta plasticidad (CH) con el 5.0 % de finos. Su LL fue 63.00 % y su LP de 23.26 %, IP de 41.74%.

El extracto 2, se clasifico como una arcilla de alta plasticidad (CH) con el 40.50 % de finos. Su LL fue 52.0 % y su LP de 19.55 %, IP de 32.45 %.

El extracto 3, se clasifico como una arena limosa (SM) con el 81.20 % de finos. Su LL fue 88.0 % y sin plasticidad, IP de 88.00 %.

### **Clasificación del sondeo 2.**

El extracto sometido a carga en triaxial, se clasifico como una arcilla de alta plasticidad con el 35.50 % de finos. Su LL fue 51.40 % y su LP de 20.29%, IP de 31.11% con un contenido de humedad natural de 31.50%.

El extracto 1, se clasifico como una arcilla de alta plasticidad (CH) con el 40.30 % de finos. Su LL fue 51.00 % y su LP de 25.0%, IP de 26.00% con un contenido de humedad natural de 33.10%.

El extracto 2, se clasifico como una arena limosa (SM) con el 14.00 % de finos. Su LL fue 33.00 % y sin plasticidad, IP de 33.00 %.

El extracto 3, se clasifico como un lente de grava pobremente graduada (GP) con el 59.00% de finos. Su LL fue 52.00 % y sin plasticidad, IP de 52.00 %.

El extracto 3, se clasifico como una arcilla de alta plasticidad (CH) con el 37.20 % de finos. Su LL fue 50.00 % y su LP de 21.00%, IP de 29.00 %.

| Tabla. 3.5 Ubicación de muestreo y sondeos para estudio de mecánica de suelos |                                  |  |
|---|----------------------------------|--|
| Núm. De Prueba de Clasificación   | Tipo de material resultante      | Croquis del perfil del Rio Laja, Santa Fe de la Purísima. Cortazar, Gto. |
| Muestra 1   | CH (Arcilla de alta plasticidad) |  |
| Muestra 2   | CH (Arcilla de alta plasticidad) |  |
| Muestra 3   | CH (Arcilla de alta plasticidad) |  |
| Muestra 4   | CH (Arcilla de alta plasticidad) |  |
| Muestra 5   | SM (Arena Limosa)                |  |
| Sondeo 1  | CH (Arcilla de alta plasticidad) |  |
| Sondeo 2  | CH (Arcilla de alta plasticidad) |  |



Fig. 3.19 Perfil estratigráfico del lugar de estudio en base al sondeo 1.

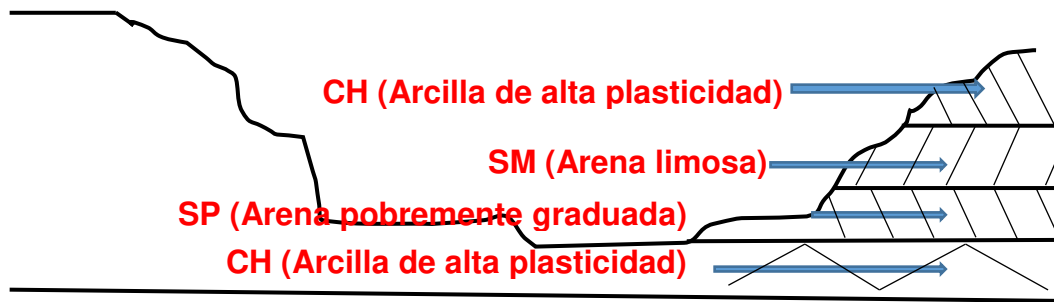


Fig. 3.20 Perfil estratigráfico del lugar de estudio en base al sondeo 2.

**Nota:** En los anexos se presentaran los registros de las muestras mencionadas en la tabla 3.5 del Rio Laja en la comunidad de Santa Fe de la Purísima municipio de Cortázar, Gto.

### 3.2 Prueba ASTM D4767-11 (Pruebas de compresión triaxial rápida).

Las pruebas de compresión triaxial someten a especímenes a carga axial para obtener sus esfuerzos máximos resistentes en un tiempo determinado con el fin de saber el punto de falla exacto y en base a eso obtener la capacidad de carga del suelo resistente.

*“Hoy las pruebas triaxiales pueden clasificarse en dos grandes grupos: Pruebas de compresión y Pruebas de extensión.*

*Las pruebas de compresión son aquellas en las que la dimensión original axial de espécimen disminuye y las de extensión son aquellas en las que dicha dimensión se hace aumentar durante la prueba.*

*Un prueba de compresión puede tener ávidamente, varias modalidades de laboratorio; en efecto, la dimensión axial del espécimen se puede hacer disminuir aumentado el esfuerzo axial, por aumento de la carga transmitida o por el vástago o manteniendo constante el esfuerzo axial, pero haciendo disminuir el lateral, dado por el agua.” (Juarez Badillo, 2005).*

Para la prueba de compresión triaxial realizada en este estudio se extrajeron dos muestras de diferentes sondeos ubicados en el talud izquierdo y el talud derecho, la primera muestra se obtuvo en forma de cubo con dimensiones de 40x40x40cm a una profundidad de 2.50 a 2.80 m con el fin de sacar el espécimen inalterado del suelo, pero al no poder labrar el material se procedió a realizar un remoldeo de espécimen con el material obtenido de este respectivo sondeo y para el sondeo 2, se realizó la obtención de muestra a 2.80 a 3.00 m extrayendo el material para el

remoldeo ya que presentaba las mismas características de material del sondeo 1 (Material que no se presta para labrar).



Fig. 3.21 Sondeo 1 y 2 a cielo abierto.

Los sondeos se hicieron a cielo abierto ubicado en el Rio Iaja tramo Cortazar – Celaya en la comunidad de Santa fe de la Purísima municipio de Cortazar, Gto.

El cubo y material extraído inalterado de los dos sondeos se sometieron a carga, para lo cual se prepararon los especímenes remoldeados. Para eso se obtuvo la humedad natural y los cálculos necesarios de peso para los especímenes de cada sondeo. Se llevó el siguiente procedimiento para la obtención de especímenes:



Fig. 3.22 Muestra de sondeo

Procedimiento de remoldeo del sondeo 1.

- 1) Pasar 3 kilos por la malla #4 **Obtención de la humedad óptima mediante Prueba de Compactación Proctor (Prueba ASTM D698-12e2).**
- 2) Se agrega el agua y se empieza a disgregar el material (*El agua agregada se le aplicará hasta alcanzar una humedad necesaria con la cual se pueda aplicar la prueba, esta humedad se alcanzó gracias al apoyo del jefe de laboratorio.*).
- 3) Se obtiene el porcentaje de humedad alcanzado anteriormente como se muestra en la tabla 3.6 porcentajes de humedad.

| <b>Tabla. 3.6 Porcentaje de humedad natural de sondeo 1</b> |               |           |
|---|---------------|-----------|
| <b>Humedad natural</b>                                      |               |           |
| <b>Peso húmedo (P.W):</b>                                   | <b>102.50</b> | <b>gr</b> |
| <b>Peso seco (P.S):</b>                                     | <b>86.20</b>  | <b>gr</b> |
| <b>Humedad natural (W):</b>                                 | <b>26.00</b>  | <b>%</b>  |

Los valores que se muestran se obtuvieron gracias a la báscula en el laboratorio de mecánica de suelos.

- 4) Preparamos todas las herramientas necesarias para la prueba del Prueba de Compactación Proctor (molde con anillo y vasto).
- 5) Prueba de Compactación Proctor:
  - Pesarse el molde.
  - Obtener el volumen del molde.



- Llenar en 3 partes iguales el molde.
- Compactar cada capa con 25 golpes en forma de espiral.
- Obtener los siguientes datos del material compactado junto con el molde.



Fig. 3.21 Molde para prueba de compactación.

- Peso del molde + suelo húmedo.
- Peso del molde (Tara).
- Peso del suelo húmedo.
- Volumen del molde.
- Peso específico volumétrico húmedo.

| Tabla 3.7 Relación de vacíos y pesos volumétricos |          |    |                          |        |                   |
|---|----------|----|--------------------------|--------|-------------------|
| Pesos volumétricos                                |          |    |                          |        |                   |
| <b>Peso Molde + Suelo húmedo:</b>                 | 3,620.00 | gr | Volumen del molde:       | 922.37 | cm <sup>3</sup>   |
| <b>Peso del suelo:</b>                            | 2,030.00 | gr | Peso volumétrico húmedo: | 1.72   | Kg/m <sup>2</sup> |
| <b>Peso del suelo húmedo:</b>                     | 1,590.00 | gr | Peso Volumétrico seco:   | 1.37   | Kg/m <sup>3</sup> |

**6) Pasar 5 kilos por la malla #4 Elaboración del espécimen.**

7) Se agrega el agua y se empieza a disgregar el material de la misma manera anteriormente dicha.

8) Se obtiene el porcentaje de humedad alcanzado en el punto 3, tabla 3.6 para tener las características más cercanas a las reales.

- Peso húmedo.          Peso seco.          Contenido de agua.

P. húmedo: 227.20 gr

P. Seco: 176.70 gr

Contenido de agua: 28.0 %

- 9) Se realizan los cálculos siguientes para obtener el peso del material requerido.
- Se pesa el material requerido el cual deberá coincidir con el peso de los cálculos anteriores.
  - El cilindro (caracterizas similares al de la prueba de compactación proctor) se cubrirá con aceite en toda su parte interna para posteriormente agrega una membrana de plástico para evitar que el material se pega una vez que se vaya a retirar del molde.
  - Se introduce el material a un cilindro en tres capas como se muestra en la figura 3.22.
  - Compactar cada capa con 25 piquetes en forma de espiral.
  - Se enrasa el material.
  - Se le aplica carga para lograr la compactación adecuada al cubo extraído del sondeo que anteriormente se mencionó (compactación mediante gato mecánico).
  - Sacamos el material compactado del molde como se muestra en la figura 3.22.



Fig. 3.22 Prueba de compactación de material para remoldeo.

- 10) Se procedió a sacar el molde del material para empezar a labrar los especímenes necesarios como se muestra en la figura 3.23 (Los especímenes deberán tener una altura de 9.0 cm, un radio de 3.6 cm.).



Fig. 3.23 Material trabajado para extracción de especímenes de prueba triaxial.

- 11) Se guardan los especímenes que no se estén sometiendo a carga en una bolsa plástica para evitar al mínimo la pérdida de agua en lo que se prepara y se van sometiendo los especímenes.



Fig. 3.24 Espécimen para prueba triaxial

Como se mencionó esta prueba necesito de especímenes remoldeados por las características del material que impidió un buen labrado.

### Prueba de compresión triaxial

1. Se sacan las medidas de cada espécimen que se someterá a carga, diámetro superior, diámetro inferior, diámetro central como se muestra en la figura 3.25 y tabla 3.8 (Se tomaran dos diámetro de cada uno que se mencionan para obtener el promedio y sea más acertado).

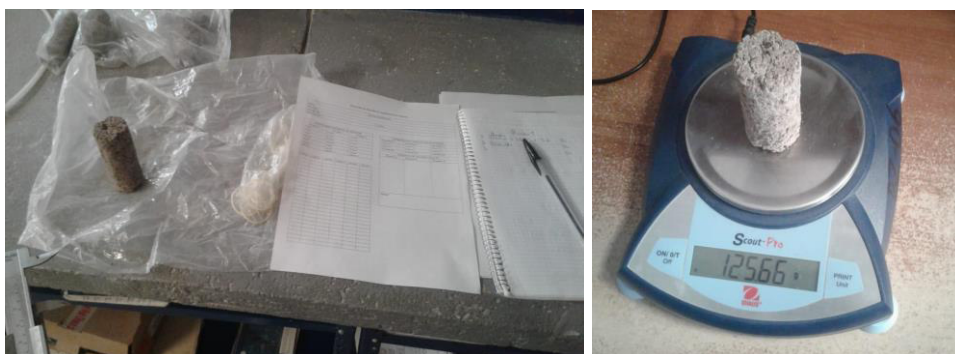


Fig. 3.25 Características del espécimen.

**Tabla 3.8 Dimensiones y volúmenes de especímenes del sondeo 1.**

| <b>Especimen número 1 del sondeo 1</b> |              |           |            |               |                       |            |                                       |
|--|--------------|-----------|------------|---------------|-----------------------|------------|---------------------------------------|
| <b>Ds:</b>                             | <b>3.610</b> | <i>cm</i> | <b>As:</b> | <b>10.235</b> | <i>cm<sup>2</sup></i> | <b>Wm:</b> | <b>125.700</b> <i>gr</i>              |
| <b>Dc:</b>                             | <b>3.545</b> | <i>cm</i> | <b>Ac:</b> | <b>9.870</b>  | <i>cm<sup>2</sup></i> | <b>Vm:</b> | <b>89.303</b> <i>cm<sup>3</sup></i>   |
| <b>Df:</b>                             | <b>3.574</b> | <i>cm</i> | <b>Af:</b> | <b>10.032</b> | <i>cm<sup>2</sup></i> | <b>δm:</b> | <b>1.408</b> <i>Ton/m<sup>3</sup></i> |

**Nota:** Los resultados de los demás especímenes tanto como del sondeo 1 y sondeo 2 se encuentran en los anexos.

2. Medir la altura del espécimen (Obtener promedio de dos alturas).
3. Pesar el espécimen.
4. Checar la presión a la cual será sometida el primer espécimen como se muestra en la figura 3.26.



Fig. 3.26 Presión de la cámara a la que será sometido el espécimen.

| <b>Tabla 3.9 Características de espécimen 1 sondeo 1</b> |              |   |   |                                   |              |
|--|--------------|---|---|-----------------------------------|--------------|
| <b>Características del espécimen</b>                     |              |   |   |                                   |              |
| <b>Presión confinada (Kg/cm<sup>2</sup>):</b>            | <b>0.500</b> | <b>Cte. De anillo de carga (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> | <b>0.200</b>                              | <b>Radio (gr/cm<sup>2</sup>):</b> | <b>5.365</b> |
| <b>Hm (cm):</b>  | <b>8.890</b> |   | <b>Am (cm<sup>2</sup>):=(As+4A+Ai)/8:</b> | <b>9.958</b>                      |              |

5. Se baja la cámara de compresión triaxial para montar el espécimen como se muestra en las figuras 3.27.
6. Se abre la cámara.
7. Se coloca una membrana al espécimen que será sometido a carga.
8. Colocamos los empaques arriba y abajo en el espécimen para evitar que entre o se le filtre agua lo cual pueda arruinar el ensayo.
9. Se monta el espécimen dentro de la cámara.
10. Se conecta la triaxial.
11. Se procede a checar la máquina de compresión triaxial que se encuentre en la presión adecuado para el primer ensayo como se muestra en la figura 3.27.
12. Empezamos a llenar la cámara como agua para que esté sometida a esfuerzos confinados.



Fig. 3.27 Prueba de Compresión Triaxial Rápida de los Sondeos realizados para prueba 1

13. Sacamos o abrimos la válvula de la cámara para extraer el aire que haya agarrado al momento de montar el espécimen.
14. Se calibran los medidores de lecturas y tiempo.
15. Aplicamos la carga y se toman las lecturas a cada 20 segundos hasta notar que ya no hay aumento y empiece a disminuir las lecturas.



Foto. 3.28 Prueba de Compresión Triaxial Rápida.

16. Se quita la cámara.
17. Vaciamos el agua para proceder a extraer el espécimen.

18. Abrimos la cámara y quitamos las membranas.
19. Verificamos que no haya filtrado agua al espécimen, si esto pasa se tendrá que volver a realizar el ensayo con un nuevo espécimen.
20. Se pesa el espécimen como se muestra en las imágenes de la figura 2.9.



Fig. 3.29 Extracción de espécimen de la prueba uno.

21. Obtenemos el contenido de humedad.
22. Se obtienen la siguiente información en base a lo adquirido en los pasos anteriores, los datos a obtener son los siguientes:

1.  $Carga = Lectura * Cte. \text{ de Carga de Anillo (Cte.} = 0.208 \text{ kg/cm}^2\text{)}$ .
2.  $Deformación \text{ Total} = \text{La deformación unitaria será a cada } 0.02 \text{ mm partiendo de } 0.00\text{.}$
3.  $Deformación \text{ Unitaria} = Deformación \text{ total} / (\text{Altura de espécimen} * 10)\text{.}$
4.  $1 - Deformación \text{ Unitaria}\text{.}$
5.  $Área \text{ Corregida} = Área \text{ de espécimen} / (1 - Deformación \text{ Unitaria})\text{.}$
6.  $Esfuerzo = Carga / Área \text{ Corregida}\text{.}$
7.  $Deformación \text{ Unitaria } \% = Deformación \text{ Unitaria} * 100\text{.}$

**Tabla 3.10 Lecturas tomadas de espécimen 1 sometido a carga, sondeo 1.**

| 1                                    | 2             | 3                 | 4                    | 5   | 6                     | 7                        | 8                    |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|----------------------|---|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Lectura de micrómetro de deformación | Carga         | Deformación total | Deformación unitaria | 1-Deformación unitaria                      | Área corregida        | Esfuerzo                 | Deformación unitaria |
| <i>mm</i>                            | <i>Kg</i>     | <i>Mm</i>         | $\xi$                | $(1-\xi)$                                   | <i>cm<sup>2</sup></i> | <i>Kg/cm<sup>2</sup></i> | %                    |
| 0                                    | -             | -                 | -                    | 1.000                                       | 9.958                 | -                        | 0.00%                |
| 28                                   | 5.824         | 0.200             | 0.0022               | 0.998                                       | 9.980                 | 0.584                    | 0.22%                |
| 50                                   | 10.400        | 0.400             | 0.0045               | 0.996                                       | 10.003                | 1.040                    | 0.45%                |
| 68                                   | 14.144        | 0.600             | 0.0067               | 0.993                                       | 10.026                | 1.411                    | 0.67%                |
| 84                                   | 17.472        | 0.800             | 0.0090               | 0.991                                       | 10.048                | 1.739                    | 0.90%                |
| 98                                   | 20.384        | 1.000             | 0.0112               | 0.989                                       | 10.071                | 2.024                    | 1.12%                |
| 107                                  | 22.256        | 1.200             | 0.0135               | 0.987                                       | 10.094                | 2.205                    | 1.35%                |
| 112                                  | <b>23.296</b> | <b>1.400</b>      | <b>0.0157</b>        | <b>0.984</b>                                | <b>10.117</b>         | <b>2.303</b>             | <b>1.57%</b>         |
| 112                                  | 23.296        | 1.600             | 0.0180               | 0.982                                       | 10.141                | 2.297                    | 1.80%                |
| 112                                  | 23.296        | 1.800             | 0.0202               | 0.980                                       | 10.164                | 2.292                    | 2.02%                |
| 111                                  | 23.088        | 2.000             | 0.0225               | 0.978                                       | 10.187                | 2.266                    | 2.25%                |
| 110                                  | 22.880        | 2.200             | 0.0247               | 0.975                                       | 10.211                | 2.241                    | 2.47%                |
| 110                                  | 22.880        | 2.400             | 0.0270               | 0.973                                       | 10.234                | 2.236                    | 2.70%                |
| 108                                  | 22.464        | 2.600             | 0.0292               | 0.971                                       | 10.258                | 2.190                    | 2.92%                |
| 107                                  | 22.256        | 2.800             | 0.0315               | 0.969                                       | 10.282                | 2.165                    | 3.15%                |
| 106                                  | 22.048        | 3.000             | 0.0337               | 0.966                                       | 10.306                | 2.139                    | 3.37%                |
| 104                                  | 21.632        | 3.200             | 0.0360               | 0.964                                       | 10.330                | 2.094                    | 3.60%                |
|                                      |               |                   |                      | <b>Esfuerzo axial (Kg/cm<sup>2</sup>) :</b> |                       | <b><u>2.303</u></b>      | <b><u>1.57%</u></b>  |

**Nota:** Los datos completos de cada sondeo con sus respectivos especímenes sometidos a carga se encuentran en **Anexos** como ya se ha mencionado anteriormente.



23. Se tomó el dato donde surgió la falla del espécimen ya sea graficando los datos de deformación unitaria % y esfuerzo para verlo más gráficamente o en los datos de deformación unitaria % ver donde empieza a bajar y el valor más alto obtenido será el **Esfuerzo Axial de Falla** el cual tomaremos de cada espécimen, en la tabla 3.10 se puede notar el esfuerzo resaltado en negritas.

24. Una vez ya tomando los tres esfuerzos de falla procedimos a graficarlos mediante los círculos de Mohr, se utilizaron los siguientes pasos para esto:

1. Se anota el número de Prueba, La Presión Lateral de cada espécimen y su respectivo Esfuerzo de Rotura o Falla
2. Esfuerzo Mayor = Presión Lateral + Esfuerzo de Rotura o Falla.
3. Se anota la Humedad Natural de cada espécimen y su Peso Volumétrico.
4. Se obtuvo el promedio de la Humedad Natural y Peso Volumétrico como se muestra en la tabla 3.11.

| <b>Tabla 3.11 Resultados de la prueba triaxial del sondeo 1</b> |                                |                                     |                          |                        |                          |
|---|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>Prueba</b>   | <b>Presión lateral inicial</b> | <b>Esfuerzo principal de rotura</b> | <b>Esfuerzo mayor</b>    | <b>Humedad natural</b> | <b>Peso volumétrico</b>  |
| <i>No.</i>  | <i>Kg/cm<sup>2</sup></i>       | <i>Kg/cm<sup>3</sup></i>            | <i>Kg/cm<sup>3</sup></i> | <i>%</i>               | <i>Ton/m<sup>2</sup></i> |
| 1   | 0.50                           | 2.303                               | 2.803                    | 25.299                 | 1.408                    |
| 2   | 1.00                           | 3.010                               | 4.010                    | 24.313                 | 1.415                    |
| 3   | 1.50                           | 3.282                               | 4.782                    | 24.201                 | 1.436                    |
|   |                                |                                     | <b>Promedio:</b>         | <b>24.604</b>          | <b>1.419</b>             |

| <b>Tabla 3.12 Resultados de la prueba triaxial del sondeo 2</b> |                                |                                     |                          |                        |                          |
|---|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>Prueba</b>   | <b>Presión lateral inicial</b> | <b>Esfuerzo principal de rotura</b> | <b>Esfuerzo mayor</b>    | <b>Humedad natural</b> | <b>Peso volumétrico</b>  |
| <i>No.</i>  | <i>Kg/cm<sup>2</sup></i>       | <i>Kg/cm<sup>3</sup></i>            | <i>Kg/cm<sup>3</sup></i> | <i>%</i>               | <i>Ton/m<sup>2</sup></i> |
| 1   | 0.50                           | 1.864                               | 2.364                    | 54.996                 | 1.379                    |
| 2   | 1.00                           | 2.037                               | 3.037                    | 54.252                 | 1.358                    |
| 3   | 1.50                           | 2.199                               | 3.699                    | 52.230                 | 1.367                    |
|   |                                |                                     | <b>Promedio:</b>         | <b>53.826</b>          | <b>1.368</b>             |

5. Con estos datos graficamos los Círculos de Mohr, quedando de la siguiente forma:

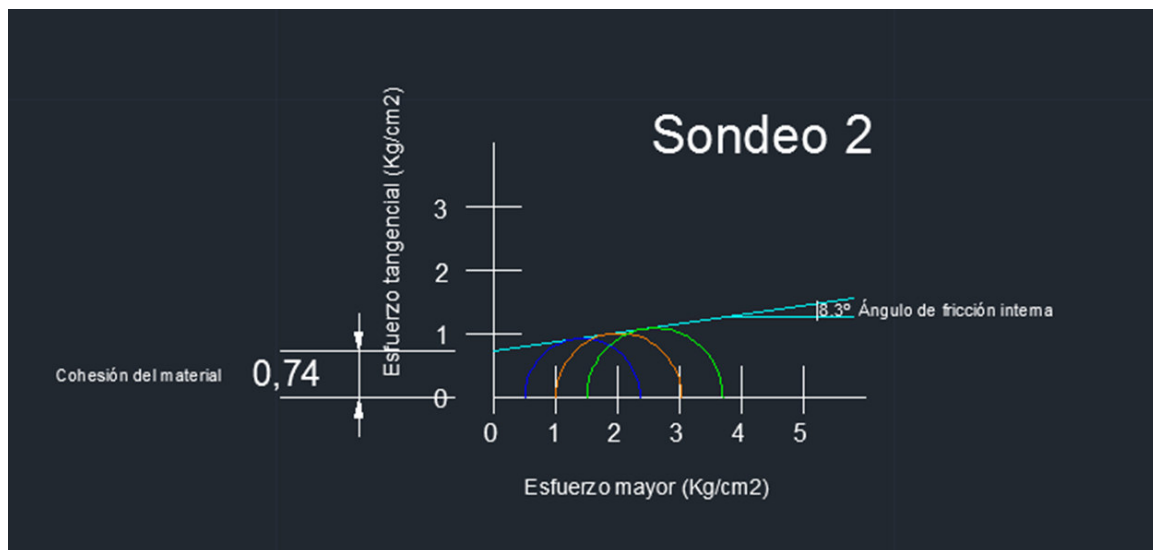
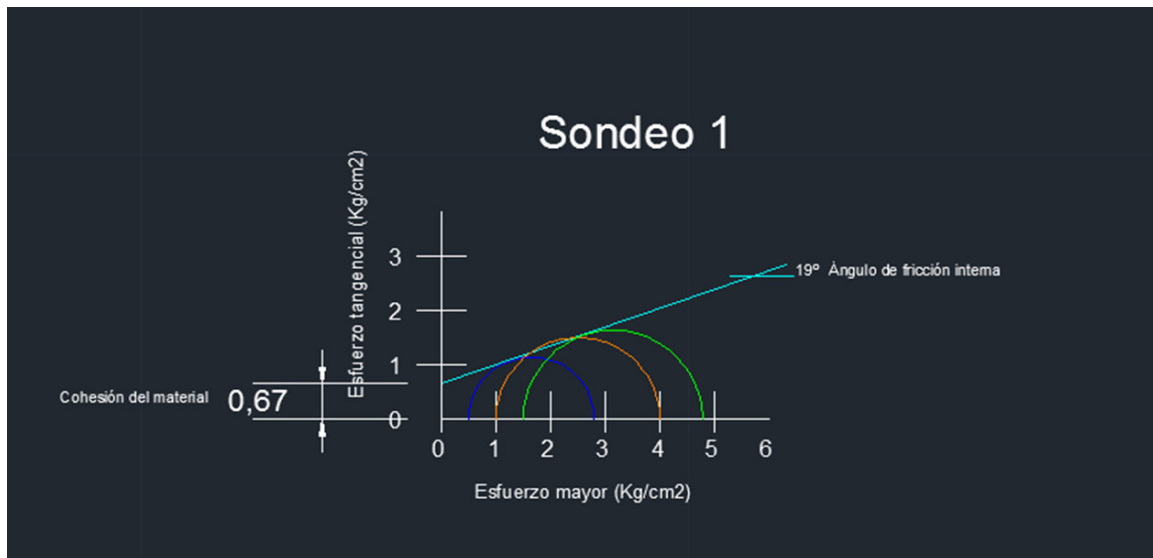


Fig. 3.30 Círculos de Mohr de los ensayos triaxiales.

25. De esta forma se obtuvieron los **Ángulos de Fricción Interna y La Cohesión** de cada material que fue sometido a carga mediante ensayos de prueba triaxial rápida.

26. Resultados generales de cada sondeo:

**Tabla 3.13 Sondaje 1 Talud izquierdo.**

| Resultados de ensayo triaxial |              |                                |
|-------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Cohesion c:                   | <b>6.70</b>  | <b>0.670 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| Angulo de fricción $\phi$ :   | <b>19.00</b> | <b>°</b>                       |

**Tabla 3.14 Sondeo 2. Talud derecho.**

| Resultados de ensayo triaxial |       |                          |
|-------------------------------|-------|--------------------------|
| Cohesion c:                   | 7.400 | 0.740 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Angulo de friccion $\phi$ :   | 8.30  | °                        |

### 3.3 ¿Para qué sirve el Angulo de fricción interna y la cohesión?

**El Angulo de fricción interna:** es un valor dado en grados que nos ayuda a la obtención de los diferentes datos como lo son los factores de carga, utilizados para la obtención de la capacidad de carga resistente en el suelo en donde se realiza el estudio, con el fin de proponer la cimentación más adecuada para este tipo de material.

**Cohesión:** esta nos sirve para la obtención de capacidad de carga ultima la cual como se dijo anteriormente en el ángulo de fricción interna, es la que nos ayudara a poder diseñar la cimentación adecuada para la estructura.

### 3.4; ¿Qué relación tienen los resultados obtenidos de las pruebas de compresión triaxial con la resistencia del suelo?

Los resultados obtenidos del material sondeando en cada punto han estado dentro de los parámetros indicados en mecánica de suelos respecto a el material que se obtuvo, esto nos indica que los estudios o pruebas realizadas al material son correctas y están listas para ser usadas en el diseño de la cimentación de la estructura.

# CAPÍTULO IV

## Diseño de estructural

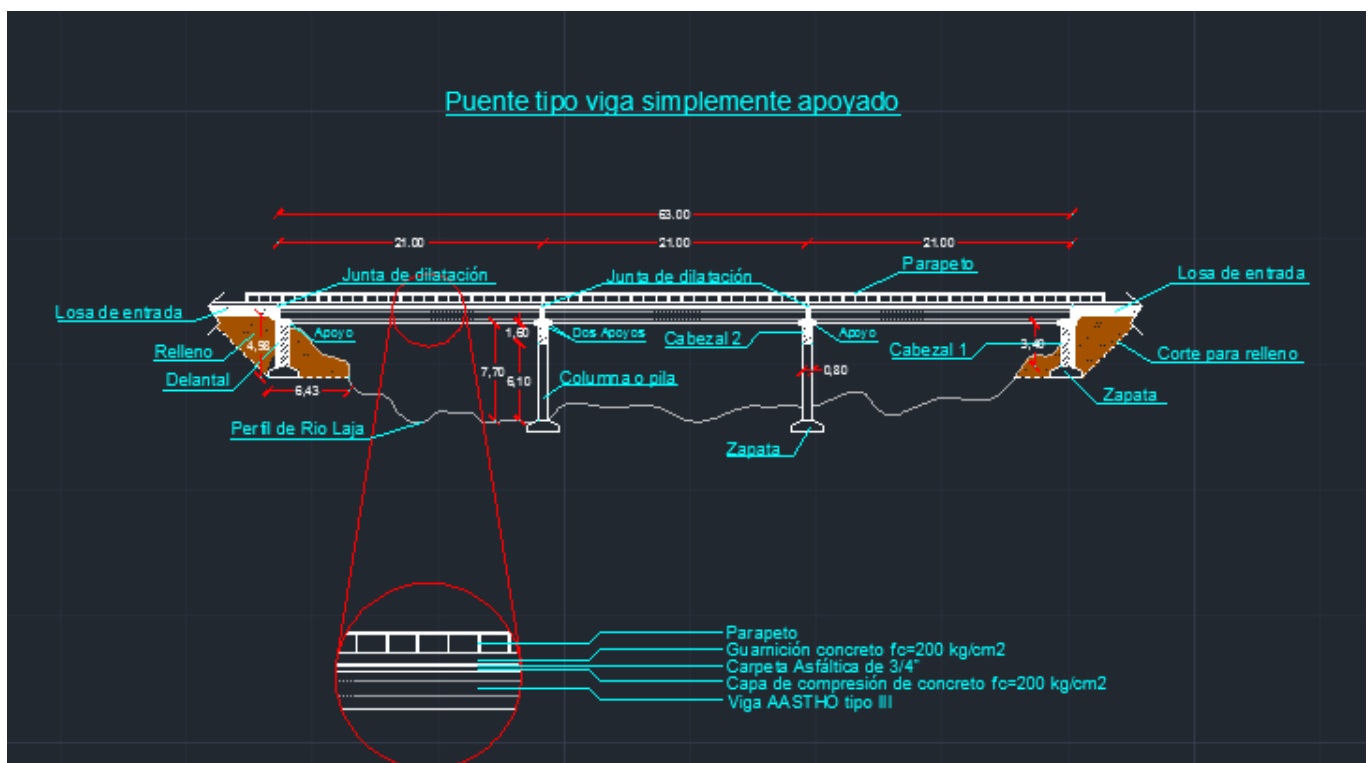
### Diseño de Cimentación Superficial.

#### 4. Diseño de Cimentación Superficial para Puente tipo Viga Simplemente Apoyado.

Los puentes siempre han sido de gran importancia en el transcurso de los años ya que nos han permitido podernos trasladar más fácilmente por zonas que antes sería más complicado. Los puentes carreteros se ha constituido de varios materiales al paso de los años, que va desde puentes de madera, mampostería, concreto, acero hasta llegar a los puentes que conocemos hoy en día.

#### 4.1 Proyecto geométrico de puente carretero.

En este proyecto trabajaremos con Puentes tipo viga simplemente apoyados de concreto pretensado. Para lo cual se ha propuesto un modelo de puente para poder realizar el diseño estructural de la cimentación superficial. A continuación se muestra los planos arquitectónicos del puente carretero propuesto para este proyecto.



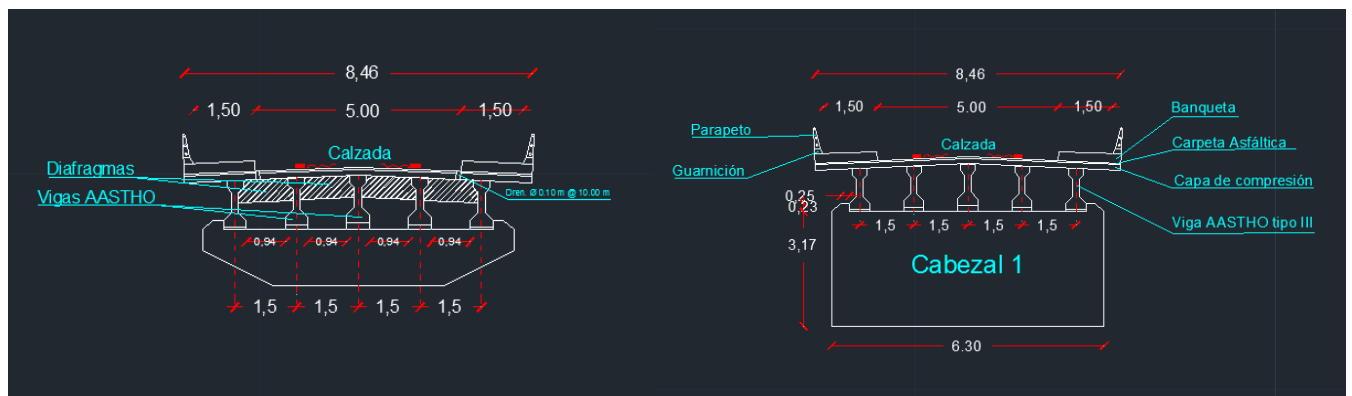
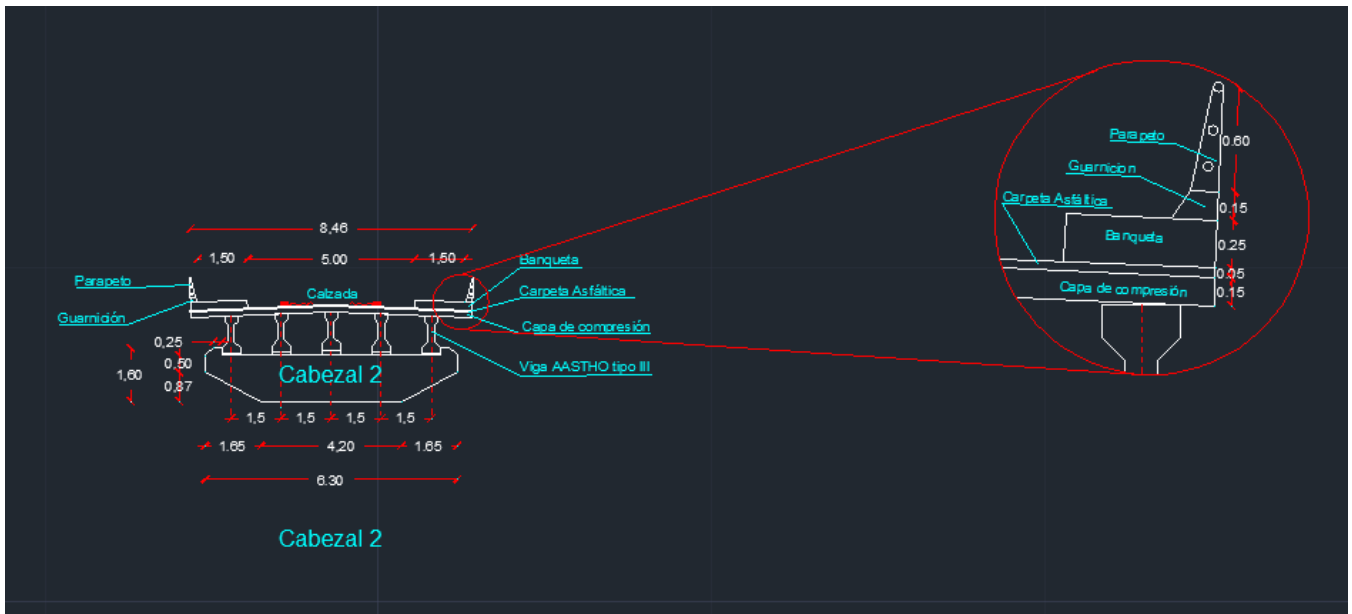


Fig. 4.1. Planos arquitectónicos del Puente carretero Propuesto para el proyecto de investigación de Santa Fe de la Purísima.

#### 4.2 Análisis de Cargas.

El análisis de cargas nos permite diseñar una cimentación capaz de soportar los pesos máximos a los que será sometida en la estructura con el fin de evitar alguna falla, asentamiento o el peor de los casos colapsos.

Para ello es necesario conocer el tipo de cargas a analizar y para ello en la Norma **N-PRY-CAR-6-01-003/01** de la SCT nos definen los tipos de carga.

- Cargas permanentes: *Las cargas permanentes son las que tienen una variación despreciable durante la vida de la estructura y son:*

*Carga muerta:*  
*Empujes de tierras*  
*Empujes hidrostáticos*

- *Carga variables: Las cargas variables son las que tiene una variación importante durante la vida de la estructura, con una alta frecuencia de ocurrencia y son:*

*Carga viva*  
*Impacto*  
*Fuerza centrífuga*

- *Cargas eventuales: Las cargas eventuales son las producidas por acciones que ocurren ocasionalmente durante la vida de la estructura, como:*

*Viento*  
*Sismo*

- Factores de cargas.

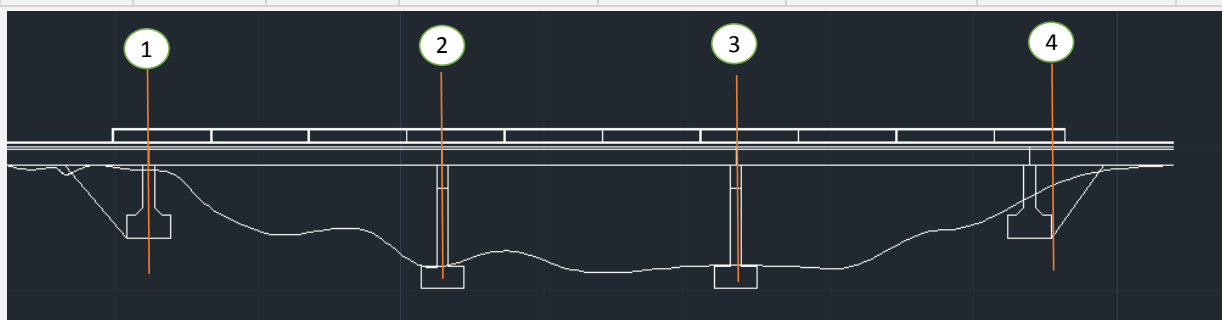
*Carga gravitacionales (Grupo X): 1.3 ((CM+SCM)+1.67(CVC+1))*

*Cargas accidentales (Grupo VII): 1.3 (0.75CM+S)*

- Combinación de carga.

**Análisis de cargas del puente carretero.**

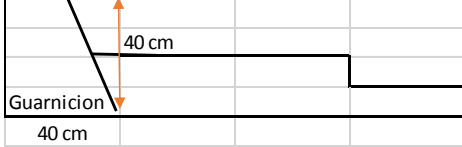

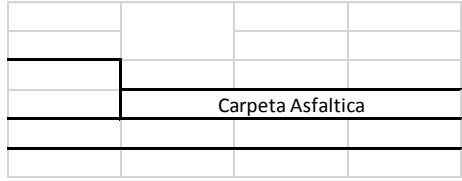
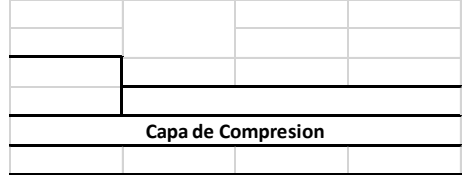
**Tabla 4.1 Análisis de cargas**



Notas: Llevará 5 traveses ASSTHO tipo III con una separación de 1.50 m entre cada trabe

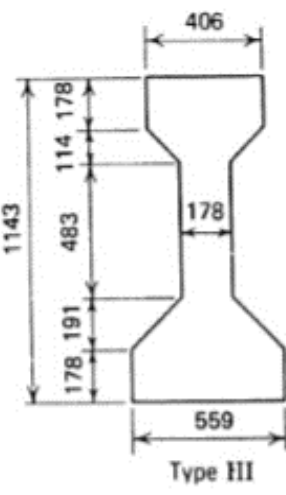
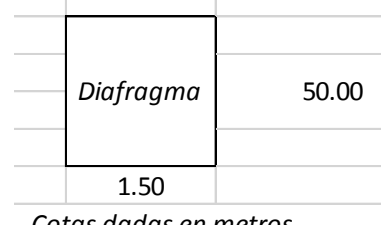
**Parapeto, Guarnición, Banqueta, Carpeta y Capa de compresión**

| Banqueta |       | Elemento | Área transversal (m <sup>2</sup> ) | Long. (m) | Peso volumétrico o γ (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga W (kg/ml) |
|----------|-------|----------|------------------------------------|-----------|---|-----------------|
| Alto     | Ancho |          |                                    |           |   |                 |
| 25 cm    | 80 cm |          |                                    |           |   |                 |

|  |   |                             |                  |                                   |                        |
|--|---|-----------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------------|
|  | Banqueta  | 0.38                        | 1.00             | 2,400.00                          | 900.00                 |
|  | <b>Peso por metro lineal de banquetta (ton/m):</b>  |                             |                  |                                   | <b>0.90</b>            |
|    | <b>Elemento</b>                                     | <b>Área trasversal (m²)</b> | <b>Long. (m)</b> | <b>Peso volumétrico γ (kg/m³)</b> | <b>Carga W (kg/ml)</b> |
|  | Guarnición  | 0.16                        | 1.00             | 2,400.00                          | 384.00                 |
|  | <b>Peso por metro lineal de guarnición (ton/m):</b> |                             |                  |                                   | <b>0.38</b>            |
|   | <b>Elemento</b>                                     | <b>Área trasversal (m²)</b> | <b>Long. (m)</b> | <b>Peso volumétrico γ (kg/m³)</b> | <b>Carga W (kg/ml)</b> |
|  | Parapeto de tubo de acero de 2"                     |                             | 1.50             | 5.44                              | 8.16                   |
|  | <b>Peso por metro lineal de parapeto (ton/m):</b>   |                             |                  |                                   | <b>0.01</b>            |
|  | <b>Elemento</b>                                     | <b>Área trasversal (m²)</b> | <b>Long. (m)</b> | <b>Peso volumétrico γ (kg/m³)</b> | <b>Carga W (kg/ml)</b> |
|  | Carpeta en caliente de 3/4"                         | 0.25                        | 1.00             | 2,200.00                          | 550.00                 |
|  | <b>Peso por metro lineal de carpeta (ton/m):</b>    |                             |                  |                                   | <b>0.55</b>            |
|  | <b>Elemento</b>                                     | <b>Área trasversal (m²)</b> | <b>Long. (m)</b> | <b>Peso volumétrico γ (kg/m³)</b> | <b>Carga W (kg/ml)</b> |
|  | Capa de Compresion                                  |                             |                  |                                   |                        |

|   |   |      |      |          |             |
|---|---|------|------|----------|-------------|
|   | Capa de compresión de concreto hidráulico | 1.27 | 1.00 | 2,400.00 | 3,045.60    |
| <b>Peso por metro lineal de concreto (ton/m):</b> |   |      |      |          | <b>3.05</b> |

| Elemento              | Área transversal (m <sup>2</sup> ) | Peso volumétrico Y (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga W (kg/ml) | Long. (m) | No. De vigas |
|-----------------------|------------------------------------|---|-----------------|-----------|--------------|
| Trabe AASTHO tipo III | 0.36                               | 2,400.00                                | 870.00          | 21.00     | 5.00         |

|   |   |   |                 |           |              |
|---|---|---|-----------------|-----------|--------------|
| <b>Peso muerto de la viga por claro Wm (Ton):</b>   |   |   |                 |           | <b>91.35</b> |
| <b>Diafragma de concreto hidráulico reforzado</b>   |   |   |                 |           |              |
|   | Área transversal (m <sup>2</sup> )                | Peso volumétrico Y (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga W (kg/ml) | Long. (m) | No. De vigas |
|   | 0.75  | 2,400.00                                | 180,000.        | 0.25      | 4.00         |
|   | <b>Peso muerto de la viga por claro Wm (Ton):</b> |   |                 |           |              |
|  <p style="text-align: center;">Cotas dadas en metros</p> |   |   |                 |           |              |

Nota: Cotas dadas en mm para la viga y para el diafragma dadas en m

**Carga muerta en cada uno de los apoyos**

|                           |               |     |                           |               |     |
|---------------------------|---------------|-----|---------------------------|---------------|-----|
| Descarga en la pila 1 Wm: | <b>141.97</b> | Ton | Descarga en la pila 2 Wm: | <b>373.94</b> | Ton |
| Descarga en la pila 3 Wm: | <b>373.94</b> | Ton | Descarga en la pila 4 Wm: | <b>141.97</b> | Ton |



**Peso de la superestructura**

|  | Área transversal (m <sup>2</sup> )         | Peso volumétrico Y (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga W (kg/ml) | Ancho (m)    |
|--|--|---|-----------------|--------------|
|  | 9.18                                       | 2,400.00                                | 22,032.00       | 0.80         |
|  | <b>Peso del cabezal 2 para pila (Ton):</b> |   |                 | <b>17.63</b> |

|  | Área transversal (m <sup>2</sup> )         | Peso volumétrico Y (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga W (kg/ml) | Ancho (m)    |
|--|--|---|-----------------|--------------|
|  | 24.25                                      | 2,400.00                                | 58,200.00       | 0.80         |
|  | <b>Peso del cabezal 1 para pila (Ton):</b> |   |                 | <b>46.56</b> |

|  | Área transversal (m <sup>2</sup> ) | Peso volumétrico Y (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga W (kg/ml) | Ancho (m)    |
|--|------------------------------------|---|-----------------|--------------|
|  | 15.25                              | 2,400.00                                | 36,600.00       | 0.80         |
|  | <b>Peso de pila (Ton):</b>         |   |                 | <b>29.28</b> |

**Peso sobre la zapata**

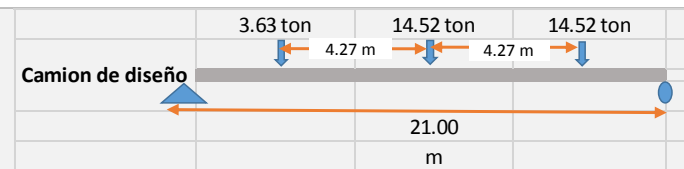
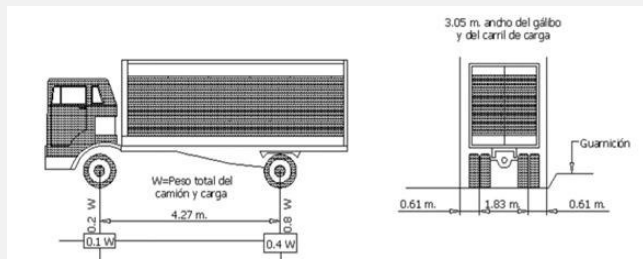
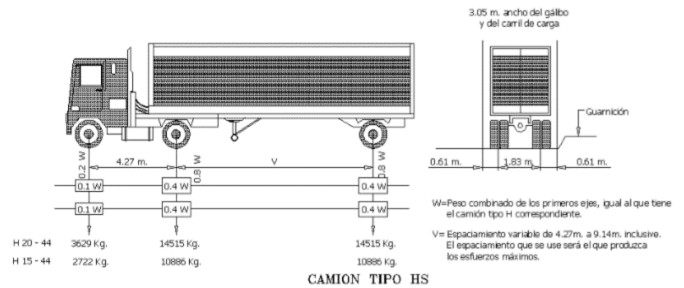
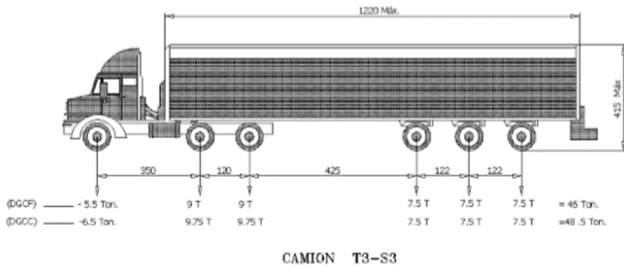
| <b>Tepetate compactado</b>                |              | Área transversal (m <sup>2</sup> )        | Peso volumétrico Y (kg/m <sup>3</sup> ) | Carga W (kg/ml) | Ancho (m) |
|---|--------------|---|---|-----------------|-----------|
| Peso volumétrico Y (Ton/m <sup>2</sup> ): | <b>1.950</b> | 1.11                                      | 1,950.00                                | 2,154.75        | 7.00      |
| Área de relleno (m <sup>3</sup> )::       | <b>4.080</b> | <b>Peso de material de relleno (Ton):</b> |   | <b>15.08</b>    |           |

**Resultado de carga muerta**

| Carga muerta para pila 1 y 4       |               |            | Carga muerta para pila 2 y 3       |               |            |
|------------------------------------|---------------|------------|------------------------------------|---------------|------------|
| Carga muerta para superestructura: | <b>141.97</b> | <i>Ton</i> | Carga muerta para superestructura: | <b>373.94</b> | <i>Ton</i> |

|                                  |               |            |                                  |               |            |
|----------------------------------|---------------|------------|----------------------------------|---------------|------------|
| Carga muerta para subestructura: | <b>46.56</b>  | <b>Ton</b> | Carga muerta para subestructura: | <b>46.91</b>  | <b>Ton</b> |
| Carga muerta de relleno:         | <b>15.08</b>  | <b>Ton</b> | Carga muerta de relleno:         | <b>15.08</b>  | <b>Ton</b> |
| <b>Carga muerta:</b>             | <b>203.61</b> | <b>Ton</b> | <b>Carga muerta:</b>             | <b>435.97</b> | <b>Ton</b> |

### Descargan en apoyos cargas vivas



#### Carga por carril (qc = 0.95)

|      |                 |       |       |
|------|-----------------|-------|-------|
| Mb = | $(qc)(L)^2/8 =$ | 52.37 | Ton-m |
|      | M2 = M3 =       | 52.37 | Ton-m |
|      | M1 = M4 =       | 26.18 | Ton-m |

#### Reacciones por carga (Ton)

|           |       |       |
|-----------|-------|-------|
| M2 = M3 = | 47.56 | Ton-m |
| M1 = M4 = | 23.78 | Ton-m |

#### Momentos por carga (Ton-m)

|      |                                   |        |       |
|------|-----------------------------------|--------|-------|
| Ma = | $(32.75/L)((L/2)+0.71)^2-61.94 =$ | 134.04 | Ton-m |
|      | M2 = M3 =                         | 134.04 | Ton-m |
|      | M1 = M4 =                         | 67.02  | Ton-m |

#### Momentos por fatiga (Ton-m)

|           |        |
|-----------|--------|
| M2 = M3 = | 117.71 |
| M1 = M4 = | 58.86  |

Descarga de momento ultimo actuante en cada uno de los apoyos

**Nota:** Para claros de 21 m AASHTO nos menciona los siguientes datos:

#### Impacto (Ton-m)

|      |                   |        |       |
|------|-------------------|--------|-------|
| Mc = | $Ma(1+0.33)+Mb =$ | 230.64 | Ton-m |
|      | M2 = M3 =         | 230.64 | Ton-m |
|      | M1 = M4 =         | 115.32 | Ton-m |

|                     |        |       |
|---------------------|--------|-------|
| Momento por carga:  | 229.87 | Ton-m |
| Reacciones          | 47.56  | Ton-m |
| Momento por fatiga: | 58.86  | Ton-m |

| <b>Resultados de cargas vivas</b>       |               |            |                           |               |            |
|---|---------------|------------|---------------------------|---------------|------------|
| Carga viva para pila 1 y 4              |               |            | Carga viva para pila 2 y3 |               |            |
| Carga móvil:                            | 23.78         | Ton        | Carga móvil:              | 47.56         | Ton        |
| Carga viva:                             | <b>23.78</b>  | Ton        | Carga viva:               | <b>47.56</b>  | Ton        |
| <b>Resultados de análisis de cargas</b> |               |            |                           |               |            |
| Carga viva para pila 1 y 4              |               |            | Carga viva para pila 2 y3 |               |            |
| Carga muerta:                           | 203.61        | Ton        | Carga muerta:             | 435.92        | Ton        |
| Carga viva:                             | 23.78         | Ton        | Carga viva:               | 47.56         | Ton        |
| <b>Carga total:</b>                     | <b>227.39</b> | <b>Ton</b> | <b>Carga total:</b>       | <b>483.48</b> | <b>Ton</b> |

### 4.3 Capacidad de Carga.

La capacidad de carga del suelo o capacidad resistente del suelo es el esfuerzo mayor que soporta un suelo a ser sometido a una carga vertical antes de fallar.

*“Se le llama capacidad de carga a la máxima intensidad de presión que una estructura transmite al suelo, que lo soporta, sin llegar a causar asentamientos que pongan en peligro la estabilidad de la construcción o se presente falla del suelo por cortante.*

*El análisis de la capacidad de carga es importante en la evaluación de la estabilidad y economía de las cimentaciones superficiales y depende de las características geométricas de la cimentación de las propiedades mecánicas e índices del terreno, así como de la localización del nivel freático.”* (Magdaleno, 2015).

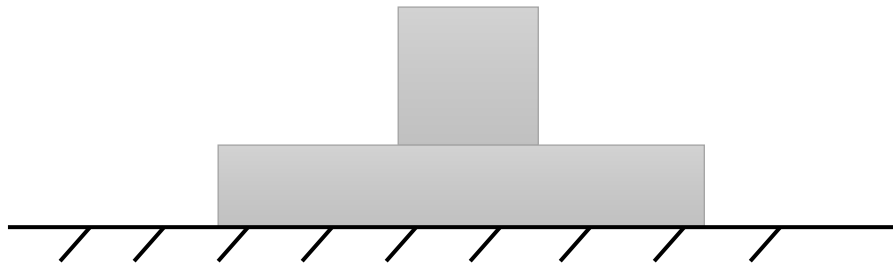
Se realizó los cálculos necesarios para obtener la capacidad de carga para cada sondeo y en base a ello proponer el pre dimensionamiento de la cimentación superficial.

A continuación se muestran los cálculos realizados en este proyecto:

#### **Capacidad de carga por el método de Terzaghi.**

Terzaghi nos habla de que las cimentaciones poco profundas son aquellas en que el ancho B es igual o mayor a la profundidad de desplante del cimient, donde el considera que estos cimientos

no tienen esfuerzo cortante arriba ya que los presenta como una cimentación sin relleno tal cual se muestra en la figura 4.3.1.



#### 4.3.1 Cimentación superficial en una línea infinita según Terzaghi

“Terzaghi (1943) fue el primero en presentar una teoría para evaluar la capacidad de carga de cimentaciones superficiales, la cual dice que una cimentación es superficial si la profundidad  $D_f$  de la cimentación es menor o igual al ancho de la misma.” (Juarez Badillo, 2005)

#### Capacidad de carga resistente en condiciones normales.

| <b>Datos obtenidos de Ensayo Triaxial</b>          |   |              |                    |
|--|---|--------------|--------------------|
| Descripción del suelo:                             | <b>Arcilla de alta plasticidad color Café Claro</b> |              |                    |
| Cohesión del suelo $C$ :                           |   | -            | Ton/m <sup>2</sup> |
| Angulo de fricción interna $\phi$ :                |   | <b>19.00</b> | °                  |
| Peso específico natural $\gamma$ :                 |   | <b>1.42</b>  | Ton/m <sup>3</sup> |
| <b>Datos propuestos para diseño</b>                |   |              |                    |
| Ancho o diametro del cimientto $B$ :               |   | <b>7.00</b>  | m                  |
| Longitu de zapata $L$ :                            |   | <b>3.50</b>  | m                  |
| Profundidad de desplante minima previsible $D_f$ : |   | <b>4.00</b>  | m                  |
| Peralte real propuesto Zapata $h o d$ :            |   | <b>0.50</b>  | m                  |

Fig. 4.2 Datos obtenidos del ensayo triaxial.

| <b>Ajuste de Angulo de Friccion Interna</b> |                  |   |              |                              |
|---|------------------|---|--------------|------------------------------|
| $L/B = 1 < 2$                               | Usar $\Phi_{tr}$ | <b>19.00</b>                              | $< 35^\circ$ | Usar $\Phi_{ps} = \Phi_{tr}$ |
|   |                  | <b>Usar <math>\Phi_{ps} = \Phi</math></b> |              |                              |
|   |                  | <b>Usar <math>\Phi</math></b>             |              |                              |

Fig. 4.3 Ajuste de ángulo de fricción interna

Se procedió a sacar los factores de capacidad de carga

| <b>Valores de Capacidad de Carga</b>  |  |         |               |
|---|--|---------|---------------|
| <i>Nota: El angulo de frccion interna debe convertise en radianes</i>                                     |  |         |               |
| <b>Factores de capacidad de carga (adminisble) = <math>N_c</math>, <math>N_q</math>, <math>N_y</math></b> | $N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi-\phi}{4}\right)\text{tang}\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} =$ |         | <b>6.701</b>  |
|   | $N_c = \cot\phi(N_q - 1) =$  |         | <b>16.558</b> |
|   | $K_{py} = 3tg^2 \left[ 45 + \frac{\phi + 33}{2} \right]$   |         | 25.303        |
|   | $N_y = \frac{1}{2} \left[ \frac{K_{py}}{\cos^2\phi} - 1 \right] tg\phi =$                                      |         | <b>4.701</b>  |
| <b>Factores de capacidad de carga por medio de tabla:</b>   |  | $N_q :$ | <b>17.500</b> |
|   |  | $N_c :$ | <b>7.000</b>  |
|   |  | $N_y :$ | <b>3.400</b>  |

Fig. 4.4 Factores de capacidad de carga.

Con base a los datos de las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y la ecuación Terzaghi se realizó los cálculos necesarios par de esa manera adquirir la capacidad de carga admisible requerida para el sondeo 1 como se muestra a continuación en las figuras 4.5.

|  |                  |
|--|------------------|
| Factor de resistencia <b>FR:</b>                           | <b>0.35</b>      |
| $p=q=\gamma Df$  |                  |
| Presion ejercida en el suelo $p=q:$                        | <b>5.68 Ton</b>  |
| $q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma_1 Df N_q + 0.4\gamma_2 B N_y:$ |                  |
| Capacidad de carga ultima $q_{ult}:$                       | <b>56.73 Ton</b> |
| $q_{adm} = q_{ult} * F.R$                                  |                  |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}:$                    | <b>19.86 Ton</b> |

Fig. 4.5 Capacidad de carga admisible por método de Terzaghi.

### Capacidad de carga por el método de Mayerhof.

|                                  |  |        |
|----------------------------------|--|--------|
| Factores de profundidad:         | $dc = Fcd = 1 + 0.2\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$                       | 1.160  |
|                                  | $dq = 1 + 0.1\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$                             | 1.080  |
|                                  | $dy = dq =$  | 1.080  |
| Factores de inclinación de carga | Angulo de inclin. $\Theta$ :                                       | 0.000  |
|                                  | $Fci = Fqi = (1 - \theta/90)^2 =$                                  | 1.000  |
|                                  | $Fyi = (1 - \theta/\Phi)^2 =$                                      | 1.000  |
| Factores de capacidad de carga:  | $Nq = tg^2 \left[ 45 + \frac{\phi}{2} \right] e^{\pi \tan \phi} =$ | 5.798  |
|                                  | $Nc = (Nq - 1) \cot \phi =$  | 13.934 |
|                                  | $Ny = (Nq - 1) 1.4 \tan \phi =$                                    | 2.403  |
|                                  | $Kp = Tg^2(45 + \phi/2) =$   | 1.965  |
| Factores de forma:               | $Sc = Fcs = 1 + 0.2Kp \frac{B}{L} =$                               | 1.786  |
|                                  | $Sq = Fys = 1 + 0.1Kp \frac{B}{L} =$                               | 1.393  |
|                                  | $Sq = Sy =$  | 1.393  |

Fig. 4.6 Factores de carga para el método de Mayerhof.

Con los datos de las figuras 4.6 y la ecuación de Mayerhof se realizó los cálculos necesarios para adquirir la capacidad de carga admisible requerida para el sondeo 1 como se muestra a continuación en las figuras 4.7.

$$q_u = CNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + 1/2YBNyFysFydFyi$$

$$q_{adm} = q_{ult} * F.R$$

|  |           |
|--|-----------|
| Capacidad de Carga ultima $q_u$ :        | 67.49 Ton |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ : | 23.62 Ton |

Resumen de resultados de la capacidad de carga admisible por el método de Terzaghi y Mayerhof.

| Metodo   | $N_q$ | $N_c$  | $N_y$ | $Df/B$ | $F.R$ | $q_{ult}$ | $q_{adm}$ |
|----------|-------|--------|-------|--------|-------|-----------|-----------|
| Terzaghi | 6.701 | 16.558 | 4.701 | 1.14   | 0.35  | 56.73     | 19.86     |
| Mayerhof | 5.798 | 13.934 | 2.403 | 1.14   | 0.35  | 67.49     | 23.62     |

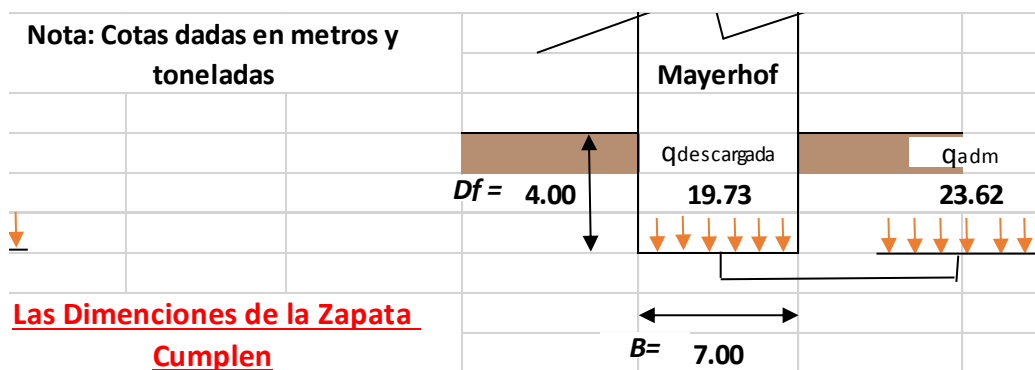
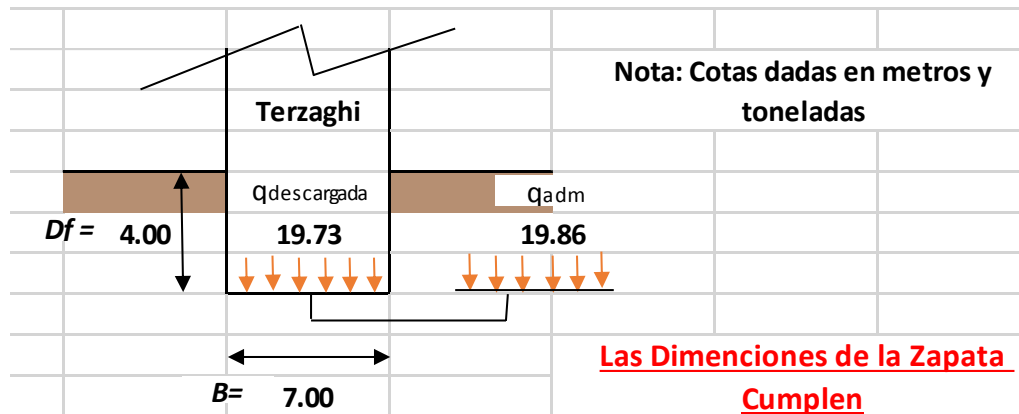


Fig. 4.7 Resultados de capacidad de carga admisible por el método de Terzaghi y Mayerhof.

| Capacidad de carga ultima  |                  |                         |              |  |  |        |  |
|--|------------------|-------------------------|--------------|--|--|--------|--|
| Capacidad de Carga Terzaghi  |                  |                         |              |  |  |        |  |
| <b>Datos obtenidos de Ensayo Triaxial</b>                                  |                  |                         |              | <b>Valores de Capacidad de Carga</b>   |  |        |  |
| Descripción del suelo: <b>Arcilla de alta plasticidad color Café Claro</b> |                  |                         |              | Nota: El ángulo de fricción interna debe convertirse en radianes   |  |        |  |
| Cohesión del suelo $C$ :   |                  | -                       |              | Ton/m <sup>2</sup>   |  |        |  |
| Ángulo de fricción interna $\phi$ :  |                  | 19.00                   |              | °  |  |        |  |
| Peso específico natural $\gamma$ :   |                  | 1.42                    |              | Ton/m <sup>3</sup>   |  |        |  |
| <b>Datos propuestos para diseño</b>  |                  |                         |              |  |  |        |  |
| Ancho o diámetro del cimiento $B$ :  |                  | 7.00                    |              | m  |  |        |  |
| Longitud de zapata $L$ :   |                  | 3.50                    |              | m  |  |        |  |
| Profundidad de desplante mínima previsible $Df$ :                          |                  | 4.00                    |              | m  |  |        |  |
| Peralte real propuesto Zapata $h o d$ :                                    |                  | 0.50                    |              | m  |  |        |  |
| <b>Ajuste de Ángulo de Fricción Interna</b>                                |                  |                         |              |  |  |        |  |
| $L/B < 1 < 2$  | Usar $\Phi_{tr}$ | 19.00                   | $< 35^\circ$ | Usar $\Phi_{ps} = \Phi_{tr}$   |  |        |  |
|  |                  | Usar $\Phi_{ps} = \Phi$ |              |  |  |        |  |
|  |                  | Usar $\Phi$             |              |  |  |        |  |
|  |                  |                         |              | Factores de capacidad de carga (admisibles) = $N_c, N_q, N_y$  |  |        |  |
|  |                  |                         |              | $N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \tan \phi}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} = 6.701$ |  |        |  |
|  |                  |                         |              | $N_c = \cot \phi (N_q - 1) = 16.558$   |  |        |  |
|  |                  |                         |              | $K_{py} = 3tg^2 \left[ 45 + \frac{\phi + 33}{2} \right] = 25.303$  |  |        |  |
|  |                  |                         |              | $N_y = \frac{1}{2} \left[ \frac{K_{py}}{\cos^2 \phi} - 1 \right] tg \phi = 4.701$  |  |        |  |
|  |                  |                         |              | Factores de capacidad de carga por medio de tabla:   |  |        |  |
|  |                  |                         |              | $N_q$ :  |  | 17.500 |  |
|  |                  |                         |              | $N_c$ :  |  | 7.000  |  |
|  |                  |                         |              | $N_y$ :  |  | 3.400  |  |

| Ecuacion de Terzaghi (Cimentacion Rectangular)                |  |   |                                  |  |             |  |           |       |  |
|---|--|---|----------------------------------|--|-------------|--|-----------|-------|--|
| Capacidad de Carga  |  |   |                                  |  |             |  |           |       |  |
| Factor de resistencia FR:                                     |  | 0.35                                    |                                  |  |             | $q_{neta(u)} = q_u - q$                                  |           |       |  |
| $p = q = YDf$   |  |   |                                  |  |             | Capacidad de carga ultima neta $q_{neta}$ :              | 51.05 Ton |       |  |
| Presion ejercida en el suelo $p = q$ :                        |  | 5.68 Ton                                |                                  |  |             |  |           |       |  |
| $q_{ult} = 1.3cNc + \gamma_1 Df Nq + 0.4\gamma_2 B N\gamma$ : |  |   |                                  |  |             |  |           |       |  |
| Capacidad de carga ultima $q_{ult}$ :                         |  | 56.73 Ton                               |                                  |  |             | $q_{adm(neta)} = q_u - q * F.R$                          |           |       |  |
| $q_{adm} = q_{ult} * F.R$                                     |  |   |                                  |  |             | Capacidad de carga admisible neta                        | 17.87 Ton |       |  |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ :                      |  | 19.86 Ton                               |                                  |  |             | $q_{adm(neta)}$ :  |           |       |  |
| Capacidad de Carga Mayerhof                                   |  |   |                                  |  |             |  |           |       |  |
| Factores de capacidad de carga:                               | $Nq = tg^2 \left[ 45 + \frac{\phi}{2} \right] e^{\pi tg \phi} =$ | 5.798                                   | Factores de profundidad:         | $dc = Fcd = 1 + 0.2\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$ | 1.160       |  |           |       |  |
|   | $Nc = (Nq - 1) cot \phi =$                                       | 13.934                                  |                                  | $dq = 1 + 0.1\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$       | 1.080       |  |           |       |  |
|   | $Ny = (Nq - 1) 1.4 tg \phi =$                                    | 2.403                                   |                                  | $dy = dq =$                                  | 1.080       |  |           |       |  |
| Factores de forma:  | $Kp = Tg^2 (45 + \phi/2) =$                                      | 1.965                                   | Factores de inclinacion de carga | Angulo de inclin. $\Theta$ :                 | 0.000       |  |           |       |  |
|   | $Sc = Fcs = 1 + 0.2Kp \frac{B}{L} =$                             | 1.786                                   |                                  | $Fci = Fqi = (1 - \theta/90)^2 =$            | 1.000       |  |           |       |  |
|   | $Sq = Fys = 1 + 0.1Kp \frac{B}{L} =$                             | 1.393                                   |                                  | $Fyi = (1 - \theta/\phi)^2 =$                | 1.000       |  |           |       |  |
|   | $Sq = Sy =$  | 1.393                                   |                                  |  |             |  |           |       |  |
| Capacidad de Carga por la Ecuacion General                    |  |   |                                  |  |             |  |           |       |  |
| Capacidad de Carga ultima $q_u$ :                             |  |   |                                  |  |             | $q_u = CNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + 1/2YBNyFysFydFyi =$ | 67.49 Ton |       |  |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ :                      |  |   |                                  |  |             | $q_{adm} = q_{ult} * F.R$                                | 23.62 Ton |       |  |
| Tabla de Comparacion de Resultados                            |  |   |                                  |  |             |  |           |       |  |
|   | Metodo   | Nq                                      | Nc                               | Ny   | Df/B        | F.R  | qult      | qadm  |  |
|   | Terzaghi   | 6.701                                   | 16.558                           | 4.701  | 1.14        | 0.35   | 56.73     | 19.86 |  |
|   | Mayerhof   | 5.798                                   | 13.934                           | 2.403  | 1.14        | 0.35   | 67.49     | 23.62 |  |
|   |  | Nota: Cotas dadas en metros y toneladas |                                  |  |             |  |           |       |  |
| Terzaghi  |  | Mayerhof                                |                                  |  |             |  |           |       |  |
| $Df = 4.00$   | $Q_{descargada}$   | $Q_{adm}$                               | $Q_{descargada}$                 | $Q_{adm}$                                    | $Df = 4.00$ | $Q_{descargada}$   | $Q_{adm}$ |       |  |
|   | 19.73  | 19.86                                   | 19.73                            | 23.62  |             | 19.73  | 23.62     |       |  |
| $B = 7.00$  |  | $B = 7.00$                              |                                  | Las Dimensiones de la Zapata Cumplen         |             |  |           |       |  |



## Capacidad de carga ultima

### Capacidad de Carga Terzaghi

| Datos obtenidos de Ensayo Triaxial                     |                  |      |        | Valores de Capacidad de Carga                                    |   |  |        |  |
|--|------------------|------|--------|--|---|--|--------|--|
| Descripción del suelo: <b>Arcilla color Café Claro</b> |                  |      |        | Nota: El ángulo de fricción interna debe convertirse en radianes |   |  |        |  |
| Cohesión del suelo C:                                  |                  | 7.40 | Ton/m2 | Factores de capacidad de carga (admisibles) = $N_c, N_q, N_y$    | $N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} =$ | 2.276  |        |  |
| Ángulo de fricción interna $\phi$ :                    |                  | 8.30 | °      |  |   | $N_c = \cot\phi(N_q - 1) =$                      | 8.744  |  |
| Peso específico natural $\gamma$ :                     |                  | 1.37 | Ton/m3 |  |   | $K_{py} = 3tg^2\left[45 + \frac{\phi}{2}\right]$ | 14.647 |  |
| Datos propuestos para diseño                           |                  |      |        |  |   |  |        |  |
| Base o diámetro del cimientó B:                        |                  | 7.00 | m      | Factores de capacidad de carga por medio de tabla:               | $N_y = \frac{1}{2}\left[\frac{K_{py}}{\cos^2\phi} - 1\right]tg\phi =$   | 1.018  |        |  |
| Ancho de zapata A:                                     |                  | 3.50 | m      |  |   | $N_q :$  | 3.000  |  |
| Profundidad de desplante mínima previsible Df:         |                  | 4.00 | m      |  |   | $N_c :$  | 8.500  |  |
| Peralte real propuesto Zapata h o d:                   |                  | 0.40 | m      |  |   | $N_y :$  | 1.000  |  |
| Ajuste de Ángulo de Fricción Interna                   |                  |      |        |  |   |  |        |  |
| L/B = 1 < 2  | Usar $\Phi_{tr}$ | 8.30 | < 35°  | Usar $\Phi_{ps} = \Phi_{tr}$                                     |   |  |        |  |
|  |                  |      |        |  |   |  |        |  |
| Usar $\Phi_{ps} = \Phi$                                |                  |      |        |  |   |  |        |  |
| Usar $\Phi$  |                  |      |        |  |   |  |        |  |

### Ecuación de Terzaghi (Cimentación Rectangular)

| Capacidad de Carga                                     |  |        |     |
|--|--|--------|-----|
| Factor de resistencia FR:                              |  | 0.35   |     |
| $p = q = \gamma Df$                                    |  | 5.47   | Ton |
| Presión ejercida en el suelo $p = q$ :                 |  | 5.47   | Ton |
| $q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DfN_q + 0.4\gamma B N_y$ : |  |        |     |
| Capacidad de carga última $q_{ult}$ :                  |  | 100.47 | Ton |
| $q_{adm} = q_{ult} * FR$                               |  |        |     |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ :               |  | 35.16  | Ton |

| Capacidad de Carga Mayerhof     |  |       |                                   |
|---------------------------------|--|-------|-----------------------------------|
| Factores de capacidad de carga: | $N_q = tg^2\left[45 + \frac{\phi}{2}\right]e^{\pi tg\phi} =$ | 2.115 | Factores de profundidad:          |
|                                 | $N_c = (N_q - 1)\cot\phi =$                                  | 7.643 |                                   |
|                                 | $N_y = (N_q - 1)1.4\tan\phi =$                               | 0.229 |                                   |
|                                 | $K_p = Tg^2(45 + \phi/2) =$                                  | 1.337 |                                   |
| Factores de forma:              | $S_c = F_{cs} = 1 + 0.2K_p\frac{B}{L} =$                     | 1.535 | Factores de inclinación de carga: |
|                                 | $S_q = F_{ys} = 1 + 0.1K_p\frac{B}{L} =$                     | 1.267 |                                   |
|                                 | $S_y = S_y =$  | 1.267 |                                   |
|                                 | $dc = F_{cd} = 1 + 0.2\sqrt{K_p}\frac{Df}{B} =$              | 1.132 |                                   |
|                                 | $dq = 1 + 0.1\sqrt{K_p}\frac{Df}{B} =$                       | 1.066 |                                   |
|                                 | $dy = dq =$  | 1.066 |                                   |
|                                 | Ángulo de inclin. $\Theta$ :                                 | 0.000 |                                   |
|                                 | $F_{ci} = F_{qi} = (1 - \theta/90)^2 =$                      | 1.000 |                                   |
|                                 | $F_{yi} = (1 - \theta/\phi)^2 =$                             | 1.000 |                                   |

### Capacidad de Carga por la Ecuación General

|  |  |        |     |
|--|--|--------|-----|
| Capacidad de Carga última $q_u$ :        | $q_u = CNcF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qNqF_{qs}F_{qd}F_{qi} + 1/2\gamma B N_y F_{ys}F_{yd}F_{yi} =$ | 115.41 | Ton |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ : | $q_{adm} = q_{ult} * FR$   | 40.39  | Ton |

### Tabla de Comparación de Resultados

| Metodo   | $N_q$ | $N_c$ | $N_y$ | $Df/B$ | FR   | $q_{ult}$ | $q_{adm}$ |
|----------|-------|-------|-------|--------|------|-----------|-----------|
| Terzaghi | 2.276 | 8.744 | 1.018 | 1.14   | 0.35 | 100.47    | 35.16     |
| Mayerhof | 2.115 | 7.643 | 0.229 | 1.14   | 0.35 | 115.41    | 40.39     |



#### 4.4 Diseño Estructural.

Se muestra el diseño estructural de la cimentación superficial para el puente del Rio Laja en la comunidad de Santa Fe de la Purísima Concepción.

##### Secciones utilizadas para proyecto

|           |                       |
|-----------|-----------------------|
| Losa      | 15 cm de espesor      |
| Trabe     | Viga AASTHO tipo III  |
| Diafragma | 50 cm x120 cm         |
| Cabezal   | Varias                |
| Pila      | 610 cm x 250 cm       |
| Zapata    | Varias                |
| Neopreno  | 50 cm x 50 cm x 15 cm |

##### Materiales utilizados

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| Concreto tipo V       | $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$        |
| P. Volumétrico        | $Y = 2400 \text{ kg/cm}^3$         |
| Módulo de Elasticidad | $E = 221,359.44 \text{ kg/cm}^2$   |
| Concreto tipo V       | $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$        |
| P. Volumétrico        | $Y = 2400 \text{ kg/cm}^3$         |
| Módulo de Elasticidad | $E = 313,049.50 \text{ kg/cm}^2$   |
| Acero de refuerzo     | $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$        |
| Módulo de Elasticidad | $E = 2,000,000.00 \text{ kg/cm}^2$ |

#### 4.5 Resultados

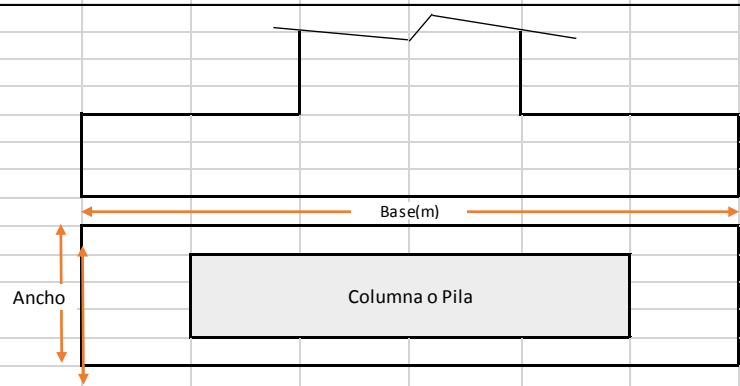
##### 4.5.1 Diseño por flexo compresión

Diseño de cimentación superficial para puente carretero ubicado en el Rio Laja tramo Santa Fe de la Purísima – Cortazar, con una longitud horizontal de 66.50 m de cuerpo de 5 m de ancho, con viga tipo AASTHO III pretensada.

## DISEÑO DE CIMENTACION SUPERFICIAL

### ZAPATA AISLADA RECTANGULAR

| Datos para diseño               |          |                    |
|---------------------------------|----------|--------------------|
| Base de zapata B:               | 7.00     | m                  |
| Ancho de zapata A:              | 4.00     | m                  |
| Recubrimiento r:                | 0.05     | m                  |
| Largo de columna o pila C1:     | 6.10     | m                  |
| Ancho de columna o pila C1:     | 0.80     | m                  |
| Elementos mecanicos             |          |                    |
| Descarga en la col. Pr:         | 483.48   | Ton                |
| Peso propio de la cim. P.P:     | 57.12    | Ton                |
| Carga Adm.e o resistente. Qadm: | 23.62    | Ton/m <sup>2</sup> |
| Propiedades de material         |          |                    |
| Esfuerzo minimo de fluencia fy: | 250.00   | kg/cm <sup>3</sup> |
| Resistencia del concreto f'c:   | 4,200.00 | kg/cm <sup>3</sup> |



### Carga total que baja o descarga, Area necesaria y Carga axial de diseño

|                            |        |        |
|----------------------------|--------|--------|
| Descarga en la columna Pr: | 483.48 | Ton    |
| Peso propio de cim. P.P:   | 57.12  | Ton    |
| W total:                   | 540.60 | Ton    |
| Carga axial de diseño Pu   |        |        |
| Pu = FcP                   | Pu:    | 756.85 |

|  |      |       |                             |
|--|------|-------|-----------------------------|
| Se usara una zapata rectangular de base B y un ancho A |      |       |                             |
| Area necesaria de cim. Anc = Pu/qadm                   | Anc: | 32.04 | m <sup>2</sup>              |
| Area necesaria de cim. Anr = B*A                       | Anr: | 28.00 | m <sup>2</sup>              |
|  | Anr: | 28.00 | ≥ Anc: 32.04 m <sup>2</sup> |
| <b>No Cumple condicion</b>                             |      |       |                             |

La presion de contacto para el dimencionamiento de la zapata se calcula sin considerar el peso propio de la cimentacion

|                            |            |     |       |                    |
|----------------------------|------------|-----|-------|--------------------|
| Presion de contacto Ps:    | Ps=FcP/Anr | Ps: | 24.17 | Ton/m <sup>2</sup> |
| Ps:                        | 24.17      | <   | qadm: | 23.62              |
| <b>No Cumple condicion</b> |            |     |       |                    |

### Determinacion de peralte efectivo de la zapata por resistencia a la FALLA POR PUNZAMIENTO

Se usara una zapata de presion constante

La seccion critica es un perimetro a una distancia de la mitad del peralte efectivo de la zapata medida desde el paño de la columna

|   |                             |               |      |                    |
|---|-----------------------------|---------------|------|--------------------|
| La fuerza cortante que actua de la seccion critica Va:                  | $Vcr = Ps(Anr^2 - (C+d)^2)$ | C:            | 0.60 |                    |
|   | Suponiendo un peralte d     | d:            | 0.85 | Vcr: 626.05        |
|   |                             |               |      | Ton/m <sup>2</sup> |
| El area de la seccion critica vale:                                     | $S = 4d(C+d)$               |               |      | S: 49,300.00       |
| Esfuerzo cortante ultimo:   | $Vu = Vcr/S$                |               |      | Vu: 12.70          |
|   |                             |               |      | Kg/cm <sup>2</sup> |
| Por reglamento, el esfuerzo cortante para la falla de punzamiento vale: |                             | $Vr = FrVF*c$ |      | Vr: 11.31          |
|   |                             |               |      | Kg/cm <sup>2</sup> |

#### 2da interaccion

#### Refuerzo por flexion

|   |      |                                    |                    |  |
|---|------|------------------------------------|--------------------|--|
| Suponiendo  | d:   | 0.85                               | m                  |  |
| Vcr = Ps(Anr <sup>2</sup> - (C+d) <sup>2</sup> )  | Vcr: | 626.05                             | Ton/m <sup>2</sup> |  |
| S = 4d(C+d)   | S:   | 49,300.00                          | cm <sup>2</sup>    |  |
| Vu = Vcr/S  | Vu:  | 12.70                              | Kg/cm <sup>2</sup> |  |
| <b>Peralte Correcto</b>   |      |                                    |                    |  |
|   |      | Momento ultimo $Mu = PsB(B-C)^2/8$ |                    |  |
|   |      | Mu: 351.94                         |                    |  |
|   |      | Ton-m                              |                    |  |
| Para la seccion sobreesforzada se puede calcular el area de acero con la formula apoximada siguiente: |      |                                    |                    |  |
|   |      | Area de acero $As = Mu/FrFyd$      |                    |  |
|   |      | As: 273.84                         |                    |  |
|   |      | Ton-m                              |                    |  |

Usando varilla del # 8.00 5.07 cm<sup>2</sup>

Usando varilla del # 10.00 7.94 cm<sup>2</sup>

|   |           |      |       |    |
|---|-----------|------|-------|----|
| Separacion de acero                           | S =BAB/As | 9.79 | 10.00 | cm |
| <b>Se usaran varillas del # 10.00 @ 16.00</b> |           |      |       |    |

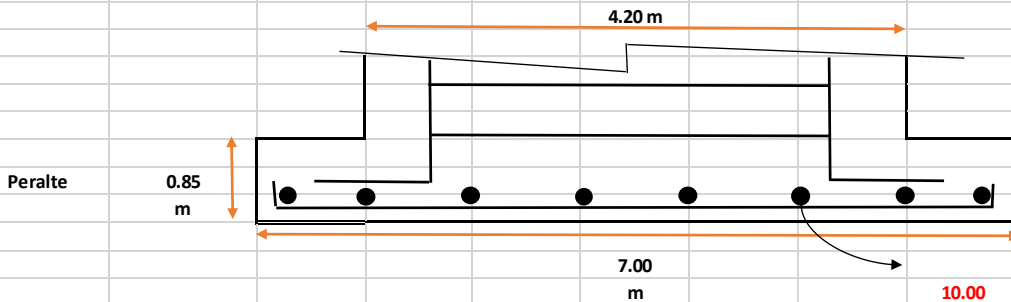
|                            |               |                        |        |        |
|----------------------------|---------------|------------------------|--------|--------|
| Cuatian de acero           | P = Ab/Sd     | P:                     | 0.0058 |        |
| Cuantia minimo por flexion | P = 07Vf'c/fy | P:                     | 0.0026 |        |
|                            |               | Por cambio volumetrico | P:     | 0.0020 |
|                            |               | <                      | Pmin:  | 0.0026 |
|                            |               | <b>Correcto</b>        |        |        |

Nota: Si P es menor que Pmin se podra utilizar el minimo que en este caso es 0.01, si no es asi debera cambiar la seccion de la zapata.

Peralte total de la zapata

$h = d+dr/2+r$

h: 93.18 95.00 cm

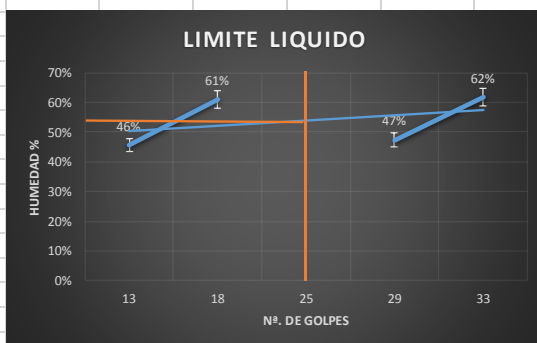


Se usaron varillas de # 10.00 @ 16.00 cm  
En ambos sentidos

# ANEXOS

## Cálculos del sondeo 1

| Registro de calidad de material            |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|--|--|-----------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|--|
| Proyecto;                                  | Tesis de Cimentacion de puentes en el estado de Guanajuato |                       |                          |                            | Muestra;                         | Sondeo 1; Clasificacion  |                     |                       |  |
| Tipo de material (Color);                  | Color café claro   |                       |                          |                            | Olor;                            |                          |                     |                       |  |
| Procedencia de material;                   | Rio Iaja, tramo; Celaya - Cortazar. Gto.                   |                       |                          |                            | Fecha de informe;                | 17 de diciembre del 2018 |                     |                       |  |
| Hum. Nat.                                  | P.W;   | 102.50 grs            |                          | W;                         | 26.00%                           |                          |                     |                       |  |
|  | P.S;   | 86.20 grs             |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| (Wd) Peso Total de la muestra;             |  |                       |                          | 4,190.00 grs               |                                  |                          |                     |                       |  |
| (Wm1) Fraccion retenida en la malla No. 4; |  |                       |                          | -                          |                                  |                          | grs                 |                       |  |
| (Wm2) Fraccion que pasa la malla No. 4;    |  |                       |                          | 4,190.00 grs               |                                  |                          |                     |                       |  |
| <b>Granulometria grande</b>                |  |                       |                          |                            | <b>Granulometria chica</b>       |                          |                     |                       |  |
| Peso neto;                                 | 2,120.00 grs   |                       |                          |                            | P.W;                             | 500.00 grs               |                     |                       |  |
| Volumen;                                   | 2,134.00 m3  |                       |                          |                            | P.S;                             | 436.30 grs               |                     |                       |  |
| P.V.S.S;                                   | 0.99 grs/m3  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| <b>Granulometria grande</b>                |  |                       |                          |                            | <b>Granulometria chica</b>       |                          |                     |                       |  |
| Mallas                                     | Retenidos  | %Re                   | %Pasa                    | Mallas                     | Pi                               | Ra%                      | %Pasa               |                       |  |
| 3"   | -  | 0%                    | 0%                       | 10                         | 0.10                             | 0%                       | 100%                |                       |  |
| 2"   | -  | 0%                    | 0%                       | 20                         | 0.70                             | 0%                       | 100%                |                       |  |
| 1 1/2"                                     | -  | 0%                    | 0%                       | 40                         | 11.85                            | 3%                       | 97%                 |                       |  |
| 1"   | -  | 0%                    | 0%                       | 60                         | 29.60                            | 7%                       | 90%                 |                       |  |
| 3/4"                                       | -  | 0%                    | 0%                       | 100                        | 31.50                            | 7%                       | 83%                 |                       |  |
| 3/8"                                       | -  | 0%                    | 0%                       | 200                        | 39.30                            | 9%                       | 74%                 |                       |  |
| No.4                                       | -  | 0%                    | 100%                     | P. 200                     | 323.25                           | 74%                      | 0%                  |                       |  |
| P. No.4                                    | 4,190.00   | 100%                  |                          | Total;                     | 436.30                           | 100%                     |                     |                       |  |
| Total;                                     | 4,190.00   | 100%                  |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| <b>Limites de Atterberg</b>                |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| <b>Limite liquido (LL)</b>                 |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| Sondeo                                     | N. golpes  | N. de vidrio de reloj | Masa tara + suelo humedo | Masa tara + suelo seco (g) | Masa de agua (grs)               | Tara (grs)               | Masa del suelo seco | Contenido de agua (%) |  |
| 1  | 13   | 20                    | 11.10                    | 8.22                       | 2.88                             | 1.92                     | 6.30                | 46%                   |  |
|  | 18   | 14                    | 9.24                     | 6.40                       | 2.84                             | 1.74                     | 4.66                | 61%                   |  |
|  | 25   | -                     | -                        | -                          | -                                | -                        | -                   | -                     |  |
|  | 29   | 84                    | 9.59                     | 7.12                       | 2.47                             | 1.91                     | 5.21                | 47%                   |  |
|  | 33   | 91                    | 9.93                     | 6.83                       | 3.10                             | 1.81                     | 5.02                | 62%                   |  |
| <b>Limite Plastico (LP)</b>                |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| Sondeo                                     |  | N. de vidrio de reloj | Masa tara + suelo humedo | Masa tara + suelo seco (g) | Masa de agua (grs)               | Tara (grs)               | Masa del suelo seco | Contenido de agua (%) |  |
| 1  |  | 15                    | 4.56                     | 4.06                       | 0.50                             | 1.90                     | 2.16                | 23%                   |  |
| <b>Contracion lineal</b>                   |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|  | N. de barra  | M. De barra           | Medicion                 |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|  | 13   |                       | 99.30                    |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|  | 23   |                       | 99.10                    |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|  | 4  |                       | 99.30                    |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|  | 21   |                       | 98.70                    |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|  |  | CL =                  | 99.10                    |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
|  |  | Limite liquido;       | 54.00%                   |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| <b>Equivalente de arena;</b>               |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| <b>Lec. Arg;</b>                           |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| <b>Lec. Are;</b>                           |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| Absorcion;                                 |  |                       |                          |                            | Densidad;                        |                          |                     |                       |  |
|  | P.W;   | kg                    |                          |                            | P.S;                             | kg                       |                     |                       |  |
|  | P.S;   | kg                    |                          |                            | Volumen;                         | m3                       |                     |                       |  |
| Limite liquido;                            | 54.00%   |                       |                          | Contraccion lineal;        | 99.10                            |                          |                     |                       |  |
| Limite plastico;                           | 23.15%   |                       |                          | Clasificacion de sucs;     | CH (Arcilla de alta plasticidad) |                          |                     |                       |  |
| Indice plastico;                           | 30.85%   |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |
| Observaciones;                             |  |                       |                          |                            |                                  |                          |                     |                       |  |



## Mecanica de suelos (ESPECIMEN 1)

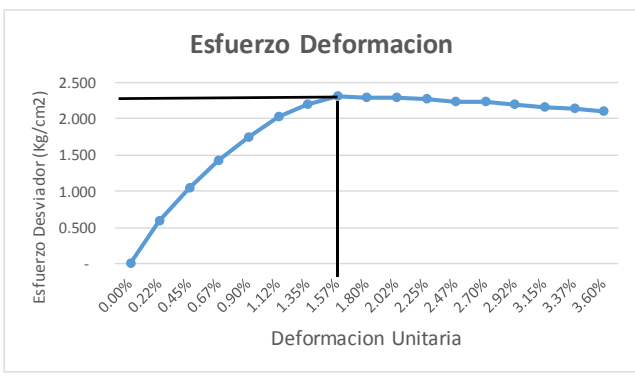
|                |   |            |   |
|----------------|---|------------|---|
| OBRA:          | Cimentacion de Puente en el Rio Laja                |            | <b>Prueba de Compresion Triaxial Rapida</b> |
| LOCALIZACION:  | Santa Fe de la Purisima, municipio de Cortazar Gto. |            |   |
| SONDEO N°:     | 1   | ENSAYO N°: | 1   |
| MUESTRA N°:    | 1   | PROF:      | 2.50 a 2.80m                                |
| CALSIFICACION: | Arcilla color café claro                            |            |   |

$$\sigma_3 = 0.50 \text{ kg/cm}^2$$

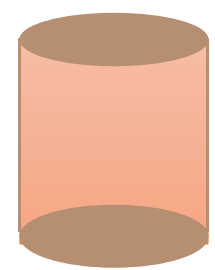
### PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL

|               |       |                    |                          |  |                    |        |         |                     |                 |
|---------------|-------|--------------------|--------------------------|--|--------------------|--------|---------|---------------------|-----------------|
| Ds:           | 3.610 | cm                 | As:                      | 10.235                                 | cm <sup>2</sup>    | Wm:    | 125.700 | grs                 |                 |
| Dc:           | 3.545 | cm                 | Ac:                      | 9.870                                  | cm <sup>2</sup>    | Vm:    | 89.303  | cm <sup>3</sup>     |                 |
| Di:           | 3.574 | cm                 | Ai:                      | 10.032                                 | cm <sup>2</sup>    | δm:    | 1.408   | Ton/m <sup>3</sup>  |                 |
| Presion Conf: | 0.500 | Kg/cm <sup>2</sup> | Cte. de Anillo de Carga: | 0.208                                  | Kg/cm <sup>2</sup> | Radio: | 5.365   | grs/cm <sup>2</sup> |                 |
| Hm:           | 8.890 | cm                 | Am:                      | $\frac{As+4A+Ai}{6} = \frac{59.75}{6}$ | =                  | 59.75  | =       | 9.958               | cm <sup>2</sup> |

| 1                                      | 2      | 3                 | 4                    | 5                       | 6               | 7                  | 8                    |                   |             |
|--|--------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| Lectura de micrometro de deformacion   | Carga  | Deformacion total | Deformacion unitaria | 1- Deformacion unitaria | Area coregida   | Esfuerzo           | Deformacion unitaria | Contenido de agua |             |
| mm                                     | Kg     | mm                | ε                    | (1-ε)                   | cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | %                    |                   |             |
| 0                                      | -      | -                 | -                    | 1.000                   | 9.958           | -                  | 0.00%                |                   |             |
| 28                                     | 5.824  | 0.200             | 0.0022               | 0.998                   | 9.980           | 0.584              | 0.22%                |                   |             |
| 50                                     | 10.400 | 0.400             | 0.0045               | 0.996                   | 10.003          | 1.040              | 0.45%                |                   |             |
| 68                                     | 14.144 | 0.600             | 0.0067               | 0.993                   | 10.026          | 1.411              | 0.67%                | Capsula N°:       | -           |
| 84                                     | 17.472 | 0.800             | 0.0090               | 0.991                   | 10.048          | 1.739              | 0.90%                | Pes. Cap. + s.h:  | 125.700 grs |
| 98                                     | 20.384 | 1.000             | 0.0112               | 0.989                   | 10.071          | 2.024              | 1.12%                | Pes. Cap. + s.s:  | 100.320 grs |
| 107                                    | 22.256 | 1.200             | 0.0135               | 0.987                   | 10.094          | 2.205              | 1.35%                | Peso de agua:     | 25.380 grs  |
| 112                                    | 23.296 | 1.400             | 0.0157               | 0.984                   | 10.117          | 2.303              | 1.57%                | Peso capsula:     | - grs       |
| 112                                    | 23.296 | 1.600             | 0.0180               | 0.982                   | 10.141          | 2.297              | 1.80%                | Peso suelo seco:  | 100.320 grs |
| 112                                    | 23.296 | 1.800             | 0.0202               | 0.980                   | 10.164          | 2.292              | 2.02%                | Humedad %:        | 25.299 %    |
| 111                                    | 23.088 | 2.000             | 0.0225               | 0.978                   | 10.187          | 2.266              | 2.25%                |                   |             |
| 110                                    | 22.880 | 2.200             | 0.0247               | 0.975                   | 10.211          | 2.241              | 2.47%                |                   |             |
| 110                                    | 22.880 | 2.400             | 0.0270               | 0.973                   | 10.234          | 2.236              | 2.70%                |                   |             |
| 108                                    | 22.464 | 2.600             | 0.0292               | 0.971                   | 10.258          | 2.190              | 2.92%                |                   |             |
| 107                                    | 22.256 | 2.800             | 0.0315               | 0.969                   | 10.282          | 2.165              | 3.15%                |                   |             |
| 106                                    | 22.048 | 3.000             | 0.0337               | 0.966                   | 10.306          | 2.139              | 3.37%                |                   |             |
| 104                                    | 21.632 | 3.200             | 0.0360               | 0.964                   | 10.330          | 2.094              | 3.60%                |                   |             |
| -                                      |        |                   |                      |                         |                 |                    |                      |                   |             |
| -                                      |        |                   |                      |                         |                 |                    |                      |                   |             |
| Esfuerzo axial (Kg/cm <sup>2</sup> ) : |        |                   |                      |                         |                 | 2.303              | 1.57%                | Notas:            |             |
|  |        |                   |                      |                         |                 |                    |                      | Muestra alterada  |             |



### Dibujo del especimen de falla



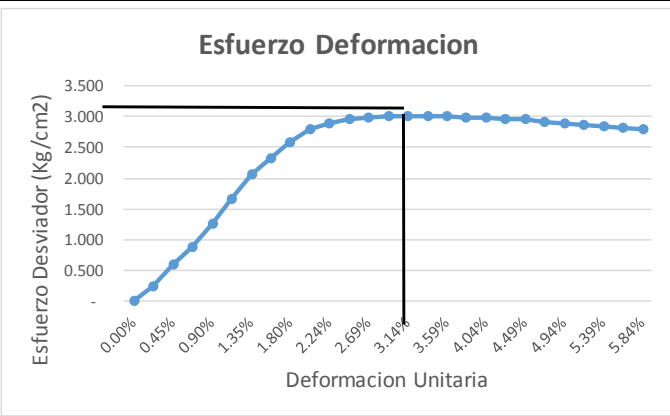
## Mecanica de suelos (ESPECIMEN 2)

|                                   |   |            |   |
|-----------------------------------|---|------------|---|
| OBRA:                             | Cimentacion de Puente en el Rio Laja                |            | <b>Prueba de Compresion Triaxial Rapida</b> |
| LOCALIZACION:                     | Santa Fe de la Purisima, municipio de Cortazar Gto. |            |   |
| SONDEO N°:                        | 1   | ENSAYO N°: | 1   |
| MUESTRA N°:                       | 1   | PROF:      | 2.50 a 2.80m                                |
| CALSIFICACION:                    | Arcilla color café claro                            |            |   |
| $\sigma_3 = 1.00 \text{ kg/cm}^2$ |   |            |   |

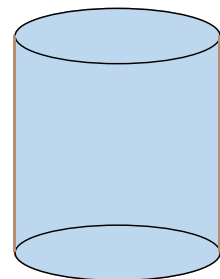
### PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL

|               |                          |                          |  |        |                           |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--|--------|---------------------------|
| Ds:           | 3.591 cm                 | As:                      | 10.128 cm <sup>2</sup>                 | Wm:    | 124.400 grs               |
| Dc:           | 3.510 cm                 | Ac:                      | 9.676 cm <sup>2</sup>                  | Vm:    | 87.910 cm <sup>3</sup>    |
| Di:           | 3.532 cm                 | Ai:                      | 9.798 cm <sup>2</sup>                  | δm:    | 1.415 Ton/m <sup>3</sup>  |
| Presion Conf: | 1.000 Kg/cm <sup>2</sup> | Cte. de Anillo de Carga: | 0.208 Kg/cm <sup>2</sup>               | Radio: | 5.317 grs/cm <sup>2</sup> |
| Hm:           | 8.910 cm                 | Am:                      | $\frac{As+4A+Ai}{6} = \frac{58.63}{6}$ | =      | 9.772 cm <sup>2</sup>     |

| 1   | 2                              | 3     | 4                 | 5                    | 6                       | 7               | 8                  |                              |  |  |  |
|---|--------------------------------|-------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|--|--|--|
| Lectura de micrometro de deformacion        | Lectura de micrometro de carga | Carga | Deformacion total | Deformacion unitaria | 1- Deformacion unitaria | Area coregida   | Esfuerzo           | Contenido de agua            |  |  |  |
| mm  | mm                             | Kg    | mm                | -                    | -                       | cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> |                              |  |  |  |
| 0   | -                              | -     | -                 | 1.000                | 9.772                   | -               | 0.00%              |                              |  |  |  |
| 11  | 2.288                          | 0.200 | 0.002             | 0.998                | 9.794                   | 0.234           | 0.22%              | Capsula N°: -                |  |  |  |
| 28  | 5.824                          | 0.400 | 0.004             | 0.996                | 9.816                   | 0.593           | 0.45%              | Pes. Cap. + s.h: 124.400 grs |  |  |  |
| 42  | 8.736                          | 0.600 | 0.007             | 0.993                | 9.838                   | 0.888           | 0.67%              | Pes. Cap. + s.s: 100.070 grs |  |  |  |
| 60  | 12.480                         | 0.800 | 0.009             | 0.991                | 9.860                   | 1.266           | 0.90%              | Peso de agua: 24.330 grs     |  |  |  |
| 79  | 16.432                         | 1.000 | 0.011             | 0.989                | 9.883                   | 1.663           | 1.12%              | Peso capsula: - grs          |  |  |  |
| 98  | 20.384                         | 1.200 | 0.013             | 0.987                | 9.905                   | 2.058           | 1.35%              | Peso suelo seco: 100.070 grs |  |  |  |
| 111   | 23.088                         | 1.400 | 0.016             | 0.984                | 9.928                   | 2.326           | 1.57%              | Humedad %: 24.313 %          |  |  |  |
| 124   | 25.792                         | 1.600 | 0.018             | 0.982                | 9.950                   | 2.592           | 1.80%              |                              |  |  |  |
| 134   | 27.872                         | 1.800 | 0.020             | 0.980                | 9.973                   | 2.795           | 2.02%              |                              |  |  |  |
| 139   | 28.912                         | 2.000 | 0.022             | 0.978                | 9.996                   | 2.892           | 2.24%              |                              |  |  |  |
| 142   | 29.536                         | 2.200 | 0.025             | 0.975                | 10.019                  | 2.948           | 2.47%              |                              |  |  |  |
| 144   | 29.952                         | 2.400 | 0.027             | 0.973                | 10.042                  | 2.983           | 2.69%              |                              |  |  |  |
| 145   | 30.160                         | 2.600 | 0.029             | 0.971                | 10.065                  | 2.996           | 2.92%              |                              |  |  |  |
| 146   | 30.368                         | 2.800 | 0.031             | 0.969                | 10.089                  | 3.010           | 3.14%              |                              |  |  |  |
| 146   | 30.368                         | 3.000 | 0.034             | 0.966                | 10.112                  | 3.003           | 3.37%              |                              |  |  |  |
| 146   | 30.368                         | 3.200 | 0.036             | 0.964                | 10.136                  | 2.996           | 3.59%              |                              |  |  |  |
| 146   | 30.368                         | 3.400 | 0.038             | 0.962                | 10.159                  | 2.989           | 3.82%              |                              |  |  |  |
| 146   | 30.368                         | 3.600 | 0.040             | 0.960                | 10.183                  | 2.982           | 4.04%              |                              |  |  |  |
| 145   | 30.160                         | 3.800 | 0.043             | 0.957                | 10.207                  | 2.955           | 4.26%              |                              |  |  |  |
| 145   | 30.160                         | 4.000 | 0.045             | 0.955                | 10.231                  | 2.948           | 4.49%              |                              |  |  |  |
| 144   | 29.952                         | 4.200 | 0.047             | 0.953                | 10.255                  | 2.921           | 4.71%              |                              |  |  |  |
| 143   | 29.744                         | 4.400 | 0.049             | 0.951                | 10.279                  | 2.894           | 4.94%              | Notas:                       |  |  |  |
| 142   | 29.536                         | 4.600 | 0.052             | 0.948                | 10.304                  | 2.867           | 5.16%              | Muestra alterada             |  |  |  |
| 141   | 29.328                         | 4.800 | 0.054             | 0.946                | 10.328                  | 2.840           | 5.39%              |                              |  |  |  |
| 140   | 29.120                         | 5.000 | 0.056             | 0.944                | 10.353                  | 2.813           | 5.61%              |                              |  |  |  |
| 139   | 28.912                         | 5.200 | 0.058             | 0.942                | 10.377                  | 2.786           | 5.84%              |                              |  |  |  |
| <b>Esfuerzo axial (Kg/cm<sup>2</sup>) :</b> |                                |       |                   |                      |                         |                 | <b>3.010</b>       | <b>3.14%</b>                 |  |  |  |



### Dibujo del especimen de falla



### Mecanica de suelos (ESPECIMEN 3)

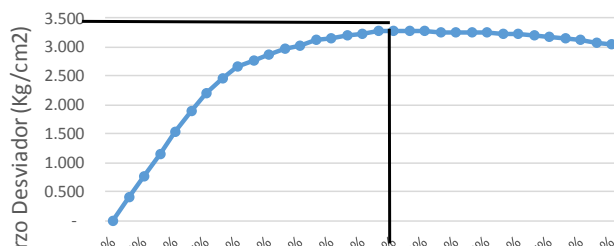
|                |   |   |
|----------------|---|---|
| OBRA:          | Cimentacion de Puente en el Rio Laja                | <b>Prueba de Compresion Triaxial Rapida</b> |
| LOCALIZACION:  | Santa Fe de la Purisima, municipio de Cortazar Gto. |   |
| SONDEO N°:     | 1   | ENSAYO N°: 1                                |
| MUESTRA N°:    | 1   | PROF: 2.50 a 2.80m                          |
| CALSIFICACION: | Arcilla color café claro                            | $\sigma_3 = 1.50 \text{ kg/cm}^2$           |

#### PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL

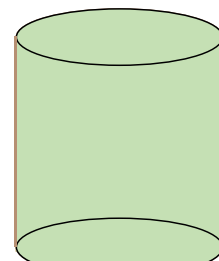
|               |                          |                          |  |        |                           |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--|--------|---------------------------|
| Ds:           | 3.389 cm                 | As:                      | 9.021 cm <sup>2</sup>                        | Wm:    | 118.500 grs               |
| Dc:           | 3.469 cm                 | Ac:                      | 9.451 cm <sup>2</sup>                        | Vm:    | 82.536 cm <sup>3</sup>    |
| Di:           | 3.515 cm                 | Ai:                      | 9.704 cm <sup>2</sup>                        | δm:    | 1.436 Ton/m <sup>3</sup>  |
| Presion Conf: | 1.500 Kg/cm <sup>2</sup> | Cte. de Anillo de Carga: | 0.208 Kg/cm <sup>2</sup>                     | Radio: | 5.187 grs/cm <sup>2</sup> |
| Hm:           | 8.790 cm                 | Am:                      | As+4A+Ai = 56.53 / 6 = 9.422 cm <sup>2</sup> |        |                           |

| 1   | 2                              | 3     | 4                 | 5                    | 6                       | 7               | 8                  |                              |
|---|--------------------------------|-------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|
| Lectura de micrometro de deformacion        | Lectura de micrometro de carga | Carga | Deformacion total | Deformacion unitaria | 1- Deformacion unitaria | Area coregida   | Esfuerzo           | Contenido de agua            |
| mm  | mm                             | Kg    | mm                | -                    | -                       | cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> |                              |
| 0   | -                              | -     | -                 | 1.000                | 9.422                   | -               | 0.00%              |                              |
| 18  | 3.744                          | 0.200 | 0.002             | 0.998                | 9.443                   | 0.396           | 0.23%              | Capsula N°: -                |
| 35  | 7.280                          | 0.400 | 0.005             | 0.995                | 9.465                   | 0.769           | 0.46%              |                              |
| 52  | 10.816                         | 0.600 | 0.007             | 0.993                | 9.486                   | 1.140           | 0.68%              | Pes. Cap. + s.h: 118.500 grs |
| 70  | 14.560                         | 0.800 | 0.009             | 0.991                | 9.508                   | 1.531           | 0.91%              |                              |
| 86  | 17.888                         | 1.000 | 0.011             | 0.989                | 9.530                   | 1.877           | 1.14%              | Pes. Cap. + s.s: 95.410 grs  |
| 101   | 21.008                         | 1.200 | 0.014             | 0.986                | 9.552                   | 2.199           | 1.37%              |                              |
| 113   | 23.504                         | 1.400 | 0.016             | 0.984                | 9.574                   | 2.455           | 1.59%              | Peso de agua: 23.090 grs     |
| 122   | 25.376                         | 1.600 | 0.018             | 0.982                | 9.596                   | 2.644           | 1.82%              |                              |
| 128   | 26.624                         | 1.800 | 0.020             | 0.980                | 9.619                   | 2.768           | 2.05%              | Peso capsula: - grs          |
| 133   | 27.664                         | 2.000 | 0.023             | 0.977                | 9.641                   | 2.869           | 2.28%              |                              |
| 138   | 28.704                         | 2.200 | 0.025             | 0.975                | 9.664                   | 2.970           | 2.50%              | Peso suelo seco: 95.410 grs  |
| 141   | 29.328                         | 2.400 | 0.027             | 0.973                | 9.686                   | 3.028           | 2.73%              |                              |
| 145   | 30.160                         | 2.600 | 0.030             | 0.970                | 9.709                   | 3.106           | 2.96%              | Humedad %: 24.201 %          |
| 147   | 30.576                         | 2.800 | 0.032             | 0.968                | 9.732                   | 3.142           | 3.19%              |                              |
| 150   | 31.200                         | 3.000 | 0.034             | 0.966                | 9.755                   | 3.198           | 3.41%              |                              |
| 152   | 31.616                         | 3.200 | 0.036             | 0.964                | 9.778                   | 3.233           | 3.64%              |                              |
| 154   | 32.032                         | 3.400 | 0.039             | 0.961                | 9.801                   | 3.268           | 3.87%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 3.600 | 0.041             | 0.959                | 9.824                   | 3.282           | 4.10%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 3.800 | 0.043             | 0.957                | 9.847                   | 3.274           | 4.32%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 4.000 | 0.046             | 0.954                | 9.871                   | 3.266           | 4.55%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 4.200 | 0.048             | 0.952                | 9.894                   | 3.258           | 4.78%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 4.400 | 0.050             | 0.950                | 9.918                   | 3.251           | 5.01%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 4.600 | 0.052             | 0.948                | 9.942                   | 3.243           | 5.23%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 4.800 | 0.055             | 0.945                | 9.966                   | 3.235           | 5.46%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 5.000 | 0.057             | 0.943                | 9.990                   | 3.227           | 5.69%              |                              |
| 155   | 32.240                         | 5.200 | 0.059             | 0.941                | 10.014                  | 3.219           | 5.92%              |                              |
| 154   | 32.032                         | 5.400 | 0.061             | 0.939                | 10.038                  | 3.191           | 6.14%              |                              |
| 153   | 31.824                         | 5.600 | 0.064             | 0.936                | 10.063                  | 3.163           | 6.37%              |                              |
| 152   | 31.616                         | 5.800 | 0.066             | 0.934                | 10.087                  | 3.134           | 6.60%              |                              |
| 151   | 31.408                         | 6.000 | 0.068             | 0.932                | 10.112                  | 3.106           | 6.83%              |                              |
| 150   | 31.200                         | 6.200 | 0.071             | 0.929                | 10.137                  | 3.078           | 7.05%              |                              |
| 149   | 30.992                         | 6.400 | 0.073             | 0.927                | 10.162                  | 3.050           | 7.28%              |                              |
| <b>Esfuerzo axial (Kg/cm<sup>2</sup>) :</b> |                                |       |                   |                      |                         | <b>3.282</b>    | <b>4.10%</b>       |                              |

**Esfuerzo Deformacion**

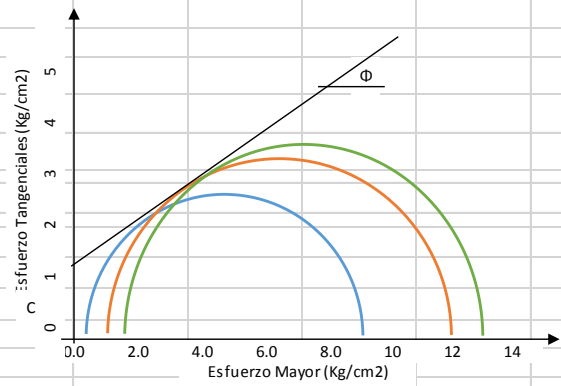


**Dibujo del especimen de falla**

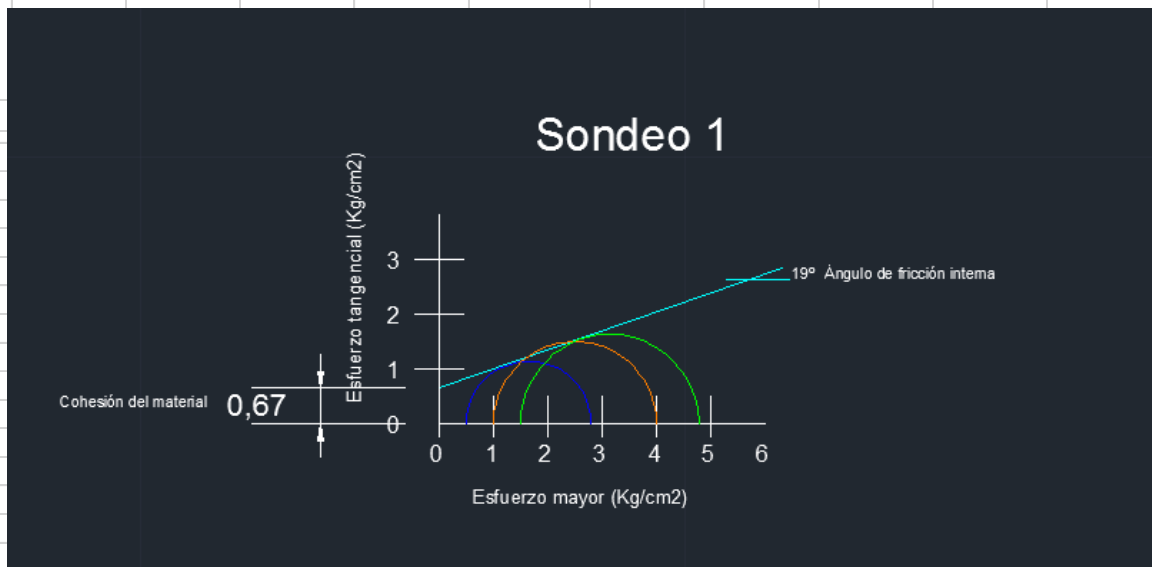


### Calculo para los Circulos de Mohr

| Prueba                               | Presion lateral inicial | Esfuerzo principal de rotura | Esfuerzo mayor           | Humedad natural | Peso volumetrico   |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------|
| No.                                  | Kg/cm <sup>2</sup>      | Kg/cm <sup>2</sup>           | Kg/cm <sup>2</sup>       | %               | Ton/m <sup>2</sup> |
| 1                                    | 0.50                    | 2.303                        | 2.803                    | 25.299          | 1.408              |
| 1                                    | 1.00                    | 3.010                        | 4.010                    | 24.313          | 1.415              |
| 1                                    | 1.50                    | 3.282                        | 4.782                    | 24.201          | 1.436              |
|                                      |                         |                              | <b>Promedio:</b>         | <b>24.604</b>   | <b>1.419</b>       |
| <b>Resultados de ensayo triaxial</b> |                         |                              |                          |                 |                    |
| Cohesion c:                          |                         | 6.70                         | 0.670 Kg/cm <sup>2</sup> |                 |                    |
| Angulo de friccion φ:                |                         | 19.00                        | °                        |                 |                    |



### Circulos de Morh realizados en AutoCad





## Capacidad de carga ultima

### Capacidad de Carga Terzaghi

| Datos obtenidos de Ensayo Triaxial   |                  |                         |       | Valores de Capacidad de Carga                                     |  |        |  |
|--|------------------|-------------------------|-------|---|--|--------|--|
| Descripción del suelo: <b>Arcilla de alta plasticidad color Café Claro</b> |                  |                         |       | Nota: El ángulo de fricción interna debe convertirse en radianes  |  |        |  |
| Cohesión del suelo C:  | -                | Ton/m <sup>2</sup>      |       | Factores de capacidad de carga (admisible) = <b>Nc, Ny</b>        | $Nq = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} =$ | 6.701  |  |
| Ángulo de fricción interna $\phi$ :  | 19.00            | °                       |       |   |  |        |  |
| Peso específico natural Y:   | 1.42             | Ton/m <sup>3</sup>      |       |   |  |        |  |
| Datos propuestos para diseño   |                  |                         |       | Factores de capacidad de carga (admisible) = <b>Nc, Ny</b>        | $Nc = \cot\phi(Nq - 1) =$  | 16.558 |  |
| Ancho o diámetro del cimientto B:  | 7.00             | m                       |       |   |  |        |  |
| Longitud de zapata L:  | 3.50             | m                       |       |   |  |        |  |
| Profundidad de desplante mínima previsible Df:                             | 4.00             | m                       |       |   |  |        |  |
| Peralte real propuesto Zapata h o d:                                       | 0.50             | m                       |       |   | $Kpy = 3tg^2\left[45 + \frac{\phi + 33}{2}\right]$   | 25.303 |  |
| Ajuste de Ángulo de Fricción Interna                                       |                  |                         |       | $Ny = \frac{1}{2}\left[\frac{Kpy}{\cos^2\phi} - 1\right]tg\phi =$ |  | 4.701  |  |
| L/B = 1 < 2  | Usar $\Phi_{tr}$ | 19.00                   | < 35° |   | Usar $\Phi_{ps} = \Phi_{tr}$   |        | Factores de capacidad de carga por medio de tabla: |
|  |                  | Usar $\Phi_{ps} = \Phi$ |       |   |  | Nq :   | 17.500   |
|  |                  | Usar $\Phi$             |       |   |  | Nc :   | 7.000  |
|  |                  | Usar $\Phi$             |       |   |  | Ny :   | 3.400  |

### Ecuacion de Terzaghi (Cimentacion Rectangular)

| Capacidad de Carga                                       |       |     |   |
|--|-------|-----|---|
| Factor de resistencia FR:                                | 0.35  |     | $q_{neta(u)} = q_u - q$                     |
| $p = q = YDf$  |       |     | Capacidad de carga ultima neta $q_{neta}$ : |
| Presión ejercida en el suelo $p = q$ :                   | 5.68  | Ton | 51.05 Ton                                   |
| $q_{ult} = 1.3cNc + \gamma_1 Df Nq + 0.4\gamma_2 B Ny$ : |       |     |   |
| Capacidad de carga ultima $q_{ult}$ :                    | 56.73 | Ton |   |
| $q_{adm} = q_{ult} * F.R$                                |       |     |   |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ :                 | 19.86 | Ton |   |
|  |       |     | $q_{adm(neta)} = q_u - q * F.R$             |
|  |       |     | Capacidad de carga admisible neta           |
|  |       |     | 17.87 Ton                                   |

### Capacidad de Carga Mayerhof

|                                 |  |        |                                  |   |       |
|---------------------------------|--|--------|----------------------------------|---|-------|
| Factores de capacidad de carga: | $Nq = tg^2\left[45 + \frac{\phi}{2}\right]e^{\pi\gamma_1 Df tg\phi} =$ | 5.798  | Factores de profundidad:         | $dc = Fcd = 1 + 0.2\sqrt{Kp}\frac{Df}{B} =$ | 1.160 |
|                                 | $Nc = (Nq - 1)\cot\phi =$  | 13.934 |                                  | $dq = 1 + 0.1\sqrt{Kp}\frac{Df}{B} =$       | 1.080 |
|                                 | $Ny = (Nq - 1)1.4\tan\phi =$   | 2.403  |                                  | $dy = dq =$                                 | 1.080 |
|                                 | $Kp = \gamma_1^2(45 + \phi/2) =$                                       | 1.965  |                                  |   |       |
| Factores de forma:              | $Sc = Fcs = 1 + 0.2Kp\frac{B}{L} =$                                    | 1.786  | Factores de inclinacion de carga | Ángulo de inclin. $\Theta$ :                | 0.000 |
|                                 | $Sq = Fys = 1 + 0.1Kp\frac{B}{L} =$                                    | 1.393  |                                  | $Fci = Fqi = (1 - \theta/90)^2 =$           | 1.000 |
|                                 | $Sq = Sy =$  | 1.393  |                                  | $Fyi = (1 - \theta/\phi)^2 =$               | 1.000 |

### Capacidad de Carga por la Ecuacion General

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| Capacidad de Carga ultima $q_u$ :        | $q_u = CNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + 1/2YBNyFysFydFyi =$ | 67.49 Ton |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ : | $q_{adm} = q_{ult} * F.R$                                | 23.62 Ton |

### Tabla de Comparacion de Resultados

| Metodo   | Nq    | Nc     | Ny    | Df/B | F.R  | qult  | qadm  |
|----------|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|
| Terzaghi | 6.701 | 16.558 | 4.701 | 1.14 | 0.35 | 56.73 | 19.86 |
| Mayerhof | 5.798 | 13.934 | 2.403 | 1.14 | 0.35 | 67.49 | 23.62 |



## Capacidad de carga ultima afectada por niveles freaticos

### Capacidad de Carga Terzaghi

| Datos obtenidos de Ensayo Triaxial   |                  |                         |       | Valores de Capacidad de Carga   |   |        |       |
|--|------------------|-------------------------|-------|---|---|--------|-------|
| Descripcion del suelo: <b>Arcilla de alta plasticidad color Café Claro</b> |                  |                         |       | Nota: El angulo de frccion interna debe convertirse en radianes       |   |        |       |
| Cohesion del suelo C:  | -                | Ton/m2                  |       | Factores de capacidad de carga (adminisible) = $N_c, N_q, N_y$        | $N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} =$ | 6.701  |       |
| Angulo de friccion interna $\phi$ :  | 19.00            | °                       |       |   |   |        |       |
| Peso especifico natural Y:   | 0.73             | Ton/m3                  |       |   |   |        |       |
| Datos propuestos para diseño   |                  |                         |       | Factores de capacidad de carga (adminisible) = $N_c, N_q, N_y$        | $N_c = \cot\phi(N_q - 1) =$   | 16.558 |       |
| Ancho o diametro del cimientto B:  | 8.50             | m                       |       |   |   |        |       |
| Longitu de zapata L:   | 4.00             | m                       |       |   |   |        |       |
| Profundidad de desplante minima previsible Df:                             | 4.50             | m                       |       |   |   |        |       |
| Peralte real propuesto Zapata h o d:                                       | 0.80             | m                       |       |   | $K_{py} = 3tg^2\left[45 + \frac{\phi + 33}{2}\right]$   | 25.303 |       |
| Ajuste de Angulo de Friccion Interna                                       |                  |                         |       | $N_y = \frac{1}{2}\left[\frac{K_{py}}{\cos^2\phi} - 1\right]tg\phi =$ |   |        | 4.701 |
| L/B = 1 < 2  | Usar $\Phi_{tr}$ | 19.00                   | < 35° |   | Usar $\Phi_{ps} = \Phi_{tr}$  |        |       |
|  |                  | Usar $\Phi_{ps} = \Phi$ |       |   |   |        |       |
|  |                  | Usar $\Phi$             |       |   |   |        |       |
|  |                  |                         |       | Factores de capacidad de carga por medio de tabla:                    |   |        |       |
|  |                  |                         |       |   | $N_q :$   | 17.500 |       |
|  |                  |                         |       |   | $N_c :$   | 7.000  |       |
|  |                  |                         |       |   | $N_y :$   | 3.400  |       |

### Ecuacion de Terzaghi (Cimentacion Rectangular)

| Capacidad de Carga  |       |     |   |
|---|-------|-----|---|
| Factor de resistencia FR:                                   | 0.35  |     | $q_{neta(u)} = q_u - q$                     |
| $p = q = YDf$   |       |     | Capacidad de carga ultima neta $q_{neta}$ : |
| Presion ejercida en el suelo $p = q$ :                      | 3.29  | Ton | 30.40 Ton                                   |
| $q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma_1 Df N_q + 0.4\gamma_2 B N_y$ : |       |     |   |
| Capacidad de carga ultima $q_{ult}$ :                       | 33.68 | Ton |   |
| $q_{adm} = q_{ult} * F.R$                                   |       |     | $q_{adm(neta)} = q_u - q * F.R$             |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ :                    | 11.79 | Ton | Capacidad de carga admisible neta           |
|   |       |     | 10.64 Ton                                   |

### Capacidad de Carga Mayerhof

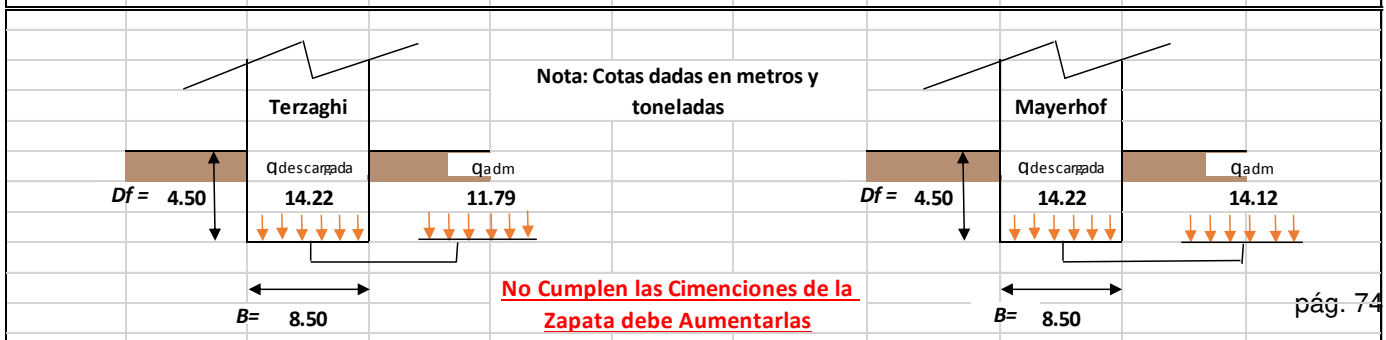
|                                 |  |        |                                  |  |       |
|---------------------------------|--|--------|----------------------------------|--|-------|
| Factores de capacidad de carga: | $N_q = tg^2\left[45 + \frac{\phi}{2}\right]e^{\pi tg\phi} =$ | 5.798  | Factores de profundidad:         | $dc = Fcd = 1 + 0.2\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$ | 1.148 |
|                                 | $N_c = (N_q - 1)cot\phi =$                                   | 13.934 |                                  | $dq = 1 + 0.1\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$       | 1.074 |
|                                 | $N_y = (N_q - 1)1.4\tan\phi =$                               | 2.403  |                                  | $dy = dq =$                                  | 1.074 |
|                                 | $Kp = Tg^2(45 + \phi/2) =$                                   | 1.965  |                                  | Angulo de inclin. $\Theta$ :                 | 0.000 |
| Factores de forma:              | $Sc = Fcs = 1 + 0.2Kp \frac{B}{L} =$                         | 1.835  | Factores de inclinacion de carga | $Fci = Fqi = (1 - \theta/90)^2 =$            | 1.000 |
|                                 | $Sq = Fys = 1 + 0.1Kp \frac{B}{L} =$                         | 1.418  |                                  | $Fyi = (1 - \theta/\phi)^2 =$                | 1.000 |
|                                 | $Sq = Sy =$  | 1.418  |                                  |  |       |

### Capacidad de Carga por la Ecuacion General

|  |  |       |     |
|--|--|-------|-----|
| Capacidad de Carga ultima $q_u$ :        | $q_u = CNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + 1/2YBNyFysFydFyi =$ | 40.36 | Ton |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ : | $q_{adm} = q_{ult} * F.R$                                | 14.12 | Ton |

### Tabla de Comparacion de Resultados

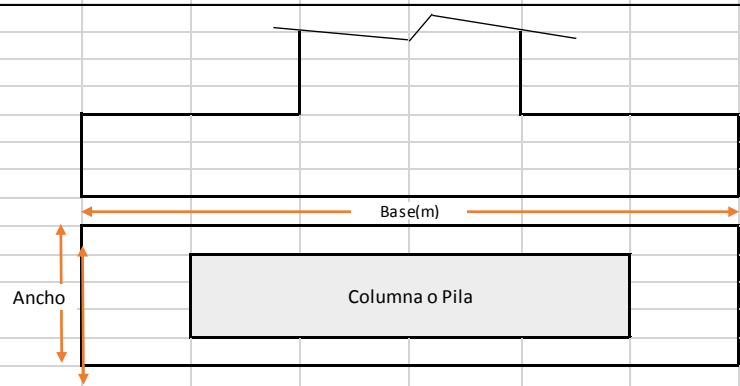
| Metodo   | $N_q$ | $N_c$  | $N_y$ | Df/B | F.R  | $q_{ult}$ | $q_{adm}$ |
|----------|-------|--------|-------|------|------|-----------|-----------|
| Terzaghi | 6.701 | 16.558 | 4.701 | 1.13 | 0.35 | 33.68     | 11.79     |
| Mayerhof | 5.798 | 13.934 | 2.403 | 1.13 | 0.35 | 40.36     | 14.12     |



## DISEÑO DE CIMENTACION SUPERFICIAL

### ZAPATA AISLADA RECTANGULAR

| Datos para diseño               |          |                    |
|---------------------------------|----------|--------------------|
| Base de zapata B:               | 7.00     | m                  |
| Ancho de zapata A:              | 4.00     | m                  |
| Recubrimiento r:                | 0.05     | m                  |
| Largo de columna o pila C1:     | 6.10     | m                  |
| Ancho de columna o pila C1:     | 0.80     | m                  |
| Elementos mecanicos             |          |                    |
| Descarga en la col. Pr:         | 483.48   | Ton                |
| Peso propio de la cim. P.P:     | 57.12    | Ton                |
| Carga Adm.e o resistente. Qadm: | 23.62    | Ton/m <sup>2</sup> |
| Propiedades de material         |          |                    |
| Esfuerzo minimo de fluencia fy: | 250.00   | kg/cm <sup>3</sup> |
| Resistencia del concreto f'c:   | 4,200.00 | kg/cm <sup>3</sup> |



#### Carga total que baja o descarga, Area necesaria y Carga axial de diseño

|                            |                   |     |  |                             |
|----------------------------|-------------------|-----|--|-----------------------------|
| Descarga en la columna Pr: | 483.48            | Ton | Se usara una zapata rectangular de base B y un ancho A |                             |
| Peso propio de cim. P.P:   | 57.12             | Ton | Area necesaria de cim. $Anc = Pu/qadm$                 | Anc: 32.04 m <sup>2</sup>   |
| W total:                   | 540.60            | Ton | Area necesaria de cim. $Anr = B*A$                     | Anr: 28.00 m <sup>2</sup>   |
| Carga axial de diseño Pu   |                   |     | Anr: 28.00   | ≥ Anc: 32.04 m <sup>2</sup> |
| <b>Pu = FcP</b>            | <b>Pu: 756.85</b> | Ton | <b>No Cumple condicion</b>                             |                             |

La presion de contacto para el dimensionamiento de la zapata se calcula sin considerar el peso propio de la cimentacion

|                            |                  |     |       |                    |
|----------------------------|------------------|-----|-------|--------------------|
| Presion de contacto Ps:    | $Ps = FcP / Anr$ | Ps: | 24.17 | Ton/m <sup>2</sup> |
| Ps:                        | 24.17            | <   | Qadm: | 23.62              |
| <b>No Cumple condicion</b> |                  |     |       |                    |

#### Determinacion de peralte efectivo de la zapata por resistencia a la FALLA POR PUNZAMIENTO

Se usara una zapata de presion constante

La seccion critica es un perimetro a una distancia de la mitad del peralte efectivo de la zapata medida desde el paño de la columna

|   |                             |               |      |      |           |                    |
|---|-----------------------------|---------------|------|------|-----------|--------------------|
| La fuerza cortante que actua de la seccion critica Va:                  | $Vcr = Ps(Anr^2 - (C+d)^2)$ | C:            | 0.60 | Vcr: | 626.05    | Ton/m <sup>2</sup> |
|   | Suponiendo un peralte d     | d:            | 0.85 |      |           |                    |
| El area de la seccion critica vale:                                     | $S = 4d(C+d)$               |               |      | S:   | 49,300.00 | cm <sup>2</sup>    |
| Esfuerzo cortante ultimo:   | $Vu = Vcr/S$                |               |      | Vu:  | 12.70     | Kg/cm <sup>2</sup> |
| Por reglamento, el esfuerzo cortante para la falla de punzamiento vale: |                             | $Vr = FrVF*c$ |      | Vr:  | 11.31     | Kg/cm <sup>2</sup> |

#### 2da interaccion

#### Refuerzo por flexion

|                             |      |           |                    |   |     |        |       |
|-----------------------------|------|-----------|--------------------|---|-----|--------|-------|
| Suponiendo                  | d:   | 0.85      | m                  | Momento ultimo $Mu = PsB(B-C)^2/8$  | Mu: | 351.94 | Ton-m |
| $Vcr = Ps(Anr^2 - (C+d)^2)$ | Vcr: | 626.05    | Ton/m <sup>2</sup> | Para la seccion sobreesforzada se puede calcular el area de acero con la formula apoximada siguiente: |     |        |       |
| $S = 4d(C+d)$               | S:   | 49,300.00 | cm <sup>2</sup>    | Area de acero $As = Mu / Frfyjd$  | As: | 273.84 | Ton-m |
| $Vu = Vcr/S$                | Vu:  | 12.70     | Kg/cm <sup>2</sup> | <b>Peralte Correcto</b>   |     |        |       |

Usando varilla del # 8.00 5.07 cm<sup>2</sup>

Usando varilla del # 10.00 7.94 cm<sup>2</sup>

|   |              |      |       |    |                     |              |       |       |    |
|---|--------------|------|-------|----|---------------------|--------------|-------|-------|----|
| Separacion de acero                           | $S = BAB/As$ | 9.79 | 10.00 | cm | Separacion de acero | $S = BAB/As$ | 15.35 | 16.00 | cm |
| <b>Se usaran varillas del # 10.00 @ 16.00</b> |              |      |       |    |                     |              |       |       |    |

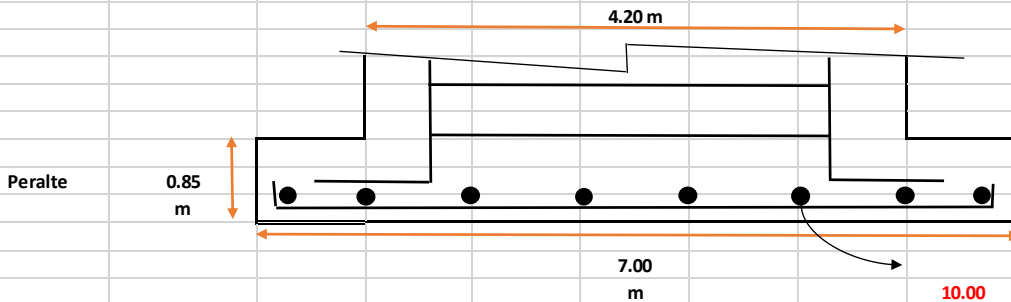
|                            |                 |    |        |                        |        |        |       |        |          |
|----------------------------|-----------------|----|--------|------------------------|--------|--------|-------|--------|----------|
| Cuatian de acero           | $P = Ab/Sd$     | P: | 0.0058 | Por cambio volumetrico | P:     | 0.0020 | <     | 0.0058 |          |
| Cuantia minimo por flexion | $P = 07Vf'c/fy$ | P: | 0.0026 | P:                     | 0.0058 | <      | Pmin: | 0.0026 | Correcto |

Nota: Si P es menor que Pmin se podra utilizar el minimo que en este caso es 0.01, si no es asi debera cambiar la seccion de la zapata.

Peralte total de la zapata

$h = d + dr/2 + r$

h: 93.18 95.00 cm



Se usaron varillas de # 10.00 @ 16.00 cm  
En ambos sentidos

## Cálculos del sondeo 2

| Registro de calidad de material            |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
|--|-----------------------|--|----------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|
| Proyecto:                                  |                       | Tesis de Cimentacion de puentes en el estado de Guanajuato |                            |                            |                     | Muestra;                         |                       | Sondeo 2; Clasificacion  |  |  |
| Tipo de material (Color):                  |                       |  |                            |                            |                     | Olor;                            |                       |                          |  |  |
| Procedencia de material;                   |                       | Rio Iaja, tramo; Celaya - Cortazar. Gto.                   |                            |                            |                     | Fecha de informe;                |                       | 17 de diciembre del 2018 |  |  |
| Hum. Nat.                                  | P.W;                  | 260.00 grs   |                            | W;                         | 31.05%              |                                  |                       |                          |  |  |
|  | P.S;                  | 198.40 grs   |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| (Wd) Peso Total de la muestra;             |                       |  |                            | 4,250.00 grs               |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| (Wm1) Fraccion retenida en la malla No. 4; |                       |  |                            | - grs                      |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| (Wm2) Fraccion que pasa la malla No. 4;    |                       |  |                            | 4,250.00 grs               |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Granulometria grande                       |                       |  |                            |                            | Granulometria chica |                                  |                       |                          |  |  |
| Peso neto;                                 |                       | 2,050.00 grs   |                            | P.W;                       |                     | 500.00 grs                       |                       |                          |  |  |
| Volumen;                                   |                       | 2,134.00 m3  |                            | P.S;                       |                     | 452.50 grs                       |                       |                          |  |  |
| P.V.S.S;                                   |                       | 0.96 grs/m3  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Granulometria grande                       |                       |  |                            |                            | Granulometria chica |                                  |                       |                          |  |  |
| Mallas                                     | Retenidos             | %Re  | %Pasa                      | Mallas                     | Pi                  | Ra%                              | %Pasa                 |                          |  |  |
| 3"   | -                     | 0%   | 0%                         | 10                         | 8.00                | 2%                               | 98%                   |                          |  |  |
| 2"   | -                     | 0%   | 0%                         | 20                         | 0.65                | 0%                               | 98%                   |                          |  |  |
| 1 1/2"                                     | -                     | 0%   | 0%                         | 40                         | 11.00               | 2%                               | 96%                   |                          |  |  |
| 1"   | -                     | 0%   | 0%                         | 60                         | 28.40               | 6%                               | 89%                   |                          |  |  |
| 3/4"                                       | -                     | 0%   | 0%                         | 100                        | 27.00               | 6%                               | 83%                   |                          |  |  |
| 3/8"                                       | -                     | 0%   | 0%                         | 200                        | 35.50               | 8%                               | 76%                   |                          |  |  |
| No.4                                       | -                     | 0%   | 100%                       | P. 200                     | 341.95              | 76%                              | 0%                    |                          |  |  |
| P. No.4                                    | 4,250.00              | 100%   |                            | Total;                     | 452.50              | 100%                             |                       |                          |  |  |
| Total;                                     | 4,250.00              | 100%   |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Lmites de Atterberg                        |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Limite liquido (LL)                        |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Sondeo                                     | N. golpes             | N. de vidrio de reloj                                      | Masa tara + suelo humedo   | Masa tara + suelo seco (g) | Masa de agua (grs)  | Tara (grs)                       | Masa del suelo seco   | Contenido de agua (%)    |  |  |
| 2  | 13                    | 21   | 10.01                      | 7.23                       | 2.78                | 1.92                             | 5.31                  | 52%                      |  |  |
|  | 18                    | 16   | 8.16                       | 5.88                       | 2.28                | 2.08                             | 3.80                  | 60%                      |  |  |
|  | 25                    | -  | -                          | -                          | -                   | -                                | -                     | -                        |  |  |
|  | 29                    | 14   | 8.06                       | 6.76                       | 1.30                | 1.74                             | 5.02                  | 26%                      |  |  |
|  | 33                    | 80   | 8.62                       | 5.68                       | 2.94                | 1.81                             | 3.87                  | 76%                      |  |  |
| Limite Plastico (LP)                       |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Sondeo                                     | N. de vidrio de reloj | Masa tara + suelo humedo                                   | Masa tara + suelo seco (g) | Masa de agua (grs)         | Tara (grs)          | Masa del suelo seco              | Contenido de agua (%) |                          |  |  |
| 2  | 15                    | 4.39   | 3.97                       | 0.42                       | 1.90                | 2.07                             | 20%                   |                          |  |  |
| Contracion lineal                          |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| N. de barra                                | M. De barra           | Medicion   |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| 13   |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| 23   |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| 4  |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| 21   |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
|  |                       | CL =   | -                          |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
|  |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Equivalente de arena;                      |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Lec. Arq;                                  |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Lec. Are;                                  |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Absorcion;                                 | P.W;                  | kg   |                            | Densidad;                  |                     | P.S;                             | kg                    |                          |  |  |
|  | P.S;                  | kg   |                            |                            |                     | Volumen;                         | m3                    |                          |  |  |
| Limite liquido;                            |                       | 51.40%   |                            | Contraccion lineal;        |                     | 0.00                             |                       |                          |  |  |
| Limite plastico;                           |                       | 20.29%   |                            | Clasificacion de sucs;     |                     | CH (Arcilla de alta plasticidad) |                       |                          |  |  |
| Indice plastico;                           |                       | 31.11%   |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |
| Observaciones;                             |                       |  |                            |                            |                     |                                  |                       |                          |  |  |

## Mecanica de suelos (ESPECIMEN 1)

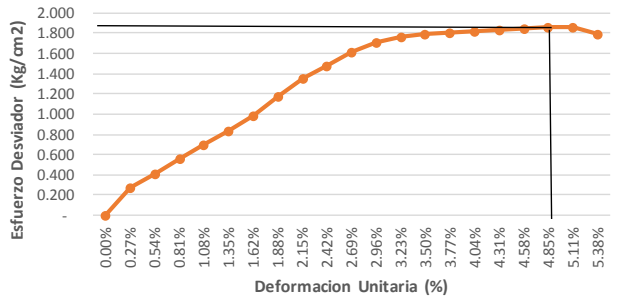
|                |  |            |              |   |  |  |
|----------------|--|------------|--------------|---|--|--|
| OBRA:          | Cimentacion de Puente en el Rio Laja               |            |              | <b>Prueba de Compresion Triaxial Rapida</b> |  |  |
| LOCALIZACION:  | Santa Fe de la Purisima municipio de Cortazar Gto. |            |              |   |  |  |
| SONDEO N°:     | 2  | ENSAYO N°: | 1            | $\sigma_3 = 0.50 \text{ kg/cm}^2$           |  |  |
| MUESTRA N°:    | 1  | PROF:      | 2.80 a 3.00m |   |  |  |
| CALSIFICACION: | Arcilla Color Café Claro                           |            |              |   |  |  |

### PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL

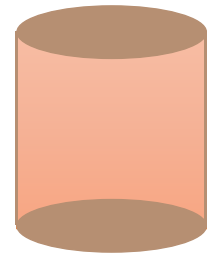
|               |       |                    |                          |               |                 |            |         |                     |                 |
|---------------|-------|--------------------|--------------------------|---------------|-----------------|------------|---------|---------------------|-----------------|
| Ds:           | 3.610 | cm                 | As:                      | 10.235        | cm <sup>2</sup> | Wm:        | 106.600 | grs                 |                 |
| Dc:           | 3.650 | cm                 | Ac:                      | 10.463        | cm <sup>2</sup> | Vm:        | 77.300  | cm <sup>3</sup>     |                 |
| Di:           | 3.630 | cm                 | Ai:                      | 10.349        | cm <sup>2</sup> | δm:        | 1.379   | Ton/m <sup>3</sup>  |                 |
| Presion Conf: | 0.500 | Kg/cm <sup>2</sup> | Cte. de Anillo de Carga: | 0.208         | Kg/division     | Radio:     | 5.445   | grs/cm <sup>2</sup> |                 |
| Hm:           | 7.430 | cm                 | Am:                      | As+4A+Ai<br>6 | =               | 62.44<br>6 | =       | 10.406              | cm <sup>2</sup> |

| 1   | 2      | 3                 | 4                    | 5                       | 6               | 7                  | 8                    |                   |                              |
|---|--------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|
| Lectura de micrometro de deformacion        | Carga  | Deformacion total | Deformacion unitaria | 1- Deformacion unitaria | Area coregida   | Esfuerzo           | Deformacion unitaria | Contenido de agua |                              |
| mm  | Kg     | mm                | ε                    | (1-ε)                   | cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | %                    |                   |                              |
| 0   | -      | -                 | -                    | 1.000                   | 10.406          | -                  | 0.00%                |                   |                              |
| 14  | 2.912  | 0.200             | 0.0027               | 0.997                   | 10.434          | 0.279              | 0.27%                |                   |                              |
| 21  | 4.368  | 0.400             | 0.0054               | 0.995                   | 10.463          | 0.417              | 0.54%                |                   |                              |
| 28  | 5.824  | 0.600             | 0.0081               | 0.992                   | 10.491          | 0.555              | 0.81%                |                   | Capsula N°: -                |
| 35  | 7.280  | 0.800             | 0.0108               | 0.989                   | 10.520          | 0.692              | 1.08%                |                   | Pes. Cap. + s.h: 106.250 grs |
| 42  | 8.736  | 1.000             | 0.0135               | 0.987                   | 10.548          | 0.828              | 1.35%                |                   | Pes. Cap. + s.s: 68.550 grs  |
| 50  | 10.400 | 1.200             | 0.0162               | 0.984                   | 10.577          | 0.983              | 1.62%                |                   | Peso de agua: 37.700 grs     |
| 60  | 12.480 | 1.400             | 0.0188               | 0.981                   | 10.606          | 1.177              | 1.88%                |                   | Peso capsula: - grs          |
| 69  | 14.352 | 1.600             | 0.0215               | 0.978                   | 10.635          | 1.349              | 2.15%                |                   | Peso suelo seco: 68.550 grs  |
| 76  | 15.808 | 1.800             | 0.0242               | 0.976                   | 10.665          | 1.482              | 2.42%                |                   | Humedad %: 54.996 %          |
| 83  | 17.264 | 2.000             | 0.0269               | 0.973                   | 10.694          | 1.614              | 2.69%                |                   |                              |
| 88  | 18.304 | 2.200             | 0.0296               | 0.970                   | 10.724          | 1.707              | 2.96%                |                   |                              |
| 91  | 18.928 | 2.400             | 0.0323               | 0.968                   | 10.754          | 1.760              | 3.23%                |                   |                              |
| 93  | 19.344 | 2.600             | 0.0350               | 0.965                   | 10.784          | 1.794              | 3.50%                |                   |                              |
| 94  | 19.552 | 2.800             | 0.0377               | 0.962                   | 10.814          | 1.808              | 3.77%                |                   |                              |
| 95  | 19.760 | 3.000             | 0.0404               | 0.960                   | 10.844          | 1.822              | 4.04%                |                   |                              |
| 96  | 19.968 | 3.200             | 0.0431               | 0.957                   | 10.875          | 1.836              | 4.31%                |                   |                              |
| 97  | 20.176 | 3.400             | 0.0458               | 0.954                   | 10.905          | 1.850              | 4.58%                |                   |                              |
| 98  | 20.384 | 3.600             | 0.0485               | 0.952                   | 10.936          | 1.864              | 4.85%                |                   | Notas:                       |
| 98  | 20.384 | 3.800             | 0.0511               | 0.949                   | 10.967          | 1.859              | 5.11%                |                   | Muestra alterada             |
| 95  | 19.760 | 4.000             | 0.0538               | 0.946                   | 10.999          | 1.797              | 5.38%                |                   |                              |
| <b>Esfuerzo axial (Kg/cm<sup>2</sup>) :</b> |        |                   |                      |                         |                 | <b>1.864</b>       | <b>4.85%</b>         |                   |                              |

**Esfuerzo Deformacion**



**Dibujo del especimen de falla**



## Mecanica de suelos (ESPECIMEN 2)

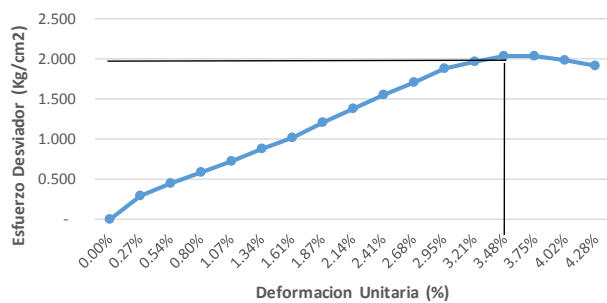
|                |  |   |                         |
|----------------|--|---|-------------------------|
| OBRA:          | Cimentacion de Puente en el Rio Laja               | <b>Prueba de Compresion Triaxial Rapida</b> |                         |
| LOCALIZACION:  | Santa Fe de la Purisima municipio de Cortazar Gto. |   |                         |
| SONDEO N°:     | 2  | ENSAYO N°:                                  | 1                       |
| MUESTRA N°:    | 1  | PROF:                                       | 2.80 a 3.00m            |
| CALSIFICACION: | Arcilla Color Café Claro                           | $\sigma_3 =$                                | 1.00 kg/cm <sup>2</sup> |

### PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL

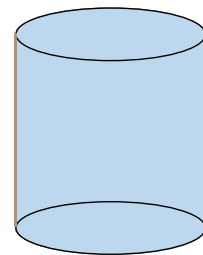
|               |       |                    |                          |          |                    |        |         |                     |                 |
|---------------|-------|--------------------|--------------------------|----------|--------------------|--------|---------|---------------------|-----------------|
| Ds:           | 3.680 | cm                 | As:                      | 10.636   | cm <sup>2</sup>    | Wm:    | 107.500 | grs                 |                 |
| Dc:           | 3.690 | cm                 | Ac:                      | 10.694   | cm <sup>4</sup>    | Vm:    | 79.165  | cm <sup>3</sup>     |                 |
| Di:           | 3.650 | cm                 | Ai:                      | 10.463   | cm <sup>2</sup>    | δm:    | 1.358   | Ton/m <sup>3</sup>  |                 |
| Presion Conf: | 1.000 | Kg/cm <sup>2</sup> | Cte. de Anillo de Carga: | 0.208    | Kg/cm <sup>2</sup> | Radio: | 5.510   | grs/cm <sup>2</sup> |                 |
| Hm:           | 7.470 | cm                 | Am:                      | As+4A+Ai | =                  | 63.88  | =       | 10.646              | cm <sup>2</sup> |
|               |       |                    |                          | 6        |                    | 6      |         |                     |                 |

| 1   | 2                              | 3     | 4                 | 5                    | 6                       | 7               | 8                  |                   |                 |  |
|---|--------------------------------|-------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------|--|
| Lectura de micrometro de deformacion        | Lectura de micrometro de carga | Carga | Deformacion total | Deformacion unitaria | 1- Deformacion unitaria | Area coregida   | Esfuerzo           | Contenido de agua |                 |  |
| mm  | mm                             | Kg    | mm                | -                    | -                       | cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> |                   |                 |  |
| 0   | -                              | -     | -                 | 1.000                | 10.646                  | -               | 0.00%              |                   |                 |  |
| 15  | 3.120                          | 0.200 | 0.003             | 0.997                | 10.675                  | 0.292           | 0.27%              | Capsula N°:       | -               |  |
| 23  | 4.784                          | 0.400 | 0.005             | 0.995                | 10.703                  | 0.447           | 0.54%              | Pes. Cap. + s.h:  | 106.650 grs     |  |
| 30  | 6.240                          | 0.600 | 0.008             | 0.992                | 10.732                  | 0.581           | 0.80%              | Pes. Cap. + s.s:  | 69.140 grs      |  |
| 37  | 7.696                          | 0.800 | 0.011             | 0.989                | 10.761                  | 0.715           | 1.07%              | Peso de agua:     | 37.510 grs      |  |
| 45  | 9.360                          | 1.000 | 0.013             | 0.987                | 10.790                  | 0.867           | 1.34%              | Peso capsula:     | - grs           |  |
| 53  | 11.024                         | 1.200 | 0.016             | 0.984                | 10.820                  | 1.019           | 1.61%              | Peso suelo seco:  | 69.140 grs      |  |
| 63  | 13.104                         | 1.400 | 0.019             | 0.981                | 10.849                  | 1.208           | 1.87%              | Humedad %:        | <u>54.252</u> % |  |
| 72  | 14.976                         | 1.600 | 0.021             | 0.979                | 10.879                  | 1.377           | 2.14%              |                   |                 |  |
| 81  | 16.848                         | 1.800 | 0.024             | 0.976                | 10.909                  | 1.544           | 2.41%              |                   |                 |  |
| 90  | 18.720                         | 2.000 | 0.027             | 0.973                | 10.939                  | 1.711           | 2.68%              |                   |                 |  |
| 99  | 20.592                         | 2.200 | 0.029             | 0.971                | 10.969                  | 1.877           | 2.95%              |                   |                 |  |
| 104   | 21.632                         | 2.400 | 0.032             | 0.968                | 10.999                  | 1.967           | 3.21%              |                   |                 |  |
| 108   | 22.464                         | 2.600 | 0.035             | 0.965                | 11.030                  | 2.037           | 3.48%              |                   |                 |  |
| 108   | 22.464                         | 2.800 | 0.037             | 0.963                | 11.061                  | 2.031           | 3.75%              |                   |                 |  |
| 106   | 22.048                         | 3.000 | 0.040             | 0.960                | 11.091                  | 1.988           | 4.02%              |                   |                 |  |
| 102   | 21.216                         | 3.200 | 0.043             | 0.957                | 11.122                  | 1.907           | 4.28%              |                   |                 |  |
| <b>Esfuerzo axial (Kg/cm<sup>2</sup>) :</b> |                                |       |                   |                      |                         |                 | <b>2.037</b>       | <b>3.48%</b>      |                 |  |

**Esfuerzo Deformacion**



**Dibujo del especimen de falla**



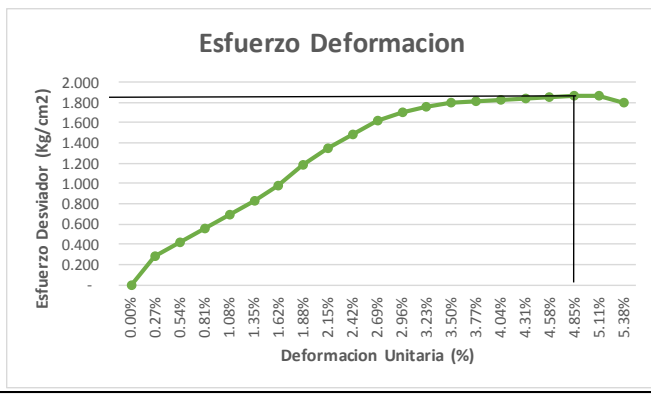
### Mecanica de suelos (ESPECIMEN 3)

|                |  |   |
|----------------|--|---|
| OBRA:          | Cimentacion de Puente en el Rio Laja               | <b>Prueba de Compresion Triaxial Rapida</b> |
| LOCALIZACION:  | Santa Fe de la Purisima municipio de Cortazar Gto. | $\sigma_3 = 1.50 \text{ kg/cm}^2$           |
| SONDEO N°:     | 2  |   |
| MUESTRA N°:    | 1  |   |
| CALSIFICACION: | Arcilla Color Café Claro                           |   |
| ENSAYO N°:     | 1  |   |
| PROF:          | 2.80 a 3.00m                                       |   |

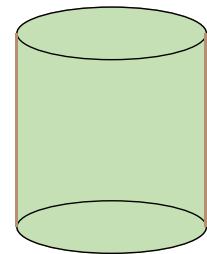
#### PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL

|               |                          |                          |  |        |                           |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--|--------|---------------------------|
| Ds:           | 3.750 cm                 | As:                      | 11.045 cm <sup>2</sup>                 | Wm:    | 109.900 grs               |
| Dc:           | 3.650 cm                 | Ac:                      | 10.463 cm <sup>2</sup>                 | Vm:    | 80.400 cm <sup>3</sup>    |
| Di:           | 3.690 cm                 | Ai:                      | 10.694 cm <sup>2</sup>                 | δm:    | 1.367 Ton/m <sup>3</sup>  |
| Presion Conf: | 1.500 Kg/cm <sup>2</sup> | Cte. de Anillo de Carga: | 0.208 Kg/cm <sup>2</sup>               | Radio: | 5.545 grs/cm <sup>2</sup> |
| Hm:           | 7.590 cm                 | Am:                      | $\frac{As+4A+Ai}{6} = \frac{63.59}{6}$ | =      | 10.599 cm <sup>2</sup>    |

| 1   | 2                              | 3     | 4                 | 5                    | 6                       | 7               | 8                  | Contenido de agua            |
|---|--------------------------------|-------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|
| Lectura de micrometro de deformacion        | Lectura de micrometro de carga | Carga | Deformacion total | Deformacion unitaria | 1- Deformacion unitaria | Area coregida   | Esfuerzo           |                              |
| mm  | mm                             | Kg    | mm                | -                    | -                       | cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> |                              |
| 0   | -                              | -     | -                 | 1.000                | 10.599                  | -               | 0.00%              |                              |
| 9   | 1.872                          | 0.200 | 0.003             | 0.997                | 10.627                  | 0.176           | 0.26%              | Capsula N°:                  |
| 16  | 3.328                          | 0.400 | 0.005             | 0.995                | 10.655                  | 0.312           | 0.53%              |                              |
| 23  | 4.784                          | 0.600 | 0.008             | 0.992                | 10.683                  | 0.448           | 0.79%              | Pes. Cap. + s.h: 109.560 grs |
| 30  | 6.240                          | 0.800 | 0.011             | 0.989                | 10.712                  | 0.583           | 1.05%              |                              |
| 35  | 7.280                          | 1.000 | 0.013             | 0.987                | 10.740                  | 0.678           | 1.32%              | Pes. Cap. + s.s: 71.970 grs  |
| 41  | 8.528                          | 1.200 | 0.016             | 0.984                | 10.769                  | 0.792           | 1.58%              |                              |
| 55  | 11.440                         | 1.400 | 0.018             | 0.982                | 10.798                  | 1.059           | 1.84%              | Peso de agua: 37.590 grs     |
| 63  | 13.104                         | 1.600 | 0.021             | 0.979                | 10.827                  | 1.210           | 2.11%              |                              |
| 71  | 14.768                         | 1.800 | 0.024             | 0.976                | 10.856                  | 1.360           | 2.37%              | Peso capsula: - grs          |
| 79  | 16.432                         | 2.000 | 0.026             | 0.974                | 10.886                  | 1.510           | 2.64%              |                              |
| 87  | 18.096                         | 2.200 | 0.029             | 0.971                | 10.915                  | 1.658           | 2.90%              | Peso suelo seco: 71.970 grs  |
| 95  | 19.760                         | 2.400 | 0.032             | 0.968                | 10.945                  | 1.805           | 3.16%              |                              |
| 103   | 21.424                         | 2.600 | 0.034             | 0.966                | 10.975                  | 1.952           | 3.43%              | Humedad %: 52.230 %          |
| 110   | 22.880                         | 2.800 | 0.037             | 0.963                | 11.005                  | 2.079           | 3.69%              |                              |
| 115   | 23.920                         | 3.000 | 0.040             | 0.960                | 11.035                  | 2.168           | 3.95%              | <b>Notas:</b>                |
| 117   | 24.336                         | 3.200 | 0.042             | 0.958                | 11.065                  | 2.199           | 4.22%              | Muestra alterada             |
| 117   | 24.336                         | 3.400 | 0.045             | 0.955                | 11.096                  | 2.193           | 4.48%              |                              |
| 114   | 23.712                         | 3.600 | 0.047             | 0.953                | 11.127                  | 2.131           | 4.74%              |                              |
| 112   | 23.296                         | 3.800 | 0.050             | 0.950                | 11.157                  | 2.088           | 5.01%              |                              |
| <b>Esfuerzo axial (Kg/cm<sup>2</sup>) :</b> |                                |       |                   |                      |                         |                 | <b>2.199</b>       | <b>4.22%</b>                 |



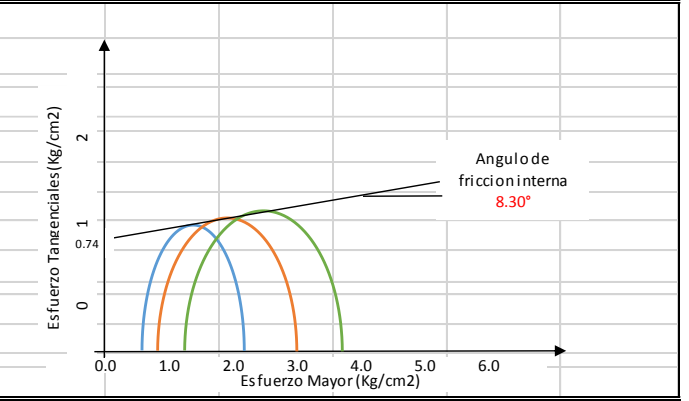
#### Dibujo del especimen de falla



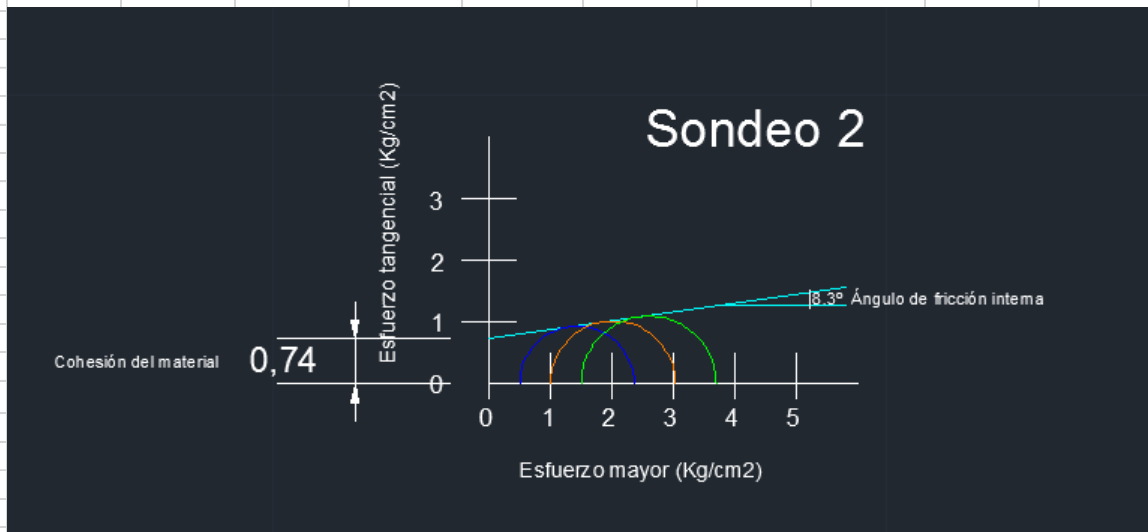
### Calculo para los Circulos de Mohr

|                |  |                          |   |
|----------------|--|--------------------------|---|
| OBRA:          | Cimentacion de Puente en el Rio Laja               |                          |   |
| LOCALIZACION:  | Santa Fe de la Purisima municipio de Cortazar Gto. | MUESTRA N°:              | 1 |
| SONDEO N°:     | 2  | ENSAYO N°:               | 1 |
| CALSIFICACION: |  | Arcilla Color Café Claro |   |
| PROF:          |  | 2.80 a 3.00m             |   |

| Prueba                               | Presion lateral inicial | Esfuerzo principal de rotura | Esfuerzo mayor     | Humedad natural    | Peso volumetrico   |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| No.                                  | Kg/cm <sup>2</sup>      | Kg/cm <sup>2</sup>           | Kg/cm <sup>2</sup> | %                  | Ton/m <sup>2</sup> |
| 1                                    | 0.50                    | 1.864                        | 2.364              | 54.996             | 1.379              |
| 1                                    | 1.00                    | 2.037                        | 3.037              | 54.252             | 1.358              |
| 1                                    | 1.50                    | 2.199                        | 3.699              | 52.230             | 1.367              |
| <b>Promedio:</b>                     |                         |                              |                    | <b>53.826</b>      | <b>1.368</b>       |
| <b>Resultados de ensayo triaxial</b> |                         |                              |                    |                    |                    |
| Cohesion c:                          |                         | 7.400                        | 0.740              | Kg/cm <sup>2</sup> |                    |
| Angulo de friccion $\phi$ :          |                         | 8.30 °                       |                    |                    |                    |



### Circulos de Morh realizados en AutoCad





## Capacidad de carga ultima

### Capacidad de Carga Terzaghi

| Datos obtenidos de Ensayo Triaxial                     |                  |      |        | Valores de Capacidad de Carga  |      |       |  |
|--|------------------|------|--------|--|------|-------|--|
| Descripción del suelo: <b>Arcilla color Café Claro</b> |                  |      |        | Nota: El ángulo de fricción interna debe convertirse en radianes   |      |       |  |
| Cohesión del suelo C:                                  |                  | 7.40 | Ton/m2 | $Nq = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} = 2.276$ |      |       |  |
| Ángulo de fricción interna $\phi$ :                    |                  | 8.30 | °      |  |      |       |  |
| Peso específico natural $\gamma$ :                     |                  | 1.37 | Ton/m3 |  |      |       |  |
| <b>Datos propuestos para diseño</b>                    |                  |      |        | Factores de capacidad de carga (admisibles) = $Nc, Ny$   |      |       |  |
| Base o diámetro del cimientto B:                       |                  | 7.00 | m      |  |      |       |  |
| Ancho de zapata A:                                     |                  | 3.50 | m      |  |      |       |  |
| Profundidad de desplante mínima previsible Df:         |                  | 4.00 | m      |  |      |       |  |
| Peralte real propuesto Zapata h o d:                   |                  | 0.40 | m      |  |      |       |  |
| <b>Ajuste de Ángulo de Fricción Interna</b>            |                  |      |        |  |      |       |  |
| L/B = 1 < 2  | Usar $\Phi_{tr}$ | 8.30 | < 35°  | Usar $\Phi_{ps} = \Phi_{tr}$   |      |       |  |
|  |                  |      |        | Factores de capacidad de carga por medio de tabla:   |      |       |  |
|  |                  |      |        |  | Nq : | 3.000 |  |
|  |                  |      |        |  | Nc : | 8.500 |  |
|  |                  |      |        |  | Ny : | 1.000 |  |

### Ecuacion de Terzaghi (Cimentacion Rectangular)

| Capacidad de Carga                               |  |        |                                  |
|--|--|--------|----------------------------------|
| Factor de resistencia FR:                        |  | 0.35   |                                  |
| $p = q = \gamma Df$                              |  |        | $q_{neta(u)} = q_u - q$          |
| Presion ejercida en el suelo p=q:                |  | 5.47   | Ton                              |
| $q_{ult} = 1.3cNc + \gamma DfNq + 0.4\gamma BNy$ |  |        |                                  |
| Capacidad de carga ultima $q_{ult}$ :            |  | 100.47 | Ton                              |
| $q_{adm} = q_{ult} * FR$                         |  |        | $q_{adm(neta)} = (q_u - q) * FR$ |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ :         |  | 35.16  | Ton                              |
|  |  |        | 33.25                            |

### Capacidad de Carga Mayerhof

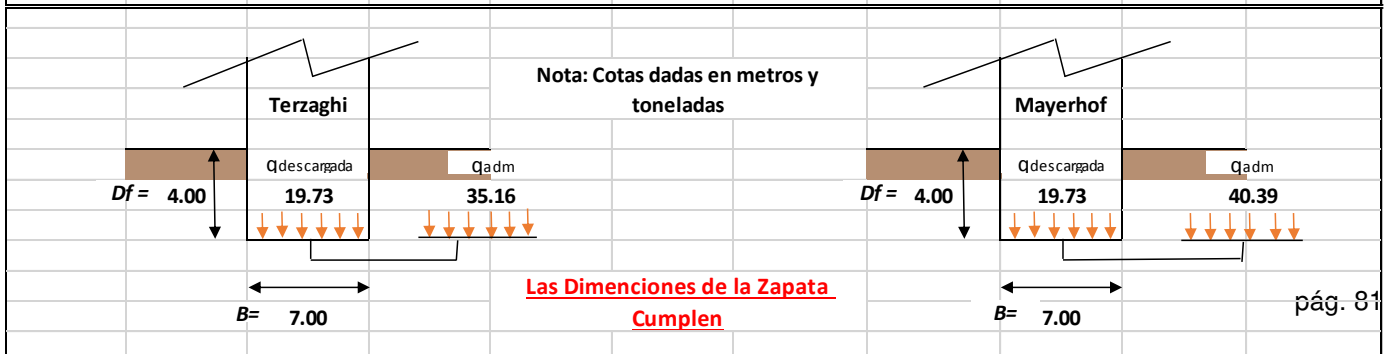
|                                 |  |       |                                  |  |       |
|---------------------------------|--|-------|----------------------------------|--|-------|
| Factores de capacidad de carga: | $Nq = tg^2 \left[ 45 + \frac{\phi}{2} \right] e^{\pi \tan \phi} =$ | 2.115 | Factores de profundidad:         | $dc = Fcd = 1 + 0.2\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$ | 1.132 |
|                                 | $Nc = (Nq - 1) \cot \phi =$  | 7.643 |                                  | $dq = 1 + 0.1\sqrt{Kp} \frac{Df}{B} =$       | 1.066 |
|                                 | $Ny = (Nq - 1) 1.4 \tan \phi =$                                    | 0.229 |                                  | $dy = dq =$                                  | 1.066 |
|                                 | $Kp = \gamma g^2 (45 + \phi/2) =$                                  | 1.337 | Factores de inclinacion de carga | Ángulo de inclin. $\Theta$ :                 | 0.000 |
| Factores de forma:              | $Sc = Fcs = 1 + 0.2Kp \frac{B}{L} =$                               | 1.535 |                                  | $Fci = Fqi = (1 - \theta/90)^2 =$            | 1.000 |
|                                 | $Sq = Fys = 1 + 0.1Kp \frac{B}{L} =$                               | 1.267 |                                  | $Fyi = (1 - \theta/\phi)^2 =$                | 1.000 |
|                                 | $Sq = Sy =$  | 1.267 |                                  |  |       |

### Capacidad de Carga por la Ecuacion General

|  |  |  |  |        |     |
|--|--|--|--|--------|-----|
| Capacidad de Carga ultima $q_u$ :        | $q_u = CNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + 1/2\gamma BNyFysFydFyi =$ |  |  | 115.41 | Ton |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ : | $q_{adm} = q_{ult} * FR$                                       |  |  | 40.39  | Ton |

### Tabla de Comparacion de Resultados

| Metodo   | Nq    | Nc    | Ny    | Df/B | FR   | qult   | qadm  |
|----------|-------|-------|-------|------|------|--------|-------|
| Terzaghi | 2.276 | 8.744 | 1.018 | 1.14 | 0.35 | 100.47 | 35.16 |
| Mayerhof | 2.115 | 7.643 | 0.229 | 1.14 | 0.35 | 115.41 | 40.39 |



## Capacidad de carga ultima afectada por nivel freatico

### Capacidad de Carga Terzaghi

| Datos obtenidos de Ensayo Triaxial                     |                         |             |        | Valores de Capacidad de Carga                                      |  |                             |        |       |  |       |  |
|--|-------------------------|-------------|--------|--|--|-----------------------------|--------|-------|--|-------|--|
| Descripción del suelo: <b>Arcilla color Café Claro</b> |                         |             |        | Nota: El ángulo de fricción interna debe convertirse en radianes   |  |                             |        |       |  |       |  |
| Cohesión del suelo C:                                  |                         | 7.40        | Ton/m2 | Factores de capacidad de carga (admisible) = $N_c, N_q, N_y$       | $N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi - \phi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} =$ | 2.276                       |        |       |  |       |  |
| Ángulo de fricción interna $\phi$ :                    |                         | 8.30        | °      |  |  | $N_c = \cot\phi(N_q - 1) =$ | 8.744  |       |  |       |  |
| Peso específico natural $\gamma$ :                     |                         | 1.37        | Ton/m3 |  |  |                             | 14.647 |       |  |       |  |
| Datos propuestos para diseño                           |                         |             |        | $N_y = \frac{1}{2}\left[\frac{Kpy}{\cos^2\phi} - 1\right]tg\phi =$ |  |                             |        |       |  |       |  |
| Base o diámetro del cimientto B:                       |                         | 7.00        | m      |  |  |                             |        | 1.018 |  |       |  |
| Ancho de zapata A:                                     |                         | 3.50        | m      | Factores de capacidad de carga por medio de tabla:                 |  |                             |        |       |  |       |  |
| Profundidad de desplante mínima previsible Df:         |                         | 4.00        | m      |  |  |                             |        | Nq :  |  | 3.000 |  |
| Peralte real propuesto Zapata h o d:                   |                         | 0.40        | m      |  |  |                             |        | Nc :  |  | 8.500 |  |
| Ajuste de Ángulo de Fricción Interna                   |                         |             |        | Factores de capacidad de carga por medio de tabla:                 |  |                             |        |       |  |       |  |
| L/B = 1 < 2  | Usar $\Phi_{tr}$        | 8.30        | < 35°  |  |  |                             |        | Ny :  |  | 1.000 |  |
|  | Usar $\Phi_{ps} = \Phi$ |             |        |  |  |                             |        |       |  |       |  |
|  |                         | Usar $\Phi$ |        |  |  |                             |        |       |  |       |  |

### Ecuacion de Terzaghi (Cimentacion Rectangular)

| Capacidad de Carga                                   |  |        |                                  |
|--|--|--------|----------------------------------|
| Factor de resistencia FR:                            |  | 0.35   |                                  |
| $p = q = \gamma Df$                                  |  |        | $q_{neta(u)} = q_u - q$          |
| Presión ejercida en el suelo p=q:                    |  | 5.47   | Ton                              |
| $q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma DfN_q + 0.4\gamma B N_y$ |  |        |                                  |
| Capacidad de carga ultima $q_{ult}$ :                |  | 100.47 | Ton                              |
| $q_{adm} = q_{ult} * FR$                             |  |        | $q_{adm(neta)} = (q_u - q) * FR$ |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ :             |  | 35.16  | Ton                              |
|  |  |        | 33.25                            |

### Capacidad de Carga Mayerhof

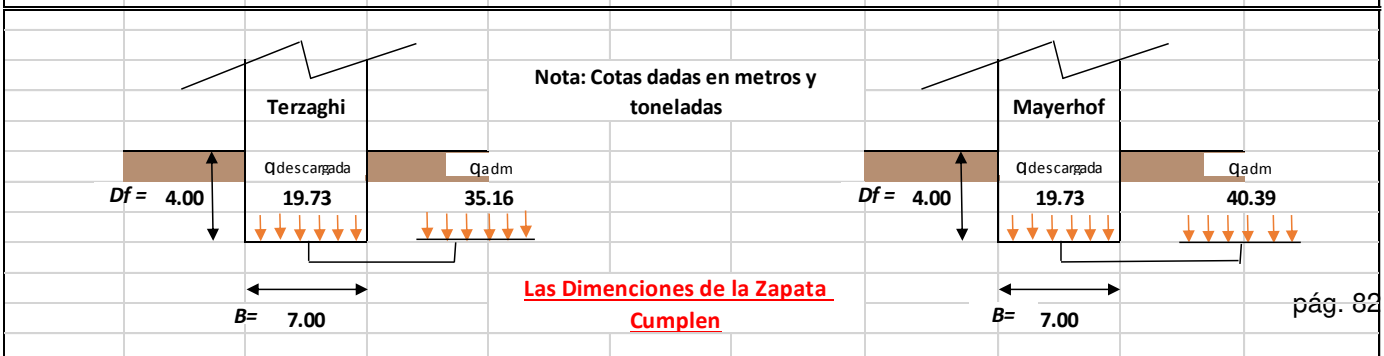
|                                 |  |       |                                  |   |       |
|---------------------------------|--|-------|----------------------------------|---|-------|
| Factores de capacidad de carga: | $N_q = tg^2\left[45 + \frac{\phi}{2}\right]e^{\pi tg\phi} =$ | 2.115 | Factores de profundidad:         | $dc = Fcd = 1 + 0.2\sqrt{Kp}\frac{Df}{B} =$ | 1.132 |
|                                 | $N_c = (N_q - 1)cot\phi =$                                   | 7.643 |                                  | $dq = 1 + 0.1\sqrt{Kp}\frac{Df}{B} =$       | 1.066 |
|                                 | $N_y = (N_q - 1)1.4tg\phi =$                                 | 0.229 |                                  | $dy = dq =$                                 | 1.066 |
| Factores de forma:              | $Kp = \gamma g^2(45 + \phi/2) =$                             | 1.337 | Factores de inclinacion de carga | Ángulo de inclin. $\Theta$ :                | 0.000 |
|                                 | $Sc = Fcs = 1 + 0.2Kp\frac{B}{L} =$                          | 1.535 |                                  | $Fci = Fqi = (1 - \theta/90)^2 =$           | 1.000 |
|                                 | $Sq = Fys = 1 + 0.1Kp\frac{B}{L} =$                          | 1.267 |                                  | $Fyi = (1 - \theta/\phi)^2 =$               | 1.000 |
|                                 | $Sq = Sy =$  | 1.267 |                                  |   |       |

### Capacidad de Carga por la Ecuacion General

|  |   |        |     |
|--|---|--------|-----|
| Capacidad de Carga ultima $q_u$ :        | $q_u = CNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + 1/2\gamma B N_y Fys Fyd Fyi =$ | 115.41 | Ton |
| Capacidad de carga admisible $q_{adm}$ : | $q_{adm} = q_{ult} * FR$  | 40.39  | Ton |

### Tabla de Comparacion de Resultados

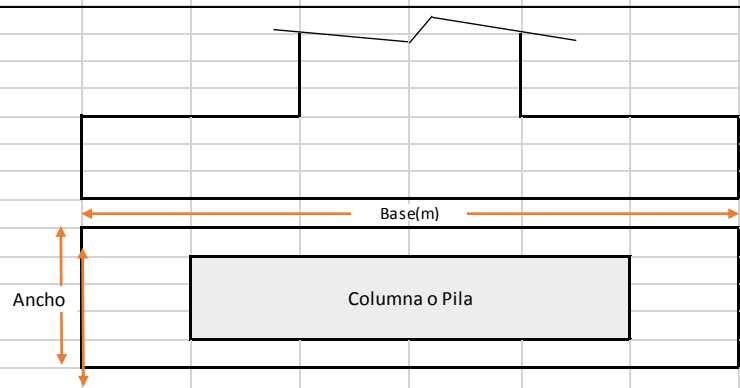
| Metodo   | Nq    | Nc    | Ny    | Df/B | FR   | qult   | qadm  |
|----------|-------|-------|-------|------|------|--------|-------|
| Terzaghi | 2.276 | 8.744 | 1.018 | 1.14 | 0.35 | 100.47 | 35.16 |
| Mayerhof | 2.115 | 7.643 | 0.229 | 1.14 | 0.35 | 115.41 | 40.39 |



## DISEÑO DE CIMENTACION SUPERFICIAL

### ZAPATA AISLADA RECTANGULAR

| Datos para diseño               |          |                    |
|---------------------------------|----------|--------------------|
| Base de zapata B:               | 7.00     | m                  |
| Ancho de zapata A:              | 2.50     | m                  |
| Recubrimiento r:                | 0.05     | m                  |
| Largo de columna o pila C1:     | 6.10     | m                  |
| Ancho de columna o pila C1:     | 0.80     | m                  |
| Elementos mecanicos             |          |                    |
| Descarga en la col. Pr:         | 483.48   | Ton                |
| Peso propio de la cim. P.P:     | 35.70    | Ton                |
| Carga Adm.e o resistente. Qadm: | 40.39    | Ton/m <sup>2</sup> |
| Propiedades de material         |          |                    |
| Esfuerzo minimo de fluencia fy: | 250.00   | kg/cm <sup>3</sup> |
| Resistencia del concreto f'c:   | 4,200.00 | kg/cm <sup>3</sup> |



### Carga total que baja o descarga, Area necesaria y Carga axial de diseño

|                            |            |               |  |                             |
|----------------------------|------------|---------------|--|-----------------------------|
| Descarga en la columna Pr: | 483.48     | Ton           | Se usara una zapata rectangular de base B y un ancho A |                             |
| Peso propio de cim. P.P:   | 35.70      | Ton           | Area necesaria de cim. $Anc = Pu/qadm$                 | Anc: 17.99 m <sup>2</sup>   |
| W total:                   | 519.18     | Ton           | Area necesaria de cim. $Anr = B*A$                     | Anr: 17.50 m <sup>2</sup>   |
| Carga axial de diseño Pu   |            |               | Anr: 17.50   | ≥ Anc: 17.99 m <sup>2</sup> |
| <b>Pu = FcP</b>            | <b>Pu:</b> | <b>726.86</b> | <b>No Cumple condicion</b>                             |                             |

La presion de contacto para el dimencionamiento de la zapata se calcula sin considerar el peso propio de la cimentacion

|                         |                  |     |       |                          |
|-------------------------|------------------|-----|-------|--------------------------|
| Presion de contacto Ps: | $Ps = FcP / Anr$ | Ps: | 38.68 | Ton/m <sup>2</sup>       |
| Ps:                     | 38.68            | <   | Qadm: | 40.39 Ton/m <sup>2</sup> |
| <b>Cumple condicion</b> |                  |     |       |                          |

### Determinacion de peralte efectivo de la zapata por resistencia a la FALLA POR PUNZAMIENTO

Se usara una zapata de presion constante

La seccion critica es un perimetro a una distancia de la mitad del peralte efectivo de la zapata medida desde el paño de la columna

|   |                             |               |      |      |           |                    |
|---|-----------------------------|---------------|------|------|-----------|--------------------|
| La fuerza cortante que actua de la seccion critica Va:                  | $Vcr = Ps(Anr^2 - (C+d)^2)$ | C:            | 0.60 | Vcr: | 595.56    | Ton/m <sup>2</sup> |
|   | Suponiendo un peralte d     | d:            | 0.85 |      |           |                    |
| El area de la seccion critica vale:                                     | $S = 4d(C+d)$               |               |      | S:   | 49,300.00 | cm <sup>2</sup>    |
| Esfuerzo cortante ultimo:   | $Vu = Vcr/S$                |               |      | Vu:  | 12.08     | Kg/cm <sup>2</sup> |
| Por reglamento, el esfuerzo cortante para la falla de punzamiento vale: |                             | $Vr = FrVF*c$ |      | Vr:  | 11.31     | Kg/cm <sup>2</sup> |

#### 2da interaccion

#### Refuerzo por flexion

|                             |      |           |                    |   |     |        |       |
|-----------------------------|------|-----------|--------------------|---|-----|--------|-------|
| Suponiendo                  | d:   | 0.85      | m                  | Momento ultimo $Mu = PsB(B-C)^2/8$  | Mu: | 259.70 | Ton-m |
| $Vcr = Ps(Anr^2 - (C+d)^2)$ | Vcr: | 595.56    | Ton/m <sup>2</sup> | Para la seccion sobreesforzada se puede calcular el area de acero con la formula apoximada siguiente: |     |        |       |
| $S = 4d(C+d)$               | S:   | 49,300.00 | cm <sup>2</sup>    | Area de acero $As = Mu / Frfyjd$  | As: | 202.07 | Ton-m |
| $Vu = Vcr/S$                | Vu:  | 12.08     | Kg/cm <sup>2</sup> | <b>Peralte Correcto</b>   |     |        |       |

Usando varilla del # 8.00 5.07 cm<sup>2</sup>

Usando varilla del # 10.00 7.94 cm<sup>2</sup>

|  |              |       |       |    |                     |              |       |       |    |
|--|--------------|-------|-------|----|---------------------|--------------|-------|-------|----|
| Separacion de acero                          | $S = BAB/As$ | 10.49 | 12.00 | cm | Separacion de acero | $S = BAB/As$ | 16.44 | 17.00 | cm |
| <b>Se usaran varillas del # 8.00 @ 12.00</b> |              |       |       |    |                     |              |       |       |    |

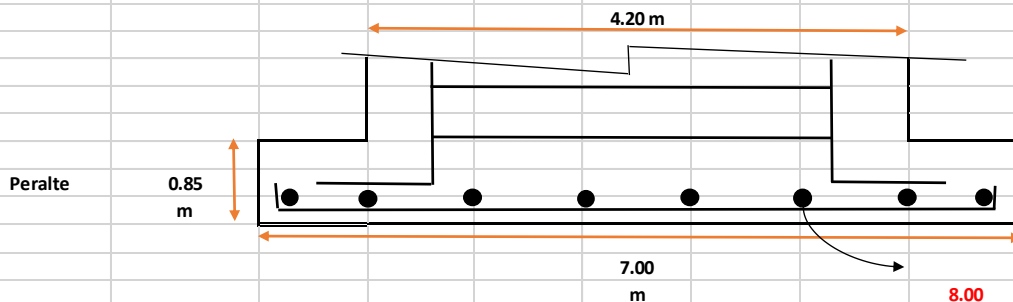
|                            |                 |    |        |                        |        |        |       |        |                 |
|----------------------------|-----------------|----|--------|------------------------|--------|--------|-------|--------|-----------------|
| Cuatian de acero           | $P = Ab/Sd$     | P: | 0.0050 | Por cambio volumetrico | P:     | 0.0020 | <     | 0.0050 |                 |
| Cuantia minimo por flexion | $P = 07Vf'c/fy$ | P: | 0.0026 | P:                     | 0.0050 | <      | Pmin: | 0.0026 | <b>Correcto</b> |

Nota: Si P es menor que Pmin se podra utilizar el minimo que en este caso es 0.01, si no es asi debera cambiar la seccion de la zapata.

Peralte total de la zapata

$$h = d + dr / 2 + r$$

h: 92.54 95.00 cm



Se usaron varillas de # 8.00 @ 12.00 cm  
En ambos sentidos

## CONCLUSION

Esta investigación está enfocada en la cimentación superficial para la propuesta del puente carretero de la comunidad Santa Fe de la Purísima, Rio Laja, tramo: Cortazar - Celaya, la cual desarrollé desde la selección de la ubicación del sitio de proyecto para poder realizar una buena propuesta de diseño de puente estructural con base a la forma del terreno, con esto propusé el puente para la bajada de cargas.

Una vez que seleccioné el lugar y di la ubicación del puente carretero realicé la propuesta de diseño y así pude hacer el análisis de cargas para el proyecto, enseguida tomé muestras del material en los taludes para saber el tipo de material que se tenía rápidamente, después realicé sondeos en ambos taludes para saber mejor y más acertadamente la estratigráfica y clasificación del material con el que trabaje y pude obtener la capacidad de carga resistente del suelo en la que se desplataría mi cimentación.

Los sondeos los realicé a cielo abierto a una profundidad promedio de 3.00 metros aproximadamente de los cuales obtuve dos muestras inalteradas de material para someterlas a carga en la triaxial, pero al tratar de realizar los especímenes con la primera muestra inalterada me di cuenta de que el material no se podía labrar lo cual tuve que optar por re moldear y sacar los especímenes para el sondeo 1 y al ver que el material del sondeo 2 presentaba las mismas características realice lo mismo y de esa manera hice los especímenes que se sometieron a carga.

Con los datos obtenidos de la prueba triaxial saque los resultados del ángulo de fricción interna y cohesión de cada material respecto al sondeo necesario y así pude calcular la capacidad de carga admisible para ambas muestras.

El proyecto lo fui realizando poco a poco como mencioné anteriormente, aunque se me fue dificultado al paso que iba sacando las muestras en campo y realizado las pruebas en laboratorio.

## RECOMENDACIONES DE PRUEBAS EN CAMPO Y LABORATORIO.

**Las siguientes recomendaciones se muestran a continuación:**

**1: Realizar el sondeo a una profundidad adecuada:** Ya que al tener nivel de aguas consideradas perjudicaba mucho escavar, así que tuve que esperar a que los niveles de aguas bajaran y estuviéramos en tiempos de sequias para que no fuera a llover y dañar la excavación o que pudiese saturarla.

## **2: Tratar de sacar la muestra de cubo inalterada de 25x25x25 sin que se agriete del fondo:**

Es muy difícil poder escavarla desde abajo por el tamaño del excavación de 1.00 x 1.00, esto impedía el poder maniobrar bien en la parte de abajo y hacia muy difícil sacar la muestra de cubo.

**3: Labrar el cubo:** Ya que al mínimo agrietamiento ya no se podría sacar el espécimen, el material se agrietaba mucho y se desmoronaba muy fácil.

## **A CONTINUACIÓN SE MUESTRAN LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES A TOMAR PARA FINES CONSTRUCTIVOS.**

Las recomendaciones siguientes se realizaron para fines constructivos en un futuro ya que al presentarse varios factores en el proceso de esta investigación de tesis, me han llevado o encaminado a un tema diferente que es Cimentación profunda lo cual en este proyecto no se pretende analizar.

EL principal objetivo de esta investigación es la aplicación y comportamiento de una cimentación superficial en este tramo carretero sobre en cauce Rio Laja, es por eso que se habla meramente de este tipo de cimentación y se tome como recomendación la afectación de nivel freático ya que si no hubiese sido de esa manera me hubiese entrado o desviado de lo que se pretende en este proyecto de investigación de tesis, cabe mencionar que para fines constructivos como se menciona en el párrafo anterior, se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos que se muestran a continuación para no dejar a un lado estas observaciones.

La cimentación superficial es el tema principal de esta investigación por este motivo se añadió estas recomendaciones y observaciones en anexos para tomarse en cuenta en un proceso futuro como se mencionó anteriormente.

### **1: Revisar la Capacidad de carga por Niveles freáticos como se muestra a continuación.**

Cálculos realizados para la obtención del pre dimensionamiento de una cimentación afectada por niveles freáticos.

Al tomarse en cuenta un nivel freático es necesario saturar el suelo para después sumergirlo y obtener una capacidad de carga en estas condiciones.

Tomando en cuenta nivel freático en la capacidad de carga tome el valor del peso específico sumergido ya que esto me ayudaría a encontrar la capacidad de carga última real respecto a un suelo expuesto a niveles freáticos reales.

Para obtener un peso específico sumergido se realizaron los siguientes cálculos y se viera la afectación que le produce a la capacidad de carga para de esa manera darse a la idea del pre dimensionamiento que arrojaría para una cimentación superficial.

$$\text{Relacion de vacios: } e = \left( \frac{S_s(1+w)Y_o}{Y_m} \right) - 1$$

1. Calculo de para el peso específico de la muestra ( $Y_m$ ).

Se realizó una prueba en laboratorio (Prueba con parafina) tomando una pequeña muestra inalterada del material obtenido en capo para el sondeo.

- Se tomó la muestra del material inalterado obtenido en campo.
- Se pesó la muestra sin parafina  
Peso de la muestra  $W_m = 121.80$  gr.
- Se calentó la parafina hasta quedar liquida.
- Se metió la muestra cubriéndola completamente de parafina.
- Se pesó la muestra con parafina  
Peso de la muestra con parafina ( $W_{m+p}$ )= $130.50$  gr.
- Se introdujo en un recipiente lleno de agua para obtener el volumen de la muestra.  
Datos del recipiente:                      Área =  $169.85$  cm<sup>2</sup>  
Radio =  $7.35$  cm                              Peso específico de la parafina ( $Y_p$ ).=  $0.87$  gr/cm<sup>3</sup>  
Perímetro =  $46.20$  cm                      Altura que subió H =  $0.50$  cm  
Diámetro =  $14.71$  cm
- Se sacó el volumen de la muestra con y sin parafina.  
Volumen de la muestra con parafina ( $V_{m+p}$ ) =  $84.93$  cm<sup>3</sup>  
Volumen de la parafina  $V_p = 10.00$  cm<sup>3</sup>  
Volumen de la muestra  $V_m = 74.93$  cm<sup>3</sup>
- Se obtuvo el peso específico de la muestra una vez obtenido los valores anteriores mediante la siguiente formula:

$$\text{Peso especifico de la muestra: } Y_m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{121.80 \text{ gr}}{74.93 \text{ cm}^3} = 1.63 \text{ gr/cm}^3$$

- Se procedió a sacar la relación de vacíos mediante la siguiente formula en la cual se despejo ( $e$ ) para obtener el valor.

$$\text{Peso especifico de la muestra: } Y_m = \frac{S_s(1+w)Y_o}{1+e}$$

$$\text{Relacion de vacios: } e = \left( \frac{S_s(1+w)Y_o}{\gamma_m} \right) - 1$$

Peso específico de la muestra  $\gamma_m = 1.49 \text{ ton/m}^3$

Humedad natural  $w = 26 \%$

Peso específico del agua  $Y_o = 1.00 \text{ ton/m}^3$

Peso específico relativo  $S_s = 2.5 < S_s < 2.7 = 2.6$

$$\text{Relacion de vacios: } e = \left( \frac{(2.6)(1+0.26)(1.0)}{1.49} \right) - 1 = 1.20$$

- Se obtiene el peso específico saturado de la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Peso específico de la muestra: } \gamma_{sat} = \frac{S_s(1+W_{sat})Y_o}{1+e}$$

Humedad natural  $W_{sat} = 26 \%$

Peso específico del agua  $Y_o = 1.00 \text{ ton/m}^3$

Peso específico relativo  $S_s = 2.5 < S_s < 2.7 = 2.6$

Relación de vacíos  $e = 1.20$

$$\text{Peso saturado: } W_{sat} = \frac{e}{S_s} = \frac{1.20}{2.60} = 0.46 \text{ Ton}$$

$$\text{Peso específico de la muestra: } \gamma_{sat} = \frac{(2.6)(1+0.46)(1)}{(1+1.20)} = 1.73 \text{ Ton/m}^3$$

- Se obtiene el peso específico saturado sumergido de la muestra mediante la siguiente fórmula:

Para un grado de saturación (Gr) del 100%

$$\text{Peso específico saturado sumergido } \gamma_{\text{sat}}' = \gamma_{\text{sat}} - 1 = 1.73 - 1 = 0.73 \text{ ton/m}^3$$

Una vez que se a obtenido el peso específico saturado sumergido se procedió a sustituir en la fórmula de capacidad de carga por Terzaghi.

$$q_c = \frac{2}{3}cN_c + \gamma D_f N_q + 0.4\gamma B N_y = \frac{2}{3}cN_c + \gamma_{\text{sat}}' D_f N_q + 0.4\gamma_{\text{sat}}' B N_y$$

Peso específico saturado sumergido  $\gamma_{\text{sat}}' = 0.73 \text{ Ton/m}^3$

Factor de carga  $N_c = 16.558$

Profundidad de desplante  $D_f = 4.00 \text{ m}$

Factor de carga  $N_q = 6.701$

Base de la cimentación  $B = 7.00 \text{ m}$

Factor de carga  $N_y = 4.701$

Cohesión  $c = 0.00 \text{ Ton/m}^3$

$$q_{ult} = \frac{2}{3}(0)(16.558) + (0.73)(4.000)(6.701) + 0.4(0.73)(7.000)(4.701) = 29.18 \text{ Ton/m}^2$$

Capacidad de carga admisible afectada por un nivel freático

Factor de Resistencia = 0.35

$$\text{Capacidad de carga admisible } q_{adm} = q_{ult} * FR = (29.18)(0.35) = 10.21 \text{ Ton/m}^2$$

## 2: Seleccionar un cemento adecuado para la protección de la estructura

**Características químicas del concreto para cimientos expuestos a sulfatos causados por un nivel freático considerable.**

El cemento hidráulico es un material inorgánico elaborado con piedra caliza sometido a un proceso especial en hornos para su obtención, el cual una vez elaborado es mezclado con agregados y agua para la elaboración del concreto hidráulico como lo conocemos.



*“El cemento portland es un conglomerado hidráulico que al ser hidratado se solidifica y endurece, se obtiene mediante un proceso industrial, pulverizado a un grado de finura determinando una mezcla fría de arcilla y materiales calcáreos, previamente sometido a cocción, que se denomina*

*Clinker portland al cual se le adiciona sulfato de calcio como anhidrita, yeso o hemihidrato para regular el tiempo de fraguado.” N-CMT-2-02-001/02*

Hay varios tipos de cementos utilizados hoy en día y entre ellos los siguientes:

- Cemento portland normal tipo I: Es el cemento que comúnmente conocemos y utilizamos.
- Cemento portland moderada resistencia a los sulfatos tipo II: Son aquellos destinados a obras en general donde son expuestos a moderados sulfatos como puentes, tuberías de concreto etc.
- Cemento portland bajo calor de hidratación tipo III: Este es un cemento de fraguado rápido ya que obtiene su resistencia en 7 días lo que un tipo I o II en 28 días, utilizado comúnmente en obras que será utilizadas rápidamente.
- **Cemento portland alta resistencia a los sulfatos tipo V**: Es un cemento con una alta resistencia a los sulfatos como su nombre lo dice pero con un secado más lento, utilizado en estructuras de concreto masivo.
- Cemento blanco: Es un cemento gris muy claro utilizado en acabados de albañilería en general.
- Cemento especial, bajo álcali: Son cementos elaborados con ciertas características inusuales usados en obras que tengan otro tipo de condiciones especiales.

Recomiendo utilizar un cemento resistente a los sulfatos para la cimentación superficial de este proyecto por las condiciones a las que será expuesto el material, para ello señalo los siguientes puntos a considerar para una buena elección de cemento portland.

1. Bajo en aluminato, ya que este nos genera expansión, rotura y ablandamiento del cemento
2. Una relación baja en agua/cemento para evitar tener más permeabilidad y nos pueda ayudar con un concreto más resistente a los sulfatos.

Las siguientes normas nos indican los cementos a utilizar en diferentes condiciones **NMX-C-414-ONNCCE-2004 y NORMA ASTM C-150.**

**Resistencia a los sulfatos:** *“Por ningún motivo se permitirá el uso de un concreto incapaz de resistir el embate de sales o corrosivos de cualquier especie (usar cemento tipo II y/o tipo V), por lo que se definirán las clases de cemento a utilizar mediante su especificación correspondiente en los planos y en las memorias de cálculo, atendiendo a la norma mexicana NMX C 1-80 o la ASTM C 150-81. En todo caso, la responsabilidad al respecto será del contratista y del Director Responsable de obra. El uso de otros aditivos para evitar efectos nocivos queda ampliamente justificado en estos casos y los fabricantes de los mismos serán los que asuman las responsabilidades que hubiere, siempre que se hayan seguido los lineamientos y especificaciones por ellos establecidas, debidamente descritas y asentadas en bitácora.”* (NTC, 2017)

Como menciono anteriormente pretendo usar un concreto resistente a los sulfatos y para ello he elegido un **Cemento Portland Tipo V** de alta resistencia a los sulfatos ya que se podría usar un tipo II pero necesitaría tener más información detallada de la cantidad de sulfatos a la que estaría expuesto el concreto y de esa manera elegirlo acertadamente, de lo contrario se utilizara ese cemento hasta demostrarse lo contrario.

Hay que tomar en cuenta que este tipo de cemento debe tener una buena supervisión y un buen control de material para su correcta elaboración de concreto hidráulico en campo, para que cumpla con las condiciones requeridas y necesarias, ya que por lo contrario de nada servirá las recomendaciones que se muestran.

### **3: Utilizar un relleno adecuado para proteger la cimentación.**

Es recomendable utilizar un material inerte poco permeable en el relleno de la cimentación para evitar lo más que se pueda un problema de socavación local y con ello un asentamiento diferencial en los cimientos, para esto muestro el siguiente material recomendado para un buen relleno y a las condiciones que se aplicaría.

Propiedades mecánicas del tepetate: Destaca su compactación o cementación, que se refleja en densidades aparentes altas (1.7-1.9 gr/cm<sup>3</sup>), una porosidad baja de 13 a 25%, así como conductividades hidráulicas y retención de humedad bajas.

El tepetate es un material inerte derivado de la arcilla color amarillento con características muy adecuadas en el uso de la construcción por ser un material muy absorbente, liviano, con agregado fino adecuado para una buena compactación la que ayudaría a tener menos porosidad en el suelo, algo muy bueno para evitar el daño socavación. Es recomendado el uso de este material y compactado a un 95% para un mejor comportamiento.

### **4: Utilizar concreto lanzado en el talud para protegerlo de socavación.**

La protección de taludes se ha presentado de muchas maneras para evitar diferentes tipos de problemas a largo del tiempo, entre una de ellas nos encontramos con concreto lanzado que consta de un agregado no máximo a 10 mm aplicado con un compresor de aire de 300 a 900 ft<sup>3</sup>/min a 100 lb/in<sup>2</sup>.

Este proceso lo recomiendo para la protección del talud ya que es eficiente rápido y económico.

#### **5: Proteger las pilas centrales por medio de un delantal y evitar socavaciones locales**

Una recomendación adicional sería la protección de las pilas centrales por medio de la construcción de un delantal si se llevara a cabo la construcción de cimentación superficial ya que la realización de un delantal adecuado podríamos evitar la socavación que es uno de los principales problemas que tienen los puentes ya que ello conlleva a los asentamientos diferenciales como se menciona en la recomendación anterior y a su vez es desplome por este tipo de asentamientos.

**Todas estas recomendaciones ya mencionadas me encaminan a realizar un diseño de cimentación profunda para este proyecto de puente carretero en cauce ya que nos ayudarían a evitar realizar esas recomendaciones anteriores y con ello un ahorro económico muy considerable que se podrían utilizar para otra observación más significativa, además de tener una mejor seguridad al peatón y mayor durabilidad de la estructura por la razón de tener un mejor material de desplante y agarre.**

Pero a pesar de los problemas que encontré los pude resolver y me di cuenta que es muy diferente en campo a como se muestran en los libros, así que para poder realizar la excavación tuve que esperar a que bajaran los niveles de agua y estuviéramos en tiempos secos.

Finalmente un problema que no esperaba toparme, fue realizar mucho más pruebas de las que pretendía, ya que ahora tendría que remoldear el material del sondeo 1 y con ello disgregar el material para pasarlo por mallas y quitarle la granulometría más grande, para igualarlo con las características mismas o más cercanas posibles obtenidas al principio cuando estaba inalterado el material y así crear un cilindro de material de donde pudiese sacar los especímenes que se someterían a carga.

Con todo lo mencionado anteriormente que he realizado y con las recomendaciones en campo y de fines constructivos en este proyecto de investigación, dejo abierto a mejoras tomando en cuenta los aspectos de recomendación dichos para su correcta ejecución, aunque me gustaría realizar una investigación de cimentación profunda un proyecto más complejo, además de esa manera dar

una propuesta muchísimo más acertada y segura para los peatones que lo transiten, asimismo realizar las investigaciones necesarias y faltantes para complementar el proyecto del puente carretero en su totalidad.

Como mencioné en el párrafo anterior creo que es importante tener una investigación de cimentación profunda para poder tener una solución adecuada ya que con los datos recopilados y la información obtenida al paso de la investigación nos ha encaminado a un diseño de cimentación profunda lo cual mejoraría otros aspectos como un mejor anclaje al suelo y evitaría asentamientos diferenciales además de socavaciones diferenciales en la cimentación, al menos es una recomendación que yo daría con respecto a lo que investigué, esto se ha venido mencionado desde las recomendaciones de fines constructivos.

Otra recomendación que me gustaría dar sería también realizar excavaciones más grandes y profundas para evitar los problemas como los que yo tuve y tener un mejor material con el que se pudiese trabajar sin ser sometido a remoldeo en el laboratorio ya que esto nos arrojan datos no tan precisos por ser una muestra alterada del material.

Y por último realizar una prueba de penetración estándar para poder compararla con el sondeo a cielo abierto y de esa manera elegir la más adecuada como mencioné con la cimentación profunda y superficial, así de esa manera elegir la mejor opción entre estos dos tipos de sondeos y saber cuál es mucho mejor a la hora de desarrollar el proyecto ejecutivo.

## Bibliografía

Construsuelos. (2005). *Manual de mecanica de suelos*. Celaya: Contrusuelos.

Estructural, S. M. (2017). *NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES 2017*. Distrito Federal.

Gobierno del Estado, G. (2010). *Cortazar*. Guanajuato: Linotipografica Davalos Hermanos, S.A de C.V. Obtenido de Cortazar Gto.

JACK C. McCORMAC, R. H. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor.

Juarez Badillo. (2005). *Mecanica de Suelos*. En E. J. Badillo, *Tomo 1 Fundamentos de la mecanica de suelos* (pág. 386). Mexico: Limusa.

Magdaleno, C. (24 de Julio de 2015). *Diseño de cimentaciones*. Obtenido de es.scribd.com: <http://es.scribd.com/doc/272512109/cimentaciones-carlos-magdaleno>

NTC. (2017). *Normas tecnicas complementarias para el diseño y ejecucion de obras e instalaciones hidraulicas*. CDMX: Gobierno Federal.

SCT. (2018). *Secretaria de Comunicaciones y Transportes* . Obtenido de SCT.

U.N.N.E. (2008). *Facultad de ingenieria*. Obtenido de Determinacion de limites.