



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Estudios de asentamientos por consolidación instantánea, primaria y secundaria en suelos limosos y arcillosos de la Ciudad de Zamora**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTOR:** Cango Apolo, Leonardo Javier.

**DIRECTOR:** Tapia Chávez, Ángel Guillermo, M.Sc.

**CODIRECTOR:** Soto Luzuriaga John Egverto, M.Sc.

**LOJA – ECUADOR**

**2017**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2017

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Master

Angel Guillermo Tapia

### **DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación **Estudios de asentamientos por consolidación instantánea, primaria y secundaria en suelos limosos y arcillosos de la Ciudad de Zamora** realizado por Leonardo Javier Cango Apolo ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2017

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Leonardo Javier Cango Apolo declaro ser autor del presente trabajo de titulación **Estudios de asentamientos por consolidación instantánea, primaria y secundaria en suelos limosos y arcillosos de la Ciudad de Zamora**, de la Titulación Ingeniería Civil, siendo M.Sc. Ángel Guillermo Tapia Chávez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición de Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen en con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.

f).....

Autor: Cango Apolo Leonardo Javier

Cedula 1150026712

## DEDICATORIA

Uno de los más grandes sueños de mi vida, una consecución y una de mis metas alcanzadas, mi vocación y pasión enteras, logran subir un peldaño más, concretándose con este proyecto de tesis, el cual no hubiese sido posible sin la colaboración y aliento, de magníficas personas las cuales se me ha otorgado el honor de conocer

Mi gratitud especial a Dios, que es ha sido la lumbrera en la toma de mis decisiones más difíciles y guía de mi camino.

A mis progenitores que a pesar de todos mis errores nunca me han abandonado y me han enarbolado, alentándome a seguir ante todas las dificultades, a ellos, les ofrezco mis humildes retribuciones por todo el esfuerzo y dedicación que han puesto en mí y en mis hermanos, los cuales de igual manera no se descuidaron ni ínfimamente de mí.

A todos mis maestros desde mi educación escolar hasta mis últimos días de educación superior, a los cuales les gratifico todo su empeño en la enseñanza de las ciencias y valores humanos, que forjaron en mi ser.

Por todo ello dedico esta investigación frente de mi anhelo y porque no, también, todos mis años de estudio, a ustedes.

.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la insigne, Universidad Técnica Particular de Loja, la cual me acogió y me ayudó a cumplir mi meta, brindándome a los mejores catedráticos que me formaron desde la aurora de mi especialidad

Y de manera peculiar quiero enaltecer, dando mi más sincera gratitud, a mi director y codirector de tesis, M. Sc Ángel Tapia y M. Sc John Soto que con su sapiencia, tiempo, paciencia y criterio supieron dirigirme, rectificarme y apoyarme para el culmen de mi proyecto

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	5
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Problema.....	6
1.3. Justificación.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.5. Metodología.....	7
1.5.1. Etapas de la Investigación.....	7
1.6. Área de estudio.....	8
CAPÍTULO II .....	11
2. MARCO REFERENCIAL.....	11
2.1. Arcillas.....	12
2.2. Limos.....	12
2.3. El índice de la liquidez (IL).....	12
2.4. Sedimentación de Suelos.....	12
2.5. Tasa de preconsolidación.....	12
2.6. Presión de Sobre Carga efectiva Insitu.....	13
2.7. Presión de Pre-Consolidación.....	13
2.8. Cálculo de Esfuerzos.....	14
2.9. Resistencia cortante no drenada.....	15
2.10. Módulo de Young o módulo elástico.....	16
2.11. Coeficiente de Poisson.....	17
2.12. Consolidación de Suelos.....	17
2.13. Consolidación unidimensional.....	17

2.14.	Consolidómetro de anillo fijo.....	18
2.15.	Asentamientos Elástico o inmediato.....	19
2.16.	Asentamientos por Consolidación primaria.....	22
2.17.	Asentamientos por Consolidación Secundaria.....	23
2.18.	Análisis por Fluorescencia de rayos X.....	25
CAPÍTULO III .....		26
3.	TRABAJO DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO .....	26
3.1.	Trabajo de campo.....	27
3.1.1.	Reconocimiento de las zonas de estudio.....	27
3.1.2.	Recolección de muestras de suelo.....	27
3.2.	Ensayos de laboratorio.....	28
3.2.1.	Granulometría.....	28
3.2.2.	Límites de Atterberg.....	28
3.2.3.	Consolidación.....	29
3.2.4.	Fluorescencia de rayos X.....	29
CAPÍTULO IV.....		30
4.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	30
4.1.	Caracterización de las muestras utilizadas .....	31
4.1.1.	Clasificación de Suelos.....	31
4.1.2.	Límites de Atterberg.....	32
4.1.3.	Ensayo de Consolidación.....	32
4.1.4.	Fluorescencia de Rayos X .....	33
4.2.	Análisis de Resultados .....	33
5.	CONCLUSIONES.....	47
6.	RECOMENDACIONES.....	48
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	49
8.	ANEXOS .....	51
8.1.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO .....	52
8.1.1.	Resultados ensayos de clasificación del suelo.....	52
8.1.2.	Resultados ensayos de consolidación del suelo.....	67
8.1.3.	Graficas ensayos de consolidación del suelo .....	99

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zona de Estudio Uno. ....	9
Figura 2: Zona de Estudio Dos.....	9
Figura 3: Zona de Estudio Tres. ....	10
Figura 4: Zona de Estudio Cuatro. ....	10
Figura 5: Esquema para determinar presión de sobre carga .....	13
Figura 6: CURVA DE CONSOLIDACION.....	14
Figura 7: Intervalo de $\beta$ para Arcilla .....	16
Figura 8: Grafico Deformación unitaria vs log de tiempo .....	19
Figura 9: Delimitación de la zona de estudio El Mirador. ....	27
Figura 10: Extracción de muestra Jorge Mosquera.....	27
Figura 11: Granulometría por Lavado. ....	28
Figura 12: Límites de Atterberg.....	28
Figura 13: Consolidómetro.....	29
Figura 14: Fluorescencia rayos X.....	29
Figura 15: Carta de plasticidad de Casagrande .....	31
Figura 16: Distribución de Ejes.....	34
Figura 17: Áreas de Aporte.....	35
Figura 18: Esquema interacción suelo - zapata.....	35
Figura 19: Esquema interacción suelo - zapata.....	41
Figura 20: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 0 - 1 Kg.....	99
Figura 21: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 1 - 2 Kg.....	100
Figura 22: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 2 - 4 Kg.....	101
Figura 23: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 4 - 8 Kg.....	102
Figura 24: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 8 - 16 Kg.....	103
Figura 25: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 16 - 32 Kg.....	104
Figura 26: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA – CARGA, DESCARGA Y RECARGA ..	105
Figura 27: ENSAYO CONSOLIDACIÓN BENJAMÍN CARRION – CARGA 0 – 1 Kg .....	106
Figura 28: ENSAYO CONSOLIDACIÓN BENJAMÍN CARRION – CARGA 1 – 2 Kg .....	107
Figura 29: ENSAYO CONSOLIDACIÓN BENJAMÍN CARRION – CARGA 2 – 4 Kg .....	108
Figura 30: ENSAYO CONSOLIDACIÓN BENJAMÍN CARRION – CARGA 4 – 8 Kg .....	109
Figura 31: ENSAYO CONSOLIDACIÓN BENJAMÍN CARRION – CARGA 8 – 16 Kg .....	110
Figura 32: ENSAYO CONSOLIDACIÓN BENJAMÍN CARRION – CARGA 16 – 32 Kg .....	111
Figura 33: ENSAYO CONSOLIDACIÓN BENJAMÍN CARRION – CARGA, DESCARGA Y RECARGA	112
Figura 34: ENSAYO CONSOLIDACIÓN SANTA ROSA – CARGA 0 – 1 Kg.....	113
Figura 35: ENSAYO CONSOLIDACIÓN SANTA ROSA – CARGA 1 – 2 Kg.....	114
Figura 36: ENSAYO CONSOLIDACIÓN SANTA ROSA – CARGA 2 – 4 Kg.....	115
Figura 37: ENSAYO CONSOLIDACIÓN SANTA ROSA – CARGA 4 – 8 Kg.....	116
Figura 38: ENSAYO CONSOLIDACIÓN SANTA ROSA – CARGA 8 – 16 Kg.....	117
Figura 39: ENSAYO CONSOLIDACIÓN SANTA ROSA – CARGA 16 – 32 Kg.....	118
Figura 40: ENSAYO CONSOLIDACIÓN SANTA ROSA – CARGA, DESCARGA Y RECARGA .....	119
Figura 41: ENSAYO CONSOLIDACIÓN EL MIRADOR – CARGA 0 – 1 Kg.....	120
Figura 42: ENSAYO CONSOLIDACIÓN EL MIRADOR – CARGA 1 – 2 Kg.....	121
Figura 43: ENSAYO CONSOLIDACIÓN EL MIRADOR – CARGA 2 – 4 Kg.....	122
Figura 44: ENSAYO CONSOLIDACIÓN EL MIRADOR – CARGA 4 – 8 Kg.....	123
Figura 45: ENSAYO CONSOLIDACIÓN EL MIRADOR – CARGA 8 – 16 Kg.....	124

Figura 46: ENSAYO CONSOLIDACIÓN EL MIRADOR – CARGA 16 – 32 Kg.....	125
Figura 47: ENSAYO CONSOLIDACIÓN EL MIRADOR – CARGA, DESCARGA Y RECARGA .....	126

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tasa de preconsolidación .....	13
Tabla 2: Correlación aproximada entre $Cl$ , $N_{60}$ y $q_u$ .....	15
Tabla 3: Parámetros elásticos para varios tipos de suelo. ....	17
Tabla 4: CONSIDERACIONES DE TERZAGHI. ....	18
Tabla 5: Límites de coeficiente de consolidación secundaria ( $C_c$ ). ....	24
Tabla 6: Clasificación de Suelos.....	31
Tabla 7: Límites de Atterberg. ....	32
Tabla 8: Parámetros de los suelos.....	32
Tabla 9: Parámetros de los suelos.....	33
Tabla 10: Asentamientos Totales .....	40
Tabla 11: Asentamientos Diferenciales entre B2-B1.....	40
Tabla 12: Asentamientos Totales .....	45
Tabla 13: Asentamientos Diferenciales entre B2-B1.....	45
Tabla 14: Ensayo de clasificación de suelos Z1. ....	52
Tabla 15: Ensayo de clasificación de suelos Z2. ....	53
Tabla 16: Ensayo de clasificación de suelos Z3. ....	53
Tabla 17: Ensayo de clasificación de suelos Z4. ....	54
Tabla 18: Ensayo de clasificación de suelos Z5. ....	56
Tabla 19: Ensayo de clasificación de suelos Z6. ....	57
Tabla 20: Ensayo de clasificación de suelos Z7. ....	58
Tabla 21: Ensayo de clasificación de suelos Z8. ....	59
Tabla 22: Ensayo de clasificación de suelos Z9. ....	60
Tabla 23: Ensayo de clasificación de suelos Z10. ....	61
Tabla 24: Ensayo de clasificación de suelos Z11. ....	62
Tabla 25: Ensayo de clasificación de suelos Z12. ....	63
Tabla 26: Ensayo de clasificación de suelos Z13. ....	64
Tabla 27: Ensayo de clasificación de suelos Z14. ....	65
Tabla 28: Ensayo de clasificación de suelos Z15. ....	66
Tabla 29: Ensayo de consolidación de la muestra tomada en el barrio Jorge Mosquera.....	67
Tabla 30: Ensayo de consolidación de la muestra tomada en el barrio Benjamín Carrión.....	75
Tabla 31: Ensayo de consolidación de la muestra tomada en el barrio Santa Rosa.....	83
Tabla 32: Ensayo de consolidación de la muestra tomada en el barrio El Mirador.....	91

## RESUMEN

El presente trabajo exhibe el estudio de asentamiento por consolidación en arcillas y limos de las zonas de expansión de la ciudad de Zamora, donde se determinó los parámetros necesarios para predecir el comportamiento de los suelos al aplicarles carga.

Las zonas estudiadas son Benjamín Carrión, Jorge Mosquera, El Mirador y Santa Rosa; donde se extrajeron las muestras alteradas e inalteradas para obtener sus propiedades físicas y mecánicas, y poder establecer la magnitud de asentamiento al interactuar con una estructura.

En conclusión, con los parámetros obtenidos a través de los distintos ensayos se determinó la magnitud de asentamiento instantáneo, asentamiento por consolidación primaria y secundaria, con los cuales se determinó el sector más vulnerable a sufrir deformaciones con la aplicación de carga.

**PALABRAS CLAVES:** Asentamientos, compresión instantánea, consolidación primaria y consolidación secundaria.

## **ABSTRACT**

The present work presents the study of settlement by consolidation in clays and silts of Zamora city expansion zones, where it was determined the necessary parameters to predict the soils behavior when applying load.

The studied areas are Benjamín Carrión, Jorge Mosquera, El Mirador and Santa Rosa; where altered and unchanged samples were extracted to obtain their physical and mechanical properties, and to be able to establish the settlement quantity when interacting with a structure.

In conclusion, with the parameters obtained through the different tests, the magnitude of instantaneous settlement, settlement by primary and secondary consolidation was determined, with which it was determined the sector most vulnerable to undergo deformations with the application of load.

**KEYWORDS:** Settlements, instant compression, primary consolidation and secondary consolidation.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de los asentamientos es transcendental para el diseño de las cimentaciones de obras civiles, ya que al producirse deformaciones en el suelo esto provoca averías en la estructura como también fisuras y grietas.

Es evidente que en las normativas establecen magnitudes de asentamientos máximos que una estructura puede soportar, pero por lo general los asentamientos no son considerados al momento de implantar una estructura.

Los asentamientos producidos por consolidación de los suelos finos pueden provocar daños estéticos como estructurales en las obras civiles. Además, la normativa municipal no exige este tipo de estudios antes de construir una estructura por lo que información acerca de este tipo de fenómeno es escasa.

En el presente trabajo de fin de titulación se pretende obtener la magnitud de asentamiento producido por compresión inmediata, consolidación primaria y consolidación secundaria, en suelos de la ciudad de Zamora que de acuerdo al mapa geológico está conformado por arcillas y limos, que sometidas a una carga pueden llevar a asentamientos.

Esta investigación pretende determinar el grado de asentamiento de los suelos finos de las zonas de estudio para que se tengan en cuenta en la construcción de futuras edificaciones, es por ello que se planteó dos casos hipotéticos plenamente identificados. Para poder realizar esta investigación se tomaron muestras alteradas de 15 puntos de las zonas de expansión urbana para caracterizarlas, y de acuerdo al mayor índice de plasticidad se escogió 4 lugares que corresponden a los barrios Jorge Mosquera, Benjamín Carrión, El Mirador y Santa Rosa, para extraer muestras inalteradas y poder realizarles el ensayo edométrico el cual ayuda con los parámetros necesarios para determinar el grado de asentamiento de estos suelos.

Resultados que son de gran importancia para controlar los asentamientos en suelos finos producidos al implantar una obra civil así evitando daños estructurales y estéticos, de esa manera se puede evitar futuras pérdidas humanas, económicas, etc.

La presente investigación se estructura en los siguientes capítulos:

Capítulo I contiene el problema que es el generador de este trabajo, así como los apartados que fundamentan esta investigación.

Capítulo II engloba todo el marco referencial que sustenta esta investigación.

Capítulo III abarca los trabajos realizados en campo para obtener las muestras de suelo, así como también los ensayos de laboratorio ejecutada a estas muestras.

Capítulo IV contiene el análisis de los resultados obtenidos de esta investigación además ejemplos de cálculo de asentamiento.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1. Antecedentes.**

Debido a que el Municipio de la ciudad de Zamora en sus ordenanzas municipales en donde se incluyen los estudios de mecánica de suelos no se da una atención debida al estudio de asentamiento de los mismos para proyectar edificaciones no existen investigaciones previas.

### **1.2. Problema.**

Las deformaciones que se presentan en los suelos finos cuando se implantan obras civiles son de gran importancia, gran parte de la ciudad de Zamora presentan suelos blandos. La consolidación de los suelos finos puede provocar daños estéticos como estructurales en las obras civiles. Información acerca de los asentamientos es escasa ya que el tema ha sido poco investigado en la ciudad, lo cual indica que la tesis aporta en el campo de la investigación.

### **1.3. Justificación.**

En toda obra civil se debe controlar los asentamientos en suelos finos, así evitando daños estructurales y estéticos, todas las obras civiles deben cumplir con los parámetros establecidos en los diseños, para ofrecer seguridad de la obra. Para obtener los posibles asentamientos permisibles debemos tener un control de ellos, al tener un control de estos asentamientos evitaremos futuras pérdidas humanas, económicas, etc.

Los asentamientos más considerables se originan en los estratos de suelos finos que soportan cargas de gran peso, además un estudio sobre asentamientos permitirá establecer un control, lo que servirá de información para la construcción de toda obra civil. Los suelos arcillosos y limosos con presencia de agua son materiales relativamente blandos, estos se deforman bajo la aplicación de cargas, si las deformaciones están fuera de los límites establecidos en normas, la estructura sufrirá daños. Si bien es cierto los materiales más rígidos como fachadas son los que sufren daños visibles e importantes por lo que se debe controlar dichas deformaciones y verificar que estén dentro de los límites tolerables. El estudio de los asentamientos de una estructura presenta dos aspectos, que los Ingenieros deben considerar. 1.- Cálculo de los asentamientos, teniendo en cuenta las cargas que trasmite ésta al suelo. 2.- Evaluar la capacidad de la estructura para soportar estos asientos sean estos diferenciales o absolutos. No obstante, estos estudios de asentamientos están poco desarrollados.

#### **1.4. Objetivos.**

##### **1. General.**

Caracterizar los materiales para determinar los parámetros necesarios para el diseño de obras civiles.

##### **2. Específicos.**

- Estudiar y analizar las propiedades de los suelos arcillosos y limosos como material de construcción.
- Analizar y estudiar los problemas que se presentan cuando el terreno de fundación está sujeto a varias cargas puntuales.

#### **1.5. Metodología.**

La determinación de la magnitud de asentamientos instantáneos, por consolidación primarios y consolidación secundarios se lograrán determinar a partir del ensayo edométrico aplicado sobre las muestras de las zonas de estudio de la ciudad de Zamora. Adicional al ensayo edométrico para caracterizar el suelo se realizarán los siguientes ensayos: Granulometría, Contenido de Humedad y Límites de Atterberg.

##### **1. Etapas de la Investigación.**

###### **FASE 1: Trabajo de campo.**

Para la determinación de las zonas de estudio se considera el registro catastral de la ciudad de Zamora con el fin de establecer sus zonas de expansión; luego se realiza un reconocimiento de las zonas para verificar que la composición de los suelos este predominada por arcillas y limos. Se recolecta 15 muestras de suelo en estado alterado a las cuales se las clasifica de acuerdo a ensayos de granulometría y límites de Atterberg, a continuación, se seleccionará los cuatros lugares donde sus suelos presenten mayor índice de plasticidad, para luego extraer muestras inalteradas a las cuales se realizará el ensayo edométrico y fluorescencia de rayos X.

###### **FASE 2: Ensayos de laboratorio.**

La caracterización de los suelos se la realiza en los laboratorios de mecánica de suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), los ensayos que se desarrollan son bajo los procedimientos definidos en las siguientes normativas.

- Ensayo para determinar el Contenido de humedad  
Permite fijar el porcentaje de agua que se encuentra contenida en el suelo analizado; el procedimiento seguido es el de la Norma AASHTO T265-93 y la ecuatoriana NTE INEN 690.
- Ensayo para Análisis granulométrico  
Con el ensayo establecemos los porcentajes de arcillas y limos del suelo ensayado; el procedimiento seguido es el de la Norma AASHTO T88.
- Límite líquido (LL)  
Porcentaje de humedad en el que el suelo pasa de estado líquido a plástico; el procedimiento a seguir se encuentra establecido en la Norma AASHTO T89 y ASTM D4318.
- Límite plástico (LP)  
Porcentaje de humedad en el que el suelo pasa de estado plástico a sólido; el procedimiento a seguir se encuentra establecido en la Norma AASHTO T90 y ASTM D4318
- Consolidación unidimensional de los suelos  
Determina la velocidad y magnitud de asentamiento que experimenta un suelo al someterlo a una carga; el procedimiento seguido es el de la Norma AASHTO T216; ASTM D2435.
- Fluorescencia de Rayos X  
El objetivo principal de este ensayo es el de identificar y cuantificar los minerales que existen en los suelos estudiados y comprobar que son arcillas y limos.

### **FASE 3: Análisis de Datos.**

Con los parámetros obtenidos a través de los ensayos realizados a las arcillas y limos del presente proyecto se procederá al cálculo de la magnitud de asentamiento, variando carga y área de cimentación, donde estableció la mayor carga para un área de cimentación mínima en el que la magnitud de asentamiento no exceda el máximo establecido por la normativa NEC-SE-GC.

#### **1.6. Área de estudio.**

##### **1. Descripción de la Zona de Estudio.**

Las zonas de estudio corresponden a 4 lugares seleccionados de los barrios considerados por el municipio de Zamora como zonas de desarrollo urbano los cuales son: Jorge Mosquera, Benjamín Carrión, El Mirador y Santa Rosa.

La ciudad de Zamora tiene un clima tropical con una temperatura media anual de 21.9°C y precipitación media anual de 1862 mm. (S.L., 2017)

## 2. Zona de Estudio Uno.

Esta zona de estudio se encuentra ubicada en el barrio Jorge Mosquera, en las coordenadas UTM 727356 m E; 9549908m N con una altura de 987 msnm (Datum WGS84, Zona 17S), tomadas con el GPS Garmin modelo Rino 110.



Figura 1: Zona de Estudio Uno.  
Fuente: Google Earth 2017  
Elaboración: El Autor

## 3. Zona de Estudio Dos.

Esta se encuentra ubicada en el barrio Benjamín Carrión, en las coordenadas UTM 727740 m E; 9550646m N con una altura de 977 msnm (Datum WGS84, Zona 17S), tomadas con el GPS Garmin modelo Rino 110.



Figura 2: Zona de Estudio Dos.  
Fuente: Google Earth 2017  
Elaboración: El Autor

#### 4. Zona de Estudio Tres.

Está localizada en el barrio El Mirador, en las coordenadas UTM 731467 m E; 9553460 m N con una altura de 927 msnm (Datum WGS84, Zona 17S), tomadas con el GPS Garmin modelo Rino 110.

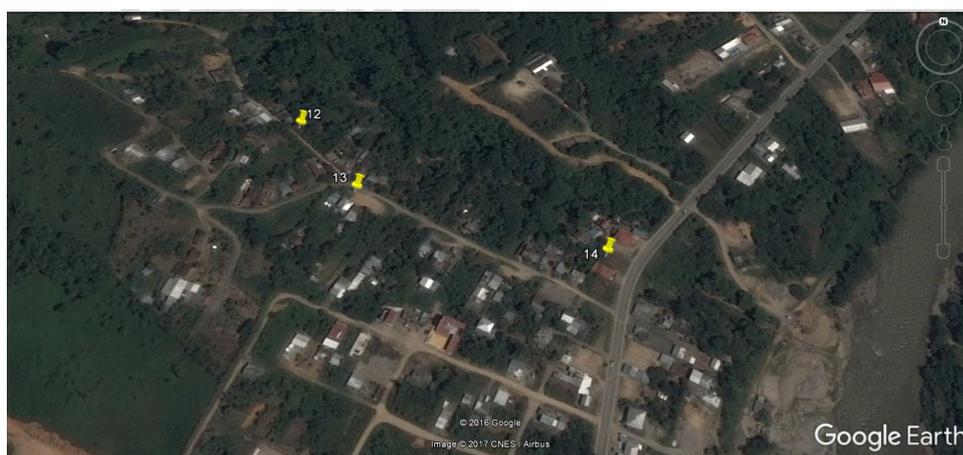


Figura 3: Zona de Estudio Tres.  
Fuente: Google Earth 2017  
Elaboración: El Autor

#### 5. Zona de Estudio Cuatro.

La cuarta zona de estudio se encuentra ubicada en el barrio Santa Rosa, en las coordenadas UTM 732298 m E; 9553782 m N con una altura de 977 msnm tomadas con el GPS Garmin modelo Rino 110.



Figura 4: Zona de Estudio Cuatro.  
Fuente: Google Earth 2017  
Elaboración: El Autor

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO REFERENCIAL**

## 2.1. Arcillas.

Según Pablo (1964), una arcilla es “Una asociación de minerales arcillosos (silicatos complejos hidratados de aluminio), de pequeño tamaño de partícula originada por la alteración hidrotermal de rocas ígneas (granitos, riolitas, dioritas, basaltos) bajo condiciones propias de presión, temperatura, acidez, etc.”

## 2.2. Limos.

Según Sowers (1972), “Es cualquier suelo de grano fino con un diámetro de partículas que varía de 0,0039 mm a 0,0625 mm con baja plasticidad.”

## 2.3. El índice de la liquidez (IL).

Según Braja M. Das (2015), “La consistencia relativa de un suelo cohesivo en estado natural se define por medio de la siguiente expresión.”

$$IL = \frac{(W - LP)}{LL - LP} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

W = Contenido de Agua in situ del suelo

LP = Límite plástico

LL= Límite líquido

## 2.4. Sedimentación de Suelos.

Suelo Normalmente consolidado, cumple que  $\sigma'_o = \sigma'_c$  (presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla = presión de preconsolidación), la presión efectiva actual que en el suelo se presenta a una determinada profundidad es igual a la mayor presión efectiva a la que ha sido sometido el suelo durante su historia geológica.

Suelo sobreconsolidado, cumple que  $\sigma'_o < \sigma'_c$  la presión efectiva actual a una determinada profundidad es menor a la mayor presión a la que ha sido sometido el suelo durante su historia geológica.

## 2.5. Tasa de preconsolidación.

De Bolton (2011), para obtener la tasa de preconsolidación se utiliza la ecuación 2.2 cuyo resultado se correlaciona con la tabla 1.

$$OCR \text{ o } TPC = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$\sigma'_o$  = presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla

$\sigma'_c$  = presión de preconsolidación.

Tabla 1: Tasa de preconsolidación

Descripción del Suelo	OCR o TPC
Normalmente Consolidado	1
Ligeramente Consolidado	1,5 - 3
Altamente Consolidado	> 4

Fuente: (Sánchez, 2008)

Elaboración: El Autor

## 2.6. Presión de Sobre Carga efectiva Insitu.

Según Braja M. Das (2015), “Es el componente vertical de las fuerzas en puntos de contacto de sólido con sólido sobre un área de sección transversal”; para calcular se recurre a la ecuación 2.3 que varía según las condiciones del suelo:

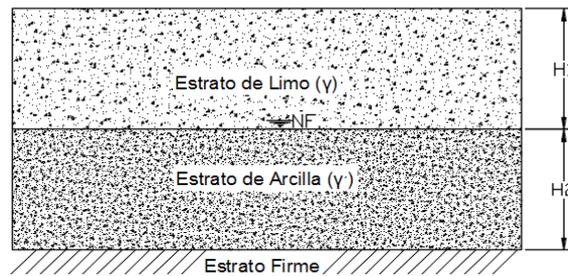


Figura 5: Esquema para determinar presión de sobre carga

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

$$\sigma'_o = \gamma h_1 + \gamma' \frac{h_2}{2}$$

Ecuación 2.3

Donde:

$\gamma$  = peso unitario del suelo

$\gamma'$  = peso unitario saturado del suelo ( $\gamma_{sat} - 9.81$ )

$h_1$  = potencia del suelo limoso

$h_2$  = potencia del suelo saturado arcilloso

## 2.7. Presión de Pre-Consolidación.

Según Braja M. Das (2015), “Es la presión de sobrecarga máxima después de la efectiva a la que ha sido sometida el suelo”; se lo puede determinar con la curva de consolidación de la figura 6 ejecutando los siguientes pasos:

1. Ubicar punto 1, punto de máxima curvatura
2. Trazar la recta 2, tangente por el punto 1
3. Trazar la recta 3, horizontal por el punto 1

4. Trazar la bisectriz de la recta tangente 2 y la horizontal 3
5. Prolongar recta de la curva virgen o curva normalmente consolidada
6. La intersección de las rectas 4 y 5 determina en abscisas el valor de  $\sigma_{pc}'$

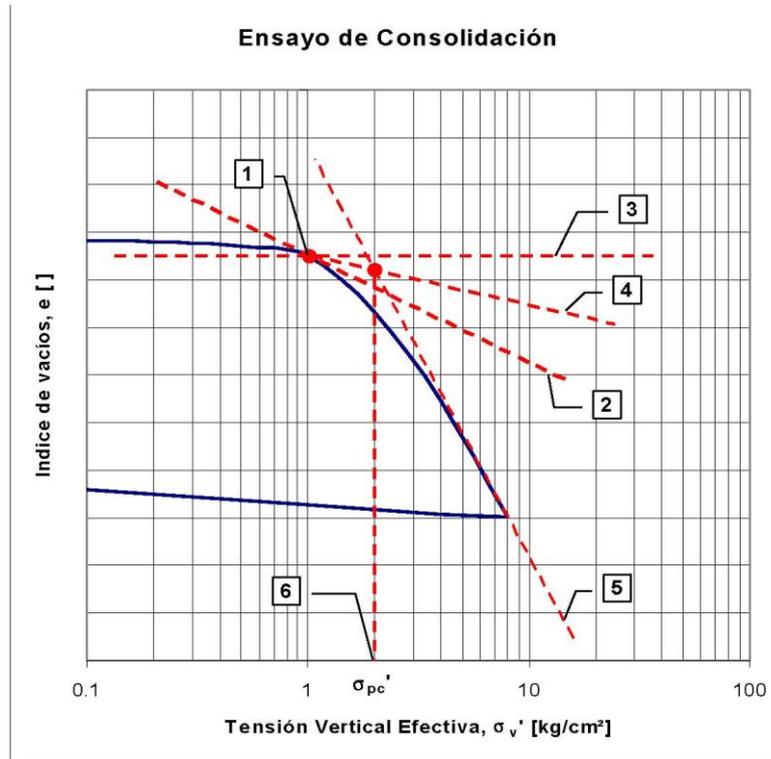


Figura 6: CURVA DE CONSOLIDACION  
 Fuente: (Das, 2015)  
 Elaboración: El Autor

## 2.8. Cálculo de Esfuerzos.

### 1. Esfuerzo en el centro de la zapata.

$$m_1 = \frac{L}{B} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{m_1 n_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}} \times \frac{m_1^2 + 2n_1^2 + 1}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$\Delta\sigma = q_o I_c \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$\Delta\sigma$  = Esfuerzo en la zapata

$\Delta\sigma_{prom}$  = Esfuerzo promedio en la zapata

$q_o$  = Esfuerzo por unidad de área

$I_c, I_n$  = Factores de influencia

$m_1, n_1, m, n$  = relaciones para cálculo de factor de influencia

## 2. Esfuerzo en cualquier punto de la zapata.

Para determinar el esfuerzo en las esquinas se divide la zapata en figuras rectangulares las ecuaciones que se utilizan son las siguientes:

$$m = \frac{B}{z} = \frac{x}{z} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$n = \frac{L}{z} = \frac{y}{z} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$I_n = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \times \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 - m^2n^2 + 1} \right)$$

Ecuación 2.10

$$\Delta\sigma = q_o(I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Para determinar el esfuerzo promedio se lo realiza en tres puntos de la potencia del estrato donde:  $H = H$ ,  $H = H/2$  y  $H = 0$ , a continuación, aplicamos la siguiente ecuación 2.12:

$$\Delta\sigma_{prom} = \frac{1}{6} (\Delta\sigma_s + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_i) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

### 2.9. Resistencia cortante no drenada.

Según Tamez (2001), "Es un factor que depende de la relación de vacíos, aumentando a medida que esta disminuye; por lo cual la resistencia al corte de las arcillas saturadas aumenta al disminuir su contenido de agua.", para determinar su valor se utiliza la ecuación 2.14.

Hara y colaboradores (1971), plantean una correlación entre la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ), el número de penetración estándar N60 y el índice de consistencia (CI), tal como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2: Correlación aproximada entre CI, N<sub>60</sub> y  $q_u$

Número de penetración estándar, N60	Consistencia	CI	$q_u$ (Kn/M2)
<2	Muy Blanda	<0,5	<25
2 – 8	Blanda	0,5 – 0,75	25 – 80
8 – 15	Media	0,75 – 1,0	80 – 150
15 - 30	Firme	1,0 – 1,5	150 – 400
>30	Muy Firme	>1,5	> 400

Fuente: (Das, 2015)  
Elaboración: El Autor

El índice de consistencia se la determina con la ecuacion 2.13, por medio de una relacion entre el límite líquido (LL), límite plástico (LP) y contenido de humedad (w).

$$IC = \frac{LL - w}{LL - LP} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

$$Cu = \frac{qu}{2} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Donde:

$N_{60}$  = número de penetración estándar

$Cu$  = resistencia al corte no drenada de la arcilla

$Pa$  = presión atmosférica

## 2.10. Módulo de Young o módulo elástico.

Según Gordon (1987), “El módulo de elasticidad de cualquier sustancia es una columna de la misma sustancia, capaz de producir una fuerza sobre su base que es al peso causando cierto grado de compresión ya que la longitud de la sustancia es a la disminución de su longitud.”

Para determinar la cohesión no drenada ( $\beta$ ) se correlaciona el valor de OCR y el índice de plasticidad (IP) en la figura 7.

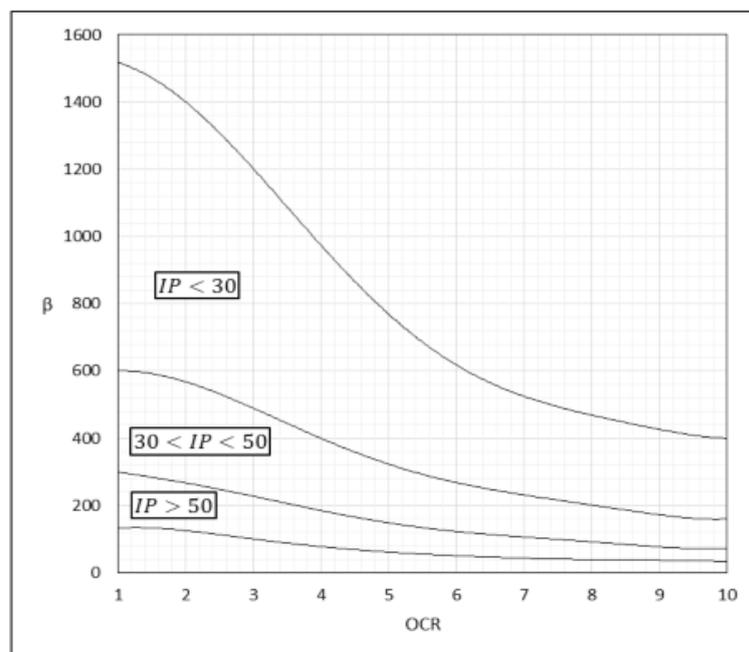


Figura 7: Intervalo de  $\beta$  para Arcilla  
Fuente: (Buchignani, 1976)  
Elaboración: El Autor

Una vez definitivo la cohesión no drenada ( $\beta$ ) y resistencia al corte ( $C_u$ ) se utiliza la ecuación 2.15. para calcular el módulo de elasticidad ( $E_s$ ).

$$E_s = \beta C_u \quad \text{Ecuación 2.15}$$

### 2.11. Coeficiente de Poisson.

Todos los elementos sometidos a una carga axial no solo sufren una deformación en el sentido de la carga sino también en el sentido perpendicular a la carga aplicada. El valor recomendado de coeficiente de poisson ( $\nu_s$ ) =0,4; en la tabla 3 se encuentra valores de otros tipos de suelos.

Tabla 3: Parámetros elásticos para varios tipos de suelo.

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, $E_s$ (MN/m <sup>2</sup> )	Coeficiente de Poisson, $\nu_s$
Arena suelta	10_25	0,20-0,40
Arena semi-densa	15_30	0,25-0,40
Arena densa	35_55	0,30-0,45
Arena limosa	10_20	0,20-0,40
Arena y grava	70_170	0,15-0,35
Arcilla blanda	4_20	
Arcilla media	20_40	0,20-0,50
Arcilla dura	40_100	

Fuente: (Das, 2015)  
Elaboración: El Autor

### 2.12. Consolidación de Suelos.

El estudio de la consolidación ayuda a comprender de mejor manera el comportamiento suelo - estructura, cuando el suelo en estado de saturación se le aplica una carga este tiende a evacuar el agua a través de los poros del suelo hasta disipar la presión variando así su volumen induciendo asentamientos tanto totales como diferenciales. La disminución del volumen del suelo al evacuar el agua por los poros permite el reajuste de las partículas en los vacíos que han quedado, este proceso se lo conoce como consolidación.

Los suelos arcillosos tienen baja permeabilidad por lo que su filtración es lenta y la disipación de presión intersticial es parsimoniosa. Según Jiménez (1975), "La arcilla, bajo cualquier tipo de carga, no toma instantáneamente la deformación correspondiente, sino que esto ocurre más que al cabo de un tiempo que a veces es muy largo. La teoría que estudia este proceso se llama teoría de consolidación de las capas de arcilla".

### 2.13. Consolidación unidimensional.

El Dr. Kart Von Terzagui en su teoría de consolidación apela a la consolidación unidimensional para determinar la relación entre la carga aplicada al suelo y su

reducción de volumen.

Según Jiménez (1975), las consideraciones a tomar en cuenta para realizar el ensayo son las de la tabla 4.

Tabla 4: CONSIDERACIONES DE TERZAGHI.

---

El suelo es inicialmente homogéneo
Saturación completa.
Se desprecia la compresibilidad de los granos de suelo y del agua
Se supone que el cálculo infinitesimal es aplicable a medios constituidos por partículas del tamaño finito.
Compresión unidimensional
Flujo unidimensional
Validez de la ley de Darcy
El índice de poro depende tan solo de la presión efectiva
Las deformaciones unitarias son pequeñas.
Valores constantes de la permeabilidad y del módulo edométrico instantáneo del suelo durante todo el proceso de consolidación.
El coeficiente de permeabilidad K es constante durante toda la consolidación.
La Ley de Darcy es válida

---

Fuente: (JIMÉNEZ SALAS, 1975)

Elaboración: El Autor

#### **2.14. Consolidómetro de anillo fijo.**

El Consolidómetro de anillo fijo es el aparato en el que realizamos las pruebas de consolidación, el cual fue diseñado por el Dr. Arthur Casagrande.

Partes del Consolidómetro de anillo fijo:

- Un anillo rígido.
- Piedras porosas.
- Cilindro en el cual se mantiene la pastilla del suelo saturado.
- Sistema de placa marco y colgador de pesas.
- Pesas

Las deformaciones producidas al aplicar cargas variables al suelo son registradas con la ayuda de un deformímetro a distintos tiempos. Los incrementos de carga se encuentran en el siguiente orden: 1kg, 2kg, 4kg, 8kg, 16kg, 32kg.

Para calcular el coeficiente de consolidación ( $C_v$ ) existen dos métodos el de Casagrande y el de Taylor, el primer método propuesto por Casagrande se debe graficar la deformación vs el tiempo en escala logarítmica para determinar los tiempos en los que la consolidación es de 0%, 50% y 100%, el segundo método el propuesto por Taylor se debe graficar la deformación vs la raíz cuadrada del tiempo para determinar los tiempos

en los que la consolidación es de 0%, 50%, 90% y 100%. (JIMÉNEZ SALAS, 1975)

- Consolidación primaria es el asentamiento originado por la expulsión del agua de la estructura del suelo. (Tramo A-B Figura 8)
- Consolidación secundaria es el asentamiento al finalizar la consolidación primaria, donde se produce el reacondicionamiento de las partículas del suelo. (Tramo B-C Figura 8)

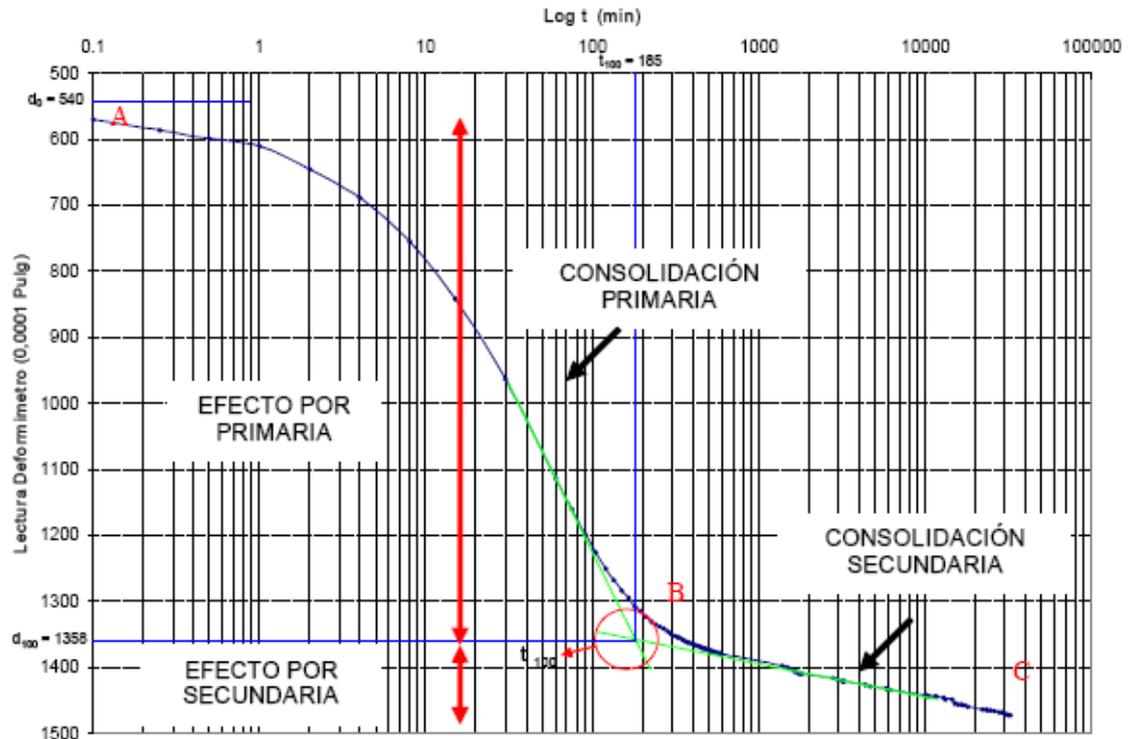


Figura 8: Gráfico Deformación unitaria vs log de tiempo  
 Fuente: (Buchignani, 1976)  
 Elaboración: El Autor

## 2.15. Asentamientos Elástico o inmediato.

Es la reducción inmediata del volumen del suelo debido a la aplicación de una carga y de su deformación elástica. A continuación, se presenta dos métodos para hallar dicha deformación:

### 1. Primer método.

#### Método de Janbú y colaboradores (1956).

Christian y Carrier (1978), establecieron las ecuaciones 2.16; 2.17 y 2.18, para determinar los valores  $A_1$  y  $A_2$  necesarios para el cálculo del asentamiento elástico.

$$A_1 = \frac{H}{B} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

$$A_1 = \frac{L}{B} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

$$A_2 = \frac{D_f}{B} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Janbú y colaboradores (1956), plantearon la ecuación 2.19 para hallar el asentamiento elástico en arcillas.

$$S_e = A_1 \cdot A_2 \frac{q_o \cdot B}{E_s} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Donde:

$S_e$ =Asentamiento elástico o inmediato

$q_o$ =Presión neta aplicada sobre la cimentación

$B$ =Ancho de la zapata

$E_s$ =Módulo de Young

Para determinar la presión neta se utiliza la ecuación 2.20:

$$q_o = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

$Q$ = carga que se transmite de la columna a la zapata

$A$ = Superficie de la zapata en contacto con el suelo

## 2. Segundo método.

### Método basado en la teoría de la elasticidad.

Para encontrar los valores necesarios para el cálculo del asentamiento elástico se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m'(1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})} \quad \text{Ecuación 2.23}$$

$$F_1 = \frac{A_0 + A_1}{\pi} \quad \text{Ecuación 2.24}$$

$$F_2 = \frac{n' \cdot \text{Arctan}(A_2)}{2\pi} \quad \text{Ecuación 2.25}$$

Steinbrenner (1934), para hallar el valor de forma estableció la ecuación 2.26

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2u_s}{1 - u_s} F_2 \quad \text{Ecuación 2.26}$$

Bowles (1987), para encontrar el asentamiento elástico que se produce en cimentaciones perfectamente flexibles establece la ecuación 2.27.

$$S_e = q_0 \cdot (\alpha \cdot B') \frac{1 - u_s^2}{E_s} I_s I_f \quad \text{Ecuación 2.27}$$

Para el cálculo del asentamiento elástico en el centro de la zapata se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B} \quad \text{Ecuación 2.28}$$

$$n' = \frac{2H}{B} \quad \text{Ecuación 2.29}$$

Para el cálculo del asentamiento en una esquina de la zapata:

$$\alpha = 1$$

$$m' = \frac{L}{B} \quad \text{Ecuación 2.30}$$

$$n' = \frac{H}{B} \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Donde:

$S_e$ =Asentamiento elástico o inmediato

$q_0$ =Presión neta aplicada sobre la cimentación

$u_s$ =Relación de Poisson del suelo

$E_s$ = Módulo de elasticidad o módulo de Young

$I_s$ = Factor de forma

$I_f$ = Factor de profundidad, función de  $D_f$ , B, L y  $u_s$  (FOX, 1948)

$\alpha$ = Factor que depende de la ubicación sobre la cimentación donde se calcula el asentamiento

$B'$ = B/2 para el centro de la cimentación.

= B para una esquina de la cimentación.

$I_s$  = Factor de forma

## 2.16. Asentamientos por Consolidación primaria.

Los asentamientos por Consolidación primaria son provocados por la evacuación del agua y reducción del volumen de vacíos del esqueleto del suelo los cuales son causados por la aplicación de una carga o esfuerzo, al generarse disminución del volumen del suelo se pone en evidencia en la superficie ya que se produce fisuras y grietas en las estructuras.

La magnitud de asentamiento producido en un tiempo determinado depende de: la longitud de drenaje como también de la permeabilidad y compresibilidad del suelo. El cálculo del asentamiento se lo realiza en todo el estrato de arcilla ya que el incremento de la presión vertical se genera en toda la potencia de estrato afectada por la carga. La ecuación 2.32 es general para cálculo del asentamiento primario por consolidación primaria es:

$$S_p = H \frac{\Delta e}{1 + e_o} \quad \text{Ecuación 2.32}$$

Donde:

$S_p$  = asentamiento por consolidación primaria (mm)

$\Delta e$  = variación del índice de vacíos producida por la aplicación de carga.

$e_o$  = índice de vacíos antes de aplicarle carga.

H = Espesor de la arcilla

Para arcillas normalmente consolidada se utiliza la siguiente ecuación 2.33 donde debe cumplirse que  $\sigma'_o \geq \sigma'_c$

$$S_p = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \quad \text{Ecuación 2.33}$$

Donde:

$C_c$ : índice de compresión

$\Delta\sigma'$  = incremento promedio en la presión efectiva sobre el estrato de arcilla causado por aplicarle carga.

En el caso de arcilla sobreconsolidadas se utilizan las siguientes ecuaciones 2.34 y 2.35.

Caso 1

$$\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$$

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \quad \text{Ecuación 2.34}$$

Donde:

Cs: índice de recompresión

Caso 2

$$\sigma'_o < \sigma'_c < (\sigma'_o + \Delta\sigma)$$

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}\right) + \frac{C_c H}{1 + e_o} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c}\right) \quad \text{Ecuación 2.35}$$

Para determinar los pesos específicos tanto de la arcilla como de los materiales que se encuentra sobre ella. Se utilizaron las ecuaciones 2.36 y 2.37 tanto para pesos específicos secos y saturados.

$$\gamma = \frac{G_s \times \gamma_w}{1 + e} \quad \text{Ecuación 2.36}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \times \gamma_w \quad \text{Ecuación 2.37}$$

Donde:

Y = peso específico seco (KN/m<sup>3</sup>)

Y sat = peso específico saturado (KN/m<sup>3</sup>)

G<sub>s</sub> = gravedad específica

e = índice de vacíos

Y<sub>w</sub> = peso específico del agua (KN/m<sup>3</sup>)

## 2.17. Asentamientos por Consolidación Secundaria.

Una vez disipada la presión de poros, se observa la consolidación secundaria donde el suelo sufre un reajuste plástico. Aún no se ha establecido un método confiable para calcular la magnitud de este fenómeno; en el presente trabajo se utiliza un coeficiente de consolidación secundaria que es el cambio de espesor en un tiempo dado, luego de haber finalizado la consolidación primaria. En la tabla 5 se puede observar algunos coeficientes que sirve de referencia.

Tabla 5: Límites de coeficiente de consolidación secundaria (Cc).

Límites de coeficiente de consolidación secundaria	
Arcillas sobreconsolidadas	0,001 o menos
Arcillas consolidadas normalmente	0,005 a 0,03
Suelos Orgánicos	0,04 o más

Fuente: (Das, 2015)  
Elaboración: El Autor

El cálculo del asentamiento por consolidación secundaria se lo realiza utilizando las siguientes ecuaciones:

Para arcilla normalmente consolidada  $\sigma'_o \geq \sigma'_c$ , se utiliza la ecuación 2.38

$$\Delta e = C_c \log \left( \frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_o} \right) \quad \text{Ecuación 2.38}$$

Para arcilla sobre-consolidada con  $\sigma'_o + \Delta \sigma \leq \sigma'_c$ , se utiliza la ecuación 2.39 y 2.40

$$\Delta e = C_s \log \left( \frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_o} \right) \quad \text{Ecuación 2.39}$$

$$e_p = e_o - \Delta e \quad \text{Ecuación 2.40}$$

Donde:

$e_p$  = índice de vacío en el extremo de la consolidación primaria.

Braja M. Das. (2015), para calcular la magnitud de asentamiento por ajuste plástico estableció las siguientes ecuaciones 2.41, 2.42 y 2.43

$$C_a = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} \quad \text{Ecuación 2.41}$$

$$C'_a = \frac{C_a}{1 + e_p} \quad \text{Ecuación 2.42}$$

$$S_s = C'_a H \log \left( \frac{t_2}{t_1} \right) \quad \text{Ecuación 2.43}$$

Donde:

$C_a$  = Índice de Compresión secundaria.

$t_2$  = Tiempo para finalizar el asentamiento total

$t_1$  = Tiempo para finalizar el asentamiento primario

$S_s$  = asentamiento por consolidación secundaria (mm)

## **2.18. Análisis por Fluorescencia de rayos X**

Consiste en la absorción de rayos X por parte de la muestra, provocando que los iones vuelvan a su estado principal, este ensayo permite determinar la composición mineralógica de los suelos, lo que permite corroborar la clasificación realizada con otros métodos.

## **CAPÍTULO III**

### **3. TRABAJO DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

### 3.1. Trabajo de campo.

Para ejecutar el presente trabajo de investigación se inició definiendo las zonas donde se realizó el trabajo de campo el cual consiste en reconocimiento de las zonas y extracción de las muestras.

#### 1. Reconocimiento de las zonas de estudio.

Para la identificación de las zonas de estudio dirigimos a la ciudad de Zamora en conjunto con el director y codirector, a los sitios establecidos anticipadamente y verificar lo que muestra el mapa geológico.



Figura 9: Delimitación de la zona de estudio El Mirador.  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

#### 2. Recolección de muestras de suelo.

Se recolecto 15 muestras en estado alterado a una profundidad mayor a 1 metro con el fin de caracterizarlas.



Figura 10: Extracción de muestra Jorge Mosquera  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

### 3.2. Ensayos de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio permiten caracterizar los suelos de las zonas estudiadas, para así obtener los parámetros necesarios con los cuales se realiza el cálculo de asentamiento.

#### 1. Granulometría.

La norma utilizada para la realización de este ensayo es la AASTHO T88, debido a que en los suelos estudiados predomina partículas finas, por tanto la norma recomienda el lavado de la muestra.



Figura 11: Granulometría por Lavado.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

#### 2. Límites de Atterberg.

La norma utilizada para la realización de este ensayo es la ASTM D4318, con la cual se determinó el límite líquido y límite plástico de las 15 muestras recolectadas.

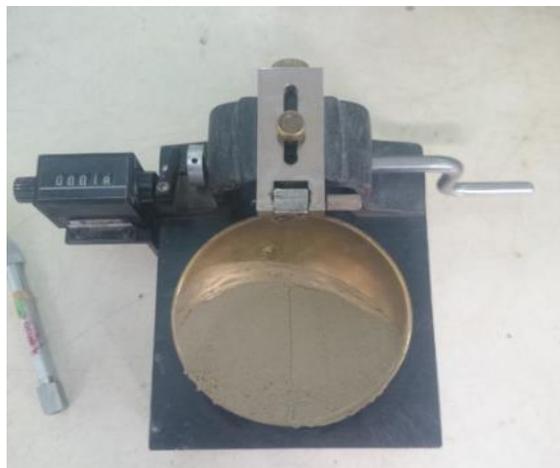


Figura 12: Límites de Atterberg.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

### 3. Consolidación.

Para la realización de los ensayos de consolidación se utiliza el equipo de consolidación unidimensional existente en el laboratorio de mecánica de suelos de la universidad, basados en la norma ASTM D2435.



Figura 13: Consolidómetro.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

### 4. Fluorescencia de rayos X.

Para determinar la estructura mineralógica de los suelos estudiados se utilizó el equipo BRUKER S1 y el método Mining Light Elements.



Figura 14: Fluorescencia rayos X.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS OBTENIDOS**

## 4.1. Caracterización de las muestras utilizadas

### 1. Clasificación de Suelos

Con los parámetros obtenidos se realiza la clasificación de suelos, se determinó que todas las muestras ensayadas son suelos finos arcillosos y limosos según la normativa SUCS, ya que la porción de material que pasa el tamiz 200 es mayor al 50% en todas las muestras ensayadas. A continuación, se resume las clasificaciones de las muestras según tabla 6.

Tabla 6: Clasificación de Suelos.

Muestra	Ubicación	PROFUNDIDAD (m)	SUCS	AASHTO
1	Jorge Mosquera	1	CH	A-7-5
2	Jorge Mosquera	3	CH	A-7-5
3	Jorge Mosquera	1	SM	A-7-5
4	Jorge Mosquera	3	ML	A-7-5
5	Benjamín Carrión	2	CH	A-7-5
6	Benjamín Carrión	1,5	SM	A-4
7	Benjamín Carrión	2	SC	A-7-6
8	SANTA ROSA	2,5	CL	A-7-6
9	SANTA ROSA	1,5	CL	A-6
10	SANTA ROSA	1,5	CH	A-7-6
11	SANTA ROSA	3	CL	A-7-6
12	EL MIRADOR	2	MH	A-7-5
13	EL MIRADOR	2	MH	A-7-5
14	EL MIRADOR	2,5	MH	A-5
15	EL MIRADOR	2	MH	A-7-5

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

Los suelos predominantes en las 4 zonas de estudio son Arcillas inorgánicas de plasticidad alta (CH) y Limos inorgánicos de compresibilidad alta (MH), estas zonas también se encuentran arcillas inorgánicas con ligera plasticidad (CL), Arenas Limosas (SM), Limos inorgánicos con ligera compresibilidad (ML) y Arenas Arcillosas (SC).

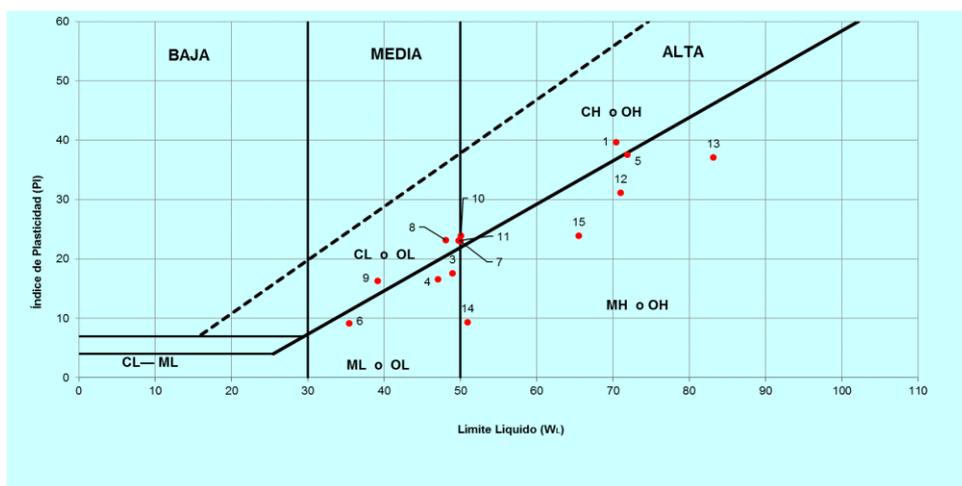


Figura 15: Carta de plasticidad de Casagrande

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

## 2. Límites de Atterberg

En la tabla 7 se resumen los resultados de la clasificación de las 15 muestras de las zonas de estudio así como su profundidad.

Tabla 7: Límites de Atterberg.

Muestra	Ubicación	PROFUNDIDAD (m)	LP %	LL %	IP %	W%	IG
1	Jorge Mosquera	1	30,68	70,38	39,7	29,02	20,8647
2	Jorge Mosquera	3	41,58	100,64	63,04	41,38	49,8848
3	Jorge Mosquera	1	31,41	48,97	17,56	24,81	4,7165
4	Jorge Mosquera	3	31,04	47,05	16,61	24,81	7,65035
5	Benjamín Carrión	2	43,33	71,87	37,54	45,79	37,88025
6	Benjamín Carrión	1,5	26,12	35,44	9,12	34,05	1,0028
7	Benjamín Carrión	2	27,01	50	22,99	28,5	4,8774
8	SANTA ROSA	2,5	24,95	48,09	23,14	32,64	17,13015
9	SANTA ROSA	1,5	22,79	39,12	16,33	30,48	6,7029
10	SANTA ROSA	1,5	32,95	50,05	23,88	37,94	12,8913
11	SANTA ROSA	3	26,71	49,8	23,09	29,18	11,7356
12	EL MIRADOR	2	39,89	71,01	31,12	34,63	22,344
13	EL MIRADOR	2	46,05	83,13	37,08	43,01	35,6198
14	EL MIRADOR	2,5	41,6	50,91	9,31	35,45	5,3103
15	EL MIRADOR	2	41,65	65,53	23,88	61,51	29,8301

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

En función de los suelos que presentaron mayor índice líquido se estableció los lugares donde se extraería las muestras inalteradas para realizar el ensayo de consolidación unidimensional. Como se puede evidenciar en la tabla 7 las zonas que presentan mayor límite líquido son Jorge Mosquera, Benjamín Carrión, Santa Rosa y El Mirador con un límite líquido de 100%, 71%, 50% y 83% respectivamente, factor que fue determinante para establecer los lugares donde se debería extraer las muestras inalteradas a fin de realizarles el ensayo de consolidación.

## 3. Ensayo de Consolidación

El objetivo de realizar el ensayo de consolidación unidimensional es el encontrar las características del suelo las cuales son presión de preconsolidación ( $P_c$ ), permeabilidad hidráulica ( $k$ ), índice de compresión ( $C_c$ ), el índice de expansión ( $C_s$ ), índice de consolidación ( $C_v$ ) y OCR; que en la tabla 8 se encuentran expresadas.

Tabla 8: Parámetros de los suelos.

Lugar	Presión de Preconsolidación (kg/cm <sup>2</sup> )	Permeabilidad hidráulica $k$ (cm/seg)	Índice de Compresión $C_c$	Índice de Expansión $C_s$	Índice de Consolidación $C_v$ (cm <sup>2</sup> /min)	OCR
Jorge Mosquera	2,8	1,15E-07	0,526	0,029	0,268	3,33
Benjamín Carrion	1,8	1,26E-08	0,913	0,088	0,016	3,21
Santa Rosa	1,8	2,02E-07	0,323	0,019	0,441	2,14
El Mirador	2,3	1,72E-07	0,504	0,037	0,365	4,11

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

#### 4. Fluorescencia de Rayos X

Las arcillas de la ciudad de Zamora concretamente Jorge Mosquera, Benjamín Carrión, El Mirado y Santa Rosa, presentan óxidos de silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, potasio y titanio en su composición. En la tabla 9 se evidencia que los compuestos más representativos de las 4 zonas de estudio es la alúmina ( $Al_2O_3$ ) y el dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) que son los componente característicos de las arcillas. Además, se puede apreciar que el porcentaje de dióxido de hierro III ( $Fe_2O_3$ ) es más alto en la zona de El Mirador lo cual da una mayor coloración a este tipo de arcilla.

Tabla 9: Parámetros de los suelos.

Zona	Jorge Mosquera	Benjamin Carrion	El Mirador	Santa Rosa
Óxido de Aluminio	29,2%	19,0%	25,5%	27,3%
Óxido de Silicio	42,8%	41,5%	33,4%	40,5%
Óxido de Potasio	0,57 %	0,74 %	0,60 %	2,1%
Óxido de Calcio	0,15 %	01,48 %	0,08 %	0,20 %
Óxido de Titanio	0,58 %	0,83 %	0,82 %	0,79 %
Óxido de Manganeso	0,07 %	0,16 %	0,12 %	0,16 %
Óxido de Hierro	5,2%	8,3%	14,5%	7,3%
Óxido de Cobalto	0,04 %	0,00 %	0,20 %	0,12 %
Óxido de Estaño	0,13 %	0,15 %	0,12 %	0,16 %

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

#### 4.2. Análisis de Resultados

##### Ejemplo de calculo

Se pretende construir una vivienda unifamiliar medianera en cualquiera de los sectores ya sea Jorge Mosquera, El Mirador, Santa Rosa o Benjamín Carrión, la cual constan de dos plantas, para lo cual se ha pedido al diseñador establecer en que sector es más factible realizar la construcción de la misma.

La profundidad de la cimentación será de 2 metros y el diseñador deberá analizar dos casos, el primero en el cual el estrato está conformado únicamente por arcilla con una potencia de 10 m y el segundo que se compone de dos estratos uno de arena de 3m de potencia y uno de arcilla de 10 metros de espesor. Además, se debe considerar el nivel de aguas freáticas como se muestra en los esquemas de los casos propuestos. Los datos adicionales tanto de pesos específicos y dimensiones de cimentación se muestran en cada caso.

Para los dos casos propuestos se debe determinar el asentamiento producido en la columna con mayor área de aporte y en las columnas B2 – B1 para analizar asentamiento diferencial, se pueden identificar las columnas en la figura 17.

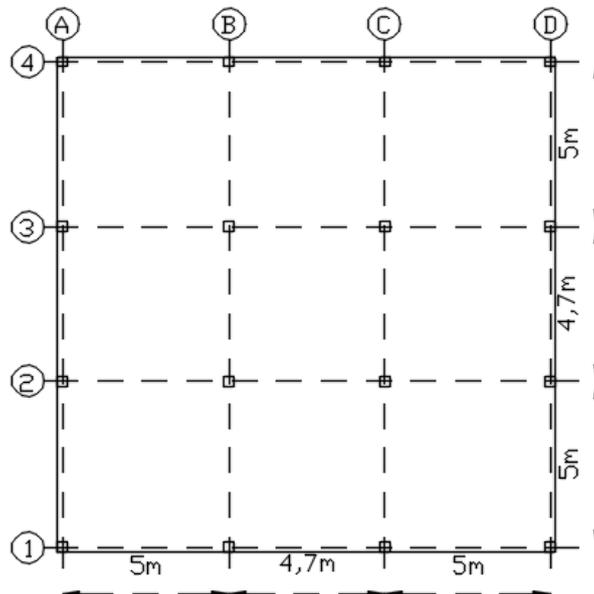


Figura 16: Distribución de Ejes

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

Se necesita estimar las cargas que se transmitirán al suelo para el cálculo de asentamientos. Considerando que necesitamos determinar asentamientos y a su vez verificar la confiabilidad de la hoja de cálculo, la estimación de las cargas será muy básica y la combinación de cargas a utilizarse será  $1.2D + 1.6L$ .

Determinación de cargas:

En la normativa ecuatoriana NEC15 SE-CG establece la carga viva para viviendas unifamiliares de  $2\text{KN/m}^2$  y la carga de terraza de  $1\text{KN/m}^2$ .

Para determinar la carga muerta se pone en consideración los siguientes elementos: Contra pisos y recubrimientos de 3cm de espesor con un peso unitario de  $0.66\text{KN/m}^2$ , Cielorrasos y Cubiertas con un peso unitario de  $0,20\text{ KN/m}^2$  y la carga mínima según la NEC 15 SE-CG es de  $2\text{ KN/m}^2$ . La suma de estos elementos nos da  $2,86\text{KN/m}^2$ .

En la carga muerta estructural se considerará una losa aliviana en dos direcciones con un espesor de 25cm con casetones alivianantes de  $40\times 40\times 20\text{cm}$  el peso unitario de este tipo de losa es de  $3,05\text{KN/m}^2$ .

Al distribuir las cargas a todas las zapatas se evidencia que las columnas B2-C2-B3-C3 tienen mayor área de aporte lo cual se observa en la figura 18, por lo tanto transmiten mayor carga la cual es de  $640\text{KN}$  las dimensiones de las zapatas son de  $2\text{m} \times 2\text{m}$

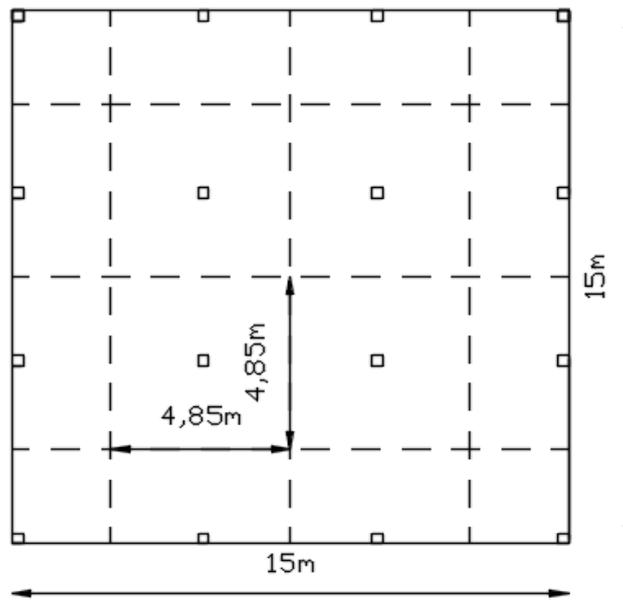


Figura 17: Áreas de Aporte  
 Fuente: El Autor  
 Elaboración: El Autor

**Caso 1**

En la figura 19 se establece los parámetros adicionales para el cálculo de asentamiento producido en la zapata con mayor carga. Se realizará el procedimiento de cálculo para la zona Benjamín Carrión.

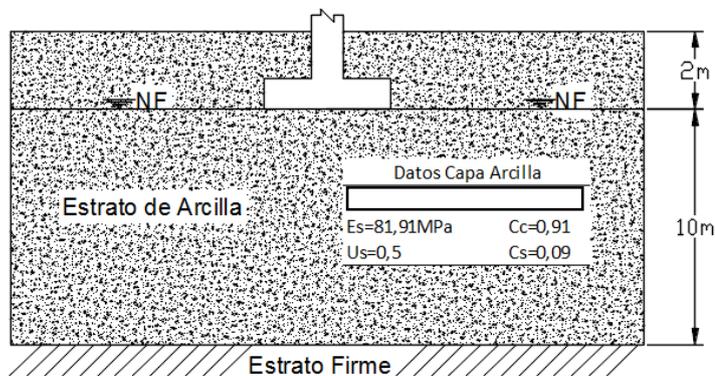


Figura 18: Esquema interacción suelo - zapata  
 Fuente: El Autor  
 Elaboración: El Autor

Para determinar el esfuerzo promedio se lo calcula en  $H = 10$ ,  $H = 5$  y  $H = 0$ .

$$\Delta\sigma_{prom} = \frac{1}{6}(\Delta\sigma_s + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_i) \text{ Ecuación 2.12}$$

Para  $H=10m$

$$m_1 = \frac{L}{B}; n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} \text{ Ecuación 2.8 y 2.9}$$

$$m_1 = \frac{2}{2} = 1 \quad ; \quad n_1 = \frac{10}{\left(\frac{2}{2}\right)} = 10$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{m_1 n_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}} x \frac{m_1^2 + 2n_1^2 + 1}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right) \text{Ecuación 2.6}$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{1 \times 10}{\sqrt{1^2 + 10^2 + 1}} x \frac{1^2 + 2 \times 10^2 + 1}{(1 + 10^2)(1^2 + 10^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{1}{\sqrt{1^2 + 10^2} \sqrt{1 + 10^2}} \right)$$

$$I_c = 0,01879$$

$$\Delta\sigma = q_o I_c \text{ Ecuación 2.7}$$

$$\Delta\sigma = 160 \times 0,01879 = 3,01 \text{ KN/m}^2$$

Para H=5m

$$m_1 = \frac{L}{B} = \frac{2}{2} = 1 \quad ; \quad n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} = \frac{5}{\left(\frac{2}{2}\right)} = 5$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{m_1 n_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}} x \frac{m_1^2 + 2n_1^2 + 1}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right)$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{1 \times 5}{\sqrt{1^2 + 5^2 + 1}} x \frac{1^2 + 2 \times 5^2 + 1}{(1 + 5^2)(1^2 + 5^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{1}{\sqrt{1^2 + 5^2} \sqrt{1 + 5^2}} \right)$$

$$I_c = 0,07161$$

$$\Delta\sigma = q_o I_c$$

$$\Delta\sigma = 160 \times 0,07161 = 11,46 \text{ KN/m}^2$$

Para H=0m

$$m_1 = \frac{L}{B} = \frac{2}{2} = 1 \quad ; \quad n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} = \frac{0}{\left(\frac{2}{2}\right)} = 0$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{m_1 n_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}} x \frac{m_1^2 + 2n_1^2 + 1}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right)$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{1 \times 0}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 1}} x \frac{1^2 + 2 \times 0^2 + 1}{(1 + 0^2)(1^2 + 0^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0^2} \sqrt{1 + 0^2}} \right)$$

$$I_c = 1$$

$$\Delta\sigma = q_o I_c$$

$$\Delta\sigma = 160 \times 1 = 160 \text{ KN/m}^2$$

Se calcula el esfuerzo promedio:

$$\Delta\sigma_{prom} = \frac{1}{6}(\Delta\sigma_s + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_i) \text{ Ecuación 2.12}$$

$$\Delta\sigma_{prom} = \frac{1}{6}(3,01 \text{ KN/m}^2 + 4 \times 11,46 \text{ KN/m}^2 + 160 \text{ KN/m}^2) = 34,81 \text{ KN/m}^2$$

## Asentamiento Elástico

### MÉTODO DE JANBÚ Y COLABORADORES

$$A_1 = \frac{H}{B} \text{ Ecuación 2.16}$$

$$A_1 = \frac{10m}{2m} = 5$$

$$A_1 = \frac{L}{B} \text{ Ecuación 2.17}$$

$$A_1 = \frac{2m}{2m} = 1$$

$$A_2 = \frac{D_f}{B} \text{ Ecuación 2.18}$$

$$A_2 = \frac{2m}{2m} = 1$$

$$S_e = A_1 \cdot A_2 \frac{q_0 \cdot B}{E_s} \text{ Ecuación 2.19}$$

$$S_e = 0,651 \times 0,9246 \times \frac{160 \times 2}{81,91} = 2,381 \text{ mm}$$

### MÉTODO BASADO EN LA TEORÍA DE LA ELASTICIDAD

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B} \text{ Ecuación 2.28}$$

$$m' = \frac{2m}{2m} = 1$$

$$n' = \frac{2H}{B} \text{ Ecuación 2.29}$$

$$n' = \frac{2m \times 10m}{2m} = 10$$

$F_1 = 0,498, F_2 = 0,016$  Valores Leídos en tablas 5,8y5,9 (Das, 2015)

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2u_s}{1 - u_s} F_2 \quad \text{Ecuación 2.26}$$

$$I_s = 0,498 + \frac{1 - 2 \times 0,5}{1 - 0,5} \times 0,016 = 0,498$$

$$\frac{D_f}{B} = \frac{2}{2} = 1 \quad \wedge \quad \frac{L}{B} = \frac{2}{2} = 1 \quad \wedge \quad u_s = 0,5 \rightarrow$$

$$I_f = 0,72 \quad \text{Valor Leído en tabla 5,10 (Das, 2015)}$$

$$B' = \frac{B}{2} = 1$$

$$S_e = q_o \cdot (\alpha \cdot B') \frac{1 - u_s^2}{E_s} I_s I_f \quad \text{Ecuación 2.27}$$

$$S_e = 160 \times (4 \times 1) \frac{1 - 0,5^2}{81,91} \times 0,498 \times 0,72 = 2,1 \text{ mm}$$

Se toma el mayor valor entre el método de Janbú y el método de la teoría de la elasticidad.

$$S_e = 2,381 \text{ mm}$$

### Asentamiento por consolidación primaria

La zona donde se cimentará tiene un OCR de 3,21 obtenido a partir del ensayo edométrico sus parámetros se encuentran en la tabla 8; lo que implica que se trata de un suelo sobre consolidado y se cumple que:

$$\sigma'_o = Df * (\gamma) + \frac{H}{2} (\gamma_{sat} - 9,81) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$\sigma'_o = 2 * (16,47) + \frac{10}{2} (16,83 - 9,81) = 68,04 \text{ KN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = 34,81 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma'_c = 176,5 \text{ KN/m}^2 \quad (\text{obtenido de la grafica de consolidación})$$

$$\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$$

$$68,04 \text{ KN/m}^2 + 34,81 \text{ KN/m}^2 \leq 176,5 \text{ KN/m}^2$$

$$102,85 \text{ KN/m}^2 \leq 176,47 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto:

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \text{Ecuación 2.34}$$

$$S_p = \frac{0,088 \times 10}{1 + 4,04} \log\left(\frac{68,04 + 34,81}{68,04}\right) = 31,33\text{mm}$$

### Asentamientos por consolidación secundaria

Para arcilla sobre-consolidada con  $\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$

$$\Delta e = C_s \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \text{Ecuación 2.39}$$

$$\Delta e = 0,088 \times \log\left(\frac{68,04 + 34,81}{68,04}\right) = 0,01579$$

$$Ca = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} \text{Ecuación 2.41}$$

$$Ca = \frac{0,01579}{\log(25/1)} = 0,0113$$

$$e_p = e_o - \Delta e \text{Ecuación 2.40}$$

$$e_p = 4,04 - 0,01579 = 4,02421$$

$$C'a = \frac{Ca}{1 + e_p} \text{Ecuación 2.42}$$

$$C'a = \frac{0,0113}{1 + 4,02421} = 0,002249$$

$$S_s = C'a H \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \text{Ecuación 2.43}$$

$$S_s = 0,002249 \times 10\text{m} \times \log\left(\frac{25\text{años}}{1\text{año}}\right) = 31,44\text{mm}$$

El asentamiento total es la sumatoria del asentamiento instantáneo, por consolidación primaria y secundaria en zapata flexible:

$$S_T = S_e + S_p + S_s$$

$$S_{T(F)} = 2,381\text{mm} + 31,33\text{mm} + 31,44\text{mm} = 65,151\text{mm}$$

En el caso de rígida se la multiplica por el coeficiente 0,93:

$$S_{T(F)} = 0,93 \times 2,381\text{mm} + 31,33\text{mm} + 31,44\text{mm} = 64,984\text{mm}$$

Los asentamientos producidos en las cuatro zonas de estudio se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Asentamientos Totales

Sector	Carga	Profundidad de Cimentación	Espesor estrato	Largo	Ancho	Asentamiento	Asentamiento
						Cimentación Flexible	Cimentación Rígida
El Mirador	640,00 kN	2 m	10 m	2 m	2 m	43,30 mm	43,04 mm
Santa Rosa	640,00 kN	2 m	10 m	2 m	2 m	26,51 mm	26,41 mm
Benjamín Carrión	640,00 kN	2 m	10 m	2 m	2 m	65,10 mm	64,93 mm
Jorge Mosquera	640,00 kN	2 m	10 m	2 m	2 m	32,13 mm	31,53 mm

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

El asentamiento diferencial entre B2 y B1 de acuerdo con la normativa ecuatoriana de la construcción, establece que edificaciones con muros de carga o mampostería el asentamiento diferencial no excederá  $L/500$ . Para una luz de 5m el asentamiento permitido es de 10mm, en la tabla 11 se encuentran las magnitudes de asentamientos diferenciales en las zonas de estudio.

Tabla 11: Asentamientos Diferenciales entre B2-B1

Sector	Cimentación	Cimentación
	Flexible	Rígida
Benjamin Carrión	5,79 mm	5,37 mm
El Mirador	4,27 mm	4,19 mm
Santa Rosa	2,45 mm	2,42 mm
Jorge Mosquera	4,63 mm	4,45 mm

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

Se aprecia que en la zona de Santa Rosa el asentamiento es menor en comparación con los otros sectores, y el más crítico el sector de la Benjamín Carrión. Es incuestionable que los asentamientos generados en los sectores estudiados son tolerables ya que se encuentran bajo el límite máximo de 0.10m instituido por la normativa ecuatoriana de la construcción NEC-SE-GC. En este ejemplo todos los sectores cumplen con los asentamientos que permite la normativa, pero el que presenta menor asentamiento es Santa Rosa por tanto en esta zona se implantaría la vivienda.

## Caso 2

En la figura 20 se establece los parámetros adicionales para el cálculo de asentamiento producido en la zapata con mayor carga. Se realizará el procedimiento de cálculo para la zona Jorge Mosquera.

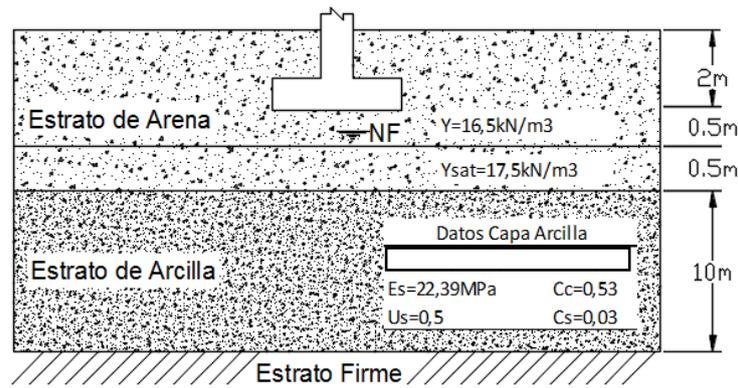


Figura 19: Esquema interacción suelo - zapata  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

Para determinar el esfuerzo promedio se lo calcula en  $H = 11$ ,  $H = 6$  y  $H = 1$

$$\Delta\sigma_{prom} = \frac{1}{6}(\Delta\sigma_s + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_i) \text{ Ecuación 2.12}$$

Para  $H=10m$

$$m_1 = \frac{L}{B} ; n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} \text{ Ecuación 2.4 y 2.5}$$

$$m_1 = \frac{2}{2} = 1 ; n_1 = \frac{11}{\left(\frac{2}{2}\right)} = 11$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{m_1 n_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}} \times \frac{m_1^2 + 2n_1^2 + 1}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right) \text{ Ecuación 2.6}$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{1 \times 11}{\sqrt{1^2 + 11^2 + 1}} \times \frac{1^2 + 2 \times 11^2 + 1}{(1 + 11^2)(1^2 + 11^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{1}{\sqrt{1^2 + 11^2} \sqrt{1 + 11^2}} \right)$$

$$I_c = 0,01557$$

$$\Delta\sigma = q_o I_c \text{ Ecuación 2.7}$$

$$\Delta\sigma = 160 \times 0,01557 = 2,4912 \text{ KN/m}^2$$

Para  $H=6m$

$$m_1 = \frac{L}{B} = \frac{2}{2} = 1 ; n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} = \frac{6}{\left(\frac{2}{2}\right)} = 6$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{m_1 n_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}} \times \frac{m_1^2 + 2n_1^2 + 1}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right)$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{1 \times 6}{\sqrt{1^2 + 6^2 + 1}} x \frac{1^2 + 2 \times 6^2 + 1}{(1 + 6^2)(1^2 + 6^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{1}{\sqrt{1^2 + 6^2} \sqrt{1 + 6^2}} \right)$$

$$I_c = 0,05070$$

$$\Delta\sigma = q_o I_c$$

$$\Delta\sigma = 160 \times 0,05070 = 8,112 \text{ KN/m}^2$$

Para H=1m

$$m_1 = \frac{L}{B} = \frac{2}{2} = 1 \quad ; \quad n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{2}{2}\right)} = 1$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{m_1 n_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}} x \frac{m_1^2 + 2n_1^2 + 1}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right)$$

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left( \frac{1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1}} x \frac{1^2 + 2 \times 1^2 + 1}{(1 + 1^2)(1^2 + 1^2)} + \text{sen}^{-1} \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2} \sqrt{1 + 1^2}} \right)$$

$$I_c = 0,7$$

$$\Delta\sigma = q_o I_c$$

$$\Delta\sigma = 160 \times 0,7 = 112,16 \text{ KN/m}^2$$

Se calcula el esfuerzo promedio:

$$\Delta\sigma_{prom} = \frac{1}{6} (\Delta\sigma_s + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_i) \text{ Ecuación 2.12}$$

$$\Delta\sigma_{prom} = \frac{1}{6} (2,4912 \text{ KN/m}^2 + 4 \times 8,112 \text{ KN/m}^2 + 112,16 \text{ KN/m}^2) = 24,517 \text{ KN/m}^2$$

## Asentamiento Elástico

### MÉTODO DE JANBÚ Y COLABORADORES

$$A_1 = \frac{H}{B} \text{ Ecuación 2.16}$$

$$A_1 = \frac{10m}{2m} = 5$$

$$A_1 = \frac{L}{B} \text{ Ecuación 2.17}$$

$$A_1 = \frac{2m}{2m} = 1$$

$$A_2 = \frac{D_f}{B} \text{ Ecuación 2.18}$$

$$A_2 = \frac{2m}{2m} = 1$$

$$S_e = A_1 \cdot A_2 \frac{q_0 \cdot B}{E_s} \text{ Ecuación 2.19}$$

$$S_e = 0,651 \times 0,9246 \times \frac{160 \times 2}{22,387} = 8,604 \text{ mm}$$

#### MÉTODO BASADO EN LA TEORÍA DE LA ELASTICIDAD

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B} \text{ Ecuación 2.28}$$

$$m' = \frac{2m}{2m} = 1$$

$$n' = \frac{2H}{B} \text{ Ecuación 2.29}$$

$$n' = \frac{2m \times 10m}{2m} = 10$$

$F_1 = 0,498, F_2 = 0,016$  Valores Leídos en tablas 5,8y5,9 (Das, 2015)

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2u_s}{1 - u_s} F_2 \text{ Ecuación 2.26}$$

$$I_s = 0,498 + \frac{1 - 2 \times 0,5}{1 - 0,5} \times 0,016 = 0,498$$

$$\frac{D_f}{B} = \frac{2}{2} = 1 \wedge \frac{L}{B} = \frac{2}{2} = 1 \wedge u_s = 0,5 \rightarrow$$

$I_f = 0,72$  Valor Leído en tabla 5,10 (Das, 2015)

$$B' = \frac{B}{2} = 1$$

$$S_e = q_0 \cdot (\alpha \cdot B') \frac{1 - u_s^2}{E_s} I_s I_f \text{ Ecuación 2.27}$$

$$S_e = 160 \times (4 \times 1) \frac{1 - 0,5^2}{22,387} \times 0,498 \times 0,72 = 7,69 \text{ mm}$$

Se toma el mayor valor entre el método de Janbú y el método de la teoría de la elasticidad.

$$S_e = 8,604 \text{ mm}$$

### Asentamiento por consolidación primaria

La zona donde se cimentará tiene un OCR de 3,33 obtenido a partir del ensayo edométrico sus parámetros se encuentran en la tabla 8; lo que implica que se trata de un suelo sobre consolidado y se cumple que:

$$\sigma'_o = \{(D_f + H1) * (\gamma)\} + H2 * (\gamma_{sat}) + \frac{H}{2} (\gamma_{sat} - 9,81) \text{ Ecuación 2.3}$$

$$\sigma'_o = 2,5 * (16,5) + 0,5 * (17,5 - 9,81) + \frac{10}{2} (18,47 - 9,81) = 88,395 \text{ KN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = 24,517 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma'_c = 274,51 \text{ KN/m}^2 \text{ (obtenido de la grafica de consolidación)}$$

$$\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$$

$$88,395 \text{ KN/m}^2 + 24,517 \text{ KN/m}^2 \leq 274,51 \text{ KN/m}^2$$

$$112,912 \text{ KN/m}^2 \leq 274,51 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto:

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \text{ Ecuación 2.34}$$

$$S_p = \frac{0,0292 \times 10}{1 + 2,882} \log\left(\frac{88,395 + 24,517}{88,395}\right) = 7,997 \text{ mm}$$

### Asentamientos por consolidación secundaria

Para arcilla sobre-consolidada con  $\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$

$$\Delta e = C_s \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \text{ Ecuación 2.39}$$

$$\Delta e = 0,0292 \times \log\left(\frac{88,395 + 24,517}{88,395}\right) = 0,0031$$

$$Ca = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} \text{ Ecuación 2.41}$$

$$Ca = \frac{0,0031}{\log(25/1)} = 0,00222$$

$$e_p = e_o - \Delta e \text{ Ecuación 2.40}$$

$$e_p = 2,882 - 0,0031 = 2,8789$$

$$C'a = \frac{Ca}{1 + e_p} \text{ Ecuación 2.42}$$

$$C'a = \frac{0,00222}{1 + 2,882} = 0,000572$$

$$S_s = C'a H \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \text{ Ecuación 2.43}$$

$$S_s = 0,000572 \times 10 \text{ m} \times \log\left(\frac{25 \text{ años}}{1 \text{ año}}\right) = 7,99 \text{ mm}$$

El asentamiento total es la sumatoria del asentamiento instantáneo, por consolidación primaria y secundaria.

$$S_T = S_e + S_p + S_s$$

$$S_{T(F)} = 8,604 \text{ mm} + 7,997 \text{ mm} + 7,99 \text{ mm} = 24,591 \text{ mm}$$

Este asentamiento es para zapata flexible en el caso de rígida se la multiplica por el coeficiente 0,93:

$$S_{T(F)} = 0,93 \times 8,604 \text{ mm} + 7,997 \text{ mm} + 7,99 \text{ mm} = 23,99 \text{ mm}$$

Los asentamientos generados en las cuatro zonas de estudio se exponen en la tabla 12.

Tabla 12: Asentamientos Totales

Sector	Carga	Profundidad de Cimentación	Espesor estrato arena	Espesor estrato Arcilla	Largo	Ancho	Asentamiento Cimentación Flexible	Asentamiento Cimentación Rígida
El Mirador	640,00 kN	2 m	3 m	10 m	2 m	2 m	28,63 mm	28,37 mm
Santa Rosa	640,00 kN	2 m	3 m	10 m	2 m	2 m	17,30 mm	17,20 mm
Benjamín Carrión	640,00 kN	2 m	3 m	10 m	2 m	2 m	41,65 mm	41,49 mm
Jorge Mosquera	640,00 kN	2 m	3 m	10 m	2 m	2 m	23,99 mm	24,59 mm

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

El asentamiento diferencial entre B2 y B1 de acuerdo con la normativa ecuatoriana de la construcción, establece que edificaciones con muros de carga o mampostería el asentamiento diferencial no excederá L/500. Para una luz de 5m el asentamiento permitido es de 10mm, en la tabla 13 se encuentran las magnitudes de asentamientos diferenciales en las zonas de estudio.

Tabla 13: Asentamientos Diferenciales entre B2-B1

Sector	Cimentación	Cimentación
	Flexible	Rígida
El Mirador	5,16 mm	5,10 mm
Santa Rosa	3,04 mm	3,01 mm
Benjamín Carrión	6,87 mm	6,83 mm
Jorge Mosquera	6,18 mm	5,99 mm

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

Al igual que el caso 1 se aprecia que en la zona de Santa Rosa el asentamiento es menor en comparación con los otros sectores, y el más crítico el sector de la Benjamín Carrión. Además, los asentamientos generados en los sectores estudiados son tolerables ya que se encuentran bajo el límite máximo de 0.10m instituido por la normativa ecuatoriana de la construcción NEC-SE-GC. En este ejemplo todos los sectores cumplen con los asentamientos que permite la normativa, pero el que presenta menor asentamiento es Santa Rosa por tanto en esta zona se implantaría la vivienda.

## CONCLUSIONES

- Luego de analizar los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio y proponer dos casos de estudio donde fueron constantes los parámetros tanto de geometría, carga, espesor del estrato y profundidad se determinó que la zona más desfavorable para implantar una obra civil es el barrio Benjamín Carrión seguido de El mirador, Jorge Mosquera y finalmente Santa Rosa.
- El espesor del estrato de arcilla bajo la cimentación, índice de compresión ( $C_c$ ) y el índice de expansión o recompresión ( $C_s$ ) son directamente proporcionales a la magnitud de asentamiento.
- En las zonas de estudio los asentamientos por consolidación no restringen la carga que se le puede aplicar al terreno de fundación, pero en esta investigación se determinó que la carga que se aplica a la cimentación no solo queda determinada por la capacidad portante del suelo sino también por la carga permisible debida a los asentamientos, puesto que los sectores analizados se evidencio que aunque la carga aplicada sea menor a la capacidad portante del terreno, esta carga produce asentamientos.
- A partir de la curva de compresibilidad realizada para cada una de las cuatro zonas de estudio se estableció que los suelos se encuentran sobreconsolidados (OCR) mayores a 1, lo que indica que los suelos durante su historia geología han sido sometidos a presiones mayores a las que soporta actualmente.
- Tanto el limite liquido como el limite plástico son indicadores de asentamientos, ya que a mayor límite líquido y plástico el suelo tiende a sufrir mayores asentamientos como fue el caso de Benjamín Carrión con respecto a las otras zonas, esto debido a que mayores valores de límites de Atterberg corresponden a suelos de elevada compresibilidad.
- El ensayo de fluorescencia de rayos X establece que los componentes predominantes de los cuatro sectores de la zona de estudio son el óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con más del treinta por ciento de la totalidad de la composición del material, seguido del óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), elementos característicos de suelos arcillosos, lo que corrobora el resultado obtenido con los ensayos de clasificación de suelos.

## RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio de asentamiento instantáneo por consolidación primaria y consolidación secundaria en todos los barrios de la ciudad de Zamora para así elaborar una base de datos que sirva como referencia para futuras implantaciones de obras civiles.
- Se recomienda tomar siempre en consideración los asentamientos por consolidación secundaria ya que poseen aproximadamente la misma magnitud de asentamientos que los producidos por consolidación primaria por lo que no se deberían obviar en los cálculos.
- Se recomienda que en todas las obras civiles que serán cimentadas en arcillas de alta plasticidad y elevada comprensibilidad, tengan un seguimiento tanto en su etapa de pre construcción, construcción y vida útil, tanto en la parte física como el comportamiento geotécnico.
- Si se necesita determinar la carga que provoca el mayor asentamiento permitido se recomienda realizar un proceso inverso con un factor de seguridad de 3.
- Para una estimación rápida de asentamientos se recomienda usar tablas y gráficas, pero cuando se trata de establecer los asentamientos para un diseño estructural se recomienda usar los métodos descritos en el capítulo II, puesto que la exactitud de las tablas y gráficas dependen de la apreciación del calculista.
- Para la implantación de una vivienda se recomienda realizar los estudios de mecánica de suelos que permitan conocer el comportamiento del suelo al ser sometido a cargas provocadas por la construcción de la obra, esto permitirá que el diseñador elija el tipo de cimentación adecuada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bolton, P. V. (2011). Strength mobilization in clays and silts. *nrcresearchpress*, 1486.
- Bowles, J. E. (1987). Elastic Foundation Settlements on Sand Deposits. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 846-860.
- Buchignani, J. M. (1976). *An Engineering Manual for Settlement Studies*. Berkeley: Department of Civil Engineering.
- Carrier, J. T. (1978). Jambu, Bjerrum y Kjaernslí's Chart Reinterpreted. *Canadian Geotechnical Journal*, 124-128.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Cengage Learning Editores.
- F.H. Kulhawy, P. M. (1990). *Manual of Estimating Soil Properties for Foundation Design*. Palo Alto, California: Electric Power Research Institute.
- FOX, E. N. (1948). The Mean Elastic Settlement of a Uniformly Loaded Area at a Depth below the Ground . *Proceedings, 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,,* 129-132.
- Gordon, J. E. (1987). *Structures or why things don't fall down*. Penguin: Pelican Books.
- Hara, T. O., & Banno, S. T. (1971). Shear Modulus and Shear Strength of Cohesive Soils. *Soils and Foundations*, 1-12.
- Iglesias, C. (1997). *Mecánica de Suelos*. España: Editorial Síntesis.
- JIMÉNEZ SALAS, J. A. (1975). *Geotecnia y cimientos III, Cimentaciones y excavaciones de la geotecnia (Primera ed.)*. Madrid: Rueda.
- N. Janbú, L. a. (1956). Veiledning ved losning av fundamenteringsoppgaver. *Norwegian Geotechnical Institute*, 30-32.
- Nagaraj, T. a. (1985). Prediction of the Preconsolidation Pressure and Recompression Index of Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 199-202.
- Pablo, L. d. (1964). *Las arcillas. I. Clasificación, Identificación, Usos Y Especificaciones Industriales*. Mexico: Bol.Soc.Geol.
- Paul W. Mayne and John B. Kemper, J. (1988). Profiling OCR in Stiff Clays By CPT and SPT. *Geotechnical Testing, ASTM*, 139-147.
- PECK, R. B. (1983). *Ingeniería de Cimientos*. México: Limusa.
- S.L., S. M. (2017). *Climate-Data.org*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/location/25492/>
- Sánchez, A. M. (2008). *Ejercicios Resueltos de Geotecnia*. Madrid: Bellisco.
- Sierra, M. P. (s.f.). *Geología y Geotecnia. Consolidación Unidimensional de Suelo*. Universidad Nacional de Rosario.
- Sowers, G. B. (1972). *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimientos*. México: Limusa – Wiley.

Stas, C. V., & Kulhawy, F. H. (1984). *Critical evaluation of design methods for foundations under axial uplift and compression loading*. Palo Alto, California: Electric Power Research Institute.

Steinbrenner, W. (1934). Tafeln zur Setzungsberechnung. *Die Strasse*, 121-124.

T.Fikret, U. D. (2016). Prediction of compressibility parameters. *Springer Plus*, 3.

Tamez, E. (2001). *Ingeniería de Cimentaciones*. Mexico: TGC Geotecnia.

## **ANEXOS**

# RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

## 1. Resultados ensayos de clasificación del suelo

Tabla 14: Ensayo de clasificación de suelos Z1.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UCG - UTPL ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
INF-LAB-UCG-002-2017 PROYECTO: ESTUDIO DE ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION PRIMARIA Y SECUNADARIA EN ARCILLAS Y LIMOS DE LA CIUDAD DE ZAMORA OBRA: CIMENTACION DE ESTRUCTURAS EN LA CIUDAD DE ZAMORA LOCALIZAC: EL RELOJ ZAMORA SOLICITADO: DIRECTOR TESIS FECHA: 07-02-2017						
NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 POZO: 1 MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: 1.0 M REALIZADO: LEONARDO CANGO						
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		357,04 398,94	292,19 325,15	72,40 66,63	29,51 28,54	29,02
2.- LÍM. LÍQUIDO	18,00 21,00 28,00 33,00 40,00	71,60 82,02 68,52 75,49 63,99	67,30 77,58 64,61 71,58 59,82	61,60 71,55 59,04 65,82 53,38	75,44 73,63 70,20 67,88 64,75	71,44
3.- LÍMITE PLÁSTICO		55,16 65,96	54,94 65,73	54,22 64,98	30,56 30,67	30,61
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 624,39 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 624,39			GRAVA 0 ARENA 42 FINOS 58			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 71,00 LP = 31,00 IP = 40,00		
1"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : CH AASHTO: A-7-5 IG(86): 21 IG(45): 15		
3/4"	0,00	0	100			
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	0,00	0	100			
No. 4	0,00	0	100			
No. 10	90,52	14	86			
No. 40	204,04	33	67			
No. 200	261,08	42	58			
<p style="text-align: center;"><b>LÍMITE LÍQUIDO</b></p>						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH)						
OBSERVACIONES:						
 Angel Guillermo Tapia <b>DOCENTE INVESTIGADOR</b>			 Leonardo Javier Cango Apolo <b>PROFESIONAL EN FORMACIÓN</b>			

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

## 2. Resultados ensayos de consolidación del suelo

Tabla 29: Ensayo de consolidación de la muestra tomada en el barrio Jorge Mosquera



### UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Proyecto: TESIS ASENTAMIENTOS	Calicata N°: 1
Localización del proyecto: Jorge Mosquera	Muestra N°: 1
Descripción del Suelo: CH (Arcilla color naranja )	Profundidad de la Muestra: 2,70m
Realizado por: CANGO APOLO Leonardo Javier	Fecha de inicio del Ensayo: 11/02/2017
Consolidómetro tipo: Fijo	Anillo N°: 1

Relación de amplificación del sistema de carga:

Dimensiones del anillo:

Diámetro: 6,4 cm	Área: 31,6692 cm <sup>2</sup>	Altura: 2,36 cm	Volumen: 74,74 cm <sup>3</sup>
------------------	-------------------------------	-----------------	--------------------------------

Altura inicial del suelo, Hi =	2,36 cm
Gravedad específica del suelo, Gs =	
Peso del anillo + muestra al comienzo del ensayo =	639,15 g
Peso del anillo =	500,54 g
Peso del suelo húmedo, Wt =	138,61 g
Peso del suelo seco al horno, Ws =	94,86 g
Altura de los sólidos, Hs =	0,6079 cm
Altura inicial de vacíos, Hv = Hi - Hs =	1,752 cm
Relación de vacíos inicial, ei = Hv/Hs =	2,882
Grado de saturación inicial, Si = (Wt - Ws) / (Hv x A) =	78,84%

Determinación del contenido de humedad inicial	
Peso de lata + suelo húmedo =	331,92 g
Peso de lata + suelo seco =	253,03 g
Peso de la lata =	71,73 g
Peso del suelo seco =	181,30 g
Peso del agua =	78,89 g
Contenido de humedad (inicial) =	43,51%

#### Datos finales del ensayo (obtenidos al final del ensayo)

Lectura inicial del deformímetro =	5+000,0
Lectura final del deformímetro =	10+197,0
Cambio en altura de la muestra =	0,3040 cm
Altura final de vacíos, Hvf =	1,4481 cm
Relación de vacíos final, ef = Hvf/Hs =	2,382

Determinación del contenido de humedad final	
Peso final del anillo + Muestra humedad =	641,26 g
Peso final del anillo + Muestra seca =	595,40 g
Peso o Volumen de agua =	45,86 g
Peso del suelo seco al horno, Ws =	94,86 g
Contenido de humedad final, Wf =	48,34%
Grado de saturación final, Sf =	95,40%

Ing. Ángel Guillermo Tapia Chávez

Leonardo Javier Cango Apolo

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Proyecto: TESIS ASENTAMIENTOS  
 Localización del proyecto: Jorge Mosquera  
 Descripción del Suelo: CH (Arcilla color naranja )  
 Realizado por: CANGO APOLO Leonardo Javier  
 Consolidómetro tipo: Fijo

Calicata N°: 1  
 Muestra N°: 1  
 Profundidad de la Muestra: 2,70m  
 Fecha de inicio del Ensayo: 11/02/2017  
 Anillo N°: 1

#### DATOS DEL ENSAYO (CARGA):

Carga: 0 - 1 kg  
 Fecha de aplicación: 11/02/2017  
 Aplicado por: CANGO Leonardo

Carga: 1 - 2 kg  
 Fecha de aplicación: 12/02/2017  
 Aplicado por: CANGO Leonardo

Fecha y hora en reloj	Tiempo transcurrido (min)	Deformación 0,00254 mm	
		Original	Ajustada
08:25:00	0	5+000,0	0,0000
08:25:06	0,1	5+082,2	0,2088
08:25:15	0,25	5+088,2	0,2240
08:25:30	0,5	5+092,0	0,2337
08:26:00	1	5+095,2	0,2418
08:27:00	2	5+099,0	0,2515
08:29:00	4	5+103,1	0,2619
08:33:00	8	5+107,0	0,2718
08:40:00	15	5+109,7	0,2786
08:55:00	30	5+112,2	0,2850
09:25:00	60	5+115,3	0,2929
10:25:00	120	5+119,2	0,3028
12:25:00	240	5+123,3	0,3132
16:25:00	480	5+125,6	0,3190
18:25:00	600	5+126,3	0,3208
08:25:00	1440	5+128,7	0,3269

Fecha y hora en reloj	Tiempo transcurrido (min)	Deformación 0,00254 mm	
		Original	Ajustada
08:25:00	0	5+128,7	0,3269
08:25:06	0,1	6+002,2	0,5136
08:25:15	0,25	6+010,2	0,5339
08:25:30	0,5	6+014,7	0,5453
08:26:00	1	6+020,3	0,5596
08:27:00	2	6+026,3	0,5748
08:29:00	4	6+031,7	0,5885
08:33:00	8	6+037,2	0,6025
08:40:00	15	6+040,2	0,6101
08:55:00	30	6+043,1	0,6175
09:25:00	60	6+047,2	0,6279
10:25:00	120	6+050,1	0,6353
12:25:00	240	6+054,1	0,6454
16:25:00	480	6+059,3	0,6586
18:25:00	600	6+060,5	0,6617
08:25:00	1440	6+064,0	0,6706

Ing. Ángel Guillermo Tapia Chávez

Leonardo Javier Cango Apolo

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Proyecto: TESIS ASENTAMIENTOS  
 Localización del proyecto: Jorge Mosquera  
 Descripción del Suelo: CH (Arcilla color naranja )  
 Realizado por: CANGO APOLO Leonardo Javier  
 Consolidómetro tipo: Fijo

Calicata N°: 1  
 Muestra N°: 1  
 Profundidad de la Muestra: 2,70m  
 Fecha de inicio del Ensayo: 11/02/2017  
 Anillo N°: 1

#### DATOS DEL ENSAYO (CARGA):

Carga: 2 - 4 kg  
 Fecha de aplicación: 13/02/2017  
 Aplicado por: CANGO Leonardo

Carga: 4 - 8 kg  
 Fecha de aplicación: 14/02/2017  
 Aplicado por: CANGO Leonardo

Fecha y hora en reloj	Tiempo transcurrido (min)	Deformación 0,00254 mm	
		Original	Ajustada
08:25:00	0	6+064,0	0,6706
08:25:06	0,1	6+127,2	0,8311
08:25:15	0,25	6+135,2	0,8514
08:25:30	0,5	6+141,9	0,8684
08:26:00	1	6+149,7	0,8882
08:27:00	2	6+157,8	0,9088
08:29:00	4	6+165,3	0,9279
08:33:00	8	6+171,2	0,9428
08:40:00	15	6+175,3	0,9533
08:55:00	30	6+179,8	0,9647
09:25:00	60	6+183,9	0,9751
10:25:00	120	6+187,9	0,9853
12:25:00	240	6+191,9	0,9954
16:25:00	480	6+195,2	1,0038
18:25:00	600	6+196,0	1,0058
08:25:00	1440	6+199,6	1,0150

Fecha y hora en reloj	Tiempo transcurrido (min)	Deformación 0,00254 mm	
		Original	Ajustada
08:25:00	0	6+199,6	1,0150
08:25:06	0,1	7+068,2	1,1892
08:25:15	0,25	7+080,2	1,2197
08:25:30	0,5	7+089,7	1,2438
08:26:00	1	7+100,5	1,2713
08:27:00	2	7+113,2	1,3035
08:29:00	4	7+125,3	1,3343
08:33:00	8	7+134,4	1,3574
08:40:00	15	7+140,4	1,3726
08:55:00	30	7+145,2	1,3848
09:25:00	60	7+150,2	1,3975
10:25:00	120	7+155,3	1,4105
12:25:00	240	7+160,3	1,4232
16:25:00	480	7+165,0	1,4351
18:25:00	600	7+166,3	1,4384
08:25:00	1440	7+170,4	1,4488

Ing. Ángel Guillermo Tapia Chávez

Leonardo Javier Cango Apolo

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**  
 ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Proyecto: TESIS ASENTAMIENTOS  
 Localización del proyecto: Jorge Mosquera  
 Descripción del Suelo: CH (Arcilla color naranja)  
 Realizado por: CANGO APOLO Leonardo Javier  
 Consolidómetro tipo: Fijo

Calicata N°: 1  
 Muestra N°: 1  
 Profundidad de la Muestra: 2,70m  
 Fecha de inicio del Ensayo: 11/02/2017  
 Anillo N°: 1

**DATOS DEL ENSAYO (CARGA):**

Carga: 8 - 16 kg  
 Fecha de aplicación: 15/02/2017  
 Aplicado por: CANGO Leonardo

Carga: 16 - 32 kg  
 Fecha de aplicación: 16/02/2017  
 Aplicado por: CANGO Leonardo

Fecha y hora en reloj	Tiempo transcurrido (min)	Deformación 0,00254 mm	
		Original	Ajustada
08:25:00	0	7+170,4	1,4488
08:25:06	0,1	8+059,2	1,6744
08:25:15	0,25	8+073,2	1,7099
08:25:30	0,5	8+088,2	1,7480
08:26:00	1	8+107,7	1,7976
08:27:00	2	8+130,9	1,8565
08:29:00	4	8+153,4	1,9136
08:33:00	8	8+170,4	1,9568
08:40:00	15	8+181,2	1,9842
08:55:00	30	8+189,2	2,0046
09:25:00	60	8+195,4	2,0203
10:25:00	120	9+000,6	2,0335
12:25:00	240	9+006,5	2,0485
16:25:00	480	9+011,1	2,0602
18:25:00	600	9+012,8	2,0645
08:25:00	1440	9+018,1	2,0780

Fecha y hora en reloj	Tiempo transcurrido (min)	Deformación 0,00254 mm	
		Original	Ajustada
08:25:00	0	9+018,1	2,0780
08:25:06	0,1	9+111,2	2,3144
08:25:15	0,25	9+132,2	2,3678
08:25:30	0,5	9+155,7	2,4275
08:26:00	1	9+188,2	2,5100
08:27:00	2	10+027,7	2,6104
08:29:00	4	10+073,5	2,7267
08:33:00	8	10+114,5	2,8308
08:40:00	15	10+138,0	2,8905
08:55:00	30	10+152,3	2,9268
09:25:00	60	10+162,1	2,9517
10:25:00	120	10+169,5	2,9705
12:25:00	240	10+177,1	2,9898
16:25:00	480	10+185,5	3,0112
18:25:00	600	10+187,9	3,0173
08:25:00	1440	10+197,0	3,0404

Ing. Angel Guillermo Tapia Chávez

Leonardo Javier Cango Apolo

Fuente: El Autor  
 Elaboración: El Autor







# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Proyecto:	TESIS ASENTAMIENTOS	Calicata N°:	1
Localización del proyecto:	Jorge Mosquera	Muestra N°:	1
Descripción del Suelo:	CH (Arcilla color naranja)	Profundidad de la Muestra:	2,70m
Realizado por:	CANGO APOLO Leonardo Javier	Fecha de inicio del Ensayo:	11/02/2017
Consolidómetro tipo:	Fijo	Anillo N°:	1

#### DATOS:

Presión atmosférica	101,325 KN/m <sup>2</sup>	Gravedad específica del suelo, Gs =	
Límite líquido (LL)	100,64	Contenido de humedad:	43,51%
Límite plástico (LP)	42	Relación de vacíos inicial, ei = Hv/Hs =	2,8824
Índice plástico (IP)	59	Peso específico del agua Yw	1,000 g/cm <sup>3</sup>
Índice de liquidez (IL)	0,03	Relación de vacíos en el límite líquido, el	1,8664

### ETAPA DE CARGA

#### DATOS DEL ENSAYO:

Punto 1:		Punto 2:	
Relación de vacíos instantánea (e1) =	2,5406	Relación de vacíos instantánea (e2) =	2,3823
Presión (P1) =	5,0522	Presión (P2) =	10,1044

### ETAPA DE DESCARGA

#### DATOS DEL ENSAYO:

Punto 3:		Punto 4:	
Relación de vacíos instantánea (e3) =	2,3910	Relación de vacíos instantánea (e4) =	2,3823
Presión (P3) =	5,0522	Presión (P4) =	10,1044

### CALCULO Y RESULTADOS

Índice de Compresión_Cc	
Determinado mediante el ensayo	0,52594
Skempton (1944)	0,81576
Rendon - Herrero (1983)	0,82581
Nagaraj - Murty (1985)	0,43731
Wroth y Wood (1978)	0,54766
Kulhawy y Mayne (1990)	0,79811

Índice de Expansión_Cs	
Determinado mediante el ensayo	0,02901
Kulhawy y Mayne (1990)	0,10519

Resistencia cortante no drenada, Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	
Ladd y colaboradores (1977)	2,37234
Hara y colaboradores (1971)	0,71780

Relación de sobreconsolidación, OCR	
Determinada mediante el ensayo	6,98971
Ladd y colaboradores (1977)	1,56854

Presión de preconsolidación (kg/cm <sup>2</sup> )	
Determinado mediante el ensayo	3,500
Stas y Kulhawy (1984)	11,7764
Kulhawy y Mayne (1990)	10,2521

Presión de sobrecarga efectiva in situ (kg/cm <sup>2</sup> )	
Nagaraj y Murthy (1985)	0,501

Carga (Kg)	Coefficiente de permeabilidad hidráulica k (cm/seg)
0	
1	3,22E-07
2	2,50E-07
4	1,15E-07
8	5,82E-08
16	3,78E-08
32	2,09E-08

Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

RESULTADOS OBTENIDOS	
Índice de Compresión_Cc	0,5259
Índice de Expansión_Cs	0,0290
Índice de Consolidación_Cv (cm <sup>2</sup> /min)	0,2679
Índice de Consistencia, IC	0,9673
Consistencia, en base al índice de consistencia (IC)	Media
Coefficiente de permeabilidad hidráulica k (cm/seg)	1,15E-07
Presión de preconsolidación (kg/cm <sup>2</sup> )	2,8000
Presión de sobrecarga efectiva in situ (kg/cm <sup>2</sup> )	0,5564
Relación de sobreconsolidación, OCR	3,33
Resistencia cortante no drenada, Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	2,0267
Módulo de Young, Es (MPa)	20,6165
Consistencia, en base al módulo de Young (Es)	Firme

Fuente: El Autor  
 Elaboración: El Autor

### 3. Graficas ensayos de consolidación del suelo

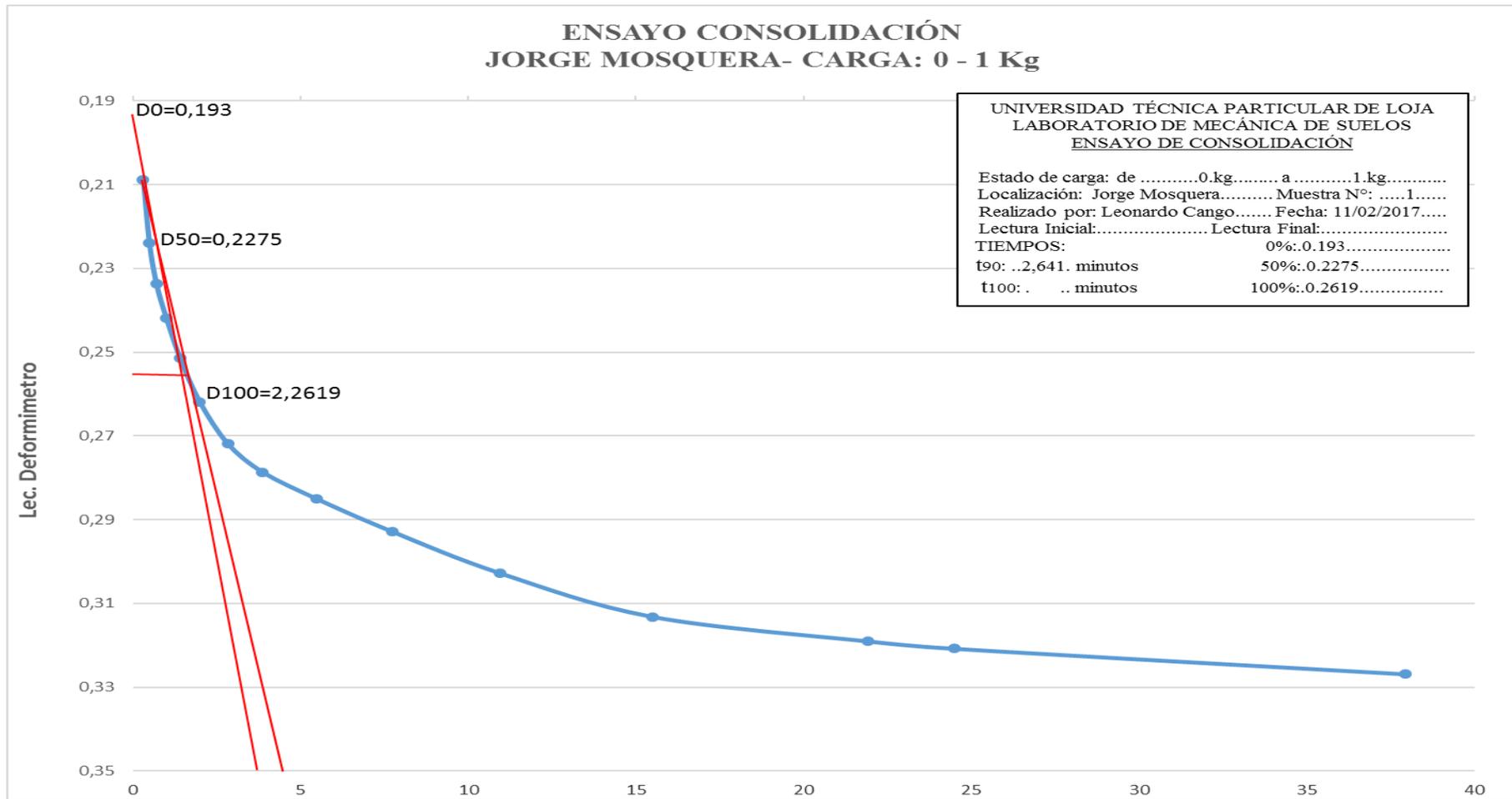


Figura 20: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 0 - 1 Kg

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

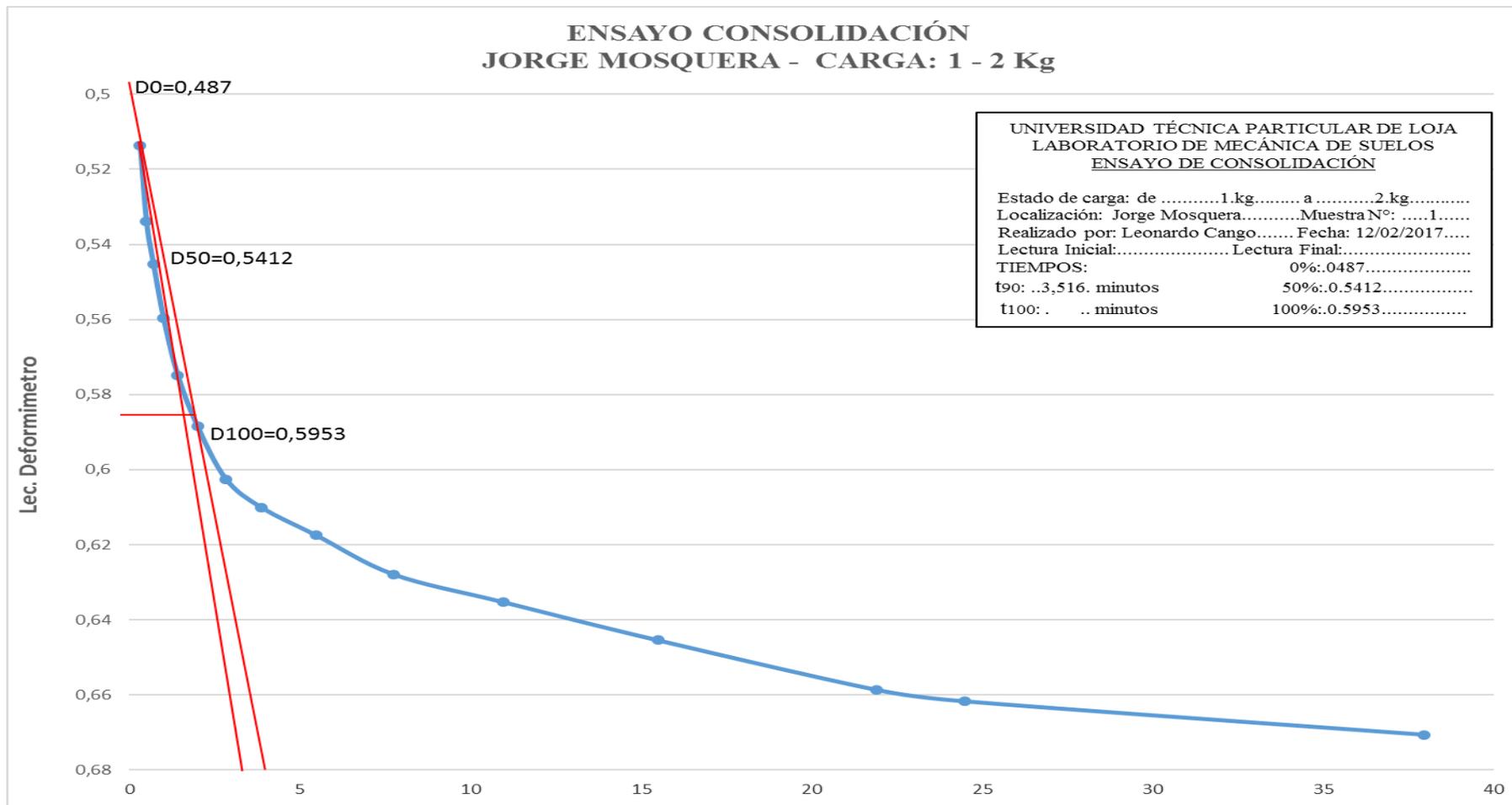


Figura 21: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 1 - 2 Kg

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor





## ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA- CARGA: 8 - 16 Kg

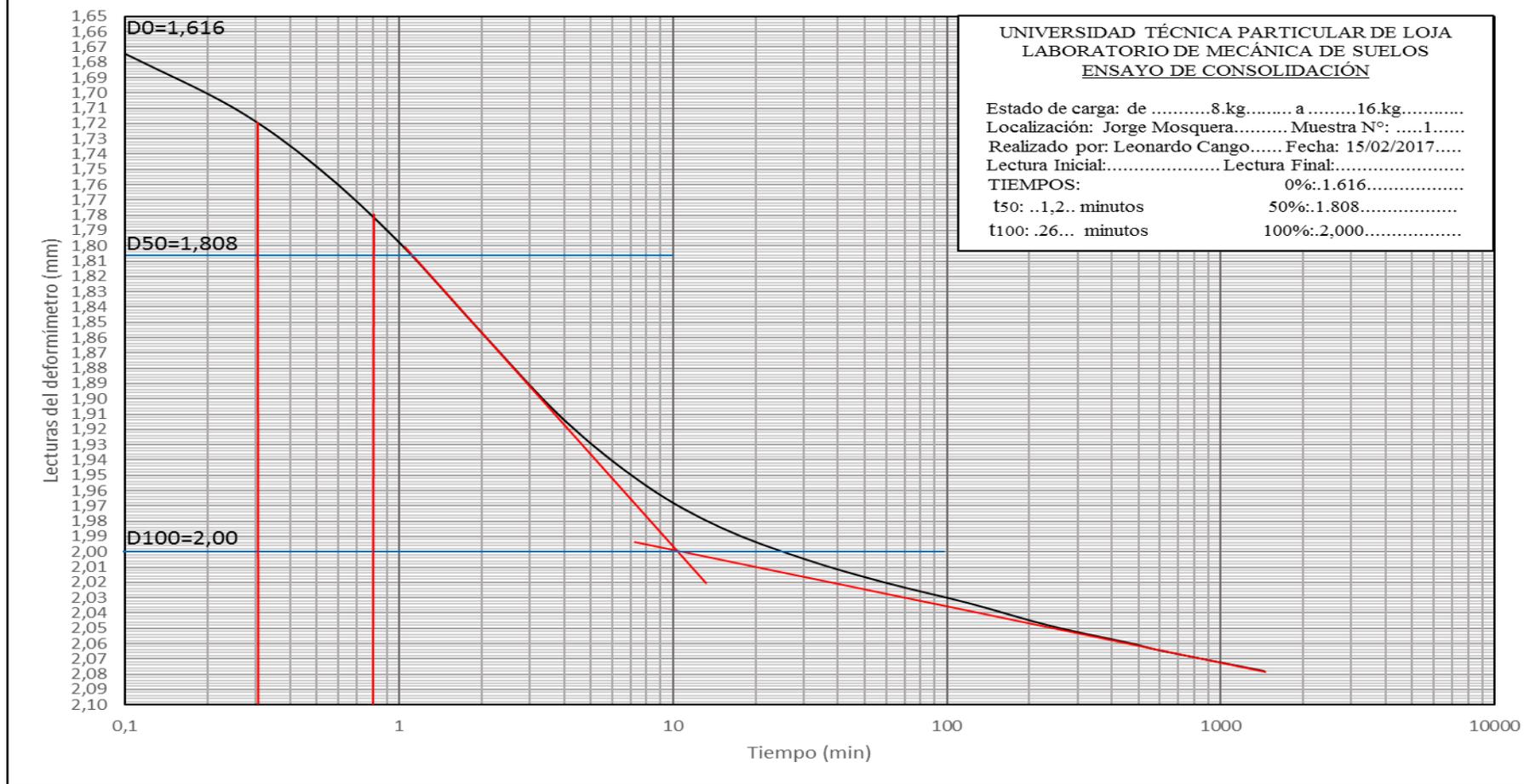


Figura 24: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 8 - 16 Kg

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

## ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA- CARGA: 16 - 32 Kg

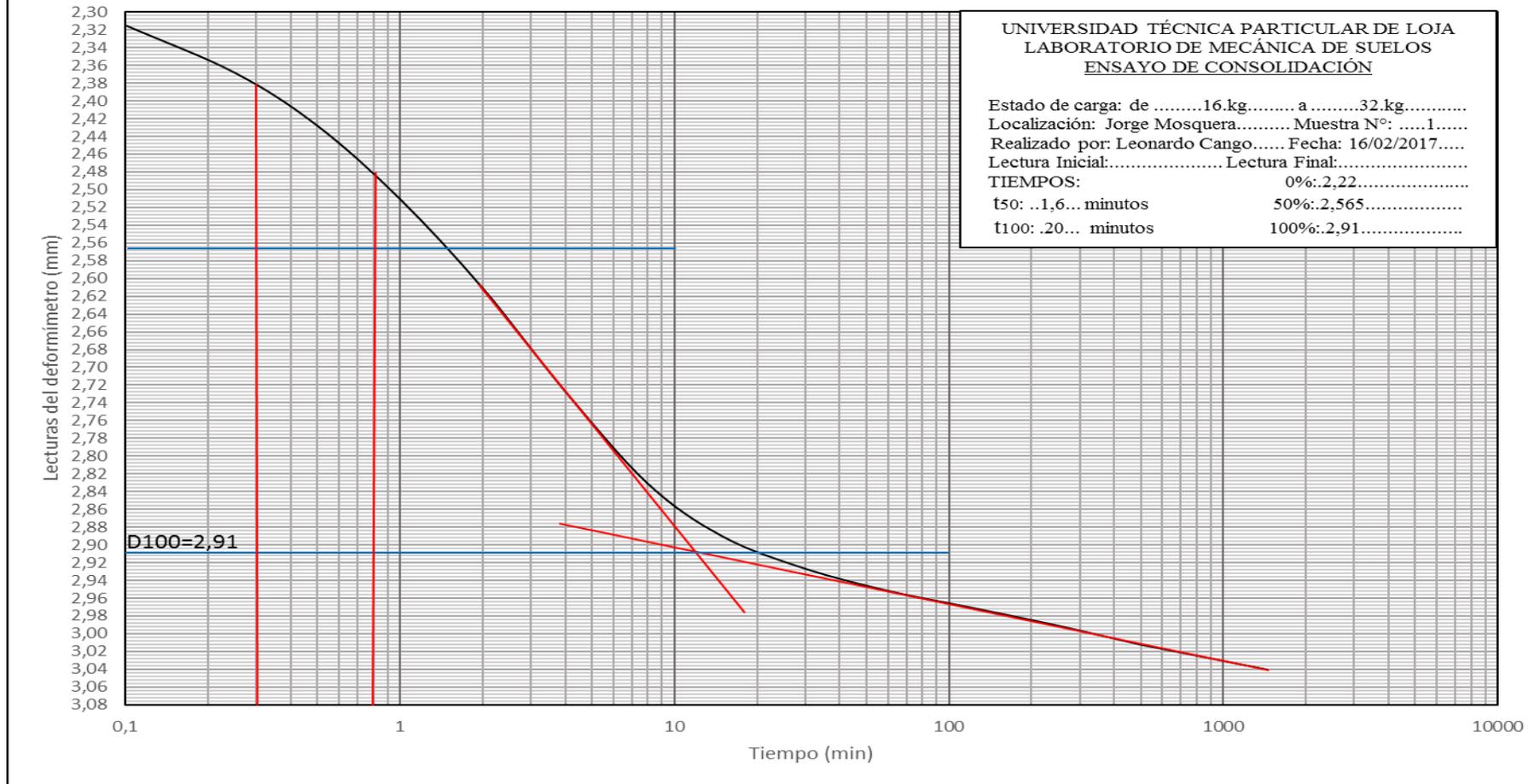


Figura 25: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA - CARGA: 16 - 32 Kg  
 Fuente: El Autor  
 Elaboración: El Autor

## ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA- CARGA, DESCARGA Y RECARGA

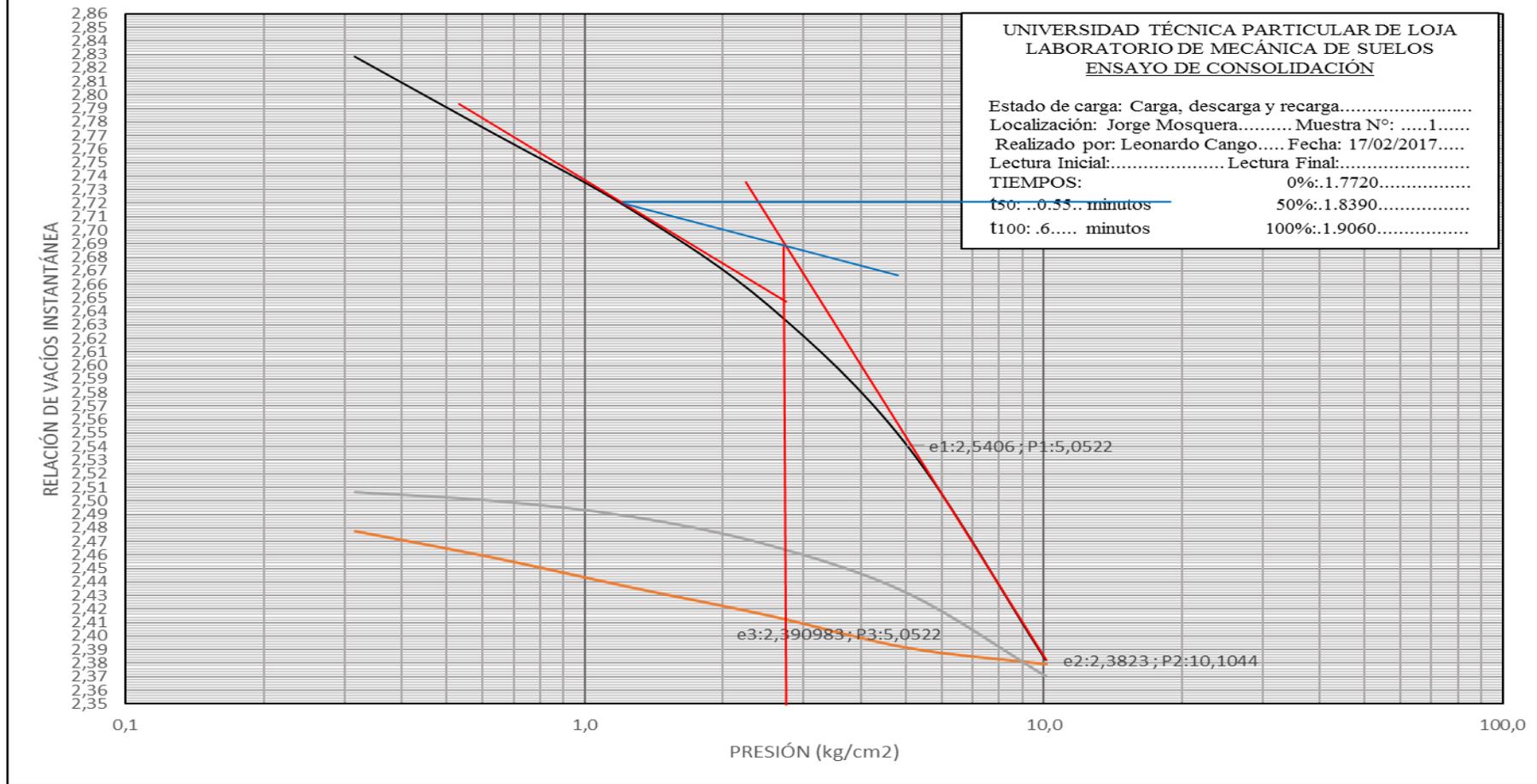


Figura 26: ENSAYO CONSOLIDACIÓN JORGE MOSQUERA – CARGA, DESCARGA Y RECARGA

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor