



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**“CORRELACIÓN EMPÍRICA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS VALORES
DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA C_c PARA LOS SUELOS DE LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL”**

AUTORA:

Campoverde Córdova, María del Carmen

**TRABAJO DE TITULACIÓN
Previo la Obtención del Título de:
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Cruz Carpio, Blas Porfirio

**Guayaquil, Ecuador
2013**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **María del Carmen Campoverde Córdova**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

M.I. Ing. Blas Porfirio, Cruz Carpio

REVISORES

Ing. Carmen, Terreros de Varela, Ph.D

Lic. Ruth, Zambrano

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario, Dueñas

Guayaquil, a los 23 días del mes de Julio del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **María del Carmen Campoverde Córdova**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **“CORRELACIÓN EMPÍRICA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA C_c PARA LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”** previo a la obtención del Título **de Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 23 días del mes de Julio del año 2013

LA AUTORA

María del Carmen, Campoverde Córdova.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, María del Carmen Campoverde Córdova

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **CORRELACIÓN EMPIRICA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA C_c PARA LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 23 días del mes de Julio del año 2013

LA AUTORA:

María del Carmen, Campoverde Córdova.

AGRADECIMIENTO

No hay deber más necesario que el de dar las gracias, pues de lo contrario quedaría incompleto el presente Trabajo de Titulación, por lo tanto agradezco a todos aquellos que hicieron posible de manera directa e indirecta la realización del mismo.

Doy gracias a Dios, a mis padres, a mi esposo, a mi hijo, a los ingenieros y colaboradores de Cevaconsult y de manera especial a mi Director Ing. Blas Cruz Carpio, por brindarme todo su conocimiento y experiencias, demostrando de esta manera su alto grado de profesionalismo.

MARÍA DEL CARMEN CAMPOVERDE CÓRDOVA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mi esposo por haberme apoyado en todo momento, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, y a mi amado hijo Eddie Anibal por ser el motor de mi vida.

MARÍA DEL CARMEN CAMPOVERDE CÓRDOVA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

M.I. Ing. BLAS PORFIRIO CRUZ CARPIO
PROFESOR GUÍA O TUTOR

Ing. CARMEN TERREROS, Ph.D
PROFESOR DELEGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

M.I. Ing. BLAS PORFIRIO CRUZ CARPIO.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	vii
CALIFICACIÓN.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
1. ANTECEDENTES, OBJETIVOS, METODOLOGÍA, ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN	2
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. METODOLOGÍA	4
1.4. ALCANCE	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO 2	7
2. ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA	7

2.1. TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN	7
2.2. CONSOLIDACIÓN PRIMARIA.....	8
2.3. ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN O EDOMÉTRICO (NORMA ASTM 2435).....	8
2.4. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD	10
2.4.1. CURVAS DE CONSOLIDACIÓN.....	10
2.4.2. REPRESENTACIÓN DE LA CURVA EDOMÉTRICA.....	11
2.5. MUESTRAS REALES, AMASADAS E INALTERADAS	12
2.6. CORRECCIÓN DE LA CURVA DE COMPRESIBILIDAD EN SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS	14
2.7. CORRECCIÓN DE LA CURVA DE COMPRESIBILIDAD EN SOBRECONSOLIDADOS.....	15
CAPÍTULO 3	17
3. DESARROLLO Y CÁLCULO MATEMÁTICO DE RELACIÓN DE VACÍOS Y ASENTAMIENTOS PARA CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA C_c	17
CAPÍTULO 4.....	23
4. ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	23
4.1. SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS.....	24
4.2. PROPIEDADES INTRÍNSECAS DE LOS SUELOS.....	25
4.3. ZONIFICACIÓN DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	26
CAPÍTULO 5	28
5. ESTUDIOS PREVIOS	28
5.1. ECUACIONES DEL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD	29
CAPÍTULO 6	32
6. RESUMEN DE INFORMACIÓN ANALIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN EMPÍRICAS DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA.....	32
6.1. UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	32

6.2.	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	32
6.3.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE ANÁLISIS	33
6.4.	ANÁLISIS GENERAL DE INFORMACIÓN RECOPIADA	35
6.5.	ENSAYOS EJECUTADOS – PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN PARA VALIDACIÓN DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN.....	36
6.6.	DISCRETIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	38
CAPÍTULO 7		42
7.	ECUACIONES EMPÍRICAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA	42
7.1.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE CURVAS DE CORRELACIÓN.....	42
7.2.	EVALUACIÓN DE LAS CORRELACIONES GENERALES	43
7.3.	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS	44
7.4.	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y EL LÍMITE LÍQUIDO PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS.....	45
7.5.	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y EL LÍMITE PLÁSTICO PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS.....	47
7.6.	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD Y EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS	48
7.7.	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIALES PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS	49
7.8.	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y CONTENIDO DE HUMEDAD, LÍMITE LÍQUIDO, ÍNDICE DE PLASTICIDAD PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS.....	50
7.9.	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y PARÁMETROS PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS.....	51
7.10.	VERIFICACIÓN Y APLICABILIDAD DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN PROPUESTAS PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE COMPRESION PRIMARIA	52

7.11. COMPARACIÓN DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN PROPUESTAS CON OTROS AUTORES	55
CAPÍTULO 8	58
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
8.1. CONCLUSIONES	58
8.2. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
LIBROS Y ARTICULOS TECNICOS	61
NORMAS INTERNACIONALES	62

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1. Ecuaciones de Correlación presentadas por otros autores, en función del Límite Líquido.....	31
Tabla 5.2. Ecuaciones de Correlación presentadas por otros autores, en función del Contenido de Humedad	31
Tabla 5.3. Ecuaciones de Correlación presentadas por otros autores, en función de la Relación de Vacíos	31

CAPÍTULO 6

Tabla 6.1. Información Base- Diferentes proyectos de donde se tomaron los datos analizados	33
Tabla 6.2. Información Complementaria – Diferentes proyectos de donde se tomaron los datos analizados	36
Tabla 6.3. Resultados de Pruebas de Laboratorio realizadas	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Consolidómetro de anillo fijo.....	9
Figura 2.2. Gráfica tiempo-deformación durante la consolidación para un incremento de carga.....	10
Figura 2.3. Curva de Consolidación para Incremento de Carga.	11
Figura 2.4. Curva de Compresibilidad para procesos de carga y descarga consecutivo.....	12
Figura 2.5. Curvas Edométricas de muestra inalterada, amasada y curva de compresión en el terreno.....	13
Figura 2.6. Corrección de Schmertmann... ..	14
Figura 2.7. Determinación del valor de P_c de preconsolidación.....	15
Figura 2.8. Corrección de la curva edométrica de un suelo sobreconsolidado... ..	16

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Gráfico de Relación de Vacíos.....	17
Figura 3.2 Gráfico de Relación de Vacíos en el espacio.....	18
Figura 3.3. Curvas de Consolidación a) Deformación vs Tiempo b) Relación de Vacíos vs Presión Efectiva.	18
Figura 3.4. Curvas de Consolidación. Relación de Vacíos vs Presión Efectiva... ..	21

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Arcilla normalmente consolidada y preconsolidada (Skempton 1970)	25
Figura 4.2. Plano de Zonificación Geotécnica para calcular el Índice de Compresibilidad	27

CAPITULO 6

Figura 6.1. Carta de Plasticidad 200 muestras investigadas.....	35
Figura 6.2. Gráfico de dispersión del muestreo investigado entre LL vs Cc.....	39
Figura 6.3. Gráfico de dispersión del muestro investigado entre LL vs Cc, Suelos Normalmente Consolidados.	40
Figura 6.4. Gráfico de dispersión del muestro investigado entre LL vs Cc, Suelos Normalmente Consolidados – Zona Estuarina.	41
Figura 6.4. Gráfico de dispersión del muestro investigado entre LL vs Cc, Suelos Normalmente Consolidados – Zona Aluvio-Lacustre.....	41

CAPÍTULO 7

Figura 7.1. Envolvente de datos para la discretización de valores extremos.	42
Figura 7.2. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria- Contenido de Humedad.	44
Figura 7.3. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria- Límite Líquido.....	45
Figura 7.4. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria- Límite Líquido Zona - Estuarina... ..	46
Figura 7.5. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria - Límite Líquido Zona Aluvio -Lacustre... ..	46
Figura 7.6. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Límite Plástico... ..	47
Figura 7.7. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Índice de Plasticidad... ..	48
Figura 7.8 Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Relación de Vacíos... ..	49
Figura 7.9. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Variables Paramétricas... ..	51

Figura 7.10. Gráfico de Verificación de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Contenido de Humedad.....	53
Figura 7.11. Gráfico de Verificación de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Límite Líquido.....	53
Figura 7.12. Gráfico de Verificación de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Relación de Vacíos Inicial	54
Figura 7.13. Gráfico de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Relación de Vacíos Inicial.....	54
Figura 7.14. Gráfico de Verificación de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Límite Líquido.....	57
Figura 7.15. Gráfico de Verificación de Correlación entre el Índice de Compresión Primaria – Contenido de Humedad.....	57

RESUMEN

La presente tesis establece un aporte para los ingenieros, investigadores y consultores porque proporciona nuevas ecuaciones empíricas para el cálculo del Índice de Compresión Primaria (Cc) en la predicción de asentamientos, con menor grado de incertidumbre, ya que han sido elaboradas para los suelos de la Ciudad de Guayaquil.

Para la obtención de las ecuaciones de correlación, se llevó a cabo un análisis minucioso de 200 ensayos ubicados espacialmente en la ciudad de Guayaquil que representan al universo de los suelos de nuestra ciudad, dentro de los cuales se ha discretizado las formaciones rocosas debido a que la presente investigación comprende el estudio del comportamiento de suelos finos arcillo limosos.

Del análisis de los 200 ensayos se procedió a zonificar la aplicabilidad de las ecuaciones propuestas, las que engloban y definen comportamientos, estableciendo tendencias y correlaciones paramétricas para suelos de iguales condiciones de historia geológica, condiciones climáticas, erosión, cargas y demás.

Adicionalmente, una vez obtenidas las ecuaciones resultado del análisis de las muestras históricas, se realizaron 14 ensayos para verificar la aplicabilidad, eficiencia y afinación de las ecuaciones propuestas.

En conclusión, se proponen ecuaciones empíricas que correlacionan las propiedades índices básicas obtenidas en laboratorio como: Límite de Liquidez, Índice de Plasticidad y Contenido de Humedad con el Índice de Compresibilidad, con la finalidad de poder estimar el coeficiente de Compresión Primaria en los suelos de la ciudad de Guayaquil.

Palabras Claves: Índice de compresión Primaria, Cc, Consolidación Primaria, Asentamiento.

ABSTRACT

This thesis provides a contribution for engineers, researchers and consultants, providing new empirical equations for calculating the primary compression index (C_c) in the prediction of settlements, with less uncertainty since they have been developed for soils of Guayaquil City.

To obtain the correlation equations, was conducted a detailed analysis of 200 test spatially located in the city of Guayaquil representing the universe of the soil of our city, in which rock formations has discretized because this research includes the study of the behavior of fine clay loam soils.

An analysis of the 200 tests proceeded to zoning the applicability of the equations proposed, which encompass and define the behaviors, trends and correlations establishing soils parametric same conditions of geological history, climate, erosion, loads and other.

Additionally having obtained the equations resulting from the analysis of historical samples, 14 tests were conducted to verify the applicability, efficiency and refinement of the proposed equations.

Finally, we propose empirical equations that correlate the basic index properties obtained in laboratory: Liquidity Limit, Plasticity Index and the Moisture Content Compressibility Index, in order to estimate the primary compression ratio in the soils of the Guayaquil City.

Keywords: primary compression index, C_c , Primary Consolidation, Settlements

INTRODUCCIÓN

La naturaleza ha dispuesto los materiales en el sitio en que se encuentran en una forma caprichosa, por lo que resulta difícil saber cuál será el comportamiento de estos bajo la acción de carga. Es por ello que tenemos la necesidad de realizar un estudio minucioso del suelo.

Por décadas, en la ciudad de Guayaquil, se han usado un sinnúmero de ecuaciones y gráficas propuestas por varios autores cuyos estudios se basan en la zonificación o comportamiento de suelos en otros países, bajo distintas condiciones de historia geológica y de depositación, así como condiciones climáticas, erosión, consolidación y demás.

La falta de adaptación de dichas ecuaciones nos lleva a realizar un estudio específico del suelo de Guayaquil para así poder dotar tanto a Ingenieros, investigadores y consultores de nuevas ecuaciones con menor grado de incertidumbre aplicadas a nuestros suelos en particular.

Por tal motivo. el presente trabajo desarrolla la temática: "CORRELACIÓN EMPÍRICA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA C_c PARA LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL", con la finalidad de poder estimar el coeficiente de Compresión Primaria con relación a parámetros básicos obtenidos en pruebas de laboratorio.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES, OBJETIVOS, METODOLOGÍA, ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La investigación del comportamiento de los suelos de la ciudad de Guayaquil realizadas por las universidades y proyectos impulsados por el municipio han generado un gran conocimiento del tipo del suelo sobre el cual se implantan las diferentes estructuras en una ciudad que crece día a día, pero así mismo abre las puertas a mayores dudas y es necesaria una investigación más detallada que complemente la información existente.

Los diseños de las estructuras deben cumplir con el criterio de serviciabilidad, el cual, en términos geotécnicos, corresponde a valores de asentamientos, que para los suelos de Guayaquil en aproximadamente un 90% se calcularán sobre arcilla.

Los valores de asentamientos en los suelos se calculan a través de curvas de consolidación que no es más que un proceso de reducción de volúmenes provocados por la actuación de solicitaciones (cargas externas), sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo, puede durar meses y hasta años. Es un proceso asintótico, es decir, que al comienzo es más veloz y se va haciendo cada vez más lento hasta que el suelo llega a una nueva situación de equilibrio en la que prácticamente ya no se deforma.

Dentro del cálculo de las deformaciones (asentamientos) en los suelos, existen las iniciales por deformación cortante, que son muy rápidas, las de consolidación o primarias, por expulsión del agua cuya presión ha sido incrementada por una carga, que son más lentas, y las que se producen

por compresión secundaria, que se deben a un “flujo plástico drenado” , es decir, por expulsión de agua, pero sin que exista un incremento de presión en el agua intersticial (consolidación), sino por un proceso de deformaciones y/o deslizamientos en las uniones (apoyos) entre las partículas del suelo, y ocurre en mucho mayor tiempo que las anteriores. Los asentamientos verticales en las construcciones, en el caso de no ser calculadas correctamente pueden producir fracturas del hormigón, inclinación en la estructura que pueden ser considerables y que hagan colapsar a las mismas.

Los cálculos de las curvas de consolidación son muy necesarios, pero también son muy engorrosas y conllevan mucho tiempo de laboratorio y costos, de este antecedente nace la necesidad estimar valores a través de correlaciones empíricas para el coeficiente de compresión primaria o simplemente índice de compresibilidad (C_c).

1.2. OBJETIVOS

A continuación se definen los siguientes objetivos generales y específicos para el desarrollo de la investigación.

1.2.1. OBJETIVOS GENERALES

- Proporcionar ecuaciones de correlación para el cálculo de valores del índice de compresión C_c
- Estudiar el índice de compresibilidad de los suelos de la ciudad de Guayaquil
- Estudiar las propiedades índices intrínsecas de los suelos arcillo limosos de la Ciudad de Guayaquil a través de las cuales se obtendrán ecuaciones de correlación para el cálculo del índice de compresibilidad

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información existente en los suelos de la ciudad de Guayaquil referente a los valores índices de compresión
- Calcular ecuaciones índices mediante curvas de correlación para los valores de compresión C_c

1.3. METODOLOGÍA

Se realizó la recopilación de información existente de los suelos de la ciudad de Guayaquil en 200 muestras de suelos inalterados, tomando como enfoque central los valores de índice de compresibilidad, continuando por un análisis en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), profundidad de obtención de muestras, lugar de toma de información (sectorización), para finalmente correlacionarlos con el Contenido de Humedad, Límite de Liquidez, Límite de Plasticidad, Índice de Plasticidad y Relación de Vacíos Inicial con las cuales se proporcionará ecuaciones para el uso general simplificado.

Las técnicas de investigación empleadas son:

- ✓ Búsqueda en la literatura existente (análisis documental)
- ✓ Análisis estadístico de información existente
- ✓ Discretización, análisis y valoración de información base
- ✓ Generación de curvas y correlaciones para el cálculo del Índice de compresión

1.4. ALCANCE

El alcance de esta investigación consiste en proporcionar ecuaciones empíricas de correlación para la estimación del Índice de Compresión

Primaria Cc, adaptadas a la realidad de los suelos y condiciones de la ciudad de Guayaquil.

Las correlaciones son presentadas en función del: Contenido de Humedad Natural (W%), Límite Líquido (LL), e Índice Plástico (IP), parámetros que se consideran una herramienta válida para determinar el Índice de Compresión Primaria de carácter preliminar para la predicción de asentamientos.

De esta manera, se brinda un aporte significativo a la Ingeniería de nuestro país y especialmente de nuestra ciudad.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación es de esencial importancia para estimar con mayor certidumbre y precisión los valores índices de compresión primaria sin la ejecución de ensayos de consolidación, lo cual ahorrará relativamente tiempos y costos.

Debido al tiempo que implica la ejecución de los ensayos de consolidación para obtener el índice de compresibilidad, algunos investigadores han relacionado este parámetro con propiedades índice, tales como el Límite Líquido (LL), y el Contenido de Humedad (W%), las cuales son las propiedades índice de obtención rápida, en el laboratorio. Estas son de gran utilidad práctica, especialmente durante la etapa de planeación de obras, debido a que permiten realizar la predicción de asentamientos, con bastante aproximación de las estructuras en suelos finos (arcillas de alta y baja compresibilidad) cuando se no se cuenta con ensayos de consolidación y por tanto sirven de base para la toma de decisiones, referente al tipo de cimentación.

Esta investigación está al nivel de países de primer mundo quienes en base a sus estudios nos entregan recetas exitosas y válidas, pero que no son aplicables a la realidad de nuestro entorno.

La investigación desarrollada proporciona ecuaciones que correlacionan parámetros geotécnicos los cuales han sido estudiados y analizados para los suelos de la ciudad de Guayaquil, por lo cual el producto final de este trabajo de titulación es el aporte al estado del arte actual de la ingeniería de nuestra ciudad a través de expresiones matemáticas simples aplicables a nuestra realidad.

CAPÍTULO 2

2. ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA

El índice de compresión primaria representa la pendiente de la curva “Relación de vacíos (e) vs esfuerzo efectivo (σ'), en la rama de compresión virgen, que corresponde a cargas no experimentadas; las cuales se pueden obtener de la curvas edométricas.

A través de los años para la determinación del índice de compresibilidad se han desarrollado varios estudios empíricos y semiempíricos para calcularlo de una forma más simplificada y aproximada sin realizar ensayos de consolidación.

El índice de compresión primaria nos proporciona una idea clara de los espacios vacíos existentes en una masa de suelo, que pueden ser reducidos mediante la aplicación de cargas externas, lo cual se traduce en deformaciones verticales, denominadas asentamientos.

Aun cuando existan ecuaciones de correlación con gran aproximación si se necesitan resultados de mayor precisión los ensayos edométricos son inevitables.

2.1. TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN

El Grupo geotecnia de la Universidad de Cantabria en el Capítulo 4 del artículo Comportamiento de Suelos en Compresión Confinada expresa lo siguiente:

La aplicación de cargas sobre un terreno produce deformaciones que dan lugar a cambios de volumen, si el suelo está saturado los cambios de volumen implican expulsión del agua de poros. Como la permeabilidad del suelo no es infinita, se necesita tiempo para que se produzca dicha

expulsión de agua. En suelos granulares la permeabilidad es tan grande que para la velocidad habitual de las cargas, el flujo es prácticamente instantáneo, por tanto la aplicación de carga es con drenaje. En suelos arcillosos, en cambio, la permeabilidad es tan pequeña que el flujo puede durar mucho y es usual suponer que la carga se aplica sin drenaje. Entonces, esta carga sin flujo de agua provoca un incremento de presión intersticial que luego se va disipando con el tiempo, lo cual se denomina consolidación. (p.4.1)

2.2. CONSOLIDACIÓN PRIMARIA

El proceso de consolidación primaria se produce al someter al suelo a una sobrecarga en suelos saturados, como consecuencia de esto se produce un incremento de la presión de poros, esto a su vez genera un drenaje del agua de los poros lo que produce una reducción de la relación de vacíos, esto es lo que conocemos como compresión del suelo; y a todo este proceso se lo llama consolidación primaria.

2.3. ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN O EDOMÉTRICO (NORMA ASTM 2435)

El ensayo de consolidación se lo realiza de acuerdo a la norma ASTM 2435 (2003):

1. Inicia el ensayo pesando el anillo rígido de consolidación.
2. Se moldea cuidadosamente la muestra dentro del anillo de consolidación. Y se procede a tomar el peso del anillo más la muestra (De la raspadura obtenida al momento de realizar el moldeo, se toma una muestra representativa para calcular los límites de Atterberg y la Gravedad específica)

3. Se coloca cuidadosamente dos piedras porosas, una en la parte superior del espécimen y otra en la parte inferior del mismo, seguidamente se coloca cuidadosamente la muestra en el consolidómetro.
4. Posteriormente se coloca el consolidómetro en el aparato de carga y se calibra el deformímetro, en el momento conveniente se aplica el primer incremento de carga y de forma simultánea se toman las lecturas de deformación de acuerdo a los siguientes tiempos. 0.1- 0.25 - 0.50 - 0.75 – 1 - 1.5 – 2 – 3 – 5 – 7 – 10 - 15 – 20 – 30 – 45 – 60 - 75 - 90 – 120 min.
5. La lectura se la realiza hasta ver un cambio de concavidad en la curva, la misma que indica que la muestra se encuentra en la rama secundaria de la curva de consolidación.
6. Se realiza el mismo procedimiento incrementando las cargas de la siguiente manera: 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 - 16000 Kg

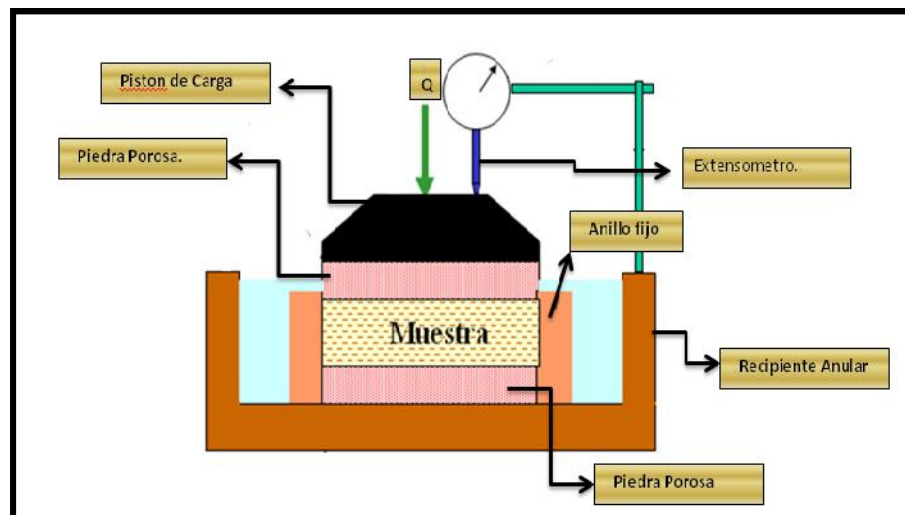


Figura 2.1. Consolidómetro de anillo fijo.

A continuación se muestra la forma general de la gráfica de deformación del espécimen versus tiempo bajo incremento de carga.

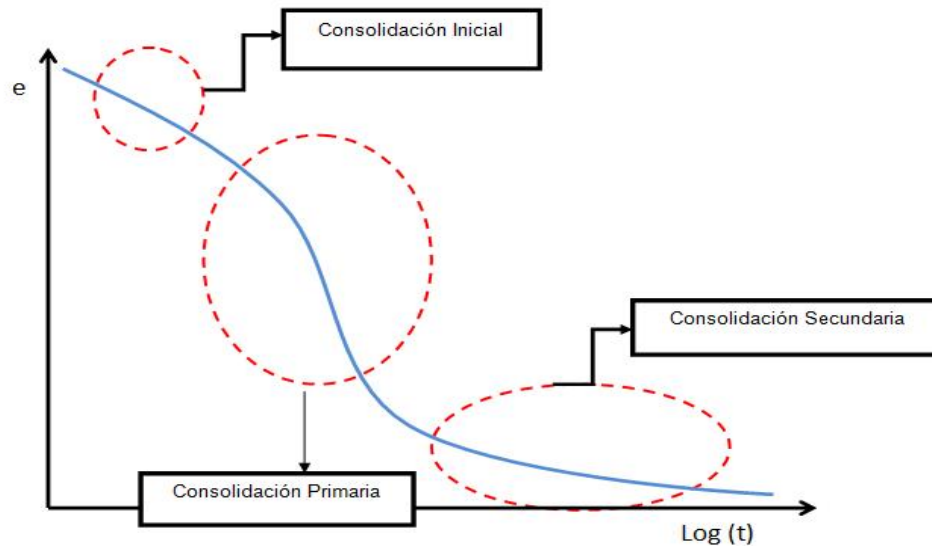


Figura 2.2. Gráfica tiempo-deformación durante la consolidación para un incremento de carga.

- ✓ **Consolidación Inicial:** Reducción de vacíos por eliminación de aire
- ✓ **Consolidación Primaria:** Reducción de vacíos por eliminación de agua
- ✓ **Consolidación Secundaria:** Reacomodo de partículas sólidas con tensión efectiva constante

2.4. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD

2.4.1. CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

A lo largo de todo el ensayo de consolidación se toman lecturas en el extensómetro con el fin de conocer la deformación correspondiente a diferentes tiempos.

Mediante estas lecturas obtenemos coordenadas (ϵ, t) , las que deben ser graficadas de tal forma que en las abscisas se encuentren valores de los tiempos transcurridos en escala logarítmica y en las ordenadas los valores correspondientes a las deformaciones registradas en el extensómetro, en escala aritmética.

A estas curvas se las conoce como **curvas de consolidación**, y se obtiene una por cada incremento de carga realizado.

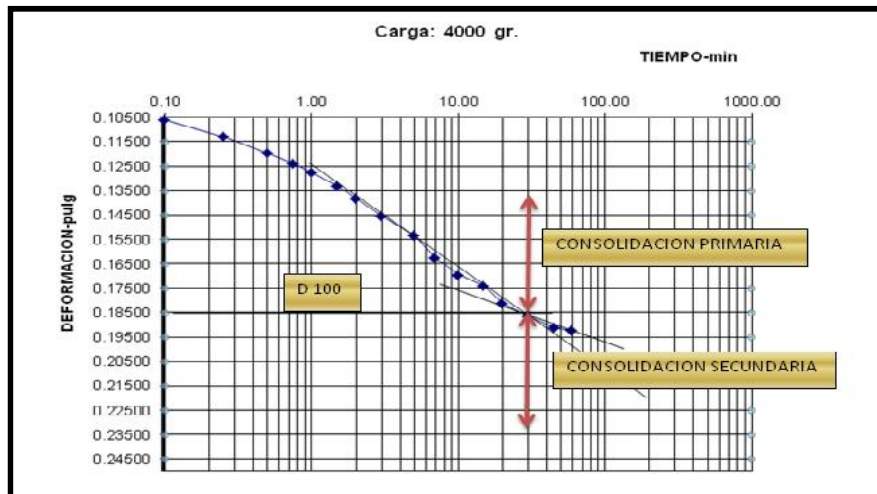


Figura 2.3. Curva De Consolidación para Incremento de Carga.

2.4.2. REPRESENTACIÓN DE LA CURVA EDMÉTRICA

La representación de las coordenadas de la curva edométrica tiene en el eje de las ordenadas a las deformaciones, que se encuentran en escala aritmética, mientras que en el eje de las abscisas se encuentra el esfuerzo en escala logarítmica. En el ensayo se realizan diferentes ciclos de carga, descarga y recarga, muy bien definidos en la curva edométrica.

Generalmente se puede identificar a estos tramos de la siguiente manera:

El tramo A es un tramo curvo que inicia casi en forma horizontal cuya curvatura es progresiva, es conocido también como Tramo de recompresión.

El tramo B es un tramo aproximadamente recto, con este llegamos al final de la etapa de carga de la prueba, también se lo conoce como tramo virgen.

El tramo C, el ensayo se somete a una segunda etapa conocida como descarga en el que la muestra es sometida a cargas decrecientes, también se lo conoce como tramo de descarga.

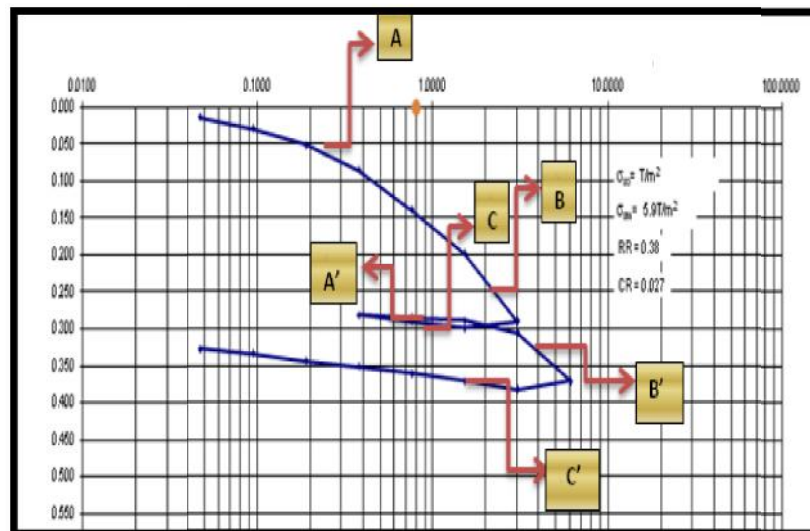


Figura 2.4. Curva de Compresibilidad para procesos de carga y descarga consecutivo

2.5. MUESTRAS REALES, AMASADAS E INALTERADAS

Los ensayos que se realizan con la finalidad determinarse propiedades que dependen de la estructura, como es el caso del ensayo edométrico, deben hacerse con muestras inalteradas para obtener resultados de forma directa tratando que estas muestras conserven la forma natural del terreno, de ser posible sin perturbación hasta el momento de realizarse el ensayo.

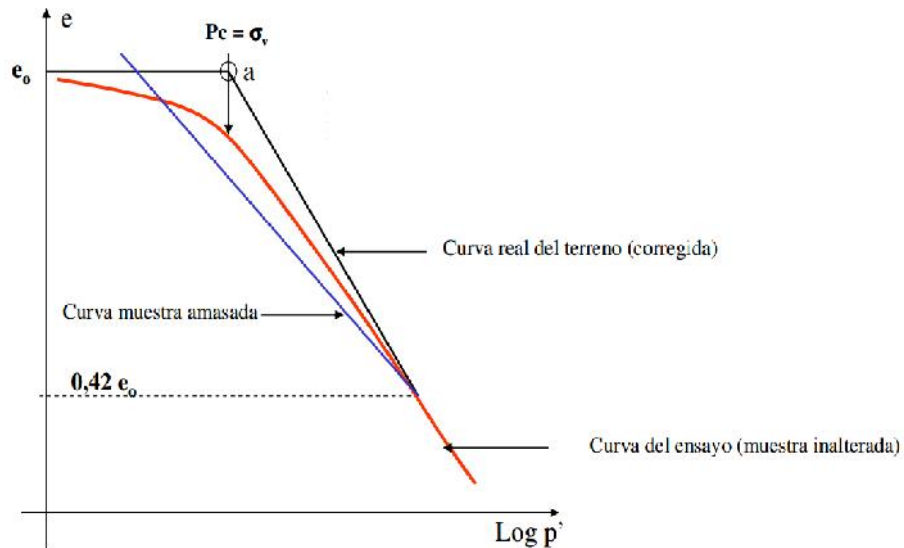


Figura 2.5. Curvas edométricas de muestra inalterada, amasada y curva de compresión en el terreno.

En la vida real no se puede obtener muestras completamente inalteradas, ya que al tomar la muestra se produce cierto grado de perturbación. La perturbación máxima a la que puede llegar una muestra es su amasado total causando lo siguiente:

- ✓ Reducción del índice de poros para una presión vertical
- ✓ Se nubla la historia de esfuerzos y presión de consolidación del suelo
- ✓ Su índice de compresión primaria disminuye
- ✓ En cuanto a la rama de descarga, no sufre cambio apreciable con el amasado

En las curvas edométricas amasadas (remoldeadas) se necesita eliminar los efectos de perturbación, con la finalidad de obtener una curva correspondiente a la compresión del terreno, esto lo obtenemos sobre una serie de correcciones.

2.6. CORRECCIÓN DE LA CURVA DE COMPRESIBILIDAD EN SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

De acuerdo a Schmertmann (1955) para la corrección de la curva de compresibilidad se deben realizar los siguientes procesos:

- Se toma el punto de coordenadas (e_0, σ'_0) correspondiente al índice de poros y tensión efectiva del punto del terreno de donde se extrajo la muestra y este punto se une con el punto de la curva obtenida en el ensayo edométrico correspondiente a un valor de índice de poros de $0,42 e_0$
- Esta construcción se representa en la Figura 2.6 donde se muestra la curva edométrica obtenida en el ensayo, y la corregida correspondiente a la curva de compresión en el terreno

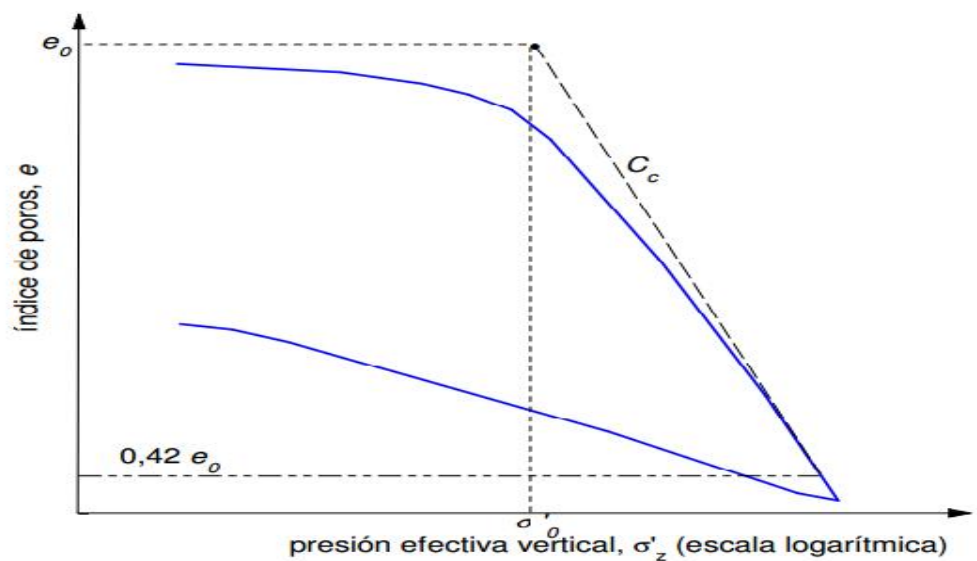


Figura 2.6. Corrección de Schmertmann, para cálculo de Índice de Compresibilidad

2.7. CORRECCIÓN DE LA CURVA DE COMPRESIBILIDAD EN SOBRECONSOLIDADOS

En el caso de muestras sobreconsolidadas para corregir la curva edométrica de laboratorio y obtener la curva de compresión en el terreno se obtiene la presión de preconsolidación.

Casagrande (1936) propuso un método empírico que se detalla en la figura 2.7, en la cual se muestra un procedimiento para la estimación del valor de dicha presión¹

1. Se localiza en la curva e-Log el punto A que tenga la curvatura más aguda, es decir, el menor radio de curvatura.
2. Trazar por el punto A una línea horizontal (AC)
3. Trazar una tangente (AB), a la curva e-Log p en A
4. Trazar una bisectriz (AD), del ángulo CAB
5. Prolongar la parte virgen de la curva hacia arriba hasta cortar la bisectriz (AD), obteniéndose un punto E, que corresponde a un valor estimado de la máxima presión de preconsolidación (P_c).¹

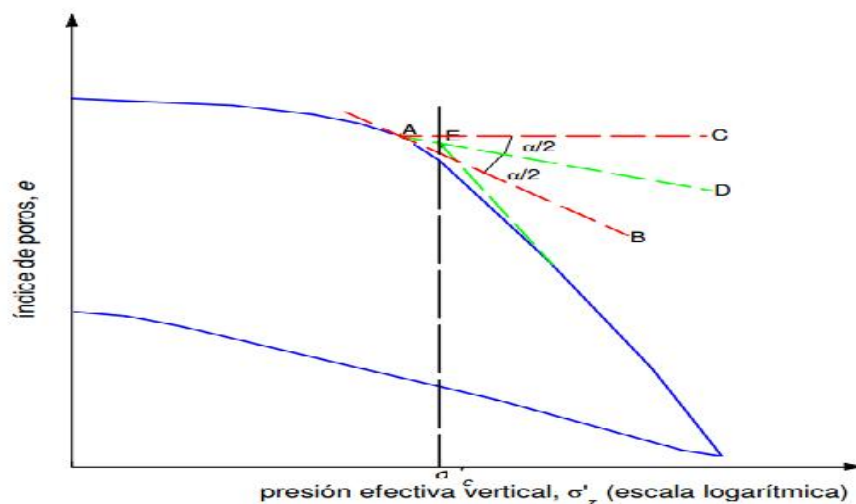


Figura 2.7. Determinación del valor de P_c de preconsolidación

¹ BRAJA M. Das Principio de Ingeniería de cimentaciones pág. 30

Una vez obtenida la abscisa de la presión de preconsolidación se realiza la corrección según Schmertmann(1955) Figura 2.8:

Por el punto (e_0, σ'_0) correspondiente al índice de poros y tensión efectiva del punto del terreno de donde se extrajo la muestra se traza una paralela a la rama de descarga hasta cortar a la línea $\sigma' = \sigma'_c$. Se obtiene así la rama de recarga. A continuación se une dicho punto con el de la curva edométrica correspondiente a $0,42 e_0$.

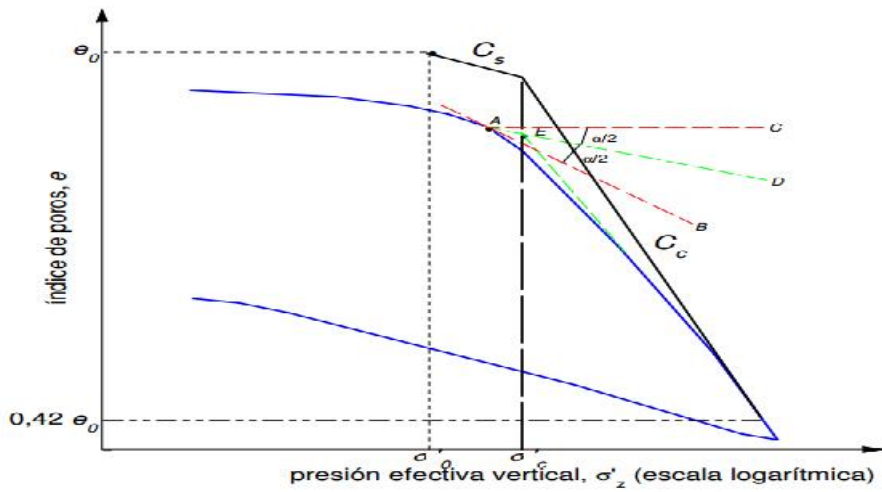


Figura 2.8. Corrección de la curva edométrica de un suelo sobreconsolidado

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO Y CÁLCULO MATEMÁTICO DE RELACIÓN DE VACÍOS Y ASENTAMIENTOS PARA CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA C_c

El índice de compresión primaria mide el cambio de volumen de acuerdo al aumento secuencial de presiones en el tiempo, parámetro que nos ayuda a calcular los asentamientos probables por acción de cargas externas.

El cambio volumétrico de un suelo se produce debido a que está compuesto por sólido, líquido y gas, es decir, cuenta con una masa sólida y espacios vacíos que son ocupados por agua y aire, los cuales son reducidos debido a incrementos de cargas en el tiempo.

A continuación se detalla el cálculo matemático de la relación de vacíos también llamado cambio volumétrico:

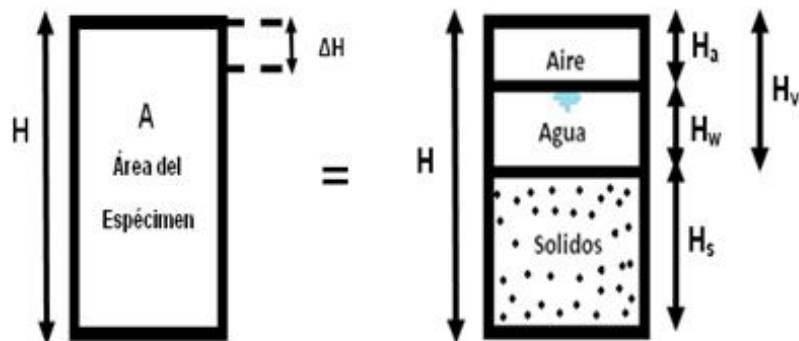


Figura 3.1. Gráfico de Relación de Vacíos

Donde:

W_s : Peso seco.

A : Área

G_s : Densidad de sólido del suelo.

γ_w : Peso específico del agua.

$$H_v = H - H_s \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

$$H_s = \frac{w_s}{A * G_s * \gamma_w} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

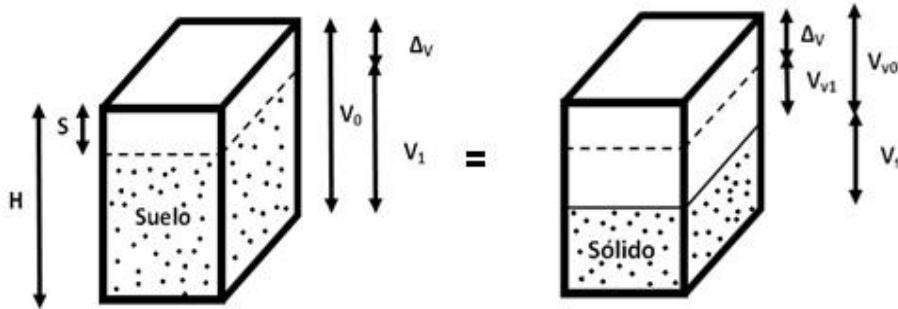


Figura 3.2. Gráfico de Relación de Vacíos en el espacio

Relación de Vacíos Inicial:

$$e_o = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v * A}{H_s * A} = \frac{H_v}{H_s} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

$$H_s = H_f - \frac{V_{wf}}{A} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

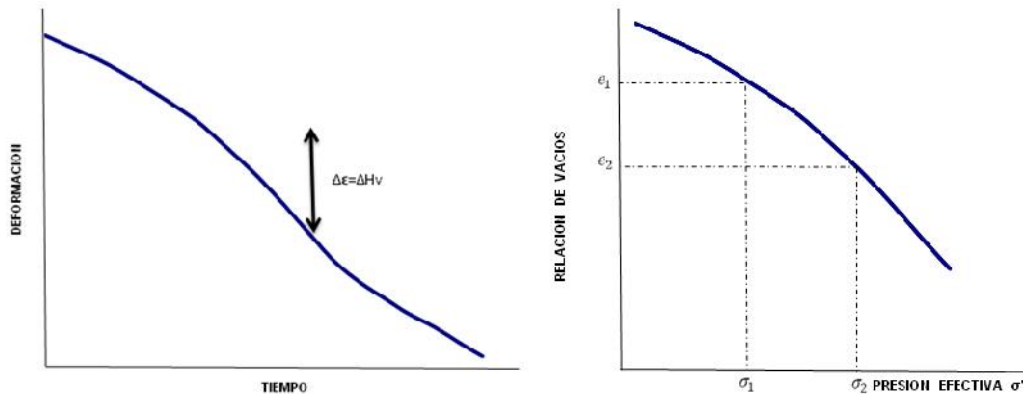


Figura 3.3. Curvas de Consolidación. a) Deformación vs Tiempo b) Relación de Vacíos vs Presión Efectiva

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_S} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$e_1 = e_0 - \Delta e_1 \quad \text{Carga 1} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_S} \quad \text{Carga 2} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

Donde:

H: Altura de la muestra - estrato.

V_{wf}: Volumen de agua final, se lo obtiene de secar la muestra.

H_f: Altura al final de la consolidación, último estado de carga.

$$H_S = H_f - \frac{V_{wf}}{A} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

$$H_f = H_i - \Delta H \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

Variación Volumétrica: Asentamiento por Consolidación Primaria Unidimensional

$$\Delta_v = V_0 - V_1 \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

$$\Delta_v = H * A - (H - S) * A \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

$$\Delta_v = S * A \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

Si consideramos que la variación volumétrica se produce en el cambio de volúmenes de vacío.

$$\Delta_v = S * A \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

$$\Delta_v = Vv_0 - Vv_1 \quad (\text{Ecuación 3.14})$$

$$\Delta_v = \Delta V_v \quad (\text{Ecuación 3.15})$$

Si consideramos la definición de relación de vacíos.

$$\Delta_e = \frac{\Delta V_v}{\Delta V_s} \quad (\text{Ecuación 3.16})$$

$$\Delta V_v = \Delta_e * \Delta V_s \quad (\text{Ecuación 3.17})$$

$$\Delta_v = S * A = \Delta_e * \Delta V_s \quad (\text{Ecuación 3.18})$$

$$\Delta_v = S * A = \Delta_e * V_s \quad (\text{Ecuación 3.19})$$

$$V_o = V_s + e_0 * V_s \quad (\text{Ecuación 3.20})$$

$$V_o = (1 + e_0) * V_s \quad (\text{Ecuación 3.21})$$

$$V_s = \frac{V_o}{1+e_0} \quad (\text{Ecuación 3.22})$$

De la ecuación (3.19):

$$\Delta_v = S * A = \Delta_e * V_s \quad (\text{Ecuación 3.23})$$

$$SA = \Delta_e * \left(\frac{A * H}{1+e_0} \right) \quad (\text{Ecuación 3.24})$$

$$S = \Delta e * \left(\frac{H}{1+e_0} \right) \quad \text{(Ecuación 3.25)}$$

Cálculo de Índice de Compresión Inicial:

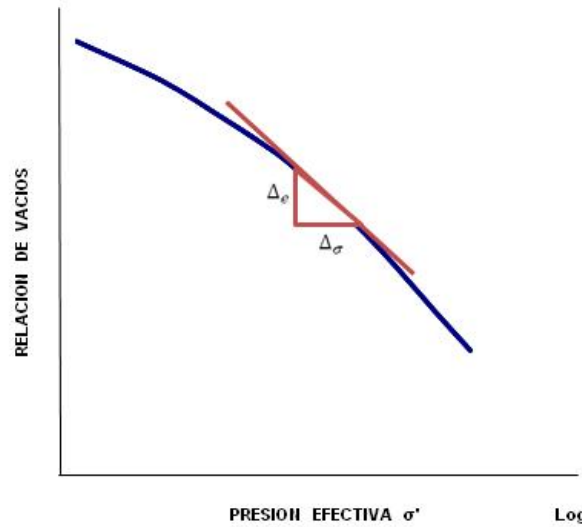


Figura 3.4. Curvas de Consolidación. Relación de Vacíos vs Presión Efectiva

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma} \quad \text{(Ecuación 3.26)}$$

$$C_c = \frac{e_f - e_i}{\sigma_f - \sigma_i} \quad \text{(Ecuación 3.27)}$$

$$C_c = \frac{e_f - e_i}{\text{Log} \sigma_2 - \text{Log} \sigma_1} \quad \text{(Ecuación 3.28)}$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\text{Log}(\sigma'_0 + \Delta \sigma) - \text{Log} \sigma'_0} \quad \text{(Ecuación 3.29)}$$

Ecuación para el cálculo de Índice de Compresión Inicial:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\text{Log} \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \right)} \quad \text{(Ecuación 3.30)}$$

Ecuación para el cálculo de Asentamientos:

$$S = C_c \frac{H}{1+e_0} * \text{Log} \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \quad (\text{Ecuación 3.31})$$

De esta forma podemos inferir que entre mayor sea la relación de Vacíos Inicial, mayor será el asentamiento que se produzca en su suelo por el aumento de carga hasta que esta llegue a su esfuerzo de pre-consolidación, es decir, cuando la relación de vacíos final tienda a cero.

Puesto que el límite líquido está relacionado con la cantidad de agua retenida por las partículas de suelos cohesivos con los espacios intersticiales de una masa de suelo saturado que tiene capacidad de comprimirse, es posible correlacionar este parámetro para interpretar el comportamiento de un suelo.

CAPÍTULO 4.

4. ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Existe un sin número de estudios e investigaciones referentes a los suelos de la ciudad de Guayaquil realizado por varios autores, los cuales nos indican que nuestros suelos están compuestos potencialmente por arcillas, limos y formación rocosa, las cuales dependen de la historia de esfuerzo del suelo y el origen de su depositación.

Estudios como el de Nuques (1995) indica que Guayaquil se la puede dividir en 3 zonas:

ZONA 1 Se refiere al centro de la ciudad y urbanizaciones residenciales antiguas, consta de un relleno colocado con más de 50 y 40 años, respectivamente, se considera que el proceso de consolidación primaria por la existencia de este relleno ya concluyó.

ZONA 2. Referente a urbanizaciones residenciales modernas, tiene un relleno superficial colocado casi 10 años, se considera que el proceso de consolidación primaria por el relleno aún no ha terminado.

ZONA 3. Se refiere a zonas aledañas sin relleno superficial y ubicado generalmente en esteros y manglares que rodean la ciudad.

Investigaciones más recientes como la de Vera (2005) de acuerdo al origen de depositación y variación en las propiedades geotécnicas de las series estratigráficas que dominan, indica que Guayaquil cuenta con 7 zonas (Anexo 1):

- ZONA 1:** Depósitos Deltaico Estuarinos (Este – Centro).
- ZONA 2:** Depósitos Deltaico Estuarinos (Sur).
- ZONA 3:** Depósitos Deltaico Estuarinos (Oeste - Norte - Trinitaria).
- ZONA 4:** Depósitos de Llanura Aluvial (Norte).
- ZONA 5:** Depósitos Aluvio - Lacustres (Norte).
- ZONA 6:** Depósitos Coluviales
- ZONA 7:** Depósitos residuales y formaciones Rocosas.

Del análisis de los estudios indicados y enfocados en la presente investigación, fue necesario la sectorización para el desarrollo de ecuaciones de correlación que precisen su aplicabilidad sobre suelos arcillo limosos normalmente consolidados en la ciudad de Guayaquil.

Con una idea detallada de los tipos de suelos y su porcentaje de intervención, es importante entender la historia de esfuerzo que ha soportado los suelos a investigar, debido a que un suelo normalmente consolidado tiene un comportamiento distinto a un suelo sobreconsolidado.

4.1. SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

Terzagui (1944) dice que una arcilla es normalmente consolidada si nunca ha estado bajo una presión mayor a la efectiva de sobrecarga existente.

Una arcilla normalmente consolidada puede ser representada por el punto b de la curva a-c en la figura 4.1

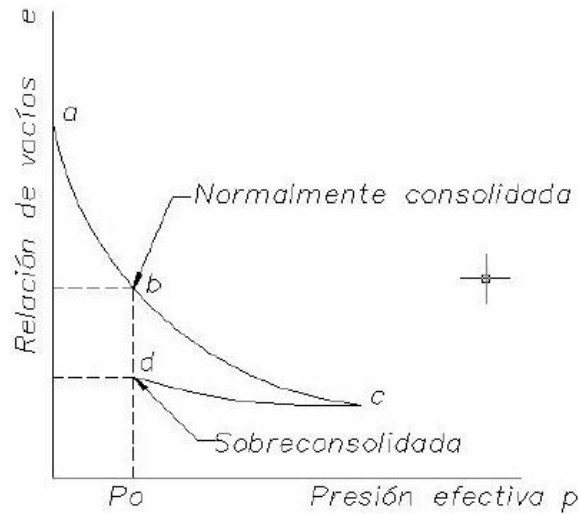


Figura 4. Arcilla normalmente consolidada y preconsolidada (Skempton 1970)

4.2. PROPIEDADES INTRÍNSECAS DE LOS SUELOS

Las arcillas tienen propiedades intrínsecas las cuales son inherentes al suelo e independiente de su estructura en estado natural, es decir que tienen relación a su composición y a su constitución tal como lo son sus propiedades índices, es de esta forma que se puede obtener conclusiones muy acertadas acerca del comportamiento de los suelos entre las propiedades índices y la capacidad de deformación.

Debido a que el 100% de los datos analizados comprenden arcillas y limos y al mismo tiempo se utilizan sus propiedades índices para correlacionarlas con el índice de compresibilidad, se puede inferir que no existirán afectaciones en los resultados por la alterabilidad de las muestras ensayadas.

Para la presente investigación, se asume que las muestras tomadas son inalteradas debido a que el grado de perturbación es muy bajo, sumado a

las propiedades intrínsecas de los suelos, no fue necesaria la corrección de las curvas de compresibilidad de acuerdo a lo indicado en el capítulo 2.7.

4.3. ZONIFICACIÓN DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Debido a que la investigación en curso se aplica para suelos normalmente consolidados, se analiza y distingue su influencia en los suelos de la ciudad de Guayaquil.

De acuerdo al análisis de las zonificaciones realizadas por otros autores y en base al análisis de las 200 muestras se ha concluido que dos zonas definen el comportamiento de los suelos normalmente consolidados de la ciudad de Guayaquil, las cuales representan el 71% del universo de muestras ensayadas, sectorizándose en: zona Estuarina y zona Aluvio-Lacustre.

- La **Zona Estuarina** comprende los sectores:
 - Puerto Azul – Batallón – Trinitaria – Cisne II – Letamendi – Febres Cordero – Urdaneta – Garay – Nueve de Octubre – Veintinueve -- Urdesa – Guasmo – Fertisa – Pradera – Guasmo – Pradera – Fertisa - Esteros – Ayacucho – García Moreno – Rocafuerte – Pascuales- Vergeles.

- La zona **Aluvio-Lacustre** comprende los sectores:
 - Guayacanes – Samanes – Alborada – Martha de Roldos – Bastión – Inmaconsa - Flor de Bastión – Aeropuerto – El Fortín - Ceibos - Nueva Prosperina – Las orquídeas – Parte de Mapasingue.

A continuación y para una mayor precisión se muestran las zonas detalladas en el siguiente plano de zonificación para la aplicabilidad de las ecuaciones de correlación.

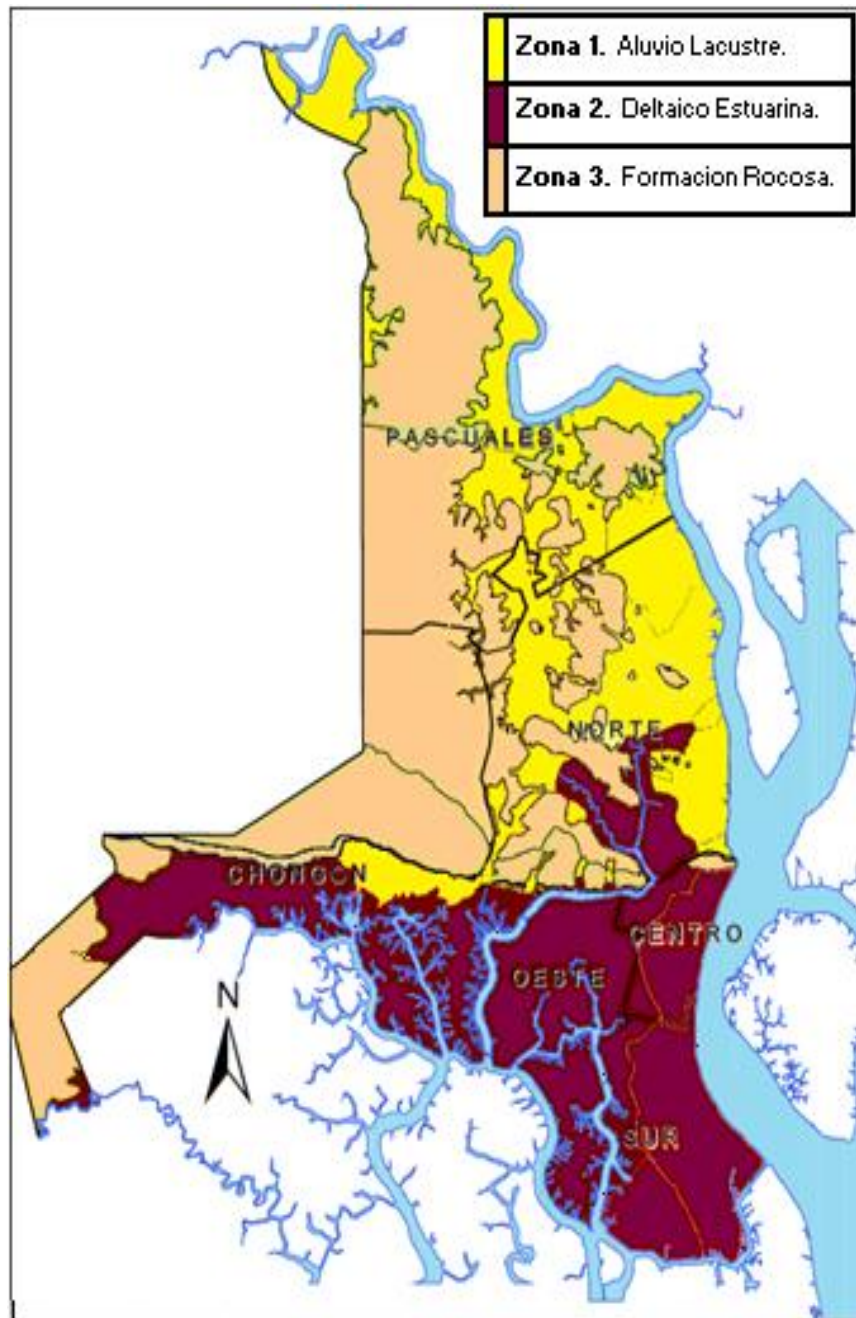


Figura 4.2. Plano de Zonificación Geotécnica para calcular el Índice de Compresibilidad

CAPÍTULO 5

5. ESTUDIOS PREVIOS

Entre las ecuaciones más ampliamente aceptadas y usadas para estimar el índice de compresibilidad están las propuestas por Skempton (1944), Terzaghi y Peck (1967), Lambe y Whitman (1969), Nishida y Hough (1957) y Mayne (1980).

A excepción de la ecuación de Skempton las ecuaciones propuestas por los diferentes autores están generalmente pensadas para ser aplicadas de una forma universal en arcillas inorgánicas normalmente consolidadas.

De acuerdo a lo planteado por los diferentes autores y analizando su aplicación se infiere que las ecuaciones propuestas por cada uno son aplicables únicamente para suelos de ciertas áreas regionales.

El Índice de compresibilidad (C_c) y determinadas propiedades índices de los suelos están de alguna manera relacionadas. Sin embargo existen relaciones del índice de compresibilidad con otras propiedades del suelo, las cuales en muchas ocasiones no tienen bases lógicas para justificar su desarrollo, es así que Nishida (1952) estableció que las relaciones han sido introducidas solo por la impresión de los resultados de las pruebas sin tener bases teóricas las cuales han sido obtenidas de comportamientos y tendencias estadísticas.

Las curvas e -log σ para suelos arcillosos según Lambe y Whitman (1969), muestran que la relación de vacíos de equilibrio depende tanto del límite líquido como de la presión de sobre consolidación.

De acuerdo a Lambe y Witman (1969) los suelos arcillosos presentan una relación lineal entre la relación de vacíos de equilibrio y el límite líquido bajo una presión constante; este dato implica que el límite líquido relaciona factores que tiene un efecto significativo en el comportamiento del cambio de volumen para suelos arcillosos; de esta manera el LL puede ser un parámetro para calcular los asentamientos.

Los datos de análisis de los suelos arcillosos permiten determinar una ecuación que considera tanto el límite líquido como el incremento de presión para calcular la relación de vacíos y por tanto los asentamientos.

5.1. ECUACIONES DEL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD

Relativamente son pocas las Correlaciones entre el índice de compresión primaria y propiedades índice del suelo, con base justificables.

Algunas ecuaciones empíricas permiten dar un valor aproximado del índice de compresión en función del límite líquido, contenido de humedad, relaciones de vacíos y constantes derivadas de datos experimentales.

Skempton (1944) correlacionó este parámetro basándose en pruebas de consolidación de muestras amasadas (remoldeadas) para diferentes tipos de arcillas con un contenido de agua inicial cercano al límite líquido donde la relación resultante entre el índice de compresión y el límite líquido fue la siguiente:

$$C_c = 0.007(WL - 10) \quad \text{(Ecuación 5.1)}$$

Donde C_c corresponde a la pendiente de la curva virgen de compresibilidad del suelo remoldeado.

Posteriormente Terzaghi y Peck (1967), basándose en trabajos de Skempton y otros, sugirieron que la ecuación propuesta anteriormente podía ser modificada para usarse con arcillas normalmente consolidadas de media o baja sensibilidad. Concluyendo que el Índice de compresión primaria C_c para arcillas normalmente consolidadas es aproximadamente 1.3 el valor de C_c remoldeado, obteniendo como resultado la siguiente ecuación:

$$C_c = 0.009(WL - 10) \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

Basándose en consideraciones de esfuerzo – deformación y en la pendiente de las curvas de compresibilidad, Nishida(1956) desarrolló la siguiente ecuación:

$$C_c = 1.15(e_r - e_o) \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

Donde:

e_o : Relación de vacíos antes de aplicar presión.

e_r : Relación de vacíos donde se mide el índice de compresión en la porción virgen de la curva edométrica.

Asumiendo que $e_o=0.35$ (relación de vacíos para partículas esféricas rígidas uniformes en su empaque más cerrado) y sustituyendo este valor en la ecuación previa, Nishida obtiene la siguiente expresión:

$$C_c = 1.15(e_r - 0.35) \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

Nishida se refiere a esta ecuación como la relación fundamental del índice de compresibilidad y establece que puede ser utilizada para cualquier tipo de suelos.

A continuación se resume los aportes de diferentes autores referente a las ecuaciones de correlación para ser aplicadas en el cálculo del índice de compresibilidad:

Tabla 5.1: Ecuaciones de Correlación presentada por otros autores, en función del límite líquido

ECUACION	APLICACIONES	AUTOR DE LA CORRELACIÓN
(a) $C_c = f(\omega_L)$		
$C_c = 0.007 (\omega_L - 7)$	Arcillas remodeladas	Skempton (1994)
$C_c = 0.0046 (\omega_L - 9)$	Arcillas de brasil	Cozzolino (1961)
$C_c = 0.009 (\omega_L - 10)$	Arcillas normalmente consolidadas	Terzaghi y Peck (1967)
$C_c = 0.006 (\omega_L - 9)$	Todas las arcillas con límite líquido menor de 100%	Azzouz et al. (1976)
$C_c = (\omega_L - 13)/109$	Todas las arcillas	Mayne (1980)

Tabla 5.2: Ecuaciones de Correlación presentada por otros autores, en función del Contenido de Humedad

ECUACION	APLICACIONES	AUTOR DE LA CORRELACIÓN
(b) $C_c = f(\omega_n)$		
$C_c = 0.85 \sqrt{(\omega_n/100)^3}$	Lodos finos y arcillas	Helenelund (1951)
$C_c = 0.0115 \omega_n$	Suelos orgánicos, turbas, limos orgánicos y arcillas	Moran et al. (1958)
$C_c = 0.01 (\omega_n - 5)$	Todas las arcillas	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.01 \omega_n$	Todas las arcillas	Koppula (1981)
$C_c = 0.01 (\omega_n - 7.549)$	Todas las arcillas	Herrero (1983)

Tabla 5.3: Ecuaciones de Correlación presentada por otros autores, en función la relación de vacíos

ECUACION	APLICACIONES	AUTOR DE LA CORRELACIÓN
(c) $C_c = f(e_n)$		
$C_c = 0.54 (e_n - 0.35)$	Todas las arcillas	Nishida (1956)
$C_c = 0.29 (e_n - 0.27)$	Suelos cohesivos inorgánicos, arcillas y limos	Hough (1957)
$C_c = 0.35 (e_n - 0.50)$	Suelos granulares con finos orgánicos, limos orgánicos y arcillas	Hough (1957)
$C_c = 0.43 (e_n - 0.25)$	Arcillas de Brasil	Cozzolino (1961)
$C_c = 0.75 (e_n - 0.50)$	Suelos de baja plasticidad	Sowers (1970)
$C_c = 1.21 + 1.055 (e_n - 1.87)$	Arcillas jaspeadas de la ciudad de San Paulo	

CAPÍTULO 6

6. RESUMEN DE INFORMACIÓN ANALIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN EMPÍRICAS DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA

La presente investigación se ha realizado con la información recopilada de 200 muestras de Suelo, resultado de un muestreo estocástico estadístico, ubicados espacialmente en la ciudad de Guayaquil para que la información procesada sea significativa.

Adicionalmente se realizaron 14 ensayos que sirvieron para verificar la precisión de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Para cada una de las muestras se analizaron las características geomecánicas como: Contenido de Humedad, Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad, etc.

6.1. UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Durante la etapa de ejecución del proyecto de investigación, se desarrolló un estudio preliminar, el cual consistió en una recopilación y evaluación de ensayos de consolidación existentes en la ciudad, lo que dio lugar a la elaboración de nuevos ensayos en la actualidad.

6.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La delimitación del área fue realizada en base al mapa topográfico de escala 1:5.000 denominado PLANO DE GUAYAQUIL, que fue elaborado por IGM y que fue base de las investigaciones y zonificaciones en trabajos previos que se ha referenciado en el capítulo 4 de esta investigación.

6.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE ANÁLISIS

Durante la etapa de ejecución del proyecto de investigación, se desarrolló un estudio preliminar, el cual consistió en una recopilación y evaluación de muestras para sus respectivas propiedades, índices y ensayos de consolidación existentes en la ciudad.

Los datos de la investigación han sido proporcionados por el Laboratorio de la Consultora CEVACONSULT, a continuación se detalla los proyectos de donde han sido obtenidos:

Tabla 6.1: Información Base – Diferentes Proyectos de donde se tomaron los datos analizados

MUESTRAS DE SUELO ANALIZADAS. (INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR CEVACONSULT)		
	Nombre del Estudio	Ejecución
1	Informe para el Diseño de La Residencia del Señor Moisés Aray ubicado en la Ciudadela Urdenor.	Agosto. 1993
2	Residencia Señor Stalin Govea. "Rio Guayas Club".	Septiembre 1993
3	Industria Química. "Isla Trinitaria.	Agosto. 1993
4	Edificio Ubicado en Sucre, entre García Avilés y Rumichaca.	Diciembre. 1994
5	Carmasa. "Urdesa Central".	Julio. 1994
6	Trazados.	Abril. 1994
7	Residencia Sra. Soraya Carrera. "Urbanización del Rio".	Julio. 1994
8	Asociación Fco García Avilés. "Quisquis y Riobamba".	Noviembre. 1996
9	Gasolinera SHELL. "AV. Carlos Julio Arosemena Km 1.5".	Julio. 1997
10	Ampliación Puente Albán Borja.	Julio. 1997
11	Ampliación Vía Daule.	Noviembre. 1999
12	Hotelesa. "Primero de Mayo y García Moreno".	Marzo. 1999
13	Residencia de la Familia Sarmiento. "Urb. Las Riberas"	Febrero. 2000
14	Residencia del Señor Álvaro Maruri. "Entre Ríos, La Puntilla"	Enero. 2000
15	Casino del Hotel Sheraton	Junio. 2001
16	Departamento de Archivo. "Puerto Marítimo.	Julio. 2001

17	Estudio de Suelos para la Residencia Serani- Ginatta. "Urb. Laguna Dorada".	Abril. 2001
18	Residencia Ing. Johan Dreher. "Puerto Azul".	Octubre. 2001
19	Relleno de la Cancha de Tenis del Club Naval. " Base Naval"	Septiembre 2001
20	Estudio de Suelos de la Urbanización Más Terreno. "Av. Francisco de Orellana y Av. Isidro Ayora".	Enero. 2001
21	Edificio Professional Center. " Av. Constitución y Av. Juan Tanca Marengo	Agosto. 2002
22	Puente Estero Mogollón. "Suburbio Oeste"	Julio. 2002
23	Calle Z. "Autoridad Portuaria de Guayaquil"	Julio. 2002
24	La Playita. "El Guasmo"	Junio. 2003
25	Puente Estero Guayacanes	Enero. 2003
26	Autopista Terminal Terrestre Pascuales.	Julio. 2003
27	Terminal Vial 25 de Julio	Julio. 2003
28	Nuevo Terminal Aeropuerto Internacional Guayaquil.	Agosto. 2005
29	Estudio de Suelos para el Diseño de la Cimentación del Edificio Ubicado en las calles 25 y la E	Abril. 2006
30	Plataforma de Rodaje. "Aeropuerto de Guayaquil".	Febrero. 2006
31	Guasmo CATEG	Junio. 2007
32	Arrea de Facilidades Hacienda La Josefina. "Las Esclusas".	Abril. 2007
33	L/T Milagro, Las Esclusas a 230 KV. "Sector Cruce de la Ria Guayas".	Diciembre. 2007
34	Estudio de Suelos CEM 13 Canal 41 Conducto Cajón y Reconformación del Canal de Tierra Bastión Popular. "Mucho Lote"	Mayo. 2008
35	Informe del Estudio de Suelos para el Diseño del Colector y Conducto Cajón para reemplazar Canal 43D OCOMP-38475. "Bastión Popular".	Mayo. 2008
36	Estudios y Diseño Definitivo del Edificio del Taller Eléctrico de la Central Trinitaria de Propiedad ELECTROGUAYAS S.A	Agosto. 2008
37	Ampliación del Canal Trapezoidal Canal Samanes- Guayacanes.	Junio. 2008
38	Informe Geotécnico para el análisis de la cimentación del Edificio del Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, de la Ciudad de Guayaquil.	Enero. 2010

6.4. ANÁLISIS GENERAL DE INFORMACIÓN RECOPIADA

Entre las propiedades obtenidas de los suelos ensayados dentro de la presente investigación para los suelos de la ciudad de Guayaquil se observaron las siguientes: Contenido de Humedad: 21.8% a 195% con un promedio de 80.6%, Límite Líquido: 33% a 225% con un promedio de 89.5%, Relación de Vacíos: 0.98 a 4.80 con un promedio de 2.3.

Las muestras ensayadas se encuentran con un alto Límite líquido el cual es superado por el Contenido de humedad lo cual nos hace prever que las muestras analizadas son correspondientes a suelos normalmente consolidados con una alta compresibilidad.

Los suelos ensayados son en un 85% arcillas de alta plasticidad y en un 15% entre Limos de baja y alta plasticidad, lo que se puede evidenciar en la siguiente carta de plasticidad:

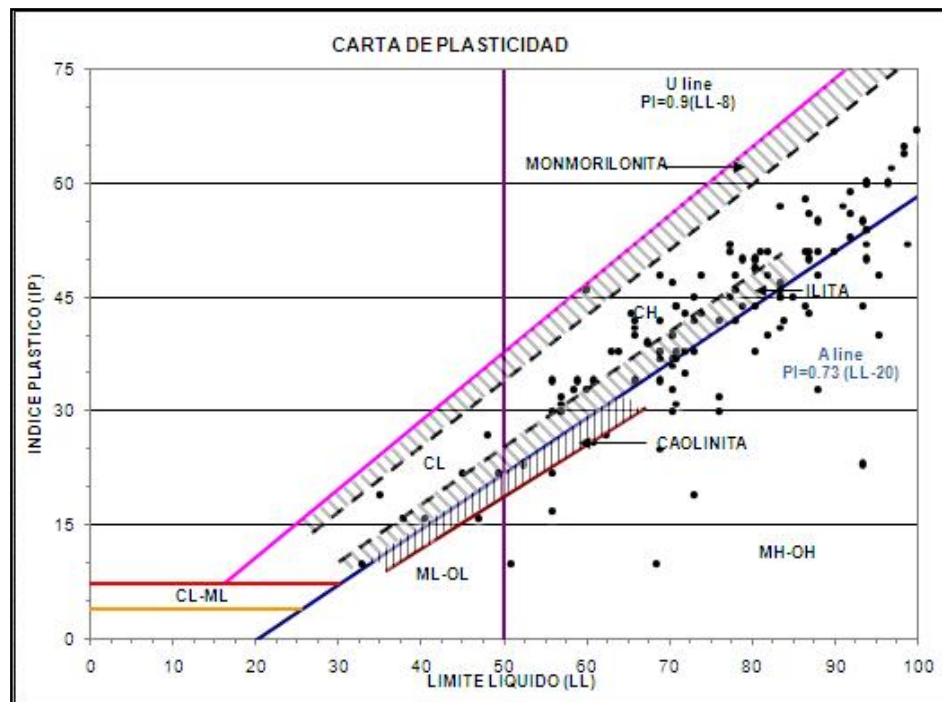


Figura 6.1. Carta de Plasticidad 200 muestras investigada

6.5. ENSAYOS EJECUTADOS – PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN PARA VALIDACIÓN DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN

Como parte de la verificación y entendimiento de los resultados obtenidos del análisis de la recopilación de datos con los cuales se obtuvieron las ecuaciones de correlación para el índice de compresibilidad, fue necesaria la ejecución de 14 ensayos de consolidación para 8 proyectos a diferentes profundidades, considerados de carácter complementario y que servirán para confirmar o corregir las ecuaciones planteadas preliminarmente.

Las muestras obtenidas están ubicadas espacialmente para que sean representativas del universo de datos bases analizados, es así que 4 pertenecen a zonas estuarinas y 4 pertenecen a zonas aluviales.

Tabla 6.2: Información Complementaria – Diferentes Proyectos de donde se tomaron los datos analizados

No	NOMBRE DEL PROYECTO – ESTUDIO	EJECUCION
1	Torre de Control del Aeropuerto José Joaquín de Olmedo.	Febrero 2013
2	Edificio Dra. de La Torre.	Marzo 2013
3	Proyecto de Investigación Miraflores.	Marzo 2013
4	Hospital Isla Trinitaria.	Abril 2013
5	Proyecto de Investigación Stella Maris.	Abril 2013
6	Galpón Griffine.	Mayo 2013
7	Edificio de la Junta de Beneficencia	Junio 2013
8	Ampliación del Aeropuerto José Joaquín de Olmedo.	Junio 2013

La totalidad de las muestras son inalteradas a las que se les realizaron los ensayos de clasificación e identificación y consolidación unidimensional.

Tabla 6.3: Resultados de pruebas de laboratorio realizadas

DATOS	PROYECTO	PERFORACION	# MUESTRA	PROFUNDIDAD	W%	LL	LP	IP	IL	eo	Cc
1	AEROPUERTO JJO	P-2	6	6.25	59	82	27	55	0.58	2.8	0.91
2		P-2	8	9.25	60	72	30	42	0.71	2.1	1.08
3	GALPON GRIFFINE	P-1	7	6.75	64	80	29	51	0.69	1.5	0.28
4		P-1	8	8.25	75	88	32	56	0.77	1.9	0.76
5	EDIFICIO DE LA JUNTA DE BENEFICENCIA (ATARAZANA)	P-1	24	12.5	92	102.1	36.1	66.06	0.85	2.8	1.09
6		P-1	10	5	96	97.04	28.6	68.4	0.98	2.4	1.20
7		GEO-03	16	8.7	93	93.97	31.4	62.6	0.98	2.5	1.26
8		GEO-02	19	9.75	100	106.6	33.6	73.01	0.91	2.5	1.12
9	DRA DE LA TORRE (URDESA)	P-1	5	4.25	168.9	169.2	63	106.21	0.997	5.5	2.66
10	TORRE DE CONTROL AEROPUERTO JOSE JOAQUIN O.	P-1	7	6.25	75.1	47	21	26	2.08	1.7	0.81
11		P-1	11	9.15	90.9	107	47	60	0.73	2.7	1.78
12	HOSPITAL ISLA TRINITARIA	P-1	4	3.75	131.2	102	36	66	1.44	2.3	1.02
13	STELLA MARIS	P-1	7	8.75	111.5	113	43	70	0.98	2.4	1
14	MIRAFLORES	P-1	8	9.25	125	102	53	49	1.47	2.3	1.02
	PROMEDIO				95.8	97.3	36.5	60.8	1.0	2.5	1.1
	MINIMO				59.0	47.0	21.0	26.0	0.6	1.5	0.3
	MAXIMO				168.9	169.2	63.0	106.2	2.1	5.5	2.7

Las muestras ensayadas tienen características como, Contenido de Humedad: 59% a 168.9% con un promedio de 95.8%, Límite Líquido: 47% a 169.2% con un promedio de 97.3%, Relación de Vacíos: 1.5 a 5.5 con un promedio de 2.5.

Los parámetros medidos se enmarcan en los generales estudiados para los suelos de la ciudad de Guayaquil con los cuales se puede verificar la eficiencia de los resultados obtenidos en el análisis estadístico de la presente investigación.

De las muestras ensayadas se han obtenido las características principales como la compresibilidad y sus propiedades intrínsecas como Límite Líquido, Contenido de Humedad y Límite Plástico, así como su Relación de Vacíos.

De acuerdo a lo explicado en el capítulo 4 referente a las propiedades intrínsecas de los suelos compresibles, las características de los suelos dependen del tamaño de las partículas, características físico - químicas, superficie efectiva en su fase sólida las cuales definen la capacidad de retención de agua intersticial en su estructura.

Parte sustancial del entendimiento del índice de compresibilidad es la relación de vacíos inicial, lo cual es lógico ya que el C_c se deriva de la curva de compresibilidad y representa la reducción de vacíos debido a la expulsión de fluidos (aire o agua), provocada por un incremento de esfuerzos en el suelo, por lo que es directamente proporcional con la cantidad de compresión que puede presentarse en el suelo.

6.6. DISCRETIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con la información recopilada y analizada en conjunto con los ensayos ejecutados se analizó el amplio espectro de valores para verificar convergencia entre el índice de compresibilidad y las propiedades índices enfocando la investigación en la correlación con el Límite Líquido.

Los valores de todas las propiedades correlacionadas con el índice de compresión primaria se analizaron en gráficas de dispersión, para obtener un modelo que se ajuste a la tendencia mediante un análisis de regresión.

El análisis toma en cuenta como variables básicas el contenido de humedad, la relación de vacíos, el límite líquido, límite plástico, Índice de Plasticidad e Índice de Liquidez.

La tendencia proporciona un modelo lineal de acuerdo al análisis de regresión con el cual se puede transformar las propiedades índices en resultados del índice de compresión primaria.

Como parte de la discretización de la información no se tomaron en consideración los valores extremos que no guardan relación con el universo de datos estudiados para obtener una correlación final con mayor precisión.

La discretización de información se la realizó en base al análisis de envolventes en la curva de dispersión, se eliminaron los valores que se ubicaron fuera y se trazó la tendencia con un modelo lineal la cual posee un error muy bajo y aceptable que representa una mejor predicción de los valores de índice de compresibilidad de los suelos de la ciudad de Guayaquil.

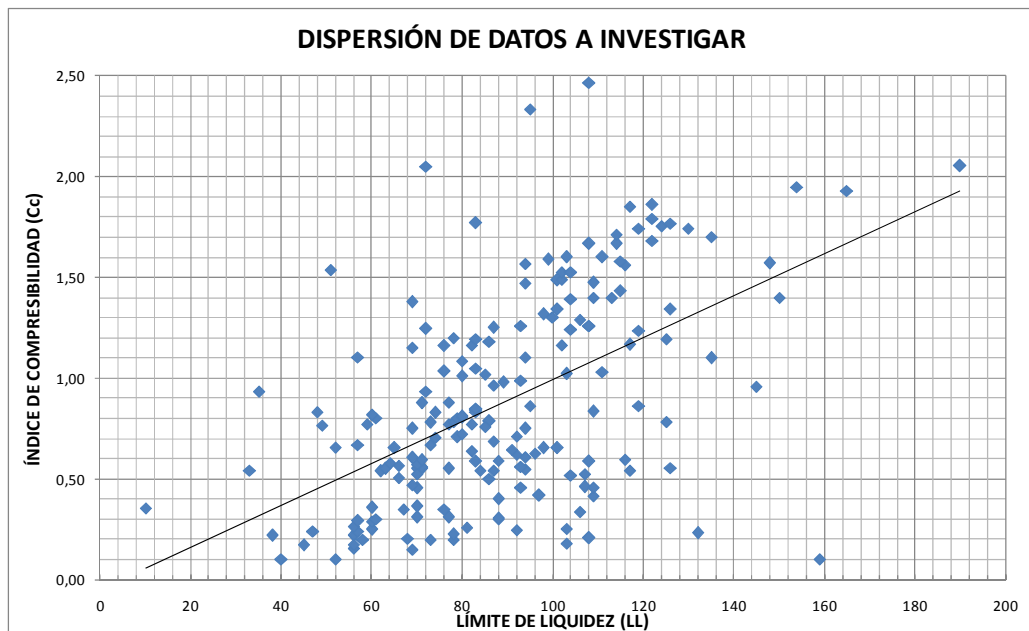


Figura 6.2. Gráfico de dispersión del muestreo investigado entre LL vs C_c

La gráfica de dispersión muestra la gran variabilidad y espacialidad que tiene el comportamiento de los suelos de la ciudad de Guayaquil por lo cual fué necesario realizar discretizaciones para los parámetros de suelos Normalmente Consolidados y Pre Consolidados.

Debido a que motivo de esta investigación son los suelos Normalmente Consolidados se enmarcó el estudio a los siguientes datos:

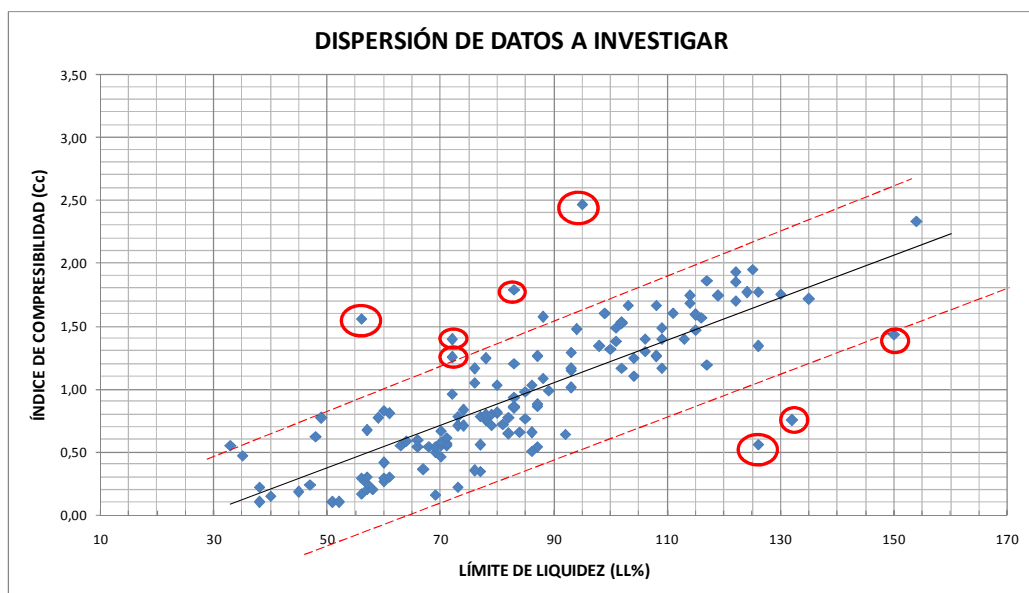


Figura 6.3. Gráfico de dispersión del muestreo investigado entre LL vs C_c , Suelos Normalmente Consolidados.

Con la depuración analizada, la figura 6.3 muestra los 137 datos, donde la dispersión es muy cercana y sobre los cuales se realiza un estudio más minucioso referente a la correlación del índice de compresibilidad con las propiedades Índices.

De acuerdo a la zonificación presentada en la sección 4.3, la figura 6.4 muestra la dispersión de datos para las zonas estuarinas y aluvio-lacustre respectivamente.

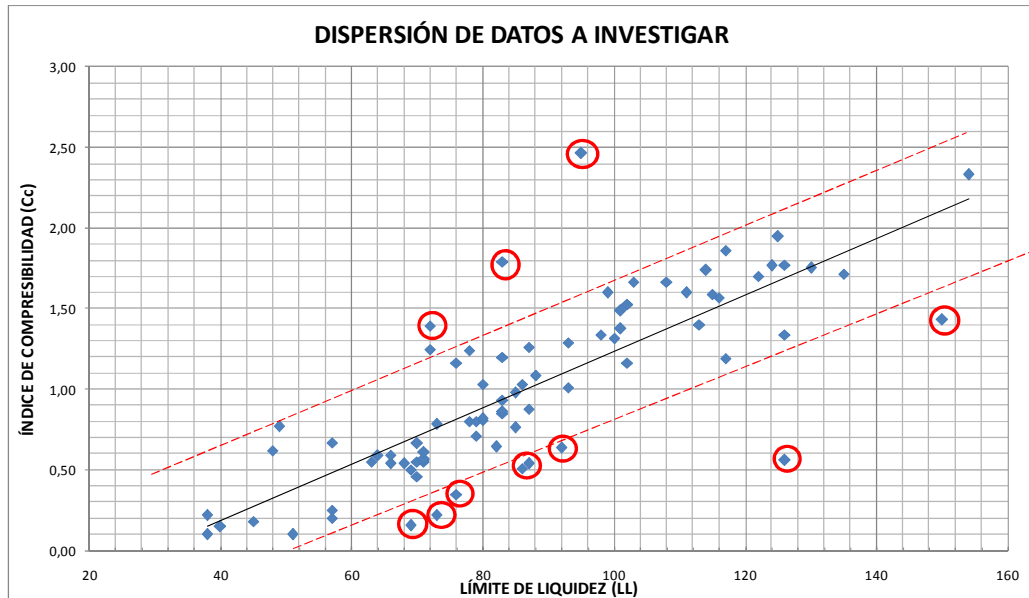


Figura 6.4. Gráfico de dispersión del muestreo investigado entre LL vs C_c , Suelos Normalmente Consolidados – Zona Estuarina

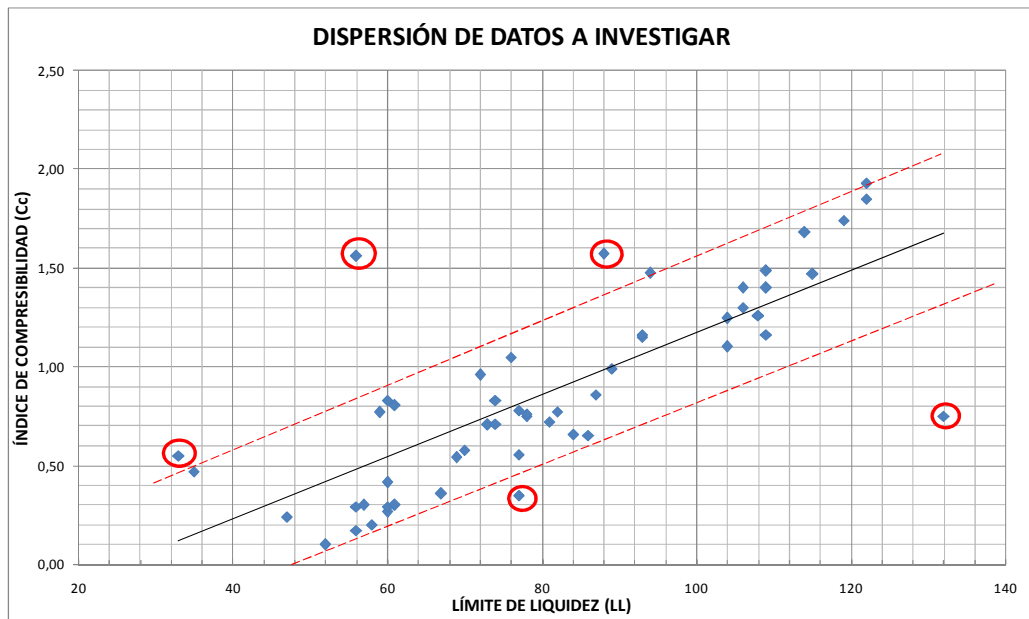


Figura 6.5. Gráfico de dispersión del muestreo investigado entre LL vs C_c , Suelos Normalmente Consolidados – Zona Aluvio-Lacustre

Con el análisis de la información presentada en el siguiente capítulo se desarrollan las ecuaciones de correlación con los parámetros índices.

CAPÍTULO 7

7. ECUACIONES EMPÍRICAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA

Del análisis de los datos obtenidos y los ensayos ejecutados se concluye que estos tienen un comportamiento Lineal, por lo cual las correlaciones se realizan a través del ajuste de mínimos cuadrados.

7.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE CURVAS DE CORRELACIÓN

Una vez identificado el universo de datos a los cuales se pretende correlacionar se realiza la discretización de los valores aceptables y dispersos o extremos para afinar la eficiencia de nuestras ecuaciones.

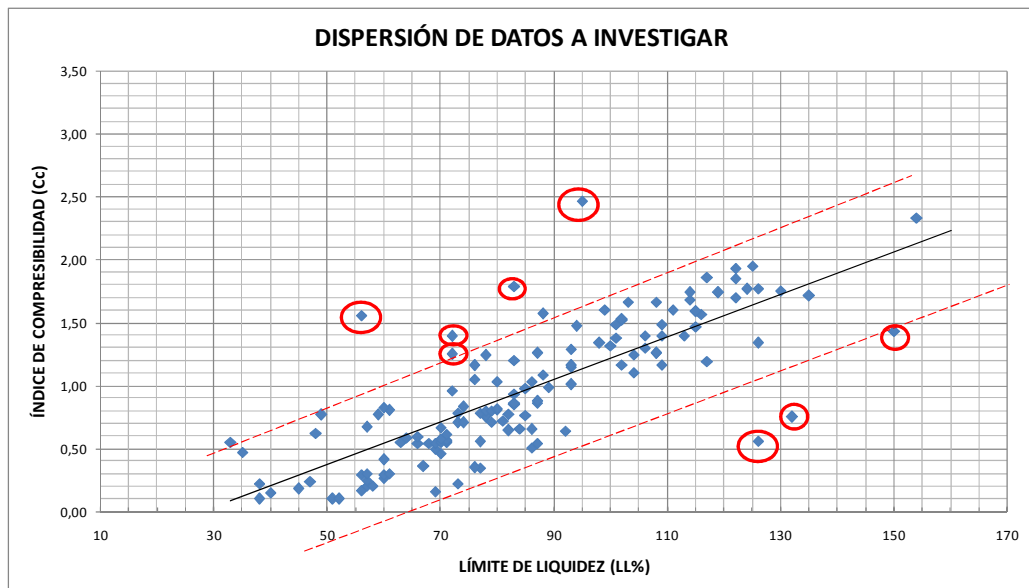


Figura 7.1. Envoltente de datos para la discretización de valores extremos.

En la figura 7.1 se muestra la discretización de los valores extremos mediante envolventes que nos permiten obtener el rango aceptable a investigar.

La dispersión de los valores se origina por diferentes motivos, entre los cuales el principal es el error que pueda existir en la transportación de las muestras, alterando su estructura, errores en la ejecución de los ensayos por problemas en los equipos de medición, errores humanos de valorización, presencia de material arenoso en muestras arcillo limosas que alteren su comportamiento común, etc.

Una vez realizada la discretización de valores, se realiza el análisis de ajuste de tendencias y comportamientos. De los resultados obtenidos se observa que el comportamiento de los valores estudiados tienen una tendencia lineal, con la cual se puede obtener una ecuación de correlación mediante la aplicación de mínimos cuadrados.

7.2. EVALUACIÓN DE LAS CORRELACIONES GENERALES

Las ecuaciones de correlación que se proporcionan en la presente investigación han sido valoradas y analizadas de acuerdo a los parámetros estadísticos estándares para que conozcamos su precisión y aplicabilidad.

Los valores aceptables en términos estadísticos para la utilización de ecuaciones de correlación son aquellos que posean un coeficiente de correlación superior a 0.75.

7.3. ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

El contenido de agua de los suelos es estudio es relativamente bajo con valores que se encuentran en el rango de 21.8 a 195%, pero se depuraron algunos valores que no guardaban relación con el resto de datos

La figura 7.2 se muestra la correlación positiva que existe entre el contenido de agua y el índice de compresibilidad. Resultando el modelo lineal de la siguiente forma

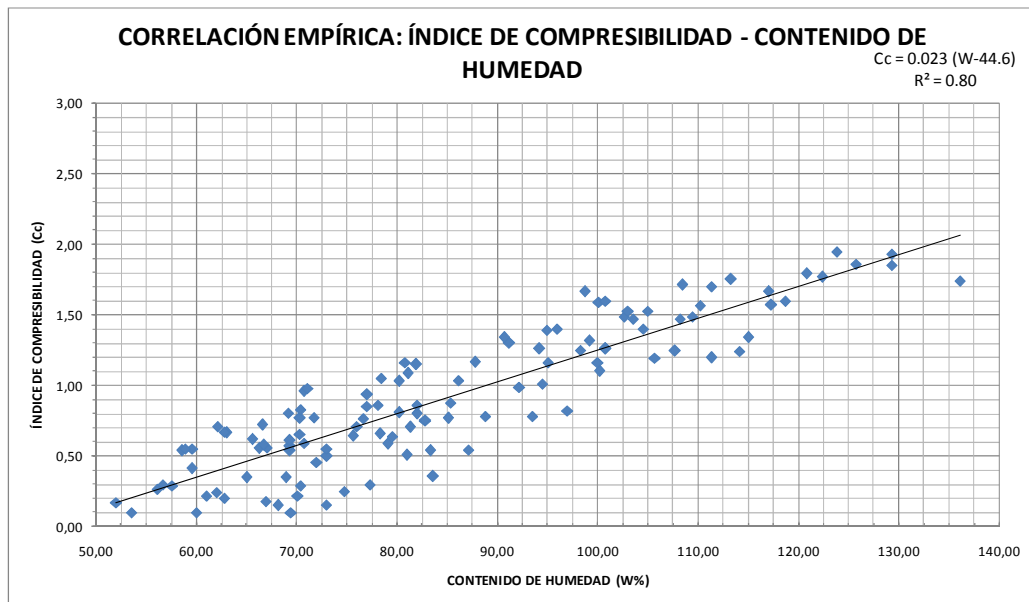


Figura 7.2. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Contenido de Humedad

$$C_c = 0.023 * (W - 44.6) \quad \text{(Ecuación 7.1)}$$

$$C_c = 0.023 * (W - 44.6) \quad N = 119 \quad R^2 = 0.80$$

7.4. ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y EL LÍMITE LÍQUIDO PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

Con los datos discretizados para el análisis de convergencia y obtención de tendencias que definan ecuaciones de correlación aplicables con la mayor precisión posible, los datos aceptables representan el 90% del universo de información disponible.

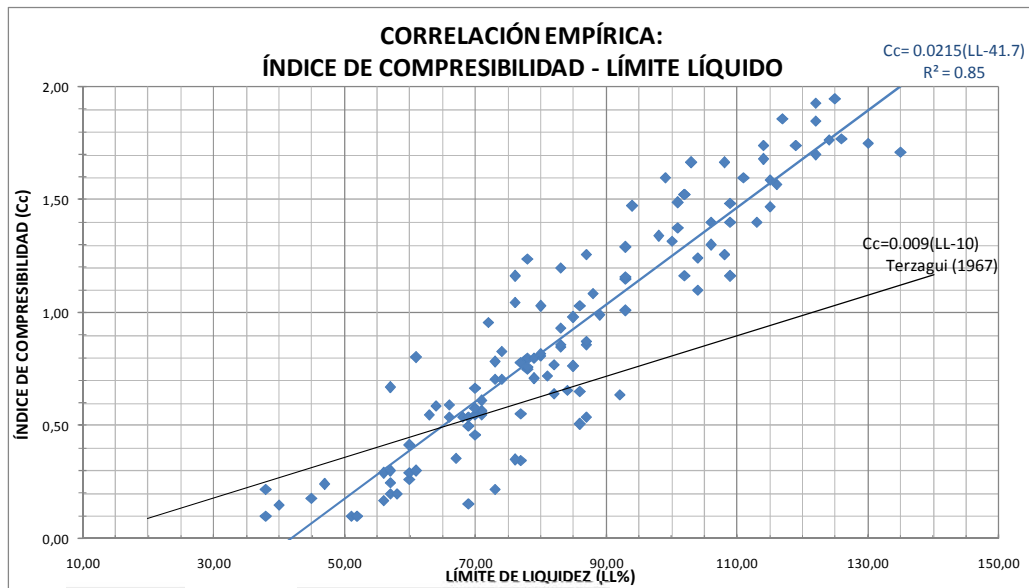


Figura 7.3. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria- Límite Líquido

$$C_c = 0.0215 * (LL - 41.7) \quad (\text{Ecuación 7.2})$$

$$C_c = 0.0215 * (LL - 41.7) \quad N = 119 \quad R^2 = 0.85$$

Debido a que el coeficiente de correlación obtenido es 0.85, se propone el uso de la ecuación 7.2 para la estimación del índice de compresibilidad para todos los suelos de la ciudad de Guayaquil, pero en el caso que se necesite una presión aun mayor se pueden utilizar las ecuaciones de acuerdo a la zonificación propuesta.

A continuación se proponen dos ecuaciones para ser usadas de acuerdo a las zonas propuestas en el capítulo 4, las cuales correlacionan el Límite de Liquidez con el Índice de compresibilidad.

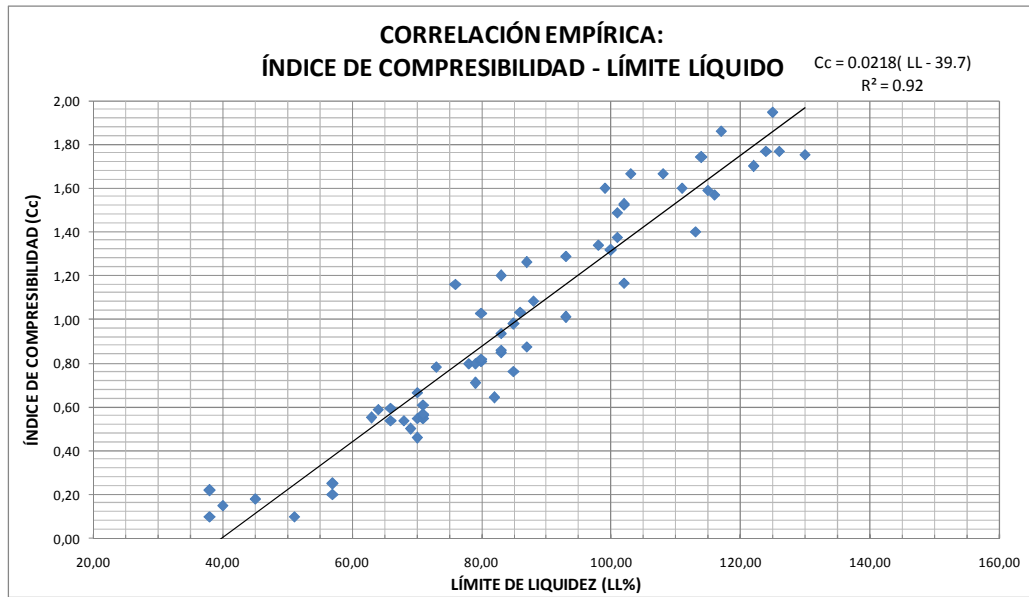


Figura 7.4. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria– Límite Líquido, Zona Estuarina

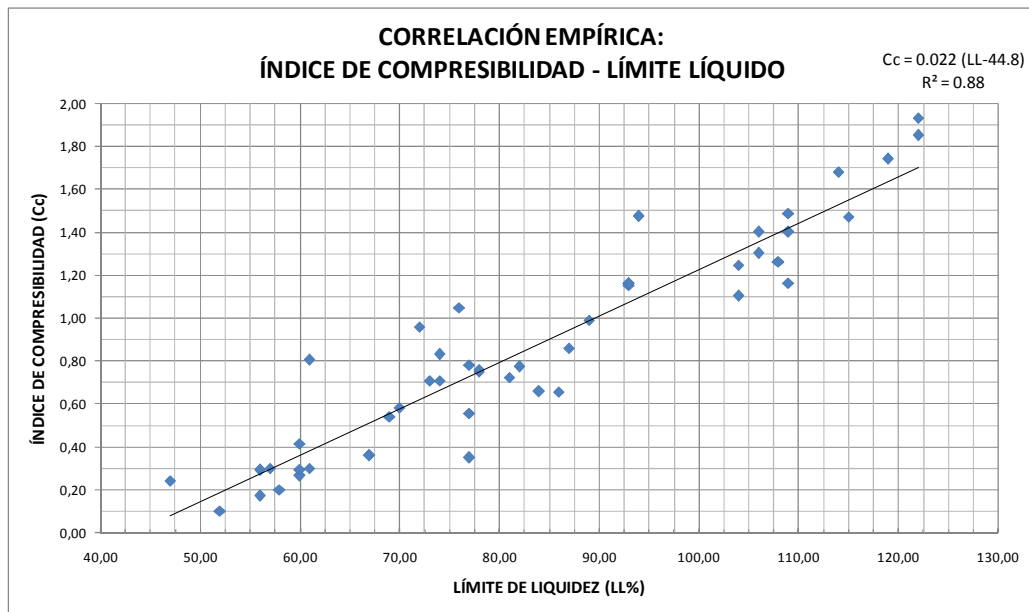


Figura 7.5. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria– Límite Líquido, Zona Aluvio-Lacustre

7.5. ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y EL LÍMITE PLÁSTICO PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

El límite plástico en los suelos de Guayaquil fluctúa entre 20 y 55 por ciento, los cuales de acuerdo a su micro estructura y composición mineralógica se relacionan directamente con la relación de vacíos y la capacidad de compresibilidad de acuerdo a las cargas aplicadas, por lo que se relacionan directamente.

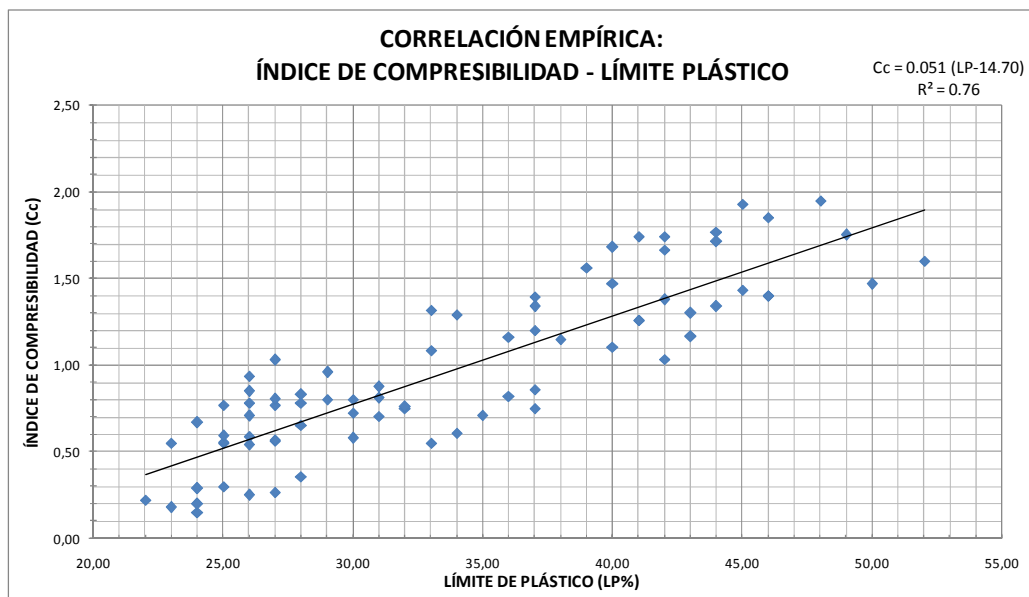


Figura 7.6. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresibilidad – Límite Plástico

$$C_c = 0.051 * (LP - 14.7) \quad \text{(Ecuación 7.3)}$$

$$C_c = 0.051 * (LP - 14.7) \quad N = 79 \quad R^2 = 0.76$$

7.6. ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD Y EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

El índice de plasticidad en los suelos de la ciudad de Guayaquil varía entre 10 y 90 por ciento y presentan un comportamiento de crecimiento lineal con el índice de compresibilidad lo cual permite su correlación.

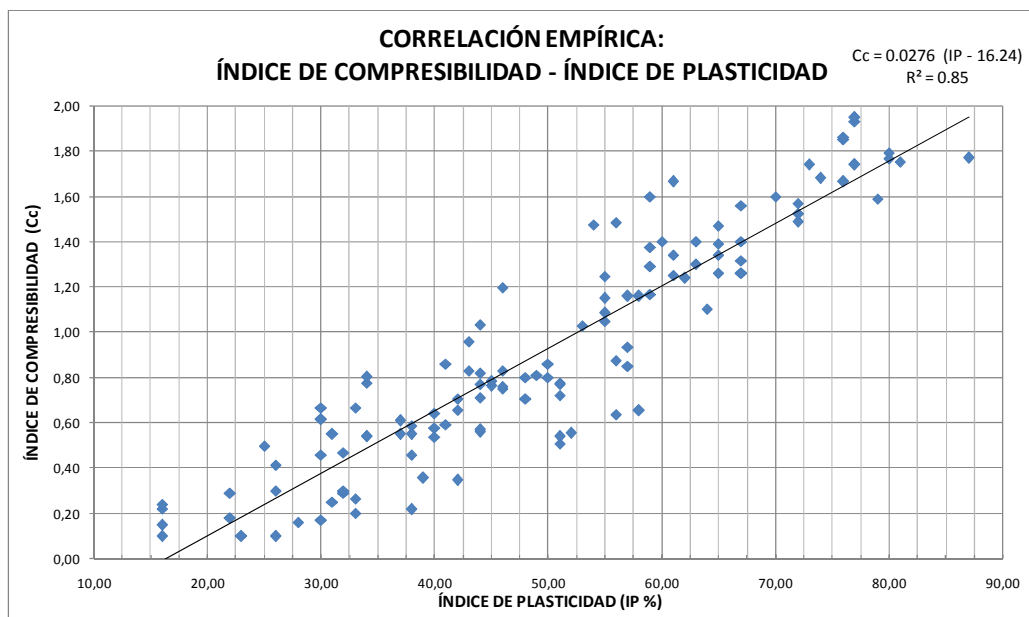


Figura 7.7. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria- Índice de Plasticidad.

$$C_c = 0.0276 * (IP - 16.24) \quad \text{(Ecuación 7.4)}$$

$$C_c = 0.0276 * (IP - 16.24) \quad N = 121 \quad R^2 = 0.85$$

7.7. ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIALES PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

La relación de Vacíos iniciales es la forma más directa de conocer la capacidad de disipación de espacios vacíos dentro de una masa, los cuales dentro de los suelos de la ciudad de Guayaquil varían entre 1 y 3 y presentan un comportamiento de crecimiento lineal con el índice de compresibilidad lo cual permite su correlación.

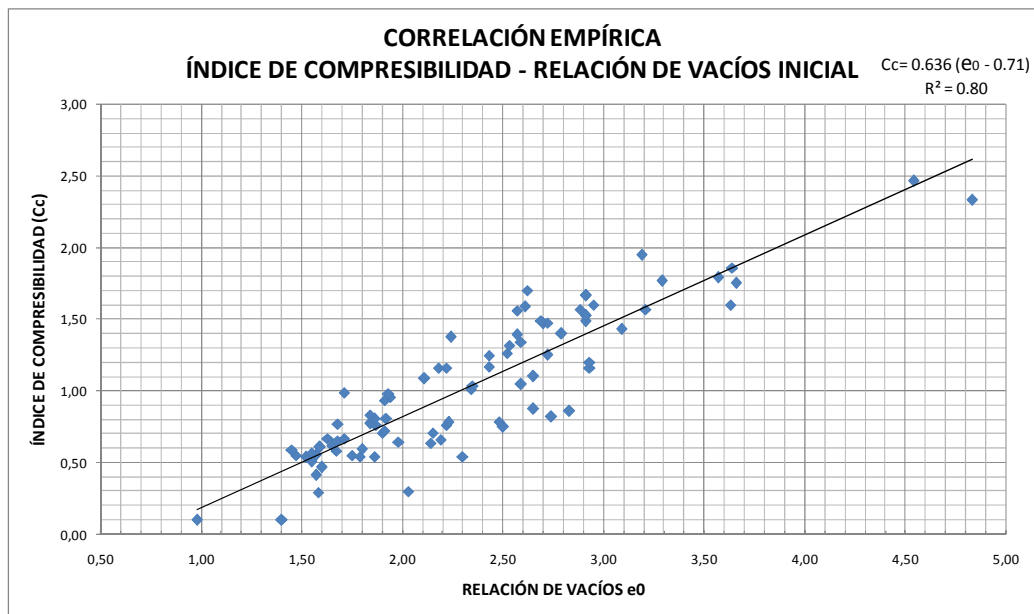


Figura 7.8. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Relación de vacíos Iniciales

$$C_c = 0.636 * (e_0 - 0.71) \quad \text{(Ecuación 7.5)}$$

$$C_c = 0.636 * (e_0 - 0.71) \quad N = 87 \quad R^2 = 0.80$$

7.8. ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y CONTENIDO DE HUMEDAD, LÍMITE LÍQUIDO, ÍNDICE DE PLASTICIDAD PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

Para una estimación con una convergencia mayor es la que se obtiene de la intervención de 3 propiedades índices que definen el comportamiento de los suelos los cuales se relacionan directamente con la disipación de espacios vacíos dentro de una masa de suelo.

La ecuación siguiente fue obtenida mediante una estimación lineal, una vez que se realizó un pre-análisis de la convergencia lineal creciente de los parámetros intervinientes.

ECUACIÓN

$$C_c = 0.0096W + 0.0056LL + 0.0166IP - 0.9582 \quad (\text{Ecuación 7.6})$$

La ecuación 7.6 propuesta fue obtenida con los 3 parámetros de las 119 muestras, donde se eliminaron previamente los datos extremos.

El coeficiente de correlación de la ecuación propuesta es de 0.91, la cual puede ser aplicada en todos los suelos de la ciudad de Guayaquil Normalmente consolidados.

7.9. ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN PRIMARIA Y PARÁMETROS PARA SUELOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS

En la presente investigación se realizó un estudio minucioso del comportamiento de los suelos y la relación que existe entre el Índice de Compresión Primaria (C_c) y las propiedades que describen la historia de deposición, estructura molecular e historia de esfuerzos.

Se realizaron correlaciones con propiedades como el Contenido de Humedad, Límite de Liquidez, Límite de Plasticidad, Índice de Plasticidad, y relación de vacíos iniciales.

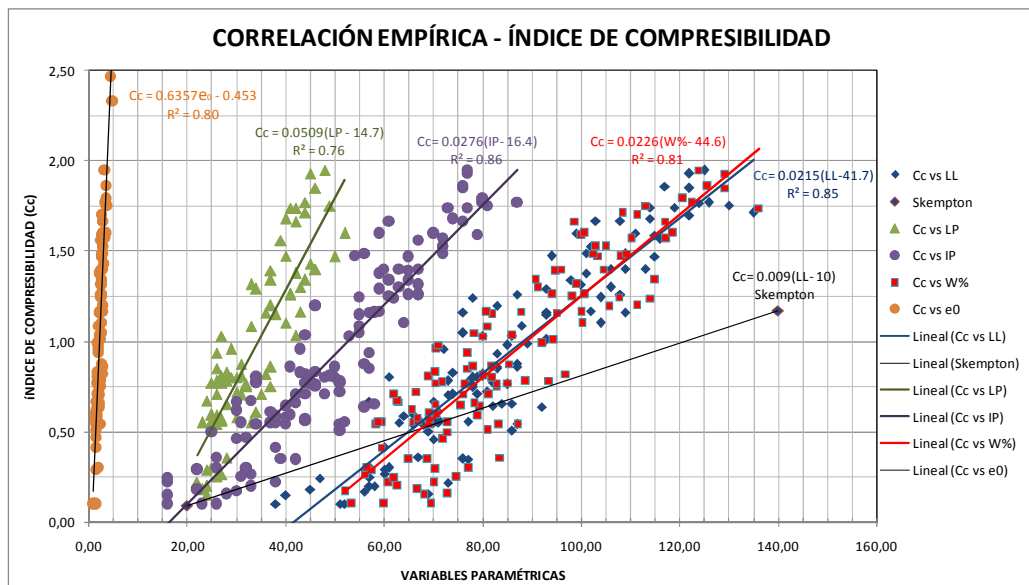


Figura 7.9. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Variables Paramétricas

Hasta el día de hoy antes del aporte de las ecuaciones de correlación presentadas en la investigación desarrollada y resumidas en la figura 7.9 se utilizaron otras que no correspondían a la realidad de nuestros suelos y que nos conducían a errores muy marcados en las predicciones y cálculos de asentamientos.

7.10. VERIFICACIÓN Y APLICABILIDAD DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN PROPUESTAS PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICE DE COMPRESION PRIMARIA

Para verificar la confiabilidad y aplicabilidad de las ecuaciones desarrolladas para los suelos de Guayaquil se realizaron ensayos adicionales de acuerdo a lo indicado en la sección 6.5 de la presente investigación.

De las muestras de suelos ensayadas se obtuvieron sus propiedades características, a lo cual se tomó en consideración las propiedades intrínsecas de los suelos y se puso énfasis en la extracción de las mismas por lo cual se asume muestras inalteradas de acuerdo a las mismas condiciones que los suelos investigados con las cuales se desarrollaron las ecuaciones de correlación.

Con los parámetros obtenidos de las muestras analizadas se verificó la fiabilidad de las ecuaciones propuestas, las cuales se encuentran dentro del porcentaje de correlación estimada.

Tomando como parámetro de referencia al contenido de Humedad, se observa que las muestras ensayadas guardan una relación creciente conforme a la predicción que otorga la ecuación de correlación propuesta de acuerdo a lo que se puede observar en la figura 7.10.

El comportamiento predictivo de las ecuaciones de correlación referente al límite de liquidez tiene una mayor convergencia respecto a los resultados obtenidos de las muestras ensayadas, lo cual se observa en la figura 7.11, confirmando la influencia del factor de correlación en la precisión de las ecuaciones de correlación propuestas.

La correlación propuesta para el cálculo del índice de compresión inicial conforme a la relación de vacíos iniciales para las muestras ensayadas muestran una convergencia mayor a la esperada, lo cual hace gala de su aplicabilidad, de acuerdo a los que se puede observar en la figura 7.12.

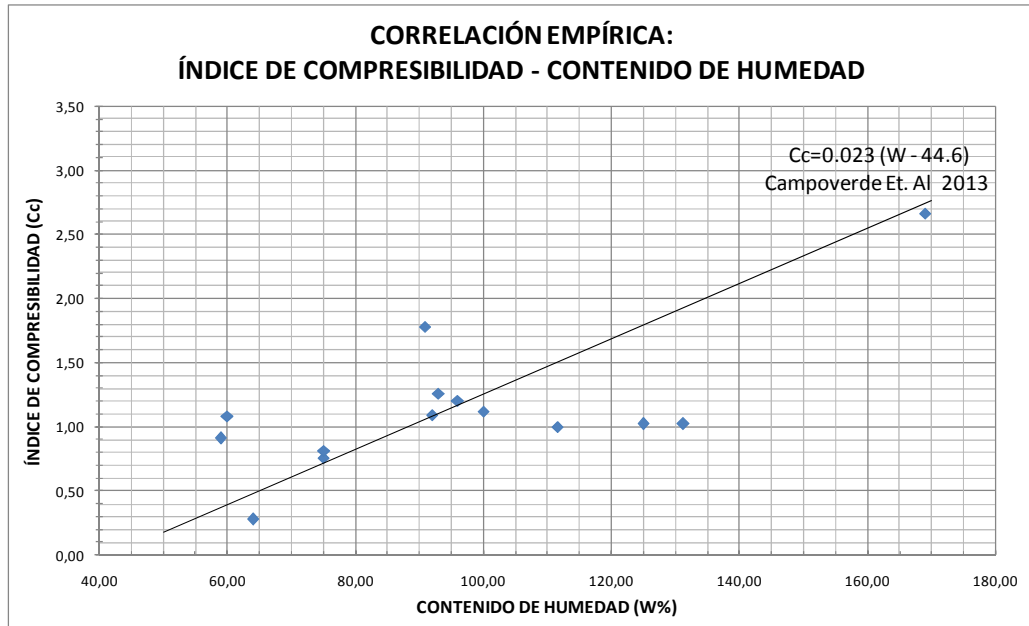


Figura 7.10. Gráfico de Verificación de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Contenido de Humedad

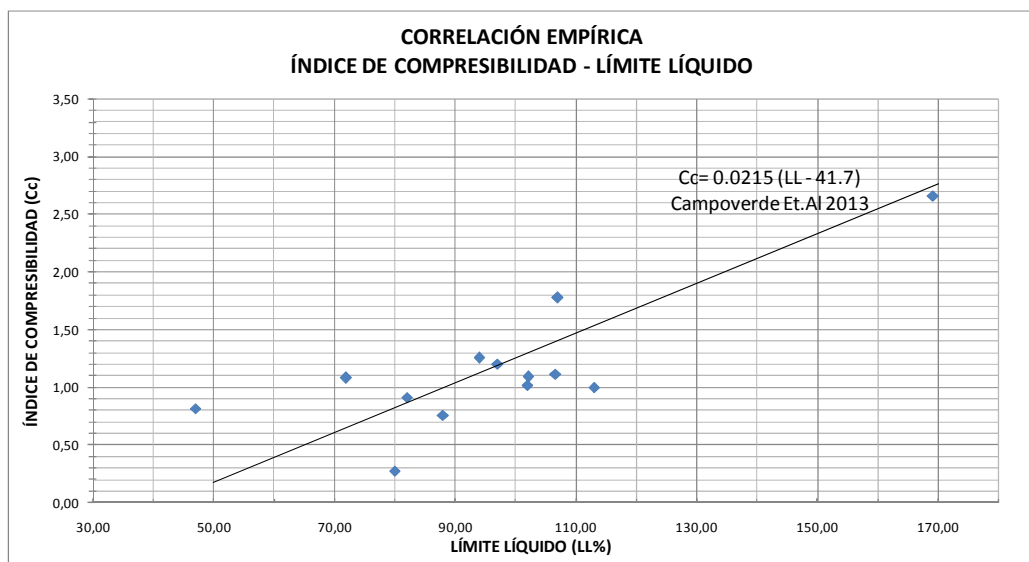


Figura 7.11. Gráfico de Verificación de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Límite Líquido

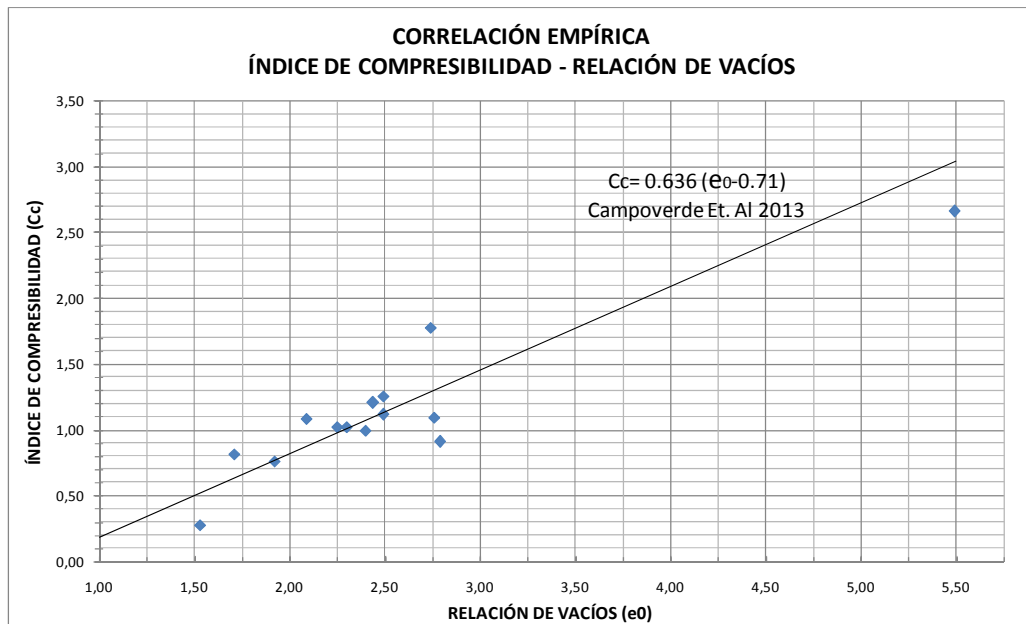


Figura 7.12. Gráfico de Verificación de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Relación de Vacíos Inicial

De los gráficos 7.10, 7.11 y 7.12 se confirma la veracidad y aplicabilidad de las ecuaciones de correlación propuestas en la presente investigación.

Finalmente, aun cuando las ecuaciones propuestas dan excelentes aproximaciones, la ecuación 7.6 propuesta en la sección 7.8 es la más recomendable, esto se observa en la figura 7.13, debido a que se relacionan 3 propiedades que definen el comportamiento de los suelos.

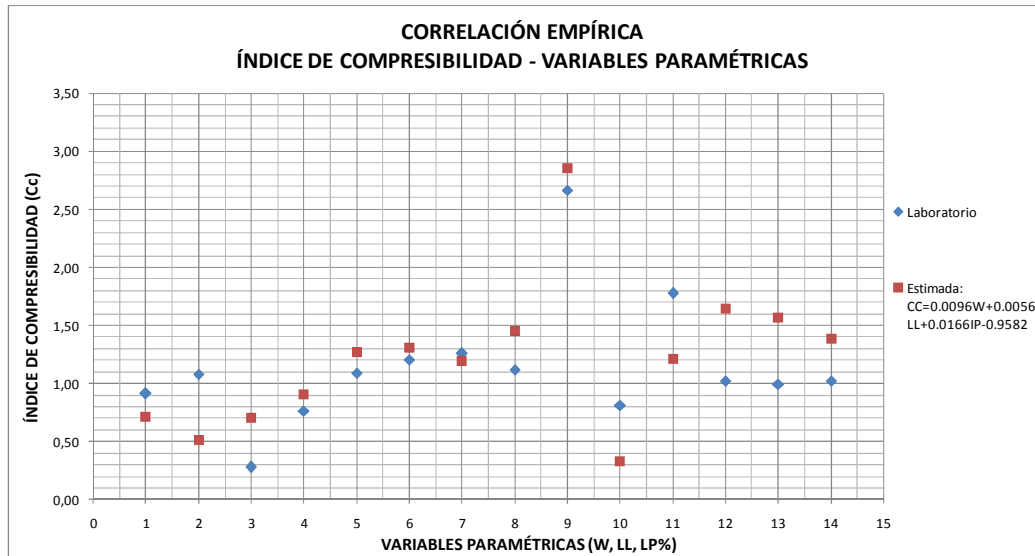


Figura 7.13. Gráfico de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Relación de Vacíos Inicial

7.11. COMPARACIÓN DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN PROPUESTAS CON OTROS AUTORES

Las ecuaciones expresadas en el capítulo 5 son el resultado del estudio de la relación existente entre el índice de compresibilidad y las propiedades índice del suelo tomando como referente 4 fuentes (Skempton 1944, Terzaghi y Peck 1967, Lambe y Whitman 1969, Mayne 1980)

Las ecuaciones descritas se relacionan con una variable ya sea está el Límite Líquido, Contenido de Humedad, Límite Plástico, índice de Plasticidad o Relación de Vacíos, con una relación lineal predominante.

Las ecuaciones más utilizadas en nuestro medio son las propuestas por Skempton, Terzaghi y Peck, mismas que fueron estimadas de una forma conservadora, es así que se espera el mayor valor del índice de compresibilidad debido a que al existir erraticidad en los suelos estudiados y al tener un rango de error no controlable es necesario calcular con ecuaciones que nos permitan minimizar la imprecisión.

Las ecuaciones propuestas por diferentes investigadores a lo largo de los últimos 70 años han sido desarrolladas para otros ambientes distintos a las condiciones de depositación, geología, geomorfología, composición mineralógica, estado de exposición, etc, lo cual aun cuando se trate de un mismo de tipo de suelo según la clasificación SUCS, no corresponden a nuestra realidad que obliga a estudios que permitan estimar de una forma más precisa y minimizar los errores no controlables.

De acuerdo al análisis de las muestras ensayadas y en base a la historia de depositación de los suelos y su ambiente de intervención se zonificó a la ciudad de Guayaquil en 2 para un cálculo de mayor precisión y certeza al momento de realizar las estimaciones del índice de compresión primaria por intermedio del Límite Líquido, el cual nos permite realizar la predicción de asentamientos.

Con la intención de establecer comparaciones entre las ecuaciones utilizadas comúnmente en nuestro medio de acuerdo a las recetas exitosas aplicables para un entorno diferente al de la ciudad de Guayaquil y las propuestas en la presente investigación, se ha desarrollado las ecuaciones generales que engloban todos los suelos normalmente consolidados de acuerdo a las secciones 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7.

No existen referencias para establecer comparaciones de ecuaciones de tendencia lineal que vinculen al menos 3 propiedades índices que influyen directamente en el comportamiento de los suelos, en relación a la ecuación 7.6 propuesta en la sección 7.8 y abalizada su fiabilidad en la sección 7.10.

En la figura 7.14 se aprecia que la aproximación brindada por las ecuaciones propuestas es más confiable que la proporcionada por Terzagui y Peck (1967) al momento de comparar la estimación del índice de compresión primaria calculada mediante el Límite Líquido.

De igual forma en la figura 7.15 se muestra que la mejor aproximación para el cálculo del índice de compresión primaria es la propuesta en la presente investigación en relación a la presentada por otros investigadores como Azzouz, Koppula y Herrera, mediante el cálculo del contenido de humedad.

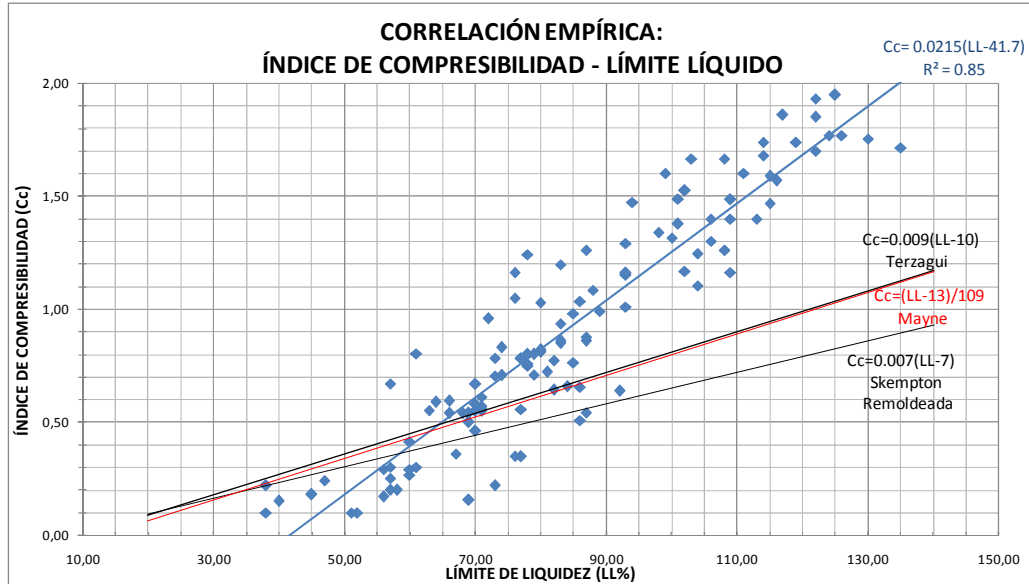


Figura 7.14. Gráfico de Verificación de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Límite Líquido

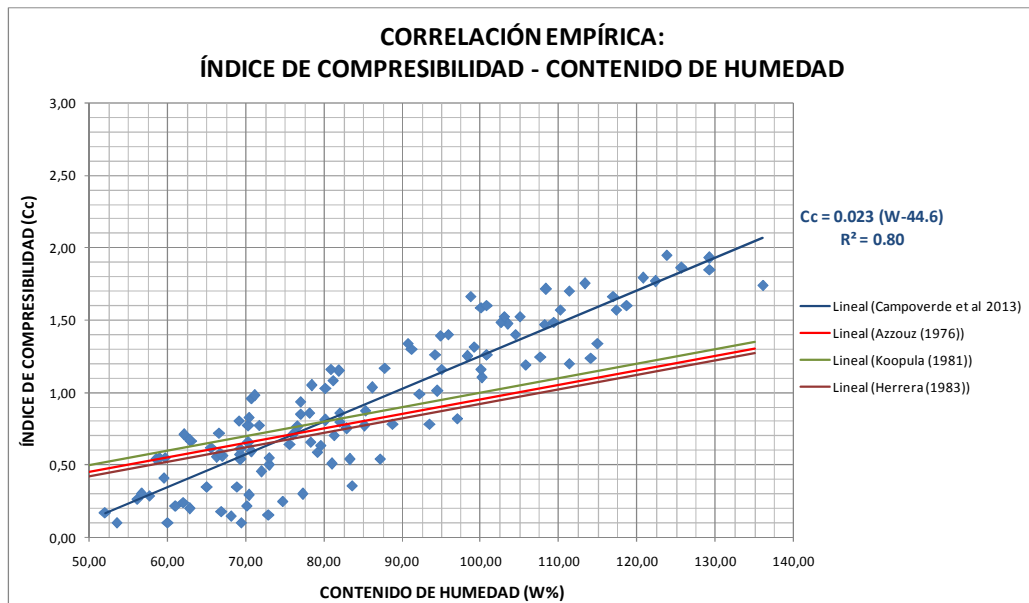


Figura 7.15. Gráfico de Verificación de Correlación entre Índice de Compresión Primaria – Contenido de Humedad

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

Para el análisis de las muestras de la presente investigación se asumen inalteradas por lo cual no fue necesaria la corrección de las curvas de compresibilidad debido a que el grado de perturbación es muy bajo.

Las ecuaciones propuestas son una aproximación muy confiable para el uso de la ingeniería práctica referente a los suelos de la ciudad de Guayaquil, advirtiéndose que en ningún momento reemplazan los ensayos de consolidación si se necesitan resultados con una alta precisión.

Para una mayor precisión en la estimación del índice de Compresión Inicial, el uso de las ecuaciones de correlación debe ser de acuerdo a las sectorizaciones propuestas debido, a que estas obedecen la tendencia para cada tipo de suelo.

No se presentan ecuaciones de correlación con el Índice de Liquidez, debido a que no existe convergencia en los resultados que permitan predecir con una precisión aceptable el índice de compresión primaria.

De acuerdo al análisis de las zonificaciones realizadas por otros autores y en base al análisis de las 200 muestras se ha concluido que dos zonas definen el comportamiento de los suelos normalmente consolidados de la ciudad de Guayaquil, las cuales representan el 71% del universo de muestras ensayadas, sectorizándose en: zona Estuarina y zona Aluvio-Lacustre.

Para la obtención de las ecuaciones de correlación del índice de compresión primaria se utilizó la información de 137 muestras que representan el 71%

de la total disponible y necesaria para una correcta predicción de acuerdo al comportamiento del suelo en función del ambiente de depositación y condiciones geológicas, geomorfológicas y mineralógicas.

Los suelos ensayados son en un 85% arcillas de alta plasticidad y en un 15% entre Limos de baja y alta plasticidad. Entre las propiedades obtenidas de los suelos ensayados dentro de la presente investigación para los suelos de la ciudad de Guayaquil se observaron las siguientes: Contenido de Humedad: 21.8% a 195% con un promedio de 80.6%, Límite Líquido: 33% a 225% con un promedio de 89.5%, Relación de Vacíos: 0.98 a 4.80 con un promedio de 2.3.

Las muestras ensayadas se encuentran con un alto Límite líquido que es superado por el Contenido de humedad, lo cual nos hace prever que las muestras analizadas son correspondientes a suelos normalmente consolidados con una alta compresibilidad.

Los ensayos de las 14 consolidaciones realizadas para validar la utilización de las ecuaciones propuestas muestran excelentes resultados con una precisión mayor al 85%.

La ecuación de Skempton 1944, no es aplicable para los suelos de la ciudad de Guayaquil debido a que su incertidumbre es muy alta debido a que las condiciones e historia de depositación y esfuerzos de suelos difieren la realidad de los existentes en la ciudad de Guayaquil.

La estimación lineal de 3 parámetros es la ecuación de correlación más recomendable debido a que en esta intervienen 3 propiedades índices que definen el comportamiento del suelo, y su estructura molecular así como la capacidad de compresibilidad del suelo en estudio.

La presente investigación es de un alto aporte para la ingeniería de nuestra ciudad con la contribución de ecuaciones que describan el comportamiento de nuestros suelos.

8.2. RECOMENDACIONES

La presente investigación se debería extender y complementar con estudios tales como: Ecuaciones de Correlación para la estimación del Índice de Compresión Secundaria, Estimación del Coeficiente de Consolidación, etc.

Se debería realizar una investigación exhaustiva de la microestructura de las arcillas para comprender más a fondo el comportamiento de los suelos que representan el 85% de los suelos de la ciudad de Guayaquil, ya que a través de estos se podrá entender el comportamiento y reacción química mineralógica de acuerdo a su ambiente de depositación, lo cual es influyente en la obtención de los índice de Compresión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS Y ARTICULOS TECNICOS

- Braja M. Das, (2006). *Principio de Ingeniería de Cimentaciones* (5a Edición). Mexico D.F: Edamsa Impresiones S.A.DE C.V.
- Braja M. Das, (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson Editores, S.A.
- Donald P. Coduto,(2001) *Foundation Desing Principles and practices* (Second Edition). United States: Prentice-Hall.
- Whitlow R. (1998). *Fundamentos de Mecánica de suelos*, México.
- Bowles, J.E. (1979) *Phisycal and Geotechnical Properties of soils*. New York: Mc Graw Hill.
- Bowles, J.E. (1982) *Propiedades Geofísicas de los Suelos*. Bogotá: Mc Graw Hill Latinoamericana.
- Bowles, J.E. (1980) *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Bogotá: Mc Graw Hill Latinoamericana.
- Lambe W. T. y Whitman V. R. (1994) *Mecánica de Suelos*, México: Limus.
- Marín, L. (2011) *Mecánica de Suelos*. Guayaquil EDUQUIL.

- Cruz, B. (1979) *Estudio Crítico del Cálculo de Asentamientos*. Tesis de Postgrado de la UNAM. México D.F.
- Cruz, R.C. (2004) *Estudio de las propiedades de compresibilidad de las arcillas de Coatzacoalcos*. Tesis de Postgrado del INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL. México D.F.
- Tandazo E, & Ramirez J. (2006) *Obtención de ecuaciones de correlación para estimar las velocidades de las ondas de corte en los suelos de la ciudad de Guayaquil*. Tesis de Grado de la ESPOL. Guayaquil Ecuador
- Vera X, Benitez S, Alvarez C, & Mera W (2005) *Estudio geotécnico fase I, investigación y estudio del comportamiento dinámico del suelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil*

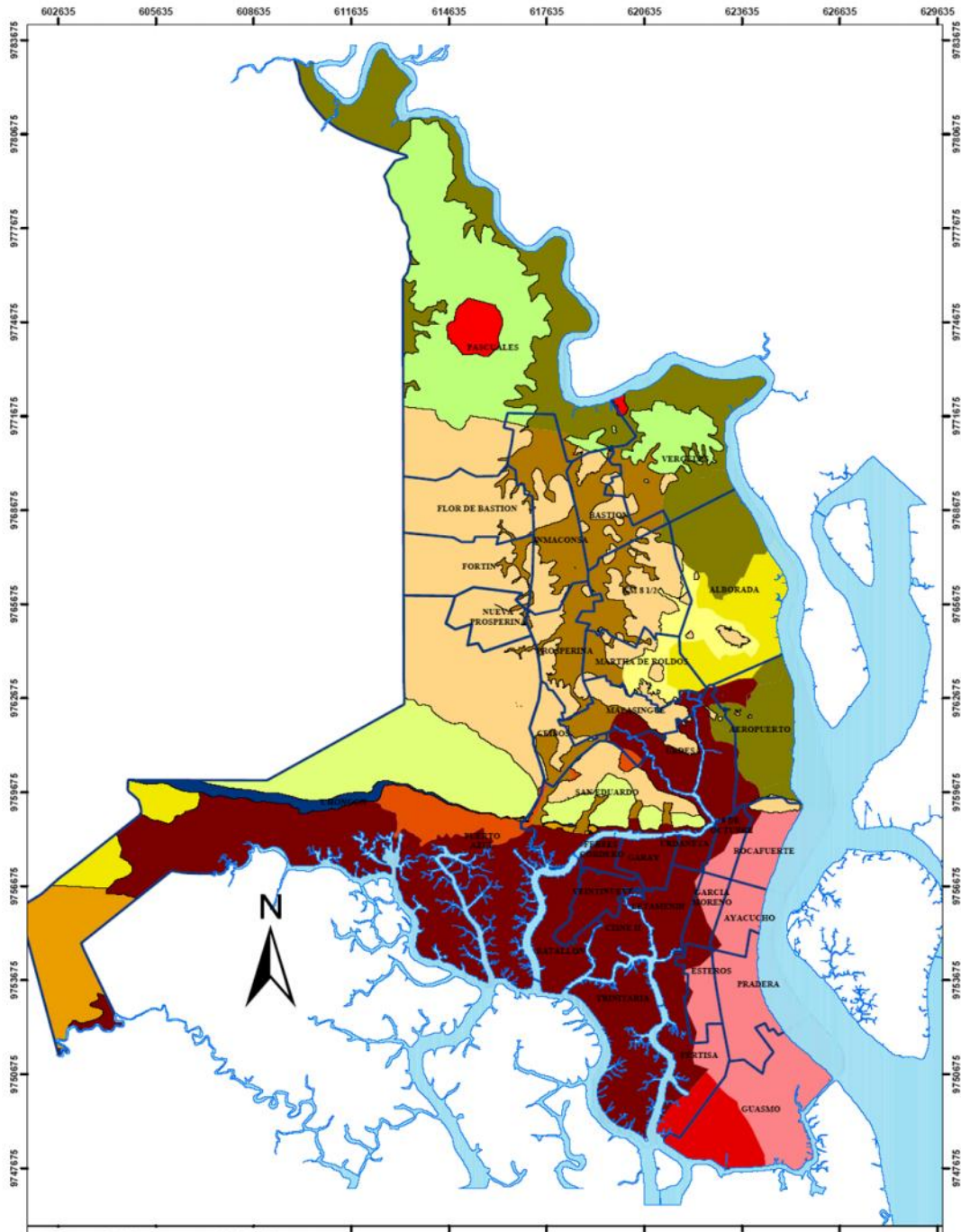
NORMAS INTERNACIONALES






- Muestreo Inalterado. Norma INEN 686 1982 – 05
- Determinación del contenido de humedad. Norma ASTM 2216
- Análisis granulométrico. Norma ASTM D 422 – 00
- Límites de Atterberg. Norma ASTM D 4318 – 00
- Ensayo de consolidación. Norma ASTM D 2435 – 03









ANEXOS

ANEXO 1

Mapa de la Ciudad de Guayaquil con la zonificación geotécnica propuesta Fase final estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. , tomado del informe geotécnico II, Vera-Grunauer, et al (2005).



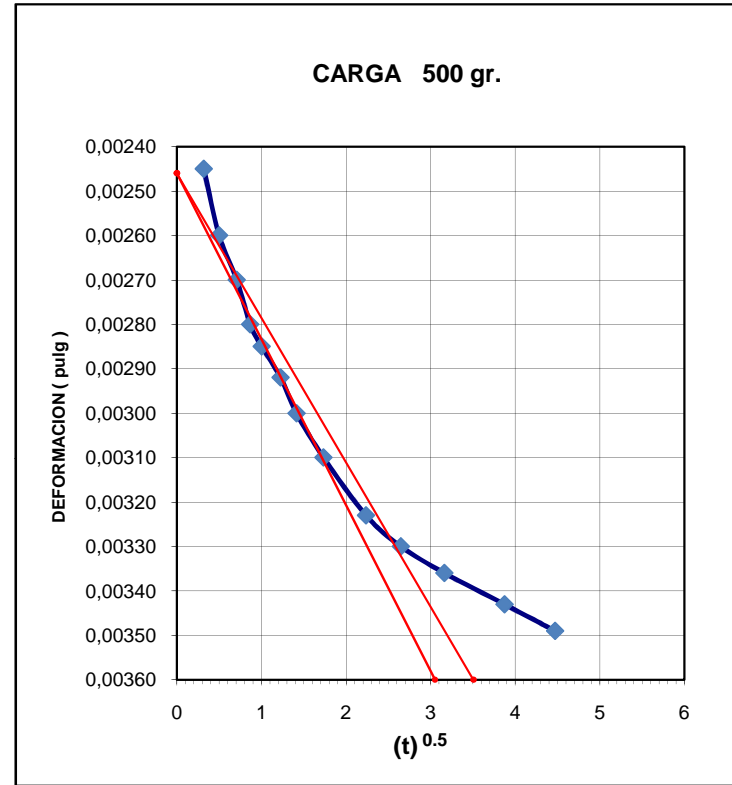
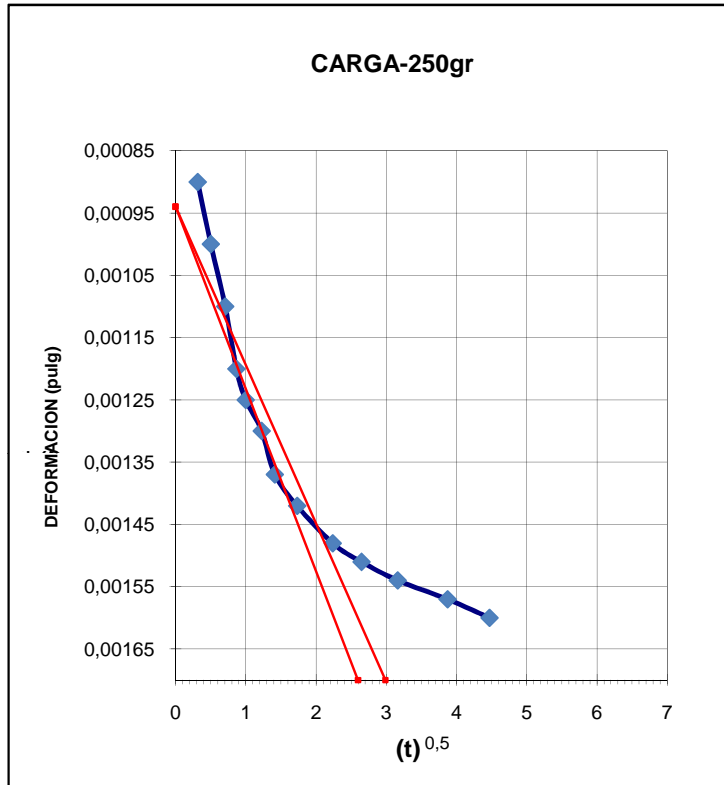
ZONA		DESCRIPCION
	D1	Depósitos Deltáico - estuarino (Este - Centro)
	D2	Depósitos Deltáico - estuarino (Sur)
	D3	Depósitos Deltáico - estuarino (Oeste - Norte - Trinitaria) Depósitos de la Llanura Aluvial (Norte)
	D4A	H < 10 m
	D4B	10 < H < 20 m
	D4C	H < 20 m
	D5	Depósitos Aluvio - lacustres (Norte)
	D6	Depósitos Coluviales
	D7	Depósitos residuales y formación rocosa

D7	
Formación Rocosa	
	Grupo Ancón
	Formación San Eduardo
	Grupo azúcar
	Formación Guayaquil
	Formación Cayo
	Rocas inorgánicas intercaladas
	
	Formación Piñón

ANEXO 2

Ensayo edométrico de una muestra tipo.

CURVAS DEFORMACION - TIEMPO



do " = 0,0009
d ₉₀ " = 0,0015
d ₁₀₀ " = 0,0015
t ₉₀ seg = 2
(t ₉₀) ² seg = 240

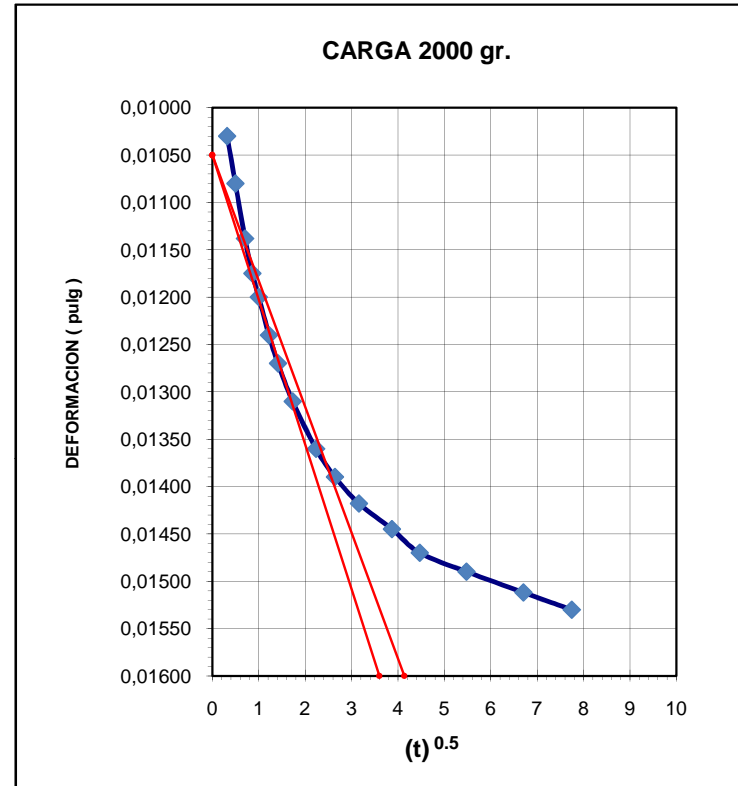
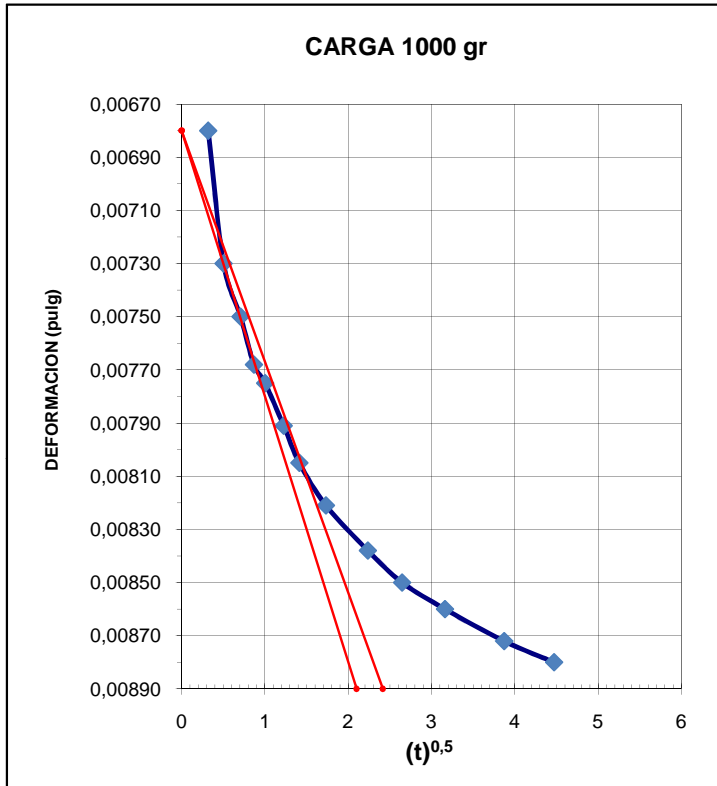
2Ht ₀ " = 0,9991
2Ht ₁₀₀ " = 0,9976
H _{dprom} cm. = 1,268
Cv cm ² /dia = 491

do " = 0,0025
d ₉₀ " = 0,0033
d ₁₀₀ " = 0,0034
t ₉₀ seg = 2,7
(t ₉₀) ² seg = 437,4

2Ht ₀ " = 0,99754
2Ht ₁₀₀ " = 0,99415
H _{dprom} cm. = 1,265
Cv cm ² /dia = 268

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL AEROPORTUARIA	PERFORACION: P-2	MUESTRA: 6	PROFUNDIDAD:6,00-6,50 m
---	------------------	------------	-------------------------

CURVAS DEFORMACION - TIEMPO



d_0 " = 0,0068
d_{90} " = 0,0081
d_{100} " = 0,0082
t_{90} seg = 1,50
$(t_{90})^2$ seg = 135

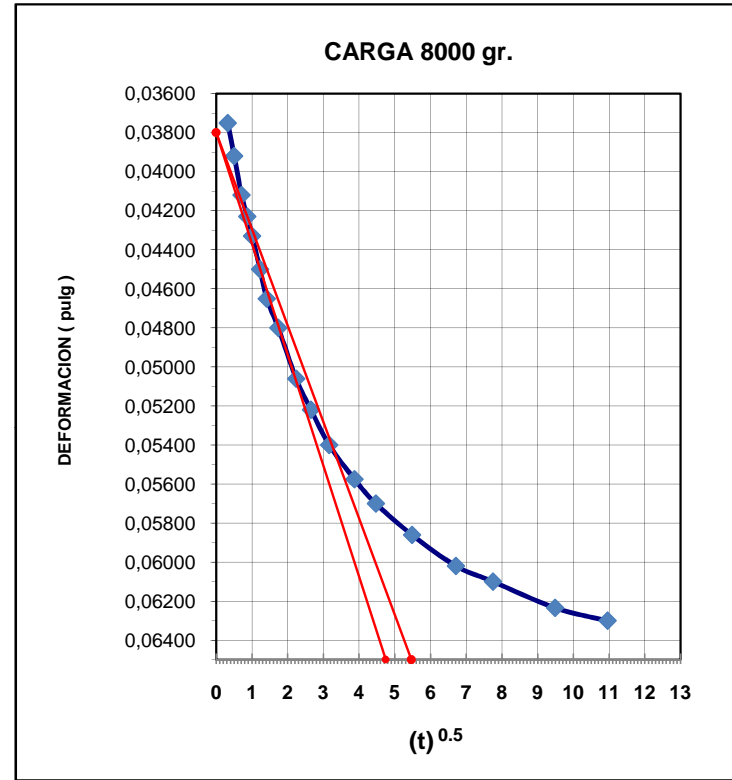
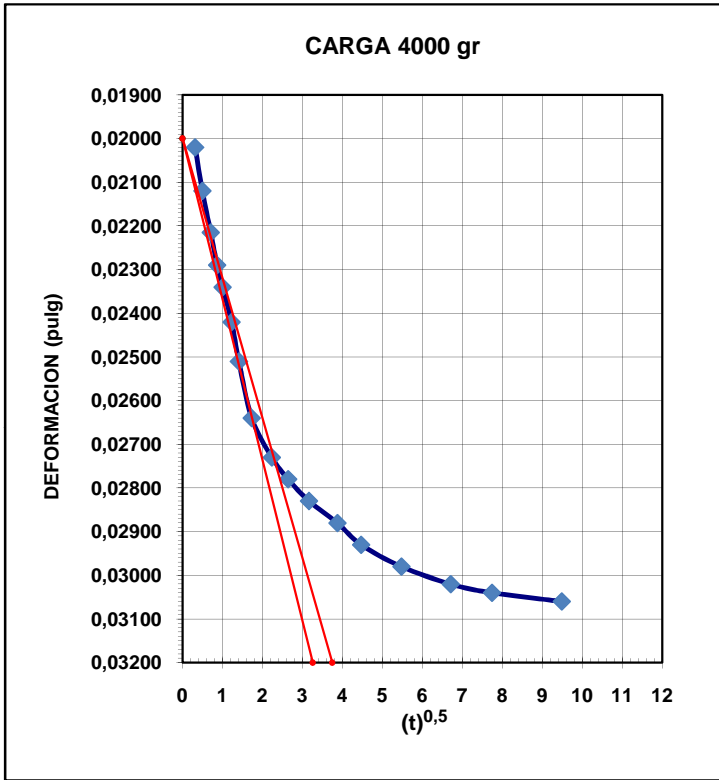
$2Ht_0$ " = 0,9932
$2Ht_{100}$ " = 0,9850
H_{dprom} cm. = 1,256
Cv cm ² /dia = 856

d_0 " = 0,0105
d_{90} " = 0,0138
d_{100} " = 0,0142
t_{90} seg = 2,5
$(t_{90})^2$ seg = 375

$2Ht_0$ " = 0,9895
$2Ht_{100}$ " = 0,9753
H_{dprom} cm. = 1,248
Cv cm ² /dia = 304

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL AEROPORTUARIA	PERFORACION: P-2	MUESTRA: 6	PROFUNDIDAD:6,00-6,50 m
---	------------------	------------	-------------------------

CURVAS DEFORMACION - TIEMPO



do " = 0,0200
d ₉₀ " = 0,0274
d ₁₀₀ " = 0,0282
t ₉₀ seg = 2,50
(t ₉₀) ² seg = 375,00

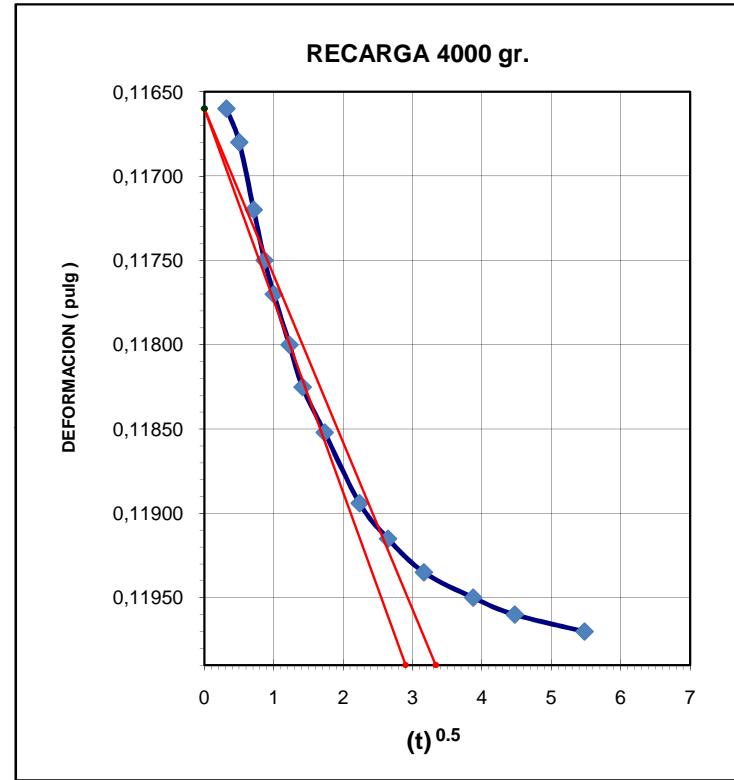
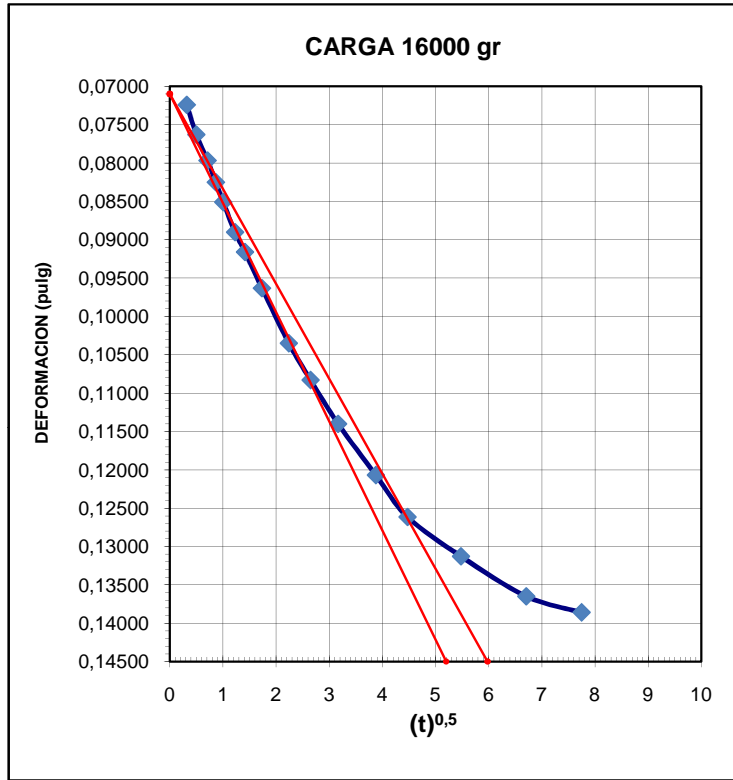
2Ht ₀ " = 0,98
2Ht ₁₀₀ " = 0,95178
H _{dprom} cm. = 1,227
Cv cm ² /dia = 294

do " = 0,0380
d ₉₀ " = 0,0540
d ₁₀₀ " = 0,0558
t ₉₀ seg = 3,4
(t ₉₀) ² seg = 693,6

2Ht ₀ " = 0,962
2Ht ₁₀₀ " = 0,90622
H _{dprom} cm. = 1,186
Cv cm ² /dia = 149

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL AEROPORTUARIA	PERFORACION: P-2	MUESTRA: 6	PROFUNDIDAD: 6,00-6,50 m
---	------------------	------------	--------------------------

CURVAS DEFORMACION - TIEMPO



d_0 " = 0,0710
d_{90} " = 0,1260
d_{100} " = 0,1321
t_{90} seg = 4,50
$(t_{90})^2$ seg = 1215

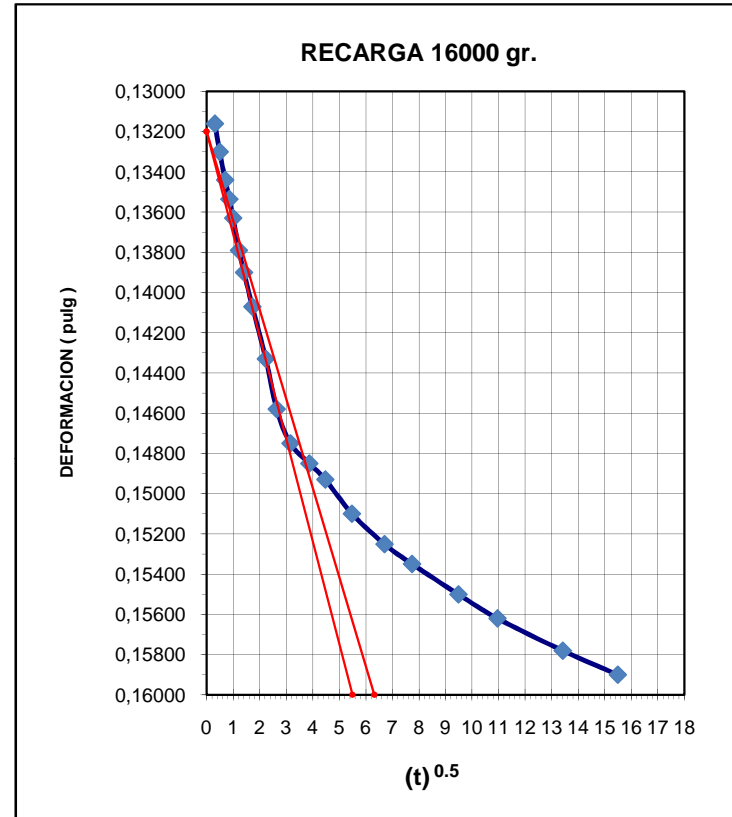
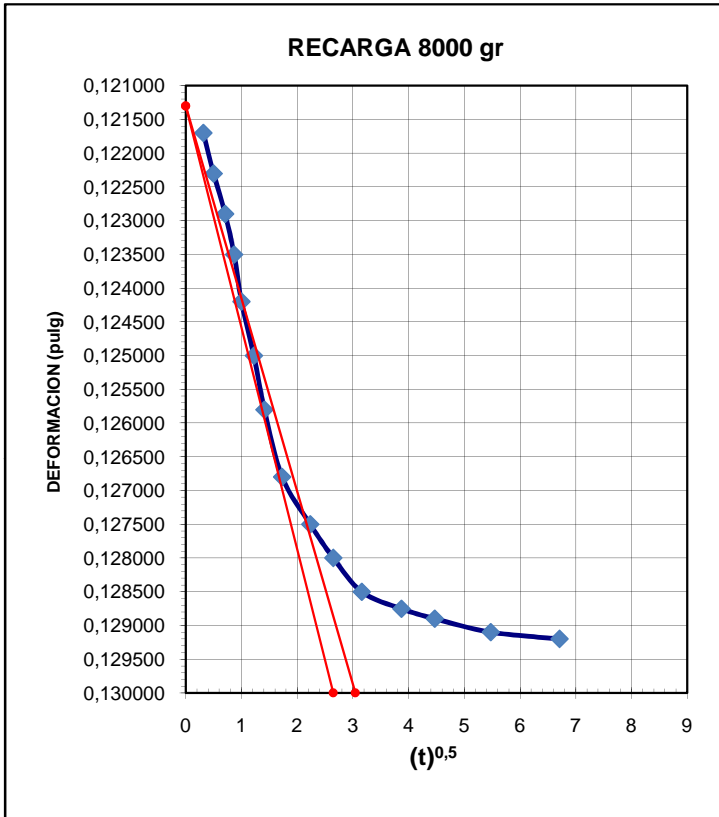
$2Ht_0$ " = 0,92900
$2Ht_{100}$ " = 0,79689
H_{dprom} cm. = 1,096
Cv cm ² /dia = 72

d_0 " = 0,1166
d_{90} " = 0,1192
d_{100} " = 0,1195
t_{90} seg = 2,5
$(t_{90})^2$ seg = 375

$2Ht_0$ " = 0,8834
$2Ht_{100}$ " = 0,76391
H_{dprom} cm. = 1,046
Cv cm ² /dia = 214

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL AEROPORTUARIA	PERFORACION: P-2	MUESTRA: 6	PROFUNDIDAD: 6,00-6,50 m
---	------------------	------------	--------------------------

CURVAS DEFORMACION - TIEMPO



d_0 " = 0,1213
d_{90} " = 0,1273
d_{100} " = 0,1280
t_{90} seg = 2,20
$(t_{90})^2$ seg = 290,4

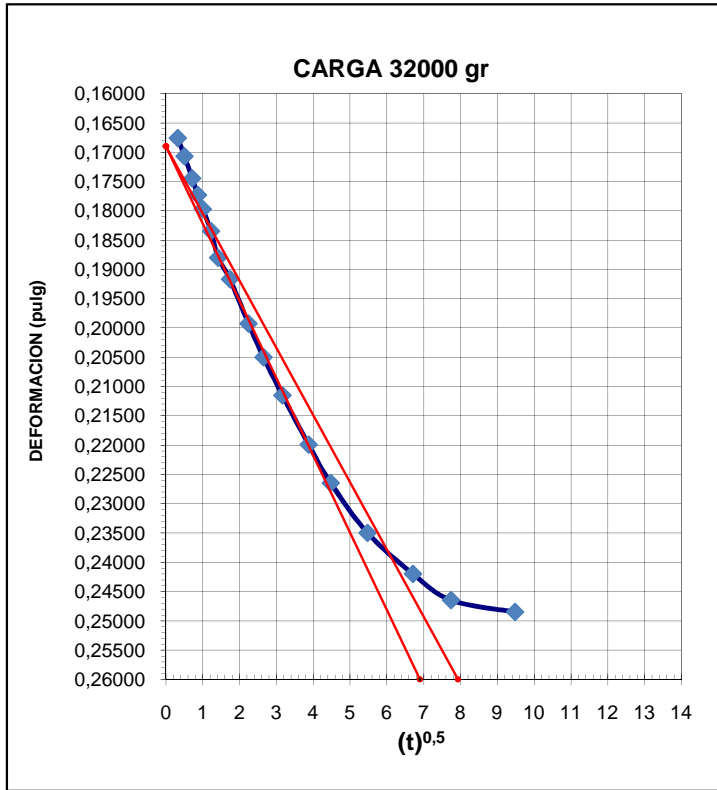
$2Ht_0$ " = 0,8787
$2Ht_{100}$ " = 0,75073
H_{dprom} cm. = 1,035
Cv cm ² /dia = 270

d_0 " = 0,1320
d_{90} " = 0,1483
d_{100} " = 0,1501
t_{90} seg = 3,50
$(t_{90})^2$ seg = 735

$2Ht_0$ " = 0,868
$2Ht_{100}$ " = 0,71789
H_{dprom} cm. = 1,007
Cv cm ² /dia = 101

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL AEROPORTUARIA	PERFORACION: P-2	MUESTRA: 6	PROFUNDIDAD:6,00-6,50 m
---	------------------	------------	-------------------------

CURVAS DEFORMACION - TIEMPO

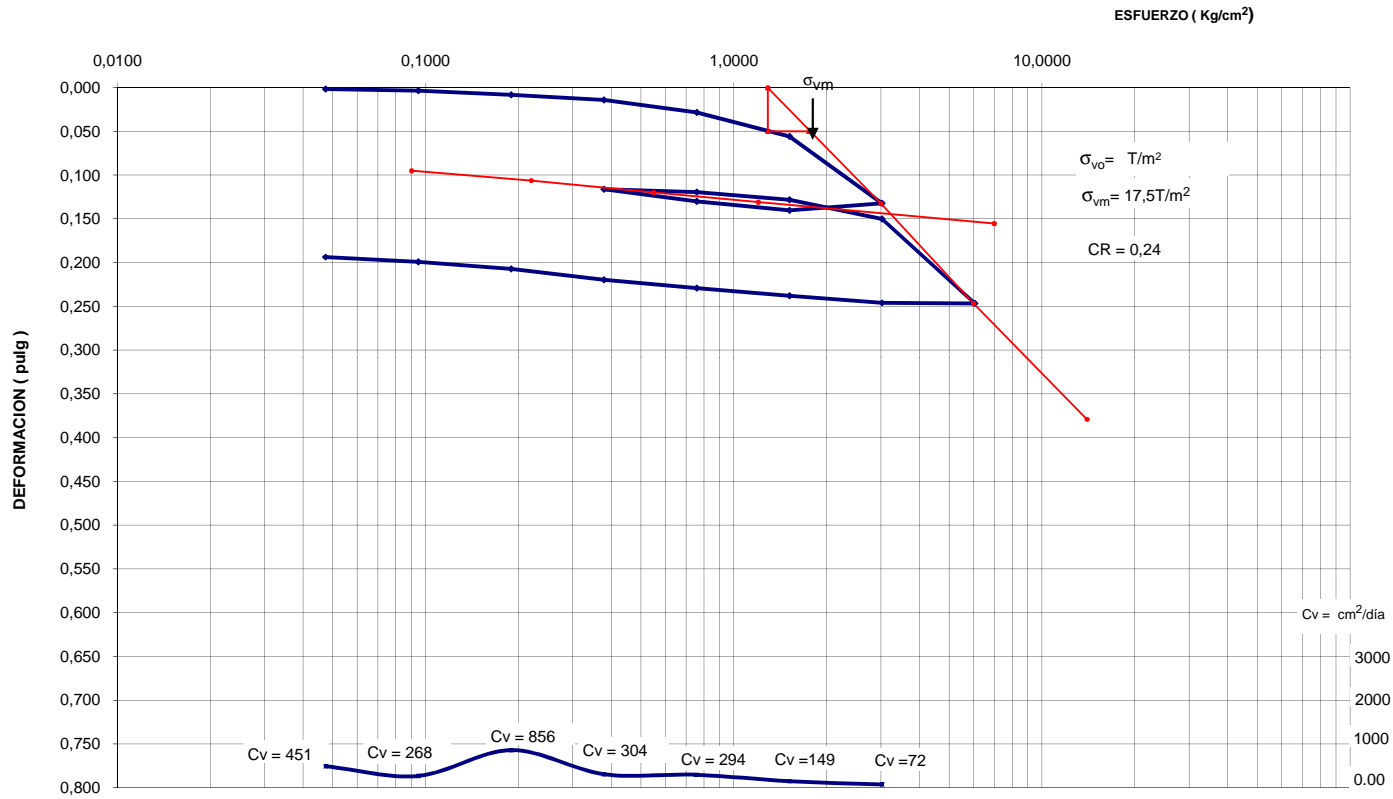


d_0 " = 0,1690
d_{90} " = 0,2390
d_{100} " = 0,2468
t_{90} seg = 9,00
$(t_{90})^2$ seg = 4860

$2Ht_0$ " = 0,831
$2Ht_{100}$ " = 0,58422
H_{dprom} cm. = 0,899
Cv cm ² /dia = 12

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL AEROPORTUARIA	PERFORACION: P-2	MUESTRA: 6	PROFUNDIDAD:6,00-6,50 m
---	------------------	------------	-------------------------

CURVA ESFUERZO-DEFORMACION
 Proyecto: AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL AEROPORTUARIA
 Localización: AEROPUERTO JOSE JOAQUIN DEL OLMEDO
 Perforación: P-2 Muestra # 6 Profundidad: 6,00-6,50 m



RESULTADOS DE ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO:	AMPLIACIÓN DE TERMINAL AEROPORTUARIA		
LOCALIZACION:	AEROPUERTO JOSÉ JOAQUIN DE OLMEDO	SOLICITADO POR:	TAGSA
PERFORACION:	P-2		
MUESTRA:	6		
PROFUNDIDAD:	6,00-6,50 m	FECHA:	15/06/2013

Gravedad Específica	Gs	2,58 gr/cm ³	Wi	122,47 %
Peso húmedo inicial	Whi	121,78 gr.		
Peso húmedo final	Whf	100,49 gr.		
Peso seco	Ws	54,74 gr.		
Peso de agua inicial	Wwi	67,04 gr.		
Peso de agua final	Wwf	45,75 gr.		
Volumen de agua	Vw	67,04 cm ³	Wf	83,58 %

		54,74		
Volumen de sólidos	Vs= Ws/Gs	_____	21,23 cm ³	
		2,58		
Volumen total	Vt		80,44 cm ³	
Volumen de poros	Vp		59,21 cm ³	
		59,211		
Relación de vacíos	eo	_____	2,79	
		21,229		
		67,040		
Saturación inicial	S		113 %	
		59,211		
		21,229		
Altura de sólidos	Hs		0,67 cm.	0,26 pulg.
		31,669		
		59,211	1,87 cm.	0,74 pulg.
Altura de poros	Hp		_____	1,00 pulg.
		31,669	2,54 cm.	

C A R G A					
Ciclo	Carga	Esfuerzo	Lect.	H/Hs	Relación vacíos
	Kg.	Kg/cm ²	pulg.	pulg/pulg	e=e _o - H/Hs
1	0,25	0,047	0,0015	0,0057	2,783
1	0,50	0,095	0,0034	0,0129	2,776
1	1,00	0,189	0,0082	0,0312	2,758
1	2,00	0,379	0,0142	0,0537	2,735
1	4,00	0,758	0,0282	0,1069	2,682
1	8,00	1,516	0,0558	0,2113	2,578
1	16,00	3,031	0,1321	0,5006	2,289
2	4,00	0,758	0,1195	0,4528	2,336
2	8,00	1,516	0,1280	0,4849	2,304
2	16,00	3,031	0,1501	0,5688	2,220
2	32,00	6,063	0,2468	0,9351	1,854

D E S C A R G A					
Ciclo	carga	Esfuerzo	Lect.	H/Hs	Relación vacíos
	Kg.	Kg/cm ²	pulg.	pulg/pulg	e=e _o - H/Hs
1	4,00	0,758	0,14030	0,53	2,258
1	2,00	0,379	0,12980	0,49	2,297
2	16,00	3,031	0,24570	0,93	1,858
2	8,00	1,516	0,23800	0,90	1,887
2	4,00	0,758	0,22900	0,87	1,921
2	2,00	0,379	0,21960	0,83	1,957
2	1,00	0,189	0,20715	0,78	2,004
2	0,50	0,095	0,19915	0,75	2,035
2	0,25	0,047	0,19340	0,73	2,056

**GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS
ASTM D 854**

Proyecto:	AMPLIACIÓN DE TERMINAL AEROPORTUARIA
Localización:	AEROPUERTO JOSÉ JOAQUIN DE OLMEDO
Perforación	P-2
Muestra:	6
Profundidad:	6,00-6,50 m
Solicitado por:	TAGSA
Fecha:	15/06/2013

Descripción del material:	
W %	59
LL %:	82
LP % :	27
IP %:	55
IL :	0,6
# 200:	64
SUCS:	CH

DATOS DEL ENSAYO

W_b	Peso del frasco volumétrico vacío y seco	=	115,60	gr
W_{bw}	Peso del frasco + agua destilada	=	614,70	gr
W_s	Peso de la muestra seca	=	47,50	gr
W_{bws}	Peso del frasco + agua + muestra seca	=	643,80	gr
T	Temperatura C°	=	25°	
K	Factor de corrección por temperatura	=	0,9989	
$G_s = \frac{K * W_s}{W_{bw} + W_s - W_{bws}} = 2,58$				

Laboratorista: Luis Láinez	Verificado por: Ing. Patricia Hidrovo	Observaciones:
--------------------------------------	---	-----------------------

ANEXO 3

Tabla maestra en la que se encuentran los datos tabulados, para la ejecución de cálculos de correlación.

UBICACION	ZONA	PERFORACION	# MUESTRA	PROFUNDIDAD		W%	LL	LP	IP	IL	CR	e0	Cc
AEROPUERTO	D4	P-3	4	5.00-5.50	1,55	79,8	107	34	73	0,63	0,276	2,26	0,93
	D4	P-3	2	3.00-3.50	1,61	66,6	81	30	51	0,72	0,23	1,91	0,72
AEROPUERTO (PLATAFORMA DE RODAJE)	D4	P-1	7	7.50-8.00	1,66	52,4	62	35	27	0,64	0,2034		0,20
	D4	P-1	10	12.00-12.50	1,42	83,6	67	28	39	1,43	0,358		0,36
	D4	P-1	4	3.50-4.00	1,51	81,9	93	38	55	0,80	0,386	2,4871	1,15
AMPLIACION VIA DAULE	D3	P-2	2	7.00-7.50	1,55	79,5	103	43	60	0,61	0,363	2,29	1,19
	D3	P-1	5	9.00-9.50	1,37	113,1	165	59	106	0,51	0,26	2,93	1,02
	D3	P-2	4	9.00-9.50	1,33	138,9	154	72	82	0,82	0,4	4,83	2,33
Av CARLOS JULIO AROSEMENA (GASOLINERA SHELL)	D3	P-1	3	4.00-4.50	1,63	115,0	148	68	80	0,59	0,354	3,46	1,58
	D3	P-2	4	5.00-5.50	1,29	195,0	93	34	59	2,73	0,4	3,95	1,29
Av Constitucion y Av Juan Tanca Marengo	D4	P-1	4	6.00-6.50	1,43	103,8	159	47	112	0,51	0,372	3,13	1,54
	D4	P-1	3	4.50-5.00m	1,43	108,2	115	50	65	0,90	0,397	2,7	1,47
AV FRANCISCO DE ORELLANA	D4	POZO 25	2	4.00-4.50	1,70	24,1	69	21	48	0,06	0,149	1,08	0,31
	D4	POZO21	3	5.50-6.00	1,70	39,7	70	23	47	0,36	0,1675	1,17	0,36
	D4	POZP 34	5	9.00-9.50	1,70	21,8	70	30	40	-0,21	0,1	1,07	0,21
BARRIO CUBA (AV. 12SE- GRL FRANCISCO ROBLES Y 3 CALLEJON 44SE) ANTES CALLE K		P-5	3	6.00-6.50	1,42	87,1	117	35	82	0,64	0,365	2,38	1,23
		P-5	7	12.00-12.50	1,49	87,5	119	33	86	0,63	0,1865	2,24	0,60
BASE NAVAL	D4	S-7	8	11.0-11.5	1,58	69,3	56	39	17	1,78	0,437	2,57	1,56
	D4	S-7	5	6.5-7.00	1,42	107,7	104	49	55	1,07	0,363	2,43	1,25
	D4	S-7	3	3.50-4.00	1,43	103,5	94	40	54	1,18	0,396	2,72	1,47
BASTION POPULAR (MUCHO LOTE) BLOQUE 4	D5	S-4	5	4.50-5.00	1,51	70,5	92	33	59	0,64	0,192	1,94	0,56
	D5	S-7	3	2.5-3.00	1,24	98,9	132	37	95	0,65	0,2142	2,5	0,75
	D5	S-3	4	3.50-4.00	1,66	52,9	108	32	76	0,28	0,1159	1,11	0,24
	D5	S-2	6	5.50-6.00	1,51	84,5	58	32	26	2,02	0,3225	2,42	0,20
	D5	S-8	6	5.50-6.00	1,55	69,8	109	33	76	0,48	0,3331	1,5	0,83
	D5	S-6	5	4.50-5.00	1,37	100,0	109	54	55	0,84	0,296	2,93	1,16
	D5	S-8	4	3.50-4.00	1,65	55,8	94	42	52	0,27	0,2026	1,26	0,46
	D5	S-2	5	4.50-5.00	1,61	46,9	56	39	17	0,46	0,1304	1,23	0,24
BASTION POPULAR BLOQUE 9-10	D5	S-7	3	2.50-3.00	1,71	52,8	98	34	64	0,29	0,2249	1,33	0,52
	D5	S-9	3	2.50-3.00	1,56	68,2	107	37	70	0,45	0,2308	1,72	0,63
	D5	S-6	4	3.00-3.50	1,60	66,2	77	25	52	0,79	0,216	1,57	0,56
	D5	S-11	4	3.50-4.00	1,57	70,3	86	28	58	0,73	0,244	1,68	0,65
	D5	S-12	5	4.50-5.00	1,61	61,5	101	37	64	0,38	0,212	1,55	0,54
	D5	S-7	2	1.50-2.00	1,72	54,7	91	34	57	0,36	0,2691	1,43	0,65
	D5	S-1	5	4.50-5.00	1,59	71,7	82	48	34	0,70	0,272	1,84	0,77
	D5	S-9	4	3.50-4.00	1,62	60,6	96	36	60	0,41	0,171	1,45	0,42
	D5	S-10	4	3.50-4.00	1,78	47,5	97	35	62	0,20	0,343	1,29	0,79
	D5	S-12	6	5.50-6.00	1,40	107,7	74	28	46	1,73	0,321	2,81	0,83
CALLE 25 Y LA E	D3	P-1	8	9.00-9.50	1,46	70,0	109	71	38	-0,03	0,455		0,46
	D3	P-1	3	2.50-3.00	1,42	136,1	114	41	73	1,30	0,393	3,2326	1,74
	D3	P-1	12	15-15.5	1,47	109,5	126	37	89	0,81	0,56		0,56
	D3	P-1	1	4.00-4.50	1,40	110,2	116	29	87	0,93	0,404	2,882	1,57
	D3	P-1	3	6.00-6.50	1,31	117,0	103	42	61	1,23	0,426	2,91	1,67
CALLE E ENTRE A Y B (PUERTO MARITIMO)	D2	P-2	7	8.50-9.00	1,70	68,1	40	24	16	2,76		2,59	0,15
	D2	P-2	4	4.00-4.50	1,70	65,0	76	34	42	0,74		3,53	0,35
CANAL SAMANES- GUAYACANES	D4	S-5	3	2.50-3.00	1,56	71,0	94	34	60	0,62	0,199		0,20
	D4	S-3	2	1.50-2.00	1,57	45,1	80	30	50	0,30	0,232	1,23	0,52
	D4	S-8	2	1.5-2.00	1,77	39,9	69	31	38	0,23	0,225	1,04	0,46
	D4	S-1	4	3.50-4.00	1,58	64,5	83	38	45	0,59	0,2585	1,28	0,59
	D4	S-1	7	6.50-7.00	1,40	129,3	122	46	76	1,10	0,427	3,3716	1,85
	D4	S-3	5	4.50-5.00	1,44	100,8	108	41	67	0,89	0,358	2,6261	1,26
	D4	S-5	5	4.50-5.00	1,50	82,8	78	32	46	1,10	0,333	1,9817	0,75
	D4	S-8	5	4.50-5.00	1,54	70,4	60	17	43	1,24	0,292	1,84	0,83

UBICACION	ZONA	PERFORACION	# MUESTRA	PROFUNDIDAD		W%	LL	LP	IP	IL	CR	e0	Cc
CANAL TRAPEZOIDAL GUAYACANES	D4	S-8	2	1.50-2.00	1,77	39,9	69	31	38	0,23	0,225		0,23
	D4	S-5	3	2.50-3.00	1,56	71,0	94	34	60	0,62	0,199	1,81	0,56
	D4	S-3	5	4.50-5.00	1,44	100,8	108	41	67	0,89	0,358	2,52	1,26
	D4	S-1	7	6.50-7.00	1,40	129,3	122	45	77	1,09	0,427	2,41	1,93
	D4	S-3	2	1.50-2.00	1,57	45,1	80	30	50	0,30	0,232		0,23
	D4	S-1	4	3.50-4.00	1,58	64,5	83	38	45	0,59	0,2585		0,26
	D4	S-5	5	4.50-5.00	1,50	82,8	78	32	46	1,10	0,333	2,22	0,76
	D4	S-8	5	4.50-5.00	1,54	70,4	60	38	22	1,47	0,292		0,29
CENTRAL TRINITARIA ELECTROGUAYAS	D3	P-1	5	5.50-6.00	1,39	122,4	124	44	80	0,98	0,412	3,29	1,77
	D3	P-1	9	13.50-14.00	1,50	87,1	87	36	51	1,00	0,1938	1,79	0,54
	D3	P-1	7	9.50-10.00	1,42	82,0	83	42	41	0,98	0,416	2,83	0,86
	D3	P-1	6	7.50-8.00	1,43	108,4	135	44	91	0,71	0,458	2,74	1,71
	D3	P-1	11	17.50-18.00	1,57	71,1	85	20	65	0,79	0,3512	1,93	0,98
CENTRO COMERCIAL ALBAN BORJA	D3	P-2	8	12.50-13.00	1,46	98,3	72	11	61	1,43	0,336	2,72	1,25
	D3	P-7	10	15.00-15.50	1,43	73,0	69	44	25	1,16	0,364	2,62	0,50
	D3	P-2	11	17.00-17.5	1,46	111,3	83	37	46	1,62	0,305	2,93	1,20
	D3	P-7	13	18.00-18.50	1,40	97,0	80	36	44	1,39	0,485	2,74	0,82
	D3	p-2	3	5.00-5.50	1,23	183,0	95	47	48	2,83	0,445	4,54	2,47
	D3	P-7	5	10.00-10.50	1,44	94,9	72	37	35	1,65	0,39	2,57	1,39
	D3	P-7	6	11.00-11.50	1,46	95,4	71	40	31	1,79	0,482	2,84	0,55
	D3	P-2	6	9.50-10.00	1,42	102,5	79	35	44	1,53	0,325	2,8	0,71
CIUDADELA ENTRE RIOS (LA PUNTILLA)	D4	P-1	14	19.00-19.5	1,55	71,0	95	55	40	0,40	0,33	2,33	1,10
	D4	P-1	3	3.50-4.00	1,44	100,2	104	40	64	0,94	0,302	2,65	1,10
	D4	P-1	7	8.50-9.00	1,53	78,4	76	21	55	1,04	0,292	2,59	1,05
CIUDADELA URDENOR	D3	P-1	1	2.00-2.50	1,58	36,6	103	37	66	-0,01	0,1725		0,17
	D3	P-1	2	3.00-3.50	1,79	59,8	104	37	67	0,34	0,2515		0,25
	D3	P-1	4	5.50-6.00	1,35	63,0	88	59	29	0,14	0,31		0,31
EDIFICIO MAGAP (AV QUITO 402 Y PADRE SOLANO)	D3	P-1	7	9.00-9.50	1,46	90,7	98	37	61	0,88	0,421	2,7272	1,34
	D3	P-1	5	6.00-6.50	1,56	70,1	73	35	38	0,92	0,2187		0,22
	D3	P-1	9	12.00-12.50	1,57	72,9	69	41	28	1,14	0,1557		0,16
GUASMO- CATEG	D1	P-1	7	10.00-10.5	1,55	79,1	64	26	38	1,40	0,24	1,45	0,59
	D1	P-1	10	14.0-14.50	1,60	65,6	48	18	30	1,59	0,2337	1,65	0,62
	D1	p-1	3	4.00-4.50	1,55	70,7	66	25	41	1,11	0,2118	1,8	0,59
HOTEL SHERATON (Av Constitucion y Juan Tanca Marengo)	D4	P-1	8	8.50-9.00	1,40	95,0	93	36	57	1,04	0,332	2,18	1,16
	D4	P-2	7	6.50-7.00	1,49	117,3	88	16	72	1,41	0,373	3,21	1,57
ISLA TRINITARIA	D3	P-1	7	9.50-10.00	1,47	94,2	87	22	65	1,11	0,446	2,6261	1,26
	D3	P-1	1	1.50-2.00	1,31	72,0	70	40	30	1,07	0,46		0,46
La Playita (Guasmo Sur)	D2	P-2	11	13.00-13.50	1,56	73,9	103	45	58	0,50	0,404	1,92	1,10
	D2	P-2	15	19.00-19.5	1,59	63,0	70	40	30	0,77	0,226	1,63	0,67
	D2	P-2	4	2.50-3.00	1,47	86,1	86	42	44	1,00	0,375	2,35	1,03
	D2	P-2	8	8.50-9.00	1,50	83,3	68	34	34	1,45	0,363	2,3	0,54
LAS ESCLUSAS	D1	P-6	4	3.50-4.00	1,51	60,2	82	34	48	0,55	0,272	2,07	0,84
	D1	C-4A	11	7.00-7.50	1,54	87,8	102	43	59	0,76	0,34	2,43	1,17
	D1	C-4A	15	10.00-10.5	1,51	76,6	85	40	45	0,81	0,266	1,87	0,76
	D1	P-6	9	10.00-10.5	1,54	85,1	49	27	22	2,64	0,337	1,29	0,77
	D1	C-6B	4	2.50-3.00	1,51	81,0	86	35	51	0,90	0,1989	1,55	0,51
	D1	P-6	3	2.50-3.00	1,51	58,5	66	26	40	0,81	0,2141	1,52	0,54
LOTE 2	D5	P-3	6	5.50-6.00	1,60	76,7	125	58	67	0,28	0,277	1,82	0,78
	D5	P-3	7	6.50-7.00	1,60	78,8	125	58	67	0,31	0,287	2,07	0,88
LOTE 3	D5	P-4	5	5.00-5.50	1,70	57,3	94	40	54	0,32	0,137	1,59	0,35
	D5	P-4	8	7.50-8.00	1,33	147,7	225	47	178	0,57	0,233	3,59	1,07
LOTE 4	D5	P-5	5	4.50-5.0	1,67	68,7	116	42	74	0,36	0,207	1,64	0,55
	D5	P-5	4	3.50-4.00	1,66	52,8	88	55	33	-0,07	0,25	1,39	0,60
LOTE 5	D5	P-1	4	3.50-4.0	1,59	64,8	119	46	73	0,26	0,246	1,66	0,65
	D5	P-1	6	5.50-6.0	1,99	33,0	65	22	43	0,26	0,197	1,03	0,40

UBICACION	ZONA	PERFORACION	# MUESTRA	PROFUNDIDAD		W%	LL	LP	IP	IL	CR	e0	Cc
LOTE 6	D5	P-3	4	4.00-4.50	1,49	96,2	119	42	77	0,70	0,343	2,24	1,74
	D5	P-3	7	8.00-8.50	1,39	98,3	135	75	60	0,39	0,34	1,83	0,96
PRIMERO DE MAYO Y GARCIA MORENO	D1	P-1	3	4.00-4.50	1,55	69,4	51	28	23	1,80	0,354	3,46	0,10
	D1	P-1	10	15.00-15.50	1,52	66,9	45	23	22	2,00	0,566	3,09	0,18
PUENTE ALBAN BORJA	D3	P-1	3	3.00-3.50	1,43	105,0	102	30	72	1,04	0,39	2,912	1,53
	D3	P-1	6	7.00-7.50	1,45	66,2	108	37	71	0,41	0,483	3,25	2,05
PUENTE ESTERO GUAYACANES	D4	P-1	1	0.50-1.00	1,74	37,8	92	39	53	-0,02	0,42	1	0,84
	D4	P-1	2	2.00-2.50	1,57	66,7	70	30	40	0,92	0,217	1,67	0,58
	D4	P-2	3	2.00-2.50	1,60	62,1	74	26	48	0,75	0,244	1,9	0,71
	D4	P-2	4	3.00-3.50	1,50	69,1	61	27	34	1,24	0,281	1,86	0,80
Puente Mogollon (Suburbio Oeste)	D3	PT-2	12	15.50-16.00	1,51	81,1	88	33	55	0,87	0,349	2,11	1,09
	D3	PT-1	10	12.50-13.00	1,54	80,8	76	18	58	1,08	0,361	2,22	1,16
	D3	PT-1	5	5.00-5.50	1,41	125,7	117	41	76	1,11	0,513	3,64	1,86
	D3	PT-2	7	8.00-8.50	1,44	98,7	108	32	76	0,88	0,426	2,91	1,67
PUERTO AZUL	D3	S-7	11	14.5-15.00	1,43	94,5	93	44	49	1,03	0,316	2,34	1,01
	D3	P-1	6	9.00-9.50	1,63	88,0	145	50	95	0,40	0,29	2,51	1,02
	D3	P-1	10	15.00-15.50	1,63	130,0	150	45	105	0,81	0,35	3,09	1,43
	D3	P-1	5	5.50-6.00	1,46	113,3	130	49	81	0,79	0,376	3,66	1,75
	D3	P-1	8	10.00-10.50	1,46	100,8	99	29	70	1,03	0,375	3,63	1,60
	D3	P-1	3	3.00-3.50	1,43	103,0	102	30	72	1,01	0,39	2,91	1,52
PUERTO MARITIMO	D2	P-8	2	2.00-2.5	1,48	95,9	113	46	67	0,74	0,368130423	2,803	1,40
	D2	P-8	10	14.00-14.50	1,70	62,8	57	24	33	1,18	0,247232472	1,71	0,67
	D2	P-1	7	8.00-8.50	1,46	109,4	101	29	72	1,12	0,403	2,69	1,49
	D2	P-8	12	17.00-17.5	1,48	61,0	38	22	16	2,44	0,095152828	1,3121	0,22
	D2	P-1	10	12.5-13.00	1,71	58,9	63	25	38	0,89	0,223	1,47	0,55
	D2	P-1	4	4.00-4.50	1,40	120,8	83	36	47	1,80	0,392	3,57	1,79
	D2	P-9	10	13.5-14.00	1,61	69,3	71	27	44	0,96	0,20694951	1,7543	0,57
	D2	P-9	4	4.5-5.00	1,52	80,2	80	27	53	1,00	0,308798818	2,3355	1,03
PUERTO MARITIMO (CALLE Y- Z)	D2	P-1	8	10.00-10.50	1,61	67,0	71	27	44	0,91	0,22	1,55	0,56
	D2	P-1	6	7.50-8.00	1,37	123,8	125	48	77	0,98	0,465	3,19	1,95
	D2	P-1	3	2.50-3.00	1,44	100,1	115	36	79	0,81	0,44	2,61	1,59
PUERTO MARITIMO (ZOFRAGUA)	D2	P-9	6	7.50-8.00	1,46	77,0	83	26	57	0,89	0,321305842	1,91	0,94
	D2	P-9	10	13.50-14.00	1,61	69,3	71	34	37	0,95	0,235521236	1,59	0,61
	D2	P-8	10	14.00-14.50	1,70	62,8	57	24	33	1,18	0,043763676	3,57	0,20
	D2	P-8	2	2.00-2.50	1,41	115,0	126	44	82	0,87	0,359520175	2,7272	1,34
	D2	P-8	12	17.00-17.50	1,41	60,0	38	12	26	1,85	0,050505051	0,98	0,10
	D2	P-9	4	4.50-5.00	1,52	80,2	80	31	49	1,00	0,27739726	1,92	0,81
QUISQUIS Y RIOBAMBA	D1	P-1	10	14.00-14.50	1,45	74,7	57	26	31	1,57	0,492	2,47	0,25
	D1	P-1	6	8.00-8.50	1,39	99,2	100	33	67	0,99	0,373	2,53	1,32
	D1	P-1	3	3.50-4.00	1,40	82,0	78	30	48	1,08	0,414	3,24	0,80
RIO GUAYAS CLUB	D4	P-1	3	4.00-4.50	1,47	94,4	114	40	74	0,74	0,3	3,1568	1,68
	D4	P-1	5	7.00-7.50	1,48	59,7	94	44	50	0,31	0,303	3,57	1,38
	D4	P-1	11	16.00-16.50	1,48	78,1	87	37	50	0,82	0,23	2,12	0,86
SAMBORONDON	D4	P-1	3	4.50-5.00	1,29	161,9	170	31	139	0,94	0,429	5,4564	3,50
	D4	P-1	1	1.50-2.00	1,46	62,0	47	31	16	1,94	0,2415		0,24
SUCRE ENTRE RUMICHACA Y GARCIA AVILES	D1	P-1	7	1.00-10.5	1,63	93,5	73	28	45	1,46	0,225	2,48	0,78
	D1	P-1	4	5.5-6.00	1,63	79,5	92	36	56	0,78	0,203	2,14	0,64
TERMINAL 25 DE JULIO	D1	P-3	6	6.50-7.00	1,49	111,3	122	27	95	0,89	0,42	2,62	1,70
	D1	P-2	4	4.00-4.50	1,47	75,8	111	37	74	0,52	0,36	2,36	1,18
	D1	P-2	8	10.00-10.50	1,49	96,5	126	39	87	0,66	0,46	2,52	1,77
	D1	P-1	7	8.00-8.50	1,41	118,7	111	52	59	1,13	0,51	2,95	1,60

UBICACION	ZONA	PERFORACION	# MUESTRA	PROFUNDIDAD		W%	LL	LP	IP	IL	CR	e0	Cc
TERMINAL TERRESTRE PASCUALES	D4	P-1	11	6.00-6.5	1,60	37,7	77	32	45	0,13	0,242	1,84	0,69
	D4	P-2	14	7.00-7.50	1,52	81,3	73	31	42	1,20	0,224	2,15	0,71
	D4	P-3	19	16.50-17.00	1,58	57,6	56	24	32	1,05	0,112403101	1,58	0,29
	D4	P-2	9	4.00-4.50	1,48	104,5	106	46	60	0,98	0,248	2,79	1,40
	D4	P-2	18	10.00-10.5	1,50	88,8	77	26	51	1,23	0,241486068	2,23	0,78
	D4	P-2	3	1.00-1.50	1,47	39,0	71	33	38	0,16	0,296	0,98	0,59
	D4	P-3	4	2.00-2.50	1,66	69,3	69	35	34	1,01	0,188811189	1,86	0,54
	D4	P-4	4	4.00-4.50	1,58	44,9	80	42	38	0,08	0,321705426	1,58	0,83
	D4	P-1	17	9.00-9.50	1,73	59,5	60	34	26	0,98	0,161	1,57	0,41
	D4	P-4	19	11.0-11.5	1,64	53,5	52	36	16	1,09	0,041666667	1,4	0,10
TOMSEK (KM 20 VIA DAULE)	D4	P-6	4	3.5-4.00	1,63	62,0	90	39	51	0,45	0,312427937	2,3608	1,05
	D4	P-2	6	6.0-6.50	1,60	52,0	56	26	30	0,87	0,07559268	1,2489	0,17
	D4	P-6	7	7.50-8.00	1,60	46,3	66	32	34	0,42	0,201537179	1,729	0,55
	D4	P-5	6	6.50-7.00	1,35	124,8	109	46	63	1,25	0,368130423	2,803	1,40
	D4	P-2	5	4.50-5.00	1,65	50,6	73	31	42	0,47	0,233308992	1,8844	0,67
	D4	P-6	9	10.5-11.0	1,58	53,7	70	34	36	0,55	0,217080554	1,8029	0,61
	D4	P-2	3	2.50-3.00	1,62	52,5	108	39	69	0,20	0,371679789	2,8352	1,43
	D4	P-5	8	9.5-10.0	1,48	91,2	106	43	63	0,77	0,353582745	2,6767	1,30
URBANIZACION EL RIO	D5	P-2	8	9.50-10.00	1,59	56,1	60	27	33	0,88	0,265		0,27
	D5	P-2	11	14.00-14.50	1,50	68,9	77	49	28	0,71	0,348		0,35
	D5	P-2	2	3.00-3.50	1,81	39,3	35	16	19	1,23	0,18	1,6	0,47
URBANIZACION LAGUNA DORADA	D4	P-1	13	20.00-20.5	1,57	56,6	57	25	32	0,99	0,22	2,03	0,30
	D4	P-1	4	8.05-8.50	1,51	78,3	84	42	42	0,86	0,206	2,19	0,66
	D4	P-1	2	5.00-5.50	1,46	102,6	109	53	56	0,89	0,38	2,91	1,49
URBANIZACION LAS RIBERAS	D5	P-1	6	9.50-10.00	1,41	29,4	52	29	23	0,02	0,192	1,73	0,52
	D5	P-1	11	17.05-17.50	1,58	77,3	61	35	26	1,63	0,428	2,2	0,30
	D5	P-1	2	3.55-4.00	1,58	59,6	33	23	10	3,66	0,2	1,75	0,55
URBANIZAION EL RIO SOLAR 132	D4	P-1	9	13.5-14.00	1,58	70,3	59	25	34	1,33	0,289	1,68	0,77
	D4	P-1	2	3.00-3.50	1,49	70,7	72	29	43	0,97	0,326	1,94	0,96
	D4	P-1	5	7.50-8.00	1,70	92,2	89	24	65	1,05	0,382	1,71	0,99
URDESA	D3	P-1	6	7.00-7.50	1,45	66,2	108	37	71	0,41	0,483	3,25	2,05
URDESA CENTRAL	D3	P-2	8	12.00-12.5	1,43	105,5	79	29	50	1,53	0,336	2,92	0,80
	D3	p-1	16	21.00-21.50	1,69	75,6	82	42	40	0,84	0,216	1,980	0,64
	D3	P-1	4	8.00-8.50	1,38	105,7	117	28	89	0,87	0,268	3,45	1,19
	D3	P-2	5	7.50-800	1,38	73,0	70	33	37	1,08	0,278	3,39	0,55
	D3	P-2	2	3.50-4.00	1,37	114,1	78	16	62	1,58	0,292	3	1,24
	D3	P1	12	17.5-18.00	1,69	85,3	87	31	56	0,97	0,24	2,65	0,88
Av CARLOS JULIO AROSEMENA (GASOLINERA SHELL)		P-2	3	4.00-4.50	1,58	54,1	104	31	73	0,32	0,12	1,82	0,34
LAS ESCLUSAS	D1	C-4	5	3.50-4.00	1,45	81,5	101	42	59	0,67	0,425	2,24	1,38