

# Parámetros para la construcción de un modelo matemático para simular el comportamiento dinámico del suelo debajo de la universidad de Guayaquil - Ecuador

Moncayo Theurer M.<sup>1</sup>, Vargas Jiménez J.<sup>2</sup>, Santos Baquerizo E.<sup>3</sup>, Gonzales E.<sup>4</sup>, Barzola Zambrano I.<sup>5</sup>, Velasco Cevallos G.<sup>6</sup>, Salcedo I.<sup>7</sup>, Guzhñay J.<sup>7</sup>, Lucio S.<sup>7</sup>

*Fecha de recepción: 18 de febrero de 2017– Fecha de aprobación: 13 de junio de 2017*

## RESUMEN

Los suelos son estructuras compuestas de materiales con diferentes génesis. Modelar su comportamiento es complejo debido a la heterogeneidad de los materiales que los constituyen. Encontrar los parámetros que puedan ser utilizados para definir un modelo elástico es la misión. Se realizaron perforaciones y ensayos que se usaron de base para el cálculo de los parámetros principales del modelo.

El tipo de modelo a utilizarse debe ser escogido por el investigador y se exponen tres posibles opciones. Al final, el lector tendrá los parámetros necesarios para plantear un modelo matemático elástico para determinar la respuesta dinámica del suelo donde se encuentra ubicada la Universidad de Guayaquil.

**Palabras claves:** resorte de suelos, arcillas, Guayaquil, Multigrados de libertad, Modelos Matemáticos.

# Parameters and mathematical model to simulate the dynamic behavior of soil under the university of Guayaquil - Ecuador

## ABSTRACT

Soils are structures composed of materials with different genesis. Modeling their behavior is complex due to the heterogeneity of the materials that constitute them. Finding the parameters to construct a mathematical model is the objective.

Perforations and tests were carried out which were used as basis for the calculation of the main parameters of the model.

The type of model to be used must be chosen by the reader and three possible options are presented. At the end, the reader will have the necessary parameters to propose a mathematical model to determine the dynamic response of the soil where the University of Guayaquil is located.

**Keywords:** soil spring, clays, Guayaquil, Multigrade of freedom, Mathematical models.

---

<sup>1</sup> Investigador de la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Guayaquil-Ecuador. Profesor de la Academia de Guerra Naval (AGUENA). Profesor de la Universidad Estatal de Santa Elena, Facultad de ciencias de la Ingeniería.  
Autor de correspondencia: solugran@gmail.com.

<sup>2</sup> Investigador de la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas

<sup>3</sup> Decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil

<sup>4</sup> Estudiante investigador

<sup>5</sup> Investigador de la Universidad de Guayaquil

**Nota:** Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 21, No. 1, 2017, ISSN 2448-8364.

## INTRODUCCIÓN

El estudio del suelo comienza por su clasificación, además se deben hacer pruebas de laboratorio como por ejemplo la de compresión simple, la misma que permite entender la relación que existe entre los esfuerzos y la deformación en el material, esos son los pasos básicos para poder entender el comportamiento de un suelo (UPTC 2008).

Las arcillas tienen características muy especiales, sus partículas tienen un tamaño tan pequeño que se unen e interaccionan con moléculas de agua, por lo que guardan humedad.

El modelo de resortes de suelo combinado con el

método de los multigrados de libertad nos permitió predecir el comportamiento de perfiles estratigráficos para la ciudad de Guayaquil.

La ciudad cuenta con un perfil estratigráfico con diferentes capas de suelos suave y muy suave que son particularmente susceptibles ante ondas sísmicas.

En este trabajo presenté un modelo matemático para simular el comportamiento dinámico del perfil estratigráfico de la ciudad de Guayaquil – Ecuador, en el sector de la Universidad de Guayaquil, que bordea un cuerpo acuoso de grandes proporciones llamado “Estero Salado”.

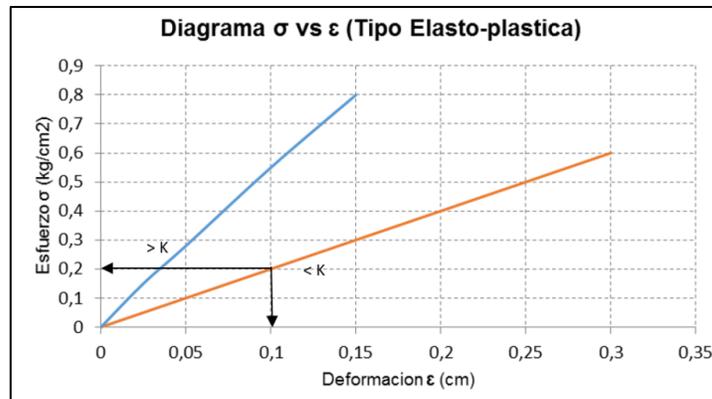


Figura 1. Diagrama de esfuerzo-deformación de pendiente fuerte ( $>k$ ) y suave ( $<k$ ).

## COMPORTAMIENTO ELÁSTICO.

El comportamiento elástico estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria antes del punto de cedencia. La relación entre la fuerza que hay que aplicar a un suelo, para provocar una deformación conocida se le conoce como coeficiente de resorte del suelo " $K$ " (Figura 1), que es una forma de medir la rigidez estructural del suelo. (Bañon y Beviá 2000).

Un suelo rígido tendrá una constante  $K$  alta y en un suelo suave será de valor bajo, es decir que se deforma con más facilidad (Figura 1).

## EL MODELO MATEMÁTICO Y LA $K$ DE RESORTE

Cuando modelamos capas de suelo sometidas a cargas laterales, por ejemplo, en el caso de excitaciones sísmicas, la respuesta dinámica termina siendo un movimiento horizontal. Por ello este comportamiento se puede simular considerando el modelo matemático de un

vehículo conectado, a través de un resorte, a un punto fijo (Figura 2). " $K$ " es la constante del resorte, si esta constante " $K$ " es grande quiere decir que se requerirán de grandes fuerzas para provocar una deformación o que el modelo será difícilmente deformable. Si el valor de la constante del resorte " $K$ " es bajo, indica que es fácilmente deformable y que el modelo se deformará con cargas de bajo nivel.

Si el vehículo con masa " $m$ " (Figura 2), se mueve hacia la derecha es gracias a la aplicación de una fuerza externa " $f(t)$ ", para que se produzca este movimiento, sobre el eje " $x$ ", se debe alargar el resorte, la medida matemática que se opone a que el resorte se deforme es " $K$ ".

En el rango elástico, cuando la fuerza externa desaparece, el resorte lleva al sistema a su estado de deformación cero.



Figura 2. Modelo matemático de un grado de libertad.

El modelo Masa-Resorte o *Modelo ||M – R||* sirve para simular estructuras y son utilizadas ampliamente en las normas de diseño a nivel mundial, considerando el caso de un sistema de un grado de libertad. El valor de "K" es llamado constante traslacional del resorte de suelo (Ospina 2008).

### RESORTE ROTACIONAL

De las mismas forma en que existe una constante de rigidez "K" que se opone a las deformaciones traslacionales, también el material se opone a las deformaciones rotacionales, en el caso angular se presentan las mismas relaciones entre fuerza y deformación. Existe entonces una constante del resorte angular llamada " $K_\varphi$ " que relaciona el momento aplicado a la estructura con la

deformación angular.

La Figura 3 nos muestra un sistema de resorte Rotacional en el cual una masa "m" hace girar el sistema y un resorte rotacional se opone a esta deformación angular.

La relación entre la constante del resorte traslacional "K" y la constante del resorte angular  $K_\varphi$  se la define a través de la formula siguiente:

$$K = \frac{K_\varphi}{L}$$

Donde

- "K" : Constante del resorte traslacional
- " $K_\varphi$ " : Constante del resorte rotacional
- "L" : Longitud del elemento

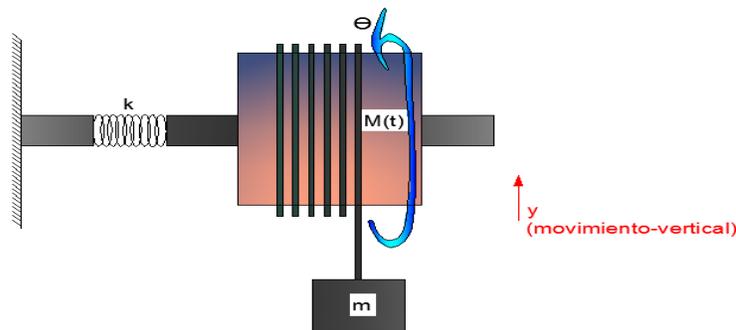


Figura 3. Modelo de resorte rotacional.

### DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACION

El diagrama Esfuerzo-Deformación es el gráfico que condensa de mejor manera el comportamiento de un material frente a las cargas a las que está siendo sometido. En él se describe la deformación desde el inicio de la aplicación de la carga hasta el colapso repentino.

En las curvas esfuerzo-deformación (Figura 4) hay un tramo, llamado elástico, en que la relación esfuerzo – deformación es lineal, cuando se aplica la carga el elemento se deforma y si se retira la carga el elemento recupera su longitud inicial (Figura 4, punto A).

Si la fuerza supera la capacidad de cedencia, se considera que el material ha superado el rango elástico y muestra un comportamiento plástico, en el cual si se retira la fuerza no se recupera la longitud inicial del elemento quedando una deformación residual, que se la interpreta como un daño estructural (Figura 4, punto B).

Si la fuerza continúa aumentando, el material supera su capacidad plástica y entra en una etapa de inestabilidad donde pierde sus capacidades de resistencia y colapsa (Figura 4, punto C).

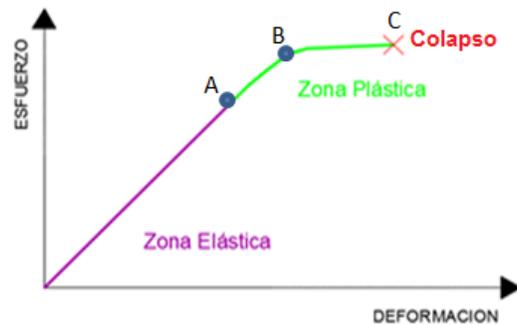


Figura 4. Diagrama Esfuerzo-Deformación Típico.

### CLASIFICACIÓN DE SUELO

Casagrande, en 1942, ideó un sistema de clasificación de suelos que fue empleado inicialmente por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de EE.UU, diez años más tarde, en 1952, fue ligeramente modificado por el Bureau of Reclamation, de esta forma nació el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos (Bañon y Beviá 2000, Perez 2003).

Dicha Clasificación divide los materiales en grupos según su composición a los cuales le asigna un símbolo que consiste en un prefijo y un sufijo. El prefijo determina la composición del suelo y el sufijo determina las propiedades o características del material, en la siguiente tabla 1 se desarrolla esta nomenclatura.

También se puede emplear una doble nomenclatura, por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre 5-12% de finos se la denominaría GW-GM (Tablas 1 y 2).

### TERRENO ARCILLOSO

La arcilla es un suelo constituido por silicatos de

aluminio hidratados, procedente de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según los componentes que contiene, entre las cuales están la coloración roja, anaranjada y blanca.

Desde el punto de vista físico la arcilla es un coloide de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm, y reaccionan químicamente con los materiales circundantes formando uniones covalentes, en este tipo de enlaces queda atrapada el agua, por ello se les considera materiales hidrófilos, lo que significa que atrapan el agua y la mantienen dentro de estructura química. (Buol *et al.* 1997).

Los suelos con importantes contenidos de arcilla se los considera malos para usarlos en obras de ingeniería civil ya que tienden a atrapar agua y humedad entre sus partículas, convirtiéndose en lodos sin capacidad de resistir esfuerzos, desarrollando comportamientos altamente plásticos que son indeseables en suelos que resisten cargas.

Tabla 1. Símbolos de grupo de la clasificación SUCS, adaptada del Manual de Carreteras Vol. II, Luis Bañon Blazquez.

Tipo de suelo	Prefijo	Sub.Grupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrememente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Organico	O	Limite Liquido alto >50	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo <50	H

**Tabla 2.** Tipología de suelos, clasificación SUCS, adaptada del Manual del Carreteras Vol. II, Luis Bañon Blazquez.

SIMBOLO	Características Generales		
GW GP GM GC	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
		Con finos (Finos >12%)	Pobremente graduadas
			componente limoso
			Componente arcilloso
SW SP SM SC	ARENASS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
		Con finos (Finos >12%)	Pobremente graduadas
			componente limoso
			Componente arcilloso
ML MH	LIMOS	Baja plasticidad (LL < 50)	
		Alta plasticidad (LL > 50)	
CL CH	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL < 50)	
		Alta plasticidad (LL > 50)	
OL OH	SUELOS ORGANICOS	Baja plasticidad (LL < 50)	
		Alta plasticidad (LL > 50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente organicos	

Por otro lado, en cierto tipo de obras civiles se utilizan pantallas de arcilla para detener flujos de agua subterránea debido a sus características Hidrófilas (Alva 2006).

#### ASENTAMIENTOS EN TERRENOS ARCILLOSOS

Cuando un suelo arcilloso se somete a cargas, la carga es sostenida por la estructura del suelo y el agua atrapada en el material. Con el tiempo y debido a la aplicación de las cargas el agua es expulsada del interior de las moléculas de arcilla de forma lenta, perdiendo volumen, lo que provoca asentamientos, los mismos que deben evitarse en obras de ingeniería. (Rico y del Castillo 1977).

La rapidez con los que se presentan estos asentamientos está ligado a la cantidad de arcilla que contiene el suelo, pero podría demorar años que un suelo arcilloso termine de asentarse. (Buol *et al.* 1997).

#### LOS SUELOS ARCILLOSOS DE GUAYAQUIL

Guayaquil, capital económica del Ecuador, también llamada “La Perla del Pacífico”, es una ciudad de tres millones de habitantes y uno de los puertos más importantes del Pacífico en Sudamérica. Está asentada sobre una cuenca aluvial, llamada “Cuenca Baja del Río Guayas”,

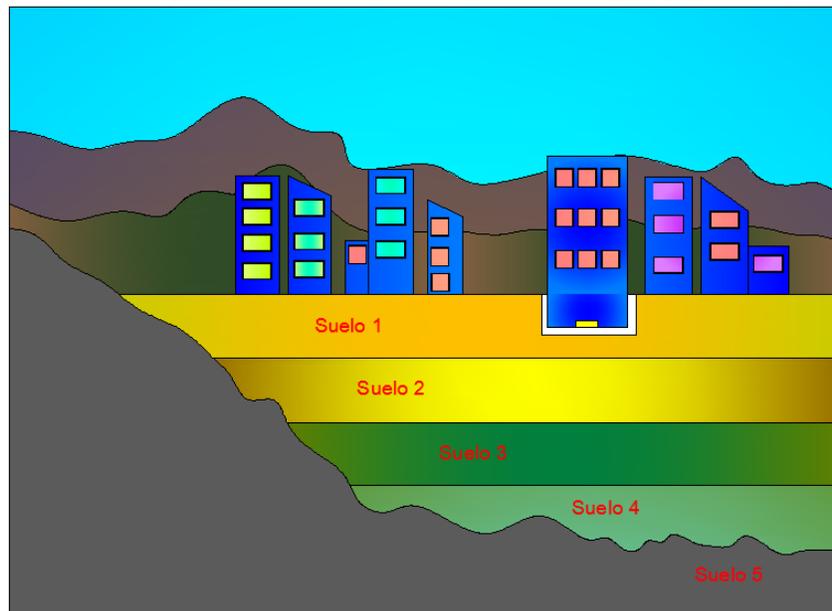
cuya génesis es el aporte y sedimentación de materiales a lo largo de millones de años provocados por el río Guayas y sus afluentes.

El Río Guayas es el cauce más grande e importante del Pacífico, en Sudamérica, el sistema constituido por el río y su estuario llamado del Golfo de Guayaquil, constituyen el lugar propicio para la depositación de materiales aluviales con grandes contenidos de arcilla.

Ciertas partes de la ciudad de Guayaquil se encuentran sobre un perfil estratigráfico de suelos suaves de por lo menos 30-35 metros de profundidad, estos suelos tienen un comportamiento plástico, por lo que existen sectores en la ciudad, donde el suelo se lo considera muy suave desde el punto de vista dinámico, mediciones realizadas en la ciudad demuestran que ciertas zonas en la ciudad tienen periodo natural de suelo de 3 segundos.

El perfil estratigráfico del suelo de Guayaquil no es homogéneo, está constituido por diferentes capas de suelos arcillosos, limosos, de arenisca o de origen volcánico, por esta razón dependiendo de las características, las capas tienen diferentes tipos de rigidez y comportamiento dinámico ante eventos sísmicos. Se menciona que: “la estratigrafía de Guayaquil, debajo de una gran parte de la ciudad se encuentra un perfil

principalmente dominado por arcillas de diferentes índices plásticos” (Mabel 2005).



**Figura 5.** Abstracción del perfil estratigráfico de la ciudadela universitaria donde se encuentra ubicada la Universidad de Guayaquil.

En la figura 5 se ha esquematizado el perfil estratigráfico condensado de la ciudad de Guayaquil, en el sector de la ciudadela universitaria donde se encuentra el campus de la Universidad de Guayaquil, los cuatro primeros tipos de suelo tienen diferentes características, generalmente de tipo suelo suave y que cuyos parámetros serán definidos más adelante en esta publicación, el quinto estrato de suelo que se muestra en la figura 5 se lo considera, desde el punto de vista dinámico, como roca dura, el cual se encuentra a 30 m de profundidad.

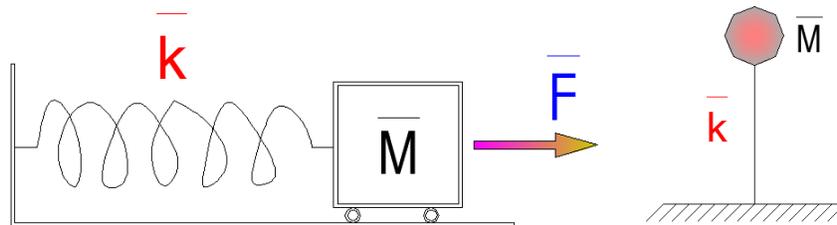
Las perforaciones que se realizaron llegaron a una profundidad de 30 m y muestra que por encima de esta profundidad existen capas y micro-capas de diferentes materiales (Tabla 3). Sin embargo,

existen capas preponderantes que gobiernan el perfil, debido a su potencia y sus características dinámicas. Se determinó que en el sitio de estudio existen 4 capas predominantes con diferentes tipos de suelo como se muestra en la Figura 5.

Para reducir la complejidad del perfil estratigráfico se lo puede simular a través de un sistema de un grado de libertad (Figura 6) para facilitar su estudio dinámico (Terzaghi 1995).

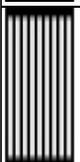
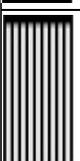
#### MODELO MATEMATICO APLICABLE A LAS ARCILLAS

Un modelo es un procedimiento matemático que nos permite predecir el comportamiento de un cuerpo, basado en los parámetros característicos del material que los constituye.



**Figura 6.** Modelo de un Sistema de un grado de libertad.

**TABLA 3.** Caracterización y parámetros de las capas de suelos encontradas en la ciudadela universitaria donde se ubica la Universidad de Guayaquil.

ESTRATO	PROF. (m)	DESCRIPCION ESTRATIGRAFICA	SUCS	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	% PASANTE T # 200	$\gamma$ (T/m3)	qu (T/m2)	$\epsilon$ (%)	E (T/m2)	CONSIST. RELATIVA Cr
	0	RELLENO MATERIAL PETREO COMPACTADO, TIPO FINO										
	1	ESTRATO DE ARCILLA GRIS VERDOSA OSCURA, CONSISTENCIA RIGIDA	CH	29,78	62	36	73,58	1,65	3,1	12,43	24,94	0,90
	2,4	ESTRATO DE ARCILLA GRIS VERDOSA, CAPITAS DE ARENA FINA, CONSISTENCIA BLANDA A MUY BLANDA	CH	93,22	108,91	74,82	89,87	1,34	2,1	9,04	23,23	0,21
	18,9	ESTRATO DE LIMO CALCAREO DE COLORACION GRIS, CONSISTENCIA BLANDA	MH	42,8	51	21	94,15	1,55	2,1	5,36	39,18	0,39
	20,4	ESTRATO DE ARCILLA GRIS VERDOSA, PRESENCIA DE MATERIA ORGANIGA, MADERA EN PROCESO DE DESCOMPOSICION. CONSISTENCIA BLANDA A MUY BLANDA	CH	69,87	81	49	92,12	1,44	1,7	6,74	25,22	0,23
	23,4	ESTRATO LIMO ARENO - ARCILLOSO VERDOSO OSCURO, CONSISTENCIA RIGIDO	MH	42,35	64,67	30,67	79,89	1,58	7,9	13,51	58,48	0,73
	30											

El modelo matemático no representa la realidad sino una abstracción de la misma, la predicción del modelo planteado debe de cumplir con un porcentaje de error relativo máximo, con respecto a la solución dura, es decir que el resultado del modelo sea cercano al comportamiento real.

La diferencia entre la solución del modelo matemático y la solución dura o respuesta real de la estructura en estudio se llama error relativo.

Cuando no se cuenta con datos del comportamiento real para contrastarlos con el modelo, comúnmente se escoge otros modelos matemáticos, para tomarlos como solución dura, o como comportamiento esperado.

### MODELOS PARA PERFILES ESTRATIGRAFICOS DE ARCILLA

El suelo debajo de nuestros pies es complejo, heterogéneo y anisotrópico, recoge los eventos

geológico-históricos que han ocurrido durante millones de años. El perfil estratigráfico se forma a través de eventos como la sedimentación de ríos, eventos climáticos, eventos sísmicos y volcánicos.

A lo largo de los años los materiales se van sedimentando de forma que la superficie va siendo rellenada con nuevos materiales, creando una nueva capa, dejando a la superficie inicial como una capa del subsuelo.

Debido a esta génesis, los perfiles estratigráficos tienen capas de diferente altura por lo que su comportamiento frente a cargas dinámicas, varía (Sánchez 2006).

Como los perfiles estratigráficos se componen de varias capas de suelo, su comportamiento se puede modelar a través de un sistema de multigrados de libertad como el que se observa en la Figura 7. Cada nivel del sistema posee su masa y su rigidez

particular, de esta manera cada capa da su aporte

al movimiento del sistema.

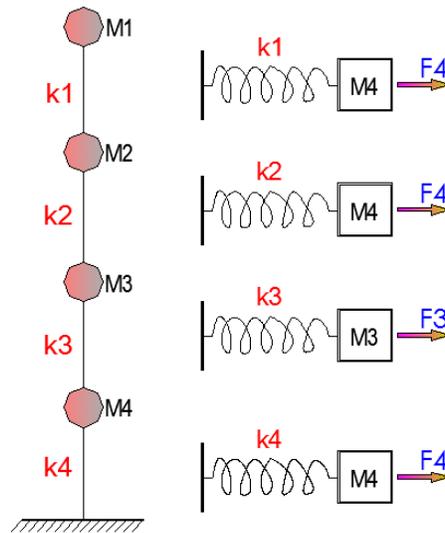


Figura 7. Sistema de Multigrados de libertad.

Si el modelo planteado es excitado por cargas laterales cada capa responde dinámicamente de acuerdo a sus características de flexibilidad.

También es posible conceptualizar el modelo de multicapas y adaptarlo a un sistema de un grado de libertad, como se planteó en la figura 6, para calcular la respuesta dinámica del sistema.

**CARACTERIZACION Y PARAMETRIZACION DEL SUELO DONDE SE UBICA LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

Contamos con dos perforaciones realizadas en los predios de la Universidad de Guayaquil, en las cuales se realizaron alrededor de 100 ensayos de pruebas, como por ejemplo las de compresión simple. Ambas perforaciones tienen una profundidad de 30 metros y que en ambos casos presentan una estratigrafía parecida.

En el caso más severo todas las capas son clasificadas CH, que corresponden a arcillas de muy alta plasticidad y en ciertas partes se intercambian con MH que son limos también de alta plasticidad es decir que el limite liquido es mayor a 50.

Luego del análisis desarrollado para ambas perforaciones, hemos decidido definir 4 capas de suelo suave cuyos parámetros se definen como sigue:

La primera capa del suelo presenta una potencia de 19 metros de profundidad que contiene una

arcilla de alta plasticidad con un módulo de elasticidad de  $23.23 \text{ t/m}^2$ , su densidad es de  $1.34 \text{ t/m}^3$ , el pasante del tamiz 200 es del 90%, el  $q_u = 2.1 \text{ t/m}^3$  y el índice de plasticidad es de 74.82%.

La segunda capa del suelo es más rígida y tiene 1.5 metros de profundidad, se compone de un limo de alta plasticidad, este suelo presenta las siguientes características: Un módulo de elasticidad de  $39.18 \text{ t/m}^2$ , densidad de  $1.55 \text{ t/m}^3$ , pasante del tamiz 200 del 95%,  $q_u = 2.1 \text{ t/m}^3$  y un índice de plasticidad de 21%. Esta capa es más rígida y menos plástica que la primera.

La tercera capa del suelo presenta una potencia de 3 metros de profundidad que contiene una arcilla de alta plasticidad con un módulo de elasticidad de  $25.22 \text{ t/m}^2$ , su densidad es de  $1.44 \text{ t/m}^3$ , el pasante de tamiz 200 es 92%,  $q_u = 1.7 \text{ t/m}^3$  y un índice de plasticidad de 49%.

La cuarta capa del suelo es más rígida, se compone de 6.6 metros de un limo de alta plasticidad, este suelo presenta las siguientes características: Un módulo de elasticidad de  $58.49 \text{ t/m}^2$ , densidad es de  $1.58 \text{ t/m}^3$ , el pasante de tamiz 200 es de 80%,  $q_u = 7.9 \text{ t/m}^3$  y un índice de plasticidad de 31%. Esta capa es más rígida y menos plástica que todas las anteriores.

Parametrizar un modelo matemático es el paso previo a la ejecución del mismo y constituye el paso más importante y crucial. Hoy en día existen varios programas de elementos finitos que permiten la construcción de modelos matemáticos con relativa facilidad, pero si se escogen mal los parámetros de los materiales constituyentes del modelo, los resultados serán deficientes o malos.

Como se determinó al inicio de este documento, cuando se modela una estructura, el módulo de elasticidad de los materiales está relacionado con la constante K del resorte que provee de rigidez a la estructura. Es por ello que definir el módulo de elasticidad de la capa del suelo nos permite determinar la rigidez “K” de cada capa del modelo, además al conocer los pesos volumétricos es posible determinar las masas para cada capa.

**CONCLUSIONES**

La ciudad de Guayaquil se asienta sobre suelos arcillosos de consistencia media a blanda, con

espesores que varían entre 15 y hasta los 40 metros.

El subsuelo de la ciudad de Guayaquil está compuesto en grandes sectores por suelos blandos, es decir suelos arcillosos de consistencia media a blanda, con espesores que varían entre 15 y hasta los 40 metros, los suelos blandos se deforman más ante ondas sísmicas y están constituidos por capas de arcillas superpuestas, cada capa con un comportamiento dinámico diferente en función los materiales que la constituyen.

El perfil estratigráfico, sacado de las perforaciones realizadas en la ciudadela universitaria donde está ubicada la Universidad de Guayaquil, se lo muestra en la Tabla 3, donde se encuentran capas de diferentes materiales y características. Como existen capas que son incrustaciones de poco espesor sin mayor incidencia en el perfil total, se decide plantear 4 capas de suelo suave preponderantes (Figura 5) para incluirlas en el modelo matemático.

**TABLA 4.** Parametrización de las capas de suelo para la ciudad de Guayaquil.

APA	PROFUNDIDAD (m)	MODULO DE ELASTICIDAD D (t/m <sup>2</sup> )	DENSIDAD VOLUMETRIC A (t/m <sup>3</sup> )	PASANTE TAMIZ 200 (%)	Q <sub>u</sub> (t/m <sup>3</sup> )	ÍNDICE PLÁSTICO (%)
PRIMERA	19	23.23	1.34	90	2.1	74.8
SEGUNDA	1.5	39.18	1.55	95	2.1	21
TERCERA	3	25.22	1.44	92	1.7	49
CUARTA	6.6	58.35	1.58	80	7.9	31

En la Tabla 4 se determina que la capa más desfavorable es la primera ya que posee 19 metros de profundidad y se compone principalmente de un material muy deformable, ya que tiene un bajo módulo de elasticidad, y con un muy elevado índice plástico. La segunda capa es una incrustación de 1.5 metros de espesor de un material más rígido, más denso que los demás y con un nivel bajo de plasticidad. La tercera capa tiene un espesor de 3 metros con un módulo de elasticidad bajo y alta plasticidad. La cuarta capa con 6.6 metros de espesor, tiene un alto módulo de elasticidad y poca plasticidad.

La tabla 4 contiene los parámetros que se buscaban, los necesarios para poder construir un modelo matemático del perfil estratigráfico del suelo de la ciudadela universitaria donde se

asienta el campus de la Universidad de Guayaquil. Estos parámetros que quedan definidos en este trabajo servirán de insumo para ser utilizados en el modelo matemático. El modelo matemático a utilizarse, en conjunto con estos parámetros encontrados son: El sistema de multigrados de libertad mostrado en figura 7, donde las masas y rigideces se calculan en función de los parámetros definidos en este trabajo, y un sistema de un grado de libertad que se plantea en la figura 6, cuyas ecuaciones utilizan como insumo la masa y la rigidez que son calculadas a base de los parámetros planteados en este trabajo. También se prevé una tercera alternativa que es el uso de elementos finitos para la predicción del comportamiento dinámico, que será alimentado con los parámetros determinados en este trabajo.

**REFERENCIAS**

Alva J. (2006). "Terzaghi y la mecánica de suelos". Facultad de Ingeniería Civil. Laboratorio Geotécnico del CISMID. Universidad Nacional de Ingeniería.

Bañon L., Beviá J. (2000). Universidad de Alicante. "Manual de Carreteras, Ingeniería Técnica de Obras Públicas y Construcciones Civiles". Volumen II. Capítulo 15. ISBN 84-607-0123-9.

Buol S., Hole F., McCracken R. Southard R (1997). "Soil Genesis and Classification". 4ª Edición. Iowa State Univ. Press. Ames. IA.

Mabel, S., (2005) "Las fuerzas y su medición: ley de hooke". Sanger.

Ospina D. (2008). UNC. Universidad Nacional de Colombia. "Sistemas Dinámicos y Control". Facultad de Ingeniería.

Pérez J. (2003) "Conceptos generales de la mecánica de suelo". ETSA. La Coruña.

Ángel Muelas Rodríguez; MANUAL DE MECANICA DE SUIELO Y CIMENTACIONES, Capitulo 1- Caracterización de los Suelos.

Rico, A. y Del Castillo, H. (1977); La ingeniería de suelos en las vías terrestres, editorial Limusa, México.

Sanchez S. (2006). UNET. "Planificación y técnica para edificaciones sismo resistentes"

UPTC. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. "Resistencia a la compresión simple".

Terzaghi, K (1995): Evaluation of coefficients of subgrade reaction, Geotechnique.