

*Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas
Facultad de Construcciones
Departamento Ingeniería Civil*



Trabajo de Diploma

*Título: Manual de propiedades y correlaciones geotécnicas
requeridos para el diseño de obras civiles*

Diplomante: Yadira Bonilla Sánchez

Tutor: Dr. Ing. Domingo E. Delgado Martínez

Curso 2007-2008

*“La gloria y el triunfo no son más que
un estímulo al cumplimiento del deber”*

José Martí

*A mis padres,
por ser guías indiscutibles para la realización de este sueño compartido y por estar
siempre presentes en los momentos más difíciles de mi vida.*

*A mi hermano,
por ser ejemplo e inspirador de la lucha diaria.*

*A mi sobrino,
por ocupar ese espacio grande e inmenso solo para él.*

*A Rache y Gretico,
por sumarse a esta pequeña cosecha.*

*A Adrián, por haber descubierto contigo la maravilla de la entrega absoluta, esa que va
por encima hasta de uno mismo.*

Es casi imposible mencionar a todas aquellas personas que durante mi vida me han ayudado a materializar mis sueños, agradezco de forma muy especial:

A mi mamá y mi papá, porque le debo lo que soy hoy, por estar siempre a mi lado, por su apoyo, confianza, dedicación, por ser la encarnación del verdadero amor, baluartes que sostienen la familia, faros que han sabido guiar en la tempestad de los tiempos a su única y verdadera hija.

A mi sobrino, por su beso de cada día y por ser una de las razones de mi existencia.

A mi hermano, que ha sido para mí la guía de estos duros años de estudios, por su carácter desmesurado y por esa confianza en el mejoramiento humano.

A mi abuela, por ser para mí una segunda madre, por enseñarse que no hacen falta palabras, que el amor se lleva en el corazón aunque a veces no se exprese.

A Adrián, por apoyarme en estos tiempos tempestuosos, por estar a mi lado dándome las fuerzas necesarias para continuar juntos y por permitirme formar parte de su vida.

A Viky y Lisandra, por aceptarme en sus vida y acogerme con ese cariño y amor que las caracteriza.

A Rache y Gretico, por ocupar ese espacio que solo ellas saben preservar.

A Ulises, Virginia, Yaimé, Margot y Aida por el cariño y la ayuda que siempre me brindaron.

A Ulises, por todo lo lindo que vivimos, por ayudarme y apoyarme ha realizar uno de mis grandes sueños.

A mi tutor Domingo, por su ejemplo no solo profesional sino humano, por infundarme fuerzas para seguir adelante y poder alcanzar el sueño de todo estudiante universitario.

A Lima por su apoyo a la realización de este trabajo.

A Yanielis, Cachita, Jorge y familia por dejarme ocupar ese espacio en sus vidas.

A Lizandra, por estar siempre cuando te he necesitado, por todos los momentos que hemos vivido juntas.

A Lucierna furiosa y a Esterlilia por permitirme molestarlas cada vez que he necesitado, por sus consejos oportunos y por que después de mi son lo mejor que queda en esta universidad.

A las tías del merendero y del bedel, por soportar mis peliaderas y permitir mi alimentación en los momentos de duro trabajo.

A Arleny, Anisleidys, Maria, Baby, Yunielvis, Dasiel, José Juan, Tervi, por compartir estos 5 años de esfuerzo y sacrificio y por permitirme disfrutar a su lado de las cosas maravillosas que la vida nos ha dado en estos años de carrera.

A Lachy, Yirovit y Alexey, por estar presentes en las batallas de estos últimos tiempos.

A todos los que de una forma u otra han colaborado en la realización de este sueño.

RESUMEN

En el trabajo se presenta un manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto. Para su elaboración se emplearon varios métodos investigativos tanto de nivel teórico, como de nivel empírico, entre estos últimos se destacan: el análisis de documentos, las encuestas a profesores y especialistas de la producción y la valoración por criterio de especialistas.

Como resultado de la aplicación de estos métodos se logró constatar la necesidad de elaboración del manual y establecer la estructura y características del mismo, el cual puede ser utilizado tanto con fines profesionales, como docentes. La información empleada para la elaboración del manual se obtuvo mediante una revisión bibliográfica nacional, que incluyó los resultados de algunos trabajos investigativos sobre el tema y una amplia búsqueda de información internacional. El manual, una vez elaborado, fue sometido a valoración por criterios de especialistas, los cuales avalaron su calidad para ser utilizado como material de consulta por profesionales y docentes.

El trabajo pone a disposición de investigadores, proyectistas y docentes una serie de tablas, métodos y técnicas empíricas que permiten el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto con soluciones adecuadas en cuanto a los problemas ingenieriles relacionados con el suelo. Los métodos y las técnicas, presentadas en el manual, poseen aplicaciones muy importantes; primero, en evaluaciones preliminares donde suministran la información necesaria para decidir sobre la necesidad real de realizar ensayos adicionales, usando técnicas cuantitativas de predicción y, segundo, para la interpolación, e incluso extrapolación, de los resultados de ensayos más complejos efectuados en el terreno.

ÍNDICE

Introducción	9
Capítulo I: Estado actual del conocimiento	15
1.1 Origen de la Mecánica de Suelo como ciencia	15
1.2 Surgimiento de los primeros sistemas de clasificación	20
1.3 Métodos cualitativos para inferir propiedades de los suelos	22
1.3.1 Densidad in situ y densidad relativa	23
1.3.2 Plasticidad	24
1.3.3 Compacidad	25
1.3.4 Índice de Hidrófilia	26
1.3.5 Actividad Coloidal	26
1.3.6 Resistencia al corte	26
1.3.7 Deformación	27
1.3.8 Propiedades típicas de algunos suelos	29
1.3.9 Compactación	29
1.3.9.1 Propiedades físicas	29
1.3.9.2 Relación $\gamma_d - w_{opt}$	29
1.3.10 Ensayo CBR	30
1.3.11 Módulo de resiliencia (Mr)	30
1.3.12 Propiedades mecánicas de suelos compactados	31
1.3.13 Requisitos de colocación de capas en explanaciones	31
1.3.14 Cambios Volumétricos	31
1.3.14.1 Evaluación del grado de expansión	31
1.3.14.2 Colapso	33

1.3.15 Propiedades hidráulicas	33
1.3.16 Correlaciones de ensayos de penetración estática y dinámica	34
1.4 Métodos cualitativos para inferir propiedades de las rocas	36
Capítulo II: Metodología de trabajo	38
2.1 Metodología de trabajo	38
2.1.1 Universo y muestra	38
2.1.2 Métodos de investigación	39
2.1.2.1 Métodos de nivel teórico	39
2.1.2.2 Métodos de nivel empírico	40
2.2 Análisis de los resultados	43
2.2.1 Constatación de necesidades	43
2.3 Elaboración de un manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles	44
2.3.1 Propuesta del material impreso manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles	44
2.4 Metodología para la valoración por criterio de especialista	45
2.4.1 Definición del sistema de indicadores	46
2.4.2 Selección de los especialistas	46
2.4.3 Elección y diseño del sistema de valoración	47
2.5 Elaboración del manual	47
Capítulo III: Propuesta del manual y valoración	50
3.1 Estructura y características del manual	50
3.2 Resultados de la valoración por criterio de especialistas	54
3.2.1 Aplicación de las entrevistas a los especialistas	54
3.2.2 Procesamiento de los resultados de las entrevistas	54

Conclusiones	57
Recomendaciones	58
Referencias Bibliográficas	59
Anexos	

INTRODUCCIÓN

Los suelos son el más viejo material de construcción y uno de los más complejos. Su variedad es enorme y sus propiedades, variables en el tiempo y en el espacio. A pesar de esto, antes del siglo XX no se realizaron esfuerzos serios para desarrollar científicamente el estudio de la Mecánica de Suelo.

Es por ello que siglo XX es una época de transición en la cual nace de forma general la Mecánica de Suelo. Siempre resulta arriesgado atribuir a la obra de un hombre cualquier logro de la ciencia, pero se hace necesario mencionar al hombre que hizo posible el nacimiento de esa parte de la ingeniería, como fundador y guía, el Dr. Ing. Karl Terzaghi. Precisamente, en 1925 con la realización del Primer Congreso Mundial de Mecánica de Suelos, Terzaghi expuso las bases teóricas sobre el comportamiento ingenieril de los suelos.

En este congreso se publica la primera interpretación científica del suelo como material ingenieril. Para definir la Mecánica de Suelo, Terzaghi en su libro *“Theoretical Soil Mechanics”* plantea: *“La Mecánica de Suelo es la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica”*.

De esa época hasta la fecha el desarrollo de esta temática ha sido muy acelerado, dados los retos que la vida y el desarrollo de las construcciones ha impuesto a los científicos que investigan en la misma.

La Mecánica de Suelo incluye las teorías sobre el comportamiento de los suelos sujeto a carga, basadas en simplificaciones necesarias dado el actual estado de la técnica; la investigación de las propiedades físicas de los suelos reales y la aplicación del conocimiento teórico y empírico a los problemas prácticos.

A medida que fue desarrollando la Mecánica de Suelo, fue aumentando el conocimiento empírico sobre los suelos, se fue haciendo evidente que los

resultados de las pruebas de laboratorio podían dar conclusiones erróneas a no ser que las muestras obtenidas del terreno fueran prácticamente inalteradas, es decir, que las propiedades del suelo, en toda su complejidad, se mantuviesen en el espécimen extraído. Tales errores resultan prácticamente graves, por el hecho de ir acompañados de la confianza del proyectista, que lógicamente confiará en los resultados obtenidos empíricamente. La consiguiente necesidad de la obtención de tales muestras inalteradas produjo una reorganización de la invención de los métodos de perforación, sondeo y manejo de muestras adecuadas.

De igual forma, se desarrollaron múltiples sistemas de clasificación de suelos por color, olor, textura y por distribución de tamaños o conformación granulométrica. A medida que las propiedades de los suelos fueron mejor conocidas, se desarrollaron otros criterios que relacionaban estas propiedades con propiedades mecánicas; actualmente los sistemas de clasificación más conocidos se basan en la clasificación por granulometría y plasticidad, siendo esta una propiedad que fácilmente se relaciona en una forma cualitativa con, la compresibilidad, la permeabilidad, la resistencia del suelo, la variación de volumen, todas fundamentales para normar el criterio del ingeniero. Puede afirmarse, que tanto el muestreo adecuado como la clasificación precisa del suelo constituyen dos requisitos previos indispensables para la aplicación de la Mecánica de Suelo a los problemas de diseño.

Sobre la base de estos principios se han desarrollado muchas ecuaciones de regresión y criterios para inferir propiedades mecánicas y deformacionales a partir de la clasificación del suelo o de determinadas propiedades físicas. Ejemplo de ello, son las tradicionales relaciones que se establecen entre la tenacidad, la resistencia en estado seco, la compresibilidad, la permeabilidad de los suelos en relación con el índice de plasticidad (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1972), la correlación que se establece entre el número de golpes para 30 cm del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}) y el ángulo de fricción interna de las arenas (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1972). También diferentes autores han establecido correlaciones mediante el N_{SPT} (De Mello, 1971) estableció una correlación entre

el valor de N_{SPT} y el ángulo de rozamiento interno, también una correlación entre el golpeo N_{SPT} , la densidad saturada y la resistencia a la compresión simple adaptada por (Hunt, 1984) a los trabajos de (Terzaghi y Peck, 1948); entre algunas de las más relevantes.

Las referencias más notables realizadas en el país son las de Calzadilla y Luis (1986), también las que aparecen en el Instructivo sobre parámetros y correlaciones geotécnicas elaborado por el Departamento Técnico (1991); el anteproyecto de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones de Quevedo, G. et al (2001) y la NC # 53-110:2003 de Diseño de Pavimentos Flexibles. Entre las más empleadas en Cuba también se destacan las propuestas por Sowers y Sowers (1972); la SNIP-II-15-74 (1974), y la SNIP-2.02.01 (1983) y la Norma Checa de Cimentaciones Superficiales CSN-731001 (1973).

Los ensayos y métodos de identificación y clasificación tienen aplicaciones muy importantes; primero, en evaluaciones preliminares los cuales suministran la información necesaria para decidir sobre la necesidad real de realizar ensayos adicionales, usando técnicas cuantitativas de predicción y, segundo, para la interpolación, e incluso extrapolación, de los resultados de ensayos más complejos efectuados en algunos puntos del terreno.

Entre los diversos métodos que existen para la determinación de las propiedades mecánicas y deformacionales de los suelos, se hace necesario establecer los métodos más precisos y que mejor se ajusten a las posibilidades del país. Además, para la definición de métodos propios de identificación y clasificación se hace necesario estudiar detalladamente los suelos cubanos, con el propósito de definir correlaciones entre sus propiedades y su comportamiento, e identificarlos con un menor margen de error, de forma tal que se puedan inferir sus propiedades con mayor aproximación.

El Centro de Investigaciones y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales (CIDEM) como centro de investigación que vincula y centra los trabajos de investigación de la facultad posee una línea de investigación vinculada a la modelación de los materiales y las estructuras.

Actualmente se han desarrollado un grupo de software profesionales que se están aplicando en la modelación de estructuras y problemas ingenieriles relacionados con el suelo, en los cuales se consideran las opciones de empleo de disímiles modelos constitutivos de suelo y donde en ocasiones se asumen los parámetros de estos modelos sin contar con resultados de ensayos, ni conocimientos de la variabilidad de estos parámetros.

Problema científico:

Actualmente en Cuba, existe la necesidad de unificar los criterios existentes en la bibliografía internacional y en la actividad de diseño en cuanto a las clasificaciones, propiedades y correlaciones geotécnicas recomendadas a emplear para el diseño de las diferentes obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto.

Hipótesis:

Si se elabora un material que resuma los principales clasificaciones, propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles que incluyan recomendaciones sobre su área de aplicación y fiabilidad; entonces se podrán acometer diseños en obras de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto con soluciones adecuadas en cuanto a los problemas ingenieriles relacionados con el suelo.

Objetivo General:

Elaborar un manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto.

Objetivos Específicos:

1. Analizar el estado actual del conocimiento sobre las clasificaciones, propiedades y correlaciones geotécnicas más empleados para el diseño de obras civiles.
2. Establecer los métodos más adecuados para inferir propiedades mecánicas de los suelos a partir de la revisión bibliográfica.

3. Elaborar un manual de propiedades y correlaciones geotécnicas, que faciliten el trabajo de profesionales y docentes en esta materia.
4. Valorar por criterio de especialistas la calidad técnica y de presentación del manual para su futura implementación.

Metodología de la investigación

En la realización de la presente investigación se ejecutaron las siguientes etapas para dar cumplimiento a los objetivos planteados:

Etapa I. Diseño de la investigación y revisión bibliográfica

- Subetapa A. Recopilación bibliográfica preliminar, definición y aprobación del proyecto de investigación y su plan de trabajo
- Subetapa B. Estudio, análisis y crítica de los últimos adelantos científicos relacionados con el tema
- Redacción de la introducción y el capítulo I

Etapa II. Diseño metodológico y elaboración del manual

- Diseño de la metodología de trabajo y aplicación de las técnicas investigativas
- Elaboración del manual
- Redacción del capítulo II

Etapa III. Valoración y presentación del informe final

- Valoración del manual por criterio de especialistas
- Redacción del capítulo III

Novedad científica:

Se presenta un manual que permite establecer las principales propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto, el cual se basa en la experiencia nacional e internacional, y constituye un material de consulta para los profesionales y docentes en esta materia.

Estructura de la tesis

La estructura de la tesis guarda una estrecha relación con el diseño y metodología de la investigación establecida, especialmente con cada una de las fases de la investigación. La misma se encuentra estructurada de la siguiente forma:

- Introducción
- Capítulo I. Estado actual del conocimiento
- Capítulo II. Metodología de trabajo
- Capítulo III. Propuesta de manual y valoración
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Referencias Bibliográficas
- Anexos

CAPÍTULO I: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

1.1 Origen de la Mecánica de Suelo como ciencia

La "Mecánica de Suelos" es fruto de la Ingeniería de nuestro tiempo, relativo a estudios en el tratamiento de los suelos, siendo en los Estados Unidos y en Suecia, donde se realizaron los primeros trabajos relacionados con esta temática.

La Mecánica de Suelo es una ciencia que fue desarrollada por Karl Terzaghi, donde en su libro "Theoretical Soil Mechanics" define el concepto de esta nueva ciencia. Con la publicación del libro Mecánica de Suelos Teórica, Terzaghi explica los principios fundamentales del comportamiento de los suelos en consolidación y cortante.

El amplio espectro de las contribuciones de Karl Terzaghi a la Mecánica de Suelos, es asombroso, pues muchas permanecen como base de los elementos de esta ciencia y sirven de consulta para el desarrollo del ingeniero. Algunas de las más importantes son: el principio de los esfuerzos efectivos y la teoría de la consolidación que datan del 1920, y además el concepto de módulo de reacción de subrasante en 1955. Terzaghi desarrolló criterios de diseño para el soporte de túneles en roca, apoyándose en una evaluación empírica de la calidad de la roca en 1946. Además, las teorías divulgadas por este, permitieron empezar a resolver de manera racional, los problemas de suelos presentes en la práctica cotidiana, entre otros: estabilidad de excavaciones; diseño de muros de contención; estudios de presas y sus cimentaciones; análisis de flujos de agua y cálculos de asentamientos.

El Dr. Terzaghi representa un ejemplo de ingeniero que aunaba una amplia experiencia y una elevada preparación científica con un agudo espíritu de investigación. Aparte de su teoría de consolidación y de otras investigaciones originales realizadas por él, la ingeniería le debe las primeras tentativas para

coordinar y aplicar sistemáticamente los resultados de las investigaciones ingenieriles de los suelos y relacionar su comportamiento con sus características.

Existen dos tipos de problemas relacionados con la ingeniería del suelo:

El primer tipo se refiere a los suelos y a las rocas tal como se encuentran en la naturaleza. Ejemplo: cimientos de edificios excavaciones y cortes para las carreteras en terreno natural, drenajes.

El segundo tipo se refiere a los problemas en los suelos o en las rocas que se emplean como materiales de construcción. Ejemplo: terraplenes para carreteras y ferrocarriles, presa de tierra y diques, en subrasantes de carreteras y aeropistas. En este caso, los suelos y las rocas cambian sus características para transformarse en nuevos materiales.

Problemas típicos de los suelos con los cuales el ingeniero geotécnico está involucrado. (Bowles, 1979)

1. Programa de exploración del suelo para investigar las condiciones del lugar. ¿Cuál es la cantidad necesaria de perforaciones y su profundidad? ¿Qué tipos de ensayos y pruebas de suelos serán necesarias?
2. ¿Cuáles son las tensiones en el suelo según la profundidad por cargas impuestas en la superficie? ¿Puede el suelo soportar estas tensiones sin llegar a la falla?
3. ¿Cuáles son los asentamientos esperados para la estructura como resultado del incremento de las tensiones del suelo? ¿Qué tiempo hay que esperar para que estos asentamientos ocurran?
4. ¿Puede un determinado suelo ser utilizado como base de una obra vial? ¿Podrá retener este suelo el agua de un embalse?
5. ¿Puede ser utilizado este suelo directamente o necesita algún aditivo? ¿Qué aditivo? ¿Cómo?
6. ¿Qué problemas causan las aguas subterráneas en las excavaciones y las cimentaciones?

7. ¿Cuál es el efecto de la congelación perpetua de los suelos? ¿Pueden ser estos efectos controlados o reducidos?
8. ¿Cuál es el efecto de la humedad en los cambios de volumen del suelo?
9. ¿Cómo se mueve el agua a través de la masa de suelo? ¿Es fácil su drenaje?
10. ¿Qué ángulo se le debe dar al talud de una excavación o un terraplén para que sea estable?
11. ¿Cómo influye el suelo en los daños que puede causar un terremoto?
12. ¿Cómo se puede controlar que los desechos industriales y otros no contaminen las aguas subterráneas? ¿Qué medidas de protección del medio ambiente se deben de tomar durante el diseño y construcción?

La consecuencia de estos objetivos requiere datos sobre las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos y para ello, la Mecánica de Suelo emplea las siguientes herramientas:

- a) Realización de ensayos "in situ".
- b) Sondeos para la toma de muestras para su posterior ensayo de laboratorio.

El objetivo de estas técnicas es determinar parámetros característicos del suelo (cohesión, ángulo de fricción interno, módulo de elasticidad, etc.) que se emplean en modelos matemáticos dando respuestas a los objetivos anteriores.

El desarrollo científico de la Mecánica de Suelo es relativamente joven, esto ha sido consecuencia del hecho de que el subsuelo no es uniforme y consta de estratos de varios tipos de suelo, los cuales tienen propiedades mecánicas muy diferentes. Los estratos no son siempre horizontales, ni uniformes en espesor. Pero aún dentro de un mismo estrato de suelo, se pueden encontrar variaciones considerables en las direcciones verticales y horizontales. Además de esto, el suelo es un medio al que no se puede aplicar estrictamente la teoría de elasticidad, hecho este que representa un cierto número de implicaciones teóricas. Otro problema muy complejo surge debido a que las propiedades del suelo

dependen, no solamente del tamaño y la forma de la partícula, sino también de la microestructura del suelo y en gran medida, de su composición mineral.

Muchas veces los ingenieros tienden a fundamentar sus procedimientos de diseño sobre el conocimiento de las leyes físicas, las matemáticas y un conocimiento empírico de las propiedades de los materiales. A partir de algunos “objetivos” que con frecuencia solo tienen una justificación intuitiva y práctica. Esta herencia, al aplicarla al diseño, causa serios problemas. Es por ello que la Mecánica de Suelo es de especial importancia para el Ingeniero Civil, pues todas las estructuras requieren una cimentación, cuyo diseño depende de las condiciones del subsuelo y de sus propiedades en las cuales no se puede encontrar una solución técnicamente correcta y económica sin el conocimiento suficiente del comportamiento mecánico de los suelos. Las leyes de comportamiento juegan un papel importante pues también a los suelos se les realizan modelos muchas veces con dichos comportamientos. Muchos de los métodos de cálculo geotécnico se fundan en la consideración de un terreno homogéneo, isótropo y elástico dada la sencillez de dicho modelo (teoría de Boussinesq, teoría de elástica homogénea sobre capa rígida, etcétera).

En estas primeras etapas de desarrollo de la Mecánica de Suelo, las más famosas universidades e instituciones americanas y europeas como la MIT, Harvard, Imperial Collage, NGI, entre otras, formaron destacados ingenieros en la especialidad como Casagrande, Peck, Skempton y otros, los cuales desarrollaron equipos e instrumentos para investigaciones de laboratorio (Clasificación, resistencia al cortante, compresibilidad y permeabilidad), investigaciones de campo (muestreadotes), instrumentación (piezómetros, inclinómetros, etc.). Los esfuerzos continuados de estos investigadores se tradujeron en la presentación de procedimientos analíticos, nomogramas, gráficos de diseño y correlaciones empíricas para la determinación de las propiedades del suelo.

Con el desarrollo de la Mecánica de Suelo, la Geotecnia ha evolucionado como ciencia dentro de la rama de la ingeniería. Actualmente se concibe la Geotecnia como la aplicación de los principios geológicos e ingenieros, así como de los

métodos, para resolver problemas de la Ingeniería Civil, e incluye la Mecánica de Suelos, la Mecánica de Rocas y los aspectos ingenieros de la Geología Aplicada. Donde los estudio del comportamiento de los suelos y rocas en términos de su resistencia mecánica, deformación, permeabilidad, en condiciones naturales y cuando las condiciones son modificadas por el hombre han sido mejores conocidas, pues cada uno de estas características se expresan por medio de parámetros de resistencia, deformación y permeabilidad respectivamente que se obtienen a partir de ensayos de campo, de laboratorio e instrumentación y de la aplicación de modelos teóricos al comportamiento de los suelo.

Desde el punto de vista geotécnico el suelo se define como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación de agua. La geotecnia tiene como objeto permitir la viabilidad de todas las obras de ingeniería en la que se presente una interacción entre la obra misma y el suelo, entendiendo a este último como un medio particular multifase, donde se aportan criterios de diseño y se realizan valoraciones sobre los riesgos que inciden sobre este. Entre sus principales aplicaciones se encuentra el diseño de cimentaciones, el diseño y revisión de la estabilidad de taludes, el control del flujo superficial de las aguas, el diseño de túneles y de presas de tierra. La geotecnia hace uso de varios insumos provenientes de otras ramas profesionales como por ejemplo la topografía, la geología. Aplica conocimientos provenientes de la teoría de resistencia de materiales, física, hidráulica, y métodos numéricos.

Debido a las dificultades que implica la aplicación de la Mecánica de Suelo tradicional a los problemas geotécnicos que plantean los suelos no saturados, en las últimas décadas se han incrementado los estudios sobre su comportamiento. Entre estos problemas sobresale el principio de las tensiones efectivas, que constituye uno de los puntos básicos del comportamiento del suelo saturado y que aplicado a los suelos no saturados presenta dificultades que todavía no están totalmente resueltas. Es por ello que se ha desarrollado la Mecánica de Suelo no Saturada para resolver los problemas que entraña el conocimiento de la influencia de nuevas variables tensionales como la succión, los fenómenos de histéresis

respecto a los cambios de humedad, los fenómenos acoplados hidro-mecánicos, los problemas de flujos no lineales y otros aspectos del comportamiento de suelos no saturados.

1.2 Surgimiento de los primeros sistemas de clasificación

El propósito de cualquier clasificación es ser capaz de organizar el conocimiento de modo tal que las propiedades de los objetos puedan ser recordadas y sus relaciones entendidas más fácilmente para un objetivo específico. El proceso de formación de clases por agrupamiento de objetos se hace sobre la base de sus propiedades comunes. En cualquier sistema de clasificación, lo más trascendente es que sea preciso, y se puedan obtener importantes conclusiones de los objetivos y así sirvan al propósito clasificatorio para el cual fue creado.

Un sistema de clasificación, es una agrupación de suelos con características similares. El propósito es estimar de forma fácil las propiedades y características de los suelos. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que las clasificaciones están orientadas al campo de la ingeniería para la cual se desarrollaron los sistemas.

La Mecánica de Suelo desarrolló sistemas de clasificación desde sus inicios, primeramente, dado el escaso conocimiento que sobre los suelos se tenían, estos sistemas de clasificación fueron fundados en criterios puramente descriptivos; surgiendo así varios sistemas, de ellos los basados en las características granulométricas, ganaron popularidad rápidamente, ejemplo de ello es el descrito por el M.I.T, donde esta clasificación fue propuesta por G. Gilboy y adoptada por el Massachusetts Institute of Technology (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1972; Soeters, 1995), también la utilizada en Alemania en 1936, la cual está basada en una proposición original de Kopecky (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1972).

Es evidente que un sistema de clasificación que pretende cubrir hoy las necesidades correspondientes a la identificación de los suelos, debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser esta fundamental para las aplicaciones ingenieriles. A la vez esta base debe ser preponderantemente

cualitativa, puesto que un sistema que incluye relaciones cuantitativas y de detalle respecto a las propiedades mecánicas resultaría, sin duda, excesivamente complicado y de engorrosa aplicación práctica; además, un sistema útil de clasificación debe servir para nombrar el criterio del ingeniero respecto al suelo del que se trate, previamente de un conocimiento más profundo y extenso de las propiedades del mismo; por ello una de las funciones más importantes de un sistema sería proporcionar la máxima información normativa, a partir de la cual el ingeniero sepa en qué dirección profundizar en su investigación.

La mayoría de las clasificaciones de suelos utilizan ensayos muy sencillos, para obtener las características del suelo necesarias para poderlo asignar a un determinado grupo. Las propiedades ingenieriles básicas que suelen emplear las distintas clasificaciones son la distribución granulométrica, los Límites de Atterberg, el contenido de materia orgánica, etc.

Los sistemas de clasificación granulométrica indica la distribución por tamaño de las partículas de un suelo determinado, donde el análisis granulométrico es un ensayo de identificación del que no se obtendrán índices que expresan cuantitativamente las propiedades mecánicas de un suelo, la granulometría junto con otros ensayos pondrán de manifiesto desde un punto de vista cualitativo cuando dos suelos son similares y cabe esperar un comportamiento semejante. Su propósito es dar facilidad para estimar las propiedades de un suelo por comparación con suelos de la misma clase cuyas propiedades se conocen y para facilitar al ingeniero un método preciso para la descripción del suelo. Existen referencias de una gran cantidad de autores e institutos que han propuesto sistemas de clasificación basándose en el criterio de granulometría (Atterberg, 1905; MIT, 1931; US Dept. Arg. 1938; American Geophysical Union, 1947; ITC, 1974; International society of Soil Science; US Department of Agricultura; Massachusetts Inst of Tec y British Standards Institution).

Entre los diversos estudios tendientes a encontrar un sistema de clasificación que satisficiera los distintos campos de aplicación a la Mecánica de Suelo, se encuentra los efectuados por el Dr. A. Casagrande en la universidad de Harvard,

los cuales culminaron en el conocido Sistema de Clasificación de Aeropuertos, así originalmente conocido debido a que estaba orientado para ser utilizado en ese tipo de obra. Este sistema reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que la malla N° 200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. En cuanto a los suelos formados por partículas mayores que la malla mencionada, el criterio básico de clasificación es aún el granulométrico que, aunque no es el determinante para el comportamiento de un material, sí puede utilizarse como base de clasificación en suelos granulares. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1972)

Con vista a la gran utilidad de este sistema de clasificación en la Ingeniería Civil, el *Bureau of Reclamation* modificó ligeramente el sistema de clasificación de Casagrande, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), siendo este sistema el más extendido para la amplia variedad de problemas geotécnicos existente; este sistema fue adaptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados. En los Estados Unidos se han desarrollado muchas de las clasificaciones empíricas de los suelos, una de las más populares es la empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y que fue originalmente desarrollada por Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano, inspirada en el modelo de Casagrande, utilizando este sistema principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de explanadas de carreteras.

En Francia, la SETRA y el LCPC desarrollaron en 1976 una clasificación con muchos rasgos originales, en la que se introducen componentes de la consistencia del suelo en el momento de su utilización. La clasificación alemana es debida a R Floss (1977), teniendo la peculiaridad de basarse en la susceptibilidad del suelo a la acción de las heladas, fenómeno bastante frecuente en ese país. También llama la atención el empleo de una nomenclatura similar a la clasificación de Casagrande modificada (SUCS), sólo que los vocablos a los que hace referencia son de origen alemán.

1.3 Métodos cualitativos para inferir propiedades de los suelos

El poder conocer y determinar las propiedades que posee un suelo en su estado natural, ha sido un gran reto para los investigadores de la mecánica de suelos y científicos del área en general

Los métodos de identificación y clasificación tienen aplicaciones muy importantes; primero, en evaluaciones preliminares donde suministran la información necesaria para decidir sobre la necesidad real de realizar ensayos adicionales, usando técnicas cuantitativas de predicción y, segundo, para la interpolación, e incluso extrapolación, de los resultados de ensayos más complejos efectuados en algunos puntos del terreno.

Para la determinación de las propiedades de los suelos se han desarrollado métodos de identificación y correlaciones geotécnicas que permiten inferir el comportamiento de los suelos. O sea, sobre la base de los parámetros del suelo se han desarrollado numerosas ecuaciones de regresión y criterios para inferir propiedades mecánicas y deformacionales a partir de la clasificación del suelo o de determinadas propiedades físicas.

1.3.1 Densidad in situ y densidad relativa

La determinación de esta propiedad es muy útil en el caso de suelos sin cohesión (gravas y arenas), los cuales, por lo general no permiten obtener muestras inalteradas, y por medio de la densidad in situ se puede reproducir el suelo en su estado natural a partir de una muestra alterada.

La densidad relativa es un parámetro que no solo funciona como una propiedad índice sino también interviene dentro de los cálculos para la determinación de las propiedades mecánicas, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes del suelo. El uso de la densidad relativa es importante en la Mecánica de Suelos debido a la correlación directa que ella tiene con otros parámetros como por ejemplo: el ensayo de penetración estándar (SPT), el cono de penetración (CPT) y otros relacionados con la capacidad de soporte de un suelo.

Existen referencias de autores que han establecido criterios y correlaciones en la determinación de la densidad relativa, (Kézdi, 1962) estableció un criterio de identificación que mediante el tipo de suelo se pueden determinar los valores promedios del peso específico de los sólidos, proponiendo además intervalos de valores de porosidad (n), índice de poros (e) y peso específico (γ) para diferentes estados de un suelo dado.

Según la norma DIN-1055 de 1963 con el tipo de suelo se puede determinar la densidad de cálculo (γ), para distintos tipos de suelos, tanto cohesivos como no cohesivos, requiriéndose en algunos casos conocer adicionalmente el índice de compacidad D para los suelos no cohesivos. Otra correlación que se estableció fue una relación cualitativa y cuantitativa de la densidad relativa (D_r) con el N_{SPT} , donde a partir de los resultados del ensayo de penetración estándar se puede obtener cualitativamente la densidad relativa y el intervalo de valores de D_r correspondientes (Peck, Hanson y Thornburn, 1953; Schultze y Muhs, 1967). Además, (Meyerhof, 1956) estableció una relación entre la densidad relativa, N_{SPT} y el ángulo de fricción para suelos no cohesivos.

1.3.2 Plasticidad

Existen varios criterios para determinar la plasticidad de las arcillas, de los cuales el debido a Atterberg es uno de los más empleados, el cual hizo ver que la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua.

La plasticidad se convirtió en una propiedad índice fundamental, a partir de la utilización que Terzaghi y Casagrande hicieron de ella. La determinación de los límites de plasticidad se transformó en una prueba de rutina en todos los laboratorios, los métodos de Atterberg se revelaron ambiguos, dado que la influencia del operador es grande y que muchos detalles al no estar especificados, quedaban a su elección. En vista de lo cual Terzaghi sugirió a Casagrande la tarea de elaborar un método de prueba para la determinación del límite líquido, en el cual se estandarizaran todas sus etapas, de modo que operaciones diferentes en laboratorios distintos obtuviesen los mismos valores. Como resultado de tal

investigación nació la técnica basada en el uso de la Copa de Casagrande (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1972).

Existe referencia en la bibliografía consultada de diversos autores que han propuesto sistemas de clasificación para determinar la plasticidad de un suelo (Sowers y Sowers, 1975; Departamento Técnico, 1991).

Además se han establecido correlaciones como las del (Departamento Técnico, 1991) que propuso una correlación entre el ensayo del límite líquido de Casagrande y el de Vasiliev. En Cuba no se utilizó la determinación de la plasticidad por el método de Vasiliev, pues en el país estaban arraigados los métodos occidentales y no los soviéticos, por lo cual esta correlación puede ser aplicable cuando se decidan emplear correlaciones que tomen como punto de partida el método de Vasiliev.

1.3.3 Compacidad

La compacidad del suelo está directamente relacionada con la resistencia, la deformación y la estabilidad de un suelo. Para la obtención de la compacidad del suelo (Departamento Técnico, 1991) propuso relaciones a partir del índice de poros (e) y la porosidad (n). También (Anon, 1979) propuso una clasificación de la porosidad del suelo mediante índice de poros (e) y la porosidad (n). Además (Sowers y Sowers, 1975) estableció una clasificación de la compacidad relativa de la arena mediante la cual se describe la compacidad y la resistencia, de acuerdo con los resultados de la prueba de penetración Standard.

Además (Departamento Técnico, 1991; Terzaghi y Peck, 1948) establecieron una clasificación que se relaciona con el grado de saturación del suelo. El (Departamento Técnico, 1991) propone una tabla de propiedades geotécnicas de los suelos cubanos en estado natural, mediante la cual para diferentes tipos de suelo se obtiene la humedad natural (w_n), el γ_d , el peso específico relativo de los sólidos (G_s), el índice de poros (e) y la porosidad (n).

1.3.4 Índice de Hidrófilia

El Departamento Técnico (1991), estableció una clasificación de los suelos según su índice de hidrófilia en la cual se tiene en cuenta el límite líquido y el por ciento de arcilla.

13.5 Actividad Coloidal

Existe referencia de autores que han propuesto clasificaciones de la actividad coloidal, la cual tiene en cuenta el índice de plasticidad y el por ciento de arcilla (Skempton, 1953; Departamento Técnico, 1991).

1.3.6 Resistencia al corte

Para la determinación de la resistencia al corte se han propuestos clasificaciones y correlaciones para la obtención de esta propiedad, (Sowers y Sowers, 1975) propusieron una tabla para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos cohesivos compuestos principalmente de cuarzo, la cual depende de la densidad relativa que posea el suelo. Según el Departamento Técnico, (1991) propusieron una serie de tablas para la determinación de la resistencia al corte (ϕ), como la resistencia al corte (ϕ) de los suelos granulares según su compactación relativa (D_r) y la resistencia al corte de los suelos granulares según el tipo de suelo, su estado y su densidad húmeda promedio, estos además proponen una tabla con valores de propiedades de los suelos orgánicos cubanos en condiciones naturales como la resistencia al corte, la cohesión y la densidad humedad para distintos tipos de suelo.

Entre las correlaciones más notables se encuentran las propuestas por el (Departamento Técnico, 1991), donde establecen correlaciones entre la consistencia de las arcillas (I_c), su densidad húmeda $\gamma_F (kN / m^3)$ y la resistencia al cortante lento ($\phi - C$); también entre la cantidad de arcilla, el límite plástico y la resistencia a cortante residual y efectivo de los suelos. Además (Meyerhof, 1956; Peck et al., 1974) propusieron ábacos para la determinación del ángulo de rozamiento interno de los materiales granulares mediante los datos que se obtienen del ensayo SPT, los cuales permiten indirectamente, deducir los valores

estimados directamente de la densidad relativa a partir del valor N_{SPT} según la tendencia actual.

Diversos autores han propuesto correlaciones entre el valor de N_{SPT} y el ángulo de rozamiento interno (Meyerhof, 1956; Peck et al., 1974; De Mello, 1971; Schmertmann, 1970). También Hunt, (1984) estableció correlaciones entre el golpeo N_{SPT} , la densidad saturada y la resistencia a la compresión simple según la adaptación a los trabajos de Terzaghi y Peck, (1948). Igualmente (Kézdi, 1962; Costet y Sanglerat, 1969) establecieron relaciones entre el ángulo de rozamiento interno φ con el índice de plasticidad (IP) y el tipo de ensayo, la porosidad (n) en arenas y gravas, según la forma y granulometría. Además se propusieron relaciones entre la cohesión C_u de la arcilla, su consistencia, el N_{SPT} y el índice de liquidez (I_L). (Peck, Hanson y Thornburn, 1953; Schultze y Muhs, 1967).

Para la determinación de esta propiedad se analizaron diferentes normas como la DIN-1055, (1963) donde según el tipo de suelo no cohesivo se puede determinar su ángulo de rozamiento, requiriéndose conocer adicionalmente en algunos casos el índice de compacidad (D); también para distintos tipos de suelos cohesivos se pueden obtener valores de cohesión (c) y ángulo de rozamiento interno (φ).

En la norma SNIP-II-B.1-62, (1962) mediante el tipo de suelo y la relación de vacíos (e), se obtienen los parámetros c y φ , normativos o de proyecto, para el caso de los suelos arcillosos se tendrá como discriminante adicional el límite plástico w_p ; también la norma SNIP-II-15-74, (1974) recomienda los valores normativos de C y φ de los suelos arenosos (independientemente del origen, edad y humedad) en función de sus tipos y sus índices de poros (e) y de los suelos arcillosos, sedimentarios y cuaternarios en función de sus tipos, sus consistencias e índices de poros (e).

1.3.7 Deformación

La determinación de las propiedades deformacionales de los suelos y rocas es de vital importancia para el cálculo de los asentamientos o las deformaciones al variar los estados tensionales del material. Diferentes autores han establecido criterios,

recomendaciones y relaciones para determinar dichas propiedades. Sowers y Sowers (1975) propusieron un criterio para determinar la compresibilidad de los suelos mediante ensayos de laboratorio o de acuerdo a una estimación del límite líquido y la relación de vacíos. Según el Departamento Técnico (1991) propuso una clasificación del suelo según la compresibilidad volumétrica (m_v) en función del índice de poros (e) y una clasificación de la capacidad de deformación de los suelos y tipo de capacidad soportante según su módulo de deformación (E).

Se han establecido diferentes relaciones para la determinación de la deformación y el índice de compresibilidad de los suelos como por ejemplo la relación entre el módulo de deformación de los suelos (E) y su carga de consolidación (Q_p) (Departamento Técnico, 1991). Autores como Sowers y Sowers (1975); Skempton (1944); Nishida (1956); De la Torre y Forns (1976) y Helenelund (1955) propusieron relaciones entre el índice de compresibilidad C_c y los parámetros, límite líquido (w_L) o índice de poros inicial (e_o) o humedad natural (w).

En la norma SNIP-II-B.1-62 (1974) se propuso una relación entre los valores estándar del módulo de deformación general E_0 y el tipo de suelo, con relación de vacíos conocida, mediante el cual se obtiene el parámetro E_0 normativo o de proyecto para cada tipo de suelo y una relación entre los valores de los módulos de deformación general (E_0) de los suelos arcillosos en función de sus tipos, su consistencia e índice de poros (e), y de los suelos arenosos (independientemente del origen, edad y humedad) en función de sus tipos y sus índices de poros (e). En el Manual de ingeniero (1964) se estableció una relación entre los módulos edométricos de consolidación (E_s) y de expansión (E_e), y el incremento de presión (p) para distintos tipos de suelos, en la cual se recogen los intervalos de valores de los parámetros de Ohde, de v y w para distintos tipos de suelos; mediante los parámetros de Ohde, Moussa (1961) relacionó estadísticamente los parámetros v y w con los índices de poros máximo e inicial, agrupados los suelos en tres categorías según el intervalo de valores de la diferencia $E_{máx.} - E_{mín.}$

1.3.8 Propiedades típicas de algunos suelos

Para la determinación de algunas propiedades de diferentes tipos de suelos, se proponen algunas tablas donde se obtienen valores típicos de algunas propiedades comunes de las arcillas, donde estas usualmente contienen fragmentos de arena gruesa y a veces materiales iguales y más grandes, entre las propiedades se encuentran el volumen de humedad, el límite líquido (LL), el límite plástico (LP), la cohesión (c), el ángulo de fricción interno (φ), el índice de compresión, entre otras; además se proponen algunas propiedades para arcillas estratificadas y laminadas; así como para gravas, arenas y cienos (Soeters, 1995).

1.3.9 Compactación

En el proceso de compactación influyen diferentes factores como la naturaleza y tipo de suelo, el contenido de humedad, la energía y método de compactación empleados. Este es un proceso mecánico cuyo objetivo es reordenar las partículas del suelo para disminuir el volumen de poros y aumentar la densidad.

1.3.9.1 Propiedades físicas

Se han propuesto determinadas expresiones, calificaciones y tablas para la determinación de las propiedades físicas. Según el Departamento Técnico (1991) propone una expresión que relaciona la densidad seca y la humedad óptima de los materiales de construcción.

Se realizó una clasificación que fue propuesta por la Instrucción Española de carreteras la cual depende de determinadas características como la granulometría, la plasticidad, la capacidad de soporte al hinchamiento, la densidad máxima al ensayo proctor y el contenido de materia orgánica, las cuales están en función de la determinación del tipo de suelo (Colectivo de autores, 1993).

1.3.9.2 Relación $\gamma_d - W_{opt}$

Para la determinación de la relación $\gamma_d - W_{opt}$ el Departamento Técnico (1991) propuso diversas tablas mediante las cuales se pueden determinar las

correlaciones del Proctor Standard para suelos con gravas mayores de 5 mm de espesor y se pueden determinar los valores de compactación de los suelos cubanos con $G_s = 2,68 - 2,78$ según el tipo de suelo y su utilización más adecuada en presas de tierra.

1.3.10 Ensayo CBR

El ensayo CBR depende de diversos factores, siendo uno de los más importantes el tipo de suelo ensayado (granulometría y sus características físicas). En el laboratorio los ensayos de CBR se realizan usualmente sobre muestras compactadas donde el contenido de humedad óptimo para el suelo en análisis es el adecuado, utilizando el ensayo de compactación estándar (AASHTO T-99) o modificado (AASHTO T-180). Sin embargo, el resultado del ensayo no es constante para un mismo tipo de suelo, puesto que está relacionado con el estado en el cual se encuentra el suelo al momento de efectuar el ensayo. Es por eso, que el ensayo puede dar valores distintos si el experimento se realiza en el terreno o en suelos compactados en el laboratorio.

En la determinación de los valores de CBR diferentes autores e instituciones han establecido criterios para la determinación de los mismos, donde se han propuesto correlaciones típicas que se establecen entre las clasificaciones de suelos (SUCS y AASHTO) con los valores de CBR, recomendada y recopilada por la Portland Cement Association (PCA).

1.3.11 Módulo de resiliencia (Mr)

Para la determinación del módulo de resiliencia la AASHTO propone unas ecuaciones de correlación entre los valores de CBR y Mr, mediante el cual se puede obtener el valor requerido para el diseño de pavimentos. También se propone una tabla con las correlaciones entre rangos de valores de módulo de resiliencia y el tipo de suelos para los distintos tipos de suelo según la clasificación SUCS (Shell, 1975).

Se propone una figura donde se dan rangos prácticos de valores de módulo de resiliencia con fines de diseño para diferentes tipos de suelo de acuerdo a la clasificación SUCS.

1.3.12 Propiedades mecánicas de suelos compactados

Para la determinación de las propiedades mecánicas se proponen correlaciones entre la densidad seca máxima $\gamma_d \text{ max-ST}$ (KN / m^3), el módulo de deformación y la resistencia al corte (rápida y lenta) (Departamento Técnico, 1991)

1.3.13 Requisitos de colocación de capas en explanaciones

Para la colocación de capas en explanaciones se estableció correlaciones aproximadas entre el tanto por ciento de compactación D_{pr} y el módulo de deformación E_{v2} para suelos de grano grueso, mediante la cual se puede deducir el valor a exigir para E_{v2} ; también se estableció una relación aproximada entre el índice de poros (n), el contenido de agua (w) y el módulo E_{v2} para suelos de grano fino y mixto; además se propuso una tabla con valores de resistencia a la penetración y propiedades de suelos granulares, en la que aparece correlacionado este ensayo con la consistencia del suelo (Lima, 1994).

1.3.14 Cambios Volumétricos

1.3.14.1 Evaluación del grado de expansión

En la determinación del potencial de expansión muchos han sido los autores que han propuesto criterios de evaluación. Según Sowers y Sowers (1975) propusieron una tabla que muestra el cambio potencial de volumen, donde se ha encontrado que el límite de retracción y el índice de plasticidad dan alguna indicación del cambio potencial de volumen del suelo; Altmeyer (1955) propuso un criterio para determinar el potencial de expansión a partir del límite de retracción (w_s) y de la retracción lineal (w_{sl}), como desventaja de este método se puede señalar que no tiene aplicación directa para los suelos in situ, pues las muestras utilizadas fueron remoldeadas. Para la evaluación la expansividad se propuso un criterio el cual se basa en la utilización simultánea del límite de retracción, el índice de plasticidad y el contenido de coloides ($\% < 0,001 \text{ mm}$) (Holtz, 1959), este criterio puede aplicarse a los suelos in situ o a los compactados con humedad próxima a la óptima.

Según Lambe (1960) estableció un criterio para determinar el grado de expansión en función del PVC (Cambio Potencial de Volumen) en el cual correlaciona el índice de expansividad (presión de hinchamiento medida al cabo de dos horas) con el PVC. Este método fue adoptado inicialmente por FHA (Federal Housing Administration), el cual no ha sido aceptado más ampliamente debido a algunas inconsistencias inherentes al procedimiento de ensayo y en cierto modo al sistema empírico de las pruebas (Snethen et al, 1975).

Realizando un esfuerzo por incrementar la aplicación del método PVC, se establecieron correlaciones adicionales, donde se propuso un método de PVC combinado, basado en parámetros como el hinchamiento bajo una sobrecarga de $1t/m^2$ (h_1), el índice de plasticidad (IP), el contenido de humedad en equilibrio con la atmósfera de humedad relativa del 100 por 100 (w_{100}), y el cambio de volumen que ocurre entre el equivalente de la humedad de campo y el límite de retracción (Ladd y Lambe, 1961).

Se propusieron diferentes métodos para la determinación del grado de expansión, uno de los cuales está basado en la actividad del suelo, donde se propuso una expresión para determinar el potencial de expansión en función del hinchamiento libre, la actividad del suelo y el contenido de arcilla (Seed et al, 1962); además se planteo un método que propone correlaciones establecidas entre el índice de expansión y el índice de plasticidad (Sorochan, 1970), donde este método considera dos propiedades importantes para el cambio de volumen, sin embargo este criterio de identificación y clasificación tiene el inconveniente de necesitar realizarse un ensayo de expansión.

Según Vijayvergiya y Ghazzaly (1973) establecieron un método para la evaluación de las características de expansión mediante el cual establece una evaluación del hinchamiento y de la presión de hinchamiento de los suelos expansivos a partir de la relación de humedad natural y el límite líquido, dichas correlaciones fueron obtenidas a partir de datos de hinchamientos y de hinchamiento libre (sobrecarga de $0,1kg/cm^2$) correspondiente a la descarga después de haber alcanzado la presión máxima, obtenidos de ensayos edométricos con muestras inalteradas.

También se establecieron correlaciones del potencial de expansión con el índice de retracción ($I_s = w_l - w_s$), donde se correlacionan datos edométricos de muestras compactadas e inalteradas obteniéndose así ecuaciones empíricas (Ranganatham y Satynarayana, 1965). Según Chen (1975) se propone una clasificación de la expansividad con el objetivo de simplificar el método utilizado por el USBR (Holtz, 1959), eliminando la necesidad del ensayo de sedimentación y proporcionando alguna medida relativa de la densidad del suelo, este estableció una correlación entre datos edométricos de expansión (en muestra inalterada bajo sobrecarga de 0,5 kg/cm²) y el porcentaje del material que pasa en el tamiz N.º 200, el límite líquido y la resistencia a la penetración estándar (N).

1.3.14.2 Colapso

Según Soeters (1995) propone una tabla con propiedades geotécnicas del suelo para diferentes tipos de suelos.

En Cuba el fenómeno del colapso parece estar asociado a algunos suelos cohesivos como arcillas limosas o arenosas, de plasticidad media o baja, de formación geológica reciente y que desarrollan deformaciones de colapso pequeñas. Los parámetros que caracterizan los suelos colapsables (densidad seca, contenido de humedad, tipo de suelo y su grado de saturación) nunca han sido estudiados ni establecidos para el caso de los suelos cubanos. Además, no se ha estudiado la posibilidad de colapso de algunas arcillas expansivas.

1.3.15 Propiedades hidráulicas

En 1930 Hazen propuso una expresión para determinar el coeficiente de permeabilidad a partir del diámetro efectivo del suelo, donde los valores de la constante C de la expresión se proponen en una tabla la cual está en función del tipo de arena, esta expresión solo es válida para arenas uniformes.

Existe referencia de autores que han establecido criterios para determinar el coeficiente de permeabilidad, según el Departamento Técnico (1991) estableció una relación entre el coeficiente de permeabilidad y el drenaje de diferentes tipos de suelo; también según los trabajos de Terzaghi y Peck (1967) se propusieron valores relativos de permeabilidad, donde la variación en la permeabilidad de los

suelos naturales es aún mayor que la variedad en el tamaño de los granos, está propuesta puede utilizarse como norma para describir la permeabilidad de los suelos (Sowers y Sowers, 1975).

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1972) propusieron una tabla donde se obtienen valores del coeficiente de permeabilidad según el tipo de suelo y los métodos de prueba aplicados en cada caso, esta tabla se debe a Casagrande y R. E. Fadum. También el Departamento Técnico (1991) propuso una tabla con valores orientativos del coeficiente de permeabilidad según el tipo de suelo y se estableció una correlación entre la densidad seca máxima de Proctor Standard $\gamma_d \text{ max-ST}$ y el coeficiente de permeabilidad (k).

1.3.16 Correlaciones de ensayos de penetración estática y dinámica

El ensayo de Penetración Estándar (SPT), es uno de los ensayos in situ más habituales, los resultados obtenidos se suelen utilizar para la determinación de los parámetros geotécnicos del terreno estudiado. La amplia difusión de este ensayo se debe principalmente a la facilidad de su realización, ya que puede ser ejecutada en cualquier tipo de terreno directamente durante el sondeo, sin la necesidad de instalar más equipamiento. Su utilización en todo el mundo ha llevado a la producción de una abundante bibliografía que facilita la interpretación de los resultados obtenidos. A pesar de ello, los resultados deben ser valorados atentamente, por cuanto podrían ser muy influenciados por el modo de ejecución. El ensayo SPT, por otro lado, no proporciona indicaciones significativas acerca de los empujes estáticos y, por consiguiente, las correlaciones con los parámetros geotécnicos obtenidas por los investigadores en el transcurso de los años son exclusivamente empíricas. En nuestro país un elevado número de profesionales dedicados a la geotecnia han utilizado el ensayo SPT como único método para evaluar de manera indirecta las propiedades de resistencia y deformación de los depósitos arenosos.

El ensayo Cone Penetration Test (CPT) se suele emplear en el levantamiento de la columna estratigráfica vertical y en la determinación de los tipos de terrenos perforados. Si la punta tiene un sector poroso y de piezocono se mide también la

presión en los poros correspondiente al nivel hidrostático y al esfuerzo debido a la penetración en el terreno. Igual que en el ensayo SPT, la identificación de los terrenos penetrados y la evaluación de los parámetros geotécnicos se efectúa mediante correlaciones empíricas. La interpretación de los resultados se suele efectuar distinguiendo entre terrenos granulares con dominio de arena (para los que se puede obtener mediante este ensayo el ángulo de rozamiento, la compresibilidad drenada y la densidad relativa) y terrenos cohesivos con dominio de arcilla (para los que se puede evaluar la resistencia al corte no drenada, la compresibilidad, la sensibilidad y el grado de sobreconsolidación). El ensayo CPT tiene gran utilidad para el trazado de estratigrafía y la medición rápida y continúa de parámetros, tales como: la resistencia en punta y la fricción. En nuestro país se emplea el cono mecánico y en otros países se han desarrollado a partir de este, conos eléctricos que a su vez miden presión de poros, lo que ha adicionado una nueva dimensión a la interpretación de los parámetros geotécnicos. El ensayo CPT induce cambios complejos en los esfuerzos y deformaciones alrededor de la punta del cono, por lo que él no es capaz de proporcionar por sí solo, datos exactos. Por esto la interpretación de los datos obtenidos a través de él, se hace mediante correlaciones empíricas para obtener los parámetros geotécnicos requeridos en el diseño de las cimentaciones (Robertson y Campanilla, 1982).

El Ensayo Penetrométrico Dinámico es uno de los ensayos geotécnicos in situ más antiguos y conocidos. Su amplia difusión se debe, fundamentalmente, igual que para el ensayo SPT, a la simplicidad de su realización. El ensayo se emplea principalmente en terrenos granulares.

En la actualidad el ensayo más empleado en Cuba, como en el resto del mundo, en el estudio de los depósitos de arena, es el Ensayo de Penetración Standard (SPT), y en mucho menor escala se emplea el Ensayo de Penetración de Cono (CPT), y el Ensayo de Carga sobre Placa (PLT).

Se han determinado numerosas correlaciones para la obtención de parámetros a partir de determinados ensayos, entre ella se encuentra la que correlaciona el Standard penetration test (SPT) con el ensayo tipo Borro propuesta por Dhalberg

(1974) y modificada posteriormente por Jiménez Salas, J. A., Justo J. L. y Serrano, A. (1980), quienes propusieron correlaciones a partir del valor de NB que es el número de golpeo obtenido cada 20 cm en un ensayo tipo Borro y el N_{SPT} el golpeo estimado cada 30 cm en un ensayo de tipo SPT. Para la determinación de la densidad relativa a partir del ensayo SPT en suelos granulares diferentes autores han propuesto correlaciones para determinar la densidad relativa a partir del ensayo N_{SPT} (Hunt, 1984; Schultze y Meyer, 1965; Thorburn, 1963) este último recoge una serie de curvas propuestas por Terzaghi, en las que se relacionan el índice de densidad con el golpeo SPT.

Se han determinado diversas formulas para la obtención del ángulo de rozamiento interno por diversos métodos (Meyerhof, 1956; Osaki; Shmertmann, 1970). El procedimiento más reciente nombrado en este estudio, ha sido el propuesto para la relación golpeo/ ángulo de rozamiento a través de la ecuación enunciada por Terzaghi, Peck y Mesri (1996).

Una de las correlaciones que se establecen con la realización del ensayo CPT es entre la resistencia a penetración del cono holandés CPT y el módulo de deformación general para distintos tipos de suelo (Departamento Técnico, 1991).

1.4 Métodos cualitativos para inferir propiedades de las rocas

Se han propuesto criterios de clasificación y correlaciones entre diferentes propiedades de las rocas, según Sowers y Sowers (1975) propusieron una tabla de descripción del endurecimiento de la roca, (Adaptada de Duncan y Jennings, 1968) mediante la cual los ensayos de las rocas no deterioradas son necesarios para determinar su resistencia cuantitativamente.

Según Soeters (1995) se estableció una tabla de descripción de la densidad seca y la porosidad (Anon, 1979) en la cual agrupó la densidad seca y la porosidad de la roca en cinco clases. También se han propuesto clasificaciones generales de las rocas basadas en la resistencia a compresión simple (C) y en el módulo relativo (MR), según la abertura de las discontinuidades, el espaciamiento de las discontinuidades (Grietas), su índice RQD, su porosidad (n), su grado de agrietamiento (GA) (Departamento Técnico, 1991).

Se han propuesto tablas de descripción de la fuerza de compresión no consolidada, en la cual se obtienen con la ayuda de pruebas del laboratorio la fuerza y la deformación de la roca intacta; también se estableció algunas relaciones entre algunas propiedades como la densidad seca, la porosidad, la fuerza de compresión saturada no confinada, el módulo de Young, la permeabilidad, entre otras en relación a distintos tipos de roca y se estableció algunas propiedades físicas de las rocas ígneas y metamórficas, así como de las rocas arenosas sedimentarias y de las rocas carbonatadas (Soeters, 1995).

Conclusiones parciales del capítulo I

- Los métodos de identificación y clasificación comentados fueron desarrollados a partir de resultados obtenidos en el extranjero, por lo que puede ser que tengan más confiabilidad en sus lugares de origen que en Cuba; además, para su uso se deben tener en cuenta los procedimientos utilizados para la determinación de las propiedades del suelo.
- Se hace necesario estudiar los suelos cubanos, con el propósito de definir correlaciones entre sus propiedades índices y su comportamiento, e identificarlos con un menor margen de error, de forma tal que se puedan inferir sus propiedades con mayor aproximación.
- Se debe trabajar con sistematización en la obtención de parámetros y correlaciones geotécnicas teniendo en cuenta el estudio geotécnico de los suelos cubanos, los posibles métodos de diseño y las tecnologías disponibles.
- Se deben elaborar o proponer recomendaciones, criterios de aplicación y comentarios sobre la utilización del manual por investigadores, proyectistas y docentes en las soluciones adecuadas en cuanto a los problemas ingenieriles relacionados con el suelo.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este capítulo se describe la metodología de trabajo que se siguió en esta investigación que incluye la muestra, la concepción metodológica y los métodos utilizados durante el proceso de investigación. Se analizan los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la investigación. Además, se presenta el material elaborado y sus características. Luego se proponen una serie de indicadores para valorar las características del manual propuesto y su calidad a partir de la valoración por criterio de especialistas.

2.1 Metodología de trabajo

2.1.1 Universo y muestra

El universo comprendió profesores de la carrera de ingeniería civil de la Facultad de Construcciones de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas que tienen experiencia en la rama de la geotecnia, así como ingenieros y especialistas de la rama tratada de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, ENIA de Villa Clara; la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara, EIPH de Villa Clara y la EMPROY de Villa Clara.

La muestra está constituida por profesores de la especialidad de Geotecnia que poseen experiencia en la determinación de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles y pueden aportar datos importantes para el desarrollo del trabajo a partir de sus conocimientos empíricos; también incluye a especialistas en la producción con varios años de experiencia y que, preferentemente hayan impartido estos temas como profesores adjuntos de la UCLV y a especialistas en el tema que pueden validar un sistema de indicadores propuestos para evaluar la calidad del trabajo (Ver tabla 2.1).

Tabla 2.1 Descripción de la muestra

Muestra	Cantidad
Profesores de la facultad de construcciones	4
Especialistas de empresas de proyecto y construcción (ENIA de VC, EIPH de VC y EMPROY de VC)	6
Especialistas para la validación	2

2.1.2 Métodos de investigación

Durante el proceso de investigación se aplicaron una serie de métodos investigativos de nivel teórico y nivel empírico para darle cumplimiento a los objetivos del trabajo. Los métodos de nivel teórico estuvieron presentes durante el proceso de investigación permitiendo realizar los procesos de inducción, deducción, síntesis, generalización, etc.

2.1.2.1 Métodos de nivel teórico

Para las investigaciones en todo el proceso se aplicarán los métodos de nivel teórico, entre otros objetivos.

De nivel teórico:

- ❖ Inductivo – deductivo
- ❖ Análisis – síntesis
- ❖ Histórico – lógico
- ❖ Abstracto a lo concreto

a) Inductivo – deductivo:

Inducir que el material elaborado pueda ser utilizado por los profesionales y especialistas en la producción.

Deducir que el material, elaborado de una forma didáctica, puede ser aplicado como herramienta en la producción y en situaciones concretas para la definición de parámetros y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño de obras civiles.

b) Análisis – síntesis: Analizar las diferentes partes del todo y sintetizar las relaciones entre los mismos. El todo de este trabajo ha sido el proceso de investigación y confección de un manual en el que se plasman los principales criterios, consideraciones y recomendaciones para la determinación de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles.

c) Histórico – lógico: para valorar los aspectos de carácter histórico en el desarrollo de la temática, con sus diversos enfoques en las distintas bibliografías y el enfoque del objeto de investigación, así como la manera en que se conciben en la actualidad concreta, en el marco contextual en que se desarrolla hoy la temática.

d) Abstracto a lo concreto: Expresa el cambio que sufre el conocimiento científico y su proceso de desarrollo, pues en dicho proceso el pensamiento reproduce el objeto en su totalidad, en un plano teórico. Lo concreto es la síntesis de muchos conceptos y por consiguiente de las partes. Las definiciones abstractas conducen a la reproducción de lo concreto por medio del pensamiento.

2.1.2.2 Métodos de nivel empírico

De nivel empírico

- ❖ Análisis bibliográfico
- ❖ Encuesta a profesores
- ❖ Encuesta a especialistas de empresas de proyecto y construcción
- ❖ Valoración por criterio de especialistas para la validación

Análisis bibliográfico y de documentos oficiales

El análisis de documentos es una actividad planificada que consiste en examinar documentos escritos. Pretende obtener información útil y necesaria para dar respuesta a los objetivos identificados en el planteamiento de la investigación (Colectivo de Autores, 2005).

Los documentos escritos se pueden agrupar en dos tipos en función del ámbito en que se generan: documentos oficiales y documentos personales. En el presente trabajo se emplean como instrumento la revisión de documentos oficiales. Los documentos oficiales comprenden, toda clase de documentos, registros y materiales oficiales y públicos, disponibles como fuente de información.

Pueden ser utilizados como documentos oficiales: programas escolares, planes de clases, libros de texto, folletos, notas de clases y otros que en el ámbito de la educación son conocidos como documentos curriculares y pueden facilitar información importante sobre cuestiones y problemas sometidos a investigación.

Se revisan documentos para crear una base, donde se consultaron varios materiales bibliográficos para realizar un análisis de los diversos enfoques que se han adoptado con respecto al tema de geología y mecánica de suelo, análisis de artículos, publicaciones y libros relacionados con el tema, además normas, anteproyectos de normas, regulaciones de la construcción, etc. y se realizaron búsquedas en Internet para lograr el mayor grado de actualización posible en cada uno de los temas.

La encuesta

La encuesta es una técnica de adquisición de información de interés sociológico, mediante un cuestionario previamente elaborado, a través del cual se puede conocer la opinión o valoración del sujeto seleccionado en una muestra sobre un asunto dado (Colectivo de autores, 2005).

En la encuesta a diferencia de la entrevista, el encuestado lee previamente el cuestionario y lo responde por escrito, sin la intervención directa de persona alguna de los que colaboran en la investigación.

A diferencia de la entrevista la encuesta cuenta con una estructura lógica, rígida, que permanece inalterada a lo largo de todo el proceso investigativo. Las respuestas se escogen de modo especial y se determinan del mismo modo las posibles variantes de respuestas estándares, lo que facilita la evaluación de los resultados por métodos estadísticos.

La encuesta, una vez confeccionado el cuestionario, no requiere de personal calificado a la hora de hacerla llegar al encuestado.

El cuestionario es un instrumento básico de la observación en la encuesta y en la entrevista. En el cuestionario se formula una serie de preguntas que permiten medir una o más variables. El cuestionario posibilita observar los hechos a través de la valoración que hace de los mismos el encuestado o entrevistado, limitándose la investigación a las valoraciones subjetivas de éste.

1. Encuesta a profesores

El fundamento de esta encuesta se dirige a las limitaciones y dificultades que puedan llevar al profesor a no desempeñar sus funciones con el nivel requerido y por tanto dificultar el proceso de enseñanza de las asignaturas que tienen relación con el tema y la realización de determinados proyectos, a la hora de inferir parámetros y correlaciones geotécnicas aplicadas al diseño, así como obtener su criterio con respecto a la determinación de las propiedades y correlaciones más empleados en el diseño de obras civiles. Además de valorar las posibles vías de perfeccionamiento y actualización de la bibliografía existente. (Ver anexo I)

2. Encuesta a especialistas de empresas de proyecto y construcción

La encuesta fue realizada a especialistas de la ENIA de VC, de la EIPH de VC y de la EMPROY de VC, dado que estos cuentan con una mayor experiencia práctica en el tema del análisis de los suelos y su implicación en la construcción y tomando en cuenta que algunos han laborado como profesores en la Facultad de Construcciones, además de haber impartido algunos cursos y postgrados.

El objetivo de la encuesta fue detectar las dificultades y limitaciones a la hora de inferir propiedades para la determinación de correlaciones geotécnicas requeridos

para el diseño de obras civiles, conocer el criterio pormenorizado respecto a los problemas fundamentales que éstas presentan, sus posibles soluciones, así como el grado de actualización que presenta la bibliografía existente y para saber qué recomendarían para el tratamiento del tema. (Ver anexo II)

3. Valoración por criterio de especialistas

En esta investigación el criterio de especialistas se realizó para la valoración de la calidad del manual propuesto, para lo cual se establecieron una serie de indicadores que los especialistas tuvieron en cuenta.

2.2 Análisis de los resultados

2.2.1 Constatación de necesidades

a) Análisis de documentos

Se analizaron varios documentos oficiales tales como distintas normativas (Anteproyecto de norma: Diseño geotécnico de cimentaciones de Quevedo, G. te al, 2001, NC # 53-110:2003: Diseño de pavimentos flexibles; las normativas internacionales (SNIP-II-15-74, 1974; la SNIP-2.02.01, 1983 y la Norma Checa de cimentaciones superficiales CSN-731001, 1973); también se consultaron libros y materiales como el Sowers y Sowers (1972); el Instructivo sobre parámetros y correlaciones geotécnicas elaborado por el Departamento Técnico (1991); Calzadilla y Luis (1986); así como la bibliografía nacional e internacional relacionada con el tema, mediante la cual se analizaron aproximadamente 25 sitios en Internet, más de 10 artículos, alrededor de 50 libros relacionados con el tema, así como otros documentos de interés; lográndose definir más de 35 grupos de correlaciones, de estos grupos se pudo definir las correlaciones más utilizadas.

El análisis de documentos permitió constatar las limitaciones de la bibliografía existente en el país, así como la necesidad de elaborar un nuevo documento que contenga las principales consideraciones, criterios y recomendaciones sobre la inferencia de propiedades y correlaciones geotécnicas, la cual puede ser utilizado por profesionales y egresados los cuales tienen un amplio perfil de trabajo y una de las ramas es la geotecnia, por lo que será de gran ayuda un manual sobre

propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles, para lograr un mejor desempeño a los problemas a enfrentar como profesional.

b) Encuesta a profesores y especialistas

La encuesta fue realizada a profesores de la Facultad de Construcciones (4), a especialistas de la ENIA VC (2), de la EIPH de VC (2) y a (2) de la EMPROY de VC, los cuales se consideran que poseen experiencia en la materia y han impartido docencia .

Los especialistas plantean la falta de un documento que recoja las principales recomendaciones, criterios y consideraciones acerca de la determinación de parámetros y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño, lo que podría traer consigo que se tomen en cuenta consideraciones no aplicables a las condiciones de los suelos cubanos.

Como una vía de perfeccionar y mejorar la toma de decisiones con el uso del manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles, el cual sea capaz de brindar criterios adicionales y valoraciones para un proyecto.

A partir de los resultados de la aplicación de las técnicas investigativas comentadas se pudo establecer que no ha sido posible la elaboración de un manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles que rija el criterio de los especialistas en la materia y con la elaboración del manual se podría dar solución en buena medida a las dificultades que presenta el diseño de obras civiles.

2.3 Elaboración de un manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles

2.3.1 Propuesta del material impreso manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles

En Cuba se han realizado grandes esfuerzos para suplir los textos extranjeros por bibliografías creadas de acuerdo a las necesidades del país, es imposible que la

bibliografía este todo lo actualizado que se necesita, por lo que se hace necesario e imprescindible que se elaboren materiales que suplan estas carencias.

Los materiales impresos son medios que transmiten la información mediante impresiones planas, generalmente escritas y elaboradas por medio de máquinas. Estos constituyen fundamentalmente, cuadernos de trabajo, folletos y materiales de estudio, entre otros que tienen el objetivo de proporcionarle al especialista una serie de recomendaciones y criterios para la inferencia de parámetros y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño de obras civiles.

Los manuales, generalmente son materiales impresos de volumen pequeño que desarrollan monocontenidos, textos complementarios, que permiten la actualización y profundización de los conocimientos y fortalece al ingeniero para la realización de un proyecto.

Teniendo en cuenta las características antes mencionadas se decidió que el material impreso a elaborar debía ser un manual, el cual puede ser empleado fundamentalmente por ingenieros y especialistas en el diseño de obras civiles, teniendo el mismo un gran valor de uso ha partir de la temática que aborda y la necesidad de su previo conocimiento para la profundización de estos contenidos.

2.4 Metodología para la valoración por criterio de especialista

Se decidió valorar las características y calidad del manual a partir de la valoración por criterio de especialistas, para ello se realizaron las siguientes acciones:

- ✓ Definición del sistema de indicadores
- ✓ Selección de los especialistas
- ✓ Elección y diseño del sistema de valoración
- ✓ Aplicación del sistema de valoración
- ✓ Análisis de los resultados

2.4.1 Definición del sistema de indicadores

Se conformó un sistema de indicadores generales y particulares que permiten evaluar las características y calidad del manual.

- ✓ Indicadores generales: Indicadores que abarcan los elementos más generales y que constituyen unidades propias de las características del mismo, cada uno constituye una unidad, independiente de su importancia en la elaboración del manual.
- ✓ Indicadores particulares: Indicadores que caracterizan el indicador general y que constituyen los elementos principales para evaluar cada indicador general.

Indicadores generales y particulares

1. Correspondencia de la estructura del manual con los objetivos para los cuales fue confeccionado.
 - ✓ Correspondencia de la estructura con el contenido del manual, así como el grado de actualización.
 - ✓ Grado de motivación que ofrece el manual y su ajuste al usuario que lo empleará.
 - ✓ Ayuda a la preparación del consultante en la temática tratada.
2. Calidad de la propuesta
 - ✓ Evaluación del manual atendiendo a su presentación, edición de forma impresa, calidad de las figuras, tablas, anexos, etc.
 - ✓ Valoración de su necesidad, aplicabilidad y novedad.

2.4.2 Selección de los especialistas

Se determinó que los especialistas debían ser profesionales con conocimientos en la temática objeto de valoración, con experiencia teórica y práctica, así como con categoría científica y docente, de manera que pudieran emitir criterios relevantes sobre la calidad del manual elaborado, y su debida actualización.

Para la elección de los especialistas, lo mejor es poder contar en la UCLV con las personas necesarias, no obstante al no cumplirse esta condición los especialistas son tomados de un grupo de instituciones para poder tener representación de todos los sectores de acuerdo al tema que se va a analizar.

Objetivos de la valoración por criterio de especialistas:

1. Evaluar la importancia relativa de cada indicador general y particular, asignándole valores a estos indicadores.
2. Establecer la calidad del manual como medio de consulta para profesionales del tema.

2.4.3 Elección y diseño del sistema de valoración

La valoración fue aplicada por un grupo de especialistas del territorio, quienes evalúan a partir de los indicadores antes expuestos la calidad del manual para ser utilizados por los profesionales.

Dadas las características de la investigación que se decidió que la encuesta debía ser el método de investigación más efectivo en aras de lograr un buen resultado en la respuesta de los especialistas.

Los aspectos referentes a la aplicación del sistema de valoración y el análisis de los resultados se desarrollarán en el capítulo III.

2.5 Elaboración de la propuesta del manual

En nuestro país se han realizado esfuerzos para suplir los textos extranjeros por textos que reflejen y se adapten a las necesidades y condiciones de Cuba, pero debido al desarrollo acelerado propiciado por la revolución científico-técnica, es difícil lograr que un documento esté todo lo actualizado que se necesita, por lo que se hace necesario e imprescindible que se elaboren materiales cortos que complementen y garanticen la actualización de los mismos. En el caso de la inferencia de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles, existen referencias de autores que han realizado algunos trabajos sobre el tema, pero aún estos no garantizan una amplia utilización debido a que los mismos no satisfacen las condiciones de los suelos cubanos, por lo que se

hace necesario la elaboración de un material de consulta que abarque de forma lógica y sistemática todas las consideraciones, criterios y recomendaciones que requiere este tema.

Es por ello que una vez obtenida toda la información necesaria a emplear, debidamente actualizada, quedan todas las condiciones creadas para la elaboración de un material que supere estas deficiencias, fue posible después de una extensa búsqueda bibliográfica, que incluyó la consulta y análisis de libros, artículos, ponencias, etc. que abordan el tema, así como de normas, regulaciones y otros documentos oficiales.

Pasos seguidos en la elaboración del manual

1. Búsqueda bibliográfica: tratando de identificar por autores todos los métodos existentes tanto nacionales como internacionales.
2. Sistematización o clasificación por grupos de estos en función de los objetivos.
3. Evaluación de la validez del método:
 - Contexto para el cual fue elaborado.
 - El tamaño de la base de origen.
 - Criterio de otros autores sobre ese aspecto.
4. Evaluación externa sobre la base de criterios estadísticos.
5. Resultados de los análisis.

Este análisis permitió redactar un material que abordó cuestiones relacionadas con la inferencia de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles que hasta el momento estaban dispersas.

El manual elaborado se presenta como el anexo III el cual incluye las principales consideraciones, criterios y recomendaciones sobre la inferencia de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles. En el capítulo III se presenta la estructura y se comentan los temas tratados en el manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para

el diseño de obras civiles, así como la inferencia de propiedades y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño de obras civiles de poca complejidad y/o en etapas iniciales de proyecto.

Conclusiones parciales del capítulo II

- Al aplicar los métodos investigativos se pudo constatar la existencia de dificultades en la determinación de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles. Como resultado se obtuvo referencias de autores que han realizado algunos trabajos sobre el tema pero aún estos no garantizan una amplia utilización debido a que los mismos no satisfacen las condiciones de los suelos cubanos.
- Se logró definir la elaboración de un manual de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles, así como sus principales características y las ventajas que reporta utilizarlo como complemento para los especialistas en la materia y como material de apoyo a la docencia.
- Se logró arribar a una importante etapa de la investigación, pues se establecen las bases teóricas y las técnicas (encuesta a especialistas) para la valoración de las características y la calidad del manual.

CAPÍTULO III: PROPUESTA DEL MANUAL Y VALORACIÓN

En este capítulo se describen las características y la estructura del manual y se analizan los resultados de la valoración de la calidad de la misma por criterio de especialistas.

3.1 Estructura y características del manual

El objetivo de este trabajo es la elaboración de un manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto, mediante el cual se pretendió perfeccionar y actualizar la bibliografía existente sobre la determinación de propiedades y correlaciones más empleados en el diseño de obras civiles, a partir de la experiencia existente en el país y la bibliografía internacional, por lo que incluye, entre otros aspectos, consideraciones, criterios de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño.

El manual aborda temas de propiedades y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto, mediante el cual se dan recomendaciones en la inferencia de parámetros y correlaciones.

El manual se estructuró de la siguiente forma:

Presentación

En la presentación aparece el nombre de la institución donde se confeccionó, título del tema abordado y el nombre del autor.

Prólogo

Se explica de forma sintetizada la utilidad del manual de propiedades y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto, así como ventajas que ofrece y a quien va dirigida.

Nota Aclaratoria

Donde se explica las unidades utilizadas. Se proponen las conversiones al Sistema Internacional (SI).

Índice

Muestra de forma enumerada la secuencia en que aparecen los epígrafes, así como las páginas donde comienzan.

Introducción

Se brinda un comentario acerca del contenido del manual, así como las razones que motivaron su elaboración. Permite ampliar la fundamentación de elementos técnicos que caracterizan al mismo y se argumenta la necesidad de contar con este material.

Desarrollo

Se expone la temática tratada, debidamente estructurada.

Referencias bibliográficas

Relaciona los textos y sitios que fueron consultados para la elaboración del manual, así como los diferentes materiales empleados en la redacción del mismo.

Simbología

Se muestran los principales símbolos utilizados

Después de realizado el análisis de los documentos oficiales y tabulados los resultados de la encuesta las temáticas a tratar en el manual son las que se muestran a continuación:

Parámetros y correlaciones de los suelos

1 Propiedades físicas de los suelos

1.1 Clasificación de las fracciones granulométricas

1.2 Densidad

- 1.3 Plasticidad
- 1.4 Compacidad
- 1.5 Índice de Hidrófilia
- 1.6 Actividad Coloidal
- 2 Propiedades mecánicas de los suelos
 - 2.1 Resistencia al corte
 - 2.1 Deformación
 - 2.2 Propiedades típicas de algunos suelos
- 3 Compactación
 - 3.1 Propiedades físicas
 - 3.2 $\gamma_d - W_{opt}$
 - 3.3 Ensayo CBR
 - 3.4 Módulo de relencia
 - 3.5 Propiedades mecánicas de los suelos compactados
 - 3.6 Requisitos de colocación de capas en explanaciones
- 4 Cambios Volumétricos
 - 4.1 Evaluación del grado de expansión
 - 4.2 Colapso
- 5 Propiedades hidráulicas

6 Correlaciones de ensayos de penetración estática y dinámica

Parámetros y correlaciones de las rocas

- 1 Criterio de descripción del endurecimiento de la roca
- 2 Criterio de descripción de la densidad seca y la porosidad
- 2 Clasificación general de las rocas.
- 3 Clasificación según el espaciamiento de las discontinuidades (Grietas).
- 4 Clasificación según la abertura de las discontinuidades.
- 5 Clasificación de la roca según su índice RQD.
- 6 Valores representativos del RQD de algunos tipos de roca.
- 7 Clasificación de la roca según su porosidad (n).
- 8 Características de la roca según su coeficiente de ablandamiento (CA).
- 9 Clasificación de las rocas según su grado de agrietamiento (GA).
- 10 Relación aproximada entre la porosidad de las rocas (n) con su dureza y el RQD.
- 12 Descripción de la fuerza de compresión no consolidada
- 13 Estimación de la fuerza de la roca intacta
- 14 Algunas propiedades físicas de la roca
- 15 Tabla indicativa de la fuerza para diferentes tipos de roca:
- 16 Descripción del campo de juntas en roca.
- 17 Propiedades físicas de las rocas ígneas y metamórficas

- 18 Propiedades físicas de las rocas arenosas sedimentarias
- 19 Propiedades físicas de roca carbonatada
- 20 Módulo de deformación general (E_0) y módulo de Poisson (ν_0) de una roca según la clasificación CSN-731001

3.2 Resultados de la valoración por criterio de especialistas

3.2.1 Aplicación de las entrevistas a los especialistas

En la selección de los especialistas se trató de buscar los de mayor prestigio y experiencia en la temática y lograr la mayor representatividad posible de las distintas entidades que tienen que ver con el tema. Los especialistas seleccionados fueron: especialista de la producción de la ENIA de VC, especialista de la EIPH de VC y de la EMPROY de VC. Una vez elegidos los especialistas, se aplicó la encuesta (anexo II).

El manual fue sometido a criterio de los especialistas en dos momentos. Primero se aplicó y procesó la encuesta. Los señalamientos y sugerencias por parte de los especialistas fueron sometidos a análisis con vistas a perfeccionar el manual. Una vez realizados los cambios necesarios, se pidió nuevamente la colaboración de los especialistas para valorar su satisfacción con los cambios realizados y la aprobación general de la propuesta.

3.2.2 Procesamiento de los resultados de las entrevistas

En este epígrafe se analizan los resultados de las entrevistas, con el objetivo de definir si el manual elaborado tiene la estructura y la calidad requerida para cumplir los objetivos para los que fue confeccionado.

Se solicitaron las valoraciones de los especialistas sobre los indicadores generales y particulares descritos en el capítulo II, los cuales son recogidos en las encuestas, a partir de ellas reflejaron sus consideraciones.

Para el análisis se tuvieron en cuenta las deficiencias y logros del manual planteados por los especialistas. Las deficiencias y logros se comentan a continuación.

Deficiencias:

- ✓ Mejorar la calidad de presentación de algunas tablas y esquemas.
- ✓ Algunas sugerencias específicas de redacción.
- ✓ La incorporación de otras tablas y esquemas para la inferencia de propiedades después de ser entregada a los especialistas.

Estas sugerencias fueron tomadas en cuenta y se realizó su corrección, obteniéndose la aprobación de los especialistas que habían realizado estos señalamientos.

Aspectos positivos:

- ✓ Los especialistas consideran que hay existe una debida correspondencia entre la estructura y el objetivo que se persigue con el manual, ya que los temas seleccionado se desarrolla con la debida actualización y poder de síntesis, lo que contribuye al logro de los objetivos propuestos.
- ✓ Los especialistas consideran que se logró realizar efectivamente la redacción del contenido del manual de propiedades y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño de obras civiles de poca complejidad y/u obras en etapas iniciales de proyecto, con un alto grado de actualización y nivel científico.
- ✓ El formato del manual es de muy buena calidad, por las tablas y figuras que muestra.
- ✓ Las recomendaciones y criterios que ofrece el documento elaborado se considera valioso y novedoso para el acaso de Cuba.

Finalmente, se corroboró que los criterios emitidos fundamentan la importancia y utilidad como material de consulta del manual elaborado de parámetros y correlaciones empleados en el diseño de obras civiles, donde evalúan de

excelente la presentación del manual por su necesidad, importancia, novedad y aplicabilidad, en la utilización por parte de profesionales.

Luego que el manual fuera evaluado positivamente por parte de los especialistas, se procedió a su publicación y de ser posible continuar su proceso de validación y perfeccionamiento.

Conclusiones parciales del capítulo III

- Se elaboró un manual de propiedades y correlaciones geotécnicas empleados en el diseño de obras civiles de poca complejidad y/o en etapas iniciales de proyecto, el mismo es presentado en los anexos y debidamente comentado en el desarrollo del capítulo.
- Se aplicó la encuesta como sistema de valoración por criterio de especialistas y se analizaron las recomendaciones y criterios emitidos por cada uno de ellos sobre los diferentes indicadores agrupándolos en aspectos positivos y negativos, para luego corregir las deficiencias señaladas en función de los objetivos y volver a someterlos al proceso de valoración con los mismos especialistas hasta obtener un resultado satisfactorio.
- Los especialistas consideran que el manual posee una estructura adecuada para dar cumplimiento a los objetivos propuestos y además posee una calidad técnica excelente por la síntesis de sus contenidos expresiones, tablas y esquemas que contiene. Su nivel de aceptación es alto debido a la necesidad de empleo de la misma como complemento para los profesionales.

CONCLUSIONES

1. Se pudo constatar que en el caso de Cuba no existe un manual que resuma los criterios de clasificaciones, propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles.
2. Se demostró a partir de la aplicación de las técnicas investigativas, la necesidad de elaborar un manual que supere las deficiencias existentes y, además, brinde criterios y recomendaciones actualizados sobre el tema.
3. Se demostró que el manual elaborado sobre la base de las dificultades detectadas, amplía y soluciona las dificultades existentes para la aplicación de criterios en la determinación de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles.
4. Se realizó la valoración por criterio de especialista los cuales evaluaron positivamente el trabajo desde el punto de vista técnico y práctico.

RECOMENDACIONES

1. Emplear el manual como material de consulta para los profesionales afines al tema.
2. Extender la experiencia de este trabajo, difundiendo la publicación de la misma y presentando los resultados de la misma en eventos nacionales, para que pueda ser utilizado por profesionales para el logro de un diseño racional.
3. Proponer métodos para inferir propiedades mecánicas a partir de propiedades físicas, mediante el cual se unifiquen criterios en cuanto a recomendaciones para el empleo de las correlaciones más difundidas a nivel internacional.
4. Establecer recomendaciones para inferir propiedades de los modelos constitutivos más empleados en suelo y roca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (1964) *Manual de ingeniero*, Barcelona Editorial Gustavo Gili, Academia HUTTE de Berlín, Tomo III, 28 va ed. Alemana.
2. (1975) *Mecánica de Suelo*, Barcelona, Editorial Técnicos asociados, s. a.
3. ALTEMEYER, B. (1955) *The Other "Authoritarian Personality"*, New York, Editorial Political Psychology.
4. ANON (1979) *Geologia Applicata E Idrogeologia*, Italy, stituto di Geologia Applicata e Geotecnica dell'Universita di Bari, Volume XIII-1978, pp. 418.
5. ANON (1979) *Hydrogeochemistry of Mineralized Waters, Conference of Cieplice Spa Poland*, Warsaw, Geological Institute, pp. 402.
6. BLANCO, R. (1981) *Mecánica de rocas*, Santiago de Cuba, Editorial Oriente.
7. BOWLESS, J. (1979) *Physical and geotechnical properties of soil*, Ciudad de la Habana, Editorial Pueblo y educación (Reimpresión). 1ra parte. pp. 2-5.
8. CALZADILLA, G. E. Y RICO RODRÍGUEZ, A. (1986) Trabajo de Diploma. Ciudad de la Habana, Editorial Departamento de edición ISPJAE.
9. CHEN, F. H. (1975) *Foundations on Expansive Soil. Development in Geotechnical Engineering 12*, New York, Elsevier Science Publishing Company.
10. CLINE, M. (1949) *Principios básicos de clasificación de suelo*, Soil Science.
11. COLECTIVO DE AUTORES (2005) *Selección de lecturas de metodología, métodos y técnicas de investigación social.* , Ciudad de la Habana, Editorial Félix Varela.
12. COLECTIVO DE AUTORES. (1993) *Firmes y Pavimentos*, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, IX Curso Internacional de Carreteras.

13. COSTET Y SANGLERAT (1969) *Cours Pratique de Mécanique des Sols*, París, Editorial Dunod, pp. 195, 567, 433-434, 452-453.
14. CSN-731001 (1973) Norma Checa de cimentaciones superficiales. 37 p
15. DAS, B. M. (1983) *Advanced soil mechanics*, Washington, Hemisphere Publishing Corporation.
16. DAS, B. M. (2000) *Principios de la ingeniería de cimentaciones*, Cimentaciones sobre suelos difíciles. México, International Thompson Editores. 4ta edición.
17. DASHKÓ, R. E. Y KAGÁN, A. A. (1980) *Mecánica de los suelos en la práctica de la geología aplicada a la ingeniería*, Moscú, Editorial Mir. 257 p.
18. DE LA, TORRE. Y FORNS (1976) Correlación entre el índice de compresibilidad C_c y el límite líquido de las arcillas cubanas. Ciudad de la Habana, Universidad de la Habana, Trabajo de Diploma.
19. DELGADO MARTÍNEZ, D. (1999) *Evaluación de la expansividad de los suelos arcillosos*, Tesis de Maestría.
20. DEPARTAMENTO TÉCNICO (1991) *Instructivo sobre parámetros y correlaciones geotécnicas requerido para el diseño de obras compatibilizadas*, ENIA.
21. DIN-1055 (1963) Deutsche Industrie Normen. , Cuaderno 2.
22. ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO COMPLEMENTARIO. Internet:www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/www/estaticas/urbanismo/las_aletas/anexo1.pdf. (consultado en mayo de 2008)
23. ESTÉVEZ, A. & RUÍZ, L. D. (1995) Material de estudio sobre las investigaciones geológicas para presas de tierra. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.

24. Geotecnia y Cimientos. En Internet: www.demecanica.com/Geotecnia/geotecnia.htm. (consultado en mayo de 2008)
25. GÓMEZ DEL VALLE, Y. (2007) Manual de laboratorio de Mecánica de Suelos. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
26. HELENELUND (1955) *Om konsolidering och sättningav belastade marklager*, Helsinki.
27. HOLTZ, W. G. (1959) "Expansive Clays: Properties and Problems" en *Quarterly of the Colorado School of Mines*, Vol. 54, No 4. pp. 89-125.
28. HOLTZ, W. G. (1970). "Suggested Method of Test for One Dimensional Expansion and Uplift Pressure of Clay Soils" en *Special Technical Publication 479*, American Society for Testing and Materials, pp. 35-40.
29. INSTITUTO DE INGENIERIA. En internet: www.stcp.unam.mx/memoria/anteriores/1994/ii.htm. (consultado en mayo de 2008)
30. IT-104 (1974) Clasificación de suelo y rocas en la práctica de ingeniería civil, Desarrollo Industrial.
31. JIMENEZ SALAS, J. A. ET AL. (1981) *Geotecnia y cimientos III. Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia*, Primera parte. Madrid, Editorial Rueda. 2da edición. 2 tomos. 2104 p.
32. JIMÉNEZ SALAS, J. A., JUSTO ALPAÑÉS, J.L, Y SERRANO, A.A. (1980) *Geotecnia y cimientos II. Mecánica del suelo y de las rocas.*, Madrid, Editorial Rueda. 1188 p.
33. JUÁREZ BADILLO, E., Y RICO RODRÍGUEZ, A. (1972) *Mecánica de suelos I y I*, La Habana, Editorial Pueblo y Educación. 2 tomos. .
34. KÉZDI (1962) *Erddruck theorien*, Berlín, Editorial Springer - Verlag, pp. 63-65, 35-36, 49, 50 56.

35. LADD, C. C., Y LAMBE, T.W (1961) *The Identification and Behavior of Compacted Expansive Clays*” en *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, Vol. I. pp. 20-205.
36. LAMBE, T. W. (1960) *The Character and Identification of Expansive Soils*” en *Soil PVC Meter, Publication 701*, Federal Housing Administration, Washington. pp. 17-19.
37. LAMBE, T. W. Y WHITMAN, R. V. (1999) *Mecánica de suelos*, México, Editorial Limusa. 2da edición.
38. LIMA, R. R. (1994) *Curso sobre Estructuras de Tierra*, Madrid, Editorial: Ministerio de Obras Publicas, Transporte y Medio Ambiente, Tomo II.
39. MAR, T. D. (1999) *Métodos de Investigación en suelos*, Madrid, Jornadas Técnicas de Taludes y Laderas.
40. MARLIN, C. (1949) *"Principios básicos de clasificación de suelo"*, Soil Science.
41. MECÁNICA DE SUELOS (T y P). En Internet: www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Cuarto%20Trimestre/GTV/Germ%E1n%20Gallardo/GTV-Introduccion.pdf. (consultado en abril de 2008)
42. MECÁNICA DEL SUELO Y CIMENTACIONES. En Internet: www.libreriadelauned.es/guias/52/525816.pdf. (consultado en abril de 2008)
43. MENZENBACH, E. (1968) *El Papel de la Mecánica del Suelo en la ingeniería Civil*, La Habana, Centro de información científica y técnica, Universidad de la Habana.
44. MEYERHOF, G. G. (1956) *Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils*, *Journal of the soil mechanics and foundation division*, ASCE, Vol. 82, No. SM1, January, pp. 1-19.

45. MOUSSA (1961) *Die Zusammendrückbarkeit von Sand*, Dissertation, Mitteilungen institut VG B, 23, TH Aachen.
46. NC # 53-110:2003: Diseño de pavimentos flexibles.
47. NISHIDA (1956) *A Brief Note on Compression Index of Soil*, en *ASCE Journal*, SM-3, pp. 1027.
48. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS A PARTIR DE ENSAYOS. En Internet: www.asq.geotecnia.com/pdf/Ingeoter9capi2final1.pdf. (consultado en junio de 2008)
49. PANECA, N. C. & SUÀREZ, M. C. (1996) Material de estudio sobre las investigaciones ingeniero-geológicas para obras hidráulicas y viales. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
50. PECK,; HANSON Y THORNBURN (1953) *Foundation Engineering*, New York, Editorial J. Wiley, pp. 29, 109, 222, 225.
51. PÉREZ ROMERO, J. (2002) "Introducción a la mecánica del suelo parcialmente saturado". (curso) en Internet http://www.ugr.es/~joperez/files/tema1_sms_01.pdf. (consultado en abril de 2008).
52. POUSADA PRESA, E. (1984) Deformabilidad de las arcillas expansivas bajo succión controlada. Madrid, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Centro de Estudios de Experimentación de Obras Públicas. pp. 269
53. QUEVEDO, G. E. A. (2001) "Anteproyecto de norma cubana de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales" en Formato digital, Universidad Central de Las Villas, Facultad de Construcciones.
54. QUEVEDO, G. Y LIMA, R. (1983) "Guía de estudio de mecánica de suelos", Editado por UCLV. 170 p.

55. RAMÍREZ, A. (1989) *Identificación de los suelos expansivos* en *Alternativas Tecnológicas 29*, México, Academia Mexicana de Ingeniería, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
56. RANGANATHAM, B. V. Y SATYANATAYANA, B. (1965) "*Rational Method of Predicting Swell Potential for Compacted Expansive Clays*" en *6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. I. pp. 92-96.
57. RODRÍGUEZ ESCRIBANO, R. (2003) *Aplicación de los ensayos de penetración dinámica en estudios geotécnicos*. GEOPRIN. Madrid.
58. SABELLI, A. R., E. Y RAGO, W (2002) "Informe de avance nº5. Relaciones tensión-deformación-tiempo. Compresibilidad de estratos confinados" en Internet <http://www.carreras.frba.utn.edu.ar/civil/geotecnia/Informe%20sobre%20Consolidacion.PDF> (consultado en abril de 2008).
59. SANTACANA, N. (2001) "Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. En Internet http://www.tdx.cbuc.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0713101-113341/ (consultado en mayo de 2008).
60. SCHMERTMANN (1970) *Proceeding, ASCE Journal*, SM-3.
61. SCHULTZE Y MUHS (1967) *Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten*, Berlín, Editorial. Springer Verlag, pp. 180, 390.
62. SEED, H. B., MITCHELL, J.K, Y CHAN, K.K (1962) *Studies of Swell and Swell Pressure Characteristics of Compacted Clays*, en Bulletin 313, Highway Research Board, Washington. pp. 12-39.
63. SEED, H., WOODWARD, K.J. Y LUNDGREN, R (1962) *Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays*, en Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E., Vol. 88, SM3. pp. 53-87.

64. SHELL, H. (1975) *River Mechanics*, Volume I and II. H.W. Shen, Fort Collins, CO.
65. SKEMPTON (1944) *Notes on the Compressibility of Clays*, J. Geol., Vol. C, Quarterly, pp. 119-135.
66. SKEMPTON (1953) *Compressibility of Clays*, J. Geol
67. SNETHEN, D. R. & HUANG, G. (1992) "Evaluation of Soil-Suction Heave Prediction Methods" en *Proceedings of the 7th International Conference on Expansive Soils*, Texas.
68. SNETHEN, D. R., ET AL. (1975) "An Evaluation of Methodology for Prediction and Minimization of Detrimental Volume Change of Expansive Soils in Highway Subgrades", Federal Highway Administration.
69. SNIP-2.02.01 (1983) "Bases de edificios y construcciones". Moscú: Gostroi (en ruso).
70. SNIP-II-15-74 (1974) "Bases de edificios y construcciones. Norma de Proyecto". Stroizdat, Moscú, (en ruso).
71. SNIP-II-B.1-62 (1962) *Stroitelnie Norm i Pravila*.
72. SOETERS, R. (1995) "Clay Properties and Behaviour" en *Handout Principles of Engineering Geology* Holland.
73. SOETERS, R. (1995) "Clays Properties and Behaviour" en *Principles of Engineering Geology (Conferencias sobre Ingeniería Geológica)*, Holland.
74. SOROCHAN, E. A. (1970) "Certain Regularities of the Swelling of Soils" en *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Indian National Society, Vol. 9, No 3. pp. 293-304.
75. SOWERS, G. F., Y SOWERS, G.B (1972) *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*, Madrid, Editorial Limusa-Wiley, S.A. Primera edición española. 656 p.
76. TERZAGHI, K., PECK, R. B. A. Y MESRI, G. (1996) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, New York, Editorial Third, John Wiley and Sons.

77. TERZAGHI, K., Y PECK, R.B (1948) *Soil mechanics in Engineering Practice*, Wiley, New York, 1ra edición.
78. TERZAGHI, K., Y PECK, R.B (1967) *Soil mechanics in Engineering Practice*, Wiley, New York, 2da edición.
79. VIJAYVERGIYA, V. N. Y GHAZZALY, O. I. (1973) "Prediction of Swelling Potential for Natural Clays" en *Proceedings of the 3rd International Conference on Expansive Soils*, Haifa, Vol. I. pp. 227-236.

ANEXOS

Anexo I

Encuesta realizada a Profesores.

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

INTRODUCCIÓN:

La siguiente encuesta es parte de la valoración que se realiza en la actualidad sobre el manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles, su criterio es muy importante para el futuro desarrollo del mismo. Lea detenidamente y luego llene la encuesta con sus valiosos criterios.

Esperamos su cooperación.

Muchas Gracias.

Datos Generales del Especialista:

- Nombre y Apellidos: _____
- Centro de Trabajo: _____
- Especialidad: _____
- Categoría Docente: _____
- Categoría Científica: _____
- Años de experiencia como profesional: _____
- Años de experiencia en la docencia: _____

PREGUNTAS:

1. ¿Considera usted necesaria la elaboración y aprobación de un manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles?

SI _____ NO _____

¿Por qué?

2. ¿Para el caso de la inferencia de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño en etapas iniciales de proyecto se elaboró un manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles, considera usted necesario proponer la aprobación del mismo?

SI _____ NO _____

¿Por qué?

3. Para el uso del mismo. ¿Responde el manual a la obtención de parámetros y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño?

SI _____ NO _____

¿Por qué?

4. Para el caso de la redacción del manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles. ¿Podría usted brindar algunas sugerencias de cómo redactar el mismo?

5. ¿El contenido del manual es claro y se encuentra debidamente organizado?

SI _____ NO _____

¿Por qué?

6. ¿La cantidad de información en el mismo facilita su entendimiento y uso?

SI _____ NO _____

¿Por qué?

7. ¿Considera usted que el manual brinda recomendaciones con respecto a los temas tratados?

SI _____ NO _____

¿Por qué?

8. Plantee las dificultades fundamentales que presenta el manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles.

9. Diga las principales ventajas que usted considera en la utilización del manual como material de apoyo a la docencia.

Anexo II

Encuesta a los especialistas.

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

Usted ha sido seleccionado para valorar por criterio de especialistas la calidad y estructura del manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles a partir de un conjunto de indicadores establecidos.

Indicadores Generales:

- 1) Correspondencia de los criterios establecidos en la bibliografía nacional e internacional recogidos en el manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles.
- 2) Adecuada justificación teórica-metodológica del manual.
- 3) Contribución del manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles, a la inferencia y determinación de las propiedades para la realización de proyectos más seguros y económicos.
- 4) Nivel de actualización y novedad científica del tema abordado.
- 5) Valor práctico y teórico-metodológico.

Anexo III

Manual de propiedades y correlaciones geotécnicas requeridos para el diseño de obras civiles.