



Revista de Arquitectura e Ingeniería

E-ISSN: 1990-8830

melena-torrensp@empai.co.cu

Empresa de Proyectos de Arquitectura e
Ingeniería de Matanzas
Cuba

Hernández Delgado, Pedro A.

La caracterización geotécnica del terreno. Un enfoque moderno
Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 3, núm. 1, abril, 2009
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas
Matanzas, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193915041003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La caracterización geotécnica del terreno. Un enfoque moderno.



Lic. Ing. Pedro A. Hernández Delgado
Director Técnico y Desarrollo
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería
Miembro UNAICC
Tel: (45) 291802, Ext. 210
Pedro-Hernandez@empai.co.cu

Recibido: 31-11-08

Aceptado: 26-01-09

RESUMEN :

El desarrollo constructivo durante el período revolucionario, ha originado una considerable cantidad de investigaciones geotécnica en todo el país, sobre todo en aquellas ciudades y territorios de importante desarrollo social, turístico o industrial. Esta información, en general, ha sido poco procesada con el objetivo de obtener caracterizaciones geotécnicas del terreno que faciliten y abaraten la realización de investigaciones para nuevas obras o planes de desarrollo. Los intentos fundamentales realizados en este aspecto han estado dirigidos a la caracterización ingeniero – geológica de ciudades y zonas de interés económico, pero con muy poca precisión de sus características geotécnicas.

Por otra parte, la necesidad de poder aplicar las modernas técnicas de procesamiento de datos, que el desarrollo de la computación hoy nos facilita, hace necesario un enfoque moderno del conocimiento del terreno, para lo cual nos hemos basados en los conceptos de la Teoría de la Información y en la Teoría de los Sistemas, conjuntamente con los métodos estadísticos y un enfoque matricial para la realización de la caracterización del terreno.

La caracterización geotécnica del terreno y la propuesta de un esquema metodológico para su realización, son los objetivos principales que nos hemos propuesto en este artículo.

Palabras claves: Geotécnica, Teoría de la Información, Teoría de los Sistemas

ABSTRACT:

The constructive development during the revolutionary period, it has originated a considerable quantity of investigations geotechnical in the whole country, mainly in those cities and territories of important social, tourist or industrial development. This information, in general, it has been little processed with the objective of obtaining characterizations geotechnical of the land that facilitate and reduce the realization of investigations for new works or development plans. The fundamental intents carried out in this aspect have been directed to the characterization engineer geologic of cities and areas of economic interest, but with very little precision of their characteristic geotechnical.

On the other hand, the necessity to be able to apply the modern techniques of prosecution of data that the development of the calculation today it facilitates us, he/she makes necessary a modern focus of the knowledge of the land, for that which we have based ourselves on the concepts of the Theory of the Information and in the Theory of the Systems, jointly with the statistical methods and a focus matricidal for the realization of the characterization of the land.

The characterization geotechnical of the land and the proposal of a methodological outline for their realization, they are the main objectives that we have intended in this article.

Key words: Investigations geotechnical, Theory of the Information, Theory of the Systems

Introducción:

El desarrollo constructivo durante el período revolucionario, ha originado una considerable cantidad de investigaciones geotécnica en todo el país, sobre todo en aquellas ciudades y territorios de importante desarrollo social, turístico o industrial. Esta información, en general, ha sido poco procesada con el objetivo de obtener caracterizaciones geotécnicas del terreno que faciliten y abaraten la realización de investigaciones para nuevas obras o planes de desarrollo. Los intentos fundamentales realizados en este aspecto han estado dirigidos a la caracterización ingeniero – geológica de ciudades y zonas de interés económico, pero con muy poca precisión de sus características geotécnicas.

Por otra parte, la necesidad de poder aplicar las modernas técnicas de procesamiento de datos, que el desarrollo de la computación hoy nos facilita, hace necesario un enfoque moderno del conocimiento del terreno, para lo cual nos hemos basados en los conceptos de La Teoría de la Información y en la Teoría de los Sistemas, conjuntamente con los métodos estadísticos y un enfoque matricial para la realización de la caracterización del terreno.

La caracterización geotécnica del terreno y la propuesta de un esquema metodológico para su realización, son los objetivos principales que nos hemos propuesto en este artículo.

Desarrollo:

Los Métodos del Análisis Sistémico.

En la década del 60, surgió un conjunto de métodos y medios que se emplean al investigar o construir objetos complejos y supercomplejos, ante todo, de métodos de formalización, adopción y fundamentación de las decisiones, al diseñar, crear y controlar diferentes tipos de “sistemas”, entre los que están comprendidos los técnicos. Este conjunto de métodos y medios recibieron el nombre de Métodos Sistémicos de Investigación. Un sistema, es un conjunto de subsistemas y elementos que se combinan en forma ordenada, mediante relaciones y conexiones entre sí, y que forman una determinada integridad, unidad y fin determinado.

Al aplicar el análisis sistémico, al proceso de diseño de una obra o construcción, obtenemos importantes ventajas que facilitan lograr la optimización de la obra en su totalidad. Este enfoque se diferencia del tradicional, en que esta considera la obra como superposición sucesiva de los proyectos de las diversas partes que lo integran, sin tener en cuenta sus relaciones y conexiones, aspectos que si se tienen en cuenta en el análisis sistémico.

Una importante etapa de los métodos del análisis sistémico es la construcción de un modelo generalizado, o una serie de modelos, del sistema que se investiga o se diseña, modelo en el que se tengan en cuenta todas las variables esenciales del sistema. El proceso mediante el cual se construye el modelo se denomina modelación. Por modelación entendemos la reproducción de las propiedades y relaciones del objeto que se investiga o diseña en otro análogo que se construye según determinadas reglas. Este objeto análogo es un modelo. La modelación será una de las herramientas fundamentales utilizadas por nosotros en nuestra investigación.

Las bases técnicas y metodológicas del análisis sistémico son el enfoque sistémico y la teoría general de los sistemas. El enfoque sistémico tiene como función elaborar los métodos de investigación y construcción de objetos de organización compleja, como son los grandes sistemas técnicos, haciendo énfasis en que las propiedades del sistema integro no se determinan solo por la suma de sus elementos, sino por el conjunto de sus propiedades y las conexiones formadoras de sistemas, que pasan al objeto de estudio.

El enfoque sistémico atribuye sustancial significación a aclarar el carácter probabilístico de los sistemas complejos, el cual no es una consecuencia de la falta de detalles de los sistemas

considerados, provocada por la existencia de limitaciones en nuestro conocimiento de los pormenores de su estructura y el desarrollo de estos sistemas. En realidad el carácter probabilístico de estos sistemas es un reflejo de la naturaleza de los sistemas que los componen, como consecuencia de su diversidad y masividad.

Otro aspecto del enfoque sistémico consiste en que los objetos sistémicos no permanecen indiferentes ante el proceso de su investigación y en muchos casos puede ejercer sobre el mismo una influencia sustancial.

La teoría general de los sistemas aporta la concepción científica y lógico–metodológica de investigación de los objetos que constituyen sistemas, y es una concreción de los principios y métodos del enfoque sistémico.

Las definiciones de los conceptos con anterioridad expuestos nos permiten argumentar la decisión de utilizar el análisis sistémico, con sus bases teóricas y metodológicas, como método en el diseño e investigación de construcciones u obra. Como confirmación de esta hipótesis se puede considerar la casi total coincidencia de la definición de sistema por nosotros adoptadas, y la dada por Meli Piralla, en su libro Diseño Estructural, referida por nosotros en el exordio de este capítulo.

El análisis de un sistema toma formas diferentes en dependencia del carácter del objeto estudiado. Una premisa del análisis sistémico es la necesidad de tener un conocimiento integral del objeto a estudiar.

Al investigar un objeto o fenómeno complejo, es necesario descomponerlo en elementos más simples, lo que permite separar lo esencial de lo no esencial y reducir lo complejo a lo simple. Este proceso de desmembramiento de un objeto o fenómeno en sus partes se denomina *análisis*. En dependencia de la característica de lo investigado el análisis adopta formas distintas. Una forma del análisis del objeto investigado es su clasificación. La finalidad del análisis consiste en conocer las partes como elementos de un todo complejo, es decir, ordenarlo. Por el contrario, la *síntesis* es el proceso de unificación en un todo único y coherente, de las propiedades y relaciones segregadas por medio del análisis. Avanzando de lo idéntico y lo esencial a la diferencia y la diversidad, la síntesis une lo general y lo singular, la unidad y la diversidad en un todo concreto. El análisis y la síntesis, son métodos del proceso de investigación de los objetos de la naturaleza, y serán herramientas fundamentales a emplear en el proceso de conocimiento del terreno.

La obra o construcción considerada como un sistema.

Al concebir una obra o construcción, como un sistema, es necesario realizar un análisis de su composición, es decir, determinar los subsistemas que la integran. Todo sistema puede ser considerado como elemento de un sistema de orden más alto, es decir, jerárquicamente superior, y al mismo tiempo, sus elementos pueden constituir un sistema de orden inferior. Teniendo en cuenta una escala jerárquica, podemos considerar que una obra esta compuesta por los siguientes tipos de subsistemas: generales, ramales, subramales y específicos, pudiendo este último, a su vez, por una o varias escalas jerárquicas, hasta llegar a los elementos. Estos últimos son aquellos que pueden ser considerados como un todo. La obra o construcción, constituye el sistema general y es, a su vez, el sistema de mayor orden jerárquico. El sistema obra esta integrado, principalmente, por los sistemas ramales:

- Arquitectura
- Movimiento de tierra
- Estructura
- Electricidad
- Hidrosanitaria
- Mecánica
- Otros

Estos sistemas, a su vez, se integran por los sistemas subramales. Por ejemplo, el sistema hidrosanitario se divide en hidráulica y sanitaria. Otro ejemplo, es el sistema estructural, que consiste en aquella parte de la construcción que absorbe las solicitaciones que se presentan durante las distintas etapas de su existencia, garantizando, como requisito esencial, que la construcción no sufra fallas o mal comportamiento que afecten su funcionamiento. Es el sistema estructural, el que abarca los elementos, procesos y fenómenos que son motivos de

nuestro interés para el proceso de caracterización geotécnica de un terreno, razón por la cual profundizaremos en su conocimiento.

Toda estructura puede ser considerada compuesta por dos sistemas, de tipo subramal: subestructura y superestructura. Por subestructura consideraremos aquella parte de la estructura que interactúa con el terreno, a diferencia de superestructura que no interactúa con el terreno.

La subestructura y la superestructura están compuestas por sistemas específicos, como por ejemplo son, para la primera, los sistemas de cimientos, zapatas y muros de contención de tierra; mientras que la segunda la integran los sistemas de columnas, losas y arriostres.

Cada uno de los sistemas específicos esta compuesto por un conjunto de elementos cuya estructura interior no influye para el propósito o fin de la obra en general, estos elementos son especies de átomos, a partir de los cuales, mediante un proceso de integración o síntesis, vamos construyendo los diferentes sistemas, cada vez más complejos, hasta llegar al sistema general u obra. Al igual que los átomos reales en la Física, estos elementos pueden tener una estructura interna más o menos complicada, aunque constituyan un todo para la obra. Ejemplifiquemos lo anterior, el sistema de los cimientos esta compuesto por los tipos de cimientos que lo componen, siendo considerando cada uno de ellos como un elemento, sin tener en cuenta su estructura interna: la piedra, la arena el cemento, etc., pero si teniendo en cuenta sus relaciones con el resto de los elementos del sistema, con los cuales interactúa.

El diseño y los métodos del análisis sistémico.

Con anterioridad hemos expuesto como mediante el análisis sistémico de una obra o construcción, podemos realizar un proceso de desmembramiento en sus partes integrantes: sistemas, subsistemas y elementos, y como a partir de un proceso de recomposición de las partes para obtener el sistema general o todo, es decir, la obra. Toda obra o construcción, como producto creado por el hombre, necesariamente tiene que pasar por un proceso de materialización, mediante el cual se reflejen las ideas y conocimiento de la mente humana, que contribuyen a su realización. Este proceso, en nuestro caso, se denomina diseño. El diseño abarca el conjunto de actividades que desarrollan los proyectistas o diseñadores, con el objetivo de materializar, de forma concreta, cada uno de los elementos y sistemas que compone la obra.

El diseño, por sí mismo, constituye un proceso de análisis y síntesis, mediante el cual, a partir del análisis del conjunto de premisas establecidas para cada sistema y sus elementos integrantes, y para las relaciones entre ellos, se obtienen un conjunto de soluciones, las cuales, mediante un proceso de síntesis, permiten diseñar los elementos y sistemas que componen la obra.

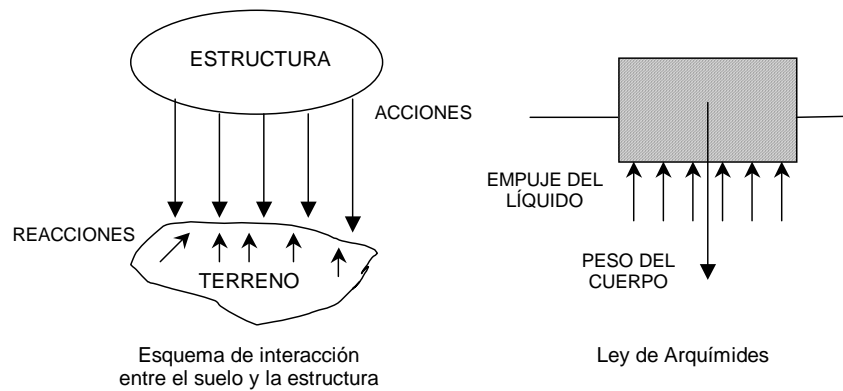
Al diseñar una obra es necesario diseñar cada uno de los sistemas y subsistemas que lo componen de forma tal que el diseño total o general satisfaga, óptimamente, los fines y metas establecidos. Este proceso se desarrolla dentro de un conflicto de intereses entre las diferentes partes que lo componen. Estos antagonismos, manifestados en forma de contradicciones cuantitativas y cualitativas, regulan el proceso de diseño y pueden ser considerados como problemas que son necesarios resolver en el proceso de búsqueda de un diseño, óptimo y seguro, del sistema general. Lo anterior es válido, también, para los conflictos en los cuales la obra, como un todo, interactúa con otros subsistemas externos. Como resumen, podemos afirmar que nos basta sólo resolver los problemas del diseño de cada uno de los sistemas, subsistemas y elementos que componen una obra, sino que es esencial, además, resolver, óptimamente, los problemas que se originan como consecuencia de las contradicciones entre las diferentes partes integrantes de una obra y las que se originan entre ellas y otros sistemas externos.

Para la solución de la problemática anterior el método del análisis sistémico propone el empleo de los métodos de modelación para cada uno de los sistemas y elementos que componen un todo y para los problemas de interrelación que surgen entre las partes componentes.

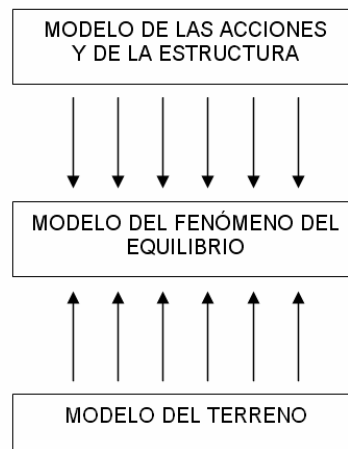
Los métodos sistémicos aplicados al conocimiento del terreno.

Como todo sistema artificial, creado por el hombre, la obra o construcción interactúa con la naturaleza que la rodea, y en particular con el terreno que le sirve de sustento a través de la subestructura. En realidad la subestructura es el sistema responsable de la de interacción entre la superestructura y el terreno.

Las acciones que ejercen la estructura sobre el terreno, a través de la subestructura, son equilibradas por un conjunto de reacciones que ejerce el terreno sobre los elementos de la subestructura y condicionan su diseño. La forma y magnitud de estas reacciones dependen de las propiedades y características del terreno. Podemos afirmar que estamos en presencia de un fenómeno de equilibrio entre la estructura y el terreno, regido por una especie de Ley de Arquímedes generalizada, fenómeno que representamos a continuación:

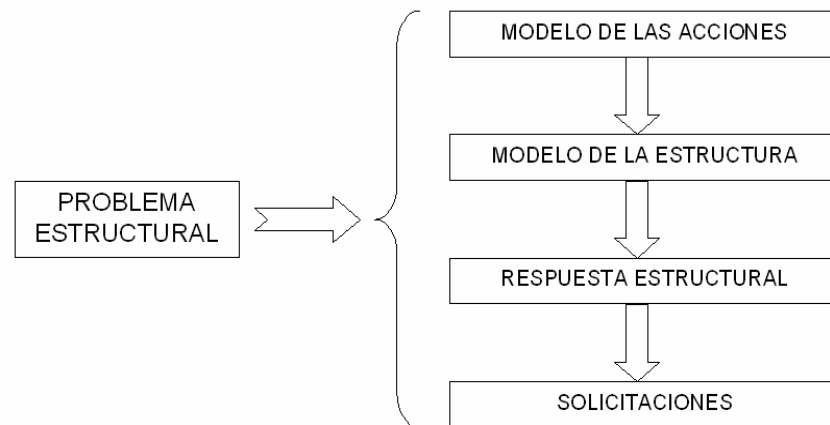


El fenómeno de interacción entre la estructura y el terreno, puede ser representado de forma lógica, por medio de la interacción entre el modelo de las acciones de la estructura con el modelo del terreno, mediante un modelo del fenómeno del equilibrio entre ellos:



Esquema de interacción entre los modelos de la estructura y el terreno

La función de la estructura es soportar las solicitaciones que se derivan del funcionamiento de la construcción, es decir, soportar las acciones que le ocasionan deformaciones, desplazamientos y daños, todo lo que constituye una respuesta a dichas acciones. Por acciones entendemos los agentes externos que inducen en la estructura fuerzas internas, esfuerzos y deformaciones. El problema del diseño estructural consiste en determinar la respuesta de la estructura frente a las acciones que sobre ella actúan, de forma tal que su respuesta sea asimilada por los elementos componentes de la estructura de manera segura, es decir sin la aparición de daños que la afecten de una u otra forma. La respuesta está representada por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento frente a las acciones que le son aplicadas, las cuales comúnmente denominamos solicitaciones.



Por terreno entendemos aquella parte de la superficie terrestre que interactúa o es posible que interactúe con una construcción u obra. Existen dos tipos de terrenos universalmente reconocidos: rocas y suelos. Aceptando las definiciones de ellos dadas por Sowers y Sowers, p. 23, "... entendemos por suelo, en ingeniería, cualquier tipo de material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. Los suelos son extremadamente variados, pero en general se clasifican en arenas, arcillas, limos, y turbas, con sus correspondientes mezclas. Por roca, en ingeniería, se entiende todo material endurecido que para excavarlo se necesita usar taladros, cuñas, explosivos y otros procedimientos de fuerza bruta. La línea divisoria entre suelo y roca no siempre está totalmente definida, pero la resistencia a compresión mínima que puede caracterizar a una roca es de 1.4 Mpa. ..."

La diversidad es una característica inherente del terreno, es en realidad un rasgo intrínseco, independiente del grado de su conocimiento que podamos tener en una situación determinada. Esta importante característica del terreno dificulta extraordinariamente su conocimiento, a diferencia de los materiales de construcción creados artificialmente por el hombre, como son el acero y el hormigón, etc., para los cuales sus propiedades y características están prefijadas dentro de rangos determinados por los procesos tecnológicos para su elaboración.

Para conocer las propiedades y características del terreno es necesario realizar una exploración de su interior, mediante el empleo de algún método de exploración. Los datos así obtenidos representan las propiedades y características de un conjunto de puntos de la masa del terreno, que constituyen una muestra del colectivo micro – mecánico que conforma la masa del terreno. Producto de esta diversidad, los valores obtenidos pueden ser considerados independientes, es decir, la relación entre ellos es casual, pudiéndose considerar que no existe una dependencia o vínculos entre ellos. Lo anterior expuesto es la razón del carácter probabilístico del terreno. Es importante destacar que en ocasiones "la teoría de las probabilidades se define como teoría que estudia las leyes cuantitativas de los fenómenos masivos o colectivos estadísticos".

El terreno, dado su carácter complejo, producto de su gran diversidad, puede ser estudiado también por los métodos y medios del análisis sistémico. A diferencia de una construcción, en la cual el análisis sistémico se aplica en el sentido del diseño, en el terreno, el análisis sistémico se aplica en el sentido investigativo, ya que estamos en presencia de un objeto de la naturaleza que es necesario conocer.

La modelación del diseño.

De forma más amplia, podemos considerar al diseño en la construcción, como el proceso mediante el cual, a partir de un grupo de premisas establecida para satisfacer determinadas necesidades del hombre, se obtiene como resultado el prototipo o modelo de una obra o construcción.

En la actualidad el desarrollo y generalización del uso de las computadoras, de la cibernética y la teoría de la información, conjuntamente con el de la matemática moderna y su aplicación al desarrollo científico – técnico en general, ha dado preferencia, entre otros, al empleo del método de la modelación en la solución de los problemas de la ingeniería aplicada. La modelación es uno de los métodos más antiguos de investigación, y esta incluida en los trabajos de Vitruvio, y muy destacadamente en los de Leonardo da Vinci.

La modelación se caracteriza por su diversidad de forma y tipos. Por ejemplo, para construir una obra o construcción se crea previamente un modelo, en cuyo proceso de desarrollo se realizan un grupo de diferentes cálculos y deducciones, que se reflejan en dibujos y documentos y, posteriormente, mediante los procedimientos de la teoría de la semejanza y de las dimensiones, se realiza la ejecución de la obra. Este tipo de modelación se denomina “modelación técnica”. Si la investigación de un objeto de la naturaleza, permite determinar un conjunto de dimensiones por medio de las cuales podemos representar al objeto gráficamente y a una escala determinada, estamos en presencia de una modelación Gráfica. En los casos, en que el conocimiento de un fenómeno determinado, como puede ser, el hundimiento de un cimientado en el terreno por la acción de un conjunto de acciones actuantes, elaboramos un procedimiento algorítmico que lo representa, estamos en presencia de una Modelación Algorítmica.

Definiremos como modelación: “... al método que opera en forma práctica o teórica, con un objeto, no en forma directa, sino utilizando un cierto sistema intermedio auxiliar, natural o artificial, el cual:

1. Se encuentra en una determinada correspondencia objetiva con el objeto mismo del conocimiento;
2. En ciertas etapas del conocimiento, esta en condición es de sustituir, en determinadas relaciones, al objeto mismo que estudia;
3. En el proceso de su investigación, ofrece en última instancia, información sobre el objeto que nos interesa.

Este sistema auxiliar intermediario puede ser un sistema real o artificial (un agregado o un sistema de signos).

El rasgo principal que caracteriza la modelación y su diferencia con los demás métodos y procedimiento del conocimiento, es que en el proceso de modelación el conocimiento parece ser trasladado temporalmente del objeto que nos interesa a un “*cuasi objeto*” intermedio auxiliar: *El modelo*.

El diseño geotécnico.

La interacción entre la estructura y el terreno, es resuelta mediante un modelo del fenómeno del equilibrio entre ellos, que permite el diseño del elemento físico que realiza esta interacción, manifestándose en dos aspectos: el relacionado con su forma y dimensiones, y el relacionado con su reforzamiento. El primer aspecto es denominado *diseño geotécnico*, y es el procedimiento mediante el cual elaboramos el prototipo del elemento que garantiza la interacción entre la superestructura y el terreno. El diseño geotécnico, depende del tipo de

problema que sea necesario resolver, entre los cuales tenemos: empujes de tierras, cimentaciones indirectas, cimentaciones superficiales, etc.

En nuestro caso nos interesa las cimentaciones superficiales, siendo el elemento físico de interacción entre la superestructura y el terreno: el cimiento. En este caso, el diseño geotécnico de cimentaciones, permite determinar el área de la base de los cimientos, la profundidad de cimentación y el carácter de la base (natural o artificialmente mejorada), garantizando el correcto equilibrio estructura – terreno.

El otro aspecto del diseño, denominado diseño estructural, determina el peralte; la cuantía, el diámetro, la cantidad de barras y la posición del refuerzo, en caso que este sea necesario.

El diseño geotécnico se realiza según el principio de la modelación física o según el principio de la modelación matemática. En el primer caso el modelo tiene una naturaleza física similar al proceso de equilibrio estructura – terreno, como ocurre cuando realizamos un ensayo de carga o placa; y en el segundo caso, cuando su naturaleza es distinta, es descrito el proceso mediante un algoritmo de cálculo, cuyos parámetros se determinan a partir de del conocimiento del terreno, es decir, a partir de un modelo del terreno y de un modelo de las solicitaciones que actúan sobre los cimientos, obtenido como la respuesta estructural de las estructuras a las acciones que sobre ellas inciden.

La modelación del terreno.

La imposibilidad de obtener toda la información necesaria sobre el terreno que garantice su completo conocimiento, como consecuencia de su inaccesibilidad, grandes cantidades de recursos etc., se hace necesario elaborar un modelo del terreno, lo más parecido al original, y que refleje sus principales características, relaciones, estructura y propiedades.

El proceso de modelación del terreno comprende dos aspectos fundamentales:

1. Modelación gráfica o geométrica.
2. Caracterización del terreno.

Ambos aspectos se complementan e interactúan en el proceso de modelación del terreno, solucionándose las contradicciones que surgen entre ellos.

La modelación gráfica o geométrica del terreno nos permite diferenciar las capas o estratos, tanto en el sentido horizontal, como en el vertical, determinándose el espesor y profundidad de las superficies que delimitan dichas capas o estratos. Los resultados de la modelación gráfica se expresan mediante columnas litológicas, descripciones, perfiles estratigráficos y bloques – diagramas.

La caracterización del terreno.

Por *caracterización* entendemos la “enumeración de algunas propiedades internas sustanciales de un objeto”. Conjuntamente con la *comparación* y la *descripción*, ella forma parte del conjunto de métodos que permite conceptualizar a una clase de objetos o fenómenos. La *comparación*, es la confrontación de objetos el fin de poner de manifiesto los rasgos de semejanzas o de diferencias entre ellos. La *descripción*, es la enumeración de los rasgos externos de un objeto con el fin de distinguirlo, en forma no rigurosa, de los objetos parecidos, incluyendo indicios tanto sustanciales como insustanciales. Ellos constituyen los recursos que complementan, y a veces sustituyen, como en el caso del terreno, la definición del concepto. Por concepto entendemos “una de las formas del reflejo del mundo en el pensar, mediante la cual se entra en conocimiento de la esencia de los fenómenos y procesos, se generalizan los aspectos y características fundamentales de los mismos”. El empleo de estos métodos, permite conocer de modo más conciso a un objeto o fenómeno, lo cual contribuye a comprender mejor su esencia.

En nuestro caso el objeto que queremos conocer es el terreno. Por caracterización del terreno entendemos, el método mediante el cual se determinan y precisan sus características inherentes, es decir, sus propiedades, contribuyendo a la definición del modelo específico del

terreno. Por definición entendemos el procedimiento lógico que permite distinguir, encontrar, construir, cualquier objeto, y formular el significado del nuevo termino o especificar el del término ya existente.

La caracterización del terreno no es única, en realidad es diversa, pues los diferentes tipos de caracterización están condicionados, fundamentalmente, por la naturaleza del terreno (arcilla, arena, roca, etc.) y por los objetivos que se persiguen, aspecto, este último, denominado *criterio de actividad*. Por ejemplo un mismo terreno puede ser caracterizado diferentemente como material de construcción para un terraplén o como soporte de las cimentaciones de un edificio.

La caracterización, como conceptualización, comprende dos importantes aspectos relacionados entre sí: la extensión y el contenido. El primero comprende la clase de los objetos generalizados en la caracterización; el segundo, es el conjunto de los caracteres que se han tomado como puntos de referencia para generalizar y circunscribir los objetos en una caracterización dada. El contenido esta relacionado con la información del objeto. Por ejemplo, al caracterizar el terreno por sus propiedades físicas: densidad, plasticidad, compacidad, composición granulométrica, etc., estas constituyen el contenido de la caracterización. Las clases de terrenos que se determinan a partir de estas propiedades: arcillas, arenas, rocas, etc., constituyen la extensión de la caracterización.

Entre el contenido y la extensión existe un nexo, que en la lógica formal se expresa por medio de la "ley de la relación inversa". Esta ley se puede formular de la siguiente manera: Cuanto más amplia es la extensión del objeto, tanto más estrecho es su contenido, y viceversa. Esta ley rige el tipo de proceso de generalización y limitación en virtud del cual se forman, respecto a un concepto inicial, conceptos genéricos y específicos, respectivamente.

La información y el Terreno. El concepto de información.

La Teoría de la Información fue formulada en el año 1948, por el Ing. Claude E. Shannon. En su formulación inicial, esta teoría es de un alcance muy restringido, abarcando solo los aspectos relacionados con la elaboración de las características rigurosas, poseedoras de forma de expresión matemática, de los flujos de mensajes, señales y canales de comunicación, todo dentro del campo de las comunicaciones. Sin embargo el desarrollo de la electrónica, la cibernética y la propia comunicaciones, provoco, en la segunda mitad del siglo XX, que sus principios se generalizaran a otras ramas de la ciencia y en general a las ciencias del conocimiento.

Desde los comienzos mismos de la teoría de la información, esta se apoyó en el lenguaje de la teoría de las probabilidades, como consecuencia del hecho que la transmisión de mensajes, en términos generales, posee un carácter masivo, y una estructura estadística, probabilística. Estos importantes aspecto, como vimos con anterioridad, son un reflejo de la estructura compleja y diversa del terreno. Es por esta razón, que hemos considerado, como muy conveniente, la aplicación de la teoría de la información, al conocimiento del terreno.

Existen muchas definiciones del concepto de información, desde la más general, que es la filosófica: la información es la reflexión del mundo real; hasta la más estricta: La información incluye todos los datos que son objetos de almacenamiento, transmisión y transformación.

Desde el punto de vista de la filosofía Marxista "La información es considerada como la característica de la propiedad general de la materia que se denomina variedad". Tal interpretación se halla en correspondencia completa con el conocido postulado de V. I Lenin acerca de que toda materia posee propiedades de reflexión además ella revela exactamente las relaciones mutuas entre los " conceptos de información y " reflexión".

La información es la variedad reflejada. En la noción de *reflexión* la atención se centra en la reproducción del contenido en general, mientras que en el concepto de *Información*, la atención se centra en la reproducción de uno de sus aspectos, es decir, en la variedad. Por consiguiente el concepto de *reflexión* es más amplio y más rico en su contenido. Es importante comprender que la información no es la suma mecánica del reflejo y la variedad, sino la intervenculación de

ambas. Es un concepto que reúne, lo que estaba separado, y lo integra en una cosa nueva que contiene ya algo nuevo.

En otras palabras, la información es la disminución de la incertidumbre. Para producir u obtener información, es imprescindible, ordenar ciertos elementos. Cuanto más complejo sea un objeto más difícil es conocerlo, para lo cual es necesario obtener mayor información.

La información es uno de los conceptos fundamentales de la Teoría de la Información, y es la noción central de la Cibernética, con la cual no debe ser confundida. La cibernética está vinculada, ante todo con el problema de la dirección, siendo lo más importante para ella “ La transformación, el procesamiento de la información destinada al cumplimiento de un objetivo definido, vinculado con la dirección. La dirección no es posible sin la percepción, transmisión y, lo que es más importante, sin el procesamiento, transformación de la información. La utilización de este concepto en la cibernética condujo al enriquecimiento del contenido del concepto de información.

La cibernética plantea que la información es inherente a los seres vivos y dispositivos técnicos. No obstante “El concepto de información resulta “apto para el trabajo” *también al margen de la cibernética, en particular en la ciencia de la naturaleza no viva (física, química, geología, etc.*”. (Nota: el subrayado es del autor). En este caso podemos emplear la palabra geología en su concepto más amplio, de ciencia de la tierra, incluyendo en ella el conocimiento del terreno desde el punto de vista geotécnico. Podemos considerar la existencia de dos tipos de información:

1. La que existe al margen de la dirección, y
2. La que esta indisolublemente ligada a esta;

Es el primer tipo de información el que nos interesa por ser el relacionado con la naturaleza “no viva”. El segundo tipo comprende los sistemas de la naturaleza “viva”, que utilizan la información, por lo que existe en ellos dirección.

El terreno como fuente de información.

Como hemos señalado anteriormente, la información es algo inherente de los objetos de la “naturaleza no viva”. Por esta razón el terreno es poseedor de información, y en este sentido se comporta como una *fente de información*. La información, en general, contenida en un objeto solo adquiere importancia práctica, cuando con ella se puede lograr un fin determinado, es decir, cuando tiene un destino. En nuestro caso, el conocimiento de la información del terreno tiene el objetivo de permitir elaborar el modelo del terreno, con la finalidad de realizar el correspondiente diseño geotécnico del problema en cuestión.

En el proceso del conocimiento de un sistema de la naturaleza “no viva”, como es el terreno, es necesario algún medio que permita investigar el objeto de estudio, como un amplificador de los órganos de los sentidos del hombre; el cual permite conocer los objetos materiales inaccesibles a la percepción directa. Este medio se denomina instrumento y se emplea para observar y registrar diversas mediciones.

Por medición entendemos el proceso cognoscitivo que se realiza en el ámbito empírico (experimental) de la investigación y que incluye la determinación de las características (del peso, la longitud, las coordenadas, la velocidad, etc.) de los objetos materiales con ayuda de los correspondientes instrumentos de medición. La medición se reduce a comparar la magnitud que se mide con cierta magnitud homogénea, tomada en calidad de patrón(Unidad).

Al emplear un instrumento para conocer un sistema u objeto material, necesariamente se produce un proceso de influencia mutua entre ambos, denominado interacción. La interacción determina la existencia y la organización estructural de todo sistema.

En nuestro caso, consideraremos al terreno como la fuente de información, a partir de la cual, mediante la interacción con algún tipo de medio o instrumento, es decir, por medio del empleo de un captador, se obtiene la información, en forma de datos o mediciones, para conocer, caracterizar y elaborar el modelo del terreno para su posterior será uso en el correspondiente diseño geotécnico.

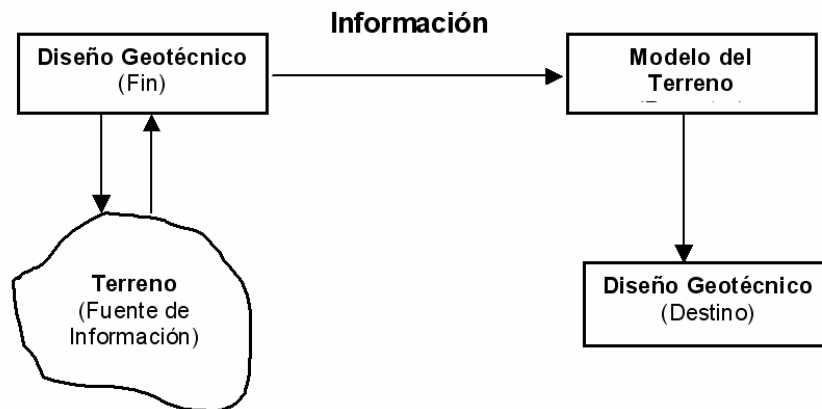
El proceso de captación de la información se realiza mediante la interacción de algún, o algunos, instrumentos o medios de exploración, manifestándose esta información en forma de

magnitudes o parámetros característicos, los cuales describen sus propiedades. Existen dos formas de obtener estas magnitudes:

1. Por mediciones directas realizadas por los instrumentos o medios de exploración, durante el proceso de exploración del terreno. Como ejemplo de medios o instrumentos de exploración podemos mencionar: la cuchara Terzagui u otro medio similar, el penetrómetro estático, el presiómetro, la toma de monolitos, etc.
2. Por mediciones realizadas en un laboratorio a muestras representativas del terreno, obtenidas durante el proceso de exploración o tomadas directamente del terreno.

El flujo de información en el proceso de la modelación del terreno.

Uno de los aspectos más novedosos e importantes de la aplicación de la teoría de la información, al conocimiento del terreno, es el concepto de flujo de la información del terreno, proceso mediante el cual la información transita desde su captación, en el terreno, hasta que es representada en el modelo y posteriormente utilizada en el diseño geotécnico. El esquema siguiente, muestra de una forma simplificada el flujo de la información desde el terreno, hasta su destino.



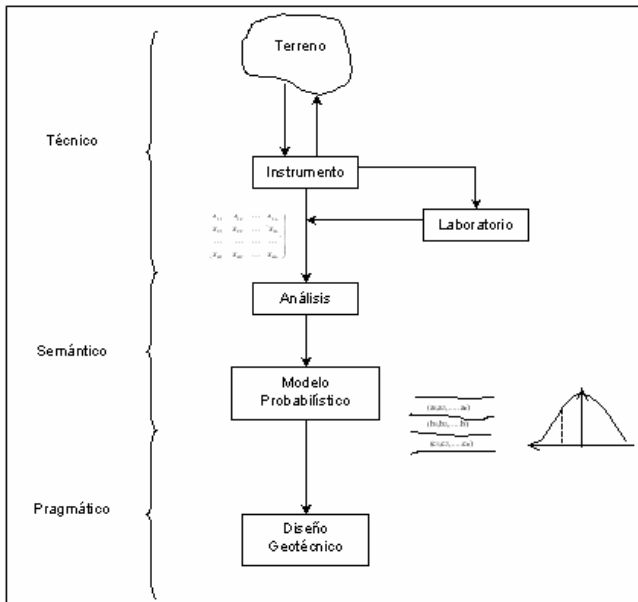
La necesidad de reflejar, almacenar, transmitir y tratar la información desde la fuente de información hasta su destino, provoca el empleo de cierto sistema de símbolos, en forma de un determinado lenguaje natural o artificial (formal), capaz de representar procesos o sistemas de naturaleza discreta o continua, como el terreno. La disciplina científica, que se ha desarrollado a partir de la segunda mitad del siglo XX, y que se dedica al estudio de los sistemas de símbolos es la semiótica. La semiótica ha adquirido una gran importancia, como consecuencia del desarrollo de la automatización del procesamiento de la información.

Al analizar la evolución de la información, desde la fuente hasta que llega al destinatario, es decir, desde el punto de vista de la semiótica, ella transita por tres niveles:

- Sintáctico o técnico: comprende los problemas relacionados con la captación, codificación y transmisión de la información y su fidelidad.
- Semántico: se estudian las cuestiones relativas al significado e interpretación de la información.
- Pragmático: se enfoca la información desde el punto de vista de las consecuencias que ella implica para el fin u objetivo al cual esta destinada.



En realidad este proceso es mucho más complejo, y lo representamos detalladamente en el siguiente esquema:



El nivel técnico o sintáctico abarca desde la captación de la información, en el terreno, hasta la obtención de las magnitudes que servirán de base para la caracterización del terreno.

Durante la exploración del terreno, vamos realizando una captación de información por intervalos, proceso comúnmente denominado muestreo, el cual permite obtener un conjunto de datos o magnitudes representativos del estado de cada uno de estos intervalos, los cuales denominaremos intervalos muestrales.

Sea X el conjunto de los valores de las magnitudes características ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) que determinan o caracterizan el estado de un intervalo muestral del terreno. Estas magnitudes pueden ser la densidad, la humedad, el ángulo de fricción interna, etc. La magnitud X , es en realidad una variable multidimensional, capaz de ser medida en un espacio de n dimensiones, en forma de una imagen muestral, es en realidad una magnitud vectorial, cuyas componentes son las magnitudes o datos x_i que representan a las propiedades medibles del terreno. Al vector X lo denominaremos: “*Vector terreno*”

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Las magnitudes x_j , representan los valores de la magnitud de la propiedad considerada y varían en cierto intervalo de valores, dentro de un volumen determinado del terreno. Estos valores se consideran representativo de un volumen muestral del terreno. Mientras mayor sea la cantidad de estos volúmenes muestrales, mayor será el grado del conocimiento del terreno. Cada uno de estos volúmenes muestrales esta caracterizado por un *vector terreno específico*, X_i , de forma tal que sus magnitudes componentes, o coordenadas, las denotaremos por x_{ij} :

$$X_i = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}).$$

El proceso anterior, nos ha permitido describir a un medio continuo, el terreno, por medio de un conjunto de partes o volúmenes representativos. De esta forma, podemos afirmar, que estamos en presencia de un verdadero proceso de discretización; es decir, el resultado del proceso de exploración, muestreo y medición de las propiedades del terreno, es la obtención de un modelo discreto del terreno. Este modelo esta compuesto por el conjunto de los diferentes vectores terrenos, ordenados espacial y secuencialmente, representados por la matriz de descripción del terreno, o simplemente, matriz terreno:

$$T = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_m \end{pmatrix}$$

donde: n es la cantidad de magnitudes consideradas, o coordenadas; y m es la cantidad de volúmenes muestrales, obtenidos como resultado de la exploración.

La importancia del proceso hasta aquí descrito, es decir, el proceso de discretización, consiste en que hemos obtenido la información, de forma tal, que nos permite su procesamiento posterior con el objetivo de lograr la modelación del terreno. Además, la ventaja de utilizar un enfoque matricial, en la representación de la información, nos facilita su posterior procesamiento mediante las modernas técnicas de computación.

Hasta aquí, hemos tratado la información sin tener en cuenta su significado, haciendo énfasis solamente en la forma de obtenerla y como representarla. De ahora en adelante, el tratamiento de la información se enfatiza en su significado e interpretación, siendo el primer paso a realizar, la determinación de umbrales de diferenciación o niveles de cuantificación, que permitan delimitar las fronteras entre los diferentes estratos, capas y subcapas del terreno, en que pueden ser agrupados los vectores característicos que componen la matriz de descripción.

Para establecer un umbral de diferenciación, podemos asumir uno de los siguientes tipos de criterio:

- Criterio de clasificación general. Comprende los criterios relacionados con algún tipo de clasificación global, que abarca varias propiedades del terreno. Generalmente empleamos algún tipo de clasificación ya existente. Como ejemplos de este tipo de criterio tenemos: el Sistema de Clasificación Unificado de Suelos (SUCS) y el Highway Road Clasifications (HRB); entre otros frecuentemente empleados. Este tipo de criterio se emplea al dividir el terreno en estratos o capas.
- Criterio de clasificación específica. Comprende aquellos criterios relacionados con alguna propiedad determinada del terreno, por ejemplo, la compacidad, en el caso de arenas; la consistencia, para las arcillas; la resistencia a compresión, para las rocas. Este tipo de criterio se establece sobre la base de alguna clasificación existente o a alguna diferenciación muy evidente. Lo empleamos en la delimitación de capas y subcapas del terreno.
- Criterio de agrupación. Este tipo de criterio se emplea cuando en una o más de una de las magnitudes que describen las propiedades del terreno, surge una

diferenciación muy evidente, y no responde a alguna de las clasificaciones existentes. Se emplea generalmente en la diferenciación de capas y subcapas, de cierto grado de heterogeneidad.

El siguiente paso consiste en ordenar la matriz terreno. Mediante un proceso de permutaciones entre sus filas [1], podemos agrupar los vectores terrenos, en forma secuencial, en grupos y subgrupos de filas, delimitados según los umbrales de diferenciación que se hayan establecidos. Esta matriz la denominaremos: matriz capa, y la denotaremos por C:

$$C = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x_{a1} & \dots & x_{an} \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x_{b1} & \dots & x_{bn} \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x_{c1} & \dots & x_{cn} \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \\ \dots \\ \begin{pmatrix} x_{l1} & \dots & x_{ln} \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_p \end{pmatrix}$$

donde, p es la cantidad de subcapas en que se ha dividido el terreno.

Mediante el proceso de análisis anterior, hemos delimitado al terreno, considerado como un gran sistema, en sus subsistemas y elementos componentes: capas y subcapas. La culminación de este proceso consiste, en determinar los valores de las magnitudes que representan a cada uno de estos elementos, o lo que es lo mismo, *caracterizar el terreno*.

Para caracterizar el terreno no es necesario considerar todas las magnitudes componentes de los vectores terreno; generalmente se realiza con una selección de ellos, siendo frecuente utilizar las magnitudes físicas que describen el comportamiento del suelo, para definir la agrupación por capas; mientras se emplean las magnitudes mecánicas para definir las subcapas.

Como hemos expuesto, con anterioridad, la estructura compleja y el carácter masivo del terreno, son factores que condicionan su carácter probabilístico. Esta importante propiedad del terreno, provoca que para realizar la caracterización de los elementos que lo componen, es decir, de las subcapas, se hace necesario el empleo de métodos estadísticos probabilísticos. Por esta razón definiremos el *vector normativo*, N_k , de una subcapa elemental, al vector cuyas componentes se definen por:

$$n_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^m x_j}{m}$$

Siendo: n_{kj} , el valor normativo o promedio de la propiedad j para la capa k ; m , representa la cantidad de vectores terreno que componen la capa, o como comúnmente decimos, m es numéricamente igual a la cantidad de muestras representativas de la subcapa considerada.

Sea, $N_k = (n_{k1}, n_{k2}, \dots, n_{kp}, \dots, x_{pq})$, el vector normativo de la capa p , y sea q la cantidad de subcapas en que se ha delimitado el terreno. Con el conjunto de los q vectores normativos, podemos conformar la matriz normativa del terreno, N :

$$N = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \dots \\ N_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{q1} & n_{q2} & \dots & n_{qn} \end{pmatrix}$$

Todo conjunto de magnitudes de carácter probabilístico, no se describe sólo por sus valores promedios, sino que es necesario además determinar una medida de su dispersión. Por esta razón definiremos la matriz dispersión del terreno, D ; cuyas componentes, d_{ik} , se definen como:

$$d_{ik} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ik}^n - x_{ik})^2}}{n-1}$$

y se representa como:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{pmatrix}$$

El grado de eficacia con el cual se ha realizado el proceso de caracterización del terreno, se determina por medio del coeficiente de homogeneidad de las capas o subcapas:

$$V_c = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{d_i} \right]^2}}$$

donde:

n , es la cantidad total de magnitudes o coordenadas consideradas en el proceso de diferenciación;

d_i , coeficiente de dispersión individual de cada magnitud o coordenada considerada.

En el diseño geotécnico por el método de los estados límites, se emplean los valores característicos de las propiedades del terreno, razón por la cual definimos la matriz característica del terreno, K , como la diferencia entre la matriz normativa y la matriz de

dispersión, definiéndose sus términos por la expresión: $k_{ik} = n_{ik} - d_{ik}$; siendo la matriz:

$$K = \begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \\ \dots \\ K_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1m} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{p1} & k_{p2} & \dots & k_{pm} \end{pmatrix}$$

Una vez obtenidos los valores característicos de las magnitudes que caracterizan el terreno, estos son empleados en los cálculos necesarios para la realización del correspondiente diseño geotécnico. A partir de este punto, comienza el nivel pragmático de la información.

Durante todo el flujo de la información, esta se encuentra sometida a la influencia de un conjunto de factores que tienden a alterar o distorsionar la fidelidad de la información y del modelo. Estas alteraciones o distorsiones de la información se denominan *ruidos* en la teoría de la información, y en nuestro caso, el terreno, se corresponden con los diferentes tipos de errores experimentales, sistemáticos, de interpretación y otros. Es objetivo de este trabajo contribuir a la disminución de estos *ruidos*, para lograr un modelo del terreno con la máxima calidad y fidelidad posible.

La caracterización local y general del terreno.

El flujo de información descrito anteriormente, corresponde con el proceso que se realiza para conocer las características del terreno en un lugar o zona determinada, en la cual el proceso de exploración presenta una continuidad horizontal determinada. A este tipo de caracterización la denominaremos, *caracterización local del terreno*, generalmente asociada a una obra o construcción específica.

Existe otro tipo de caracterización, cuando queremos generalizar la información local obtenida en varios lugares, con el interés de agrupar las diferentes capas y subcapas por la similitud de sus propiedades. Este tipo de caracterización se denomina, *caracterización general*. La caracterización general es de gran importancia, pues ella permite estimar, con seguridad, las características locales de un área, con un mínimo de trabajos de exploración y de ensayos de laboratorio, a partir de la información conocida en otros lugares, previamente explorados.

La caracterización general se realiza a partir de la información obtenida por medio de alguna de las siguientes maneras:

- caracterizaciones realizadas para la construcción de diferentes obras o construcciones,
- caracterizaciones realizadas según algún plan de exploraciones,
- combinación de las dos anteriores.

El primer paso, en la caracterización general, consiste en confeccionar la matriz general, G , compuesta por todas las matrices capas que representan la región estudiada, identificando cada lugar por medio de un subíndice:

$$G = \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \dots \\ G_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} \\ \dots \\ C_{1p} \\ C_{21} \\ \dots \\ C_{2q} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ C_{i1} \\ \dots \\ C_{ir} \end{pmatrix}, \text{ donde: } G_i = \begin{pmatrix} C_{i1} \\ C_{i2} \\ \dots \\ C_{ir} \end{pmatrix}$$

Posteriormente agrupamos las capas de características similares en submatrices, existiendo tantas submatrices como cantidad de capas diferentes exista en la región considerada. Esta nueva matriz la denominaremos *matriz general de capas*, y la denotaremos por C^G :

$$C^G = \begin{pmatrix} C_1^G \\ C_2^G \\ \dots \\ C_s^G \end{pmatrix}$$

Donde: C^G representa a cada una de las submatrices que describe a una capa o subcapa.

A continuación calculamos los valores normativos de cada capa regional, representados por la *matriz normativa general*:

$$N^G = \begin{pmatrix} N_1^G \\ N_2^G \\ \dots \\ N_q^G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{11}^G & n_{12}^G & \dots & n_{1m}^G \\ n_{21}^G & n_{22}^G & \dots & n_{2m}^G \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{q1}^G & n_{q2}^G & \dots & n_{qm}^G \end{pmatrix}$$

y la *matriz de dispersión general*:

$$D^G = \begin{pmatrix} d_{11}^G & d_{12}^G & \dots & d_{1n}^G \\ d_{21}^G & d_{22}^G & \dots & d_{2n}^G \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1}^G & d_{m2}^G & \dots & d_{mn}^G \end{pmatrix}$$

Es importante destacar que en este proceso de caracterización general hemos considerado hemos tomado como fuente de información las matrices capas de cada uno de lugares o zonas que representan la región, y no los valores promedios y dispersiones de cada uno de ellos. La razón de este proceder se debe a que estamos caracterizando a una misma población estadística con muestras de diferentes partes de un mismo todo. En el caso del proceso de normalización de los valores, no existen diferencias, como consecuencia del carácter lineal de este proceso.

El último paso consiste en calcular la matriz característica general, G , cuyos términos están definidos por la expresión: $k_{ik}^G = n_{ik}^G - d_{ik}^G$

Conclusiones.

1. La aplicación de un enfoque sistémico a la interacción entre una construcción u obra con el terreno nos permite comprender el carácter probabilístico intrínseco del terreno, como consecuencia de su masividad y de su complejidad.
2. La aplicación de la Teoría de La Información al conocimiento del terreno permite un enfoque coherente para el flujo de la información desde su obtención hasta su utilización en el modelado del terreno y en su caracterización.
3. El tratamiento matricial de la información del terreno, obtenida por medio de la exploración, facilita su procesamiento automatizado para la caracterización del terreno.

Bibliografía:

- Guétmanova, A. Lógica: en forma simple sobre lo complejo; Ed. Progreso; Moscú, 1991.
Guétmanova, A. Lógica; Ed. Progreso; Moscú, 1993.
Korshunov, Yu M. Fundamentos Matemático de la Cibernética; Ed. Mir, Moscú, 1994.
Meli Piralla, R. Diseño Estructural. La Habana, 1986.
Sowers & Sowers; Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones; La Habana, 1980.
Ursul, Arcadi D. La Dialéctica y los Métodos Científicos Generales de Investigación. La Habana, Ed. Ciencias Sociales, 1981.
Ursul, Arcadi D. Reflejo y la Información. La Habana, Ed. Ciencias Sociales, 1984.